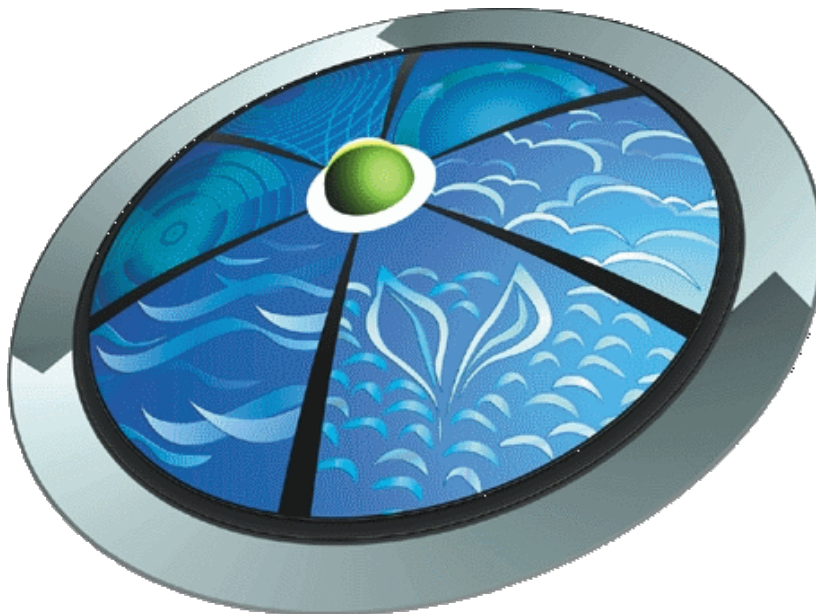


Környezetmérnöki Tudástár
Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre



XXIV. kötet

Talajtan és talajökológia

Szerkesztő: Dr. Horváth Erzsébet

Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet

Környezetmérnöki Tudástár
Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre

XXIV. kötet
Talajtan és talajökológia
Szerkesztő: Dr. Horváth Erzsébet

Szerzők:
Farsang Andrea
Horváth Balázs
Horváth Erzsébet
Pestiné dr. Rácz Éva Veronika
Godó Zoltán Attila.

ISBN: 978-615-5044-49-6

2012
Veszprém
Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet

Környezetmérnöki Tudástár

eddig megjelent kötetei

01. Környezetföldtan
02. Környezetgazdálkodás
03. Talajvédelem, talajtan
04. Egészségvédelem
05. Környezeti analitika
06. Környezetvédelmi műszaki technológiák, technológiai rendszerek modellezése, ipari technológiák és szennyezéseik
07. Környezettan
08. Földünk állapota
09. Környezeti kémia
10. Vízgazdálkodás-szennyvíztisztítás
11. Levegőtisztaság-védelem
12. Hulladékgazdálkodás
13. Zaj- és rezgésvédelem
14. Sugárvédelem
15. Természet- és tájvédelem
16. Környezetinformatika
17. Környezetállapot-értékelés, Magyarország környezeti állapota, monitorozás
18. Környezetmenedzsment rendszerek
19. Hulladékgazdálkodás II.
20. Környezetmenedzsment és a környezetjog
21. Környezetvédelmi energetika
22. Transzportfolyamatok a környezetvédelemben
23. Környezetinformatika II.
24. Talajtan és talajökológia
25. Rezgési spektroszkópia

Felhasználási feltételek:

Az anyag a Creative Commons „Nevezd meg!-Ne add el!-Így add tovább!” 2.5 Magyarország Licenc feltételeinek megfelelően szabadon felhasználható.



Nevezd meg! — A szerző vagy a jogosult által meghatározott módon fel kell tüntetned a műhöz kapcsolódó információkat (pl. a szerző nevét vagy álnevét, a Mű címét).



Ne add el! — Ezt a művet nem használhatod fel kereskedelmi célokra.



Így add tovább! — Ha megváltoztatod, átalakítod, feldolgozod ezt a művet, az így létrejött alkotást csak a jelenlegivel megegyező licenc alatt terjesztheted.

További felhasználás esetén feltétlenül hivatkozni kell arra, hogy
"Az anyag a TAMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0021 téma
keretében készült a Pannon Egyetemen."

Részletes információk a következő címen találhatóak:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/hu/>

Tartalomjegyzék

1. Fogalomtár	16
2. A talaj szerepe a környezeti elemek rendszerében. (Dr. Farsang Andrea).....	25
3. Talajaink értékelése a XXI. században: Talajminősítés, földértékelés (Dr. Farsang Andrea)	27
3.1. A hazai földértékelési rendszer: az Aranykorona-értékelés	27
3.2. A „100 pontos” rendszer.....	29
4. A talaj fejlődése, a talajtulajdonságok csoportosítása időbeli változékonyságuk alapján. (Dr. Farsang Andrea)	31
4.1. A talajtulajdonságok időbeli változása	32
4.2. A talajtulajdonságok tér-, és időbeli változási tendenciái Magyarországon, talajmonitorozás. Talaj Információs és Monitoring Rendszer (TIM).	32
5. Az emberi tevékenység hatása a talajra. Talajdegradációk, a talajok mennyiségi és minőségi romlása. A talajok kémiai, fizikai és biológiai degradációja. (Dr. Farsang Andrea) 35	
5.1. A hazai talajok állapota	36
5.2. 4.2.fejezet A mezőgazdasági tevékenység hatásai. Kemizálás hatása a talajra, talajvízre 41	
5.3. A szennyvíziszapok mezőgazdasági hasznosítása	43
5.4. A közlekedés és ipari eredetű talajszennyezések	44
6. A talajszennyezés megítélése a talajtulajdonságok függvényében. Határérték rendszerek (Dr. Farsang Andrea)	48
7. A szennyezett talajok környezeti és humán-egészségügyi kockázata. (Dr. Farsang Andrea)	53
8. Termőföld kivonás, a termőterületek más célú hasznosítása. Magyarországi tendenciák. (Dr. Farsang Andrea).....	59
8.1. A művelésből kivont területek arányának és területének változása Magyarországon ...	61
9. A technogén és antropogén talajok jellemzői (Dr. Farsang Andrea).....	63
9.1. Az antropogén talajok osztályozása	64
10. A talaj, mint védendő természeti érték. A talajok „vörös könyve”. (Dr. Farsang Andrea)	67
11. A környezetbe jutó legfontosabb szennyezőanyagok és jellemzőik, kölcsönhatásaik a talajjal és a természetes vizekkel (Dr. Horváth Erzsébet).....	71
11.1. A szerves szennyezők természetes lebontása és a vizek oldott oxigéntartalma közötti összefüggések	71
11.2. A vízi környezetben előforduló nitrogénformák.....	72
11.3. A vízi környezetben előforduló foszforformák és az eutrofizáció.....	74
11.4. A vízi környezet szénformái, a szén ciklus.....	76

11.5.	Nehezen lebomló szerves és szerves mikroszennyező anyagok	77
11.6.	Toxikus fémek, szerves mikroszennyezők	84
11.7.	Egyéb szennyezettséget jelző mutatók	86
11.8.	A mikroorganizmusok és a vízminőség	87
12.	<i>A kármentesítés szabályozása az Európai Unióban (Dr. Horváth Erzsébet).....</i>	<i>89</i>
13.	<i>A környezeti elemek kármentesítése és a károk elhárítása: a károkozó szennyezés eltávolítása és az eredeti állapot visszaállítása (Dr. Horváth Erzsébet).....</i>	<i>96</i>
13.1.	A kárelhárítási technológia kiválasztása	96
13.2.	A kármentesítés és a kárelhárítás műszaki módszerei.....	97
13.2.1.	Lokalizációs és immobilizációs (fixálási) eljárások	97
13.2.1.1.	Lokalizáció.....	98
13.2.1.2.	Immobilizációs (fixálási) eljárások	99
13.2.2.	A kárelhárítási gyakorlatban általánosan használt fizikai kémiai műveletek	104
14.	<i>Néhány tesztelt technológia a kárelhárítási gyakorlatból (Dr. Horváth Erzsébet) .</i>	<i>117</i>
14.1.	Ex situ biológiai dekontaminálási eljárás	117
14.2.	In situ talajtisztítási eljárás	119
15.	<i>A hulladék tározók kialakítása talaj- és talajvízvédelmi szempontból (Dr. Horváth Erzsébet).....</i>	<i>123</i>
	<i>Pannon Egyetem, Veszprém</i>	<i>123</i>
15.1.	Az elhelyezés fogalma, a lerakóhellyel szemben támasztott követelmények	123
15.1.1.	A hulladékok jellege, fizikai és kémiai jellemzőik	123
15.1.2.	A lerakóhely elhelyezkedése, a lerakás körülményei	123
15.1.3.	Környezetvédelmi követelmények	124
15.1.4.	A hulladéklerakók tervezési szempontjai	124
16.	<i>Az ökológia, mint tudományterület (Pestiné dr. Rácz Éva Veronika)</i>	<i>131</i>
16.1.	Az ökológia története	131
16.2.	Az ökológia fogalma, tárgya, alapfogalmai	138
16.2.1.	Az ökológia fogalma	138
16.2.2.	Egyed feletti szerveződési szintek	139
16.2.3.	Ökológiai környezet és tolerancia	141
16.2.4.	Ökológiai indikáció	142
16.2.5.	Niche.....	143
16.2.6.	Ökológiai limitáció	144
16.3.	Életformák	144
16.4.	Az ökológiai kutatás módszerei.....	146
17.	<i>A környezeti tényezők és a környezet elemei (Dr. Horváth Balázs)</i>	<i>148</i>
17.1.	A fény	148
17.1.1.	A fény hatása a növényekre	149
17.1.2.	A fény hatása az állatokra.....	150
17.2.	A hőmérséklet.....	151
17.3.	A légkör	154
17.3.1.	Szennyező anyagok a levegőben	157

17.4. A víz.....	158
17.4.1. A növények vízháztartása és vízigénye	159
17.4.2. A CO ₂ -megkötés hagyományos és alternatív útjai	160
17.4.3. A fotoszintézis intenzitását limitáló tényezők; az eutrofizáció	162
17.5. A talaj	163
17.5.1. A talaj tulajdonságai	163
17.5.2. A talaj élővilága.....	165
17.5.3. Talajvédelmi megfontolások	168
17.6. A domborzat	168
17.7. Forrástényezők és kondicionáló tényezők	169
17.8. A zavarás (bolygatás).....	170
18. Populációk (Pestiné dr. Rácz Éva Veronika)	172
18.1. A populációk jellemzése	172
18.1.1. A populáció fogalma	172
18.1.2. Populációméret	172
18.1.3. A populációk csoporttulajdonságai	174
18.1.4. Populációk szociális szerkezete	177
18.1.5. Populációdinamika	178
18.1.6. Életmenet stratégiák	186
18.2. Populációk kölcsönhatásai.....	189
18.2.1. Negatív kölcsönhatások – versengés.....	190
18.2.2. Táplálkozási kapcsolatok: predáció, szaprofágia	198
18.2.3. Pozitív kölcsönhatások – mutualizmus	201
19. Anyag- és energiaforgalom a biocönózisban – produkcióbiológia (Dr. Horváth Balázs)202	
19.1. A biológiai produkció.....	202
19.2. Energiaáramlás	206
19.3. Anyagforgalom a bioszférában	208
19.3.1. A szén körforgása	208
19.3.2. A víz körforgása	209
19.3.3. A nitrogén körforgása	209
19.3.4. A foszfor körforgása	211
20. Biogeográfia (Dr. Horváth Balázs).....	212
20.1. A biomok	218
20.1.1. A forró öv biomjai	219
20.1.2. A mérsékelt öv	222
21. Ember a bioszférában (Vida, 2001) (Dr. Horváth Balázs).....	228
21.1. A bioszféra története az ember előtt.....	228
21.2. Az élet megjelenése – és túlélése az éghajlati szélsőségek időszakában	229
21.3. Az oxidáló bioszféra kialakulása.....	231
21.4. Az élet kibontakozása.....	233
21.5. Az ember megjelenése a bioszférában. A hódítások kora.....	234
22. Ökológia helye és szerepe (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D).....	249
22.1. Az ökológia helye és szerepe a biológiai tudományágban	249

22.1.1.	Az ökológia fogalma	249
22.1.2.	Az ökológia helye a biológia tudományok között.....	249
22.2.	Az ökológiai gazdálkodás	251
22.3.	Ökoszisztéma	254
22.3.1.	Az ökoszisztéma szerveződésének és működésének elve	255
22.3.2.	Az ökoszisztémák csoportosítása	256
22.3.3.	Az ökoszisztémák összetevői	256
22.3.4.	Az ökoszisztémák kialakulása és fejlődése	257
22.3.5.	Anyagáramlási szintek	257
22.3.6.	Energiaáramlási szintek	259
22.3.7.	Produktum és biomassa	260
22.4.	A Környezeti hatások felosztása, jellemzése	262
22.4.1.	Élőlényekre ható környezeti tényezők (ökológiai faktorok)	262
22.4.1.1.	A fény mint környezeti tényező	263
22.4.1.2.	Légkör – Atmoszféra	263
22.4.1.3.	A víz, mint környezeti tényező.....	263
22.4.1.4.	A talaj.....	264
22.4.2.	Ökológiai tényező fogalma és felosztása	264
22.5.	Bioszféra	265
22.6.	Szukcesszió	267
23.	Agrár-ökoszisztéma (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)	268
23.1.	Az agrár ökoszisztémák sajátosságai	268
23.2.	Tavi ökoszisztéma	268
23.2.1.	Társulások	269
23.2.2.	Eutrofizálódás	271
23.3.	A szántóföldi ökoszisztéma	274
23.4.	Gyep	275
23.5.	A talaj edafon élőhelye.....	276
24.	Talaj, mint élőhely (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)	277
24.1.	Talaj.....	277
24.2.	Talajképződés	277
24.3.	Kolloid rendszer kialakulása, jelentése	278
24.3.1.	A talajkolloidok határfelületi jelenségei	279
24.4.	Talajszintek	279
24.5.	Talajképző folyamatok	280
24.6.	Talajélet.....	282
24.7.	Mire van szükségük az élőlényeknek a talajból?	283
24.8.	A talaj és a talajban élő szervezetek sokfélesége	283
24.9.	Fizikai és kémia tulajdonságok hatása a talaj élővilágára	285
24.9.1.	Fizikai tulajdonságok	285
24.9.2.	Kémiai tulajdonságok	285
24.10.	Talajsavanyodás.....	287
24.10.1.	A talajsavanyúság formái.....	288
24.10.2.	Talajsavanyúság csökkentése	288

24.11.	Talaj lúgossága	288
24.11.1.	Környezetszennyezés okozta talajlúgosodás	289
24.12.	Redoxi- reakció	292
24.13.	A talaj hógazdálkodása	292
24.14.	Talaj vízpotenciálja	295
24.15.	Talajtulajdonságok hatásának megváltozása	296
25.	<i>A talajban élő mikroorganizmusok (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D).....</i>	297
25.1.	Prokarióták	297
25.1.1.	A prokarióta sejt felépítése	297
25.1.2.	Anyagcsere folyamatok	300
25.1.2.1.	Asszimiláció	301
25.1.2.2.	Disszimiláció	302
25.1.2.2.1.	Erjedés	302
25.1.2.2.2.	Biológiai oxidáció	303
25.1.3.	Prokarióta eukarióta differencia	304
25.1.4.	Szaporodás	304
25.1.5.	Baktériumok száma a talajban	305
25.2.	Gombák	307
25.2.1.	Gomba törzsek	308
25.2.2.	Mikroszkopikus gombák	308
25.2.3.	Életmód	308
25.2.4.	Szaporodás	309
25.2.5.	Táplálkozás	309
25.2.6.	Hifák	309
25.2.7.	Micélium	310
25.3.	Algák	310
25.3.1.	Elterjedése	311
25.3.2.	Eukarióta alगतörzsek sejt felépítése	311
25.3.3.	Tudományos kutatások	314
25.3.4.	Felhasználásuk	315
25.4.	Zuzmók	315
25.4.1.	Élőhely, életkörülmények	315
25.4.2.	Szaporodás	315
25.4.3.	Rendszerezés	316
25.4.4.	Felhasználás	316
25.4.5.	Zuzmókutatás a világban és Magyarországon	316
26.	<i>Mikro- és mezofauna (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)</i>	317
26.1.	Egysejtűek állatköre – Protozoa	317
26.2.	Fonálférgek- Nematoda	319
26.3.	Ugróvillások-Collembola	320
26.4.	Atkák- Acari vagy Acarina	321
26.4.1.	Parasitiformes vagy Gamasiformes alrendje	322
26.4.2.	Nyűgatkák osztága- Mesostigmata	322
26.4.3.	Kullancsszabásúak osztága- Ixodoidea	322
26.4.4.	Trombidiformes alrendje	322
26.4.5.	Tarsoneminik osztága- Tarsonemini	323
26.4.6.	Prostigmaták osztága- Prostigmata	323
26.4.7.	Rühatkaszabásúak alrendje- Sarcoptiformes	323

26.4.8.	Acaridia osztaga.....	323
26.4.9.	Páncélosatkák osztaga- Oribatei.....	324
26.4.10.	Gubacsatkák alrendje- Tetrapodili.....	324
26.5.	Medveállatkák- Tardigrada	324
27.	<i>Makro –és megafauna (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D).....</i>	326
27.1.	Földigiliszták – lumbricidae	326
27.2.	Csigák - gastropoda	327
27.3.	Bogarak - Coleoptera	328
27.4.	Pókok.....	329
27.5.	Hangyák.....	330
27.6.	Vakondok.....	332
28.	<i>Talajképződés folyamatai (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)</i>	333
28.1.	Talajképző kőzet.....	333
28.2.	A kőzet mállása	334
28.2.1.	Fizikai mállás	334
28.2.2.	Kémiai mállás.....	336
28.2.3.	Biológiai mállás.....	337
28.3.	Talajképző folyamatok	337
28.4.	Az élővilág szerepe a talajképződésben	338
29.	<i>Növények és mikrobák kapcsolata (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)</i>	342
29.1.	Metabiózis	342
29.2.	Antagonizmus, Antibiózis	343
29.3.	Szimbiózis	345
29.4.	Mikroszervezetek parazitizmusa	346
30.	<i>A növényi gyökér és a mikrobák kapcsolata (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)</i>	349
30.1.	A rhizoszféra	349
30.2.	A mikroorganizmusok szerepe a gyökérrendszerben	350
30.2.1.	Tápanyagellátás	350
30.2.2.	A sziderofor termelés	350
30.2.3.	Növekedést szabályozó anyagok	351
30.2.4.	Antibiotikum termelés.....	352
30.2.5.	Gyökérgümő képződése a Rhizobiumok jelenlétében	352
30.3.	Biotrágyák.....	353
30.4.	Mikorrhizák.....	353
30.4.1.	A vezikuláris-arbuskuláris mikorrhiza (VAM)	354
30.5.	Biológiai aktivitás fokozásának módjai	355
30.6.	A talajminőség indikálása	356
30.6.1.	Talajbiológiai módszerek	356
30.6.2.	Rhizobiológiai módszerek.....	357
31.	<i>Anyag -és energiaforgalom a talajban (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)</i>	358

31.1. A szén körforgása	358
31.1.1. Geológiai ciklus.....	359
31.1.2. Biológiai szén körforgás.....	359
31.1.3. Az óceánok szén tartalma.....	360
31.1.4. Szén a talajban.....	360
31.1.5. A szén mineralizációja	361
31.1.6. Az atmoszférikus széndioxid felhalmozódása	361
31.2. A foszfor körforgása	363
31.2.1. Foszfor a talajban	365
31.2.2. Emberi tényező.....	365
31.3. A kálium körforgása	366
31.3.1. A kálium főbb útvonalai.....	367
31.4. Nitrogén körforgalom.....	367
31.4.1. A nitrogén fixálás	368
31.4.2. Nitrifikáció	369
31.4.3. denitrifikáció.....	370
31.4.4. Ammonifikáció.....	371
31.5. A kén körforgalma.....	372
31.5.1. Asszimilációs szulfátredukció	373
31.5.2. deszulfurizáció	373
31.5.3. disszimilációs szulfátredukció.....	373
32. Talaj funkciók (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)	377
32.1. A talaj jelentősége.....	377
32.2. Biomassza-termelés	378
32.3. A talaj biológiai alkotói	378
33. Élőhelyek biodiverzitása (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)	380
33.1. Talaj biodiverzitás	382
33.1.1. A protozoák	382
33.1.2. A nematodák	383
33.1.3. gyűrűs férgek.....	383
33.1.4. Atkák.....	384
33.1.5. Baktériumok és gombák.....	384
33.2. A talaj biodiverzitás szerepe	385
33.3. A diverzitás formái	386
33.4. Vadászat, vadgazdálkodás és a biodiverzitás	386
33.5. Biodiverzitás napjainkban.....	387
34. A mezőgazdaság hatása a talaj élővilágára (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)	389
34.1. Agrotechnikai tényezők	389
34.2. Talajművelés	389
34.3. Trágyázás	391
34.4. Öntözés	392
34.5. Talajjavítás.....	393
34.6. Peszticidek alkalmazása.....	394

34.7.	Herbicidek és inszekticidek alkalmazása.....	395
34.8.	GMO	396
34.9.	Monokultúra- vetésváltás.....	396
34.10.	Tradicionális földművelés	397
35.	<i>Ajánlott irodalom</i>	399

Ábrajegyzék:

1. ábra: A talaj, mint nyílt rendszer és alrendszerei (forrás: Szabó I. nyomán, 2008)	26
2. ábra: A talaj tulajdonságok térben változnak	31
3. ábra: Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer Magyarországon (forrás: Várallyay et al, 2008).....	34
4. ábra: A talajdegradációk térbeli kiterjedése Magyarországon (forrás MTA TAKI, 1997) ...	36
5. ábra: Szerkezetes talaj aggregátumai	39
6. ábra: A talajszennyezés forrásai	43
7. ábra: Magyarország ólomterhelési térképe (Árkosi és Buna, 1990).....	47
8. ábra: A talaj elemtartalom toxikusságának megítélése koncentrációfüggő	48
9. ábra: Nehézfém terhelés: expozíciós utak az emberig	55
10. ábra: RISK v.4.0 kezdő oldal	57
11. ábra: A fölhasználat változása Magyarországon 1990 és 2007 között (Központi Statisztikai Hivatal, 2007 adatai alapján szerk.)	61
12. ábra: Példa szelvények a technogén talajokra	66
13. ábra: A talajok „vörös listájának” kritériumai és indikátorai (Bosch, 1988 alapján)	68
14. ábra: A biológiai nitrogénciklus	73
15. ábra: A foszforciklus	75
16. ábra: A biológiai szén ciklus	76
17. ábra: Különböző gázmosók a műveleti paraméterek feltüntetésével.	107
18. ábra: Adszorpciós izotermák.	109
19. ábra: Az aktív szén adszorpció reaktortípusai.....	113
20. ábra: A gyakorlatban általánosan használt különböző szűrési műveletek.	115
21. ábra: A membrándesztylláció elve.	115
22. ábra: Az UMWELTSCHUTZ-NORD eljárás elve. Bioteszt és eljárás-optimalizációs rendszer	118
23. ábra: Az UMWELTSCHUTZ–NORD eljárás folyamatábrája.	118
24. ábra: Ex situ talajkezelés a BIOKÖR módszerével.....	119
25. ábra: Talajlevegőztetés a CARO eljárással	120
26. ábra: Nyelőkutak elhelyezése a SCHÜRFAG eljárás során.....	121
27. ábra: A BIOKÖR land-farming eljárása.....	121
28. ábra: Az enzim katalitikus reakciók szabadenergia változásai, elvi ábra.....	122
29. ábra: A hulladéktestben lezajló folyamatok	126
30. ábra: A hulladéklerakó csurgalékvizét elvezető rendszer kialakítása	126
31. ábra: Egy települési hulladéklerakó elvi felépítése	127
32. ábra: A hulladéklerakó felső, záró szigetelése	127
33. ábra: Carl von Linné (Alexander Roslin olajfestménye, 1775)	136
34. ábra: Thomas Robert Malthus (John Linnell festménye, 1833).....	136
35. ábra: Charles Robert Darwin (George Richmond, 1840: Darwin Múzeum, Downe,)	137
36. ábra: Ernst Haeckel (foto: Nicola Perscheid, 1906)	138
37. ábra: A SIO szintjei és a belőlük képzett rendszerek (Gallé 2010 nyomán).....	140
38. ábra: Léptékek téridő skálája.....	141
39. ábra: A külvilág-belvilág és a környezet-tűrőképesség viszonya. A tűrőképességen belül egy kiválasztott faktor (x) toleranciagörbéjén (y) a tradicionálisan megkülönböztetett tartományok láthatók.	142
40. ábra: A niche, mint pontthalmaz az A és B környezeti tényezők (két dimenziós) terében a) Hutchinson koncepciója b) készlethasznosítási függvények által meghatározott pontfelhő .	144
41. ábra: Raunkiaer-féle életformák: Ph: <i>phanerophyta</i> , Ch: <i>chameaphyta</i> , H: <i>hemikryptophyta</i> , K: <i>kryptophyta</i> , Th: <i>therophyta</i>	145

42. ábra: Alga életformák.....	146
43. ábra: Lincoln–Petersen-index. Az egyedszám-bebecslés alapjául szolgáló arányok jelölés-visszafoogás esetén.	173
44. ábra: A túlélési görbék három alaptípusa. A görbék az 1000 egyedre vonatkoztatott túlélési valószínűség logaritmusos skálán való ábrázolásával kapjuk az életkor függvényében.	175
45. ábra: Magyarország népességének koreloszlása a) 1870-ben növekvő populációt indukáló karácsonyfa alakú korfa, b) 1950-ben stagnáló populációkat jellemző oszlopszerű korfára hasonlító c) 2004-ben előregedő populáció urna alakú (lefelé keskenyedő korfája (<i>KSH[1]</i>))	176
46. ábra: Populációk tipikus térbeli mintázatai. a) random, b) egyenletes eloszlású c) csoportosuló	177
47. ábra: A versengés fajtái	178
48. ábra: Egy növény populáció, amelynek éves átlagos növekedési rátája, $\lambda=2,5$, $N_0=120$ egyedből kiindulva 10 év alatt meghaladná az 1 milliós egyedszámot ($N_{10}=1.144.410$)....	180
49. ábra: Exponenciális növekedés, $r_{max}=2$, $N(0)=1$	181
50. ábra: Logisztikus populációnövekedés három különböző induló populációméret esetén	183
51. ábra: A populációméret és a növekedésének üteme közötti összefüggés.	184
52. ábra: A C-S-R kontinuum (<i>Grime 1979 nyomán</i>)	188
53. ábra: A populációk közötti kölcsönhatások típusai és a közöttük lehetséges evolúciós átmenetek	189
54. ábra: Gauze papucsállatkákkal végzett kísérletének eredményei. (<i>Gause 1934 nyomán</i>)	191
55. ábra: <i>Asterionella formosa</i> (Af) és <i>Synedra ulna</i> (Su) populációk növekedése különböző körülmények között.	192
56. ábra: a) az első, b) a második faj izoklinája. A nyílak a populációméret változását jelzik az egyenesek alatti és feletti tartományokban.	193
57. ábra: A két faj izoklinájának elhelyezkedése és két populáció nagyságának változása pozitív síknegyed egyes részein az egyenesek helyzetének megfelelő négy esetben.	194
58. ábra: Két faj kétdimenziós niche-ének viszonya: az egymástól függetlenül élve tapasztalható fundamentális niche-ük nagyobb, mint a közös élőhelyen felvett realizált niche-ük.	196
59. ábra: Két kovamosztafaj versengése szilikát és forrásokért.	196
60. ábra: Három faj forráshasznosítása különböző méretű magok esetén és a jellegpolarizáció. Az eredetileg tágabb mérettartományt fogyasztó fajok a magok méret szerinti felosztásával csökkentették a köztük lévő versengést.	197
61. ábra: Ragadozó-zsákmány modell egyensúlyi helyzete és a megoldás egy pályája.	200
62. ábra: Ragadozó (piros) és a zsákmány (zöld) egyedszámának időbeli alakulása.	200
63. ábra: A burgonyabogár (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>) terjedése Európában.....	216
64. ábra: A európai seregély (<i>Sturnus vulgaris</i>) terjedése Észak-Amerikában.....	217
65. ábra: A fiatal Föld hőmérsékletét befolyásoló főbb hatások dinamizmusa.....	231
66. ábra: A Hógyolyó Föld állapotot előidéző tényezők öngerjesztő működése.....	232
67. ábra: Az ökológia és résztudományainak helye a szünbiológia tudományok között.....	250
68. ábra: Az ökoszisztéma kapcsolatainak vázlata (<i>Kreeb, 1974</i>)	251
69. ábra: A világ tíz legnagyobb ökológiai gazdálkodási arányát felmutató országok (2007) (<i>Forrás: Helga Willer, Minou Youssefi-Menzler and Neil Sorensen (ed.): The World of Organic</i>)	252
70. ábra: Az „élet kereke”: az energiaáramlás általános sémája erdei életközösségekben. A nyílak vastagsága megközelítőleg arányos az áramló energiamennyiségekkel (<i>Mátyás Cs., Lotka ötlete nyomán</i>)	258

71. ábra: Egy középkorú cseres növényzetének biomasszája és produktivitása szintek, növényi testtájak szerint, valamint föld feletti és föld alatti összesítésben (<i>Jakucs, 1985 után, módosítva</i>)	262
72. ábra: Bioszféra II. project, ökológiai kísérlet	266
73. ábra: Balaton eutrofizációs térképe (1974-2007) (<i>Forrás: Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség</i>)	273
74. ábra: Eutrofizálódás ökológiai hatása (<i>Forrás: http://www.ibela.sulinet.hu/termtud/viz/olajszenny.htm</i>)	273
75. ábra: Közép-európai flóra diverzitásának változási tendenciái (<i>Hüppe, 1990 nyomán; Harrach, 1994</i>)	275
76. ábra: Vörösiszap a talajon <i>Forrás: RTL Klub és Digital Globe Imagery</i>	289
77. ábra: A légkör felső határára és a Föld felszínére érkező sugárzás spektruma (<i>Balázs és mtsai. 2004</i>)	294
78. ábra: Görgényi kőgombák - Erdély. (<i>Fotó: trekkingklub – rejtekhely.ro</i>)	336
79. ábra: Parajdi sószikla - Erdély (<i>Fotó: Kulcsár Zsuzsa</i>)	336
80. ábra: A "Keeling görbe" a légköri CO ₂ -koncentráció hosszú távú mérésének eredménye Mauna Loa Obszervatórium (<i>Keeling et al.</i>)	362
81. ábra: Bizonyíték a globális felmelegedésre ☺	363
82. ábra: A kén körforgása a környezet biotikus és abiotikus összetevői között	375
83. ábra: Jégvihar Királyhegyes és Mezőhegyes térségében 2010 <i>Fotó: Engi László, www.falconprojekt.hu</i>	381
84. ábra: Delelő gulya (<i>Magyar Néprajzi Lexikon</i>)	398

1. Fogalomtár

!Kung	A busmanok nem pejoratív elnevezése (a felkiáltójel a busmanok nyelvében gyakori csettintő hangok egyikének jele)
3 fázisú polidiszperz rendszer	A talaj részecskék laza, talajszerkezetet alkotó, pórusos terekkel teli. Ezeket a pórusokat a talajoldat (folyadék) és talajlevegő (gáz) tartalmazza. Ennek megfelelően a talajt háromfázisú polidiszperz rendszernek nevezik.
abiotikus tényezők	Az élő szervezetekre az élettelen környezet részéről ható tényezők, amelyek az élő környezet tényezőivel (biotikus tényezők) együtt alkotják a környezeti tényezőket. Általában minden élőlényre hasonló mechanizmussal ható feltételek, mint pl: a fény, a hőmérséklet, a levegő, a víz, a szél, illetve adott fajokra és ökoszisztémákra ható környezeti feltételek, mint a talaj, a domborzati viszonyok
Abraham Maslow (1908-1970)	a XX. század nagy amerikai pszichológusa, aki 1968-ban az Amerikai Pszichológiai Társaság (American Psychological Association) elnöke lett.
aerob	olyan szervezet, amely csak oxigén jelenlétében képes élni és szaporodni
aerob cellulózbontók	(gram pozitív baktériumok) Olyan mikroorganizmusok, melyek oxigén jelenlétében enzimek hatására (celluláz, cellobiáz) a cellulózt glükózzá bontják.
aggregátum szféra	Talajban lévő közeg, mely olyan elemek halmaza, amelyek egymással érintkeznek, de nincsenek szerves kapcsolatban.
agrárökoszisztéma	Mezőgazdaságira, földművelésre vonatkozó környezetbiológiai rendszer. A mezőgazdasági szakirodalomban egy halastavat, egy gyümölcsöst, egy erdőt, egy legelőt, egy növényekkel bevetett táblát, sőt esetenként egy állattenyésztő telepet is agrár-ökoszisztémának neveznek.
aktív napenergia hasznosítás	Az aktív napenergia hasznosítás során aktív hasznosító eszközökkel alakítjuk át a Nap energiáját végenergiává.
albedo	eredeti latin jelentése: fehérség. A tárgyra érkező látható fény és a tárgyról visszaverődött látható fény mennyiségének százalékos arányát értjük alatta. A 100% albedójú test a rá eső fényt teljes egészében visszaveri, a 0%-os albedójú pedig mindent elnyel, ún. abszolút fekete test. Bolygónk átlagos albedója 39%, a havas felszíné 80-90%, a füves területeké 20-30%, az erdőké 5-10%.
algák	Az algák, vagy moszatok, különböző fotoszintézisre képes, nagy vonalakban hasonlóan mondható élőlények gyűjtőneve – nem rendszertani kategória. Többségükben eukarióták, ez alól kivételt képeznek a cianobaktériumok. Az algák többsejtű szerveződése a hínár.
alvíz	A vízerőműtől a folyásirányban lévő folyószakasz.
ammonifikáció	Amikor egy növény vagy állat meghal szerves nitrogén kerül a talajba. Baktériumok vagy néhány esetben gombák ezeket a szerves nitrogén maradványokat alakítják át ammóniumionná.
anabiózis	Egyes élőlények megfordítható élettani állapota; kedvezőtlen körülmények között életműködéseiket a legkevesebbre csökkentve vészlik át a szélsőséges körülményeket. Főként az alacsonyabb

	rendű élőlényekre jellemző alkalmazkodás, valamint a magasabb rendű növények magjára a csírázásig.
anaerob	Csak oxigén hiányában életképes
antropogén hatás	Az ember jelenléte és tevékenysége által a környezet változását előidéző hatás.
asszimiláció	Az a folyamat, amelynek során az élő szervezetek a környezetükből felvett anyagokból saját testük anyagait felépítik.
axiális átömlésű turbina	Az áramló víz tengelyirányban áramlik keresztül a járókeréken.
balneológia	A balneológia a gyógyforrásoknak, gyógyvizeknek a gyógyfürdői alkalmazásával és hatásaival foglalkozó tudomány.
biocönózis	Egyed feletti szerveződési szint; ugyanazon az élőhelyen egyidőben együtt élő populációk kapcsolatrendszere.
biodiverzitás	Biológiai sokféleség. Az élőlények, ökoszisztémák öröklött változatosságát jelenti.
biofungicidek	(mikróba) Olyan trichoderma (gomba törzsek), amelyek biofungicidként élősködők ellen használható.
biológiai produkció	Az ökológiai rendszerben végbemenő szervesanyag termelés. (elsődleges biológiai produkció □ növények)
biomassza	Biológiai eredetű szervesanyag-tömeg, egy biocönózisban vagy biomban, a szárazföldön és vízben található élő és nemrég elhalt szervezetek (növények, állatok, mikroorganizmusok) testtömege.
biotrágya	Olyan természetes készítmény, amely olyan mikroorganizmusokat tartalmaz, melyek fontosak a talajéletben és a növények tápanyagellátásában.
busman	Afrika déli részén élő természeti nép; gyakori elnevezésük még: San, Kung
CAM	A varjúhájfélék (Crassulaceae) családjára jellemző anyagcsereút (Crassulacean Acid Metabolism)
cellulzbontó szervezetek	A cellulózbontó baktériumok szállítják az azotobakter számára a cellulózszármazékokat. Ha ezek a bontási termékek felhalmozódnának a talajban, akkor a cellulózbontók károsodnának tőle. Szerves savak okoznák a károsodást, melyek akadályozzák a cellulózbontók anyagcseréjét, azonban az azotobakter ezeket a szerves savakat lebontja széndioxidra és vízre.
COP („coefficient of performance”) cukorbetegség	A leadott termikus teljesítmény és a felvett elektromos teljesítmény hányadosa. A cukorbetegség (diabetes mellitus, diabétesz) a szőlőcukor (glükóz) feldolgozási zavara, melynek oka vagy a hasnyálmirigy által termelt inzulin hiánya, vagy a szervezet sejtjeinek inzulinnal szembeni érzéketlensége (inzulinrezisztencia), vagy mindkettő.
cukornád	a pázsitfűfélék (Poaceae vagy Gramineae) családjának gazdaságilag igen jelentős tagja. Fajai trópusi-szubtrópusi elterjedésűek, cukortartalmukért már az ókorban is termesztették őket.
csőkollektor	A Nap energiáját elnyelő elemként cső (abszorber) felhasználásával készített napkollektor.
D. C. Korten (1937 -)	amerikai közgazdász, a Harvard Egyetem korábbi professzora. Művei közül magyarul is olvasható a Tőkés társaságok világuralma és a Gyilkos vagy humánus gazdaság?
denitrifikáció	A denitrifikáció a nitrátok redukciója inert nitrogén gázzá. és ezzel

	befejezőik a nitrogén körforgalom. Ezt a baktériumok anaerob körülmények között hajtják végre. A nitrátot elektron akzeptorként használják fel oxigén helyett légzés közben. Ezek a baktériumok aerob körülmények között is élhetnek.
Desmond Morris	brit zoológus, etológus, antropológus, szürrealista festő, számos népszerű könyv szerzője, amelyek közül magyarul is megjelent pl. A csupasz majom, A csupasz nő, Az állati jogok szerződése, A boldogság természete.
detritusz-szféra	Gilisztajáratok
direkt elpárologtatós hőszivattyú	Olyan hőszivattyú, amikor a talajban elhelyezett csőrendszer maga az elpárologtató, és a csővezetékekben nem közvetítő közeget (vizet, sóoldatot, glikolos oldatot) keringtetünk, hanem a hűtőközeget, amelyet a hőszivattyú kompresszora keringtet.
disszimiláció	fiziológiai fogalom, az a folyamat, mikor az élő szervezet energianyerés céljából a nagyobb molekulájú vegyületeket kisebb molekulájú vegyületekre bontja le.
driloszféra	avartakaró, élő és lebomlott növényi és állati maradványok helye.
edafon	A talajban élő szervezetek összefoglaló neve.
édesburgonya	A szulákfélék (Convolvulaceae) családjába tartozó kétszikű, élő növény, amely a trópusi Amerikából származik, de trópusi-szubtrópusi országokban mindenütt termesztik. Gumószerűen megvastagodott gyökére szénhidrátban és béta-karotinban, sőt, még C-vitaminban is gazdag, emellett viszonylag sok (1,5-2 g/100 g) fehérje is található benne. Délkelet-Ázsiában zsenge leveleit, hajtásait is fogyasztják.
elektromos hőszivattyú	Amennyiben a kompresszort elektromos motor hajtja, elektromos hőszivattyúról beszélünk.
esésmagasság	A turbinán átáramló folyadék energiájának az a része, amely a turbina tengelyén levehető (hasznosítható) mechanikai munkává alakul át.
éter	Az éterek olyan oxigéntartalmú szerves vegyületek, melyek molekuláiban található olyan oxigénatom, mely egy-egy kovalens kötással két szénatomhoz (szénhidrogénsoport) kapcsolódik.
eutrofizálódás	A vizek tápanyagokban, főként nitrogén- és foszforvegyületekben való gazdagodása, aminek következtében a vízben élő növények gyorsan szaporodnak és az általuk előállított, felhalmozott szervesanyag-tömeget a heterotróf szervezetek nem képesek felhasználni.
FAO	Az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
félaxiális átömlésű turbina	Az áramló víz félaxiális irányban áramlik keresztül a járókeréken.
felvíz	A duzzasztott folyószakasz.
forró foltok (hotspotok)	A földmag és földképeny határán születő pozitív hőanomália miatt kialakuló hengerszimmetrikusan felszín felé irányuló koncentrált hőkéimenyek.
földhő	A földkéreg belső energiája
funkcionális diverzitás	Fajkombinációk sokfélesége, táplálkozási szintek, guildok számának sokfélesége, mely növeli a társulások alkalmazkodó képességét, stabilitását.

fűtési hőszivattyú	Ha a nagyobb hőmérséklet szinten lévő leadott energiát tekintjük a hasznos energiának.
geotermikus energia	A Föld belsejében termelődő és tárolódó hő, amely energetikai céllal hasznosítható.
geotermikus erőmű	A geotermikus erőmű a föld mélyebb rétegeiben található magas hőmérsékletű és nyomású víz energiáját alakítják át villamos energiává.
geotermikus gradiens	Az egységnyi mélységváltozásra jutó hőmérséklet növekedés.
geotermikus hőáram-sűrűség	A földkéreg egységnyi felületén átáramló hőmennyiség.
geotermikus mélységlépcső	1 0C hőmérséklet emelkedés eléréséhez tartozó mélységnövekedés.
gyep	Évelő fűfélékkel és herefélékkel egyenletesen benőtt terület. Ha termését legeltetik, akkor legelő, ha kaszálják, akkor kaszáló a neve.
hektár	100 m x 100 m-es földrészlet területe, 10 000 m ²
hifa	Gombafonal; a gombák tenyészőtestét felépítő, fehéres színű, hajszálvékony, elágazó fonal.
hő-szennyezés	Részben a levegőbe (többnyire a füstgázok révén), részben (hűtési rendszer kialakításától függően) az élővizekbe kerülő környezetbe bocsátott hő.
hőszivattyú	A hőszivattyú olyan berendezés, amely arra szolgál, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű környezetből hőt vonjon ki és azt magasabb hőmérsékletű térben a környezetnek átadja.
hulladék-hő	A technológiákból veszteség formájában a környezetbe távozó hő.
hulladék-hő mutató	Az egységnyi hasznosított hőre jutó hulladék-hő mennyiség.
humánökológia	Biológiai diszciplína, a szünantropológia része. A szünantropológia a humánbiológia szupraindividuális aspektusait vizsgálja, tehát az emberi populációkkal foglalkozik. A feladata az emberi populációkon tapasztalt jelenségek okainak vizsgálata. (Gallé 2010)
humifikáció	A talajba került növényi részek szerves anyagának elbomlása és a bomlástermékek átalakulása sötét kolloid humuszanyagokká.
humusz	a talajba lévő szerves maradványok
hűtési hőszivattyú	Ha a kis hőmérséklet szinten történő hőelvonást tekintjük a hasznos energiának.
IBP	International Biological Program. Nagyszabású kutatási program (1964-74), amely megalapozta az ökoszisztéma ökológiát. Számos módszertani eredmény és a rendszerelemzés módszerének ökológiában való meghonosítása fűződik a programhoz.
in vitro	Egy kísérleti technika, amikor a kísérleti folyamat az élő szervezeten kívül történik, alaboratóriumban (kémcsőben, Petri-csészében)
in vivo	Ellentétben az in vitro módszerrel, itt a kísérleti eljárást az élő szervezetben végzik el.
infravörös sugárzás	Az elektromágneses sugárzásnak az 780 nm- 1 mm hullámhosszúságú tartományát infravörös sugárzásnak nevezzük.
inverter	A napelem egyenáramát váltakozó árammá átalakító eszköz.
jamsz	más néven kenyérgyökér vagy kínai burgonya (Dioscora batatas), Kelet-Ázsiában több rokonát is termesztik. A mérsékelt égöv melegebb éghajlatú vidékein is megtalálható, de főként a trópusokon terjedt el, ahol élelmezési szempontból a burgonyát helyettesíti.
járókerék	A vízturbinák közös jellemzője a lapátkoszorúval ellátott forgó

	kerék, melynek lapátjai között áramlik megszakítás nélkül az energiahordozó víz.
jellegpolarizáció	Egy helyen élő, méret szerinti megoszlást mutató forrásért versengő populációk között olyan niche szegregáció alakul ki a forrás méret szerinti felosztásával és ez specializáció evolúciósan állandósul.
jellemző fordulatszám	Annak a geometriailag tökéletesen hasonló járókeréknek a fordulatszáma, amelynek 1 m esésmagasság esetében 1 kW a hasznos teljesítménye.
kemolitróf	Azok az alacsonyabb rendű, főleg a mikroorganizmusok csoportjába tartozó élőlények, amelyek a testük felépítéséhez szükséges szén szervesetlen vegyületekből, a bioszintézishez szükséges energiát kémiai energiából, általában szervesetlen vegyületek oxidációjával nyerik.
kigőzölögtető erőmű	Forróvíz formájában rendelkezésre álló geotermikus energia hasznosítására szolgáló nyitott körfolyamatú gőzerőmű.
kilúgozás	Oldható alkotórészek eltávolítása szilárd keverékekből valamilyen oldószer segítségével.
kollektor hatásfoka	A hőhordozó közegnek átadott hőteljesítmény osztva az A felületű napkollektorra eső nap sugárzási energiájával.
kommenzalizmus	Két szervezet között fennálló kapcsolat, amiben az egyik fél számára a kapcsolat előnyös, de a másik fél számára semleges (se előnye se hátránya nem származik belőle). pl.: szaprofiták
környezet	Az ökológiai környezet fogalmát mindig adott objektumra (pl. egy populációra, egy közösségre) vonatkoztatjuk. A külvilág azon elemeinek halmaza, amelyek objektumra ténylegesen és közvetlenül hatnak.
közvetett termálvíz hasznosítás	A termálvíz a hő-hasznosításban mint primer közeg szerepel és hőcserélő közbeiktatásával megfelelően kezelt szekunder közeg szállítja a hőt a fogyasztóhoz.
közvetlen termálvíz hasznosítás	A kedvező fizikai és kémiai tulajdonsággal rendelkező termálvízzel közvetlenül fűthetjük az épületeket és elláthatjuk a használati melegvizet berendezési tárgyakat.
látható fény	Az elektromágneses sugárzásnak az ember számára látható 380-780 nm hullámhosszúságú tartományát (látható) fénynek nevezzük.
levegőkapacitás	A talajrézecskek közötti hézagokat részben víz, részben levegő tölti ki. Igen jellemző a talajokra, mert ettől függ, hogy a növények gyökere elég levegőhöz jut-e a talajban. Ha a minimális levegőkapacitás igen kicsi, amellet a nedvesség túl bő, akkor a növények gyökerei megfulladnak.
A levegőkapacitás nagysága a talaj mechanikai összetételétől és szerkezetétől függ. makrofauna	A macrofauna minimum egy milliméteres hosszúságú, bentikus vagy talajlakók csoportja.
mezofauna	A mezofauna olyan makroszkópikus talajlakó gerinctelenek csoportja, mint például az ízeltlábúak, a földigiliszták és a nematodák.
mikorrhiza	A mikorrhiza a gombák és a növények között kialakult szimbiózis

	(mutualizmus) egyik formája. Nevezik gyökérkapcsoltságnak is. A gomba micéliumából kiinduló gombafonalak (a hifák) behálózzák a gazdanövény gyökereit, a kétféle élőlény kölcsönösen segíti egymás tápanyaghoz jutását.
mikrofauna	A talaj mikroszkópikus méretű állatfajainak összessége. Pl: protozoák, rotiférák.
mineralizáció	Ásványosodás; a talajba jutott szerves anyagok lebomlása egyszerűbb vegyületekké.
mítosz	a vallástörténet világában használt, a görög mütosz (elmondás, elbeszélés) görög szóból származó fogalom, amely az emberi kultúra igen ősi, az istenek és héroszok világáról, a világ keletkezéséről és lényegéről, az emberi civilizáció gyökereiről beszámoló orális, később gyakran írásban is lejegyzett, valamennyi nép hagyományában felbukkanó történetet jelöl (forrás: Magyar Virtuális Enciklopédia).
monokultúra	Adott ideig, egyetlen növényfaj termesztése egy meghatározott területen.
napelem	Olyan szilárdtest eszközök, amelyek a fénysugárzás energiáját közvetlenül egyenáramú elektromos energiává alakítják át.
napelem hatásfoka	A napelem által generált villamos teljesítmény osztva a beeső fény teljesítményével.
naphőerőmű	A napenergiát villamos energiává a hagyományos hőerőművek termodinamikai körfolyamatok szerint történő napenergia-hőenergia-mechanikai energia-villamos energia átalakítás útját követő erőmű.
napkémény	A lefedett térben a napsugárzás következtében kialakuló kéményhatás következtében a felmelegedett levegő nagy sebességgel felfelé áramolva a kéményben elhelyezett szélturbinákat meghajtva termeli az áramot.
napkollektoros rendszer	A Nap energiáját közvetítő közeg segítségével hőenergiává alakító berendezés, amely hőenergiát épületgépészeti eszközökkel hasznosítunk.
niche	Egy populáció környezetének elemei mint koordinátatengelyek által meghatározott absztrakt (n-dimenziós) hipertérben a populáció tolerancia- és preferenciaviszonyait reprezentáló ponteloszlás.
nitrifikáció	nitrogén tartalmú vegyületek keletkezése a talajbaktériumok hatására, az ammónia nitritté majd nitráttá bontása
nyitott geotermikus rendszer	A termálvíz a termelő kútból való kivétel majd hasznosítás után közvetlenül a víztárolóba, vagy közvetlenül elvezető csatornába kerül.
obligát aerob	Az obligát aerob egy olyan aerob szervezet melynek oxigénre van szüksége a növekedéshez. A sejtes lélegzésen keresztül ezek a szervezetek oxigént használnak hogy oxidálják az olyan anyagokat mint például a cukor vagy a zsír, hogy energiához jussanak. lélegzés alatt az oxigént elektron akceptorként használják fel.
opioidok	természetes, felszintetikus és szintetikus vegyületek, amelyek a morfinhoz hasonlóan a szervezet opioid receptoraira hatnak
ökológia	Olyan szünbiológiai tudomány, amely azt vizsgálja, hogy melyek a növények, állatok és mikroorganizmusok egyed feletti szerveződési szintjeire ható kényszerfeltételek, és ezek a feltételek – beleértve az emberi hatásokat is – hogyan határozzák meg térbeli eloszlásukat,

	viselkedésüket, működésüket.
ökológiai lábnyom	Az a terület, amely hosszú távon is fenntartható módon meg tudja termelni a megélhetésünkhöz szükséges élelmet, energiát és egyéb javakat, ugyanakkor semlegesíteni tudja – azaz a körforgásba vissza tudja vinni - az általunk előállított szennyező anyagokat, pl. a kommunális és ipari szennyvizeket, a kilélegzett és a kéményeken kibocsátott szén-dioxidot, a termelt hulladékot stb. Nagyságát általában egy főre vetítve, globális hektárban adják meg (a globális hektár egy átlagos termőképességgel rendelkező terület egy hektáros szelete; a magyar földek az átlagnál termékenyebbek, ezért egy hektárnyi magyar terület termőképessége kb. kétszerese a globális hektárnak). A magyarok ökológiai lábnyoma átlagosan kb. 3,5-4 globális ha/fő.
ökoszisztéma	Ökológiai rendszer, egy meghatározott életteret (biotópot) betelepítő szervezeteket (életközösségeket) és az élettér élettelen tényezőinek összességét jelenti.
paradigma	általánosan elfogadott nézetek, vélekedések összessége.
parazitizmus	Két különböző fejlettségű szervezetnek olyan kapcsolata, amikor az élősködő a rendszerint a magasabb rendű gazda szervezetének kárára van.
passzív ház	Az olyan épület, amelyben a fűtési hőszükséglet 15 kWh/(m ² év)-re, a primerenergia-felhasználás, beleértve a használati melegvíz előállítását és a háztartási áramot is, pedig 120 kWh/(m ² év)-re korlátozódik.
passzív napenergia hasznosítás	Az épületek közvetlenül hasznosítják a Nap energiáját, amit építészeti eszközökkel tudatosan befolyásolunk.
pigment	pigmenten általában finomra porított, színes, szilárd szemcséket értünk, amelyek festékek alkotórészei
populáció	A populáció az egyedfeletti szerveződés szerkezeti és működési alapegysége. Legtöbbször egy időben, egy helyen együtt élő, egy fajba tartozó egyedek halmazát értik populáció alatt (faji minősítésű populáció). A populációdinamikai, populációgenetikai vizsgálatok esetén szükséges, hogy a populáció egyedei tényleges szaporodási közösséget alkossanak (mendeli populáció). Az általános szűnbiológiai értelemben vett populáció mindig relatív, az adott vizsgálat céljaitól és feltételeitől függ. Ennek megfelelő definíció Juhász-Nagy (1986) meghatározása: a populáció valamely szempont alapján összerendelt élőlények halmaza adott tér-idő intervallumban.
producens (primer)	Szervetlen anyagból szerves anyagot előállító élőlények, szervezetek. Elsődleges termelők. Általában fotolitoautotrófok vagy kemilautotrófok lehetnek.
progresszivizmus	hit abban, hogy az idő múlásával a civilizált emberek élete egyre jobbá válik
prokarióta	olyan egysejtű szervezetek, melyek nem rendelkeznek sejtmaggal
radiális átömlésű turbina	Az áramló víz sugárirányban áramlik keresztül a járókeréken.
reakciós turbina	Olyan turbina, amelynek járókerekén való energiaátalakulás során nyomásenergia-változás is történik.
relief/ domborzat	Domborzat, a földfelszín egyenetlenségeinek, vagyis a felszíni formáknak a nemzetközi földrajzi neve.

rhizobiumok	Rhizobium a pillangós növények gyökérgumóiban élő és a levegő szabad nitrogénjét megkötő baktérium nemzetség.
rhizoplán	A gyökér közvetlen felületén kialakult nyálkaréteg. Feladata kapcsolatteremtés a tápanyagáramlás számára, illetve védelem a szárazság és a mikroorganizmusok ellen.
rhizoszféra	A növényi gyökerekhez közel található talaj, melyet a gyökérzet befolyásol. Mikrobiológiai szempontból a talaj legaktívabb része.
rhizoszféra effektus	A növényi gyökér hatása az ott élő mikroorganizmusokra. Lehet pozitív és negatív, ha a gyökér kémiai környezetként pozitív illetve negatív hatású a mikrobákra.
Richard Dawkins	Clinton Richard Dawkins brit etológus, evolúcióbiológus, számos tudományos ismeretterjesztő könyv szerzője, a Royal Society – a legrégebbi angol tudományos társulat, az angol tudományos akadémia - tagja. Szélesebb körben az 1976-ban megjelent The Selfish Gene (Az önző gén) című műve tette ismertté, amelyet később olyan magyarul is megjelent, kiváló könyvei követtek, mint A vak órásmester, a Folyam az édenkertből, A legnagyobb mutatóvány vagy a világszerte heves vitákat kiváltó az Isteni téveszme.
síkkollektor	A Nap energiáját elnyelő elemként síklemez (abszorber) felhasználásával készített napkollektor.
sugárzási konstans	Az az energiamennyiség, ami a földi légkör felszínének egy a napsugárzás irányára merőlegesen felvett négyzetméterére esik.
szabadsugár turbina	Olyan turbina, amelynek járókereken való energiaátalakulás során nyomásenergia-változás nem történik.
szárazgőz erőmű	száraz gőz formájában rendelkezésre álló geotermikus energia hasznosítására szolgáló nyitott körfolyamatú gőzerőmű.
szelet technológia	A napelemet kristályos szilícium lemezből készítő technológia
szerves Rankine körfolyamat	A hagyományos vízgőz-körfolyamathoz hasonló olyan körfolyamat, amelyben egyedül a turbinát meghajtó munkaközeg eltérő (ami ammónia, vagy nagy molekuláris tömegű szerves fluidum lehet).
szimbiózis	A szimbiózis két vagy több különböző faj (általában egymásra tált) szoros együttélése. A szimbiózisban mindkét fél kölcsönös előnyökhöz jut.
szinergizmus	Két vagy több anyag olyan kölcsönhatása, amelyben egymás hatását erősítik.
szukcesszió	Az ökológiában szukcesszióknak a növénytársulások fokozatos, egy irányba mutató fejlődését nevezzük.
szulfurikáció	kén mikrobiológiai oxidációja melyet baktériumok végeznek. Energia igényük kielégítésére kénhidrogén, ként vagy tioszulfátot oxidálnak szulfátokká
szünbiológia (=ecology)	Az egyedfeletti szerveződési szintekkel foglalkozó biológiai tudomány, amely arra a kérdésre keres választ, hogy az élőlények, hol, milyen mennyiségben helyezkednek el, és miért.
szünfenobiológia	A szünbiológiai tudomány, amely az élő természet jelenségeinek leírásával foglalkozik.
tájökológia	A táj léptékében jelentkező szupraindividuális jelenségek háttérmechanizmusait vizsgáló tudomány. (Gallé 2010)
talajjavítás	Talajjavításkor a talaj fizikai-, kémiai- és biológiai tulajdonságainak kedvező irányú befolyására törekszenek.
talajművelés	A talaj fizikai állapotának mezőgazdasági géppel/ technológiával

	történő kedvező megváltoztatása.
talphőmérséklet tápelemek	A kitermelő kutak talpmélységében mérhető hőmérséklet Növényi tápelemnek nevezünk minden olyan kémiai elemet, melyek a növényi élethez (növekedéshez, fejlődéshez) szükségesek és más kémiai elemmel nem helyettesíthetők.
táró	A tárót (<i>Colocasia antiquorum</i>) évezredek óta termesztik a trópusi Ázsiában, ahol pl. Polinéziában napjainkban is alapvető élelmiszernek számít. Gumószerűen megvastagodott föld alatti része keményítőt, cukrot és fehérjét is nagy mennyiségben tartalmaz. Oxálsavtartalma miatt főzést igényel.
tengelyteljesítmény termálvíz	A turbina tengelyéről levehető hasznos teljesítmény. Termálvíz vagy hévíz az a rétegvíz, amelynek hőmérséklete meghaladja a 30 °C-ot
trágyázás	A növények tápanyagellátását a magasabb termékenység elérésének érdekében a mezőgazdaság trágyázással pótolja.
turbina hatásfoka	A turbina tengelyteljesítményét elosztva a turbinára érkező folyadék összteljesítményével.
ultraibolya (UV) sugárzás	Az elektromágneses sugárzásnak az 200-380 nm hullámhosszúságú tartományát ultraibolya sugárzásnak nevezzük.
vékonyréteg technológia vetésváltás	A nagyon olcsó hordozóanyagra vékony rétegben (néhány μm) félvezető anyagot felhordó napelem készítmény technológia. Bizonyos területen, különböző ciklusokban, felváltva más-más növények termesztése.
vezetőlapát	A reakciós turbinán átáramló folyadék mennyiségének a szabályozására szolgáló, a járókerék előtt elhelyezett lapátrendszer.
vezikuláris- arbuszkuláris mikorrhiza	Leggyakoribb szimbiota kapcsolat a gombák és a növények között. Lényegét tekintve endomikorrhiza, mert a gomba a gyökérsejtekben intracellulárisan növekszik. A behatoló hifák a növényi sejtekben hurkokat, vagy hólyagszerű vezikulumokat és gazdagon villásan elágazó arbuszkulumokat hoznak létre.
vízenergia vízerőmű	A földfelszínen áramló víz mozgási és helyzeti energiája. A folyók, tavak, tengerek vízenergiáját hasznosító, és azt elektromos energia formájában a nagyfeszültségű hálózatba tápláló műszaki létesítmény.
víz-turbina	A víz-turbina olyan áramlástechnikai gép, melynek járókereken folytonosan áramló víz energiájának egy része mechanikai energiává alakul át.
xerofita	Xerofiták, a szárazsághoz alkalmazkodott, a száraz termőhelyet kedvelő növények, egyben többnyire az erős napsütéshez és a nagy felmelegedéshez is alkalmazkodtak. Részben pozsgás, azaz húsos, leves. vizet raktározó növények, részben a kiszáradás és felmelegedés ellen más, úgynevezett xerofita-berendezésekkel, védekeznek.
zárt geotermikus rendszer	Ha a felhasznált termálvizet visszasajtoljuk a vízáadó rétegbe zárt geotermikus rendszerről beszélünk.

2. A talaj szerepe a környezeti elemek rendszerében. (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A talaj egy sajátos természeti képződmény, mely a litoszféra, hidroszféra, bioszféra és troposzféra határán helyezkedik el, működésében azokkal szoros kapcsolatot mutat. Dinamikus rendszer, mely fizikai, kémiai és biológiai kölcsönhatások színtere. Jelentősége multifunkcionális tulajdonságában rejlik – a növények és részben az állatok élőhelye; hő-, víz-növényi tápanyagforrás és raktár; detoxikáló, puffer- és szűrőrendszer; feltételelesen megújuló energiaforrás, a világörökség része. Földünk talajtérképe igen nagyfokú mozaikosságot mutat, hiszen a talaj, mint fontos tájökológiai alrendszer szoros funkcionális és szerkezeti kapcsolatban áll a többi alrendszerrel, így bármely alrendszernek a megváltozása közvetlen hatással van a talajtakaróra is (Keveiné, 1998).

Várallyay György megfogalmazásában a talaj egy háromfázisú, négydimenziós, heterogén polidiszperz rendszer. Ebben a bonyolult rendszerben két egymással összefüggő és egymást kiegészítő alrendszer különül el egymástól: egy biotikus alrendszer, amely az élőszervezeteket foglalja magába és egy abiotikus alrendszer, amely az élettelen anyagok összessége (Filep, 1999) (**1. ábra**). Legfontosabb tulajdonságának a termékenysége tekinthető, amelyet a talaj humusztartalma biztosít. A talaj-élőlény rendszer fő és sok esetben az egyetlen forrása a tápanyagoknak, nyersanyagoknak, amelyek fontosak és nélkülözhetetlenek az emberiség számára.

A talaj az exogén hatásokkal szemben egyensúlyra törekvő dinamikus rendszer. Az egyik természetes funkciója az egyes anyagok megkötése, lebontása és átalakítása (Keveiné, 1998). Ezt a tulajdonságát az ember is kihasználja, amikor a saját hulladékát, szennyvizét és esetenként vegyi anyagokat is a talajban helyezi el. A talaj korlátozottan áll rendelkezésre, termőterületeink területi kiterjedése rohamosan zsugorodik. Hatalmas értékű talajfelületeket használunk fel évente ipari, települési, úthálózati célokra. A nem megfelelő talajhasználat és agrotechnika (művelés, trágyázás, növényvédelem) erózióhoz, talajpusztuláshoz vagy szennyezéshez vezethet. Az antropogén hatások, és a talajműködést befolyásoló környezeti tényezők a talaj egyensúlyának felborulásához, a termőképesség fokozatos kimerüléséhez vezethet (Tardy et al, 2005). Regenerálódása hosszú éveket, évszázadokat vehet igénybe, hiszen lassú fizikai, kémiai és biológiai természeti folyamatok hozzák létre a termőföldet. A talaj tehát a levegőhöz és vízhez hasonlóan védelmet igényel! Hazánkban a talaj törvényi védelem alatt áll, mégpedig a talaj természetének megfelelően kettős védelem alatt: a környezetvédelmi és a természetvédelmi törvénykezés a természeti környezet más elemeivel együtt védi a talajt.

Az **1994. évi LV. törvény a termőföldről** megállapítja, hogy a talajvédelem célja a termőföld termékenységének és **minőségének megóvása**, fizikai, kémiai és biológiai romlásának megelőzése, illetőleg elhárítása. A talaj védelme **az állam és a földhasználó**, illetve a beruházó és üzemeltető közös feladata. A talajvédelmet közvetlenül **a földhasználó valósítja meg**. A Földtörvény megkülönbözteti a termőföld mennyiségi (*földvédelem*) és minőségi (*talajvédelem*) védelmét.

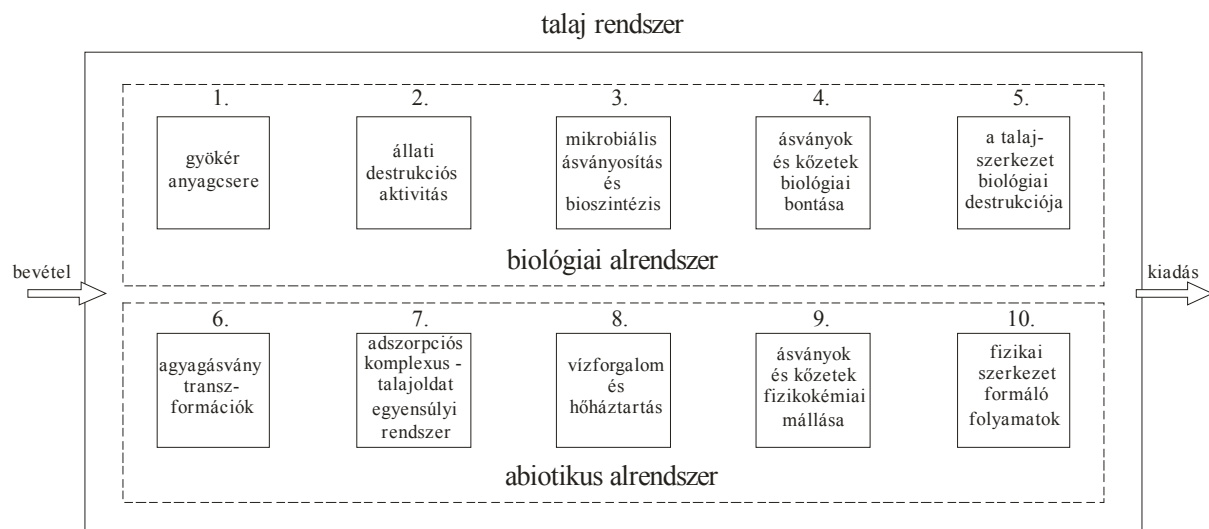
A törvény értelmében a **földhasználó köteles** a termőhely ökológiai adottságaihoz igazodva a földhasznosítás, a természetvédelmi és talajvédelmi beavatkozások összehangolásán alapuló olyan **talajvédő gazdálkodást** folytatni, amely a külön jogszabályokban meghatározott természetvédelmi, környezetvédelmi, vízvédelmi, közegészségügyi és állategészségügyi követelményeket is figyelembe veszi. Földhasználó kötelessége továbbá a gondjaira bízott területen a talajszennyezés megakadályozása, valamint pl. beruházások, üzemeltetés ill. a termőföld más célú felhasználása esetén a termőréteg megmentése.

Állam feladatai:

- talajok minőség szerinti nyilvántartása
- a talaj minőségi változásainak nyomon követése, mely célból információs monitoring rendszert működtet (TIM 1992-)
- talajvédelemmel kapcsolatos engedélyezési és hatósági feladatok ellátása, bírságolás
- fejlesztési tevékenység szervezése (környezetkímélő, új technológiák támogatása – pályázati rendszer)

Az 1995. évi LIII. Környezetvédelmi törvény (1995. évi LIII. Törvény a környezet védelmének általános szabályairól) célja a környezet elemeinek és folyamatainak védelme, a fenntartható fejlődés környezeti feltételeinek biztosítása. A rendelkezés a környezeti elem fogalmába sorolja: föld, víz, levegő, élővilág, ember által létrehozott épített környezet. A törvény fontos megállapításokat tesz a talajvédelemmel kapcsolatban is, melyek többek között az Előzetes Környezeti hatástanulmány és a Részletes Környezeti Hatástanulmány tartalmi vonatkozásainál jelenik meg. Talajtani szempontból az EKHT és az RKHT az alábbi információkat kell, hogy tartalmazza:

- A terület igénybevétele és a területhasználat megváltozásának adatait
- A talaj jellemzése multifunkcionális tulajdonságai alapján
- Tevékenységből származó talajszennyezés feltárása, megszüntetése, kármentesítés lehetőségei
- Prioritási intézkedési tervek
- Remediációs megoldások ismertetése.



1. ábra: A talaj, mint nyílt rendszer és alrendszerei (forrás: Szabó I. nyomán, 2008)

3. Talajaink értékelése a XXI. században: Talajminősítés, földértékelés (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A termőföld – a mező- és erdőgazdálkodás területein – olyan anyag- és energiarendszer, amelynek formája, keretei a talajtól, az éghajlattól és hidrológiai ciklusoktól, értéke, minősége pedig az elért, vagy elérhető terméshozamoktól függ (Dömsödi, 2006).

Egy jó talajértékelési-rendszer kritériumai a következők: egyszerű, hatékony, használható és érthető legyen. Az ország legkülönbözőbb és az egymástól legtávolabb fekvő összes talajféleségéről, azaz mezőgazdasági termőhelyről egy egységes állapotképet adjon, ami lehetővé teszi a különböző termőhelyi adottságú és különböző fajtájú agrártermelésre használt területek objektív összehasonlítását. A talajértékelési rendszerrel szemben fontos elvárás az is, hogy a területek lehető legtöbb paraméterének a figyelembevételével hiteles információt szolgáltatasson. Számoljon a területeken fellelhető talajok típusával és sajátásaival, kialakulásukra ható bonyolult összetett folyamatokkal. Számoljon a mezőgazdasági termeléssel összefüggő gazdasági viszonyok helyzetével, s az azt befolyásoló külső és belső környezeti tényezőkkel. Fontos, hogy a mind nagyobb problémát okozó antropogén hatás, a talaj degradáltsági foka is kellő hangsúlyt kapjon az értékelő rendszerben (Kocsis, 2006).

A talajtani tudomány fejlődése és a földértékelés mindenkor szoros kapcsolatban állt. A fejlődés több vonalon párhuzamosan ment végbe, alapját a talajtani szakemberek által végzett talajtérképezés, a természetföldrajzban kibontakozott komplex táj kutatás és a közvetlenül gyakorlati célú tájrendezés eljárásainak tökéletesedése jelentette. A magyarországi termőföldek minőségének nyilvántartására igen korán, még a tudományos igényű talajtérképezés megszületése előtt kísérletet tettek.

3.1. A hazai földértékelési rendszer: az Aranykorona-értékelés

A földnyilvántartás legkorábbi előzménye a II. József elrendelte kataszteri felmérés volt, melynek munkálatai 1786-ban meg is kezdődtek. Az ideiglenes kataszter 6 művelési ágra és 3-5 földminőségi osztályra terjedt ki. Állandó földadókataszter bevezetését Ferenc József rendelte el 1849-ben. Majd a kiegyezés után a magyar mezőgazdaság föllendült, a föld értéke megnövekedett. Most már elkerülhetetlen megadóztatásához minőségének pontos kimutatása szükségessé vált.

A földadó kivetése céljából az 1875/VII. törvénycikk olyan rendszer kidolgozásáról rendelkezett, amely a földminőségét általánosan elfogadható mutatóval jellemzi, és országos kataszter készítését is előírta. Bár kezdetben még forintban fejezte ki a föld kataszteri értékét, később akkori monarchiai pénzegységben „Koronában” adták meg. A pénz értékének romlását követően „búza-egyenérték”-ben, majd 1924-ben „aranykoronában” határozták meg, melyet jelenleg aranykorona-rendszerként ismerünk (Dömsödi J. 1996).

A földadót a következőképpen határozta meg: a koronában kifejezett, kataszteri tiszta jövedelem 20%-a, illetve az 1924.-dik évi módosítás után 25%-a. A kataszteri tiszta jövedelem eredeti értelmezése pedig így hangzott:

„A föld tiszta jövedelmének vétetik a közönséges gazdálkodás mellett tartósan nyerhető középtermésnek értéke, levonván belőle a gazdálkodási rendes költségeket.”

A rendszer bevezetésekor talajtérképek még nem voltak, ezért megvalósításakor a mintateres felmérés módszere mellett döntöttek. Ennek az volt a lényege, hogy mivel a földminőséget a

kataszteri tiszta jövedelem becsléséhez kapcsolták, a felméréshez az országot 12 kataszteri részterületre kellett osztani, azon belül pedig becselőjárásokat kellett kijelölni.

Egy-egy becselőjárás igen különböző méretű területet foglalt magába: a legkisebb egyetlen község határát jelentette, a legnagyobb azonban 51 település mezőgazdasági területe is beletartozott. Átlagos nagyságuk 80 -100 ezer ha volt (Stefanovits, 1999).

A becselőjárásokon belül 7 művelési ágat különböztettek meg: szántót, kertet, rétet, legelőt, szőlőt, erdőt és nádist. Minden becselőjárásban, minden művelési ágra minőségi osztályokat állapítottak meg, számuk legfeljebb 8 lehetett. Ezek mindegyike 1 Kataszteri hold, azaz 1600 bécsi négyszögöl (= 0,5754 ha) területű volt.

Kiválasztásuk a talaj tulajdonságai alapján, de nem tudományos alapon történt. Az akkori szakemberek összesen körülbelül 70 ezer mintatér leírását készítették el, meghatározva a rajtuk elérhető átlagos terméshozamokat. Az átlagos terméshozamok kiszámításakor a szántóterületeken 6 év, szőlő esetében 15, erdőre 25 év, a többi művelési ág tekintetében pedig 10 év értékeit vették figyelembe. Minőségi osztályonként megállapították, hogy átlagos gazdálkodási színvonal és ráfordítások mellett mekkora tiszta jövedelmet lehetett elérni. Megbízható összevetésre csak egyazon becselőjáráson belül volt mód, hiszen országosan még azonos minőségi osztályban is jelentős mértékben szóródtak az aranykorona-értékek (Sipos A. – Szűcs I. 1992).

Például: I. osztályú szántó: 11,10 ak/ha – 62,60 ak/ha;
I. osztályú szőlő: 13,90 ak/ha – 146,00 ak/ha

Ezzel együtt a rendszer a maga korában igen fejlettnak számított, amit az is bizonyít, hogy a természeti viszonyok felmérésén túllépve, még a közgazdasági értékelés bizonyos elemei: a ráfordítások szintje, és a piacokhoz viszonyított fekvés is helyet kaptak benne. Eredeti célja szerint igazságosabbá volt hivatott tenni a föld adóztatását.

Később egyre szélesebb körben alkalmazták: alapja lett a földjáradék megállapításnak, amelyet a termelőségbe bevitt földek után kártérítésként fizettek, kisajátításkor, földcserekor pedig az aranykorona-értékből számították a föld megváltási árát.

A század elején a terméseredmények még elsősorban a föld minőségétől függtek. Azóta az aranykorona-rendszer közgazdasági elemei változatlanok maradtak, annak ellenére, hogy a termelés közgazdasági tényezői jelentősen átalakultak, jelentőségük pedig megnőtt. Az ingatlan-nyilvántartásba mindvégig az eredetileg bejegyzett aranykorona-érték szerepelt, kivéve, ha jelentős aránytalanságra derült fény. Például legalább 2 minőségi vagy legalább 8 ak/ha eltérést észleltek a valóságos értéktől. Az 1990-es években a kárpótlási törvény értelmében a magánosításkor továbbra is aranykoronában kellett megjelölni a földterületek értékét. Ugyanakkor a szakemberek túlnyomó része egyetért abban, hogy ez a rendszer már rég túlhaladottá vált.

A legfőbb érvek a következők:

- ✓ Nem tartalmazza a talajtan tudományos eredményeit, azokra nem alapoz
- ✓ A földek termőképessége (a művelés, a talajerózió- és savanyodás vagy a meliorációs beavatkozások hatására) az ország különböző részein eltérően változott, ezért országos összehasonlításra nincs mód.
- ✓ A művelésmód és a termesztett növényfajták genetikai hozamképessége jelentősen átalakult.
- ✓ Az aranykorona-rendszerben a közgazdasági tényezők elválaszthatatlanul összekapcsolódtak az ökológiaiakkal.
- ✓ A szállítás jelentősége az ártermelés, a szakosodás elterjedésével párhuzamosan megnőtt, a szállítási irányok módosultak. Számos piaci vonzáskörzete kisebb-nagyobb részével együtt a trianoni határ túloldalára került.

- ✓ Nem veszi figyelembe, hogy a városkörnyéki területek földhasználata átrendeződött, annak belterjessége módosult, legtöbbször megnövekedett.

Mindezek ellenére az aranykorona-rendszer felváltására irányuló törekvések, és egy korszerűbb földértékelési rendszer bevezetése mind ez idáig nem jártak sikerrel.

3.2. A „100 pontos” rendszer

Mindezen hiányosságokat kívánja orvosolni a Fórizsné, Máté és Stefanovits által kidolgozott **„100 pontos” rendszer**, mely az Aranykorona-rendszer felváltására kidolgozott, tudományos, talajtani ismeretekre építő módszerként jelent meg az 1970-es években. A rendszer összetevői: talajértékszám + termőhelyi értékszám + közgazdasági tényezők.

A természeti viszonyokat kifejező talajértékszám, valamint termőhelyi értékszám a földértékelésnek csak egyik oldala, a másik pedig a közgazdasági tényezőket kifejező értékszám. Csak e kettő együttesen képes a föld valós értékét egészében kifejezni (Stefanovits et al, 1999).

A talajértékszám érzékelteti a talaj termékenységet, amely 1-től 100-ig terjedő pontértékkel közelíti meg a talajminőségben fennálló különbségeket. Ahhoz azonban, hogy a természeti viszonyok összességének hatása kifejezésre jusson, a talajértéken kívül az éghajlati, a domborzati és a hidrológia viszonyok számba vételére is szükség van. Ezek együttesen a termőhelyi értékszámot adják meg. A talajértékszám meghatározásának célja a talajtermékenységekben fennálló viszonylagos különbségek kifejezése, és pedig azon termékenységi szinten, amelyet a fogatos szántáson és az istállótrágyázáson alapuló növénytermesztés képviselt. Ez az állapot a talajok alaptermékenységének felel meg (Fórizs J.-né, Máté F., Stefanovits P. 1971).

A **különböző termékenységű szintek** értelmezéskor a szakemberek abból indultak ki, hogy ezek az emberi tevékenység különböző mértékű és irányú hatásának eredményeként alakulnak ki, és ennek alapján különböztethetők meg.

A **természetes termékenység** egyrészt a természetes növénytakaró által produkált szervesanyag-tömeget, a biomasszát jelenti, amely kifejezhető g/m^2 -ben egy évre vonatkoztatva, másrészt mezőgazdasági számításokban az ősi növénytakaró felváltása után az első szántóföldi növény által elért termést vagy terméseket (Stefanovits et al, 1999).

Az **alaptermékenység** vetésforgó gazdálkodás keretében, istállótrágyázással mint tápanyag-utánpótlással és sekély vagy közép mély fogatos szántással nyert termeléssel jellemezhető. Ez az állapot jellemezte a talajok termékenységét az 1930-as évekig.

A **Aktuális termékenység** a jelenleg általánosan használt műtrágyaféleségek mindenkor adagjai, a talajviszonyok által megkívánt talajművelés és az esetleges talajjavítás alkalmazásával elért tényleges termések többéves átlaga, mind szárazgazdálkodás esetén, mind pedig öntözött viszonyok között.

Az **optimális termékenység** azt az átlagtermést jelenti, amely az összes gazdaságosan alkalmazható és a területen indokolt melioráció alkalmazásával érhető el.

A **Potenciális termékenység** az a többéves termésátlag, amely jelenlegi ismereteink szerint az adott viszonyok között eredményesen alkalmazható melioratív eljárások összességének bevezetésével érhető el (Stefanovits et al, 1999).

A talajértékszám meghatározásának alapja a talajok altípusa, a végleges talajértékszám kialakításakor pedig az egyes változatok, az egyszerűen mérhető talajtulajdonságok képezik a korrekciók alapját. Az altípus szerint szabják meg a talajpont érték alsó illetve felső határát, a változati tulajdonságok viszont pontok alapján módosítják a pontértéket (Stefanovits et al, 1999).

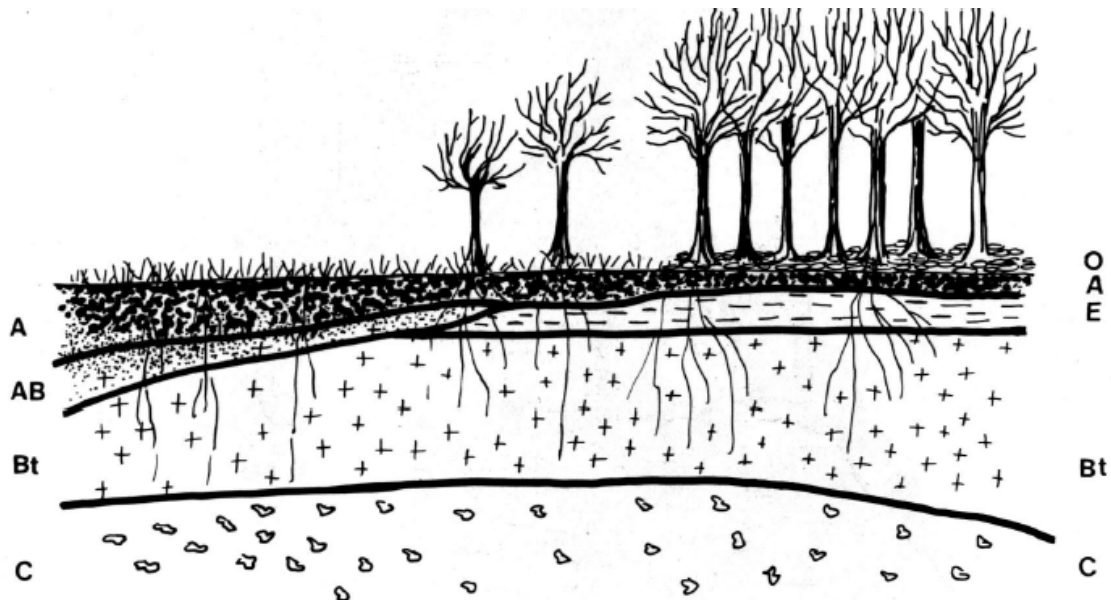
A módszer minden genetikai talajaltípusra megállapította a lehetséges maximális talajértéket, a vizsgált talajféleségre optimális esetben ez 100 pont volt. Majd a domborzat terén meghatározták a lejtőszöget és a kitettséget, és ennek, illetve az éghajlati viszonyoknak figyelembevételével korrekciók történtek. Minden községre meghatározták, hogy az ország öt éghajlati körzetének melyikébe tartozik, s ez a besorolás jellemezte átfogóan a klímaadottságokat (Szász G. 1979).

1981-től 1988-ig a földhivatalok munkatársainak részvételével folyt a termőhely-minősítés, ideiglenesen jórészt mintateres módszerrel. Az ország 60%-ára elkészült az értékelés.

4. A talaj fejlődése, a talajtulajdonságok csoportosítása időbeli változékonyságuk alapján. (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A talaj időbeli változása, fejlődése kapcsán több szakaszt különíthetünk el. Az első szakasz az ún. talajképződés, mely során a talajképző kőzetből kialakul a talaj. Ezt a talajfejlődés különböző intenzitású szakaszai követik, mely következményeként a talajtípusok egymásutánisága jön létre. A talajban lejátszódó folyamatok egymással szoros összefüggésben, meghatározott sorrendben, az egyes talajképző tényezők függvényében alakulnak. A domináns folyamatok ill. a talajra jellemző folyamattársulások megváltozása új talajtípus kialakulásához vezet. A folyamatok, folyamattársulások változása több talajképző tényező módosulására vezethető vissza, mint pl. a terület használat ill. a természetes növénytakaró megváltozása, vagy a vízháztartás megváltozása pl. klímaváltozás stb. A domináns talajképző folyamatok térben akár kis távolságon belül is nagy változatosságot mutatnak (2. ábra).



2. ábra: A talaj tulajdonságok térben változnak

A talajban lejátszódó folyamatok ellentétpárokat alkotnak és egymással dinamikus egyensúlyban vannak. Ilyen folyamatpárok pl. (Stefanovits et al., 1999) a következők:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| • szerves anyag felhalmozódása | - szerves anyag elbomlása |
| • a talaj benedvesedése | - a talaj kiszáradása |
| • kilúgozás | - sófelhalmozódás |
| • agyagosodás | - agyagszétesés |
| • agyagvándorlás | - agyagkicsapódás |
| • oxidáció | - redukció |
| • savanyodás | - lúgosodás |
| • szerkezetképződés | - szerkezetromlás |

E folyamatok a talajfejlődés során un(). folyamattársulásokat alkotnak, s ezáltal befolyásolják a talajképződés irányát. A talajfejlődés során több szakasz különíthető el. Az első szakasz az un. szűken vett talajképződés, mely során a talajképző kőzetből kialakul a talaj. Ezt a talajfejlődés követi, amely során talajtípusok egymásutánisága következik be. A folyamattársulás megváltozása tehát egy új talajtípus kialakulásához vezet.

4.1. A talajtulajdonságok időbeli változása

A talaj legfontosabb fizikai, kémiai, biológiai és morfológiai tulajdonságai térben és időben változnak.

A talajtulajdonságok időbeli változása három féle lehet:

- Rendszeres periodikus változás (pl. talaj hőmérséklet, talaj CO₂ tartalom, tápanyag tartalom stb.)
- Bizonyos irányba ható trendszerű változások (pl. szervesanyag felhalmozódás, agyagosodás, agyag bemosódás, sófelhalmozódás stb.)
- Véletlenszerű változások (pl. szennyezések, emberi tevékenység által befolyásolt paraméterek)
-

A talaj tulajdonságainak időbeli változékonysága, a változás időtartama különböző lehet:

- Néhány óra alatt bekövetkező változások (pl. talaj hőmérséklet, nedvesség tartalom stb.)
- Néhány hónap alatt bekövetkező, ún. évszakos változású (pl. tömödöttség, biológiai aktivitás, sótartalom, pH stb.)
- Évtizedek alatt bekövetkező változás jellemző (pl. szervesanyag tartalom, kiválások, konkréciók kialakulása stb.)
- Évszázadok alatt alakul ki (pl. ásványi összetétel, a talaj mechanikai összetétele, az egyes rétegek színe stb.)

A talaj tulajdonságainak változását más, talajvédelmi szempontból különösen fontos szempontból is értékelhetjük. Megkülönböztetünk:

- visszafordítható (reverzibilitása) (pl. kémhatás változása), valamint
- nem visszafordítható (irreverzibilis) változásokat (pl. szerkezetromlás, porosodás).

4.2. A talajtulajdonságok tér-, és időbeli változási tendenciái Magyarországon, talajmonitorozás. Talaj Információs és Monitoring Rendszer (TIM).

A Talaj Információs és Monitoring (TIM) rendszer célja a talajkészletek térbeli helyzetének jellemzése és a talajállapot időbeni változásainak nyomon követése. A TIM az ország egész területére kiterjed, művelési ágak, tulajdonjog és egyéb szempontok szerinti korlátozások nélkül. A TIM keretében megfogalmazott célokat a termőföldről szóló 1994. évi LV. Törvény talajvédelemről szóló VI. fejezete is tartalmazza:

„Az állam kialakítja és működteti a talajok minőség szerinti nyilvántartásának rendszerét talajterképek és egyéb információs adatbázisok formájában. A talajok minőségi változásainak folyamatos figyelemmel kísérésére mérő, megfigyelő, ellenőrző és információs rendszert

működtet. Az állam a mérések, megfigyelések és ellenőrzések tapasztalatai alapján gondoskodik a termőföld minőségének kedvezőtlen alakulását megelőző országos jogi, gazdasági és műszaki szabályozó illetve érdekeltségi rendszer kialakításáról.”

A TIM állapot felvételezésére 1992-ben került sor. A mérőhálózat 1236 pontot foglal magába, amelyek kisebb természetföldrajzi egységek reprezentatív területein kerültek kijelölésre. Valamennyi mérési ponton meghatározták a talajszelvényre, a talajszelvény genetikai szintjeire vonatkozó jellemzőket. A talajjellemzőket időbeni változékonyságuk szerint induláskor egy alkalommal, majd egy, három és hatévenként vizsgálják. A monitoring pontok kiválasztásánál cél volt, hogy reálisan és természetűen jellemezzék az ország talajviszonyait. Ezért az 1236 pontból 865 található mezőgazdasági területen (70%), 182 erdővel borított területen (15%), 189 pedig speciális problematikus területen (15% S pontok) (Szabóné K.G., Pálmai O., 2005).

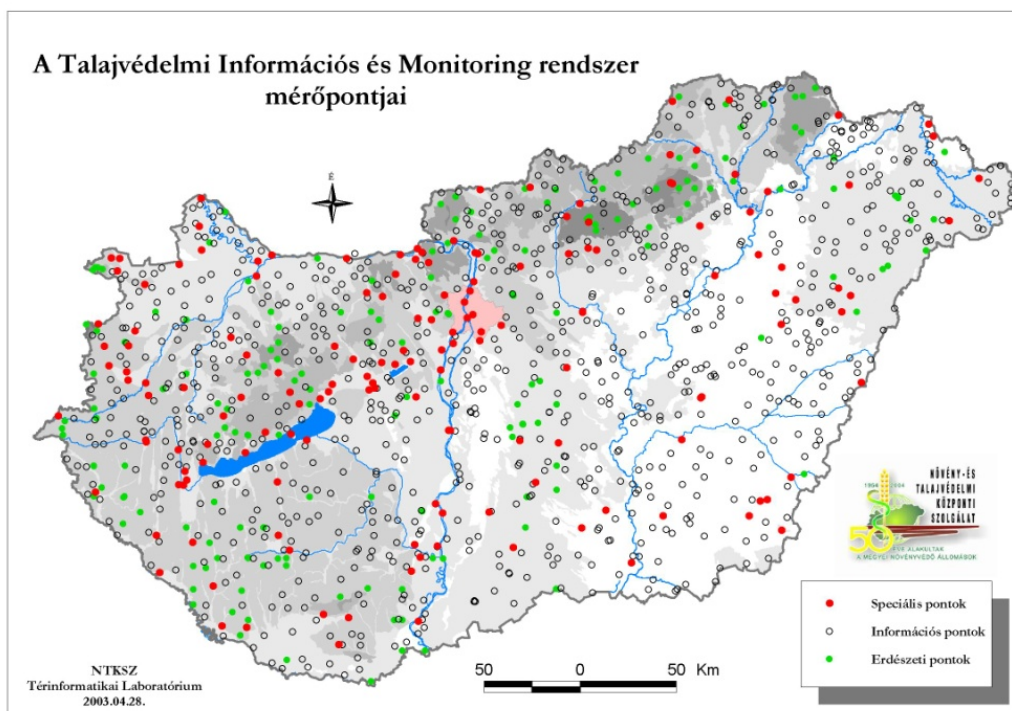
S pontok például:

- ❖ degradálódott területek (főként mezőgazdasági területeken a természeti erők és/vagy az emberi tevékenység következtében létrejött degradációs folyamatok, mint pl. szél és víz okozta erózió, savanyodás, sófelhalmozódás, szikesedés, tömörödés, talajszennyezés stb.)
 - ❖ ivóvízbázisok hidrogeológiai védőterületein
 - ❖ tavak, tározók vízgyűjtőin
 - ❖ erősen szennyezett ipari és agglomerációs körzetekben
 - ❖ szennyvíziszap-, szennyvíz-, hígtrágya-elhelyező mezőgazdasági területeken
 - ❖ közlekedés által érintett területeken
 - ❖ hulladék és veszélyes hulladék lerakóhelyek környezetében
 - ❖ katonai létesítmények környékén
 - ❖ Természetvédelmi területek
 - ❖ Roncsolt felületek (felszíni bányászat által roncsolt felszínek, rekultivált meddőhányók stb.)
 - ❖ környezeti szempontból érzékeny területeken (pl. védett területek pufferzónája)
- A talaj állapotértékelése szempontjából végzett vizsgálatok 4 fő csoportba oszthatók:
- ❖ évente (pl. pH, nitrit, nitrát)
 - ❖ 3 évente (pl. humusztartalom, P, K, Ca, Mg)
 - ❖ 6 évente (pl. toxikus anyag tartalom)
 - ❖ valamint esetenkénti, egyedileg elvégzett mérések

Az ország területén található TIM mintaterületek elhelyezkedéséről a **3. ábra** tájékoztat.

Az állapotfelmérés és az első vizsgálati adatsorok eredményeit 1997-ben hozták nyilvánosságra. Ez alapján megállapítható, hogy a toxikus elemek esetében:

- ❖ a minták 1-2%-ában magasabb a Ni érték a határértéknél,
- ❖ messze 1% alatti a határértéket meghaladó Cu-tartalom,
- ❖ a határértéket közelíti a Pb és Cd tartalom a minták egy kis részénél, ami egyértelműen antropogén hatásra enged következtetni,
- ❖ egyetlen mintában sem éri el a határértéket a Cr, Co, valamint
- ❖ az ország bizonyos területein magasabb az As-tartalom, ami geokémiai feldúsulást jelent (FM, 1997).



3. ábra: Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer Magyarországon (forrás: Várallyay et al, 2008)

5. Az emberi tevékenység hatása a talajra. Talajdegradációk, a talajok mennyiségi és minőségi romlása. A talajok kémiai, fizikai és biológiai degradációja. (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Az emberi tevékenység talajképződésre, talajfejlődésre gyakorolt hatása, mint módosító tényező vehető figyelembe. E hatás sok esetben pozitív, gondoljunk csak a talaj vízháztartásának javítására, a talajtermékenység megőrzésére tett erőfeszítéseket, vagy a talaj pusztulása elleni talajvédelmi beavatkozásokra. A talajt érő antropogén hatások azonban kedvezőtlen hatásokkal is járnak. **A talajdegradáció összetett folyamat**, mely a talaj tulajdonságokban és a talajra jellemző *folyamatokban visszafordítható vagy visszafordíthatatlan* változásokat eredményez, csökken a talaj *termőképessége*, korlátozza a normál *talaj funkciókat*. A talajdegradáció lehet fizikai, kémiai, biológiai. A degradációt okozhatja természetes hatás, vagy emberi aktivitás.

Az ember talajra gyakorolt hatása közvetett és közvetlen módon is jelentkezhet. Közvetett hatás lehet pl. az atmoszférán keresztül jelentkező hatások, úgymint a kémiai összetételének (CO_2 , SO_x , NO_x , CH_4 tartalom) megváltozásával, nehézfém és egyéb ipari szennyező kibocsátásával, vagy lebegő anyag tartalmának megváltoztatásával. Közvetett hatás érheti a talajokat a talajvíz kémiai összetételének, a vízszint mélységének változtatásán keresztül is. A bioszférában bekövetkező változásokra is érzékenyen reagál a talaj, gondoljunk pl. a természetes növénytakaró módosítására (erdőirtás, túllegeltetés).

A közvetlen hatások pl. a termőterület csökkentése a területek más célú hasznosításával, a talajok szennyezése, vagy egyéb fizikai, kémiai ill. biológiai degradálása (**1. táblázat**). A hazai talajokat érő legfontosabb talajdegradációs folyamatok az alábbiak:

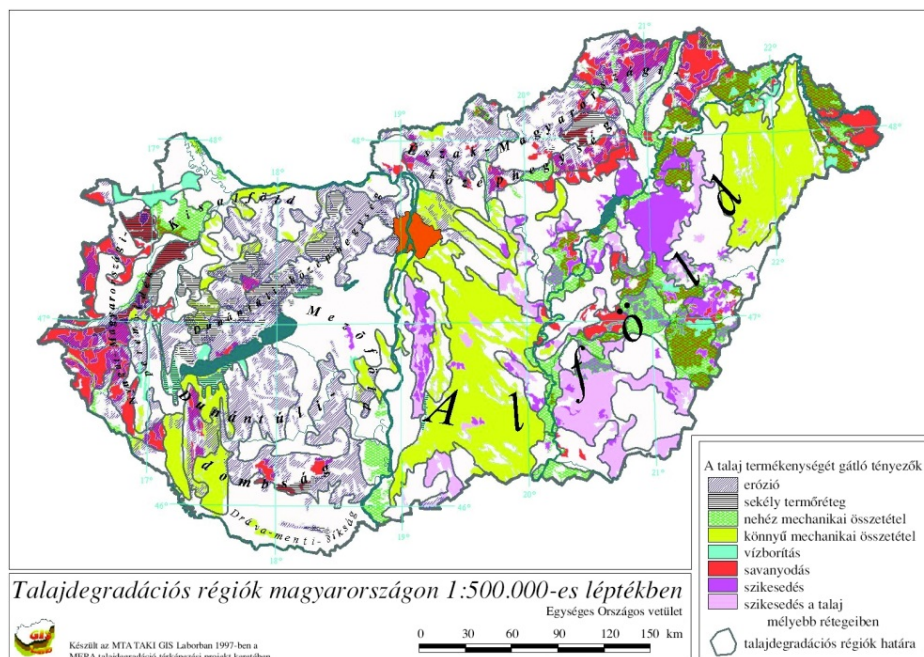
- Víz és szél általi talajerózió
- Talajsavanyodás
- Szikesedés
- Szerkezet romlás, tömörödés, porosodás.
- Extrém vízháztartási viszonyok: túlnedvesedés kockázata megnő, belvizek, elmocsarasodás, aszályérzékenység.
- Biológiai degradáció: szervesanyagtartalom csökkenése, talajbiota elszegényesedése, a természetes biológiai aktivitás visszafordíthatatlan változása.
- Kedvezőtlen változás az elemek biogeokémiai körforgásában, mint pl. a tápanyagháztartás megváltozása, a kilúgozási folyamatok erősödése, biotikus, abiotikus immobilizáció.
- A talaj pufferkapacitásának csökkenése,
- Talaj szennyezés, környezeti toxicitás.

1. táblázat: A talajdegradáció típusai és következményei (Stefanovits, Michéli 2005)

Hatás	Mód	Következmény
Fizikai	Talajerhordás, talajlefedés, talajtömörítés, talajlazítás, talajvízszint változása	Művelhetőség, vízgazdálkodás, levegőzöttség, növényfejlődés romlása, vízeroszió és széleroszió veszélye
Kémiai	Légköri savas ülepedés Savanyító hatású műtrágyák Szikesedés Tápanyagmérleg torzulás Elárasztás Nehézfém szennyezés Növényvédőszer, kőolaj származékok, sugárzó anyagok talajba juttatása	Savasodás, szikesedés, mocsarasodás, tápanyagterhelés, tápanyaghiány, nitrátosodás, talajmérgezés
Biológiai	Erdőirtás, idegen növény- és állatfajok betelepítése, őshonos növény és állatfajok kipusztítása, beavatkozás a táplálékláncba	Humuszminőség romlása, víz-, széleroszió, a célállapottal ellentétes növényállomány, állatvilág degradációja, gékészletpusztulás, biodiverzitás csökkenés

5.1. A hazai talajok állapota

A magyarországi talajok környezeti állapotát a talajsavanyodás, a szikesedés, a fizikai degradáció, a szélsőséges vízháztartás, a humusz és tápanyag készlet csökkenése, a talajerózió, valamint a talajszennyezettség alapján jellemezhetjük (4. ábra, 2. táblázat).



4. ábra: A talajdegradációk térbeli kiterjedése Magyarországon (forrás MTA TAKI, 1997)

2. táblázat: A talajtermékenységet gátló tényezők területi kiterjedése Magyarországon (A savanyú kémhatású erodált területek és a felszín közeli savanyú kémhatású tömör kőzet csak az egyik tényezőnél megjelenítve) (Várallyay Gy. alapján)

Talajtermékenységet gátló főbb tényezők	A mező- és erdőterületek %-ában	Magyarország összterületének %-ában
Nagy homoktartalom	8,9	8,0
Savanyú kémhatás	9,3	8,4
Szikesedés	9,0	8,1
Szikesedés a mélyebb talajrétegekben	2,9	2,6
Nagy agyagtartalom	7,5	6,8
Láposodás, mocsarasodás	1,9	1,7
Erózió	17,4	15,6
Felszínközeli tömör kőzet	2,6	2,3
Összesen:	59,5	53,5

A talajdegradációk legfontosabb következményei:

- a táj változatosságának csökkenése
- az ökológiai és technikai korlátok fellépése következtében a táj értékének csökkenése.
- a talaj értékének, termőképességének csökkenése: csökkenő fitomassza produkció, romlanak a növények ökológiai feltételei, csökken a talaj termőképessége
- talaj tisztítási költségek szennyezés esetén
- talaj- és termőfelület-veszteség
- zavarok a talaj normális funkcióiban, a talaj multifunkcionalitásának csökken
- nehezebb mezőgazdasági hasznosíthatóság, növekvő termelési, befektetési költségek:
 - rövidebb időtartam az agrotechnikai műveletek időben és megfelelő minőségben történő energiatakarékos elvégzéséhez (nagyobb géppark igény, csökkenő lehetőségek kapcsolt gépsorok alkalmazására, növekvő energiaigény);
 - növekvő vízpótlás (öntözés) és vízelvezetés (drénezés) igény;
 - nagyobb műtrágyaszükséglet (nagyobb műtrágyaveszteségek, rosszabb műtrágya-érvényesülés);
- káros környezeti mellékhatások:
 - növekvő aszályérzékenység;
 - belvizes, pangó vizes területek növekedése, tározók és csatornák eliszapolódása;
 - felszíni lefolyás növekedése – fokozódó árvízveszély;
 - felszíni- és felszín alatti vízkészletek fokozódó szennyezése;
 - tájrombolás
- kockázatos anyagok felhalmozódása és azok megjelenése az élelmiszerekben (élelmiszerbiztonság).

A **talajsavanyodást** tekintve a hazai talajok 20%-a gyengén, 18%-a közepesen, 8%-a erősen savanyú. A talajsavanyodás főbb okai:

- a légköri savas ülepedés
- a különböző ipari melléktermékek és hulladékok okozta savanyodás
- helytelen műtrágya használat

- A műtrágyák egy részének vizes oldata savanyú: szuperfoszfát, ammónium-szulfát.
- A műtrágya kationjai megkötődhetnek a kolloid felületén. Kationcsere játszódik le, mely során protonok jutnak a talajoldatba, ami a savanyúságot fokozza.
- A műtrágyák feloszthatók fiziológiailag semleges, savanyú és lúgos hatású trágyaféleségekre. Oka: a tápanyagot tartalmazó vegyületekben v. kation, v. anion formában fordul elő a tápanyag. Ezt a tápanyagot a növény felhasználja. Ily módon savanyít: ammónium-szulfát, kálium-klorid, kálium-szulfát, ammónium-klorid. Lúgosít pl. a kalcium-nitrát, nátrium-nitrát műtrágya féleség.
- Az ammónia nitrifikációja is hozzájárul a talaj elsavanyodásához.

Magyarországon mintegy 1 millió hektáron (összterület több mint 10%-án) van **szikes talaj, vagy jelentkezik szikesedési** (másodlagos) folyamat (5. ábra). Szikes (szolonyeces) a talaj ha a kicserélhető Na meghaladja az S érték 5%-át. (Gyengén szikes 5-10 %, közepesen 10-20 %, erősen 20 %>). Sós (szoloncsákos) a talaj, ha a vízben oldható összes só tartalom > 0.05 %.

A másodlagos szikesedést helytelen emberi tevékenység, elsősorban a helytelenül végrehajtott öntözés ill. esetenként a nem megfelelő minőségű öntözővíz okozhatja. A szikesedés, ill. a magas sótartalom káros hatásai a következők lehetnek:

- gyenge termékenység,
- lúgos kémhatás
- a talaj adszorpciós felületén a Na^+ ionok dominálnak, ami rossz fizikai tulajdonságok kialakulásához vezet (szikes talaj víz hatására szétiszapolódik, víznyelő és vízvezető képessége csökken)
- belvízkár, padkásodás kialakulása
- művelhetőségük mind nedves, mind száraz állapotban problémás
- az agyagásványok mozoghatnak, széteshetnek (szolonyec talajok, szologyosodás)
- a foszfor Ca-foszfátok alakjában megkötődik
- a talajban élő mikroorganizmusok aktivitása csökken
- az esszenciális mikroelemek kicsapódnak oxid-hidroxid formában, felvehetetlenné válnak.

Távlati cél, hogy a jó termékenységű táblákba ékelt szikes foltok területe csökkenjen, valamint a gazdaságtalanul javítható szikes területeknek más funkciót keresni. Javíthatóságuk feltétele: a szikesedést kiváltó és fenntartó tényezők hatásának megszüntetése (felszínhez közeli szikes – sós talajvíz, szikes öntöző- ill. csurgalékvíz) vízrendezéssel, a kilúgozás lehetőségének megteremtése, valamint az adszorbeált nátrium ionok mennyiségének csökkentése.

A **fizikai degradáció** alatt a talaj szerkezeti leromlását, úgymint tömörödését, felszíni eliszapolódását, cserepesedését, porosodását értik. Az állapot felmérések szerint hazánk talajainak közel 23%-a gyengén, 18%-a közepesen és 13%-a erősen érzékeny a szerkezet leromlásra és tömörödéssre.

A talajok többségének jellegzetes szerkezete, struktúrája van. A talaj szilárd fázisát alkotó ásványi részecskék (ún. elemi szemcsék) különböző erők és kötőanyagok hatására aggregátumokká tapadnak össze. A 0.002 mm-nél nagyobb szemcsék képezik a szerkezeti egységek vázát, az ennél kisebb méretű szerves és ásványi kolloidok a vázrészek összeragasztásában vesznek részt. A legjellemzőbb kötőanyagok a szerves anyagok (valódi

humuszanyagok szerepe fontos a stabil szerkezet kialakításában), az agyagásványok (főként a humuszban szegény vályog és agyag talajok szerkezetképzésében van szerepük, nem tartós talajszerkezet, porosodik, víz hatására szétesik), a vas- és alumínium hidroxidok (pl. réti talajok, erdő talajok), valamint a kalcium-karbonát (pl. csernozjom talajok).

A talajszerkezet kialakulását módosító fizikai hatások az alábbiak:

- Átfagyás - olvadás (a rögök aprózódnak)
- Duzzadás – zsugorodás (agyagos talajoknál kiszáradás különböző mélységű és keresztmetszetű repedéseket eredményez, a talaj tömegében kisebb nagyobb tömbök különülnek el)
- Gyökérzet
- Talajművelő eszközök (hatásuk összetett)
- Csupán mechanikai nyomással (tömörítéssel) nem lehet stabil, vízálló aggregátumokat előállítani.

A kialakult talajszerkezetet értékelhetjük a szerkezeti elemek alakja és kifejelettsége alapján (morfológiai szerkezet), az aggregátumok mérete alapján (agronómiai szerkezet), a szerkezeti elemek vízzel és mechanikai hatásokkal szembeni ellenálló képessége alapján, valamint a pórustér sajátosságai alapján. Szerkezetes talaj, ha kisebb nyomással egymáshoz hasonló formájú aggregátumokra bontható (**5. ábra**).



5. ábra: Szerkezetes talaj aggregátumai

Magyarországon 2000-ben a szántó területek 50%-án jelentkezett valamilyen fokú tömörödés, ami 1,4 millió ha földterületet érint (Birkás et al. 2000).

Tömörödést kiváltó tényezők:

- Természetes tényezők (pl. túlzott csapadék bőség, belvíz)
- Nedves talajon járás, taposás
- Többször ugyanabban a mélységben történő művelés (tárcsatalp: 16-20 cm, eketalp: 22-25 cm, 28-32 cm, 38-40 cm).

A művelőtalp-tömörödés a rendszeresen bolygatott réteg alatt képződik. Típusai az eszköz alapján különíthetők el:

- tárcsatalp: 16-20 cm,
- eketalp: 22-25 cm, 28-32 cm, 38-40 cm.

A tömörödés mértéke (enyhe, közepes, súlyos) és a deformált réteg kiterjedése a nyomóerőtől, a deformáció ismétlődésétől és a nedvesség tartalomtól függően változik. Súlyos esetben a tömörödés a talaj felszínére és a mélyebb rétegekre egyaránt kiterjed (Birkás et al 2004., Gyuricza 2001). A 3-4 cm, és az ennél vastagabb tömör réteg a növénytermesztés kockázatát már növeli.

Az ún. „eketalp betegség” tünet együttese az alábbiakkal jellemezhető:

- a tömörödés során a talaj háromfázisos rendszeréből mechanikai stressz hatására kiszorul a levegő
 - nő a talaj adott rétegének térfogattömege
 - porozitás csökken
 - vízáteresztő képesség csökken
 - gyökérfejlődés akadályozott
 - termés csökken
 - művelési költségek nőnek.

A fizikai talajdegradáció másik jellemző típusa a **porosodás**. Túl száraz talajművelése (tárca, borona) felaprózza a szerkezeti elemeket, elporosítja a talajt, ami a talaj defláció érzékenységét növeli. A jó szerkezetű talajokban az 1 mm-nél nagyobb morzsák dominálnak. A leromlott szerkezetű talajokban magasabb a por frakció (<0,25 mm) aránya.

A rendszeresen művelt talajra jellemző folyamatokról (morzsásodás, rögsödés, vagy porosodás) a talaj agronómiai szerkezet állapota, vagyis a rög (> 10 mm), a morzsa (0,25-10 mm) és a por (<0,25 mm) aránya tájékoztat (Buzás, 1993). Amikor a por aránya 25-30%-nál több, érzékeny, degradált talajról beszélünk. A 75-80%-os morzsaarány jó klímastressz tűrő állapotra utal. A növekvő por- és rögarány (pl. 10-ről 30-40-50%-ra), valamint a csökkenő morzsaarány (pl. 70-ről 50-40%-ra) kockázatos, ill. igen kockázatos minősítést jelent (Birkás et al. 2010).

A porosodott feltalajú defláció érzékeny területeken 2-3 éves földhasználat után a feltalajban elveszik az

- agyagfrakció 10-30%-a,
- humusztartalom 35-40%-a,
- nitrogén tartalom 35-40%-a,
- foszfor tartalom 10-12%-a,
- kálium tartalom 8-10%-a.

Felmérések szerint hazánk talajainak 43%-a **kedvezőtlen vízgazdálkodású**, amit a nagy homoktartalom vagy az agyagtartalom, vagy szikesedés, láposodás, esetenként a sekély termőréteg okoz. Ezen területek a szélsőséges időjárási helyzetekre szélsőségesen reagálnak, **aszályérzékenyek** ill. éppen ellentétesen **belvizesedés**, mocsarasodás jelentkezik rajtuk.

A globális klímaváltozás előrejelzései számos kérdésben lényegesen eltérnek, egy pontban azonban a vélemények megegyeznek, miszerint a szélsőséges időjárási helyzetek valószínűsége, gyakorisága, mértéke, tartama egyaránt növekedni fog (Mika, 1996; Várallyay, 2008; Láng et al., 2007; Nováky, 2007). Ennek számos kedvezőtlen gazdasági, környezeti, ökológiai és szociális következményével kell szembenéznünk. Bármely szélsőséges időjárási helyzet kialakulásával, az éves csapadékmennyiség csökkenésével vagy növekedésével is számolunk a jövőben, következményként megnőhet a talajok ár- és belvíz, valamint aszályérzékenysége. A hőmérséklet, valamint a felszínre érkező csapadék mennyiségének, eloszlásának és intenzitásának változása jelentősen befolyásolhatja a talaj hő-, víz- és tápanyagforgalmát, tehát termékenységét is (Hernádi et al, 2008).

A szélsőségesé vált klíma (hő- és csapadéksztressz) ráirányította a figyelmet az eddigi, talajra nézve inkább káros **talajművelési gyakorlat hibáira**. A globális klímaváltozás folyamatának, tüneteinek felismerésétől a talajművelésnek fontos feladata többek között a nyári talajművelés klímakockázatának csökkentése is, a hő- és csapadéksztressz, a vízvesztés, a kiszáradás ellenszereinek kidolgozása és alkalmazása (Birkás et al. 2010). A kutatások rávilágítanak, hogy a korábban a célként kitűzött növénynek kedvező talajállapot (pl. poros magágy) kialakítása hosszú időszakot vizsgálva káros eredménnyel járhat, hiszen növeli a szerkezetromlás, az elporosodás, s a defláció érzékenység veszélyét. A VAHAVA jelentés kapcsán (Láng et al. 2007) fontos talajvédelmi előrelépés történt, hiszen a talaj minőségét, klímaérzékenységét a növénytermesztés jövőbeni esélyeit alapvetően meghatározó tényezők közé sorolták.

A talaj elemforgalmát mezőgazdaságilag művelt területen számos tényező befolyásolja (Farsang, Barta 2004). A tápanyagtőke csökkenése elsősorban a termesztett növények elemkivétele, valamint a kilúgozási folyamatok révén következik be. Az intenzív talajművelésnek és nem megfelelő agrotechnikának, valamint a klímaváltozás eredményezte szélsőséges időjárási helyzeteknek köszönhetően azonban a talajok tápanyagmérlegében egyre jelentősebb komponens lehet a kora tavaszi növényborítás-mentes időszakban a defláció általi elhordás is. Ez jelentős részben a homok fizikai féleségű talajokat érinti, de az intenzív talajművelés következtében leromlott, porosodott szerkezetű csernozjom talajok is egyre inkább veszélyeztetettek (Birkás et al, 2010). Neemann (1991) becslései szerint egy erős szélesemény alkalmával talajtípustól és a feltalaj tápanyag tartalmától függően akár $10\text{--}162\text{ kg ha}^{-1}\text{ N}$, $30\text{--}246\text{ kg ha}^{-1}\text{ P}_2\text{O}_5$, $27\text{--}237\text{ kg ha}^{-1}\text{ K}_2\text{O}$, $35\text{--}210\text{ kg ha}^{-1}\text{ MgO}$, és $115\text{--}642\text{ kg ha}^{-1}\text{ CaO}$ hatóanyagban kifejezett tápanyagvesztés is sújthatja a mezőgazdasági területeket. Rendkívül fontos gazdasági és környezetvédelmi tényezőről van tehát szó, ha meggondoljuk, hogy Magyarországon a potenciális széléróziós veszélyeztetettség alapján az ország területének 26,5 %-a erősen veszélyeztetett, míg a közepesen veszélyeztetett területek aránya meghaladja a 40%-ot (Lóki J. 2003).

5.2. 4.2.fejezet A mezőgazdasági tevékenység hatásai. Kemizálás hatása a talajra, talajvízre

A talajban mért elemtartalom eredete sokrétű lehet. Megkülönböztetünk geogén (**3. táblázat**), pedogén és antropogén eredetű elemtartalmat. Előfordulhat, hogy tisztán geogén (pl. talajképző kőzet eredetű) elemtartalom is meghaladja a talajra vonatkozó hatályos egészségügyi határértékeket (pl. érclelőhelyek közelében, fémekben gazdag ún. metallifer vagy serpentin talajok találhatók.). Az antropogén szennyezőanyagok származhatnak pontszerű forrásokból, mint pl.

- Ipari területek (felszín alatti üzemanyag tartályok)
- Kommunális hulladéklerakók
- Balesetek (pl. közúti baleset), valamint
- Nem pontszerű forrásokból
 - Szennyvíziszap, komposzt kihelyezés
 - Műtrágyák, peszticidek
 - Közlekedés
 - Állati eredetű hulladékok
 - Légköri kiülepedés
 - Szedimentáció.

3. táblázat: A vizsgált elemek különböző koncentrációi (ppm) a különböző kőzetekben és a kontinentális kéregben (Merian, 1984 nyomán)

	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Agyagpala	850	48000	19	68	45	95	0,13	22
Mészkö	700	15000	2	15	4	32	0,165	5
Gránit	325	20000	4	7	13	50	0,09	32
Gneisz	600	33000	13	26	23	65	0,10	16
Bazalt	1390	86000	48	134	90	100	0,10	3,5
Kontinentális kéreg	800	42000	19	45	35	69	0,10	15

A nem pontszerű forrásból származó és nagy területeket érintő elemforrásnak a műtrágya kijuttatás tekinthető (**6. ábra**). A trágyázás célja a növények tápelem ellátása, a talajok termékenységének megőrzése, a termések szinten tartása vagy növelése, a termésminőség javítása. Trágyázással pótoljuk a növények termése által talajból elvont tápelemeket. A tápanyag-utánpótlás történhet szerves és műtrágyákkal.

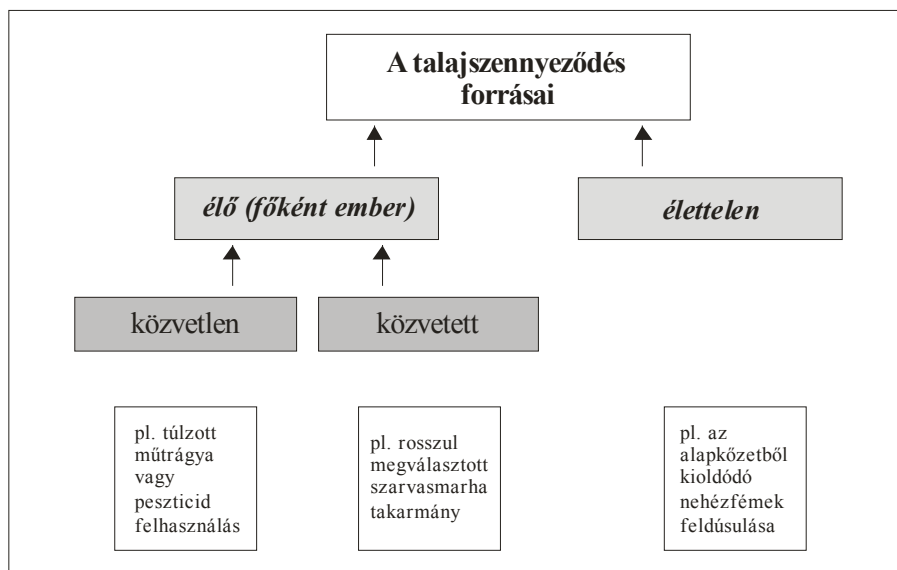
Trágyázással, a trágyák évenkénti kijuttatásával, elsősorban a következő terméshez szükséges tápelemeket biztosítjuk, javítjuk az aktuális ellátottságot. A trágyázás a múlt században Liebig tanításai nyomán vált tudományosan megalapozottá. Liebig felismerte a növények ásványi táplálásának szükségességét, s megalkotta az úgynevezett minimumtörvényt. Liebig munkásságát az ezredfordulón Mitscherlich fejlesztette tovább. Mennyiségi összefüggést állapított meg a tápanyagadagok és a termés nagysága között.

A műtrágyákban a különféle tápelemek jórészt, vagy teljes egészükben víz-, vagy gyenge savakban oldható formában vannak jelen, s csak viszonylag kismennyiségben nehezen oldható. A növények a műtrágyák hatóanyagait közvetlenül, vagy bizonyos átalakulás után veszik fel a talajoldatból. A különféle műtrágya hatóanyagok mindaddig amíg oldatban, vagy adszorbeált állapotban vannak jelen a talajban, megfelelő körülmények esetén ki vannak téve a kimosódás, illetve erózió-defláció okozta veszteségnek, s így módon szennyezhetik a környezetet.

A vegyszerek használata a mezőgazdaságban elsősorban két területen a talajerő-gazdálkodásban és növényvédelemben terjedt el. A műtrágyák nemcsak pótolják a talajból elvont növényi tápanyagokat, mint a szerves trágyák, hanem növelik is azok mennyiségét. A környezetre elsősorban a talajból kimosódott és a talajvízbe vándorló **nitrogén hat károsan**, egyrészt a felszíni vizek eutrofizálódását okozza, másrészt a kutak és az ivóvíz nitráttartalmát növeli. A kötődni nem tudó **foszfor- és kálium-műtrágyák** hatóanyagainak növények által fel nem vett része is kilúgozódhat, vándorol a talajvizekkel, szennyezi a kutakat, folyókat, tavakat. Másik része a felszíni erózióval ill. deflációval érheti el a felszíni vizeket. A nagy adagú műtrágyázás a kalcium kilúgozódásának fokozásával a talaj elsavanyosodásához vezethet hosszabb távon. A műtrágyázott területen a gyomnövények is jobban fejlődnek, emiatt intenzívebbé és gyakoribbá válik a mechanikus növényápolás, illetve a kémiai növényvédelem. Az előbb felsorolt hátrányok mellett azonban hangsúlyozni kell, hogy a műtrágyákról az emberiség táplálékszükségleteinek biztosítása érdekében jelenleg nem mondhatunk le, hiszen a növények tápanyagszükségletét- a szén, a hidrogén és az oxigén mellett fő tápanyagokat, nitrogént, foszfort, káliumot továbbá nyomelemeket csak így elégíthetjük ki.

A műtrágyák különböző nehézfémeket is tartalmazhatnak. A legtöbb szennyezőanyag elsősorban a szuperfoszfát nyersanyagaiban található, mint kísérő elem. A szennyező anyagok mennyisége a lelőhelytől függően változik. A különféle mikroelemtartalmú műtrágyák kijuttatása mindig csak kis mennyiségben történik, így közvetlenül nem jelentenek komoly

potenciális veszélyt felszíni és talajvizeinkre. Kimosódásuk, talaj és felszíni vizeinkbe való kerülésük nagyobb mértékben elsősorban erózió következtében lehetséges.



6. ábra: A talajszennyezés forrásai

5.3. A szennyvíziszapok mezőgazdasági hasznosítása

A szennyvíziszapok számos ipari, építőipari hasznosítása ismert, mégis a legelterjedtebb hasznosítási módszer a mezőgazdasági területen való elhelyezés. Ennek az oka, hogy korán felismerték, hogy a biológiai eredetű szerves és ásványi anyagokat tartalmazó iszap a talajba kerülve növeli annak termékenységét, ráadásul a jövőben még nagyobb mennyiségben keletkező iszap fogadására elsősorban a mezőgazdaság a legalkalmasabb. A szennyvíziszapok mezőgazdasági hasznosításának legfontosabb korlátozó tényezői azok nehézfém-tartalma (Hackler, 2007).

A szennyvíziszap mezőgazdasági elhelyezésénél mennyiségi határérték meg szabása nem indokolt, mivel a kísérletek alapján az iszapterhelés felső határát, nem a hidraulikus, vagy a szárazanyag terhelés határozza meg, hanem az iszappal a talajba juttatott tápanyagok (elsősorban N) és a nehézfémek mennyisége, és ez mindig az adott iszap összetételétől függ. A terhelést tehát minőségi határértékek alapján kell meghatározni (Vermes, 1997).

Az iszapnak kedvező hatásai is vannak a talaj tulajdonságaira (Vermes, 1997):

- ❖ növeli a talaj nedvességtartalmát, víztartó képességét, szerves anyag tartalmát
- ❖ csökken a talaj térfogatsűrűsége, tömörsége
- ❖ az iszap talajba helyezése növeli a növényi tápanyagtartalmat
- ❖ szerves anyagai révén növeli a talaj kation cserélő képességét, ami a nehézfémek adszorbeálásában játszik nagy szerepet
- ❖ az iszapban lévő nagyszámú mikroorganizmus aktivizálja a talajban a mikrobiális tevékenységet, ezzel hozzájárul a talajélet kialakulásához és serkentéséhez

Az iszappal a talajba került foszfor és a nitrogén jelentős része a felső művelt talajrétegekben felhalmozódik. Kísérletekkel megállapították, hogy a nitrit és nitrát mennyisége az iszapterhelések növelésével emelkedik a mélyebb talajrétegekben is, nagyobb terhelés esetén nitrogén kimosódással kell számolni. A szennyvíziszappal a területre kijutatott nehézfémek mennyisége jelentős lehet (Vermes, 1997).

Juste és Mench (1992) tíz évnél hosszabb szennyvíziszap-elhelyezési kísérletek eredményeit értékelve megállapították, hogy az iszapból származó nehézfémek a termőtalajok felső rétegeiben akkumulálódtak, a mélyebb rétegekbe történő lemosódásukkal gyakorlatilag nem kellett számolniuk. Ezenkívül megállapították, hogy a mezőgazdasági növények általában kevesebb nehézfémet vettek fel a talajból, mint amennyi a szennyvíziszapok nehézfémkoncentrációjából következett volna. Ez a pH megemelkedésével és a talajba kerülő nehézfémek kötési formáinak megváltozásával magyarázható (Simon et al., 2000). A pH és a nehézfém mobilitás kapcsolatáról általában elmondható, hogy a talajoldatban nő a felvehető formák mennyisége a pH csökkenésével, ezért a legtöbb országban a 6,5 pH alatti értékeket tekintik kockázatt növelő küszöbértéknek (Tamás, 1998).

A hazai vizsgálatok eredményeit tekintve elmondható, hogy a magyarországi szennyvíziszapokat elsősorban Zn, Cr, Mn, Pb szennyező forrásként kell figyelembe venni, de az iszap-elhelyezési előírásokat betartva hosszabb ideig tartó iszapelhelyezés sem eredményez káros méretű nehézfém-felhalmozódást a talajokban (Tamás és Filep, 1995).

A mezőgazdasági iszapelhelyezés esetén nem a hasznosítás a cél, hanem a folyamatos és biztonságos elhelyezés, vagyis a szennyvíziszap elhelyezése és hasznosítása nem a mezőgazdaság feladata, de a mezőgazdaság sokat tehet ennek a környezetvédelmi problémának a viszonylag gazdaságos megoldása érdekében (Vermees, 1998). A szennyvíziszapok mezőgazdasági hasznosításának szabályaival az 50/2001. (IV.3) Kormányrendelet ill. a **40/2008. (II.26.) Korm. rendelet** foglalkoznak. A szabályozás célja, hogy a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználása szakszerű legyen, a hasznosítás ne gyakoroljon káros hatást a környezeti elemekre, az emberre, állati és növényi szervezetekre.

A rendelet értelmében mezőgazdasági területen csak kezelt (biológiai, kémiai, hőkezelt) minimum 6 hónapig tárolt olyan iszapok hasznosíthatók, amelyeknek nehézfém- és egyéb szennyező anyag-tartalmuk megfelel a rendeletben előírtaknak.

A rendelet tartalmazza azokat a feltételeket, amelyek teljesülése mellett a talaj alkalmas az iszap fogadására. Ezek a feltételek a következők:

- ❖ a talaj pH értéke 5,5-nél magasabb
- ❖ termőrétegének vastagsága 60 cm-nél több legyen
- ❖ a terület lejtése ne haladja meg a 6 %-ot
- ❖ felszíne hóval nem borított, nem fagyott és nem telített vízzel
- ❖ leiszapolható része 10-80 % közötti, a talaj nem lehet durva homok és nehéz agyag
- ❖ a talaj (és az iszap) nehézfém-tartalma ne haladja meg a rendeletben közölt határértékeket (mérgező elemek és károsanyagok megengedhető koncentrációja talajokban ill. az iszapban).

5.4. A közlekedés és ipari eredetű talajszennyezések

Az antropogén tevékenység hatására a bioszféra elemei a legkülönbözőbb anyagokkal szennyeződnek. Már évtizedekkel ezelőtt bebizonyosodott, hogy a nagyvárosok, ipari körzetek térségében a környezeti elemekben a **nehézfémek feldúsulnak**. Mivel a fémek biológiailag nem bonthatók le, a talajban és az élő szervezetekben akkumulálódni képesek, az utóbbi években a toxikus nehézfémek a figyelem középpontjába kerültek. Számítalan kutatást végeztek mind külföldön, mind hazánkban, melyek ipari létesítmények, belvárosok, ipari körzetek, bányák környezetében a növényekben és a talajban felgyülemlett nehézfémekkel foglalkoznak. Az utóbbi évek nehézfémekkel kapcsolatos kutatásainak eredményeiről összefoglalóan Csathó (1994) ad tájékoztatást.

Már több mint 30 éve világszerte felfigyeltek arra is, hogy a forgalmas közutak mentén egyes elemek feldúsulnak. Kiterjedt kutatások tárgyát képezte a nehézfémek utak menti talajokban való feldúsulása, annak összefüggése a forgalommal, a benzinbe kevert adalékanyagokkal. Végeztek vizsgálatokat arra irányultan is, hogy az egyes nehézfémek milyen mélységbe jutnak le a talajban, ott milyen formában kötődnek és mobilizálódnak, milyen növények és növényi részek akkumulálják őket, és így hogyan juthatnak be esetlegesen a talaj-növény-állat-ember táplálékláncba.

A környezetszennyezést okozó feldúsulás nemcsak olyan toxikus elemeket érint, mint a kadmium vagy az ólom, hanem az esszenciális mikro- és makroelemeket is (Szabó, 1998). Az esszenciális elemek is toxikus tüneteket válthatnak ki, ha a szükségesnél nagyobb koncentrációban vannak jelen (Láng, 2002). Paracelsus (1493-1541) így fogalmaz: „Minden anyag mérge, nincsen olyan anyag, ami ne lenne mérge. A dózis az, ami megszabja, hogy valami mérge-e vagy orvosság.” Ez a megfogalmazás helytálló, hiszen egy elem, még ha esszenciális is, egy optimális határkoncentráció felett mérgezővé válik. A különböző elemeknél mind más-más ez a határkoncentráció. Vannak olyan elemek, amelyeknél az optimális tápelem koncentráció tartománya viszonylag nagyobb (makroelemek), és vannak elemek, amelyeknél ez a tartomány nagyon szűk (mikroelemek). A nem esszenciális elemek a kritikus határkoncentráció alatt nem mutatnak hatást, viszont ez érték feletti koncentrációban már toxikus hatásúak.

A közlekedésnek bizonyítottan nagy szerepe van az útkörnyezet nehézfémekben való feldúsulásában. A legtöbb vizsgálat az ólom útkörnyezetben való feldúsulására irányult, aminek több oka van. Egyrészt az, hogy az **ólom** humán- és állategészségügyi szempontból toxikus tulajdonsága köztudott, másrészt az, hogy az ólmot világszerte -és a közelmúltig hazánkban is- a motorbenzinhez kopogásgátlóként keverve a közlekedésben felhasználták. Ennek következtében extrém mennyiségű ólom kerülhetett a levegőbe az ólmozott benzinekből. A legáltalánosabban használt ólomvegyületek a benzin kompressziótűrésének fokozására az ólom-tetraetil és az ólom-tetra-metil voltak. Ezeknek az anyagoknak a motortérben való elégetésével főleg ólomsók és fémólom kerültek ki az útkörnyezetbe (Árkosi és Buna, 1990). Nem csak az ólom, hanem más nehézfémek is származnak a közlekedésből. A **cink és réz** a fékbetétek és a súrlódó felületek kopásából ered, a **kadmium** a gumiköpenyek porladásából valamint egyes fém alkatrészek kopásából származik (Csathó, 1994). Az említett nehézfémek extrém mértékben feldúsulhatnak az utak közvetlen környezetében és az útpadkán, mivel ezek az anyagok kiülepedéssel, kicsapódással, lemosódással kerülnek ki a környezetbe. Az úttól távolodva fokozatosan csökken a növényzet és a talaj terhelése. Az utak menti talajok ólomtartalma és a járműforgalom nagysága között lineáris összefüggés van (Árkosi és Buna, 1990). Az ólomterhelés mértéke függ a gépjárművek sebességétől is, mivel nagyobb sebességnél nagyobb a motor üzemanyag-felhasználása és hőmérséklete (Fiedler és Rösler, 1993). A járművekből az útkörnyezetbe jutó ólom mennyisége legnagyobb mértékben viszont a motorbenzinhez kevert ólomadalékok mennyiségétől függ. Ezt felismerve megkezdték az ólommentes benzin kifejlesztését. Magyarországon a Magyar Olaj- és Gázipari Részvénytársaság (MOL Rt.) 1996-ban kezdte meg a 95-ös oktánszámú ólommentes üzemanyag forgalmazását, és 1997-ben megteremtették az ólmozatlan 98-as oktánszámú benzin gyártásának feltételeit is. Az ólmozott üzemanyagok használatát pedig 1999-ben betiltották (Nasrudi et al. 2003).

A forgalmas utak nehézfém-szennyezettségének vizsgálatával számos magyarországi kutatás foglalkozott. Kádár (1995) ismerteti az M7-es autópálya nehézfém-terhelését távol eső területek háttérszennyezéséhez viszonyítva (4.4. táblázat). A vizsgálatokat 1991 októberében kezdték el. Az M7 autópálya 56 km-es szakasza mentén a talajok felső 10 cm rétegét mintázták és 15-20 fűrés anyaga reprezentált egy átlagmintát. Az uralkodó szélirányt figyelembe véve az útpálya DK-i oldalán jelölték ki a mintavételi helyeket az úttól 1, 5, 10,

30, 100 m távolságban. Az utak mellett található növényzetet is mintázták. Növényi mintákból az összes elemtartalmat határozták meg cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 feltárást követően. A háttérszennyezést a vidéki kísérleti telepek szántói és szántóföldi növényei képviselték. Az M7 autópálya mentén vett talajminták vizsgálatainak eredményeit a szennyezetlen vidéki szántók vizsgálatainak eredményeivel összehasonlítva arra az eredményre jutottak, hogy a közlekedés nyomán a Na, Pb, Zn, P, Cu, és Cd elemek a talajban feldúsulnak. Az úthoz közeli területeken, főleg az útpadkán ugrásszerűen nőhet ezen elemek koncentrációja. A növénymintákat megvizsgálva is hasonló eredményeket kaptak, bár a dúsulási faktor eltér a talajban és a növényzetben, mivel a növényzet nem képes a terheléssel arányos elemfelvételre, de a szennyezettséget jól jelzi. A közlekedés kapcsán feldúsuló legfontosabb elemeket a következő táblázat szemlélteti az M7 út mentén vett talaj- és növényminták összetételének változásán, az úttól való távolság függvényében (**4. táblázat**).

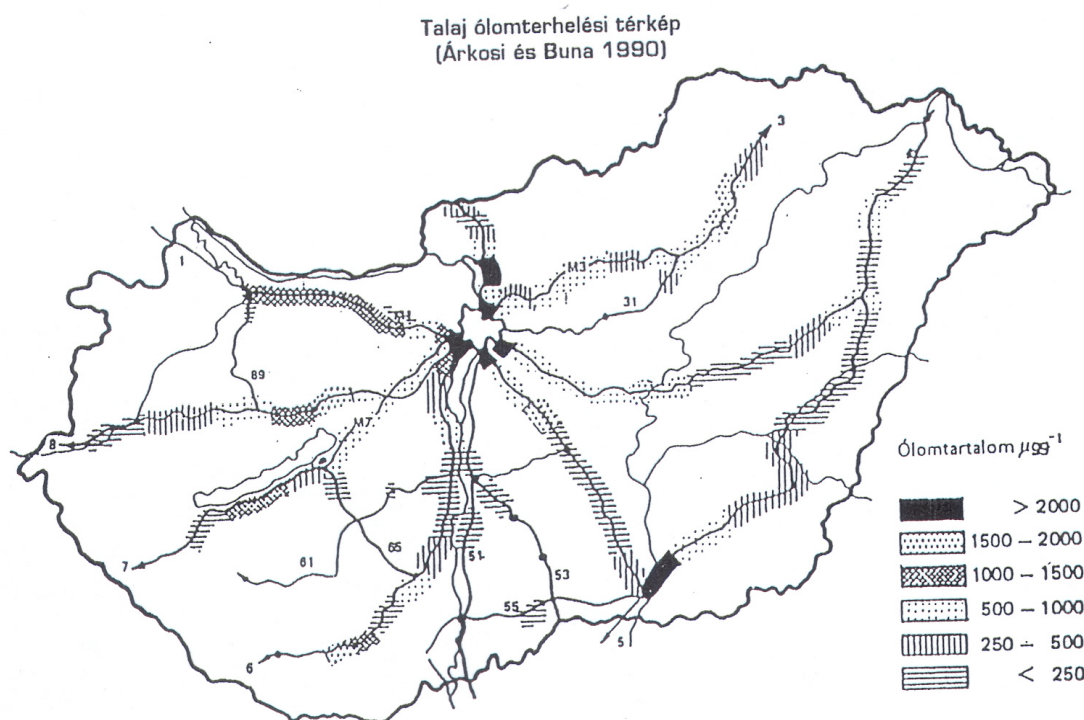
4. táblázat: Az M7 út mentén vett talaj (0-10 cm) és gyepnövény (hajtás) minták összetételének változása az úttól való távolság függvényében (Kádár, 1995)

Távolság az úttól, m	Na	Pb	Zn mg/kg	P	Cu	Cd
Talajelemzés: NH_4-acetát + EDTA						
1	567	411	412	246	25	0,58
5	47	38	14	75	10	0,19
10	37	22	13	55	13	0,17
30	124	24	55	5	10	0,17
100	86	15	14	52	11	0,16
SzD _{5%}	226	175	290	118	12	0,11
Átlag	172	102	102	96	14	0,26
Növényelemzés: HNO_3-feltárás						
1	1145	77	111	2295	11	0,22
5	370	22	31	1105	5	0,10
10	228	22	33	1320	6	0,11
30	544	16	30	1790	6	0,11
100	200	17	30	1290	6	0,10
SzD _{5%}	881	18	25	589	2	0,08
Átlag	517	31	47	1596	7	0,13

Kádár és munkatársai megállapítják, hogy a környezetszennyezés egyaránt érintheti az esszenciális és nem esszenciális, mikro- és makroelemeket is. Különös veszélyt jelent ez akkor, ha a feldúsulás valamilyen élettanilag toxikus elemet érint. A potenciális veszélyt növelheti az adott elem táplálékláncban való mozgékonyasága és könnyű felvehetősége, vagy az a tény, hogy az elem az élő szervezetben lassan bomlik le, ott raktározódni képes. E tekintetben az Pb és Cd terhelés számíthat hosszú távon közellenségnek.

Árkosi és Buna (1990) átfogó kutatást végeztek a hazai talajok közlekedésből származó ólomtartalmáról. Az ólom az utak környezetébe különböző méretű szilárd részecskék formájában kerül. Az emittált ólomrészecskék 50-70 %-a kisebb 5 μ -nál, 5-12 %-a kisebb, mint 1 μ . A motortérből kikerült ólom nem egésze emittálódik a környezetbe, 20-30 %-a a gépjárművek kipufogórendszerében rakódik le. A kipufogógázból kikerült ólom a légtérbe kerül, ahol kiülepedéssel, kicsapódással, lemosódással kerül a talajra, növényzetre és vízrendszerekbe. A vízrendszerek adszorpció, abszorpció és kémiai reakciók útján szennyeződnek. A környezeti elemek kölcsönhatásban állnak egymással, így a levegőbe jutó ólomtól az útkörnyezet szinte minden eleme szennyeződik. Kutatásuk megállapítja, hogy a környezet ólomszennyeződése elsősorban az utak járműforgalmától függ, a környezet

ólomszennyeződése arányosan követi a forgalomnagyság növekedését. Vizsgálták az ólomtartalom területi és vertikális eloszlását. Ez alapján megállapították, hogy légköri ólomszennyezettség szempontjából ólomimmissziós környezetnek számít az út menti 70 m széles sáv, 4-5 m magasságig. A talaj és növényzet vizsgálatával megállapították, hogy az úttól mintegy 25-50 m távolságig, 20-25 cm talajmélységig kell jelentős ólomszennyezettséggel számolni. A környezet szennyezettségének kialakulását számos tényező -a környezet úthoz, az útpálya síkjához viszonyított helyzete, a domborzat, a növényzet általi lefedettség, a klimatikus viszonyok stb.- befolyásolja. Munkájukban ismertetik az Országos Környezetvédelmi Hatóság (OKTH) megbízásából 1981-1985-ig végzett, a hazai főbb közlekedési utak környezetének nehézfém-szennyezettségére irányuló kutatások eredményeit, és ismertetik Magyarország ólomterhelési térképét (7. ábra).



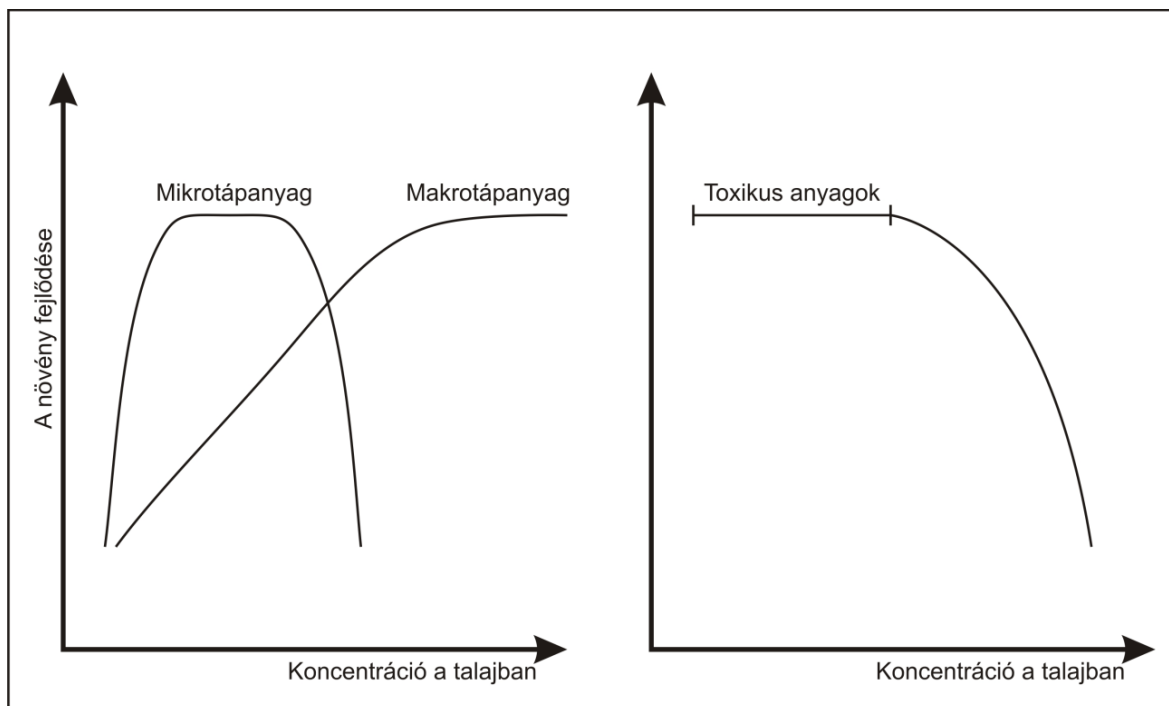
7. ábra: Magyarország ólomterhelési térképe (Árkosi és Buna, 1990)

A vizsgálatok eredményeképpen megállapították, hogy voltak helyek, ahol a szennyezettség a megengedett szennyezettségi értéket ($100 \mu\text{g/g}$) többszörösen is meghaladta. A vizsgálati időszakig kialakult nagy ólomtartalom annak a következménye, hogy korábban a benzin még igen nagy mennyiségben tartalmazott ólomadalékokot.

6. A talajszennyezés megítélése a talajtulajdonságok függvényében. Határérték rendszerek (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Toxikusnak tekintünk egy anyagot (kémiai elemet, vegyületeit, szerves anyagot), amennyiben káros hatást fejt ki talajra, növényre, állatra, emberre (**5. táblázat**). Adott elem esszenciális – toxikus volta, az adott talaj ill. vízszennyezés mértéke **koncentrációfüggő** (**8. ábra**).



8. ábra: A talaj elemtartalom toxikusságának megítélése koncentrációfüggő

Az adott elem hatását más elem/anyag jelenléte módosíthatja, toxikusságát csökkenti. Egyes **antagonista hatású elemek** túlsúlyba kerülve gátolják a többiek felszívódását (másodlagos hiány). Az egyik legfontosabb antagonista hatású elem a Ca, amely túlsúlyban gátolja a Zn, a Cu, a Mg felszívódását. Hasonló gátlás tapasztalható a Cu-S, valamint a Se-S viszonylatában. Elem antagonisták pl. Zn – Cd. Toxikusság függ az **expozíciós időtől**, azaz hogy rendszeres, tartós terhelésről, vagy egyszeri, akut hatásról van-e szó. Meghatározó a szennyezés megítélésében az, hogy **a káros anyag milyen formában van jelen**: pl. metil higany vegyületek erős mérgek, de a HgS oldhatatlan semleges anyag. Meghatározó az oxidációs fok is, pl. Cr(III)-vegyületek nem mérgezők, a Cr(VI) azonban erős mérgező, rákkeltő. Egy adott szennyezőanyag megítélésében jelentős szerepe van az adott elem lebomlási tulajdonságának, **perzisztenciájának**. A perzisztencia nem más, mint a természetes lebontással szembeni ellenálló képesség. Minél perzisztensebb egy vegyület, annál nagyobb annak a veszélye, hogy a környezeti elemekben felhalmozódik és bekerül az élő szervezetekbe. Lassan bomló, perzisztens vegyület pl. a klórozott szénhidrogének, policiklusos aromás szénhidrogének. Egyáltalán nem degradálódnak a nehézfémek. Emberi ill. állati szempontból fontos a szervezetbe kerülés módja: bőrön, szájon át, tüdőbe ill. mely szervekbe kerül a mérgező elem. S nem utolsó sorban a környezeti feltételek egész sora módosítja az adott szennyező anyag hatását.

5. táblázat: Egyes elemek áttekintése potenciális toxicitás, ill. élettani hasznosságuk alapján a növényi és állati táplálásban

	E _n	E _a	T _n	T _a
Al			*	
Cd			*	*
Co		*		
Cu	*	*	*	*
Fe	*	*		
Mn	*	*	*	
Ni		*	*	
Pb			*	*
Zn	*	*	*	

(Alkalmazott rövidítések: E_n = növények számára esszenciális, E_a = állatok számára esszenciális, T_n = növények számára toxikus, T_a = állatok számára toxikus) (Merian, 1984 után módosítva)

A nyomelemek közé, melyek koncentrációja kisebb mint 0.1 tömeg% (< 1000 g/t ill. ppm) sorolható az elemek majd 90%-a. Közéjük tartozik az 5 g/cm³-nél nagyobb sűrűségű nehézfémek többsége is. Atomszámuk 23-32, 40-51, 57-84 és 87-106. Ezek közül különleges érdeklődés csak mintegy 12 elem iránt van. Ezek a Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn valamint a Zn. Mint potenciális szennyező források a Cd, Hg, Ni és Pb napjainkban különösen kutattak.

A nyomelemek egy része a növények számára, ill. az állati táplálásban nélkülözhetetlen (**5. táblázat**). A növények, különösen a magasabb rendű növények számára akkor tekintünk egy elemet esszenciálisnak, ha hiánya közvetlenül a növény abnormális növekedését ill. pusztulását okozza, hatása specifikus, más elemmel nem helyettesíthető, adagolásával a hiányjelenség megszüntethető (Kádár, 1991). Az állati táplálásban a nélkülözhetetlenség kritériumai hasonlóképpen fogalmazhatók meg. Egyes elemek hasznosságáról, esetleges potenciális toxikusságáról az **5. táblázat** nyújt áttekintést.

Egy elem, mégha esszenciális is, egy optimális szint, egy határkoncentráció felett toxikussá válik, sérülést okozhat egy szerv, vagy a növény növekedésében, anyagcseréjében. Létezik egy optimális tápelem koncentráció, mely azonban egyes elemeknél (pl. Mo, B) igen szűk tartományt jelent. A nem esszenciális elemek a kritikus határkoncentráció alatt nem mutatnak hatást, felette viszont potenciális toxikus hatásuk nyilvánvaló. Bowen 1966-ban toxikusságuk alapján az alábbiak szerint rangsorolta az elemeket (Csathó, 1994):

- Nagyon toxikus elemek, amelyek a teszt növényeket már 1 mg/l oldat-koncentráció alatt is károsítják (pl. Ag, Be, Hg, Sn).
- Közepesen toxikusak, amelyek 1-100 mg/l közötti oldat-koncentrációban mutatnak gátlást (pl. As, Cd, Cr, Fe, Mn, Zn).
- Gyengén toxikusak, amelyek még 1800 mg/l oldat-koncentráció felett is csak ritkán mutatnak károsító hatást (pl. Cl, Br, Mg, K).

A talaj-növény rendszer legnagyobb részt kiküszöböli a nagyon toxikus elemek táplálékláncba mérgező mennyiségben való bekerülését. A növényi növekedés leáll ill. erősen lecsökken mielőtt ezek az elemek olyan koncentrációt elérhetnének a növényi szövetekben amely már mérgezést okozna. Természetesen a talaj oldaláról is számos tényező segíti elő a potenciálisan toxikus elemek immobilizációját, ezért a nehézfémekkel terhelt talajok esetén a még tolerálható határértékek megállapításánál ezeket is figyelembe kell venni (**6. táblázat**) (Fiedler, Rösler 1993).

6. táblázat: Nehézfémekkel terhelte talaj tolerálható Cd, Zn és Pb tartalma különböző talajparaméterek függvényében (Fiedler, Rösler, 1993 alapján)

pH érték	5				7			
Agyagtartalom (%)	10		30		10		30	
Szervesanyag tartalom (%)	1	3	1	3	1	3	1	3
Cd (ppm)	0.3	0.9	0.9	2.7	0.4	1.3	1.3	3.8
Zn (ppm)	30	90	90	270	40	130	130	280
Pb (ppm)	100	300	300	900	140	420	420	1260

Magyarországon a fémek hatályban lévő határértékeit a 6/2009 (IV.14.) KVM-EüM-FVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez c. rendelet szabályozza. A földtani közegért szennyezések minősítéséhez az ebben a rendeletben megadott határértékeket kell figyelembe venni. A 219/2004. (VII.21.) Korm. Rendelet (A felszín alatti vizek védelméről) alapján megkülönböztetünk:

- ✗ **Igénybevételi határérték:** a környezet vagy valamely eleme jogszabályban vagy hatósági határozatban meghatározott olyan mértékű igénybevétele, amely kizárja a környezetkárosítást
- ✗ **Kibocsátási határérték:** a környezetnek vagy valamely elemének jogszabályban vagy hatósági határozatban meghatározott olyan mértékű terhelése, amely kizárja a környezetkárosítást
- ✗ **Szennyezettségi határérték:** a környezet valamely elemének olyan - jogszabályban meghatározott - mértékű szennyezettsége, amelynek meghaladása - a mindenkori tudományos ismeretek alapján - környezet- vagy egészségkárosodást idézhet elő

A rendelet megadja a határértékeken kívül a szennyezőanyagok háttér koncentrációját is, amit irányelvnek kell tekinteni addig, amíg az adott területen a tényleges háttér koncentráció megállapításra nem kerül. A rendelet melléklete tartalmazza a fogalom meghatározásokat is:

(A) **háttér koncentráció:** reprezentatív érték, egyes anyag természetes vagy ahhoz közeli állapotot jellemző koncentrációja a felszín alatti vízben, illetve a talajban;

(Ab) **bizonyított háttér koncentráció:** adott térségre jellemző az (A) háttér koncentráció helyett alkalmazandó koncentráció, ami a természetes adottságok, továbbá felszín alatti vízen, földtani közegen kívül más környezeti elemen keresztül történt terhelés hatására alakult ki. Értékét a környezetvédelmi felügyelőség az engedélyezés vagy kármentesítés során vizsgálatokra alapozva állapítja meg;

(B) **szennyezettségi határérték:** felszín alatti víznél az ivóvízminőség és a vízi ökoszisztéma igényei, földtani közeg esetén a talajok multifunkcionalitásának és a felszín alatti vizek szennyezéssel szembeni érzékenységének figyelembevételével meghatározott kockázatos anyag koncentráció.

(Ci) **intézkedési szennyezettségi határérték:** egy adott terület – külön jogszabály szerint – szennyeződés érzékenységétől függően meghatározott kockázatos anyag koncentráció, amelyet meghaladó érték esetén – (E) egyedi szennyezettségi határérték vagy (D) kármentesítési szennyezettségi határérték hiányában – a környezetvédelmi felügyelőségnek intézkednie kell (C1 = Fokozottan érzékeny-, C2 = Érzékeny-, C3 = Kevésbé érzékeny terület)

(D) **kármentesítési szennyezettségi határérték:** komplex értékelésen, a kockázatos anyagnak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken vagy modellszámításokon, mennyiségi kockázatfelmérésen alapuló, a területhasználat figyelembevételével, a kármentesítési eljárás keretében, hatósági határozatban előírt koncentráció, amelyet az emberi egészség és az ökoszisztémák károsodásának megelőzése érdekében a kármentesítés eredményeként el kell érni.

A földtani közegre vonatkozó szennyezettségi határértékeket az egyes toxikus fémek esetében a 6/2009 (IV.14) együttes rendelet mellékletében közlik. A rendeletben közölt fémekre vonatkozó határértékeket a következő táblázat szemlélteti (**7. táblázat**):

7. táblázat: A fémek ("összes" kioldható) és félfémek szennyezettségi határértékei földtani közegre (mértékegysége: mg/kg szárazanyag)(A = háttér koncentráció; B = szennyezettségi határérték; *k = a kimutathatósági határ értéke)

	A (mg/kg)	B (mg/kg)
Króm összes	30	75
Króm VI.	*k	1
Kobalt	15	30
Nikkel	25	40
Réz	30	75
Cink	100	200
Arzén	10	15
Szelén	0,8	1
Molibdén	3	7
Kadmium	0,5	1
Ón	5	30
Bárium	150	250
Higany	0,15	0,5
Ólom	25	100
Ezüst	0,3	2

A talaj ill. felszín alatti víz szennyezések kapcsán meg kell határozni a terület és a szennyező anyag tulajdonságait, ezek után elvégezhető a terület szennyezettségének értékelése. Az értékelés során először a szennyezőanyagot vizsgálják, úgymint a toxicitását, mennyiségét, koncentrációját. Ezután a kiterjedését, a szennyezőanyag hozamát, és a migrációt. Végül a védendő értékeket, a háttérterhelést, a terület hasznosítását, és az expozíciót. A kapott vizsgálati eredményeket összevetik a különböző határértékekkel, megállapítják a Kármentesítési szennyezettségi határértéket (D), végül megtörténik a tényleges kármentesítés. A szennyezőanyag kockázatának megítélése mindig anyag és helyspecifikus. Nem beszélhetünk általában egy vegyi anyagnak a környezeti kockázatáról. Ugyanaz az anyag, vegyület bizonyos körülmények között lehet teljesen ártalmatlan, míg más esetben kifejezetten ártalmas. Ezért a szennyezettségi határértékek mindig orientáló jellegűek, nem értelmezhetőek abszolút merev határértékként (Szabó 2002).

A talaj tisztítási célállapotának meghatározásakor a már elszennyeződött területeknél elsősorban a területhasználatok befolyásolják a kitűzhető célállapotot. A talaj célállapotának megfogalmazása szempontjából irányadó a Kt. 13. § (1) bekezdése: „minden környezeti elemet önmagában, a többi környezeti elemmel alkotott egységében és az egymással való kölcsönhatás figyelembe vételével kell védeni”. A talaj célállapotának kijelölésekor általában cél a multifunkcionalitás megóvása, de legalább a felszín alatti vizek védelmének megfelelő minőséget jelölhetjük ki. (Ötvös K. 1998.)

A nehézfémek mobilitását a talajban több talajtulajdonság befolyásolja. Ezek közül jelentős a fizikai talajféleség, és a kémhatás. Ez utóbbi nagy jelentőségű, hiszen a talaj savanyodás hatására jelentősen megnő a mobilis ionok koncentrációja, a fémion oldatbeli mennyisége. Ez a már eleve szennyezett talajoknál nagyon veszélyes lehet, mert az oldhatatlan nehézfém-vegyületek mobilizálódhatnak a savanyodás hatására, és súlyos környezeti károsodást okozhatnak (Stefanovits et al. 1999). A talaj szervesanyag-tartalmának is fontos szerepe van a fémek mobilitásában, hiszen a nehézfémek szerves anyagon történő adszorpciójának nagy a jelentősége. A talajszennyeződés környezeti hatásának megítéléséhez ezért nem csak az összes nehézfém-tartalmat kell figyelembe venni, hanem a mobilis készletet és a talajtulajdonságokat is.

7. A szennyezett talajok környezeti és humán-egészségügyi kockázata. (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A **kockázatelemzés** a veszélyes anyagokra vonatkozó azon tudományos ismeretek és adatok összegyűjtése, rendszerezése, elemzése és integrálása, amelyek alapján a vegyi anyagok meghatározott körülmények között a környezetre és az emberre gyakorolt lehetséges káros hatása megítélhető (Németh, 2001). A **kockázat** az egészség, a környezet vagy az anyagi javak károsodásának valószínűsége, figyelembe véve a károsodás természetét és nagyságát is. A környezetvédelmi gyakorlatban elkerülhetetlen annak ismerete, hogy egyes talajt (ill. talajvizet) érő környezetszennyezések alkalmával a lehető legpontosabban meg tudjuk ítélni a közeget ért terhelés nagyságát és a többi környezeti elemet, valamint az embert veszélyeztető kockázat mértékét. A **környezeti és humánegészségügyi kockázat** becslésének célja tehát a környezetbe jutó vegyi anyagok ökoszisztémára (emberre) gyakorolt kockázatának nagyságát mérőszámmal jellemezni. Ez nyújt alapot a gyakorlati környezetvédelemhez, pl. az alkalmazandó remediálási technológia kiválasztásához, határérték kialakításához.

A **kockázat mérőszámmal való jellemzéséhez** legszükségesebb adatok:

- Környezeti koncentráció
- Környezeti hatás (csak közelítő számítással adható meg)

A legtöbb kockázatelemzési módszer **lépcsőzetes megközelítést** alkalmaz. Általában a mennyiségi (kvantitatív) kockázatelemzést egy leíró, összehasonlító (kvalitatív) kockázatbecslés előzi meg. Amennyiben az előző két lépést követően szükség van további elemzési lépésre is, akkor a kockázat pontosabb meghatározása érdekében hely-specifikus kockázatelemzést is kell készíteni.

A talaj ill. talajvíz szennyezések kockázat becslése tehát az alábbi lépcsőzetes elv szerint valósítható meg:

- I. Összehasonlító/relatív vagy leíró, *kvalitatív kockázatbecslés*. (Pl. a leíró kockázatbecslések szövegesen értékelik a kockázati tényezőket)
- II. A leíró kockázatbecsléseket *kvantitatív, de általános kockázatelemzés* követi, amely az általános határérték meghatározásához szabványszerűen, vagy útmutató jelleggel, standardizált expozíciós körülményekre vonatkozóan készül.
- III. A kockázat pontosabb meghatározására *kvantitatív, hely-specifikus kockázatelemzést* kell készíteni.
 - A hely-specifikus mentesítési célérték meghatározásához hely-specifikus vizsgálatokat kell végezni.
 - Gyakorlati szempontból a számításokat kétféle módon végzik. Az “Előre haladó számítás” során a környezeti elemekben mért szennyezettségből kiindulva határozzák meg a kockázati szintet az expozíció helyén a hatásviselőre.
 - A “Visszafelé haladó” számítással a hatásviselőnél a megengedhető kockázati szintből – és az ehhez tartozó tolerálható kockázatos anyag koncentrációjából – számítják ki a szennyező forrásnál megengedhető kockázatos anyag koncentrációját (mentesítési célérték: D érték).

A humán egészségkockázat felmérése négy fázisra osztható. Az **adatgyűjtés és a kémiai analitika fázisában** (1) a szennyezett területek jellemzése történik, a kockázatos anyagok környezeti elemekben való koncentrációjának és kiterjedésének meghatározásával. Ebben a fázisban történik még a területhasználatok és a releváns humán hatásviselők azonosítása. A **kitettség (expozíció) felmérésekor** (2) a mért vagy becsült környezeti koncentrációk felhasználásával az előre jelezhető átlagos napi szennyezőanyag bevitelt (dózist) határozzák meg, azon emberi populációra, amelynek expozíciója valószínű. A **hatás (dózis-válasz összefüggés) vizsgálatakor** (3) az egyes szennyezőanyag-dózisokra toxikológiai kísérletekre alapozva határozzák meg a hatásviselők által adott választ. Megadják a károsan még nem ható dózisokat és a daganatképződés kockázatát leíró modelleket. Végül a **kockázat felmérése** (4) történik, amikor összevetik a kitettség-felmérés és dózis-válasz vizsgálatok eredményként kapott dózisokat, és megállapítják, hogy a számított kockázat milyen mértékű (Németh, 2004).

A kockázat tehát a vegyi anyagok okozta káros hatás bekövetkezésének valószínűsége, tényleges vagy előre jelzett előfordulási gyakorisága, amennyiben az ember, vagy az élőlények bizonyos fokú expozíciója bekövetkezik. Röviden: a nem kívánatos következmény előfordulásának valószínűsége.

A talaj és talajvíz minőségével foglalkozó szakemberek és döntéshozók egyik kulcskérdése az, hogy **mekkorra az elfogadható kockázat szintje** a kockázatfelmérések készítésekor. A környezeti kockázatot külön adják meg attól függően, hogy a kitettséget okozó vegyi anyag daganatképző (rákkeltő) tulajdonságú vagy sem. Az elfogadható kockázat szintje a nem rákkeltő hatású vegyi anyagok esetében kevésbé vitatható, mivel ezekre az anyagokra általában létezik egy feltételezett biztonságos dózis, ami naponta bevihető az ember teljes életének minden napján anélkül, hogy bármiféle egészségkárosodást okozna. Az elfogadható kockázat szintjét tehát általában úgy adják meg, hogy az expozíciós dózis ne haladhassa meg ezt a biztonságos referencia dózist. Az expozíciót akkor tekintik elfogadható mértékűnek, ha az emberi egészségkockázat értéke *egyenlő vagy kisebb, mint egy*. **Egészségkockázati hányados** (HRQ) fogalma a következő: a determinisztikus hatású vegyi anyag becsült expozíciójának, azaz az átlagos napi szennyezőanyag felvétel (ÁND) mértékének és az elviselhetőnek tartott tolerábilis napi dózisonak (TDI) aránya (Dankó et al., 2004). A **környezeti kockázati hányadost** (HRQ) az alábbi képlet segítségével határozhatjuk meg:
HRQ = PEC/PNEC, ahol

- PEC: vegyi anyag előre jelezhető koncentrációja (Predicted Environmental Concentration)
- PNEC: Ökoszisztémát károsan nem befolyásoló előre jelezhető koncentráció (Predicted No Effect Conc.).

A kockázati hányados az alábbiak szerint (**8. táblázat**) minősíthető:

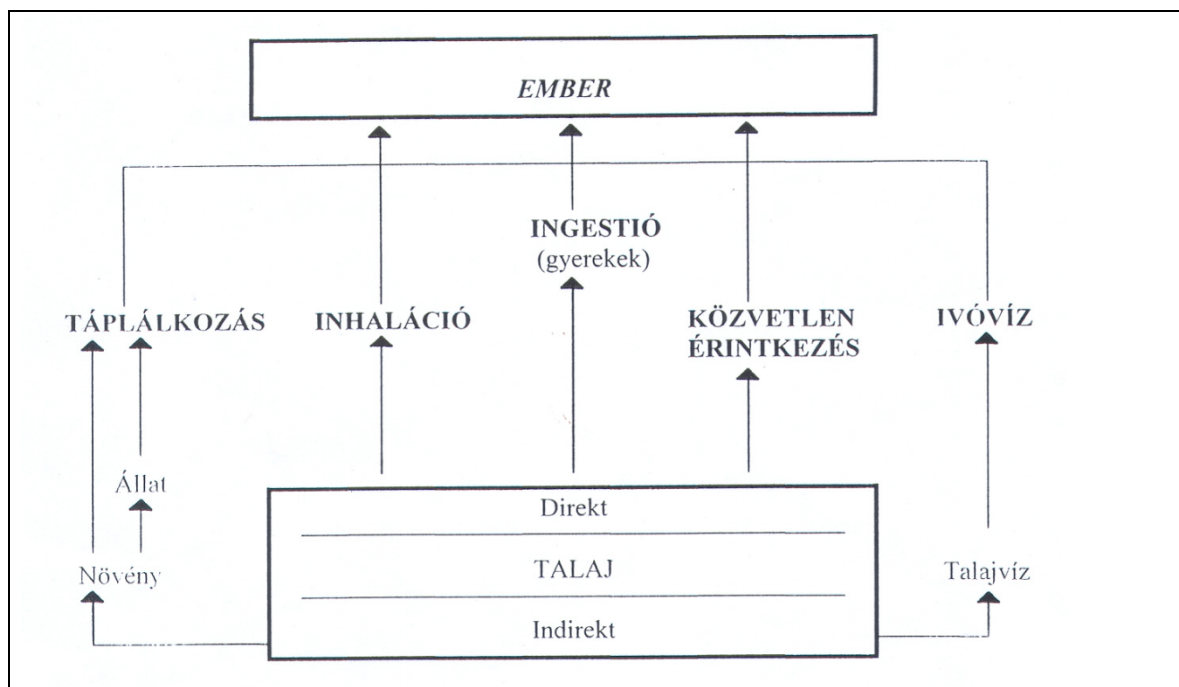
8. táblázat: A kockázati hányados minősítése (Forrás: Dankó et al., 2004)

ÁND/TDI	Minősítése
< 0,01	elhanyagolható
0,01 - 0,1	kicsi
0,1 - 1	mérsékelt
1 - 10	nagy
> 10	igen nagy

A daganatképző hatású vegyi anyagoknak viszont nem létezik biztonságos (küszöb) dózisa, mert bármely kismértékű expozíció (dózis) növeli a rák bekövetkezési valószínűségét. Az elfogadható rák kockázatnövekmény általánosan alkalmazott és elfogadott tartománya

1:10.000-tól 1:1.000.000-ig (10^{-4} - 10^{-6}) terjed. Ez a kockázati szint azt jelenti, hogy megfelelően nagy populációra nézve adott dózisú szennyezőanyag expozíció következtében 10.000 vagy 1.000.000 ember közül csupán egy-egy embernél várható halálos kimenetelű daganat kialakulása azzal, hogy rákot mástól is kaphat. Tehát a többletkockázat olyan háttérkockázatokhoz képest jelent növekedést, mint pl. a dohányzás, az étkezési szokások vagy az örökletes okok miatt kialakult rákos daganatok miatti halálesetek (Dankó et al., 2004).

A vegyi anyagok okozta, az egészségsromlásban és az ökoszisztéma károsodásában megnyilvánuló nemkívánatos hatások megelőzésében, ellenőrzésében, csökkentésében az **expozíciós utak azonosításának** és számszerűsítésének kulcsfontosságú szerepe van. Az expozíció a szervezet és valamely vegyi anyag kapcsolataként, kontaktusaként definiálható. A célszervezet akkor tekinthető exponáltnak, ha a szennyezőanyaggal való érintkezés során az anyag átjut a környezet/szervezet határon, és bizonyos dózisban eljut a célpontához (sejthez, sejtalkotóhoz) (Dura et al., 2001). A talaj nehézfém terhelés esetén számba veendő expozíciós utakat a **9. ábra** mutatja be.



9. ábra: Nehézfém terhelés: expozíciós utak az emberig

Az 1960-as évektől fellépő környezetvédelmi problémák a vízi, majd a szárazföldi ökoszisztémák vizsgálatára irányította a figyelmet. Életre hívták az ilyen vonatkozású talajteszteket és kutatási- fejlesztési programokat, megalkotva ezzel az ökológiai kockázatbecslést (ERA). Más megfogalmazásban: „Az ökológiai kockázat becslés a kockázatok elhárítását, ill. kezelését megalapozó iteratív eljárás, lépései a következők: a probléma megfogalmazása, információgyűjtéssel és előzetes tervezéssel; hatás és expozícióbecslés adatgyűjtés és elemzés alapján; valamint a kockázat jellemzése, az asszimilálás és az integrálás figyelembe vételével.” (Boros T. 2003). Az ERA az expozíció és a kutatás vizsgálatán alapul. Nincs olyan teszt, amely az egész ökoszisztémára vonatkozóan a szennyezett terület okozta kockázatot megállapítaná. Az ERA-t néhány országban kötelezően, míg más országokban csak néhány területhasználatra alkalmazzák. Az emberi egészség-kockázat vizsgálatához kapcsolódó, másodlagos eljárás, amit gyakran csak egyszerűsített módszerekkel végeznek. (Gondi F. et al, 2004)

A környezeti és humán-egészségügyi kockázatbecslést a magyarországi gyakorlatban az ún. 'magyar módszer'-t alkalmazva valósítják meg, melynek kidolgozása során a kutatók az elővigyázatosság elvét követték. A gyakorlat elsődleges szempontjai közé tartozik, hogy a szennyezetlen környezeti közegek elszennyeződése nem megengedett, a szennyezettség nem tevődhet át egyik környezeti elemről a másikra.

Az élő receptor szervezeteket, a hatásviselőket a környezeti ártalmaktól, úgy tudják megvédeni, ha az expozíció helyén, elfogadható mértékűre csökkentik a kockázatos anyag koncentrációját illetve bevitelét. Kockázatfelméréskor **potenciális hatásviselőket** vesznek figyelembe, amelyek mint megfelelőségi pontok szerepelnek a számításokban. A megfelelőségi pontokban teljesíteni kell a kívánatos talaj ill. vízminőségi kritériumokat (Gondi F. et al, 2004).

A talajaink szennyezését okozó szennyeződés emberi tevékenység eredménye, amely felszíni vagy felszín közeli eredetű. A szennyeződést a csapadék bemossa a talajba, amely így lefelé terjed, átjutva a háromfázisú talajzónán elszennyezheti a talajvizet. Ennek elkerülése érdekében meg kell akadályozni, hogy a felszíni, vagy felszín közeli talajszennyezettség a talajból a talajvízbe jusson, és hogy a talajvíz szennyezettsége a mélyebb vízadóba is áterjedjen (Gondi F. et al, 2004). Ennek érdekében **a szennyezett közeg alá potenciális hatásviselőt helyeznek**. Ha csak a talaj szennyeződik, akkor a talajvíz felszínére helyezik a megfelelőségi pontot oly módon, hogy a talajvíz addigi minősége ne változhasson. A talajvíz szennyezettsége esetén a megfelelőségi pontot az első réteg-vízadóba kell helyezni. Előfordulhat, hogy a szennyezettség környezetében a valós hatásviselő nem azonosítható. Ilyen esetekben, a megfelelőségi pontokban, a (D) kármentesítési szennyezettsége határértékeket úgy kell megadni, hogy a szennyeződés e pontok által lehatárolt területnél tovább ne terjedhessen.

A kockázatfelmérések kezdetekor elégséges a szennyező forrásban megmérni a szennyezőanyagok koncentrációját, majd ebből modellezni a környezeti elemekben várható környezeti koncentrációkat (PEC). A kockázatfelmérés pontosítását már matematikai modellekkel kell végezni. „Az emberi egészségkockázat felmérésnél az előre jelezhető környezeti koncentráció (PEC) értékéből egységnyi testtömege és időre vonatkozó dózist (ÁND) kell megállapítani az expozíció, a területhasználat és a hatásviselő jellemzőinek függvényében. Az így kapott dózist (bevitel) pedig viszonyítani kell a toxikológiai alapú referencia értékhez.” (Gondi F. et al, 2004)

Humán hatásviselő lehet egyetlen ember, embercsoport, vagy emberi populáció, ezen belül érzékenységi alcsoportok is megkülönböztethetők (gyerekek, öregek, várandós anyák), az átlagos napi dózis számításakor eltérő expozíciós paramétereket (testtömeg, expozíciós időtartam) kell figyelembe venni. Ökológiai hatásviselő lehet egy mikroba populáció, magasabb rendű élőlények, de a talaji ökoszisztéma is ennek tekinthető. Ide kell sorolni a felszín alatti vizeket is. A potenciális hatásviselőket a vizsgálat állapítja meg, és helyezi az adott területre. (Gondi F. et al, 2004)

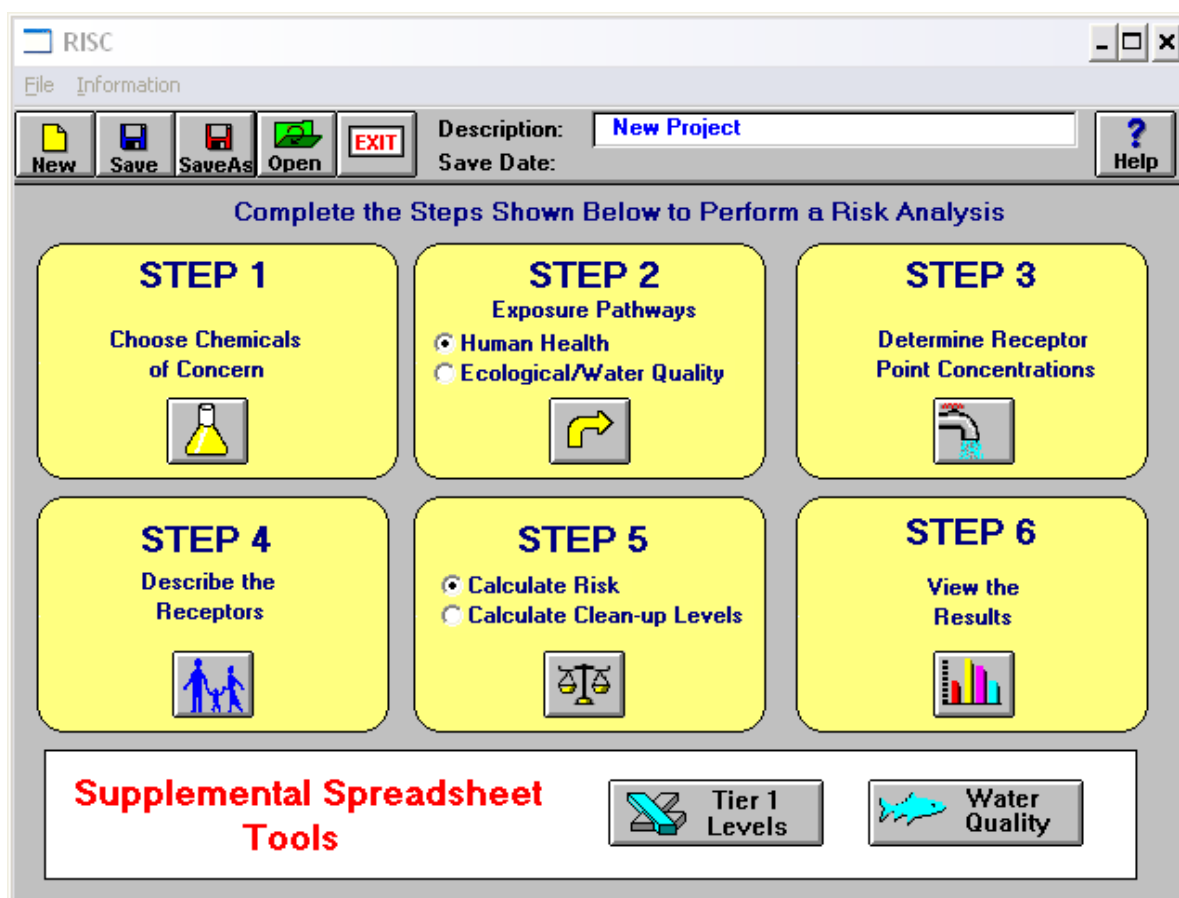
A szennyezőanyagok bőrkontaktus, belélegzés, vagy szájon át juthatnak be a szervezetbe. „Az átlagos napi bevitel (ÁND) az egységnyi testtömege egységnyi idő alatt jutó szennyezőanyag mennyiséggel fejezik ki.” Kiszámításakor figyelembe kell venni az expozíció gyakoriságát, az expozíció időtartamát, a bevitel mértékét leíró számot, a vegyi anyag koncentrációját. Az expozíció időtartama alapján megkülönböztetünk akut és krónikus expozíciót. Lehet rövid idejű, egy nap, vagy krónikus esetben két évnél is több. Rákkeltő hatású anyagoknál az egész élettartamra kell megadni az átlagos napi dózist. (Gondi F. et al, 2004)

A kockázatbecslés eredményességét számítógépes programok segítségével is megvalósíthatjuk. Az expozíciós modelleknek az a közös tulajdonságuk, hogy leírják a vegyi anyagok mozgását, terjedését a különböző környezeti közegek között. A környezeti modellek a vegyi anyagok terjedése alapján szimulálhatják az egyensúlyi és a nem-egyensúlyi állapotot.

Fontos a szennyezett terület vizsgálatából származó adatok megbízhatósága, minősége, valamint későbbi reprezentálhatósága. A kockázatfelmérésre használt programok nagy adatigényűek. A kockázatbecslő szoftverek bemeneti adatai között szerepelnek pl. a vizsgált terület, objektum azonosítására és jellemzésére szolgáló paraméterek, a szennyezők fizikai-kémiai tulajdonságai, a mérés során a pontos szennyezettségi koncentráció értékei, valamint az expozíciós útvonal összeállításához szükséges információk (Gondi F. et al, 2004). A **RISK v. 4.0** program segítségével transzportmodellezések, valamint humán-egészségügyi kockázatelemzések készíthetők szennyezett területekre. A program módszerei az US EPA kockázatelemzési irányelvein (expozícióbecslés, toxicitás felmérés, kockázatbecslés) alapulnak (Risk Assessment Guidance for Superfund - US EPA, 1989). Valamennyi környezeti közeg mért szennyezettségi adatait kezeli, közvetlenül számolja a kockázati hányadosokat (www.jaketa.hu). Fő alkalmazásai:

- A szennyezett környezeti elemek (levegő, víz, talaj) miatti expozícióból adódó humánegészségügyi kockázatok becslése.
- Kockázaton alapuló kármentesítési határértékek becslése.
- Egyszerű transzportmodellek készítése.
- Felszíni vizekre és üledékekre vonatkozó lehetséges ökológiai hatások becslése.
- Környezeti adatok és határértékek menedzselése és tárolása.

A lépéseket a logikus menüszerkezet segít végig lépni, melyet a következő **10. ábra** mutat be:



10. ábra: RISK v.4.0 kezdő oldal

A menürendszeren végig haladva (**10. ábra**) 1. lépésben a fontos vegyi anyagok kiválasztása történik. A RISC lehetővé teszi több mint 86 gyakori vegyi anyag kiválasztását, melyeknek fizikai, kémiai és toxicitási adatait is megadhatjuk. A vegyi anyagok adatbázisa bővíthető.

1. lépés Expozíciós útvonalak definiálása.
[javascript:ssrc='big_step2.gif'; imgg3\(ssrc\)](#)A szennyezett elemek, a transzportmodellek (amennyiben szükséges) és a kapcsolódó expozíciós útvonalak kiválasztása révén, definiálhatjuk az expozíciós scenáriókat. Itt lehet a humán-egészségügyi expozíciós útvonalakat, az ökológiai vagy vízminőség hatásokat kiértékelni.
2. lépés Expozíciós-pont koncentrációk meghatározása.
[javascript:ssrc='big_step3.gif'; imgg2\(ssrc\)](#)A harmadik lépésben a receptor-pont koncentrációk meghatározása történik a 2. lépésben megadott közegekre. Két módszerrel határozhatók meg a receptor-pont koncentrációk: a felhasználó megadhatja közvetlenül, vagy megadhat egy forrászóna koncentrációt, ezután terjedés-/transzportmodell segítségével megbecsüli a receptor-pont koncentrációkat.
3. lépés Felszíni víz és üledék kritériumok bevitele.
[javascript:ssrc='big_step4.gif'; imgg4\(ssrc\)](#)A 4. lépésben ki kell választani a receptorokat, és meg kell adni azok jellemző beviteli paramétereit. A számítás során alkalmazhatjuk az alapértelmezett adatokat, vagy megadhatjuk a területre vonatkozó saját adatainkat.
4. lépés Kockázatok és kármentesítési határértékek számítása.
[javascript:ssrc='big_step5.gif'; imgg5\(ssrc\)](#)A lehetséges karcinogén kockázatok és nem-karcinogén veszélyességi arányok/indexek az EPA kockázatelemzési irányelveiben (Risk Assessment Guidance for Superfund - EPA, 1998) közölt egyenletek felhasználásával kerülnek kiszámításra.
5. lépés Eredmények megtekintése.
A felhasználó megadhatja a célkockázatot vagy veszélyességi indexet egy-egy vegyi anyagra, vagy kumulatív scenárióra, amelynek során a vegyi anyagok kockázatai összeadódnak. A kockázati index, a karcinogén index és az input adatok, valamint az indexekre vonatkozó diagrammok megtekintése. (www.jaketa.hu)

8. Termőföld kivonás, a termőterületek más célú hasznosítása. Magyarországi tendenciák. (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

A Föld szilárd részének mindössze 11%-a termőföld. Az EU átlaga közel 30%, de hazánkban ez az érték több mint 60%. Magyarország természeti erőforrásainak jelentős hányadát, közel harmadát a termőföldek jelentik, ezzel hazánkban a termőföld a legnagyobb értékű megújuló természeti erőforrás. Az ország földterülete 9,3 millió ha, amelyből mintegy 7,72 millió ha-t tesz ki termőterület. Ebből mezőgazdasági terület 5,81 millió ha (KSH, 2007). A mutatók kedvező földellátottságra utalnak. A földellátottságot az egy főre jutó hasznosítható mezőgazdasági területtel jellemzik. Ez a mutató 2005-ben hazánkban (a legutóbbi KSH Mikrocenzus adatai alapján) 0,58 ha – összehasonlításként Bulgáriának 0,67, Dániának 0,64, Ausztriának 0,36, Hollandiának 0,18 ha/fő (Perczel, 2003). Az időbeli tendencia azt mutatja, hogy bár Magyarország lakossága fogy (1990-ben 10 374 823 fő, 2001-ben 10 198 315 fő, 2005-ben 10 090 330 fő), a mezőgazdasági terület nagyobb arányú csökkenése miatt egyre kisebb az egy főre jutó hasznosítható mezőgazdasági terület: 1990-ben 0,62 ha/fő, 2001-ben 0,58 ha/fő (KSH, 2005).

Gróf Széchenyi István 1830-ban a következőket fogalmazta meg: *„Józan ész soha nem áldoz fel pillanatnyi, vagy igen kis időre terjedő haszonért, habár ma nem nyúlhat hozzá, jövőre nagyobb és tartós hasznot. [...] Nincs egészséges belátása azon gazdának, ki nagyobb jövedelmezés végett jöszágait kimeríti, mert annál kevésbé jövedelme lesz nemsokára.”*

Napjaink termőföld-politikájának gyakorlati megjelenése azonban kedvezőtlen képet mutat: 1990-ben 8,24 millió hektárnyi termőterület volt Magyarországon, 2007-re ez az érték 7,72 millió hektárra csökkent (KSH, 2007). A termőföldkivonás folyamatát vizsgálva nyilvánvalóvá válik, hogy nagyobb időintervallumra vonatkoztatva évente egyre több termőföld kerül végleges, más célú hasznosításra: 1950 és 1990 között évente mintegy 9 ezer hektárral csökkent Magyarországon a termőterület, ugyanakkor 1950 és 2007 között az egy évre számított érték már 15 ezer hektár volt.

A talajkészletek megkülönböztetett jelentősége a természeti erőforrások között ésszerű hasznosítást, védelmet igényel. A talajhasználatból okozott károk nem csak közvetlenül a termőföldet, talajt érintik, hanem közvetetten a felszíni és felszín alatti vízkészleteket, felszín közeli légkört, élővilágot. A termőföldeket, a mezőgazdasági területeket természetes állapotukban is veszélyeztetik degradációs folyamatok, de emellett jelentősen csökkenti a területüket az urbanizáció, ipartelepítés, település-, infrastruktúra- és üdülőfejlesztés, bányászat, hulladék-elhelyezés. A felsoroltak a termőföldek, a talaj megsemmisülését, fizikai pusztulását jelentik, mert az elpusztult termőföld talajtani módszerekkel nem termelhető újra, így az „elvesztett” talajok soha többé nem vonhatók be a mezőgazdasági művelésbe (Megyes, 2006).

Az ipartelepítés, az urbanizálódás, a közlekedés fejlesztése is újabb és újabb területeket igényel. Ez az igény az eddigi tapasztalatok szerint csak a mezőgazdasági területek rovására elégíthető ki. Évről évre, egyre fokozódó mértékben csökken a termőföld, minden tiltás, befolyásoló rendelet, határozat ellenére. A mezőgazdaságnak a társadalom igénye által támasztott követelményeket tehát egyre kisebb területen kell kielégítenie (Major, 1987).

Problémát jelent, hogy elsősorban nem a gyengébb minőségű mezőgazdasági területeket vonják ki a művelésből, hanem azokat, amelyek olyan területen találhatók, melyek rövidtávon kedveznek az infrastrukturális beruházásoknak – azaz síkvidéki területeken. Ezáltal a termőterületeken belül tovább nő a valamilyen okból degradálódott (pl. szikes), lejtős, hegy-

dombvidéki, erózióra érzékeny területek aránya. A problémára hathatós megoldást csak egy jól megalapozott földhasználati reform jelenthet, melyben a talaj védelme valamennyi művelési ágban a korszerű gazdálkodás követelményeivel összhangban valósulna meg (Megyes, 2006).

A talajhasználattal több Európai Unió dokumentum is foglalkozik. A dokumentumok egységesen alapvető stratégiai célként tűzték ki, hogy minden talajhasználat a talaj ökológiai védelmének figyelembe vételével kell, hogy történjen, illetve a talajvédelemnek az ágazati politikákba kell integrálódnia, különösen a mezőgazdasági, az erdészeti, a bányászati, az ipari, a turisztikai, a közlekedési, a városfejlesztési és a területrendezési politikák esetében.

Az első és legfontosabb ilyen dokumentum az Európai Talaj Charta, melyet az Európa Tanács 1972-ben hozott létre, majd Átdolgozott Európai Talaj Chartaként 2003-ben bővített. A charta célja a talajok természetes és antropogén okokból bekövetkezett pusztulás elleni védelme. A következőkben a Talaj Charta azon pontjait idézem, melyek a termőföld kivonásánál irányadó elveket jelentenek.

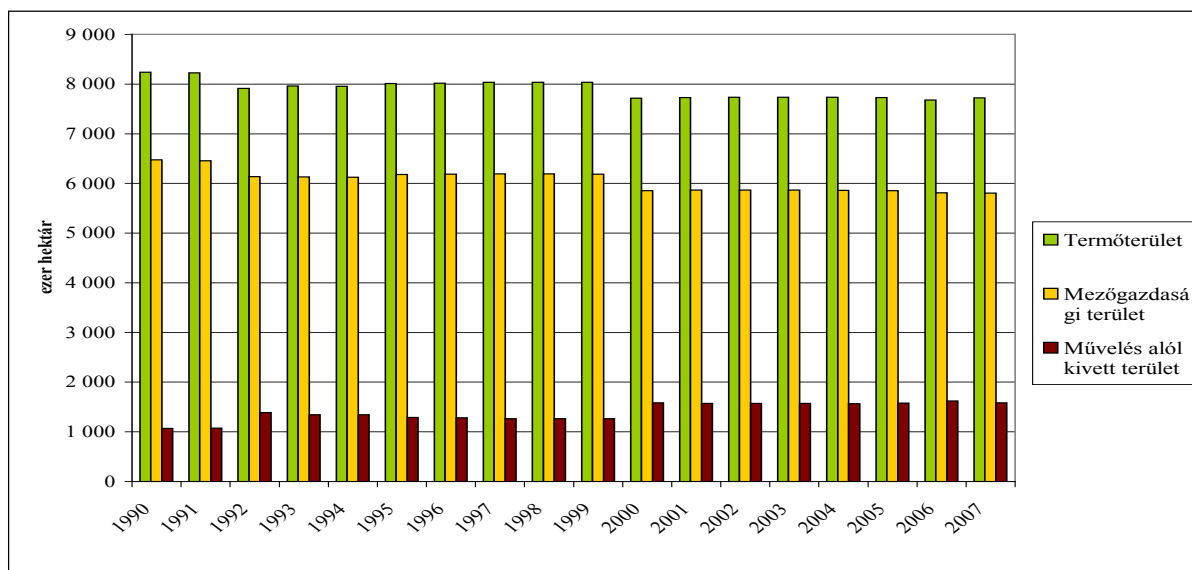
A 3. pont kimondja, hogy „az ipari társadalmak a talajt ipari és mezőgazdasági célokra egyaránt hasznosítják. A ma és a holnap társadalma érdekében szükséges kidolgozni olyan talajhasznosítási politikát, mely a talajtulajdonságokon és a regionális sajátosságokon alapul.” Ez a kitétel lényegében a fenntartható fejlődés egyik alapelvét irányozza elő.

A 7. pont legfontosabb kitétele, hogy „a városfejlesztési tervezésben a minimális talajkárosodás elsőbbsége érvényesüljön; a városok terjeszkedése csökkenti a talajfelületet és károsítja a tágabb környezetet. Gondoljunk csak az infrastruktúrára, a városi élet kellékeire, az utakra, vízhálózatokra és a megnövekedett hulladékmennyiségre, amelytől meg kell szabadulni. A beépítéseknek kerülni kell a jó termőföldek, farmok, erdők, természetvédelmi és pihenő körzetek szennyezését.”

12. pont kimondja, hogy „a kormányok és a helyi hatóságok céltudatos intézkedésekkel kötelesek segíteni a talajvédelem ügyét. A talaj létfontosságú, de korlátozottan rendelkezésre álló erőforrás, ezért használatát ésszerűen kell megtervezni. Az illetékes hatóságoknak a pillanatnyi szükségszerűségeen túl szem előtt kell tartaniuk a talaj hosszú távú megőrzését, termőképességének javítását, de legalább annak fenntartását. A helyes talajvédelmi politikába beletartozik a megfelelően centralizált és regionális szinten is jól összehangolt jogi szabályozás.”

Magyarországon a mezőgazdasági területeknek (szántó, gyepek, konyhakert, gyümölcsös, szőlő területek összessége) hosszú távú folyamatos csökkenése jellemző. 1990-ben 6473,2 ezer hektár volt a mezőgazdasági területek mérete, alig két évtized alatt, 2007-re pedig 5807,1 ezer hektárra csökkent. Mivel az erdő, nádas, halastó területek évente eltérő mértékben növekednek, így a termőterületek – amelyek a mezőgazdasági területek és utóbbi 3 művelési ág együttesét jelentik – évről évre más-más mértékben változnak (11. ábra). Vannak évek, amelyeknél növekedés is tapasztalható, azonban hosszabb távon vizsgálódva megállapítható, hogy a termőterület is csökken Magyarországon: 1990-es 8235,8 ezer hektárról, 2007-re 7721 ezer hektárra. És ahogy csökken a termőföld területe, úgy nő a művelés alól kivont terület.

Az alábbi diagram a termő-, mezőgazdasági és művelés alól kivont területek egymáshoz viszonyított változását mutatja (11. ábra).



11. ábra: A fölhasználat változása Magyarországon 1990 és 2007 között (Központi Statisztikai Hivatal, 2007 adatai alapján szerk.)

8.1. A művelésből kivont területek arányának és területének változása Magyarországon

A talajok termékenységének, a termőföldek területének csökkenésének okait három tényező csoportba sorolhatjuk. Az első és legáltalánosabb a víz és szél által okozta talajpusztulás, az erózió és defláció. A második az elsavanyodásból, a másodlagos szikesedésből vagy a Magyarországon annyira nem meghatározó elsivatagosodásból származó termékenységcsökkenés. Ezek a termőföld mennyiségi és minőségi károsodását okozzák, de végleges pusztulását csak ritkán. Ellenben a harmadik csoportba tartozó tényezőtől, a földkivonásból származó területcsökkenésről ez nem mondható el. A termőterület földkivonásból származó csökkenése a termőföld fizikai értelemben vett pusztulását, megsemmisülését jelenti. (Posta, 2002)

A magyarországi összes földterületből a művelés alól kivett 1,6 millió ha (2007-es adat), ami 17%-a az ország összterületének. Az 1990 előtti magyarországi változások legjobban a következő adatok vizsgálatával szemléltethetők: 1945-ben az ország területének még mintegy 81%-a állt mezőgazdasági művelés alatt. 1950-re ez az érték már csak 79% volt. 1970 és 1982 között a szántóterület 367 ezer hektárral csökkent, míg 1970 és 1984 között a művelés alól kivett, tehát beépített, elfoglalt terület 143 ezer hektárral nőtt. (Major, 1987)

A szocialista iparosítás korszakában a mezőgazdaságot csak másodrendű ágazatként kezelték. A termőföldeket területük nagysága és elhelyezkedésük alapján tartották nyilván, ami megkönnyítette, hogy különböző célokra szinte korlátlanul vonjanak ki területeket, függetlenül azok minőségétől és hosszú távú nemzetgazdasági jelentőségétől. Mivel építkezés céljára is azok a területek a legalkalmasabbak, amelyek sík vagy enyhén lejtős fekvésűek, megfelelő mélységben van a talajvíz, nem tartalmaznak káros sókat, azaz mezőgazdasági művelésre is a legalkalmasabbak lennének, így a legnagyobb pazarlást az jelentette, hogy a kivonás a legjobb adottságú földekre irányult. Ebben az időben az adminisztráció hiánya okozta a termőföld-állomány romlását. (Sántha, 1996)

Különösen kedvezőtlen, hogy a művelés alól kivont terület Magyarországon az 1950-es év 704,6 ezer hektárjáról 2007-re 1582,4 ezer hektárra nőtt, tehát több mint 2,2-szeresére.

A termőföldkivonást gyakran azzal indokolják adott területen, hogy az adott földterület mezőgazdasági művelése nagyságrendekkel kevesebb jövedelmet, profitot termel, mint ha ott esetleg más ipari telephely lenne. Csakhogy környezetvédelmi szempontból az ipari

tevékenységhez képest sokkal kedvezőbb a mezőgazdasági művelés, hiszen a mezőgazdaságot értelmezni lehet környezetgazdálkodási szempontból is: a mezőgazdaság a természetes és az ember alkotta mesterséges környezetnek hosszabb távra szóló szabályos hasznosítása, tervszerű fejlesztése és hatékony védelme a természet ökológiai egyensúlyának fenntartásával. (Madas, 1985)

A mezőgazdaságnak szélesebb értelmezése ad lehetőséget azoknak a funkcióknak a felsorolására, amelyek elősegítik a fenntartható fejlődést, védve a természeti kincseket, köztük természetesen a termőföldet: tájfenntartás, kultúrtáj ápolása, földvédelem, vízvédelem, ökológiai feladatok. (Ángyán-Menyhért, 1988) Egyetlen más gazdasági ág sem képes a természetet és tájat olyan mértékben befolyásolni, mint a mezőgazdaság, a kultúrtáj fő használója. Ebből fakad, hogy a természetvédelem alapvetően rá van utalva a mezőgazdasággal való együttműködésre. A kettő terület „kooperációja”, közös munkálkodása tenné lehetővé a termőföldek nagy hatékonyságú védelmét – ellentétben az ipari beruházásokkal, melyek lényegében csak „kizsákmányolják” a környezetet.

Ezt figyelembe véve kell a társadalomnak olyan gazdálkodást folytatnia az adott területen, amellyel a művelési ágak optimális ökológiai arányát ki lehessen alakítani: a gyepek, erdők, nádasok, halastavak arányának növekedésére kell törekedni, a szántók arányának csökkenésével. A gyenge használati értékű szántó ajánlott földhasználati módja eszerint fásítás, erdőtelepítés, hullámterek bővítése, ugaroltatás, gyepesítés, halastavak létesítése stb. (Dömsödi, 2006).

9. A technogén és antropogén talajok jellemzői (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Az eddigi talajtani kutatások elsősorban a természetes talajokra helyezték a hangsúlyt. De az urbanizáció, iparosítás, intenzív mezőgazdasági művelés vagy épp az infrastruktúra fejlesztése következtében egyre csökken a természetes talajok aránya, nő az átalakított, antropogén talajok területe. Éppen ezért elengedhetetlen e talajok vizsgálata is.

A városi (urbán) talajok olyan nem mezőgazdasági jellegű, urbán vagy szuburbán térségben elhelyezkedő, emberi tevékenység hatására módosult talajok, amelyek több mint 50 cm vastag olyan felszíni réteggel rendelkeznek, amelyet felszíni keveredés, feltöltés vagy szennyeződés eredményezett (Bockheim, 1974).

Az urbanizáció folyamán egyre több mesterséges felszín jön létre süllyedékek feltöltésével, kiemelkedések elhordásával (Spirn, 1984). A termőföld kivonása után a kivonás céljától függően különböző tereprendezéseket hajthatnak végre az adott területen. A feltöltések eredményeként a városokban és környékükön exkavációs (kimélyített), planírozott (elegyengetett) és akkumulációs (felhalmozódásos) morfológiai formák keletkeznek (Szabó, 1993). Ezek a formák sajátos, ún. urbic talajréteggel rendelkeznek, amely egy olyan felszíni szerves-ásványi réteg, amelyet feltöltés, keverés vagy ipari, városi hulladék eredményezett. Ez az urbic diagnosztikai horizont számos jellegzetes tulajdonsággal rendelkezik: rossz talajszerkezet, nagy műtermék-tartalom stb. (Stroganova, Prokofieva, 2002).

Lehmann és Stahr (2007) megkülönböztet belső antropogén, külső antropogén, valamint természetes antropogén talajokat. A belső antropogén talajokhoz egy város közigazgatási határán belül található, nem mezőgazdasági tevékenység hatására módosult és jelentős műtermék-tartalommal rendelkező talajok tartoznak. Külső antropogén talajokhoz sorolták azokat a talajokat, melyek a város közigazgatási határán kívül találhatóak, de a város életét elősegítő tevékenységek (pl. infrastruktúra kiépítése, bányászat) jelentős mértékben alakították. A természetes antropogén talajok csoportját pedig az igen fiatal városok bizonyos talajai alkotják.

Az **antropogén talajokra** jellemző, hogy vertikális profiljukban nagy eltéréseket mutatnak a természetes talajokhoz képest. A természetes talajok egyes szintjei között fokozatos az átmenet; az antropogén talajok rétegei a talaj származásától függően éles változásokat mutatnak textúrát, struktúrát, humuszkoncentrációt, pH-t, térfogattömeget, víztartókapacitást, termékenységet tekintve. Ezen talajtulajdonságok természetes állapottól való eltérése sok esetben a talajok funkcióvesztését eredményezhetik. A tereprendezések következtében végrehajtott talajelhordás, csonkítás pedig olykor az egész vertikális profilt megváltoztatja – akár az egész A és B genetikai szint is elhordásra kerülhet, csökkentve a talaj multifunkcionalitását. A humuszos réteg csonkolásával csökken a talaj tápanyagszolgáltató és víztartó képessége, szerkezetstabilitása, pufferképessége.

Az urbanizációnak, az antropogén tevékenységnek a talajtakaróra gyakorolt hatását Patterson (1976), Craul és Klein (1980) és Simpson (1996) az alábbiakban foglalták össze:

- A talajrétegek eltűnése (pl. lefedés, elszállítás);
- Nagyobb és kevésbé kiszámítható vertikális változékonyság;
- Műtermékek magas részaránya;
- A talaj szerkezetének átalakulása: tömörödöttség, szerkezetromlás, pórustér-csökkenés, térfogattömeg-növekedés;
- A talaj vízháztartásának módosítása, szellőzésének korlátozása;

- A szervesanyag lebomlási sebességének és a növények számára felvehető tápanyagok mennyiségének változtatása. Jellemző az alacsony humusztartalom, amely nem kedves az aggregátum-képződésnek;
- Változatos talajkémiai tulajdonságok (a szelvényen belül is);
- Talaj szennyezése: szerves és szervetlen szennyezők felhalmozódása.

9.1. Az antropogén talajok osztályozása

A városi, antropogén osztályozása fiatal kutatási terület. Az osztályozás története 1847-ig nyúlik vissza, amikor Ferdinand Senft a városi, ipari és bányászati területek talajairól szóló könyvében először említette az antropogén városi talaj szót. Azóta több kísérletet született az antropogén talajok osztályozására: 1966-ban hierarchikus, négy szinttel (rend, alrend, csoport, alcsoport) rendelkező holland rendszer az elsők egyike volt; Avery 1980-ban az első városi talajokat tartalmazó nomenklatúrát hozta létre, 1983-ban pedig Keleberda és Drugov alakította ki a technogén talajokra a kilenc hierarchikus szintet elkülönítő osztályozási rendszerét (Puskás, 2008).

Az 1988-as **FAO talajosztályozási rendszer** a városi, antropogén talajokat az Anthrosol talajcsoportban különíti el, amelybe az ember által létrehozott vagy átalakított talajok tartoznak. Bennük az eredeti talajképző tényezők és szintek nem ismerhetők fel. Négy alosztályt különítenek el:

- Aric Anthrosol, melynél csak a diagnosztikai horizont maradványai láthatók a mélyművelés következtében;
- Cumulic Anthrosol több mint 50 cm vastag finom üledéket tartalmazó akkumulációs szinttel;
- Fimic Anthrosol legalább 50 cm vastag zavart felszíni réteggel;
- Urbic Anthrosol legalább 50 cm-es szeméttel, törmelékkel teli réteggel.

Nagy lépést jelentett a Német Talajtani Társaság városi talajokat kutató csoportjának a munkássága. A csoport tagjai (Blume, Lehmann, Rossiter stb.) javaslatot tettek a városi területek talajainak a WRB (2006)-ba való illesztésére.

A nemzetközileg elfogadott **WRB (2006) talajosztályozási rendszer** egy olyan 32 talajcsoportot tartalmazó diagnosztikai szemléletű rendszer, amely nem a talajok kialakulási folyamataira fekteti a hangsúlyt az osztályozásnál, hanem a folyamatok eredményeképpen létrejött diagnosztikai szintekre és tulajdonságokra; így pontosan definiált és számszerűsített paraméterek alapján lehet osztályozni a talajokat. A WRB (2006) két fő részből áll: egy 32, hierarchikus sorrendben megadott referenciacsoportból, valamint WRB Osztályozási Rendszerből. A rendszer az osztályozásnál előtag (Prefix) és utótag minősítőket (Suffix qualifiers) használ a talajok pontos meghatározására, osztályozására.

A városi és ipari területek antropogén taljai a WRB kulcs szerint **Technosol** csoportba tartoznak, feltéve, hogy három kritérium közül legalább egy teljesül:

- Legalább 20%-ban tartalmaznak műterméket a talaj felső 100 cm-es rétegében vagy egy összefüggő, cementált réteggel, kőzetig;
- Egybefüggő, vizet nem vagy csak lassan átteresztő réteget (un. geomembránt) tartalmaznak a felszíntől számított 100 cm-en belül;
- Mesterséges kemény kőzetet tartalmaznak a felszíntől számított 100 cm-en belül, amely a talaj vízszintes kiterjedésének legalább 95%-ban jelen van.

A Technosolok jellemző diagnosztikai anyagai a műtermékek (12. ábra) (Artefacts), amelyek olyan szilárd vagy folyékony anyagok, amelyek ipari, kézműves tevékenységek eredményei; vagy emberi tevékenység által olyan mélységből felszínre hozott termékek, amelyek korábban nem voltak kitéve a felszíni folyamatoknak, és jelenleg más környezeti feltételek közé kerültek. Másrészt technosol anyag lehet a mesterséges kemény kőzet (Technic hard rock), amely ipari tevékenység által eredményezett, a természetes anyagoktól eltérő tulajdonságú kemény anyag (pl. beton, aszfalt). Harmadrészt pedig ember által áthelyezett anyag (Human-transported material) is jelezheti a technosol jelleget: bármely szilárd vagy folyékony anyag, amelyet szándékos emberi tevékenység mozdított el a környező területekről (FAO, 2006).

A WRB (2006) az első olyan talajosztályozási rendszer, amelyben a városi és ipari területek talajai önálló csoportot alkotnak Technosol néven. Ebbe a csoportba azok a talajok tartoznak, melyeknek kialakulásokban, fejlődésükben az emberi hatás, technikai eredet játszott szerepet. A WRB (2006) kulcsban megadott előtag minősítők a Technosol talajok alcsoportjainak elkülönítésére szolgálnak, az utótag minősítők pedig egy adott tulajdonságra vonatkoznak (9. táblázat, 10. táblázat).

9. táblázat: Példák a Technosoloknál alkalmazható előtag minősítőkre (FAO, 2006)

Előtag minősítők	Jellemzésük
Ekranic	Mesterséges kemény kőzet a felszíntől 5 cm-en belül kezdődik, a talaj legalább 95%-át lefedi
Linic	A talajfelszíntől 100 cm-en belül kezdődő bármilyen geomembrán, amely összefüggő, rossz vízáteresztő képességű
Urbic	Olyan réteg, amely 100 cm-en belül kezdődik, vastagsága legalább 20 cm, és műterméketartalma legalább 20%
Fluvis	A talajfelszín 40 cm-en belül legalább 25 cm vastag fluvis anyaggal rendelkező réteg
Mollic	A szelvény egy olyan réteggel rendelkezik, amely jól strukturált, sötét színű felszíni horizont, magas bázistelítettséggel és mérsékelt magas humusztartalommal (szervesanyag > 1%)

10. táblázat: Példák a Technosoloknál alkalmazható utótag minősítőkre (FAO, 2006)

Utótag minősítők	Jellemzésük
Calcic	Felszíntől számítva 20–50 cm-en belül legalább 2% kalcium-karbonátot tartalmazó anyaggal rendelkezik a réteg
Ruptic	100 cm-en belül diagnosztikai diszkontinuum (szemcseméret-eloszlásban, színváltozásban stb.), melyet nem pedogenezis eredményezett
Toxic	Talajfelszíntől számítva 50 cm-en belül a réteg szerves vagy szervetlen anyagok toxikus koncentrációjával rendelkezik
Humic	A finom talajfrakcióban lévő szerves széntartalom súlyozott átlagban megadva legalább 1% a talajfelszíntől számítva 50 cm-es mélységig
Densic	Tömörödöttség a felszíntől számítva 50 cm-es rétegen belül
Arenic	A talajfelszíntől számítva 100 cm-en belül legalább 30 cm vastag vályogos finom homok vagy durvább szerkezetű réteg
Clayic	A talajfelszíntől számítva 100 cm-en belül legalább 30 cm vastag agyag textúrájú réteg



12. ábra: Példa szelvények a technogén talajokra

10. A talaj, mint védendő természeti érték. A talajok „vörös könyve”. (Dr. Farsang Andrea)

Szegedi Tudományegyetem, Szeged

Mint az előző fejezetben is kiderült, egyre kisebb a természetes talajok aránya a Földön. Ez felhívja figyelmünket a **talajtani természetvédelem** jelentőségére! A talajtani természetvédelem elsődleges feladata a talajtani értékek megőrzése. Ennek érdekében szükség van a tudományos háttér megteremtésére (kiértékelési rendszer kidolgozása, Talajtani Értékek Országos Kataszterének összeállítása, minél szélesebb körű részletes tudományos feldolgozás) és a megőrzés formáinak (talajtani értékek természetes körülmények között történő bemutatása, in situ és ex situ védelem) kidolgozására.

Az 1996. évi LIII. törvény III. rész 22.§ értelmében:

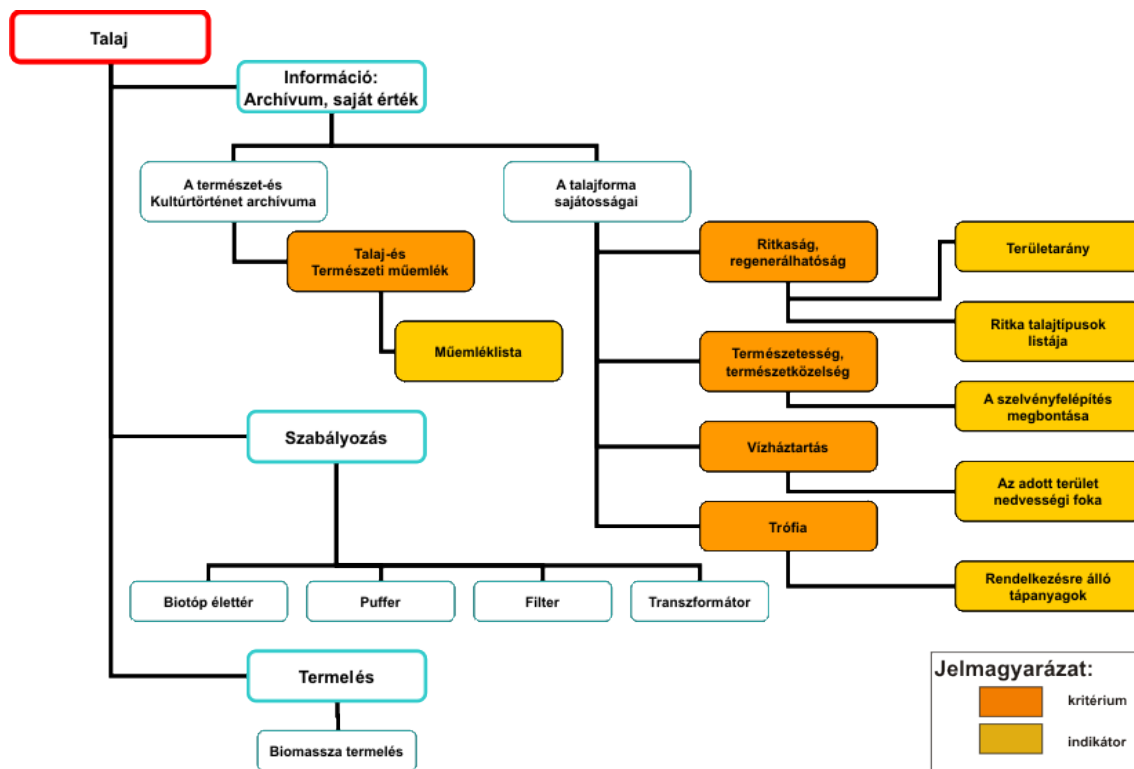
„22. § Kiemelt oltalmuk biztosítása érdekében védetté kell nyilvánítani a tudományos, kulturális, esztétikai, oktatási, gazdasági és más közérdekből, valamint a biológiai sokféleség megőrzése céljából arra érdemes

- a) vadon élő szervezeteket, életközösségeiket, továbbá termő-, tartózkodó-, élőhelyeiket;*
- b) régi hazai háziállat- és növényfajokat, fajtákat, változatokat;*
- c) természetes, természetközeli tájakat, tájrészleteket;*
- d) növénytelepítéseket, így különösen parkokat, arborétumokat, történelmi vagy botanikus kerteket és egyes növényeket, növénycsoportokat;*
- e) élőállat gyűjteményeket;*
- f) földtani képződményeket és alapszelvényeket, ásványokat, ásványtársulásokat, ősmaradványokat;*
- g) védett ásványok, ősmaradványok jelentős lelőhelyeit;*
- h) felszíni, felszínalaktani képződményt és barlangok felszínét;*
- i) álló- és folyóvizeket, így különösen tavat, patakot, mocsarat;*
- j) tipikus és ritka talajszelvényeket;*
- k) természethez kötődő kultúrtörténeti emlékeket.”*

A „természetes talajféleségek” ugyanúgy hozzátartoznak a biodiverzitáshoz, mint az ökoszisztéma vagy bioszféra többi eleme, tehát védettségük ugyanúgy indokolt, a „kipusztulás”, „eltűnés” veszélye ugyanúgy fennáll. Egyre kevesebb talajról állíthatjuk, hogy természetes (*ok*: mesterséges környezet, talajok művelésbe vonása stb.), egyre kisebb a természetes talajok aránya.

A talajokat csoportosíthatjuk veszélyeztetett, illetve nem veszélyeztetett kategóriák szerint. A kritériumok és az ahhoz tartozó indikátorok alapján tudunk csoportosítani (**13. ábra**). A „vörös lista” célkitűzéseinek megfelelően a csoportosítás a beavatkozások hatásait nem veszi figyelembe, sokkal inkább az adott talaj sajátosságai, ritkasága és az élettérben betöltött funkciója által meghatározott védettség értékének megragadására szolgál (Bosch, 1988).

Nagy-Britanniában 1970-es évektől lépett hatályba a talajok természetvédelmi jelentősége. **Oroszországban** pedig 1989-ben hozták létre a Red Book of Soils (Talajok Vörös Könyve) c. könyvet, melynek célja értékes talajképződmények jogi védelmének tudományos megalapozása volt.



13. ábra: A talajok „vörös listájának” kritériumai és indikátorai (Bosch, 1988 alapján)

Hogyan tudná hazánk is felmérni a védelemre érdemes talajtani értékeket? Szükség van a **tudományos háttér megteremtésére**, mely a következőket jelenti:

- **Kiértékelési rendszer** kidolgozása, talajtani értékek szisztematikus számbavétele
- **Talajtani Értékek Országos Kataszterének** összeállítása
- A kiválasztott talaj esetében indokolt a minél szélesebb körű **részletes, tudományos feldolgozás** (többek között a talaj állapotában bekövetkező változások nyomon követésére alkalmas)
- Fontos a **megőrzés** lehetőségeinek és módszereinek tudományos kidolgozása is.

Mit is jelent a „talajtani érték”?

Különleges talajok:

- rendszertani egységekbe be nem sorolható egyedi talajképződmények, melyek kialakulása **valamilyen ritka talajtani folyamathoz, környezeti feltételhez** kötődik,
- rendszertani egységek közé besorolható típusoknak azon előfordulásai, melyekben valamely **nem talajtani folyamat hatására egyedi jellemzők alakultak ki** (pl: krioturbációs jelenségek), illetve
- **korábbi földtörténeti korokból származó talajok**, melyek tudományos információkkal is szolgálhatnak az adott kor talajfolyamataira, környezeti feltételeire vonatkozóan

Típusos talajok

- ❖ Hazánk talajtakaróját alkotják, jól ismert talajképződmények. A tipikusság a ritkasághoz hasonlóan, de vele ellentétben arra utal, hogy a képződményt létrehozó folyamatok és a kialakulásához szükséges környezeti feltételek az adott területre

jellemzőek. A tipikus képződmények oktatási- nevelési értéke is kiemelkedő. Ezek azok a képződmények, amelyek a bemutatásra leginkább érdemesek és a látogatással szemben legkevésbé érzékenyek.

Jellegzetes talajok

- ❖ A magyar táj jellegzetes talajai, melyek máshol nem, vagy nem ilyen formában vannak jelen (Pl: szikes talajaink)

Ritka talajok

- ❖ Világméretben is egyedülálló talajok (Pl: atkári periglaciáris csepptalaj)

Hazánkban nincs egységes, elfogadott meghatározás a védendő talajok kritériumát illetően. A vörös-lista-kritériumok (13. ábra) körébe vont indikátorok nem számolhatók el egymás terhére, az alapadatok heterogenitása és az értékelési tartalmak átfedése (pl.: ritkaság és oligotrófia) miatt. Az indikátorokat inkább „vagy kritériumként” kell értelmezni: amennyiben egy kritérium teljesül egy meghatározott talaj esetében, az már „vörös-listás-talaj”-ként kezelendő. Nem vezet magasabb besoroláshoz viszont, ha egy talaj több kritériumnak is megfelel (Bosch, 1988).

Ritkaság

A ritkaság nagyon fontos kritériuma egy piros lista felállításának, azonban ma már egy faj védelmét nem elsődlegesen a ritkasága, hanem a veszélyeztetettsége – aminek egy fontos és könnyen meghatározható indikátora a ritkaság - indokolja.

A talajok ritkaságát azonban viszonylag nehéz meghatározni. Nem létezik a teljes felszínt lefedő talajtérkép, így eltérő gyakorisági rangsor adódik a választott talajegység-felosztás és a bevont területek meghatározása miatt. Ennek ellenére a „ritkaság” indikátora hozzájárul a „piros-listás-talajok” azonosításához. Egy talaj ritkának minősül, ha alacsony területarányban van jelen. A talajok ritkasága egyedi esetként értékelendő, amihez segítséget nyújthat a ritka talajtípusok listája. (Bosch, 1988)

Természetesség

Egy talaj természetessége vagy természetközelsége viszonylag egyszerűen értékelhető a talaj szelvényfelépítése alapján. A természetes állapottól való eltérést a következők okozhatják:

- A szelvény erózió általi csökkenése
- A szelvény üledékképződés vagy antropogén üledékek általi beborítása.
- A szelvény megbontása talajműveléssel

Vízháztartás

Azokat a talajokat, amik extrém vízháztartási tulajdonságokkal rendelkeznek alaptól fel kellene venni a piros listára. Ezt egyrészt ezen nehezen hasznosítható helyek ritkasága, másrészt gyakran nagyfokú természetközelsége indokolja. Emellett olyan különleges életközösségek fordulnak elő, amelyek biotópként magasabb védeltséget indokolnak. A talajvédelem vonatkozásában nem a védelmet érdemlő biocönózisok jellegzetessége a releváns (a növény- és állatvilág biotópvédelem-definíciójával szemben), hanem egy veszélyeztetett biocönózis létrejöttének potenciálja, amennyiben az adott helyet megfelelően hasznosítják, vagy a hasznosítást beszüntetik. (Bosch, 1988)

Mindez érdekében a cél tehát az, hogy a felszínre jutó csapadékvíz minél nagyobb része a talajba jusson, a bejutó víz minél nagyobb hányada raktározódjon a talajban és ennek a víznek minél nagyobb része váljon a természetett növények által hasznosíthatóvá.

Trófia

Az ipari és mezőgazdasági imissziók hatásaként az ökoszisztémákban megemelkedett a növények számára hozzáférhető tápanyagmennyiség. Ezt tükrözik a fajösszetételben, illetve a növények és mikroorganizmusok fejlődési folyamatában bekövetezett változások. A piros lista koncepcióval csak a viszonylag ritka területek fenntartása, illetve az azokon történő gazdálkodás befolyásolható. A kiterjedt imisszió védelmet más eszközökkel kell optimálni. A talajok trófiájának csupán tápanyagtartalom alapján történő értékelése problémás, mivel rövidtávon manipulálható. (Bosch, 1988)

Talaj – és természeti műemlék

A talajműemlék szigorúan vett értelemben a műemlékvédelem tárgya. Olyan reliktumokról van szó, amelyek az emberi kultúrtevékenység során történelmi információkat hordoznak, ami miatt a műemlékvédelem a változtatásoktól vagy veszteségektől megóvjá azokat, az illetékes hatóságok – esetenként külön védelem alá helyezés - által. Terminológiai kérdés ezért, hogy az individuális talajműemlékek listáját a piros listába kell-e foglalni. Mivel nem természetes, illetve természetközeli talajokról van szó, bizonyos értelemben kívülállók a piros lista vonatkozásában. Ám a piros lista is tartalmaz olyan területeket, ahol az eredeti biocönózisnak nem részei a kulturálisan kialakuló szervesanyag-fajták, amiből következik, hogy a védendő értéket a fajállomány és ez által a kultúrtáj genetikai információja alkotja. (Bosch, 1988)

Ezen felül a sajátos talajképződmények is talajműemlékké nyilváníthatók. Ma már erre az esetre is léteznek egyedi eseteket magukba foglaló listák.

A védendő talajok egy lehetséges csoportosítása az alábbi (Tardy et al, 2005):

Fosszilis talajszelvények, melyek rendszerint valamilyen feltárásban, pl. homokbánya vagy vízmosások falain fordulnak elő. Ide sorolhatók a korábbi időszakok (óholocén, késő pleisztocén) talajfolyamatainak (pl. talajfagy jelenségek, krioturbáció, fagyékek Kerecsend), vagy eltemetett talajok (pl. Mende, Basaharc) bemutatása.

Recens talajok bemutatása, melyek elsősorban nem ritkaságuk vagy kiemelkedő értékük miatt védendők, hanem Magyarország területén található zonális vagy azonális talajtípusok kiemelkedő példái. Ezek az oktatás, ismeretterjesztés fontos helyszínéül kellene, hogy váljanak. Kialakíthatók olyan feltárások, ahol a talajképződés különböző folyamatai, közzethatás, vízhatás bemutatására nyílik lehetőség. Ezen szelvényfeltárásokat más helyi természetvédelmi érték bemutatásával érdemes összekapcsolni.

Különleges és látványos talajszelvények bemutatása, mint pl. a kovárványos barna erdőtalaj, vagy olyan szelvények kialakítása, melyekben mészkonkréciók, vasborsók, krotovinak és egyéb jellegzetes talajfolyamatok bélyegei figyelhetők meg.

A talajtani értékek megőrzésének módszerei:

- a talajtani érték „in situ” védelme
- „ex situ”védelem (az értékes talajképződmények talajmonolit- gyűjtemények formájában történő megőrzés)
- az értékek természetes körülmények közötti bemutatása, amely elősegítené a tényleges megőrzését is.

11. A környezetbe jutó legfontosabb szennyezőanyagok és jellemzőik, kölcsönhatásaik a talajjal és a természetes vizekkel (Dr. Horváth Erzsébet)

Pannon Egyetem, Veszprém

11.1. A szerves szennyezők természetes lebontása és a vizek oldott oxigéntartalma közötti összefüggések

A felszíni és a felszín alatti vizek legjellemzőbb szennyezői szerves anyagok, melyek potenciálisan a kommunális szennyvíztisztítók, az élelmiszeripari és a mezőgazdasági szennyvizek szennyezőiként kerülnek a befogadóba. Biológiai lebontásuk kémiai tulajdonságaik függvénye. Természetes körülmények között az élővizek öntisztulása (*a szerves szennyezők lebontása*) aerob úton, mikroorganizmusok segítségével megy végbe, a lebontást végző mikroorganizmusok a vízben oldott oxigénből biztosítják oxigénigényüket. Ezért a szerves szennyezők mennyisége és a víz oxigéntelítettsége között szoros korreláció van. A szerves anyagok mennyisége, valamint a lebontásukhoz szükséges úgynevezett **vízszennyezést jelző nem specifikus paraméterek** (*biológiai és kémiai oxigénigény, BOI, KOI; teljes organikus széntartalom, TOC; pH, vezetőképesség*) nagyon fontos jellemzők a vizek minőségének és szennyezettségi osztályba való sorolásának megítélésékor.

Az aerob körülmények között lejátszódó szerves anyag lebomlás folyamata jó közelítéssel elsőrendű reakciókinetikával írható le. A biológiai oxidáció mikroorganizmusok segítségével egyrészt a szerves anyag szén-dioxiddá és vízzé történő oxidálását, másrészt az ammónia/ammónium illetve nitrit formákban jelenlévő nitrogén nitráttá történő átalakítását jelenti.

A szerves anyagnak vízzé és szén-dioxiddá történő oxidálásához szükséges oxigén mennyisége az **elméleti oxigénigény (EOI)**. Tekintettel arra, hogy ez a folyamat 20–30 nap alatt zajlik le, illetve a vízben mindig van biológiailag nem bontható szerves anyag, ezért a biológiai oxigénigény (BOI) általában alacsonyabb az elméleti oxigénigénynél. A **nitrifikáció** (*a nitrogén nitráttá alakítása*) folyamata kisebb sebességgel megy végbe a nitrifikáló baktériumok lassúbb működése miatt, ezért először a szerves anyag oxidálása történik meg. A nitrifikáló baktériumok szénforrásul szén-dioxidot használnak. Mivel az ammóniát nitritté alakító *nitrosomonas* növekedése sokkal lassúbb, mint a nitritet nitráttá alakító *nitrobakter* növekedése, ezért a nitrit igen gyorsan oxidálódik tovább nitráttá, nagy mennyiségben soha nem halmozódik fel és a teljes nitrifikációs folyamatot az ammónia nitritté történő átalakulása határozza meg. A két baktérium faj működési hőmérsékletének optimuma is eltérő. Mivel a *nitrosomonas* nem tűri a hideget, az ammónia nitritté alakítása 10 °C alatt gyakorlatilag gátolt. Ezzel szemben a szerves anyagból való ammónia képződés bár kisebb sebességgel, de folyamatosan megy végbe.

Természetes rendszerekben az oxigén egyensúlyt a biológiai lebomlási folyamatok, a levegőből a vízbe történő oxigén beoldódás, valamint a vízinövények fotoszintézise és respirációs folyamatai közötti különbség biztosítja. Az **oxigéntelítettséget** így az oxigén tényleges koncentrációja, valamint az adott hőmérsékleten és nyomáson a vízben való oldhatósága közötti hányados adja meg:

$$\text{oxigéntelítettség}(\%) = \frac{\text{aktuális } O_2 \text{ koncentráció (mg/L)}}{\text{telítettségi } O_2 \text{ koncentráció (mg/L)}} 100$$

A vízben oldott oxigén gyors és pontos meghatározására kémiai módszerek használatosak. A víz szerves anyag tartalma ismert hatóanyag tartalmú oxidálószerekkel (*kálium-bikromát, $K_2Cr_2O_7$; kálium-permanganát, $KMnO_4$* ;) általában savas közegben egyirányú, gyors kémiai reakcióban feloxidálható. Az oxidációhoz szükséges oxigén mennyiség a reakcióegyenletek alapján meghatározható. A kapott érték a **kémiai oxigénfogyasztás vagy oxigénigény**. Attól függően, hogy milyen oxidálószeret alkalmazunk a meghatározás során, beszélhetünk *kálium-bikromátos oxigénfogyasztásról (KOI_{Cr})*, illetve *kálium-permanganátos oxigénfogyasztásról (KOI_{Mn})*. Megjegyzendő, hogy ha külön nem jelölik, a $KOI = KOI_{Cr}$ értékével.

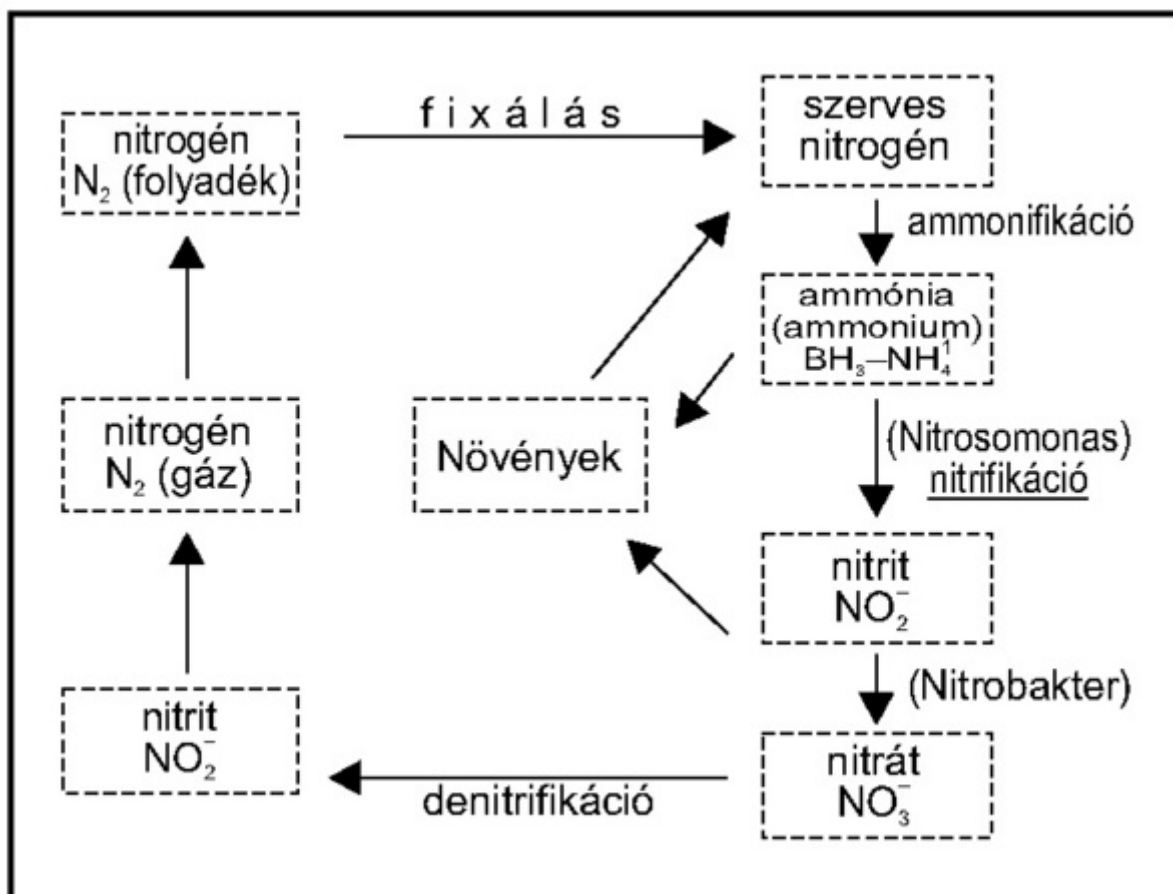
A vizek szerves anyag tartalmának nem specifikus jellemzésére a KOI mellett a szerves széntartalom értéke is használatos. A mérés azon alapul, hogy a szerves szén szén-dioxiddá alakul. Az elégetés során keletkezett szén-dioxid mennyiségének méréséből visszaszámolható a szerves anyag tartalom (*természetesen, a módszert kalibrálni kell*). A meghatározás során az analizálandó minta jellegétől és eredetétől függően különböző frakciók különíthetők el. A vízminta 0,45 μm pórusátmérőjű szűrőn átszűrt szűrletében lévő szerves anyag az **oldott szerves széntartalom** (*diluted organic carbon, DOC*). A szűrletből adott hőmérsékleten és nyomáson inert gázzal eltávolítható rész az **illékony szerves széntartalom** (*volatile organic carbon, VOC*). A szűrőn visszamaradt, **lebegő anyaghoz kötött szerves széntartalom** (*particle organic carbon, POC*). A három frakcióban lévő szerves széntartalom összege az eredeti vízben előforduló **összes szerves széntartalom** (*total organic carbon, TOC*).

Mivel a nem specifikus szerves anyag mutatók (BOI, KOI, TOC/DOC, VOC, POC) a vízben lévő szerves anyag tartalmat eltérő módon mérik, még azonos víztípusnál is jelentős eltérés lehet közöttük. Az eltérés nagysága a szerves anyagok minőségétől függ. A biológiai oxigénigény például csak a biológiai úton lebontható szerves anyagok oxigénfelvételét, a kémiai oxigénigény a redox kémiai reakcióban keletkező oxigénfogyasztást, míg a szénanalizátorok (*TOC analizátor*) a szerves anyag elégetésekor keletkező szén-dioxid mennyiségét méri, így elméletileg is problémás a mutatók közötti átszámítás. A szennyvízkezelési gyakorlatban a BOI és a KOI közötti kapcsolatot, valamint a KOI/TOC hányados értékét kiterjedten vizsgálták a technológiai paraméterek illetve a műveleti eljárások függvényében.

11.2. A vízi környezetben előforduló nitrogénformák

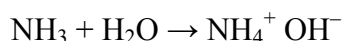
A vízi környezetben a nitrogén szerves anyagokban, ammónia, nitrít, nitrát és molekuláris nitrogén formájában fordulhat elő. A levegőből könnyen beoldódik a nitrogén a vizes rendszerekbe. A molekuláris nitrogén biológiailag többnyire inert, mivel a $N \equiv N$ kötés felhasítása nagy energiát igényel. Ezért kevés mikroorganizmus képes a molekuláris nitrogént közvetlenül hasznosítani. Közvetlen nitrogén megkötők/nitrogén fixálók a baktériumok és a kéalgák. Amíg azonban a legtöbb nitrogénkötő baktérium heterotróf (*vagyis szerves energiaforrást igénylő szervezet*), addig a kéalgák a fixáláshoz külső szerves táplálékot nem igényelnek.

A **biológiai nitrogénciklus** (14. ábra) első lépéseként a levegőben lévő nitrogén beépül az öt megkötő élőlények szervezetébe, majd az anyagcseretermékek és az elpusztult élőlények lebomlása során ammónia keletkezik (*ammonifikáció*). A szerves nitrogénvegyületek ammóniává történő lebontása anaerob körülmények között is végbemegy. A vizek ammóniatartalma tehát a szerves anyagok biológiai lebomlását jelzi, ezért a szerves szennyezések egyik legfontosabb mutatója, bár természetes redukciós folyamatokban is keletkezik ammónia (*nitrát redukció*).



14. ábra: A biológiai nitrogénciklus

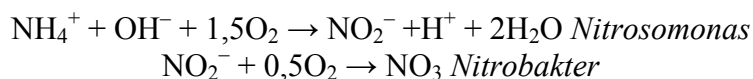
Az ammónia a vízben képes protont felvenni és leadni, az $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ion koncentráció aránya a pH-tól függ. Savas pH értékeken protonfelvétel következtében az NH_4^+ , míg lúgos pH értékeknél a protonleadás miatt az NH_3 forma stabilisabb.



A szabad ammónia (*ellentétben az ammónium ionnal*) a sejtmembránon áthatol és sejtméregként viselkedik. Az ammónia mérgező hatása függ az oldott oxigén, szabad széndioxid, a keménység és a pH értékétől is. A halakra toxikus tartomány (halfajtától függően) 0,2–2 mg szabad ammónia/l. A felszíni vizek ammónia szennyezettsége tág határok között változik. Nem tekinthető szennyezett víznek az ammóniát 0–0,2 mg/l közötti koncentrációban tartalmazó vízfolyások, míg a 3–5 mg/l közötti koncentráció értékek már erősen szennyezett vizeket jelentenek. A téli időszakban a vízfolyások NH_4^+ koncentrációja mindig magasabb a nitrifikációs folyamatok visszaszorulása miatt.

Míg az elemi és a molekuláris nitrogén többnyire kémiaailag inert, addig az egyéb nitrogénformák (*nitrit, nitrát és a szerves vegyületekben lévő N-t tartalmazó funkciócsoportok*) reakcióképesek és a legtöbb életfolyamatban részt vesznek.

A nitrogénciklus első lépéseként az elemi nitrogén élő szervezetekben fixálódik, majd a N tartalmú szerves anyagok bomlásából ammónia keletkezik. Az élővizekbe került szennyvízből, vagy növényi/állati bomlástermékekből származó ammónia oxigén jelenlétében nitritté és nitráttá oxidálódik az alábbi folyamatok szerint:



Az egyenletek alapján a *nitrifikáció* igen jelentős oxigénfogyasztással jár: 1 mól (18 g) NH_4^+ oxidálásához 2 mól (64 g) O_2 szükséges. Mind a *Nitrosomonas*, mind a *Nitrobakter* szénforrásként kizárólag szerves szén használ, nagy mennyiségű szerves szén jelenlétében nem is szaporodik. Ezért a tisztulás során először a szerves széntartalom (*arányosan a BOI*) csökken és csak ezt követően indul el a nitrifikációs folyamat.

Az ammónia-nitrát képződési folyamat pH függő. Az ammónia nitráttá való oxidációja pH 8–9,5 pH között a leggyorsabb. A nitratképző *Nitrosomonas* működése 10 °C alatt lelassul. Mivel a szerves-nitrogén *ammonifikációja* (*ammóniáig történő bomlása*) 10 °C alatt is végbemegy, hideg időben a víz ammónia tartalma relatíve növekszik. Ez az oka annak, hogy azonos terhelés mellett a vizek ammónia koncentrációja télen mindig magasabb, mint nyáron. (*A Dunában mért nyári átlagértékek 0,5 mg/l, míg a téli értékek elérhetik a 3 mg/l koncentrációt is!*)

Az előző fejezetben már leírtuk, hogy az ammónia nitráttá való oxidációs folyamatának sebességét a *Nitrosomonas* populációja és működése szabja meg. Ezért az ammónia-nitrit folyamat szabja meg az ammónia nitráttá alakulásának sebességét.

A nitrogénciklus befejező részeként a növények felveszik a nitrátot vagy közvetlenül az ammóniát. Az egyedfejlődés során az oxidált nitrogénforma szerves nitrogénvegyületekké redukálódik, majd az anyagcserével illetve a növények elhalásával visszajut a környezetbe. **A nitrogénciklus befejező része denitrifikációs folyamat is lehet.** Ebben a folyamatban a nitrát nitriten keresztül nitrogén gázzá redukálódik anaerob körülmények között.

Mivel természetes körülmények között sokféle redox rendszer van jelen (*pl. $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, humátok szemikínoidális csoportjai*), a környezet redoxi potenciáljától függően is végbemehet a nitrogén oxidációja illetve redukciója. 0,45–0,40 V között a nitrát-nitrit; míg 0,40–0,35 V között a nitrit-ammónia redukció történik. Ezek a folyamatok főleg a felszín alatti vizek minőségében játszanak fontos szerepet.

Az emberi beavatkozás a természetes nitrogénciklust megzavarja, bármilyen nitrogénforma kibocsátása környezeti zavart jelent egyrészt az oxigénfogyasztás növekedése miatt (nitráttá történő oxidáció), másrészt az eutrofizáció miatt. Kedvezőtlen hatásokat és környezeti zavart jelent a mezőgazdaságban nem kellően hasznosított műtrágyák kimosódása is. Tekintettel arra, hogy a műtrágyák közül legkevésbé a nitrátokat köti meg a talaj (*v.ö. Talajkémia, talajtan: a talajok felületén az ammónium, a kálium és a foszfát lényegesen nagyobb a töltéssűrűség miatt*), a növényzet által fel nem vett nitrát a vizekbe mosódik. A bemosódás a felszíni, a csapadékvízzel való beszivárgás pedig a felszín alatti vizek nitráttartalmát növeli.

A nitrogénformák egymáshoz viszonyított aránya igen fontos információt ad a vízminőség meghatározásához, mivel segítségével a **tisztulási folyamat különböző szakaszai jól elkülöníthetők.**

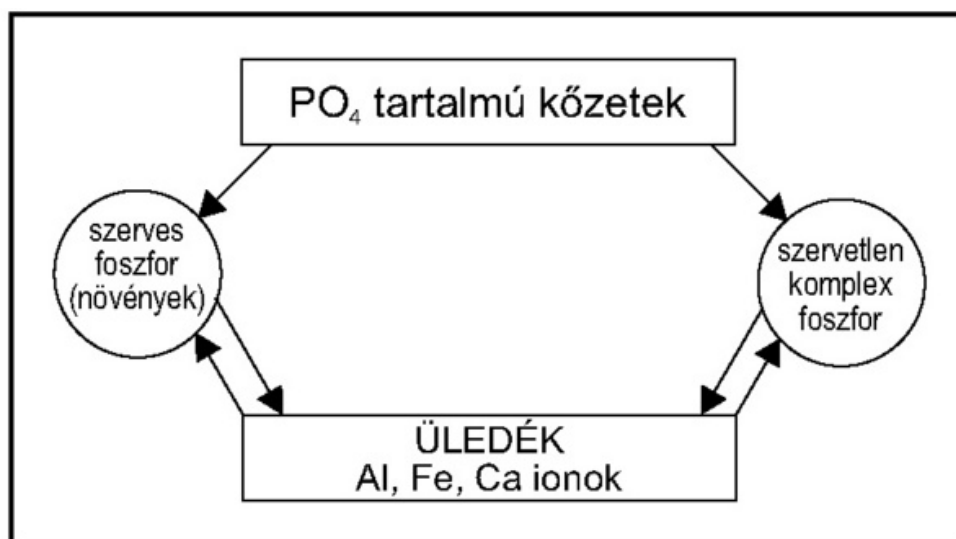
11.3. A vízi környezetben előforduló foszforformák és az eutrofizáció

A foszfor az élő szervezetek sejtépítő eleme, normál körülmények között a bioszférában nagyobb arányban fordul elő, mint a környezeti elemekben.

A nitrogénformáktól eltérően környezeti elemekben oxidált formában van jelen; a leggyakrabban foszfátként (PO_4^{3-} *tetraéderes trifoszfát vagy ortofoszfát*). A semlegeshez közeli pH értékeken a H_2PO_4^- és a HPO_4^{2-} forma dominál (*v.ö. Kémiai analízis I. jegyzet*). A növények gyakorlatilag csak az ortofoszfát ion különböző sóit/protonált formáit képesek felvenni, ezért ezt a formát reaktív foszfor formának is nevezik. A foszfát ion kationokkal könnyen képez vízben oldhatatlan vegyületeket: A természetes vízi környezetben a vassal, az alumíniummal és a kalciummal alkotott vegyületei gyakoriak. Semleges pH-n a vas-és alumínium-foszfát, pH>8 esetén a kalcium-foszfát oldhatósága kisebb. A fémfoszfátok oldhatósága a kation oxidációs állapotától is függ. Pl. a FePO_4 gyakorlatilag oldhatatlan, míg

a $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ vízben oldódik. Oxigéndús közegben magasabb oxidációs állapotú kationokkal, míg oxigén szegény, szerves anyaggal terhelt felszíni vizekben és a talajvízben redukált állapotú kationokkal képez vegyületeket.

A **foszforciklus** (15. ábra) kiindulási anyaga a vízben oldott ortofoszfát ion, mely a kőzetek (apatit, fluorapatit, aragonit) bomlásával természetes úton, továbbá főleg a kommunális szennyvizekből és mezőgazdasági művelés következtében, bemosódással kerül a vizekbe. Az ember anyagcsere folyamatai naponta $\sim 2\text{g/fő}$, a felhasznált mosószerek (*detergens foszfor*) pedig további napi $\sim 2\text{ g/fő}$ foszfor terhelést jelentenek. Az intenzív mezőgazdasági művelés alatt lévő területről átlagosan 50 kg/km^2 foszfor mosódik ki, míg erdős területeken gyakorlatilag nincs kimosódás. Az ipari vízlágyítók és korrózióvédő vegyületek további terhelést jelentenek. A növények által felvett ortofoszfát szerves foszforvegyületekké alakul. Ha a növényi sejt elhal, a bomlástermékekből származó különféle foszfátok visszajutnak a vízbe, mely bakteriális úton újra felvehető ortofoszfáttá alakul.



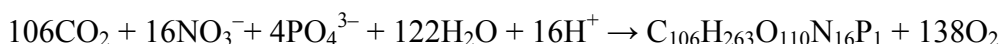
15. ábra: A foszforciklus

A foszforciklusban a csapadékképződéssel, a *foszfor kicsapódásával* a foszforvegyületek a fenéküledékbe kerülnek. A pH és a redox viszonyok megváltozásával a folyamat az oldódás irányába is végbemehet. Ez különösen azokban az esetekben jelentős, amikor az ortofoszfát ionhoz kapcsolódó kation oxidációs számának megváltozása a só oldhatóságát megváltoztatja. Megjegyzendő, hogy a huminanyagok által megkötött alumínium és vas csökkenti a foszfátok által való hozzáférést, így hosszabb ideig marad biológiailag aktív állapotban.

A foszforciklus körfolyamatában a kilépési oldal tehát a foszfátok szervetlen sók formájában való kicsapódása, míg a belépő oldalt a kőzetek mállása, az autropogén, valamint az antropogén szennyezések jelentik. A ciklusba bevitt foszfor növeli a biológiai produktíót és végső soron az *eutrofizációt* eredményez. A kicsapódás csökkenti ugyan a foszfor koncentrációt, de az újraoldódás akár külső szennyezés nélkül is az eutrofizáció felgyorsulásához vezet. Az üledék tehát nagyon fontos „foszfor tartály”, illetve „puffer”.

Természetes körülmények között a foszfor áll rendelkezésre a legalacsonyabb koncentrációban az algák növekedéséhez, a többi elemhez viszonyítva. Ezért a foszfortartalom gyakran *limitáló tényezőként* tekinthető. Általában 10 mg/m^3 koncentráció alatt az eutrofizáció megelőzhető. A 10 mg/m^3 foszfor koncentráció alatti rendszert **oligotrofnak**, a 20 mg/m^3 fölöttit **eutrofnak** nevezzük. A 20 mg/m^3 fölötti foszfor

koncentráció értékek esetében, ha a pH viszonyok és az egyéb tápanyagok jelenléte is kedvező, a fotoszintézis végbemegy és a CO_2 , a NO_3^- , a PO_4^{3-} alga protoplazmává alakul:



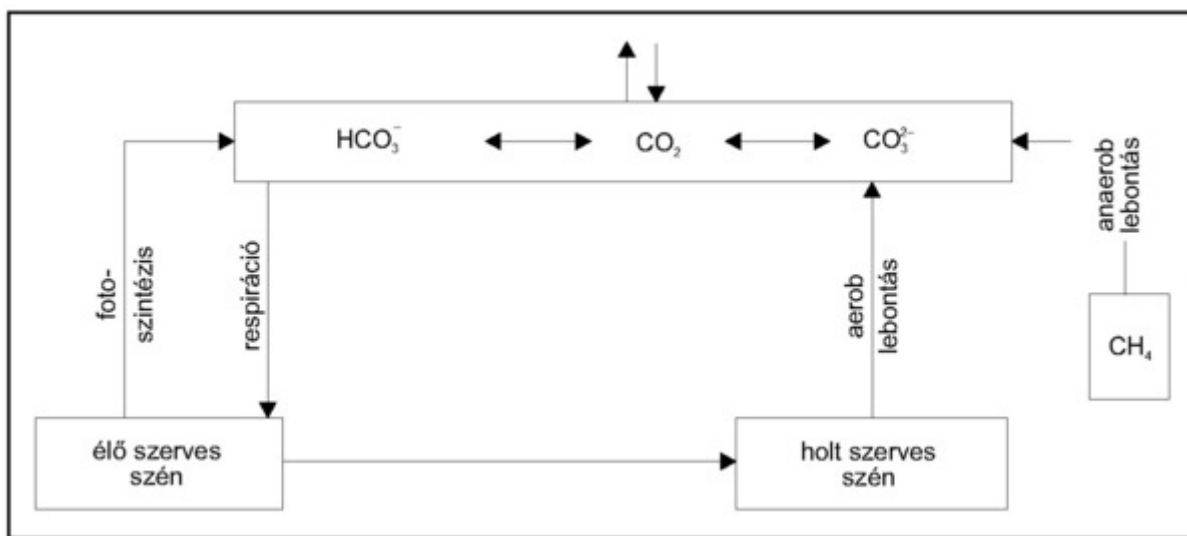
Az egyenlet alapján a keletkezett oxigén mennyisége arányban van a szerves tápanyagok mennyiségével; 1 mol ortofoszfátból 138 mol oxigén, illetve 1 mol nitrátból mintegy 8,5 mol oxigén keletkezik.

11.4. A vízi környezet szénformái, a szén ciklus

A földi élet a szénvegyületek változatosságán alapul. A Földön előforduló szénvegyületeket alapvetően három csoportba sorolhatjuk: (1) szerves szénvegyületek, mint a szén oxidjai, (2) a fosszilis szén, olaj és humuszanyagok, valamint (3) az élő szervezetek szerves anyagai.

A **szén körforgásának** (16. ábra) első lépéseként a növényzet **fotoszintézissel** a levegő szén-dioxid tartalmát megkötö/fixálja, vagyis a szerves szénvegyületet szerves anyaggá alakítja. A folyamat során fény hatására a növények szerves vegyületeket szintetizálnak oxigén felszabadulása mellett. Sötétben növényi légzés, **respiráció** történik. A növény oxigént vesz fel és szén-dioxidot bocsát ki. Nem tisztázott teljesen, hogy a növények csak a szabad, vagy a kötött szén-dioxidot is képesek-e hasznosítani. Ismeretes, hogy az egyes algák a hidrogén-karbonát és karbonát formában kötött szenet is fel tudják használni. A növények esetében ezért a tápanyagként hasznosuló szénforrás a teljes (*karbonát, hidrogén-karbonát és szén-dioxid formában jelenlévő*) mennyiségét figyelembe vesszük.

A vízi ökoszisztémában a fotoszintézis és a respiráció a szén-dioxid felvételét és leadását jelenti, ezért ezt a körfolyamatot **rövid szén ciklusnak** nevezik.



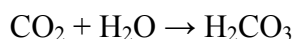
16. ábra. A biológiai szén ciklus

A **hosszabb szén ciklus** során az elhalt élőlények szerves anyagai bakteriális bomlással anaerob vagy aerob körülmények között szén-dioxiddá alakulnak. Anaerob úton a szerves anyagok egy része metánná redukálódik. A természetes vizekben a szerves szénnek szerveslenné történő átalakulása, vagyis az *ásványosodás* oxigént igényel, így befolyásolja a rendszer oxigén egyensúlyát. Ha túl nagy a szerves széntartalom, az a természetes rendszer oxigén tartalékát csökkenti és oxigénhiány léphet fel.

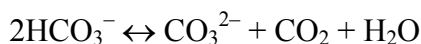
A szén-dioxid – hidrogén-karbonát – karbonát rendszer

Az atmoszférában jelenlevő *szén-dioxid* vizes rendszerben könnyen oldódik. Az oldódás mértékét felszíni vizekben a gázok oldhatóságára vonatkozó szabályok szerint a nyomás és a hőmérséklet befolyásolják. A felszín alatti vizekben a szén-dioxid tartalom lényegesen magasabb lehet.

A vízben oldódó szén-dioxidból szénsav keletkezik, mely az alábbi egyenleteknek megfelelően disszociál:



A fenti egyenletek szerint adott hőmérsékleten és nyomáson az oldatban lévő CO_2 , HCO_3^- és CO_3^{2-} koncentráció a pH függvénye. pH = 4 érték alatt gyakorlatilag szabad szén-dioxid, 10,3 pH fölött karbonát ion, 6,2–10,3 pH között mindhárom forma jelen van. Tehát a szén-dioxid vizes oldatában a különbözőképpen protonált formák között dinamikus egyensúly van:



Vagyis a hidrogén-karbonát koncentráció fenntartásához adott szén-dioxid koncentráció szükséges, mely az úgynevezett **egyensúlyi szén-dioxid tartalom**. Ha az oldatban lévő szén-dioxid tartalom megnövekszik, a reakció a hidrogén-karbonát képződés irányába tolódik. Ez a folyamat a beton és fém műtárgyakra korróziós hatást gyakorol. Ha az egyensúlyi koncentrációhoz képest kevesebb CO_2 van jelen a rendszerben, a reakció a karbonát képződés irányába tolódik. A karbonát – hidrokarbonát – szén-dioxid rendszer kialakítja a vizek természetes pH-értékét. Természetes körülmények között, kalcium- és a magnézium-ionok jelenlétében jelentős CO_2 beoldódás és kilépés mellett sem változik nagyon a vizek pH-értéke (*nagy a puffer kapacitás*), mivel CO_2 beoldódás esetén a folyamat a hidrogén-karbonátok képződése, míg CO_2 kilépés esetén pedig a karbonát-képződés felé tolódik el.

11.5. Nehezen lebomló szerves és szerves mikroszennyező anyagok

A vizekbe kerülő szerves anyagok káros hatása eltérő. A hagyományos szerves szennyezők nagyobb koncentrációban károsak és főleg az oxigénháztartás felborítása alapján fejtik ki káros hatásukat. A szerves mikroszennyezők már kisebb, általában $\mu\text{g/l}$ koncentrációban is károsak. Hatásukat inkább mérgező, rákkeltő és bioakkumulációs tulajdonságaik alapján fejtik ki.

Növényvédőszer

A *növényvédőszer*, vagy *pesticidek* olyan anyagok, amelyek alkalmasak a mezőgazdasági haszonnövények, termékek és termények károsodásának gátlására. A károsodásokat előidéző élőlények képezik a pesticidek csoportosításának alapját. Így beszélhetünk: víruspusztító vagy viricid, baktériumölő vagy baktericid, gombaölő vagy fungicid, állati kártevőt irtó vagy zoocid, és gyomirtó vagy herbicid növényvédőszerekről.

Lényeges hangsúlyozni, hogy a peszticid hatást kifejtő hatóanyagot kísérőanyagokkal együtt hozzák kereskedelmi forgalomba, így azok a vizekbe is különböző segédanyagokkal (*oldhatóság, tapadás és nedvesítőképeséget befolyásoló adalékok*) együtt kerülnek be. Halmazállapotuk szerint folyadék, pork/granulátum illetve emulzióképző formában kerülnek

forgalomba. Mivel mind a nagyüzemi, mind a családi birtokokon, illetve a kiskertekben is használatosak, mind a felszíni, mind a felszín alatti vizeket szennyezhetik. A peszticidek nagy része állati szervezetekre is *mérgező*, szájon át, bőrön keresztül, vagy belélegezve is kifejtheti hatását. A toxikusság mértékének megítéléséhez egyéb adatok hiányában a forgalmazással együtt kötelezően előírt információkat, munkaegészségügyi, élelmiszer-egészségügyi várakozási időt, az 50% pusztulást előidéző dózist, a környezetvédelmi besorolást, a megengedhető szermaradék mennyiségét kell figyelembe venni. A növényvédőszer toxikusságának megítélése során figyelembe kell venni a termék természetes lebomlással szembeni ellenálló képességét. ***A lebomlási folyamattal szembeni ellenálló képesség vagy rezisztencia*** azt jelenti, hogy ezek az anyagok környezet idegenek és ***természetes környezetben hosszú ideig megőrzik összetételüket, vagyis perzisztensek***. Minél hosszabb ideig állnak ellen a természetes lebontási folyamatoknak, annál valószínűbb, hogy bekerülnek a biológiai rendszerekbe és a biológiai transzport révén káros hatásukat az emberben is kifejthetik. A toxikusság és perzisztencia egymástól eltérő is lehet. Mivel az általános elvárásoknak megfelelően a peszticidek jelenlegi formái a természetben gyorsan lebomlanak, rövid idő alatt fejtik ki hatásukat (*végző soron a nagyobb toxikusságot*).

Klórozott szénhidrogének

A klórozott szénhidrogének a szén váz legkülönbözőbb helyein klór szubsztituenseket tartalmaznak. Általában minél nagyobb mértékű a klór szubsztitúció, annál hatékonyabb a vegyület mint peszticid, de ezzel arányosan a perzisztencia is nő. A klórozott szénhidrogének nagyon jól kötődnek a talajhoz és a fenékküledékhez és ott tartósan megmaradnak. Továbbá vízinnövényekben és állati szervezetekben felhalmozódnak, így az élelmiszerlánccal az embert is veszélyeztetik (*a DDT a vízben előforduló koncentrációhoz képest 10 000-szeresére is képes felhalmozódni a halakban*). A klórozott szénhidrogén származékok elsősorban az idegrendszerre fejtik ki hatásukat, az idegszövet mikroeletromos tulajdonságait megváltoztatják.

A klórozott szénhidrogének lebonthatósága vízzoldhatóságuk függvénye. Általában minél kevésbé oldódik egy peszticid, annál perzisztensebb (*rezisztenciájuk kb. 1 év*), így a biológiai akkumuláció mértéke is megnövekszik.

Szerves foszforvegyületek

A szerves foszforvegyületek káros hatásukat az idegrendszerben fejtik ki. Mivel az acetilkolinhoz hasonló szerkezetűek, gátolják kolineszteráz enzim működését. A klórozott szénhidrogén hatóanyagú peszticidekkel összehasonlítva rezisztenciájuk lényegesen kisebb (*napokban mérhető*), mivel az észter típusú kötések könnyebben bonthatók. Ugyanakkor toxicitásuk a melegvérű egyedekre lényegesen nagyobb.

Egyéb herbicidek és fungicidek

Ide sorolható egyéb növényvédő szerek igen változó összetételűek. Általában a kétszikűeket károsítják, s így szelektív hatásúak. Hatásukat általában a fotoszintézis gátlásával fejtik ki. E vegyületek biológiai bonthatósága vízvédelmi szempontból elfogadható mértékű. A növényvédőszer ivóvizekben megengedhető értékeinek megállapításánál elsősorban a rezisztenciát, illetve a bonthatók esetén a toxicitást, de a káros hatás szempontjából mindenképpen a legalacsonyabb, biztonsági koncentrációt veszik figyelembe. Ha egyedileg nincs határkoncentráció, általános szabályként az ivóvízben megengedhető érték (mg/l-ben) az élelmiszerekre megengedett maradékkoncentráció 5% -a (mg/kg-ban) (MSZ 450/1/89).

A legtöbb növényvédőszer felhasználására vonatkozó korlátozások vannak érvényben a felszíni vízfolyások, tározók, tavak és vízmű védőterületek közelében. A korlátozás mértéke a peszticid káros hatásától függ. Az előírásokban részletezik a felhasználható peszticideket és használatuk vizektől mért távolságát.

Kőolajok és származékaik

Hazánkban a talaj- és vízszennyezések több mint fele a kőolajtermékektől származik. Tekintettel a széleskörű ipari, mezőgazdasági és lakossági felhasználásra, vizeinket csaknem mindenhol fenyegetik, különös tekintettel a pontszerű források mellett a szállítás (*csővezetékek, vízi, közúti és vasúti szállítások*) és a tárolás (*föld alatti és feletti tartályok*) során fellépő szennyezés lehetőségeit is.

Az ásványolaj és származékainak sokféleképpen rontják vizeink minőségét. Már kis koncentrációban *íz- és szagrontók. Általában mérgezőek* a vízi életközösségekre, de a mérgező hatás is különböző és nagymértékben függ a *vízben való oldhatóságtól*. A vízben való oldhatóság a polaritással csökkenésével és a növekvő molekulasúllyal csökken (*az aromások jobban, naftének kevésbé, míg legkevésbé a parafinok oldódnak*). Egy-egy olajtermék esetén az aromás tartalom és a forráspont döntő jelentőségű. A szénhidrogének vízben történő oldhatóságát nagymértékben növelik a felületaktív anyagok. Szintetikus mosószerek hatására nagyságrendekkel is megnövekedhet az oldhatóság. Akkumulálódó tulajdonságuk révén felhalmozódhatnak a táplálékláncban is. Rákkeltő hatásuk, (*különösen származékaik tekintetében*) egyértelműen bizonyított.

A *környezetbe került kőolajszármazékokkal* a befogadó környezeti elemekben alábbi átalakulások történhetnek:

Szétterülés: az olaj gyorsan szétterül, vékony, filmszerű réteget alkot a víz felszínén és megakadályozza az oxigén felvételét/oldódását. A felületen kialakult olajhártya vastagsága az olaj viszkozitásától (minél kisebb a viszkozitás, annál vékonyabb lehet a felületi film vastagsága) és a hőmérséklettől függ. A felszíni vízen szétterülő olajréteg legkisebb, még szemmel is érzékelhető vastagsága 4×10^{-5} mm. Ez mintegy 40 l olajat jelent 1 km² vízfelületre számítva.

Párolgás: az alacsonyabb molekulasúlyú és forrponjú vegyületek kipárolgással az atmoszférába kerülnek. A párolgás mértékét a meteorológiai viszonyok (*hőmérséklet, szél, csapadék*) nagymértékben befolyásolják.

Oldódás: az alacsonyabb molekulatömegű és polárisabb aromás komponensek vízben való oldódása jelentősebb.

Emulzióképződés: az olaj egy része a vízzel emulziót képez. Az emulzióképződés szempontjából „*olaj a vízben*” és „*víz az olajban*” típusú összetételek különböztethetők meg. A „*víz az olajban*” összetétel az olajos fázis része, így a víz tetején úszik és onnan lefölözéssel még eltávolítható. Az „*olaj a vízben*” emulzió már az oldódás jele, vagyis a vizes fázisba került olajat jelenti és a hagyományos lefölözéssel nem távolítható el. Az emulzióképződést a szintetikus mosószerek és a hullámozás nagymértékben segítik.

Lebegő anyagokhoz való kötődés és kiülepedés: a hullámozások, turbulens áramlások és egyéb vertikális irányú vízmozgások hatására az olaj egy része a víz lebegőanyagain adszorbeálódik, majd azokkal együtt a fenékre kerül és további sorsát az üledékben végbemenő fizikai-kémiai, biokémiai folyamatok szabják meg.

Autooxidáció: a rendszerben jelenlévő oxigén fotokatalitikus úton a kőolajszármazékokat különböző ketonokká, aldehidekké és szerves savakká oxidálhatja. Az oxidációs folyamatot a szénhidrogénekben előforduló kén és szerves fém vegyületek befolyásolhatják, különös tekintettel a fémvegyületek katalizáló hatásaira.

Biológiai lebomlás: a biológiai lebomlás a kőolajszármazékok egyes komponenseire különböző módon játszódik le. Bár a szénhidrogének egy része toxikus, más részüket azonban az eltűrik és lebontják a vízi életközösségek. Általában a paraffinok könnyebben bomlanak le, mint az aromások és az egyenes szénláncúak könnyebben bonthatók, mint az elágazók. A C10 – C18 közötti szénatomszámú vegyületek oxidálódnak legkönnyebben. A metánt, etánt és a propánt csak speciális fajok bontják, míg a C30-nál nagyobb szénatomszámú vegyületek teljesen oldhatatlanok és a biológiai lebontásnak teljesen ellenállnak.

A biológiai lebontásban különböző baktériumfajok (*Aeromonas*, *Pseudomonas*) és a mikroflóra más elemei vesznek részt. Az olajbontók közül az *Arthrobacter* említésre méltó, mely az olajok emulzióba vitelét segíti elő. A talajbaktériumok N-P műtrágyák jelenlétében különösen jól bontják a szénhidrogéneket. Ez a felismerés hasznosítható olajos iszapok talajokban, műtrágyák adagolásával való biológiai lebontása során.

Sajnálatos módon a felszín alatti vizek elszennyeződése növekvő tendenciát mutat. Ugyanakkor ezek feltárása, a veszélyhelyzet megítélése nagyobb szakmai felkészültséget igényel. Ennek érdekében külön szükséges foglalkozni a szénhidrogének felszín alatti vízszennyezéseivel és az olajterjedést befolyásoló tényezőkkel.

Ha az ásványolaj származékok talajra vagy talajba kerülnek, a szennyező anyag behatol a talaj pórusaiba és ott a gravitáció és a kapilláris erők hatására mozog tovább. ***A függőleges irányú mozgást a gravitáció, a vízszintes irányút a kapilláris erő befolyásolja.*** A jó áteresztő képességű közegben a függőleges, a kevésbé áteresztő képességű talajon a vízszintes mozgás a jellemző. Így a talajban kialakult *olajtest* jellegzetes, a heterogenitástól függő alakzatot vesz fel. ***Az egyes talajok olajmegkötő képessége eltérő és arányos a hézagterfogatával, a szivárgási tényezővel, továbbá függ a talaj nedvességtartalmától is.***

Ha a beszivárgott olaj mennyisége meghaladja a talaj olajvisszatartó képességét, akkor a szénhidrogén eléri a talajvizet és a talajvíz fölött, a kapilláris zónában szétterjed és a talajvíz áramlással horizontálisan halad tovább. A kialakuló olajlencse átlagos vastagsága a talaj olajvisszatartó képességétől függ. A szénhidrogének egy része beoldódik a talajvízbe és a továbbiakban *oldott állapotban*, a talajvíz áramlásának irányában a diszperzió hatására halad előre, egyre szélesedő csóva alakjában (vagyis *egyre kisebb koncentrációban*). A vízben jobban oldódó szénhidrogén összetevők mobilitása nagyobb, így lényegesen meszebbre juthatnak. Ha a mikroorganizmusok részére elegendő oxigén áll rendelkezésre, a talajvízben is végbemehet biológiai bomlás. A viszonylag gyors biológiai lebomlás azonban elsősorban az oldott állapotú szénhidrogének esetében következik be, a talajvíz tetején úszó *olajlencse* lebontása rendkívül lassú.

A kőolajszármazékok felszín alatti szennyezései kapcsán ***szükséges hangsúlyozni azt, hogy a talajvíz tetején szétterült olajréteg vastagsága nem azonos a figyelőkutakban mérhető olajréteg vastagságával. A figyelőkútban ugyanis mintegy négyszer nagyobb az olajvastagság, mint a talajvíz tetején, tekintettel az eltérő nyomásviszonyokra!*** Így a felszín alatt lévő olaj mennyiségének becslése a figyelőkútban mért olajvastagság korrekciója nélkül irreálisan magas értéket eredményez.

Szintetikus mosószerek

A szintetikus mosószerek (*detergensek*), felületaktív anyagok (*tenzidek*) a vizek kizárólagosan emberi tevékenységből származó szennyezői. Széles körű elterjedésük miatt mindenütt jelen vannak és szennyeznek.

A szintetikus mosószerek egy hosszabb szénláncú, vízben rosszul, zsírokban/olajokban jól oldódó apolárisabb hidrofób, valamint egy poláris, vízben jól oldódó hidrophil részből állnak. A korábban alkalmazott elágazó szénláncot tartalmazó, biológiailag nem, vagy nagyon nehezen

bontható „kemény detergens” használata visszaszorult, jelenleg biológiailag lebontható mosószerek vannak használatban. A szintetikus mosószerek a felületaktív vegyület mellett komplexképzőként rendszerint foszfátokat is tartalmaznak. A detergensok habzási képességük révén a felszíni vizeket, habréteggel vonják be, ezáltal nehezítik az oxigénfelvételt. Foszfáttartalmuk pedig nagymértékben hozzájárul a felszíni vizek *eutrofizációjához*. További káros hatásuk, hogy összetételüknél fogva oldatba viszik, illetve oldatban tartják a hidrofób jellegű vegyületeket, olajokat, peszticideket, poliaromásokat, amelyek egyébként kicsapódnának és kiülepednének. Így az oldatban maradt, esetlegesen rákkeltő vegyületek a víztisztítók szűrőin átjuthatnak és veszélyt jelenthetnek az emberre is. Nagyobb koncentrációban íz rontók, sőt toxikusak is lehetnek a vízi életközösségekre.

Huminanyagok

A huminanyagok különleges helyet foglalnak el a vízminőséget befolyásoló anyagok között, mivel természetes eredetük miatt a környezetre nem toxikusak ugyan, de más vegyületekkel való kölcsönhatásuk során azokká válhatnak. A huminanyagok növényi anyagok lebomlása során keletkeznek illetve a talaj vízzeloldható huminanyagainak kimosódása révén érik a vizeket. Összes mennyiségük a természetes vizekben 0,5–5 mg/l között változik. A víz természetes sárgásbarna elszíneződését okozzák (*osztályozásukat ld. Talaj- és talajkémia c. jegyzetben*).

A huminanyagok vízzeloldhatósága a molekulatömegük és polaritásuk függvénye. A sok karboxil csoportot tartalmazó, alacsonyabb átlagos molekulatömegű fulvósav és huminsav frakciók jól oldódnak vízben, így a szennyezések transzportjában betöltött szerepük is jelentős. Só- és komplexképző, valamint redox tulajdonságaik következtében vízi környezetben fémekkel komplexeket képeznek, azokat oldható formába viszik és könnyen mobilizálhatóvá teszik. A huminanyagok komplexeinek stabilitása a fémion minőségétől, a humát, mint ligandum redoxpotenciáljától és a pH-tól függ.

A vizekben lévő huminanyagok az ott jelenlévő egyéb szennyezésekkel is reagálnak. Ezek közül főleg az oxidálószerke, különösen a klór a legveszélyesebb. Ha ugyanis a fertőtlenítésre használt klór koncentrációja már nem elég nagy a jelenlévő humátok teljes feloxidálásához, akkor csupán helyettesítési reakció megy végbe és karcinogén, klórozott szerves vegyületek, pl. kloroform képződik. További gondot jelent, ha a vizekben más halogének is jelen vannak, ezek ugyanis a klórhoz hasonlóan reagálnak.

Poliklórozott bifenilek

A poliklórozott bifenilek (*PCB-k*) olyan nem természetes eredetű, szerves, aromás vegyületek, melyek nagy mennyiségben, 10–60%-ban tartalmaznak szubsztituált klórt. A PCB megnevezés kb. 200 különböző kémiai szerkezetű anyag összefoglaló neve, összegképletük: $C_{12}H_{10-n}Cl_n$. A PCB-k rendkívül perzisztens, kémiai és termikusan stabil vegyületek. Széles körben alkalmazzák ezért a műanyagiparban, növényvédőszerke, festékek, gumi és csomagolóanyagok gyártásánál, továbbá mindazon helyeken, ahol üzembiztonsági okok miatt az elektromos tüzek keletkezését meg kell akadályozni (*pl. kondenzátorok elektrolitjai, transzformátorok hűtőfolyadékai*). Negatív környezetvédelmi megítélésük miatt alkalmazásukat ma már több helyen korlátozzák, illetve más típusú anyagokkal helyettesítik (*pl. az alkil-aril-foszfátok, mint hidraulikai folyadékok*).

A PCB-k vízben oldhatatlanok, de jól oldódnak zsírokban, így a bioakkumuláció során a zsírszövetekben dúsulnak fel. Károsító hatásait felismerését hosszú ideig az akadályozta, hogy hasonló szerkezetük miatt a DDT-vel és bomlástermékeivel keverték össze. Rákkeltő hatásuk a laboratóriumi teszttállatokra egyértelműen bebizonyosodott. A poliklórozott bifenilek a DDT-hez hasonlóan akkumulálódnak a táplálkozási láncban. Az ismert környezetszennyező

anyagok közül a PCB-k a legperzisztensebb vegyületek. A biológiai lebontásnak is ellenáll, melyet a fenol gyűrűre szubsztituált klór biztosít. Sajnos, ma már az óceánokban, folyókban és tavakban is kimutathatók. Bár elsősorban az ipari szennyvizek tartalmazznak PCB vegyületeket, a gumi-és műanyagtermékek használatából, kopásából eredően az utakról lemosódott csapadékvizekben is előfordulnak. A folyók, tavak üledékében felhalmozódik, így ezekben lényegesen nagyobb koncentrációban fordul elő, mint a vizekben. A halakban akkumulálódik, így a táplálékláncban is megjelenik.

Akkumulációs tulajdonságuk és perzisztenciájuk miatt a PCB vegyületek élelmiszerbiztonsági tényezőként szerepelnek: az USA-ban a szennyvizek 0,01 mg/l-nél alacsonyabb koncentrációban tartalmazhatnak poliklórozott bifenileket, az ivóvizekre megengedett érték 0,1 mg/L.

Fenolok

A fenolok az aromás szénhidrogének hidroxil vegyületeinek összefoglaló megjelölése. A hazai gyakorlatban a „vízgőz illó”, 4-aminoantipirinnel reagáló vegyületeket nevezhetünk „fenoloknak”. A nemzetközi gyakorlatban a „*fenolindex*” megjelölés terjedt el, amely jobban utal a megnevezés összetett voltára.

A fenolokat elterjedten használják a gyógyszer, a növényvédőszer és a műanyag iparban, így az élővizek potenciális szennyezői lehetnek. Nagy mennyiségben tartalmazzák őket a kokszolóművek, a szén-, fa- és kőolajleparló, a papír, valamint a gyógyszeripari szennyvizek. A falevelek rothadási folyamatai során természetes körülmények között is keletkeznek, de előfordulnak az emberi, állati szervezetben, kimutathatók a vizekben is. Vízvédelmi megítélése elsősorban az organoleptikus, ritkábban a toxikus hatása miatt fontos. Nagyobb, mg/L koncentrációban a fenol a legtöbb organizmusra, így a baktériumokra is toxikus (*általában 10 mg/l fenol koncentráció felett*). Ismeretesek azonban fenol rezisztens törzsek is, amelyek nagyobb koncentrációban is képesek a fenol biológiai lebontására. Kis koncentrációban a fenolok biológiailag bonthatók, a folyóvizekben természetes tisztulási folyamataiban lebomlanak.

A klórozási folyamat során a nyers vízben előforduló szerves anyagok prekurzorként viselkedhetnek a különböző *klór-fenol vegyületek* keletkezésére. A fenol 0,01–0,1 mg/L koncentrációban, a klórozás során keletkező termékek pedig már µg/L koncentráció értékeknél is kifejtik íz-és szagrontó hatásukat. Különösen az orto-krezol jelenléte kritikus a vizekben, mert ez a vegyület szag-küszöbértéke 0,1 µg/L, ellentétben az általában néhány mg/L értékű szaghatárral. A WHO egészségügyi határértéke 0,001 mg/L. Tekintettel az igen alacsony megengedhető értékre, a „leghatékonyabb” módszer a fenoltartalmú szennyvizek távoltartása az ivóvízbázisoktól. Ha már egyszer belekerült a nyers vízbe, akkor ha lehet még klórozás előtt kell eltávolítani. Az alacsony szubsztitúciós termékek oxidatív úton, a magasabb szubsztitúciósok aktivált szénen történő adszorpcióval vonható ki a vízből.

A növényvédőszerként és a fakonzerváló anyagaként is alkalmazott klór-fenolok karcinogén hatása egyértelműen bizonyított. A vizekben a 2–4–6 triklór-fenol 0,02 mg/l fölött bizonyítottan karcinogén hatású. A pentaklór-fenol a májat és a vesét károsítja, jól felszívódik a tápcsatornából, de felszívódik a bőrön keresztül is. Megjegyzendő, hogy ezek a hatások a szagküszöbnél magasabb koncentrációban jelentkeznek.

Dioxinok

Dioxin elnevezés a poliklórozott-dibenzo-p-dioxin és a poliklórozott dibenzofurán vegyületeire, illetve izomérjeikre vonatkozik. A poliklór-dibenzo-para-dioxinok (PCDD) és a poliklór-dibenzo-furánok (PCDF) aromás éterek. A PCDD/PCDF vegyületek nem illékony, lipofil, vízben kevésbé oldódó, klórtartalmú szerves vegyületek. Vízoldhatóságuk $3,5 \cdot 10^{-4}$ és $3,6 \cdot 10^{-7}$ mg/l közötti érték, a lipofil tulajdonságot jelző oktanol/víz logaritmikus megosztási hányadosuk: $\lg K = 6,8-10,6$ között, molekula súlyuk 305–460 között változik.

A PCDD/PCDF vegyületek az elővegyületeikből/prekurzoraikból termikus folyamatokban keletkeznek. Ezt a folyamatot pl. a réz, illetve egyéb, nagy reaktív felülettel rendelkező anyagok (pl. szálló porok) katalizálják. A katalizált folyamatoknak különösen a hulladékégetés során van jelentősége. A 2,4,5-triklórfenol hőkezelése alapvetően a 2,3,7,8-PCDD képződéséhez vezet. A pentaklórfenol termolízise során oktaklórbenzo-p-dioxin keletkezik, aminek további deklórozásával kisebb klórozottsági fokú izomerek képződnek. A dioxinképződés természetes útja pl. erdőtüzek vagy fosszilis energiahordozók és fa égetésekor sem zárható ki. A peroxidáz enzim hatására a PCDD/PCDF biológiai úton, klórphenolból in vitro és in vivo körülmények között is végbemegy. A szennyvíztisztítás és a komposztálás során is lehet dioxin-képződéssel számolni.

A dioxinok egyrészt a szerves anyagok égése során, a másrészt néhány klórozott vegyület kémiai reakciója során keletkeznek. Dioxinok források lehetnek továbbá a petrolkémiai ipar és a nem megfelelő hulladékégetés is. Ilyen források a városi szemét, a kórházi és ipari hulladékok, valamint a fáradt olajok égetése, továbbá az erdőtüzek és a cigarettafüst. Valószínű, hogy a legfontosabb források a szemétegetők és a gépjárművek kipufogógázai. A dioxinok jelenléte a városi szemétegetők füstgázaiban és pernyéjében teljesen általános. A PCDD és a PCDF prekurzorok $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölött keletkeznek és $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölött elbomlanak, amennyiben az oxigénellátottság megfelelő, a turbulencia kielégítő és a tartózkodási idő az égetőben több mint 1 s. Dioxinok akkor is képződhetnek, ha a gázok elhagyják az égetőkemencét és a kibocsátás előtt keresztülmennek a tisztító-és hűtőrendszeren. Bármilyen fémnyom katalizátorként hathat, valószínűleg a réz a legaktívabb.

A 2,3,7,8-szubsztituált izomereknek kiemelkedően magas a biológiai és kémiai stabilitása és a toxicitása. Általánosságban a PCDD/PCDF vegyületek kémiai és termikus stabilitása nagy. Csak néhány enzim és erős oxidálószer (ózon) képesek a PCDD/PCDF vegyületeket kémiai lebontani. Ez a nagymértékű stabilitás és a zsírolthatóság kedvez az élő és élettelen környezetben való felhalmozódásnak. Bár a PCDD/PCDF vegyületek rendkívül ellenállóak a kémiai és fizikai behatásokkal szemben, az atmoszférában, napfény hatására a lebomlás néhány óra alatt végbemegy. A legfőbb folyamatként a direkt vagy indirekt pirolízist és a magas hőmérsékleten lezajló termikus bomlást feltételeznek.

Mivel a PCDD/PCDF vegyületek kis gőznyomású szilárd anyagok, továbbá vízben majdnem oldhatatlanok, mobilitásuk kicsi a környezetben. Erősen adszorbeálódnak azonban a talaj szerves anyagain és nehezen mosódnak ki az esővízzel vagy a talajnedvességgel. Mozgásuk azonban az őket adszorbeáló talajrészecskékkel együtt lehetséges (pl. eróziós/deflációs folyamatok). Száraz talajokban van bizonyos PCDD és PCDF gőzdiffúzió a pórusokban, de ez nagy szervesanyag tartalmú talajokban lényegesen kisebb, mint homokban. A transzport bármelyik irányban megtörténhet, de a felszínhez közel a mozgás inkább felfelé irányul. Bizonyos vizsgálatokból arra lehet következtetni, hogy a 2,3,7,8-TCDD felezési ideje talajban 10 év is lehet, ez azonban a helyi körülményektől változik.

A dioxinok égetéssel jutnak az atmoszférába, majd onnan kiülepedve bekerülnek a talajba, a vizekbe és a növényzetbe. A dioxinok biológiai transzportja elsősorban a táplálékláncon keresztül történik meg. Elsősorban a zsírszövetekben akkumulálódnak. A dioxinok toxicitása

a szubsztituált klóratomok számától és a szubsztitúció helyétől függ. A 2,3,7,8 izomerek a legtoxikusabbak.

Bár rákkeltő hatásuk állatokban bizonyított, a rendelkezésre álló adatok alapján nem lehet egyértelműen állást foglalni a humán karcinogen hatást illetően. Ehelyett a WHO egy becsült irányértéket ad meg, amelyet meghaladva intézkedéseket kell tenni a szint csökkentésére. Mivel a 2,3,7,8-TCDD-n kívül más dioxinról nagyon kevés információ áll rendelkezésre, nagy biztonsági faktort alkalmazva minden toxicitási hatást a 2,3,7,8-TCDD toxicitásához viszonyítva fejeznek ki és ezt az úgynevezett toxicitási egyenérték faktorban (TE) adják meg. Ez az érték felnőttekre 10 pg/kg/nap, gyerekekre 1 pg/kg/nap.

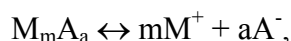
11.6. Toxikus fémek, szervetlen mikroszennyezők

A felszíni vizek mérgező fémtartalma jelentős mértékben befolyásolja a vízminőséget. A kezelt ipari és kommunális szennyvizek az előírt határértékeknek megfelelő koncentrációban tartalmazzák a fémszennyezéseket. A biológiai folyamatok során azonban a fémek megkötődnek a képződő biomasszában és a tápláléklánc végén lévő élőlények a bioakkumuláció miatt már nagyobb dózisu fémterhelést kénytelenek elszenvedni.

A környezeti elemekbe jutott szerves szennyezők toxikus hatása szerkezetfüggő. Ha a szerkezet megváltozik vagy módosul, a környezeti hatás is megváltozik. ***A fémek káros hatásai azonban lényegesen összetettebb módon érvényesülnek a környezeti elemekben, mivel a toxicitást az oldhatóság, az ionerősség, a pH és a redox viszonyok határozzák meg.*** Ebből adódóan a hőmérséklet, az oldhatósági, a pH és a redox viszonyok megváltozásával a jelenlévő fémvegyületek egymásba átalakulhatnak és bármikor megjelenhet a legtoxikusabb forma.

Oldhatóság

Az oldhatatlan fém biológiailag inaktív, ezért nincs hatással a víz minőségére. Alapvetően tehát a fémek vízoldhatósága arányos a károkozás mértékével. A folyadék és a szilárd fázis közötti egyensúlyt az alábbi egyenlet jellemzi:



melyre felírható az oldhatóságot meghatározó egyensúlyi állandó:

$$K_s = [M]^m [A]^a$$

Minél kisebb K_s értéke, annál kisebb az oldhatóság. Az oldhatóság azonban csak tiszta oldatokban fejezhető ki a fenti egyenletnek megfelelő exakt formában. Természetes körülmények között az élővizekben jelen lévő egyéb fémek, az anionok koncentrációja/ionerőssége, a komplexképzők, valamint a szerves anyagok is befolyásolják az oldódást.

Komplexképzés

A fémek komplexképző tulajdonsága fontos szerepet játszik a mobilizálhatóságuk és migrációjuk tekintetében. A fém-komplexek alapvetően a fémionból (M , a komplex központi magja), valamint a ligandumból (L , a kapcsolódó molekulák vagy ionok összessége) áll. A fémion és a ligandum között kialakuló kötés legegyszerűbben úgy értelmezhető, hogy a ligandum elektronpárt ad át a fémionnak. A ligandum tehát az elektronpár donor, a fémion

pedig az elektronpár akceptor. Az elektronpár donorokat a kémiában Lewis-bázisoknak, az elektronpár akceptorokat Lewis-savaknak nevezik. Ebből következően a komplex kialakulása egy Lewis-sav - Lewis-bázis reakcióként is értelmezhető az alábbi reakcióegyenlet alapján:



A legfontosabb szervesetlen komplexképző anionok, mint a bikromátok, a kloridok, a hidroxidok, a fluoridok és a szulfátok jelen vannak a vizekben, így megvan a lehetősége a legkülönbözőbb *fémkomplexek* kialakulásának. Oldható és oldhatatlan komplexek egyaránt keletkezhetnek. A vizes rendszerben jelenlévő fémek és ligandumok között gyakorlatilag csak bizonyos komplexek kialakulására van lehetőség, vagyis egy adott fém bizonyos ligandumokat előnyben részesít, másokkal viszont nem lép kölcsönhatásba. Pearson értelmezése szerint a Lewis-féle „erős savak” „erős bázisokkal”, a „gyenge savak” „gyenge bázisokkal” képeznek nagyobb stabilitású komplexeket.

A fémek a természetes vizekben jelen lévő természetes vagy szennyező szerves anyagokkal is képezhetnek vízzoldható komplexeket. Az aminosavak, fulvó- és huminsavak, a poliszaharidok, a szerves foszfor vegyületek, a fenolos OH és a karboxil csoportokat tartalmazó aromás vegyületek azok a leggyakoribb komplexképzők, melyek a fémek migrációját befolyásolják. Szükséges még figyelembe venni komplexképzőként a mosó- és tisztítószerekben mindig jelen lévő etiléndiamin-tetraecetsavat (EDTA), valamint a nitrilotriecetsavat is (NTA).

A természetes vizes rendszerekben az elektrondonor tulajdonsággal rendelkező szerves anyagok tehát fontos szerepet játszanak a fém szerves komplexek kialakulásában különösképpen azzal, hogy a fémeket oldatban tartják. Ezért az oldatban lévő fém-koncentráció lényegesen magasabb lehet, mint az a szerves oldhatósági konstans alapján várható volna. Másrészt a szerves anyagokkal képzett fém-komplexek fontos szerepet játszanak a fémek bioakkumulációja során is, ugyanis a bioorganizmusok a fémeket csak komplexek formájában tudják beépíteni szervezetükbe. Ugyanakkor a komplexképződési, a bioakkumulációs folyamatokat a vizek redox és pH viszonyai is meghatározzák.

A higany metileződése

A biológiai folyamatokban résztvevő mikroorganizmusok a higanyt metilezni képesek. A metileződés aerob és anaerob körülmények között is végbemehet, melynek eredményeként az oldhatatlan, tehát környezeti szempontból inaktív higanyból (Hg) biológiailag hozzáférhető metil (CH_3Hg) és dimetil higany vegyületek ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$) jönnek létre. Metil higanyvegyületeket a tápláléklánccal az ökoszisztémát és az embert is veszélyeztetik.

A metileződési folyamat az üledékekben gyorsan lejátsszódik, a dimetil és metil higanyvegyületek egymáshoz viszonyított arányát a víz pH értéke is befolyásolja. A $\text{pH} > 8$ esetében gyakorlatilag a dimetil forma, míg $\text{pH} < 8$ esetében a metil forma dominál. Az illékony dimetil-higany eltávozik a nyitott vizes rendszerekből, míg a nem illékony metil-higany visszamarad. A vizekben lévő organizmusokba tehát a metilezett forma épül be.

A fémek toxikus hatásai

Biológiai rendszerekben a fémek koncentrációja egymáshoz képest több nagyságrendnyi eltérést is mutathatnak. Bizonyos koncentrációban való jelenlétük szükséges az egészséges életműködések szempontjából. Az úgynevezett *esszenciális fémek* bizonyos koncentráció alatt fejlődési rendellenességet okoznak. A Zn, Cr, Co, Mn, Mo, Sn, Cu és a Fe esszenciális fémek.

Más fémek, mint pl. az As, Cd, Ag, Hg, Pb és a Be az élő szervezet számára idegenek és az úgynevezett *határkoncentráció* felett kifejezetten toxikusnak minősülnek.

A fémek toxikus hatása biológiai tesztekkel mérhető. A legtöbb esetben tesztállat pusztulását néhány napos (24–96 órás) kitettség után vizsgálják. Ugyanakkor a legtöbb fém esetében a káros hatás csak hetek, hónapok, vagy évek múltán jelentkezik, vagyis a fém nem korai pusztulást, hanem „csak” rendellenességet vagy változást okoz az emésztő-, idegrendszerben vagy az alapvető életfunkciókban. A krónikus hatás az életfunkciók megváltozásának leírásával jellemezhető.

A vizekben egymás mellett jelen lévő fémek toxikus hatásai additívak, szinergetikusak vagy antagonisztikusak is lehetnek annak megfelelően, hogy az összetett hatás az egyes fémek hatásaiból egyszerűen összeadódik, illetve ennél erősebb, vagy gyengébb. Szinergetikus hatású például a réz és a cink együttes jelenléte lágy vízben. Általában a legtöbb nehézfém mérgező hatása a vízkeménység növekedésével növekszik. A vízben oldott oxigén csökkenése a fémek toxikus hatásait szintén növeli.

11.7. Egyéb szennyezettséget jelző mutatók

A természetes vizekben jelen lévő, szennyezettséget jelző mutatók az összes sótartalom, különböző szervesetlen ionok (*pl. foszfátok, szulfátok, halogének: kloridok/fluoridok, cianidok*), szilikátok, rodanidok, a vízkeménységet meghatározó ionok, valamint a radiológiai aktivitással rendelkező elemek és vegyületeik. Az elektrokémiai, a szerves vegyipari, az energetikai és a szilikát ipar jelenlétével két nagyon jellemző szennyező, a cianid és a fluorid is megjelent a vizekben.

A cianidok legfontosabb emissziós forrásai a galvánüzemek, a fémfelület kezelők, a bányászat/ércdúsítás, valamint a szerves vegyipar, beleértve a gyógyszereket, a növényvédőszerket és a festékeket is. A cianidok szervesetlen és szerves vegyületek formájában egyaránt szennyezhetnek, bár leggyakrabban vízben könnyen oldódó cianidsók és fémkomplexek formájában kerülnek az emissziós környezeti elembe. A pH-tól függően ionos, gyengén disszociált, vagy illékony cián-hidrogén, illetve oldható komplexek formájában vannak jelen. A toxicitás vizsgálatok alapján a disszociált cianid ion mérgezőbb, mint a hidrogén-cianid. A nehézfém komplexeik mérgező hatása is a disszociáció következtében keletkező *szabad cianid ion* függvénye.

Természetes vizekben a cianid ion nem, vagy csak ppb alatti ($1 \mu\text{g/l} = 0,1 \text{ mg/l}$) koncentrációban fordul elő. Az ennél magasabb érték szennyezésre utal. Az ivóvizekben megengedett érték $0,05 \text{ mg/l}$, a WHO-ajánlás $0,1 \text{ mg/l}$. A cianid tartalmú szennyvizek tisztítását közvetlen a keletkezés helyén kell megoldani. Még a gyári belső csatornába sem engedhető tisztítatlanul, mert az egyéb szennyvizek esetlegesen savas karaktere miatt a hidrogén-cianid felszabadulás balesetveszélyt jelent.

A cianidok könnyen megkötődnek. A toxikus hatást citokróm rendszer és az oxidációs folyamatok blokkolásán keresztül fejti ki, meggátolja a szövetek oxigéncseréjét.

A fluoridok előfordulása igen gyakori a természetben. A litoszférában, a hidroszférában, továbbá (*nyomnyi mennyiségben*) a legtöbb talajban, növényben, élelmiszerben és a vizekben is megtalálható. Környezetszennyezővé főleg a széleskörű ipari felhasználás tette. Az alumínium-, az építő-, kerámia-, burkoló- és az üvegipar, a bányászat, valamint a szerves vegyipar szennyvizei is tartalmazzak fluoridokat.

Felszíni vizekben kisebb mennyiségben (*általában 1 mg/l alatt*), a felszín alattiakban nagyobb koncentrációban is előfordulhat. Meleg forrásokban 10 mg/l fölötti érték sem ritka. Az ivóvizek vagy természetes, vagy adagolt fluoridokat tartalmazzak, általában 1 mg/l alatti

mennyiségben. Az oldott állapotban lévő fluorid ion koncentrációját a kalcium és a szilícium tartalom befolyásolja. Még a hévforrásokban is (*adott hőmérsékleten*) a fluorid koncentrációját az oldható kalcium-fluorid mennyisége határozza meg.

A szervezetben a fluoridok főleg a csontozatba épülnek be, de a 100 mg/l fölötti koncentráció terhelés zavarokat okozhat a szénhidrát, a lipid és a fehérje metabolismusban. Mivel a fogakba lerakódott fluorid csökkenti a fogzománc savas anyagokkal szembeni ellenállását, néhány országban az ivóvízhez külön fluoridot adagolnak. Az ivóvizekben megengedett maximálisan koncentráció 1,7 mg/l, figyelembe véve az egyéb fluorid típusú terheléseket is.

11.8. A mikroorganizmusok és a vízminőség

A vízi ökoszisztémában előforduló mikroorganizmusok rendkívül összetett szerepet játszanak a vizek környezet minőségében: szennyezéseket jeleznek, mérgező anyagokat bontanak le és mérgező anyagokat termelnek, valamint részt vesznek a szennyezett vizek tisztulási folyamataiban. Természetes körülmények között gyakorlatilag minden vízben előfordulnak. Jól tűrik az extrém körülményeket is, vannak hideg, meleg és só tűró mikroorganizmus fajok. A mikroorganizmusok közös jellemzője a növekedés, szaporodás, de az adott körülmények között a tápanyag felvételében lényeges eltérések lehetnek. Egyes mikroorganizmusok szénforrásul csak szerves szén használják, vagy metabolismusukhoz speciális nitrogénformát igényelnek.

A vízben előforduló legfontosabb mikroorganizmusok lehetnek (1) algák (fitoplankton), (2) protozoák (zooplankton), (3) gombák, (4) kékalgák, (5) baktériumok (bakterioplankton) és (6) vírusok.

Az ***algák*** mérete a mm-től több méteres mérettartományba esik. A vízben a fotoszintézist végzik. Szaporodásukhoz szén, nitrogén, foszfor és fényt igényelnek. Pigment anyagaik szerint lehetnek zöld, barna, vörös, sárgászöld stb színűek. A túl sok alga általában rontja a vízminőséget, de a káros hatás algáknaként eltérő. A zöld algák kevesebb problémát okoznak, némelyik izróntó, mások mérgező anyagot is termelnek.

A ***protozoák*** nem fotoszintetizálnak, a vizek szerves szennyezőinek lebontásában van fontos szerepük. A legtöbbjük baktériumfaló: a baktériumok növekedésükhöz és szaporodásukhoz felhasználják a szerves anyagokat, majd az elszaporodott baktériumokat a protozoák falják fel. A legtöbbjük ostoros. Jelenlétük szervesanyag feldúsulását jelzi.

A ***gombák*** sem fotoszintetizálnak. Vízi környezetben a hagyományos úton nehezen lebomló, a környezetben hosszabb ideig megmaradó szennyező anyagokat is képesek hasznosítani. Például a cellulóz bontását többségében gombák végzik.

A ***kékalgák*** mérete a baktériumokhoz áll közel, néhány mm nagyságrendű. Még ma sem tisztázott teljesen, hogy ezek fotoszintetizáló baktériumok, vagy valódi algák. A kékalgák igen toleránsak a környezeti hatásokra, alacsony és magas hőfokon egyaránt képesek szaporodni, nitrogénforrásul a légköri nitrogént használják. Ezért savas közegben is képesek elszaporodni, gyakran egyetlen faj alkotja tömegvegetációt alkotva. Tömeges elszaporodásukkor íz- és szagrontó, és/vagy mérgező szerves anyagokat bocsátanak a vizekbe. Ezért nagy számban való megjelenésük igen komoly veszélyt jelent az élővizekre, korlátozzák az ivóvíz hasznosítást és gyakran tömeges halpusztulást okoznak.

A ***vírusok*** ~10 µm méretű mikroorganizmusok. Önállóan nem képesek élni, szaporodásukhoz mindig gazdaszervezet szükséges. A gazdaszervezetbe behatolva megváltoztatják annak genetikai anyagát és ott szaporodnak. A gazdaszervezet elpusztítása után abból

kiszabadulnak, a környezetbe szétszóródnak és új szervezetet keresnek. A legtöbb sejtet képesek megtámadni, így a baktériumokat, az algákat és az állati sejteket is.

A 0,5–10 mm közötti méretű **baktériumok** nagyon jól jelzik a vízminőség alakulását. A vízben lévő szerves és szervetlen anyagokból építik fel sejtanyagaikat, némelyek oxigén jelenlétében (*aerob fajok*), mások annak hiányában (*anaerob fajok*) is szaporodnak. Legtöbbjük gyorsítja az oxidációs-redukációs folyamatokat azáltal, hogy ezekhez a reakciókhoz energiát biztosítanak (*az ilyen reakciók steril környezetben egyáltalán nem, vagy lassan mennének végbe*). Egy adott rendszerben jelenlevő baktériumok populációja a rendszer tisztulási képességét is jellemzi.

A baktériumok levegőben, vízben és a talajban is jelen vannak. A vizekben lévők a vizes és az üledékben élő fajokból tevődnek össze. Ezek a fajok életközösségeket alkotnak, együttes életműködésük eredője határozza meg a víz minőségét. A baktériumok és a rendszerben jelen lévő többi mikroorganizmusok nagyon szoros kölcsönhatásban vannak egymással. Ez a kölcsönhatás lehet szimbiotikus, de lehetséges antagonisztikus is. A rendkívül szoros és összetett hatás felelős a vízi környezetben bekövetkező változásokért. Ismeretes a baktériumok és az algák közötti szoros kölcsönhatás. A legtöbb baktérium megjelenése alfafajokhoz kötődik. Ennek pontos részletei nem ismertek, de két hatás bizonyított. Egyrészt a baktériumok az algák növekedésére ható mellékterméket választanak ki. Ez a növekedési faktor teszi lehetővé a gazdanövény és baktériumfaj együttélését, vagy gátolja egy másik faj megjelenését. Másrészt az elhalt algatestet a baktériumok lebontják. Az eutrofizálódott tavakban tömegesen jelen lévő algák pusztulásuk után a fenékre süllyednek és az üledékben lévő baktériumok az elhalt algatestet lebontják. A korábban beépült szervetlen tápanyagok így újra visszakerülnek a biológiai körfolyamatba.

A baktériumok környezet- és közegészségügyi hatásai

Mivel a baktériumok részt vesznek a legtöbb vízi körfolyamatban, tevékenységük nagymértékben hozzájárul víz minőségéhez. A baktériumok jelenléte legalább ennyire meghatározó a víz környezet- és közegészségügyi hatásainak tekintetében is. Ismeretes ugyanis, hogy a vízzel terjedő betegségek legtöbbje emberi fekáliával való fertőzöttség következménye. A fertőző betegségek sokfélesége, a kórokozók bonyolult kimutatási módszere miatt a vízminőség közegészségügyi megítélése érdekében kifejlesztettek egy módszert, amellyel a gyorsan kimutathatók a fekáliás szennyezések és az esetlegesen jelen lévő patogén mikroorganizmusok. **A vizek bakteriális szennyezettségét jellemző szervezetek két csoportra oszthatók: a fekális szennyezést indikáló szervezetek** pl. *a coliform, a fekál koli, a streptococcus és a clostridium*. A populáció és az összetétel a víz minőségét és az ökológiai jellegét mutatja, tehát jelenlétük még nem jelent feltétlenül veszélyt. Ezzel szemben **a kórokozó baktériumok**, mint pl. *a salmonella* vagy *a shigella* közvetlen fertőzésveszélyt jelentenek az emberre, vízben való jelenlétük esetén a víz emberi felhasználásra alkalmatlan.

12. A kármentesítés szabályozása az Európai Unióban (Dr. Horváth Erzsébet)

Pannon Egyetem, Veszprém

Az iparosodás következtében létrejött környezetpusztulás olyan externáliákat okoz, amely egyre nagyobb teherterhel a társadalmak és a nemzetgazdaságok számára. Ezért a környezetvédelem szükségszerűen beépült a jogalkotásba és ma már nem lehet a jogszabályban meghatározottnál nagyobb környezetszennyezéssel járó gazdasági tevékenységet folytatni. Ezzel párhuzamosan egyre több figyelem irányul a régebben keletkezett környezetkárosodások felszámolására és egyre több intézkedés szorgalmazza a negatív hatások mérséklését és/vagy megszüntetését.

Az ipari tevékenység, a folyékony és szilárd hulladékok működő, vagy már elfelejtett lerakóhelyei, veszélyes anyag tárolók, a meddőhányók, a salakdombok, a zagytározók, az olajkitermelő kutak, olajfinomítók, az üzemanyag szállító és elosztó állomások potenciális környezetszennyezést jelentenek mind a talajra, mind a természetes vizekre. A legnagyobb veszély azonban az, ha a szennyezés akár pontszennyezőként, akár mobilis formában károsítja az élőhelyeket, biológiailag hozzáférhetővé válik, bejut a táplálékláncba és károsítja az ökoszisztémát. Ebből következően a környezetszabályozás és a környezeti felelősség határokon és kontinenseken átívelő civilizációs probléma, mely globális kezelésmódot igényel.

Az Európai Parlament és a Tanács 2004/35/EK irányelve a környezeti károk megelőzése és a célállapot helyreállítása tekintetében a környezeti károk helyreállítására, és annak költségviselőire vonatkozó környezeti felelősséget szabályozza.

Az irányelv definiálja a környezeti kár fogalmát. Ezek szerint környezeti kárnak minősül

- (1) A „védett fajokban és természetes élőhelyekben okozott károk, vagyis minden olyan kár, amely jelentős kedvezőtlen hatást gyakorol az ilyen élőhelyek és fajok kedvező védettségi állapotának elérésére vagy fenntartására.”
- (2) A „vizekben okozott károk, vagyis minden olyan kár, amely jelentősen kedvezőtlen hatást gyakorol az érintett vizek ökológiai, kémiai és/vagy mennyiségi állapotára és/vagy ökológiai potenciáljára”.
- (3) A „talajban okozott károk, vagyis a talajszennyezés minden olyan formája, amely az emberi egészség károsodásának jelentős kockázatával jár, közvetlenül vagy közvetve a talajba, a talajra vagy annak felszíne alá kerülő anyagok, készítmények, szervezetek vagy mikroorganizmusok következtében”.
- (4) „A környezeti károk fogalma magában foglalja a levegőben lebegő részecskék által okozott károkat is, amennyiben a vizek, a talaj, a védett fajok vagy a természetes élőhelyek károsítását eredményezik.”.

A környezeti károkat illetően az EU előírása alkalmazandó minden olyan fajta **„keresőtevékenységre”**, amely az emberi egészségre, vagy a környezetre kockázatot jelent. Kereső tevékenység alatt értendő minden olyan tevékenység, amelyet gazdasági tevékenység, üzleti vagy egyéb vállalkozás keretében folytatnak, tekintet nélkül arra, hogy magán- vagy közvállalkozás, profitorientált vagy nonprofit jellegű-e.

Nem minden környezeti kár állítható helyre a felelősségi mechanizmus alkalmazása révén. A felelősségi mechanizmus megfelelő alkalmazhatóságának szükséges és elengedhetetlen feltételei egy vagy több környezetszennyező azonosítása, a kár valósága és mérhetősége, továbbá nem utolsósorban az ok és okozati összefüggés megléte a kár és annak okozója között. A környezet helyreállításának minden esetben hatékonnak kell lennie olyan módon,

amely által biztosítva lesz a kármentesítés előre meghatározott célkitűzéseinek megvalósítása. Erre a célra minden esetben egy keretrendszer kidolgozására van szükség, amelynek megfelelő alkalmazásáról az illetékes nemzeti hatóságnak kell gondoskodnia.

Az EU irányelv megfogalmazza, hogy a környezeti károk megelőzését és helyreállítását a szennyező fizet elvének alkalmazásával kell végrehajtani oly módon, hogy az a fenntartható fejlődéssel összhangban legyen. Ezen elvnek megfelelően annak a gazdasági szereplőnek, aki a kár okozásáért felelősségre vonható, vagy aki által folytatott tevékenység a jövőben jelentős kárveszélyt jelenthet, elvben az összes szükséges megelőző és helyreállítási költséget viselnie kell.

Amennyiben a környezeti kár még nem következett be, de fennáll annak a veszélye, hogy a jövőben bekövetkezhet, a gazdasági szereplőnek azonnali hatállyal meg kell tennie a szükséges megelőző intézkedéseket. „Megelőző intézkedés minden olyan intézkedés, amelyet a környezeti kár közvetlen veszélyével fenyegető esemény, cselekmény vagy mulasztás következtében tesznek a kár megelőzése vagy minimálisra csökkentése érdekében.”

Ha a gazdasági szereplő megelőzési intézkedéseinek köszönhetően nem hárul el az esetleges környezeti kár veszélye, akkor a probléma mielőbbi megoldása érdekében a lehető legrövidebb időn belül be kell vonni az illetékes hatóságot és tájékoztatást kell nyújtani az aktuális helyzetről. Erre vonatkozóan a tagállamoknak kell fellépni, rendelkezni a gazdasági szereplőkkel szemben. Az illetékes hatóságok bármikor kötelezhetik az érintett gazdasági szereplőt hogy információval szolgáljon a környezeti kár közvetlen veszélyéről, vagy a környezeti kár gyanújának felmerüléséről. A hatóság kötelezheti a gazdasági szereplőt a szükséges megelőző intézkedések megtételére, továbbá utasításokat adhat az intézkedésekre vonatkozóan is. Végső esetben saját maga is megteheti a szükséges megelőző intézkedéseket. Azokban az esetekben, amikor az illetékes hatóság maga, vagy egy bevont harmadik fél útján a kárt okozó gazdasági szereplő helyett jár el, biztosítania kell az őket terhelő költségek megtérítését a gazdasági szereplő(k) részéről.

Amennyiben a környezeti kár már bekövetkezett, a gazdasági szereplőnek szintén azonnali hatállyal tájékoztatnia kell az illetékes hatóságot a helyzet minden lényeges hatásáról. Ezentúl végre kell hajtania minden célszerű intézkedést annak érdekében, hogy haladéktalanul ellenőrzése alá vonja, feltartóztassa, eltávolítsa, vagy egyéb módon kezelje az általa környezetbe juttatott szennyező anyagokat és egyéb károsító folyamatokat azzal a céllal, hogy megelőzze vagy korlátozza a további környezeti károkat és az ember egészségére gyakorolt kedvezőtlen hatásokat, vagy a természeti erőforrásokban jelentkező minőségromlást. Az illetékes hatóság megszabhatja, hogy milyen szükséges helyreállítási tevékenységeket kell a gazdasági szereplőnek elvégeznie.

Azoknak a személyeknek, akiket a keletkezett kár érint vagy feltehetően érinteni fog, joguk van arra, hogy az illetékes hatóságot felkérjék a mielőbbi intézkedésre. Tekintettel azonban arra, hogy jogával nem mindig él, vagy helyzetéből adódóan nem minden esetben tud élni az érintett jogi vagy természetes személy, ezért a környezetvédelem mellett elhivatott szervezeteknek is biztosítani kell a lehetőséget e személyek érdekeinek érvényesítésére/közvetítésére a hatóságok felé. Továbbá az érintett jogi vagy természetes személyeknek meg kell adni a lehetőséget arra is, hogy az intézkedéseket követően felülvizsgálati eljárást kezdeményezzenek az illetékes hatóság eljárásait, határozatait vagy éppen mulasztásait illetően.

Abban az esetben, ha a kárt okozó nem teljesíti az illetékes hatóság által meghatározott kötelezettségeket, vagy a kárt okozó nem azonosítható, vagy nem köteles viselni a költségeket, az illetékes hatóság maga is megteheti ezeket az intézkedéseket. A kár okozóinak az előírásokkal és a fenntartható fejlődéssel összhangban kell meghatározniuk a lehetséges helyreállítási intézkedéseket és jóváhagyásra be kell nyújtaniuk azokat az illetékes hatóság

felé. Ennek megfelelőségéről az illetékes hatóság dönt. Amennyiben nem találja azt teljes mértékben elfogadhatónak, joga van arra, hogy maga jelölje ki azokat az eljárásokat, amelyeket alkalmazni kell a helyreállítás során.

Ha egyidejűleg több esetben és több helyen következett be környezeti kár olyan módon, hogy az illetékes hatóság az egy időben történő helyreállításokat nem tudja biztosítani, jogában áll, hogy előzetes mérlegelés után fontossági sorrendet állítson fel annak eldöntésére, hogy a környezeti károk melyikét kell elsőként helyreállítani. A döntési mechanizmus során különösen az emberi egészségre jelentett kockázatokat, a környezeti kár jellegét, súlyosságát, kiterjedését, valamint a természetes regenerálódás lehetőségét kell figyelembe venni.

Amennyiben a környezeti kár bizonyítottan vagy valószínűleg több tagállamot is érint, a kárt szenvedett tagállamoknak együtt kell működniük annak érdekében, hogy a megelőző vagy a helyreállítási tevékenység megfelelő és hatékony elvégzését biztosítsák a környezeti károk tekintetében. A tagállamok szintén kérhetik a megelőző, illetve helyreállítási tevékenységek költségeinek behajtását a kárt okozóján. Vagyis szinte minden esetben a kárt okozó személy vagy személyek kötelesek viselni a helyreállítási költségek teljes költségét, beleértve mindazokat a költségeket, amelyek a kármentesítés megfelelő végrehajtásának biztosításához szükségesek. Ezek a költségek tételesen a környezeti károk valamint a károk közvetlen veszélyének felmérésével kapcsolatos költségek, a helyreállítási tevékenységek lehetőségeinek felmérése során felmerülő költségek, a közigazgatási, jogi és végrehajtási költségek, a végrehajtási munkálatok felügyeleti költségei, a monitoring és az adatgyűjtés költségei, továbbá minden egyéb általánosan felmerülő költség.

Ha a megelőző vagy helyreállító tevékenységet nem a kárt okozó gazdasági szereplő végezte, az illetékes hatóság jogosultsággal rendelkezik arra, hogy utólagosan, meghatározott határidőn belül behajtsa a kármentesítés teljes költségét a gazdasági szereplőn.

Ez történhet többek között dologi jogi biztosíték vagy más megfelelő garancia érvényesítése útján. Az illetékes hatóságnak joga van úgy dönteni, hogy a kárt okozó nem köteles a költségek teljes összegét megfizetni. Ez olyan esetekben állhat fenn, amikor a kárelhárítás költsége meghaladja a behajtható összeget. Továbbá nem behajtható az összeg akkor ha a felelős kiléte tisztázatlan.

Abban az esetben, ha a kárt több fél okozta, több felelőst terhelnek a helyreállítási költségek is. Arra vonatkozóan, hogy a kárt okozók között a költségek és a felelősség miként oszlik meg, az egyes tagállamok saját nemzeti törvényeket, szabályokat írhatnak elő. Különösen olyan esetben van ennek jelentősége, amikor a termékfelhasználó közel sem ugyanolyan feltételekkel vonható felelősségre a kár okozásáért, mint a termék gyártója. A felelősség megosztása az összes kérdéses esetben a nemzeti jogi szabályozás feladatkörébe tartozik.

Előállhatnak olyan esetek is, amikor nem várható el a gazdasági szereplőtől, hogy fedezze a helyreállítás költségeit. Ez olyan esetekre vonatkozik, amikor igazolható, hogy a kár előidézője egy harmadik fél volt és a megfelelő biztonsági intézkedések érvényben voltak a kár keletkezésének időpontjában. Továbbá érvényes azokban az esetekben, amikor a kár olyan hatósági utasítás vagy végzés betartásából ered, amely tevékenységből eredő kibocsátás vagy esemény nem azonos a gazdasági szereplő eredeti tevékenységéből adódó kibocsátásokkal és eseményekkel. Ilyen esetekben a hatóságnak kell vállalni a helyreállítás teljes költségét, sőt, a tagállamnak gondoskodnia kell arról is, hogy megtérítse a gazdasági szereplő által végzett helyreállítási költségeket.

A tagállam mentesítheti a károkozót a helyreállítási tevékenységek költségeinek fizetése alól akkor, ha bizonyítani tudja, hogy nem terheli gondatlanság vagy szándékosság a kár kialakulásáért. Vagyis a kár olyan tevékenység révén keletkezett, amely a jogi intézkedéseket végrehajtó hatályos nemzeti törvények és rendelkezések értelmében adott engedély feltételeivel teljes összhangban engedélyezett kibocsátás vagy esemény. Továbbá, ha a kárt okozó személy bizonyítani tudja, hogy a kár okozásának időpontjában általa alkalmazott

tevékenység a tudomány és technika akkori állása szerint nem minősült jelentős, nagy valószínűséggel környezeti kárt okozó tevékenységnek.

A helyreállításra vonatkozó előírások

(1) Vizekben, védett fajokban és a természetes élőhelyekben okozott károk helyreállításáról

Az EU három lépcsős helyreállítási eljárást ír elő, melynek eredményeképpen visszaáll a vizek, védett fajok, természetes élőhelyek eredeti állapota. Eredeti állapot alatt a természeti erőforrásoknak és az azok által nyújtott szolgáltatásoknak a rendelkezésre álló legjobb információk alapján becsült helyzetét kell érteni, amely akkor állt volna fenn, ha a károsodás nem következik be. ***A kármenetesítés három fokozata az elsődleges, a kiegészítő és a kiegyenlítő helyreállítás.***

Elsődleges helyreállításként az irányelv azoknak a tevékenységek az összességét határozza meg, amelyek hatására a károsodott természeti erőforrások és/vagy az azok által nyújtott, károsodott szolgáltatások visszaállnak az eredeti állapotba vagy egy ahhoz közeli állapotba.

Amennyiben a károsodott természeti erőforrások és szolgáltatások nem állnak vissza eredeti állapotba, kiegészítő helyreállítást kell végezni.

A kiegészítő helyreállítás célja, hogy a károsodott környezeti elemet, vagy szolgáltatást egy arra alkalmas környezeti elemmel vagy szolgáltatással pótoljon. Megfelelő esetben a másik természeti területet lehetőség szerint földrajzilag össze kell kötni a károsodott természeti területtel, tekintettel az érintett populációk érdekeire.

A kiegyenlítő helyreállítási tevékenység célja az, hogy az elsődleges helyreállítás hatásának teljes eléréséig a természeti erőforrásokban kialakult ideiglenes veszteségeket kompenzálja. Ideiglenes veszteség alatt minden olyan veszteséget ért, amelyek abból erednek, hogy a károsodott természeti erőforrások és az általuk nyújtott szolgáltatások nem képesek a károsodásig betöltött funkciójukat ellátni, illetve megfelelő szolgáltatásokat nyújtani a másik környezeti elemnek, vagy a köznek mindaddig, amíg az elsődleges helyreállítás eredménye meg nem nyilvánul, de a pénzübeli veszteségekre nincs tekintettel.

A helyreállításra vonatkozó technológiai megoldásokat ésszerű határok között kell alkalmazni, figyelembe véve az alábbi szempontokat.

- (1) Technológia esetleges hatása a közegészségügyre és a biztonságra
- (2) A lehetséges megoldások kivitelezési költségei és a sikeresség valószínűsége
- (3) A lehetséges megoldások milyen mértékben biztosítanak védelmet a jövőbeli károk elkerülésének érdekében
- (4) A lehetséges megoldások megvalósítása milyen esetleges másodlagos károkat okoznak
- (5) A különböző megoldások mennyire veszik figyelembe a helyi sajátosságokat
- (6) A lehetséges megoldások technológiai időigénye és a helyreállítás milyen időintervallumon belül érezteti kedvező hatását
- (7) Milyen mértékben állítható helyre a károsodott terület eredeti állapota
- (8) A károsodott természeti területnek milyen földrajzi kapcsolatai vannak.

Az illetékes hatóságnak joga van azt mondani, hogy nem kell további helyreállító intézkedést folytatni akkor, ha a már megvalósult helyreállító tevékenységek biztosítják, hogy többé nem áll fenn az emberi egészségre, a vizekre, a védett fajokra

és a természetes élőhelyekre veszélyt jelentő kockázat, továbbá ha az eredeti, vagy az ahhoz közeli állapot elérése érdekében tett helyreállítási költségek aránya nem áll összhangban az elérhető környezeti haszonnal.

(2) A talaj károsodásának helyreállításáról

„A talaj több funkciót betöltő, feltételesan megújuló energiaforrás, ami az emberi tevékenységek, valamint az ökoszisztémák fennmaradása szempontjából létszükségletű feladatokat lát el.” Ezért védelme kiemelten fontos. Mindenképpen meg kell tenni a szükséges óvintézkedéseket a jelentősebb szennyező anyagok minimális követelményként való ellenőrzésére, eltávolítására, feltartóztatására, illetve mennyiségbeli csökkentésére annak érdekében, hogy a talajszennyezés által ne alakuljon ki emberi egészségre veszélyt jelentő kockázat. Az ilyen kockázatok fennállását összetett kockázateértékelési eljárásokkal kell felmérni, szem előtt tartva a talaj sajátosságait és funkcióját, a szennyező anyagok koncentrációját, az ezek által jelentett kockázatot, valamint terjedésük valószínűségét. A területhasználat későbbi lehetőségeit a földhasználati előírásoknak, vagy a károk bekövetkezése idején hatályban lévő egyéb megfelelő előírásoknak megfelelően kell megállapítani. Amennyiben a területre nem vonatkozik földhasználatot szabályozó előírás, az adott terület jellegéből adódóan lehet a jövőbeni használatot illető döntést hozni.

A helyreállítási eljárások során figyelembe kell venni a természetes regenerálódási folyamatot is, amely segíti a helyreállítást.

A kármentesítési célérték meghatározásának módjai

Azt az értéket nevezzük kármentesítési célértéknek, amely a környezeti közegben megadja a kármentesítést követően a maximális szennyezőanyag koncentrációt. Ezt az értéket a kármentesítés során nemcsak elérni kell, hanem hosszú távon szükséges fenntartani is. A koncentráció meghatározásánál a szakmai és a műszaki kérdések mellett a környezet etikai és társadalmi szempontokat is figyelembe kell venni.

A határérték-rendszer alapú meghatározás elve

A szennyezett környezeti elem megtisztításának egyik gyakran alkalmazott módja a határérték-rendszerhez kötött kármentesítés. A rendszer alapja egy speciális szennyezőanyag koncentráció-értékeket tartalmazó táblázat, amely egységes környezetpolitikán alapuló határértékeket ír elő valamennyi környezeti elemre vonatkozóan. A rendszeren alapuló kármentesítés során a szennyezett területen hatályban lévő határérték-táblázat koncentrációk kötelező érvénnyel alkalmazandók az elérendő célállapot érdekében.

Kézenfekvőnek tűnhet a kármentesítés során egy olyan célállapot definiálása, amely a szennyezés bekövetkezése előtt volt, de bizonyos esetekben ez technikai, és gazdasági szempontok miatt nem megvalósítható. Ebből adódóan szükség van egy olyan határérték-rendszer kidolgozására, amely a környezet védelmét szem előtt tartva a gazdasági és a műszaki szempontoknak is megfelel. Ennek felállítása kormányzati szinten történik. A megszabott határértékig történő tisztítás nem a teljes ártalmatlanítást jelenti, hanem egy általános érvényű szinthez tartozó határérték, határkoncentráció elérését írja elő.

A nemzetközi határérték-rendszerek összehasonlításakor a határértékek megállapításával kapcsolatban két lényeges paramétert kell megemlíteni. Az első a szabályozás elvére vonatkozik. A legtöbb ország az aktuálisan szennyezett területekre vagy multifunkcionális terület használatot (vagyis a jövőbeni felhasználás tetszőlegesen történhet), vagy korlátozott területhasználatot (vagyis a terület csak adott tevékenységekre használható) tart mértékadónak. A második fontos tényező az, hogy a definiált határértékek megszabják annak a beavatkozásnak a műszaki és társadalmi-gazdasági feltételeit, amellyel a célállapot elérhető.

A jelenleg használatban lévő határérték-rendszerek két csoportba sorolhatók. A határkoncentrációk meghatározását befolyásolják az alábbiak

(1) Területhasználati szempontok alapján figyelembe vett határérték-rendszer

A kiindulási alapot az jelenti, hogy az egyes területek az eltérő használatból adódóan eltérő kármentesítési, kárelhárítási beavatkozást igényelnek. Ennek megfelelően vagy a felhasználáshoz illesztik a határérték adatokat, vagy a gazdaságosan kivitelezhető, adott műszaki megoldással elérhető célállapothoz rendelik a terület későbbi használatát.

(2) Terület érzékenysége

Az adott terület természeti adottságain alapuló rendszerek elsődlegesen a szennyezett terület hidrogeológiai adottságait veszik figyelembe.

A terület-specifikus kockázatfelmérés elve

A szennyeződött területek kárelhárításának, valamint a kármentesítési célérték meghatározásának másik lehetséges módja a terület-specifikus kockázatfelmérés. Ezek a rendszerek elsősorban nem a kockázatfelmérési eljárásban térnek el a hagyományos határérték-rendszereken alapuló módszerektől, hanem abban, hogy a felmérés területre specifikusan történik. Ugyanis a körültekintően létrehozott határérték-rendszerek toxikológiai vizsgálatok eredményein alapulnak és az azokban megadott határkoncentrációk kockázati tényezőkből vannak számolva. A számottevő eltérés abból adódik, hogy amíg a határérték-rendszerekben szereplő adatok általánosan alkalmazhatók (vagyis úgy vannak definiálva, hogy minden esetben megfelelően védjék az ökoszisztémát), addig a terület-specifikus kockázatfelmérés adatainak meghatározása során csak az adott területre érvényes hidrogeológiai, földtani, területhasználati viszonyokat tekintik. A terület-specifikus kockázatfelmérés eszköze a kockázatbecslés. A kockázatbecslés során a szennyezésnek kitett hatásviselők veszélyeztetettségét modellek segítségével számoljuk ki. Az ökológiai kockázatbecslés során a hatásviselők az ökoszisztéma érzékeny indikátorai, míg humán-egészségügyi kockázatok becslésénél maga az ember. Kockázatfelmérést általában élő szervezeteket érő egészségkárosító hatások számszerűsítésére végzünk, de az eljárás élettelen elemekre, létesítményekre is alkalmazható. Azokban az országokban, ahol az ivóvízellátás zömében a felszín alatti vizekből biztosított, az egyik elsődleges szempontként a vízbázisok védelme szerepel a kármentesítési célérték definiálásakor.

A kármentesítési célérték kockázatfelmérése a protokollnak megfelelő. A kockázatelemző a megállapított szennyezésekre, és annak előre feltételezett expozíciós útvonalaira számol értékeket, egy modellezett, vagy becsült expozícióra hivatkozva. A kapott értékeket összeveti a jogszabályok által meghatározott kockázati szinttel. Amennyiben a kapott kockázati érték nem haladja meg a jogszabályi megfeleléségi értéket, akkor kármentesítésre nincs szükség. Ha azonban az érték nagyobb kockázatot mutat, mint a megengedett, akkor valószínűleg a vizsgált hatásviselők körében egészségkárosodó hatás léphet fel, ezért beavatkozásra van szükség. Az expozíciót ez esetben időben és térben korlátozni kell, valamint a hatásviselőket védeni kell, akár az életmódba való beavatkozással is (*pl. kitelepítés*). A kármentesítéskor az elemző a kockázatfelmérés során alkalmazott feltételezésekkel kiszámítja azt az adott közegre vonatkozó elfogadható kockázati határszintet, amelyhez egy maximálisan megengedett szennyezőanyag koncentráció tartozik és ezt jelöli meg kármentesítési célállapotként. Ennél az eljárásnál a környezeti elemekben megengedhető maximális koncentrációt elsősorban a hatásviselő szennyezéssel szemben mutatott toleranciája adja meg. Ebből adódóan a hatásviselőket érő kockázatokot kell figyelembe venni és a felszín alatti vizeket, valamint földtani közeget érő terhelések csak másodlagosak.

A célállapot optimális meghatározása

A megfelelő kármentesítési célállapot meghatározásánál mind a határérték-rendszerre, mind a kockázat alapú kármentesítésre vonatkozó szempontrendszert érdemes összevetni és mérlegelni. A határérték-rendszer nem veszi figyelembe a hatásviselőt mint receptort, hanem abban bízunk, hogy a meghatározott koncentráció megfelelő védelmet nyújt minden egyes receptornak. Csak a szennyezés helyén vett minták koncentrációit veti össze a rendszer határértékeivel. Ha a mért koncentráció a határértéket meghaladó mértékű, beavatkozásra van szükség. A beavatkozásra vonatkozó döntés ebben az esetben csak a közegben mért szennyezőanyag-koncentrációtól függ. A kockázat alapú kármentesítésnél azonban a célállapotot a hatásviselők határozzák meg. A közegben mért koncentrációk ebben az esetben csak arra szolgálnak, hogy a szennyezés tulajdonságairól információt kapjunk. A meghatározó a hatásviselő károsodásának kockázata. A számszerűsített érték a hatásviselőt ért dózis, nem pedig a koncentráció! Ebből adódóan a megengedhető, kiszámított kockázat lesz a kármentesítés célértéke. A módszer alkalmazása azonban problémás lehet azokban az esetekben, amikor elhagyott, szennyezett területekről van szó. Ilyenkor a hatásviselő távol helyezkedik a szennyezés forrásától, ebből adódóan a rá vonatkozó kockázat is kicsi. Ha tehát kizárólag csak ennek a módszernek az alapján határoznánk meg a kármentesítési határértéket, akkor például a felszín alatti vizek, amelyeket a módszer nem tekint hatásviselőnek, nem lennének kellően védve. Vitathatatlan előnye azonban az, olyan kármentesítési beavatkozásoknak is van létjogosultságuk, amelyek a határérték-rendszer figyelembe vételével gazdasági, vagy műszaki okokból nem lennének megvalósíthatók. Továbbá a kockázat alapú módszer a különböző területek szennyezés-terheléseit összehasonlíthatóvá, összevethetővé, mérlegelhetővé teszi. Ugyanakkor hangsúlyozandó, hogy a részletes kockázatfelmérés mellett a határérték-rendszer alapú rendszert együtt alkalmazva olyan kármentesítési eljárások megtervezésére és megvalósítására van mód, amely mind a környezeti elemek, mind pedig a hatásviselők megfelelő környezeti biztonságát biztosítja.

13. A környezeti elemek kármentesítése és a károk elhárítása: a károkozó szennyezés eltávolítása és az eredeti állapot visszaállítása (Dr. Horváth Erzsébet)

Pannon Egyetem, Veszprém

Talajszennyezést minden antropogén, folyékony, oldott, vagy oldható talajidegen anyag okozhat, amely a talaj felszínére vagy közvetlenül a talajba kerül. Ezek a szennyezők a fizikai kémia törvényeinek megfelelően mozognak a talajban, továbbá az ökoszisztémára is hatással vannak. A mozgás sebességét több paraméter határozza meg. Ezek közül a legfontosabbak a szennyező kémiai tulajdonságai, perzisztenciája, oldhatósága, a gravitáció, a nyomásviszonyok, a fajsúly különbségek, a talaj porozitása/kapillaritása, a talaj szorpciós/retenciós képessége, a redox viszonyok és a talajoldat pH értéke. A transzportfolyamatot meghatározó paraméterek mellett a szennyezőknek talajra és vizekre gyakorolt hatásait is figyelembe véve a szennyezés megelőzés és a kárelhárítás igen változatos megoldásokat kínál a környezet technológia területén. Az alkalmazott technológiai megoldások lehetnek egyediek, de a technológia műveleti elemei hasonlóak.

A „Kárelhárítás műszaki módszerei” című, környezetmérnököknek ajánlott elektronikus jegyzet részletesen tárgyalja az egyes kárelhárítási technológiai megoldásokat. Ezért ez az anyag a műveletek ismertetésére szorítkozik.

13.1. A kárelhárítási technológia kiválasztása

A talajt és a vizeket ért szennyezés esetén elsődleges feladat a környezeti kár azonnali felmérése, majd a szennyezés horizontális és vertikális lehatárolása. Ezt követően a szennyezés fizikai kémiai tulajdonságaitól és a károsodott környezeti elemtől függően meg kell határozni a mintavételi pontok számát és a mintavétel gyakoriságát. A mintavételezést, a fizikai, környezetanalitikai és a toxikológiai vizsgálatokat az akkreditációs protokollnak megfelelően kell elvégezni. Erre egyrészt az összehasonlíthatóság érdekében van szükség, másrészt a károkozásban és a kártérítésben érdekelt felek peres vagy peren kívüli egyezkedésének műszaki/szakmai alapját jelentik az akkreditált laboratóriumban, GLP (*good laboratory practice*) protokoll szerint kapott eredmények.

Az előzetes analízis eredmények alapján készíthető el a kockázatelemzés, amely megszabja a beavatkozás sürgősségét is. Az időtényező mérlegelésénél a szennyezés terjedése, a környezeti elemekben való károkozása és az alkalmazott technológia időigénye a meghatározó. A kockázat további fontos eleme az egészségügyi hatások, a különleges helyi adottságok, valamint az érintett terület jelenidejű és jövőbeni funkciója. Ez nemcsak a környezeti, vízügyi és egészségügyi határértékekre van hatással, hanem szűkíti a választható technológiák körét is. Más technológiai megoldás alkalmazható ugyanis egy lakóterület, egy ipari létesítmény, egy mezőgazdasági terület esetében, vagy egy vízmű-védőidom (*pl. nyitott karszt*) közelében. A technológia kiválasztásánál azt is figyelembe kell venni, hogy a mentesítendő területnek és az azokon lévő létesítményeknek a kárelhárítási tevékenységek ideje alatt is el kell-e látni eredeti funkciójukat (*pl. közút, vasút, repülőtér, lakott területek, ipari és szolgáltatási létesítmények, raktárak*).

Nagyon kritikus továbbá a szakhatóság és a lakosság/önkormányzat egyetértése, tájékoztatása, felvilágosítása, a döntéshozatali mechanizmusba való bevonása és a konfliktuskezelés. Előnyt élveznek azok a környezetkímélő kárelhárítási megoldások, amelyek legkisebb mértékben károsítják a természeti értékeket, a kármentesítendő terület használati értékét, a tájat és az épített környezetet, továbbá a keletkezett melléktermékeket az ökológiai és/vagy a ökonomiai körforgásba károkozás mentesen vezetik vissza (*pl. biológiai lebontás és/vagy hasznosítás*).

A szennyező specifikus tulajdonságok tehát egyrészt behatárolják, másrészt szélesítik az alkalmazható megoldások körét. Mivel egy adott kárelhárítási technológiai módszer kiválasztáskor a társadalmi-gazdasági tényezők is meghatározók lehetnek, a szennyezés társadalmi, gazdasági hatásait és az alkalmazható műszaki megoldásokat külön-külön, de egymással szoros kölcsönhatásban is célszerű megvizsgálni. A rendelkezésre álló anyagi források nagysága, ütemezése és forrása (*költségvetési, hatósági kötelezés vagy magántőke*) döntő hatással lehet a választandó technológiai megoldásra. Továbbá, a helyreállítás eredményeként kapott terhelési értékeket illeszteni kell az ideiglenes és a távlati célokhoz, valamint a környezetvédelmi előírásokhoz.

Ha a kárfelmérés és a kockázatbecslés megfelelően részletes és mérési adatokkal alátámasztott, akkor a műszaki és a gazdasági paraméterek ismeretében az alkalmazandó technológiát, a beavatkozás mértékét és célját is helyesen tudjuk megválasztani. A kárelhárítást eredményét nagy átfedéssel három célfüggvényben határozhatjuk meg: (1) a szennyezés továbbterjedésének megakadályozása, vagy az úgynevezett **lokalizációja**, (2) a részleges vagy teljes **kármentesítés**, (*pl. az olajfázis/olajlencse kitermelése*), (3) a környezetvédelmi szempontból legfontosabb cél, a terület **teljes ártalmatlanítása, kármentesítése**.

13.2. A kármentesítés és a kárelhárítás műszaki módszerei

A talajvizet már elért, vízzel nem elegyedő **szerves** (*pl. olajos*) **fázis** kitermeléséhez termelőként szükséges, amely működhet egyszivattyús és ún. fázisválasztó (*pl. scavenger*) szivattyú rendszerben is. Az egyszivattyús rendszerben szeparátorról és fázisválasztó berendezésről kell gondoskodni. A scavenger szivattyúról külön csövön távozik az olajos és a vizes fázis. Az olajos fázis mindkét esetben elszállításra és újrahasznosításra kerül.

A **vizes fázis** az igényeknek megfelelően emulzióbontással, levegőzetéssel (*sztrippeléssel*) előtisztítható. Az ezt követő lépések már a teljes dekontaminálást készítik elő. Ezek kemoszorpciós (*aktívszén-szűrő*) és bioszorpciós (*biofilter*) eljárások lehetnek. Az is megoldás lehet, ha a maradék szénhidrogéneket hidrogén-peroxiddal enyhén oxidáljuk és tápanyagokkal feldúsítva visszajuttatjuk a talajba (*pl. in situ biológiai eljárások részlépése*). Nehézfémek esetében a csapadék képzés is megoldás lehet, melynek eredményeként a mobilitás drasztikusan lecsökken (*fixálás*). Ha a szennyeződés a talajvizet már elérte, a fémszennyezés oldatba vitelével a talajvízbe való bemosás, majd a talajvíz kitermelése és felszínen való tisztítása lehet a megoldás.

Ha a szennyezés illékony, vagy illékony komponenseket is tartalmaz és terjedése a talaj pórusaiban, a talajgázok közvetítésével lehetséges, az illékonyságtól függően a részleges vagy a teljes **kármentesítés levegőztetéssel** oldható meg (*sztrippelés*). A levegővel kihajtott gázállapotú szennyezést adszorpciós, kemoszorpciós, vagy bioszorpciós eljárásokkal lehet utókezelni.

A **szennyezések** egy megfelelően kialakított **hulladéklerakóban** nem jelentenek veszélyt a környezeti elemekre, ezért a veszélyes hulladékok deponálókban **való elhelyezése** a legegyszerűbb és a leggyorsabb megoldásnak tűnik. Ez azonban csak a probléma elodázását, bizonyos szempontból áthelyezését jelenti. Az emelkedő lerakási díjak, valamint a deponálók korlátozott befogadóképessége miatt sem lehet végcél.

13.2.1. Lokalizációs és immobilizációs (fixálási) eljárások

A lokalizációs eljárások alkalmazásának alapvető célja a szennyezés lehatárolása és mozgásának megakadályozása. Ha a kármentesítés során a szennyező anyag akár in situ, akár

ex situ megoldásokkal nem oldódó formába kerül, a szennyezés immobilizációjáról, fixálásáról beszélünk.

13.2.1.1. Lokalizáció

A lokalizációs eljárások a migrációt megakadályozó réteg kialakítását tekintve lényegében (1) horizontális és (2) vertikális elhelyezések lehetnek.

Horizontális árnyékolást akkor alkalmazunk, ha a gravitáció hatására a lencsében elhelyezkedő, vízben nehezen oldódó, lassan lefelé húzódó szennyezés (pl. olajlencse) leszivárgó vízzel való érintkezését akarjuk elkerülni, továbbá abban az esetben, ha más vízzeloldható anyag lehúzóhatását, akarjuk kizárni, illetve a leszivárgó csapadékvíz oldható komponenseket mobilizáló hatását kell meggátolni. Horizontális árnyékolás/lokalizáció a szennyezés felett és alatt egyaránt alkalmazható.

A **felületi takarás** legegyszerűbb módja *műanyag fólia vagy műanyag lap* alkalmazásával érhető el. Ez azonban csak rövidtávon jelent megoldást. Biztonságosabb és bizonyos esetekben (pl. ha a szennyezés biológiailag lebontható) végleges megoldás az agyagréteggel (pl. bentonit, montmorillonit, kaolinit) való takarás. Végleges megoldásként a geofóliával kombinált betonréteg is használható különösen akkor, ha a terület későbbi felhasználáshoz beton felületre van szükség. Ilyenkor azonban a dilatációs hézagok vízmentes fugázásáról is gondoskodni kell a felfagyás veszélyének elkerülése miatt. A felszíni takarást természetesen a földlak, az agyag- és a betonréteg kombinálásával is ki lehet alakítani (*többrétegű szigetelés*). A **szennyezés alatti árnyékolás** abban az esetben alkalmazható, ha a szennyeződés egy szigetelő réteg felett megáll. Ilyenkor biztonsági okokból gél *injektálásával* talptömörítés szükséges.

Vertikális árnyékolást akkor célszerű alkalmazni, ha a szennyeződés oldalirányú mozgását kell megakadályozni, vagy a szennyeződés részleges vagy teljes körülhatárolása szükséges. Ezek általában mesterséges falak, melyeket vagy a legalacsonyabb talajvízszint alá helyezünk el a szennyezés mozgásának megakadályozására **merülőfalként** (az un. *kötényfallal a talajvízszintet süllyeszthetjük*), vagy **szádfal, résfal** vízzáró rétegig („feküig”) való kialakításával az oldott anyagok mobilizációját is megakadályozzuk. A szádfalat a talajvíz áramlási irányára merőlegesen kell kialakítani és a hidrogeológiai viszonyok függvényében a szennyezést teljesen, vagy részlegesen kell a szennyezést körülvenni (*zárt vagy „kapus” résfalazás*). Mind a merülőfalak, mind a résfalak/szádfalak anyaga a szennyezésre nézve szigetel. Megoldás lehet azonban az is, ha a szádfalat olyan töltettel látják el, amely a szennyezést megköti (*adszorbensek, ioncserélők*) vagy lebontja (*biofilterek, mikroorganizmusok hordozókon*), a talajvizet pedig átengedi. Ez utóbbi esetben azonban a töltet karbantartásáról, esetleges cseréjéről gondoskodni kell.

A hidraulikus gát a vertikális árnyékolás speciális fajtája. Ez a megoldás a szennyezés potenciális áramlási irányára kialakított olyan kútsor, amelyek depressziós görbéi összeérnek, megakadályozva a talajvízbe illetve a talajnedvességbe oldódott szennyezés terjedését. A kútsorból a szennyezett vizet kitermelik, a felszínen kezelik és tisztítást követően a szennyezés mögé elhelyezett szikkasztó/szivárgó árkokba, vagy nyelető kutakba visszatáplálják. Ez a megoldás gyakorlatilag egy nagyméretű extraktor, mivel a szikkasztóba került víz újabb szennyezést old ki, mely a kitermelő depressziós kutakba mossza a szennyezést. Így a technológiai igénytől függően részleges, vagy teljes kármentesítés érhető el. Elképzelhető az a megoldás is, amikor a kútsor által meghatározott szelvényben vízbesajtolással túlnyomást hozunk létre és az így kialakított hidraulikus gáttal akadályozzuk meg a szennyezés továbbterjedését.

13.2.1.2. Immobilizációs (fixálási) eljárások

A talajban a szennyeződések természetes módon is megkötődhetnek, immobilizálódhatnak. Ez azt jelenti, hogy a szennyező különböző erősségű kötőerőkkel, irreverzibilis módon megkötődik a talajrészecskék aktív felületén, vagy természetétől függően teljesen beépül a talaj szerkezetét alkotó szerves vagy szervetlen anyagokba, így kikerül a biológiai körforgásból. Mivel a talajra adott körülmények között jellemző egyensúlyi állapot folyamatában, vagy egy drasztikus folyamat (*pl. heves esőzés, földcsuszamlás, havária*) hatására megváltozhat, az adott egyensúlyi körülmények között immobilizálódott szennyezések az új paraméterek mellett mobilissá válhatnak.

A mesterséges immobilizációs eljárások a szennyező kémiai tulajdonságai és a befogadó környezeti elem fajtái szerint nagy változatosságot mutatnak ugyan, de alapvetően fizikai-kémiai, kémiai és biológiai megoldások lehetségesek (**11. táblázat**). Az immobilizációs technológiák a szennyezők szilárd felülethez (*pl. hordozóhoz*) kötését, szilárd mátrixba ágyazását, vagy olyan fizikai és/vagy kémiai átalakítását jelentik, amely az illékonyt, oldhatóságot, deszorpciós képességet csökkentik és ezzel megakadályozza a környezetben való terjedést, a további fizikai-kémiai reakciókat és a biológiai hozzáférhetőséget/felszívódást. Az immobilizáción alapuló környezetvédelmi technológiák elvileg bármely szennyezett környezeti elem és bármilyen halmazállapotú szennyező esetében kivitelezhetők, bár a levegőben és a vízben való a szennyezőanyag immobilizálás (*pl. szilárd fázison való megkötés szűréssel, kicsapás hűtéssel*) a szennyezés eltávolítását is eredményezi. Ezért gyakorlatilag az immobilizációs/stabilizációs eljárások talajon vagy talajban történő *in situ* vagy *ex situ* remediációs technológiákként értelmezhetők. A talajban kivitelezett immobilizáció nem szükségszerűen eredményezi a szennyezőanyag eltávolítását, de a környezeti kockázat lényegesen csökkenthető azáltal, hogy a terjedés valószínűsége és a biológiai hozzáférhetőség lecsökken, megszűnik vagy lehetetlenné válik. **Fontos hangsúlyozni, hogy az immobilizálás, fixálás és a stabilizálás kifejezések gyakorlatilag ugyanazt a technológiai tartalmat jelentik, vagyis a szennyezők in situ, vagy ex situ módon kivitelezett, oldhatatlan és az ökoszisztéma számára hozzáférhetetlen formában való átalakítására, megkötésére irányulnak.** Definíció szerint a stabilizálás/fixálás a szennyező anyagok kevésbé vízzoldható vegyületekké történő átalakítását, míg az immobilizálás a mozgás, mozgékonyosság, migráció megszüntetését jelenti.

11. táblázat: A szennyezők lehetséges immobilizációs folyamatai, amelyekre technológia építhető.

A szennyező tulajdonsága	Befogadó környezeti elem		
	Talaj (szilárd)	Talajvíz, talajnedvesség	Talajlevegő
Illékony	Gázadszorpció Kémiai immobilizáció. Fizikai-kémiai stabilizáció	Biológiai immobilizáció Kémiai immobilizáció Fizikai-kémiai stabilizáció	Izoláció Kémiai immobilizáció
Vízzoldható	Biológiai immobilizáció Fitostabilizáció Szorpció növelése Kémiai oxidáció/redukció Fizikai-kémiai stabilizáció	Biológiai immobilizáció Szorpció növelése Csapadékképzés, oldhatóság csökkentése. Kémiai oxidáció/redukció Rhizofiltráció	Izoláció Szorpció növelése Kémiai átalakítás
Szorbeálódó	Biológiai immobilizáció Fitostabilizáció Szorpció növelése Kémiai oxidáció/redukció Fizikai-kémiai stabilizáció Vitrifikáció	Biológiai immobilizáció Szorpció növelése Kicsapás, oldhatóság csökkentés Kémiai oxidáció/redukció Rhizofiltráció	

Az immobilizáción alapuló talajkezelési technológiák célja a szennyezők irreverzibilis módon való megkötése. Ezáltal a szennyezést a legkevésbé oldható (legkevésbé mobilis) és a legkevésbé toxikus formába alakítjuk. Leggyakrabban toxikus fémek és perzisztens szerves szennyezőkkel szennyezett talajok kezelésére alkalmazzák. Ennek alapján a technológiák az alábbiak szerint csoportosíthatók:

1. **Fizikai-kémiai stabilizálás:** szilárdítással, beágyazással, pl. beton, gipsz, bentonit, bitumen, polimerek felhasználásával;
2. **Kémiai stabilizálás:** oldhatatlan kémiai forma létrehozása a pH változtatásával (pl. meszezés, CaCO_3 talajba való bedolgozásával); oxidációval (pl. ózon, hidrogén-peroxid segítségével a szerves szennyezőanyagok oldhatóságának csökkentése); redukzív körülmények biztosításával (pl. oldhatatlan fém-szulfidok létrehozása);
3. **Biológiai stabilizálás:** a növényzet fizikai hatása az erózió és a defláció csökkentésére, növények kémiai stabilizáló hatása (pl. a gyökerek által kiválasztott stabilizáló vegyületek); a növényzet anyagcsere folyamatai során a sejtekben történő immobilizáció (pl. bioakkumuláció); a talajban élő mikroorganizmusok biológiai tevékenysége (pl. szulfátok és nitrátok redukciója).
4. **Termikus immobilizáció:** kerámiába, téglába, üvegfázisba való beágyazás vitrifikációval;

Tekintettel arra, hogy a szennyezés immobilizációja a kezelt környezeti elem egy adott egyensúlyi állapotára vonatkozik, szennyezőanyagok újra mobilizálódásának megakadályozása, megelőzése érdekében a terület monitorozása és a kioldási tesztek időszakos elvégzése kívánatos. A re-mobilizálódás elfogadhatatlanul nagy kockázatára a szaknyelv *kémiai időzített bomba* kifejezést használja.

A stabilizálás során a szennyező fizikai jellege nem szükségszerűen változik. Történhet *in situ* vagy *ex situ* megoldással és a stabilizált mátrix lehet koncentrált vagy diszperz. Ez alatt azt jelenti, hogy a stabilizált termék lehet egy betontömb, kerámia, aszfaltba bedolgozott, tehát tömör és koncentrált, de lehet a stabilizált termék mikroszemcsés, talajba kevert vagy bekeverhető anyag, vagyis diszperz rendszer is.

Fizikai-kémiai stabilizálás

A porózus, adszorpciós, ioncserélő vagy zárványképzésre alkalmas anyagok, mint pl. a természetes és a mesterséges zeolitok, a bentonit vagy a kalcit *in situ* a talajba keverve immobilizálják a szennyezőket. A zeolitok spl. nagy kationcserélő aktivitásuk és kapacitásuk miatt a különböző nehézfémeket alkáli- és alkáliföldfémekre képesek cserélni, de zárványképző tulajdonságuk okán szervesanyagok megkötésére is képesek. Hasonló tulajdonságok kerülnek hasznosításra a bentonit és a kalcit esetében is. A pernye, a hamu, a különböző humuszanyag hordozók (tőzeg, algin, lignitporok) és az agyagásványok is jó hatásokkal adszorbeálják a különböző szennyező anyagokat.

Az *ex situ* stabilizáció során a szennyezett talajhoz keverő reaktorban ún. puzzolán anyagokat (szilícium, alumínium és kalcium ásványok) adagolnak. A szilikát mátrixhoz a szennyező anyagok fizikai és kémiai módon is kötődhetnek. Kezelés után a stabilizált anyagot általában talajfeltöltésre használják. Az eljárás elsősorban petroléum és nehézfém szennyezések stabilizálására alkalmazható.

Kémiai stabilizálás

A kémiai stabilizálás jellemző módon diszperz formában történik a talajban, mind *in situ*, mind *ex situ* formában megvalósítható. Az alapul szolgáló kémiai reakciók a szennyezőanyagtól függően szinte végtelenül sokfélék lehetnek. Lényegük az, hogy a talajban a szennyezőanyag és a segédanyagok, reagensek, adalékok között lejátszódó kémiai reakció eredményeképpen csökken vagy megszűnik a szennyező mozgékonyasága, vízdoldhatósága, biológiai hozzáférhetősége és az ökoszisztémára káros hatásai (*toxicitás, mutagenitás, teratogenitás*).

A gyakorlatban alkalmazott legelterjedtebb stabilizálási eljárásokat nehézfémekkel szennyezett talajok kezelésére az alábbiakban foglaljuk össze:

1. Pufferoldatot és foszfátot adagolhatunk, ezzel biztosítjuk a szennyezőanyagok stabilisabb, kevésbé veszélyes formájúvá történő átalakulását (*vízdoldhatóság csökken*).
2. Meszeztést alkalmazásával talajfelszín savasságát lúgos irányba toljuk. Arra azonban ügyelni kell, hogy az egyes szennyező fémek oldhatósága, csapadékképződése egymástól különböző pH és redox potenciál értékeken történik. A fémösszetételtől függően egy vagy többlépéses meszezés ajánlott, vagy a meszeztést más immobilizáló eljárással kell kombinálni.
3. Vizes mészpép helyett szilárd fázisú mészkeverék is alkalmazható és azt a lehető legegyszerűbb agrokémiai eljárásokkal (pl. tárcsázás, beszántás) lehet a talajba keverni. Az elsődleges cél ebben az esetben is a talaj savas jellegének csökkentése, vagyis a pH lúgos irányba való eltolása.
4. Mivel a mobilitás és a toxikusság az oxidációs állapottól is függ, további lehetőség a talaj vagy a felszíni vízi üledék redox potenciáljának mesterséges megváltoztatása a szennyező kevésbé toxikus, kevésbé oldható kémiai formájának kialakítása érdekében. Például hosszú távon is hatékony megoldás a szennyezett lápok anaerob mikroflórájának biztosítása, vagy a vizek és a talajok mélyebb rétegeiben a redox potenciál csökkentése. Ez elsősorban mikroorganizmusokkal biztosítható, mivel a redox potenciál csökkentésében a talajban és az üledékekben lévő természetes mikroflórának fontos szerepe van.

A kémiai immobilizáció *ex situ* és *in situ* módon egyaránt megvalósítható. *In situ* esetben általában agrokémiai eljárásokat alkalmazunk. A keverést, homogenizálást szántással, mélyszántással, tárcsázással vagy boronálással biztosíthatjuk. Az oldott adalékanyagok bejuttatása öntözéssel célszerű. Az *ex situ* eljárás a szállítóeszközök működésétől függően szakaszos vagy folyamatos is lehet. Az *on site* (*az eredeti helyszínhez közel*) megoldásnál csak egy egyszerű keverő berendezés (pl. *betonkeverő*) is elegendő a helyszínen történő vegyszer-talaj keverék előállításához. A bekeverést követően a talajt visszatöltik.

Biológiai stabilizáció

A biológiai immobilizáció alapvetően kétféle lehet:

(1) Maguk a növények, vagy a mikroorganizmusok immobilizálják a szennyezőanyagot azáltal, hogy sejteikben és/vagy szöveteikben akkumulálják azt. Ez a biológiai megkötés, bioakkumuláció az organizmus élettartamára terjed ki, utána visszakerül az elemkörforgalomba, hacsak emberi beavatkozással nem kerül begyűjtésre és elkülönített további kezelésre. Ha a szennyezőanyagot elkülönítése a cél, akkor a biomassza külön kerül feldolgozásra (pl. *energianövényként kerül hasznosításra*). A fitoextrakció ezen az elven működik.

Spontán is lejátszódó, de irányítható is az a folyamat, amely a talajlevegő oxigénjének csökkentése révén a redoxpotenciál megváltozását és a szennyező redukált formájának megjelenését idézi elő. Mesterséges adalékként talajba juttatott energiaforrás mindig aktiválja a helyi mikroflórát. Ha nem gondoskodunk levegőztetésről, akkor először elfogy a talajlevegő oxigénje, majd az alternatív légzési formák megjelenésével elfogynak az egyéb oxigénforrások (*nitrát, szulfát*), végül teljesen anaerob körülmények jönnek létre. A negatív redoxpotenciál mellett eltolódnak a kémiai formák egyensúlyai, mely bizonyos szennyezőanyagoknál, pl. toxikus fémeknél kémiai immobilizációhoz, mozgékonyságuk csökkenéséhez, az élő szervezetek számára hozzáférhetetlenséghez vezet.

(2) A biológiai immobilizáció másik fajtája eredményét tekintve nem különbözik a fizikai-kémiai immobilizációtól. A különbség csupán annyi, hogy a stabilizációhoz szükséges vegyületeket és/vagy külső körülményeket maguk a mikroorganizmusok, vagy a növények állítják elő. Ezek az élőlények lehetnek őshonosak, vagy a technológia hatékonyságának növelése, illetve sikere érdekében a kezelendő területre betelepítettek.

A növények extracelluláris anyagok termelésével képesek kicsapni bizonyos szennyezőanyagokat a rhizoszférában (*gyökérzónában*). Ez a jelenség vízkezelés, vagy *in situ* talajkezelés során hasznosítható, amennyiben a fémeket megkötő növényzetet gyökerestől el lehet távolítani a környezeti elemről. Egyes mikroorganizmusok extracelluláris poliszaccharidokat termelnek és a fémeket a sejten kívüli térben tudják tartani. Más mikroorganizmusok a sejten belül kötik meg, majd a sejtalba és a membránba építik be a szennyezőanyagokat, ezáltal védik magukat a szennyezőanyag toxikus hatásától. A környezetben meglévő védekező mechanizmus akkor használható technológiaként, ha az elhalt sejtek elkülöníthetők a befogadó környezeti elemről, így elsősorban vizek kezelésére alkalmazható (*az elhalt mikroorganizmusok az üledékbe kerülnek, tehát az üledék kotrással vagy fitoextrakcióval való utókezelésére van szükség*).

A szennyezett vizek üledékeinek felületén egy idő után humuszréteg alakul ki a lebomló és leülepedő szerves anyagokból (*humuszlepleny*), amely kettős hatással rendelkezik. Egyrészt fizikailag izolálja az alatta lévő szennyezett réteget, másrészt az így létrejövő anaerob körülmények között a redox potenciál megváltozásával a fémek oldhatatlan szulfid formába kerülnek. Ezt az állapotot stabilizálhatják a szulfátlégzést alkalmazó baktériumok, melyek vagy honosak, vagy oltóanyagként betelepíthetők a szulfátos szennyezést tartalmazó talajokba vagy üledékekbe (*a humuszlepleny alá*). A *Thiobacillusok* tevékenységének megakadályozására szulfátredukáló baktériumok telepíthetők a szennyezett területre, a talajba vagy az üledékbe. Ilyen mikroorganizmusok az anaerob *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfuromonas autooxidans* fajok, amelyek a szulfátot oldhatatlan szulfiddá alakítják. Mivel a baktériumok működése anaerob körülményeket igényel, alkalmazásuk a felszíni vizek mélyebb rétegeiben, mocsaras területeken, vagy légmenetesen lezárt talajokban célravezető mikrobiológiai stabilizálási módszer.

A szennyezett üledék talajra is teríthető, majd fémeket akkumuláló növényfajokat telepítenek a területre. A szerves és szervetlen szennyezőanyagok megkötése, átalakítása, eltávolítása ezesetben növények segítségével, fitoremediációval történik. A növények gyökérrendszere igen nagy területet hálóz be, nagy felületet biztosít a fémek felvételéhez és a szerves anyagok lebontásához. A fémakkumuláló növényeket betakarítják, elégetik, a hamut pedig veszélyes hulladéklerakóban helyezik el, vagy más módon ártalmatlanítják illetve hasznosítják. A hamuból például a fémtartalom kioldható, vagy stabilizálható.

Termikus és egyéb immobilizációs eljárások

Ha a szennyezés csak ex situ módon, drasztikus hőkezeléssel, vagy erős oxidálószerekkel immobilizálható (pl. a magas koncentráció, vagy az extrém nagy toxicitás miatt), akkor a

kitermelt talaj produktivitását elveszíti, mivel szervesanyag tartalma és mikroflórája teljesen tönkremegy. Az eljárások közös jellemzője, hogy a szennyezőanyagot nem vonják ki a talajból, hanem a biológiai hozzáférhetőséget csökkentik. bizonyos eljárások nemcsak talajok, hanem vizek kezelésére is használhatók.

A szilárdítás során fizikailag rögzítik a szennyezőt egy kémiai ellenálló mátrixban. Stabilizátorként leggyakrabban cementet, hőre lágyuló anyagokat (*aszfaltot, bitument*), szerves monomereket (*poliészter gyanták*) használnak. Néhány megoldást felsorolás jelleggel adunk meg:

- (1) A szennyezett talajt forró bitumenbe ágyazzák (*ex situ*);
- (2) Aszfaltcseppeket diszpergálnak vízben, majd az emulzióhoz keverik a szennyezett talajt. Az emulzió megszilárdulása után a szennyezőanyag az aszfalt mátrixba ágyazva lesz jelen. (*ex situ*);
- (3) A szennyezett talajt polietilénnel (*PE-nel*) extrudálják;
- (4) A vas- és a mangán-oxihidroxidokhoz, illetve a vas-oxidhoz hasonló mikropórusos anyagok a szennyezőanyagokat szelektíven adszorbeálva csökkentik azok hozzáférhetőségét (*pl. az arzenitet és az arzenátota legnagyobb mértékben a vas-oxidok adszorbeálják*);
- (5) Kisebb oldhatóságú, kicsapódó forma létrehozása oxidációval illetve redukcióval;
- (6) A szennyezett talajt talajmosás és frakcionálás után magas hőmérsékleten megolvasztják annak érdekében, hogy a szilikátokból amorf, vagy kristályos szerkezetű, üvegszerű anyag keletkezzen. A benne levő szennyezőanyag oldhatósága igen kicsi lesz. Az eljárás során 1200 °C-os vagy annál magasabb hőmérsékletet alkalmaznak, amelyet fosszilis tüzelőanyagok elégetésével, vagy elektromos úton állítanak elő. A villamos kemencék használata esetében kisebb a káros anyag emisszió. Az eljárás akkor eredményes, ha a szerves szennyezőanyagok a magas hőfokon deszorbeálódnak és/vagy elégnak és/vagy pirolizálódnak, a toxikus fémek pedig teljesen immobilissá válva beépülnek az üvegszerű szerkezetbe. Ily módon a nehézfémek és radioaktív anyagok toxikus hatása és mobilitása megszűnik, az olvadékot a fémtartalomtól függően fel lehet használni (*pl. útalap, kerámia termékek, cserepek, téglák*), vagy veszélyes hulladéklerakóban lehet elhelyezni. Az értékesebb termékekből a fémtartalom ásványi savas kezeléssel eltávolítható.

Nagyon fontos kritérium, hogy a talaj-üvegesítési eljárás során ne szabaduljanak fel mérgező gázok a szennyezett talajokból, illetve, ha ilyenek keletkeznek is, akkor kezelésükről külön kell gondoskodni. Ha az energiaközlést elektromos árammal végezzük, az eljárás *ex situ* és *in situ* technológiaként is alkalmazható.

Ha nagymennyiségű talajt kell kezelni, vagy a talaj kitermelése egyéb okok miatt nem megoldható, akkor a vitrifikációs technológia a helyszínen is kivitelezhető. A talajba grafit elektródákat helyeznek el néhány cm mélyen és a talajhoz örölt üvegképző keveréket (*ún. frittet*) kevernek, majd elektromos áram segítségével megolvasztják a talaj szilikátjait. Ezzel a módszerrel a szennyezett talaj akár 6-30 m mélységig is megszilárdítható, bár a magas talajvízszint és a magas olvadáspontú talajalkotó kőzetek jelenléte gátolja a technológia hatásfokát, a nehezen hozzáférhető helyeken és nagyterjedésű, nehezen mozgatható szennyezett talajok esetében az eljárás megoldás lehet. Mivel a szennyezett talaj térfogata az eredeti térfogat 70%-ára csökken a talaj felszíne tiszta talajjal feltölthető.

A legnagyobb kapacitású *in situ* vitrifikáló berendezések egy-egy kezelésre 10-50 m³ talaj kezelésére képesek. Villamos energia igénye igen magas, költségigénye a villamos energia áráról függ. Az USA-ban igen népszerű technológia. Hollandiában és Németországban elsősorban kerámiatermékek, tetőfedő cserép és kültéri burkolólapok valamint gyöngykavics-

szerű kerámiaanyag készítésére használják ennek a technológiának az *ex situ* változatát. A szennyezett talajt és üledéket, majdnem mindig frakcionálósos előkezelés után használják, tehát annak agyagtartalmát hasznosítják. A szerves szennyezőanyagok a vitrifikálás közben elégnak, a agyagásvány szilikátjai megolvadnak és üvegesednek, az égésterméként keletkező füstgázokat kezelik.

Nagyon fontos, hogy a beágyazást illetve termikus stabilizációt követően a pH függvényében kioldási és öregedési vizsgálatokkal győződjünk meg a szennyezés mobilitásáról.

A kémiai oxidációs eljárások során olyan polimerizációs vagy kondenzációs reakciókat alkalmaznak, amelyek eredményeként az adott szennyezőanyag mobilitása és toxicitása csökken. A leggyakoribb oxidálószer az ózon, a hidrogén-peroxid, a klór, vagy a klór-dioxid. A szennyezőanyag tulajdonságai szerint kell megválasztani a kémiai reakciót. Ezt az *ex situ* technológiát gyakran alkalmazzák az ivóvíz és a szennyvíztisztításban, valamint a cianiddal szennyezett hulladékok kezelésére. nagyon fontos kritérium, hogy a reakció teljes és egyirányú legyen, mivel a részleges, vagy egyensúlyra vezető reakciókban olyan átmeneti vegyületek képződhetnek, amelyek toxikusak lehetnek a talaj mikroflórájára. Nagymennyiségű és magas koncentrációban jelenlévő szennyezők ártalmatlanítására a módszer nem gazdaságos, mivel nagymennyiségű oxidálószer igénye van.

A környezeti hatások befolyásolhatják a hosszú távú immobilitást, ezért hosszú távon a szennyezők mobilizálódása reális veszély, tehát ennek kockázatával számolni kell. Az immobilizálással ártalmatlanított területeken hosszú távra monitoringrendszerrel kell tervezni, kiépíteni és üzemeltetni. Jogi háttér, törvényi szabályozás, regisztráció és nyilvántartás szükséges az immobilizálással kezelt talajokról és egyéb hulladékokról. Magyarországon ennek feltételei még nem adóttak, ugyanakkor alkalmazásuk/kiépítésük a veszélyes hulladéklerakók (és az illegális hulladéklerakás) reális alternatívájaként a környezeti kockázatokat jelentős mértékben csökkentenék.

13.2.2. A kárelhárítási gyakorlatban általánosan használt fizikai kémiai műveletek

Talajlevegőztetés, Talajmosás

Ha a talajt ért szennyeződés az illékonyágánál fogva a talajlevegőben terjedni tud (pl. illékony kőolajszármazékok: kerozin, gázolaj, benzin), az ártalmatlanítás **talajlevegőztetéssel** elvégezhető. A művelet *in situ* és *ex situ* módon is megoldható.

A talajszellőztetés (*más elnevezéssel átlevégőztetés vagy vákuum extrakció*) során az illékony szennyezőket a szennyezett talajrétegen átszívott vagy átnyomott megfelelő hőmérsékletű, nedvességtartalmú és sebességű levegőáram segítségével távolítják el. A kialakuló levegőáram hatására az illékony szerves szennyezők a talajrészecskékről leválnak, illetve a talaj pórusvizéből a talaj póruslevegőjébe kerülnek át. Végül a szennyező anyagok gőzeit tartalmazó levegőt aktív szénen, gázmosókban vagy katalitikus elégetéssel utókezelni/hasznosítani kell.

Az *in situ* megoldásnál a szennyezés alá és fölé drain csöveket helyeznek el. Az alsó csőkötegbe levegőt, esetenként forró gőzt sajtolnak, míg a felső csőkötegben szívást alkalmaznak. Az elszívott talajgázokkal/vízgőzzel együtt az illékony szennyezés is távozik, amelyet a szennyezés típusától függően különböző polaritású adszorbenseken célszerű megkötni és lehetőség szerint utókezelni illetve hasznosítani. Kőolajszármazékok ártalmatlanítása során az aktív szén adszorbensen megkötött szennyezést általában égetőkben, hőként hasznosítják. A módszer csak akkor alkalmazható, ha a szennyeződés viszonylag alacsony hőmérsékleten is jó hatásfokkal deszorbeáltható a talajrészecskék felületéről.

Az *ex situ* talajlevegőztetés alkalmazása során a kezelendő talajt ki kell termelni és zárt rendszerben, egyszerű, alacsony hőmérsékletű (*max. 100 °C*) termikus kezeléssel

deszorbeáltatják, elszívják, majd adszorbensen megkötik a szennyezést. Kizárólag illékony szennyezők (pl. benzin) eltávolítására alkalmazzák. A technológia leegyszerűsítve abból áll, hogy a kitermelt talajt egy megfelelően kialakított helyen prizmákban helyezik el. Az előre lefektetett drain szívócső rendszer fölé rétegezett talajon vákuumszivattyú segítségével folyamatos üzemben levegőt szívatnak keresztül. A távozó, szennyezőt tartalmazó levegőt megfelelő módszerrel (*aktívszenes adszorpcióval, termikus vagy katalitikus oxidációval*) tovább tisztítják. Bár tűzveszélyes eljárás, a módszer nagy előnye az egyszerűsége és a kedvező költség-fajlagosok abból adódóan, hogy a kitermelés során a talaj aprózódik, így átjárhatóbb, könnyebben hozzáférhetőbb lesz a levegő számára. Továbbá a talaj fokozott nedvességtartalma, valamint a magas talajvíz zavaró hatásai nem kiküszöbölhetők. A kezelés kontrolláltabb körülmények között valósul meg. Alkalmazható önálló technológiaként, dekontaminálási folyamat első lépcsőjeként, vagy utótisztítási módszerként is. Ezzel szemben az in-situ megoldás során lehetőség van a szivárgó vizek összegyűjtésére és megfelelő kezelésére.

Ha a szennyezés nehezen deszorbeáltható a talaj felületéről, a talaj (*mint szilárd fázis*) vizes oldatokkal, tenzideket tartalmazó vizes oldatokkal, emulziókkal, komplexképzőkkel, szerves vagy ásványi savakkal való átmosására van szükség. Ez az eljárás az úgynevezett **talajmosás**. Az alkalmazott mosófolyadék a talajvíz és a szilárd fázis között megoszló, de dominánsan a szilárd fázishoz kötődő szennyezőket mobilizálja, oldékonyságukat megnöveli, vagyis a folyadék fázis szennyezőanyag koncentrációját növeli. ***A talajmosás a fizikai-kémiai talajkezelési eljárások közé tartozik.*** A fizikai-kémiai talajkezelési eljárások alatt olyan beavatkozásokat értünk, amelyek a szennyezőanyag egy vagy többféle talajfázis közötti mozgását (*talajlevegő, talajnedvesség, szilárd fázis*), áramoltatását, illetve fázisok közötti megoszlásának eltolását, vagy kémiai átalakítását jelentik. A kezelés során a szennyező anyagok nem bomlanak le, azokat a talaj/üledék felületéről lemossuk. Többnyire olajos és nehézfém szennyezések eltávolítására alkalmas. Mind *ex situ*, mind *in situ* módon megvalósítható. Lényeges, hogy a 63µm-nél kisebb talajszemcséken adszorbeálódik a legtöbb szennyezés, ezért az *ex situ* eljárás során előkezelésként a talajt frakcionálják. A talajmosás során nagy mennyiségű szennyezett mosófolyadék keletkezik, amelyet utókezelni kell. A szerves anyagokat vagy biológiai úton lebontják, vagy adszorbenseken megkötik. A nehézfémeket ioncserével vagy csapadékképzéssel tudják a mosófolyadékból eltávolítani.

Ha a szennyezés már elérte a talajvizet, akkor a talajban lévő szennyezést célszerű a talajvízbe bemosni, majd termelőkutak segítségével a szennyezett talajvizet ki kell termelni és a felszínen kell megtisztítani. A tisztított talajvizet szikkasztón keresztül lehet visszajuttatni a talajba. A módszer szerves szennyezők esetében mikroorganizmusok talajba juttatásával kombinálható, a tisztítás/mosás hatékonyságának növelése érdekében. Az üledékes, homokos és a vályog talajokon a talajmosási eljárások könnyebben kivitelezhetők. Ha agyagos, kötött talajokon kell az eljárást megvalósítani, az *in situ* technológiát talajfellazítás egészíti ki annak érdekében, hogy a mosófolyadék jobban átjárhassa a talajt.

Az *ex situ* eljárást leggyakrabban az Európában széles körben elterjedt a Bergmann-féle talajmosási technológiával valósítják meg. A technológia elve az ásványbányászatban és az ércdúsítási eljárásokban használt megoldásokra épül. A szennyezőanyagokat a talaj felületéről vízzel, savas vízzel, felületaktív anyagokkal vagy kelátképzőkkel mossák le, általában keverős reaktorokban. A reaktor lehet talajjal töltött oszlopreaktor vagy iszapreaktor, melyben a talaj vizes szuszpenziója kerül. A mosó reaktor a helyszínen is felállítható, így a talaj kezelés után azonnal visszatölthető eredeti helyére. Az 1980-as évekből Hollandiában, Belgiumban, Németországban és Angliában kőolaj- és üzemanyag származékok, nehézfémek, poliklórozott bifenilek (*PCB*), policiklikus aromás szénhidrogének (*PAH*), peszticidek, nehézfémek, cianidok, radioaktív anyagok és azbeszt származékok

eltávolítására használják. Az eltávolítás hatékonysága függ a talaj szerkezetétől és a talaj fizikai kémiai tulajdonságaitól is (**12. táblázat-13. táblázat**).

12. táblázat: Tipikus talajmosási adatok szervetlen nehézfémek esetében

Szennyezőanyag	Holland standard mg/kg "B"	Holland standard mg/kg "C"	Mosás előtt	Mosás után
Króm	250	800	150-2500	70-120
Nikkel	100	500	250-890	40-70
Cink	500	3000	6040	150
Ólom	150	600	110-450	20-70
Higany	2	10	67	1,5
Arzén	30	50	135	19
Kadmium	5	20	3000-1800	20

13. táblázat: Tipikus talajmosási adatok szerves szennyezők esetében

Szennyezőanyag	Holland standard mg/kg "B"	Holland standard mg/kg "C"	Mosás előtt	Mosás után
Ásványi olaj	1000	5000	6000	< 20
Teljes szervesanyag szennyezés	50	500	75-300	< 10
PCB	1	10	04.febr	0,1-0,2
PCA	20	200	2500-400	0,5-10
Klórozott szénhidrogének	1	10	20-30	< 1

Gáztisztítási eljárások

A kárelhárítási gyakorlatban ritkán kell homogén fázist kezelni. többnyire szilárd-folyadék gáz, folyadék-szilárd és gáz-szilárd rendszerekkel kell dolgozni. A kárelhárítási, kármentesítési eljárások során a folyadék-szilárd rendszerek kezelése, technológiai megoldásai teljes mértékben a szennyvíztisztítási gyakorlattal azonosak (*ld. vízkezelési és szennyvíztisztítási eljárások kurzus anyagát*), ezért itt csak a gáztisztítási eljárásokkal foglalkozunk.

A talajtisztítás során általános probléma a gázok, talajgázok gáz, gőz és porszennyeződéseinek eltávolítása, melyet általában **nedves gáztisztítási eljárások** alkalmazásával lehet elvégezni. A nedves gáztisztítás során a porszemcséket folyadékkal nedvesítik, majd azok a mosófolyadékhoz kötődve a gázfázisból eltávolíthatók. A porszemcséknek és a folyadékfilm felületéhez való megkötődését vagy a folyadékba való bemosódását háromféleképpen lehet megoldani:

- (1) átbuborékoltatással,
- (2) a gáz lehűtése során a porszemcsék kondenzációs magot képeznek, így felületükre a mosófolyadék lekondenzál,
- (3) a porszemcséket a porlasztott folyadékcseppekkel ütköztetve a szilárd fázis megkötődik a folyadék felületén, illetve bemosódik a folyadékba.

A nedves porleválasztás fizikai kémiai szempontból a következő részfolyamatokból áll: (1) a porszemcse a folyadékcsepp vagy a folyadékfilm felületére kerül, (2) porszemcse megkötődik a felületen, majd behatol a mosófolyadék/film belsejébe és (3) a mosófolyadékkal együtt távozik a leválasztó térből. Ha a gázban olyan komponensek is vannak, amelyek a mosófolyadékban oldódnak, a gázabszorpció is végbemegy. A művelet előnye, hogy a mosófolyadék a szilárd és gáz állapotú szennyező komponenseket egy lépésben távolítja el, vagyis a porleválasztás és a gázabszorpció egy lépésben megvalósítható. A nedves porleválasztás az egyedüli megoldás a tűz- és robbanásveszélyes porokat tartalmazó gázok esetében (pl. katonai, vagy robbanószergyártó üzemi területek kármentesítése). A folyadék utótisztítását természetesen el kell végezni. A nedves gáztisztító készülékek üzemeltetési költsége magasabb, mint az ugyanazon hatásfokú száraz porleválasztóé, továbbá a szabadba telepített nedves porleválasztók a téli üzemeltetés során lefagyhatnak.

Attól függően, hogy a szilárd-folyadék fázishatár kialakítása hogyan valósul meg, továbbá a készülékben milyenek a sebesség viszonyok, többféle kialakítású gázmosó lehetséges. Ezek közül a permetező/porlasztós mosók, a töltetes tornyok, a nedves dinamikus örvénymosók, a tányéros tornyok, a nedves centrifugális berendezések (rotációs mosók) és a Venturi-mosók a legismertebbek (17. ábra).

Jellemzők	Típus		Dinamikus v. örvénymosók	Rotációs mosók	Tányéros oszlopok	Venturi- mosók
	Üres peremezett	Töltetes				
Határszemcseméret μm	2–4	1–4	0,6–0,9	0,8–1	0,3–0,5	< 0,1–0,3
Nyomásvesztés Pa	150–200	200–300	1500–3000	200–400	400–1000	3000–20 000
Víz-levegő arány dm^3/m^3	4–5	2–5		0,8–3,5	0,8–1,5	0,5–5
Energiafelhasználás $\text{kWh}/1000 \text{ m}^3$	1–3	0,2–1,5	1–2	2–6	0,5–1,5	1,5–7
$\varepsilon, d = 5 \mu\text{m}$	80	90	93	90	98	> 99
Lineáris sebesség m/s	1–2	1–2	8–20	2–3	0,7–3,5	50–150

17. ábra: Különböző gázmosók a műveleti paraméterek feltüntetésével.

A legegyszerűbb gázmosó berendezésekbe (scrubber) a tisztítandó gázt a bepermetezett mosófolyadékkal (legtöbbször víz) szemben ellenáramban vezetjük be. A finoman elporlasztott víz párolgása a gázt lehűti. Ezek a készülékek csak kis gázsebesség mellett működnek hatásosan. Előnye a kis nyomásesés és az alacsony energiafelhasználás. A töltettel nem rendelkező, üres gázmosók nagyobb porszemcsék eltávolítására alkalmasak. Ha a gázmosó tornyokba betétet helyeznek el, akkor a fluidumok tartózkodási ideje és az érintkezési felület megnövelhető. A **porlasztós mosók** a legegyszerűbb kialakítású porleválasztók. A tisztítandó és hűtendő gázt a torony alján tangenciálisan vagy radiálisan vezetik be a készülékbe. A toronyban a gáz ellenáramban halad a torony felső részén beporlasztott mosófolyadék cseppekkel. A gáz áramlási sebessége a toronyban 1-3 m/s, általában előleválasztásra alkalmazzák.

A **töltetes tornyok** az érintkezési felület megnövelése érdekében általában kerámia töltetet tartalmaznak. A mosófolyadékkal locsolt töltetrétegben az ellenáramban haladó gáz sokszoros sebesség és irányváltoztatásra kényszerül. A mosófolyadékkal érintkezve az abszorpción és a gáz hűtésén kívül a szilárd és a folyékony szennyezők leválasztása is végbemegy. Portalanításra ritkábban alkalmazzák, mivel az eltömődés veszélye fennáll. A gáz áramlási sebessége a készülékben 1-2 m/s.

A **dinamikus örvénymosókban** a gázt nagy sebességgel ütköztetik a mosófolyadékkal, amelynek hatására egy előleválasztás jön létre. Kedvező hidrodinamikai körülmények között a folyadékrétegben örvényterek alakulnak ki, amelyekben igen intenzív a keveredés jön létre, a porszemcsék felülete nedvesedik és leválik. A gázsebesség az örvényszórában 1–2 m/s.

A **rotációs mosókban** a folyadékcseppek létrehozásához és a mosófolyadéknak a gáz-por diszperz rendszerrel való intenzív keveredéséhez forgó szerelvényeket alkalmaznak. A gázsebesség a leválasztóban igen széles határok között ingadozhat.

A **tányéros tornyokban** a poros gáz és a folyadék érintkeztetése különböző perforációkkal ellátott tányérokon valósul meg. A tányéron dinamikus, állandóan megújuló habréteg alakul ki, amely nagy érintkezési határfelületet és ideális keveredést biztosít. Ebben a habrétegben történik meg a por gázból való kiválása. A gáz lineáris sebessége a berendezésben 0,5–3,5 m/s.

A **Venturi-mosó** tulajdonképpen egy konfúzból (*torokból*) és egy diffúzból áll. A mosófolyadékot a torokban vagy a torok előtt vezetik be a poros gázáramba. A gázsebesség a torokban 50–150 m/s-ot is elérheti. A bevezetett mosófolyadékból a gáz és a folyadék közötti nagy sebességkülönbség miatt sűrű, ködszerű folyadékcseppek (*aeroszol*) jönnek létre, amelyben igen intenzív a keveredés. Ebben a részben történik meg a szilárd szemcsék leválasztása. A diffúzorban a sebességcsökkenés eredményeként a köd nagyobb cseppekké áll össze, amelyeket a Venturi-cső után egy ciklonban választanak le a hozzájuk kapcsolódó szilárd részecskéikkel együtt.

Adszorpció eljárások

Az **adszorpció** gáz, gőz, vagy folyadék halmazállapotú atomok, molekulák felhalmozódása, megkötődése két fázis közötti határfelületen. Mivel a felület részecskéinek erőtere a felületre merőlegesen kiegyensúlyozatlan, ezért a felület képes egy másik fázis molekuláival kölcsönhatásba lépni. Az **adszorbens** az az anyag, amelynek felületén egy másik anyag részecskéi megkötődhetnek, adszorbeálódhatnak. A felület leggyakrabban szilárd, de lehet folyékony is. Az **adszorptívum** a felületen megkötődött, adszorbeálódott anyag, ami általában gáz vagy folyékony halmazállapotú. Az adszorptívum és az adszorbens együttesen alkotják az **adszorbeátumot**.

Az adszorpció spontán végbemenő exoterm folyamat, vagyis hőfelszabadulás kíséri. A felületek erőtereinek fizikai-kémiai tulajdonságai, valamint az adszorpció kölcsönhatások erőssége alapján fizikai adszorpcióról és kemisorpcióról beszélhetünk.

A **kémiai adszorpció (kemisorpció)** során az adszorbens és az adszorptívum közötti elektron transzfer következtében az adszorptívum eredeti kémiai kötéseinek részlegesen vagy teljesen felbomlanak, majd az adszorbens részecskéivel új kötések jönnek létre.

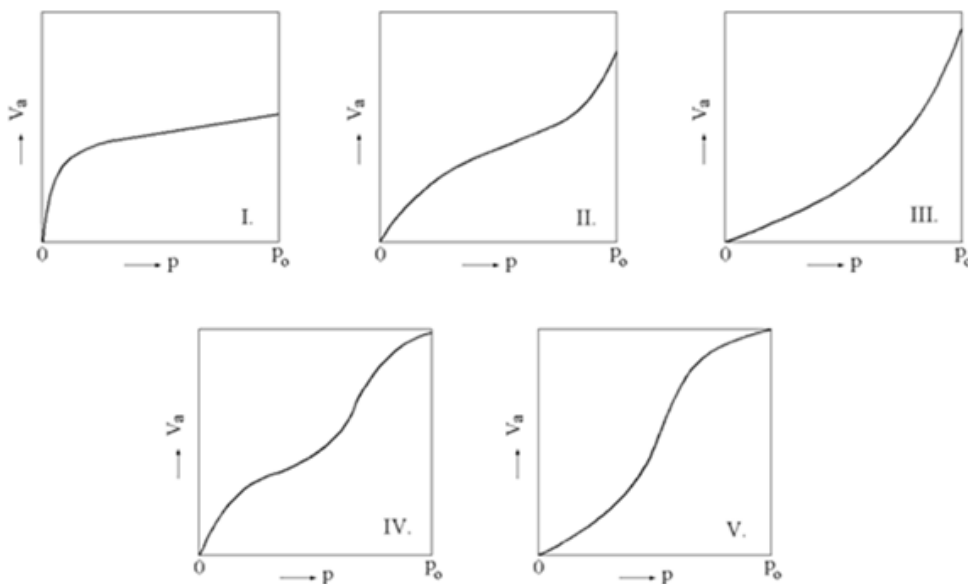
A kemisorpció során felszabaduló hő a kémiai reakciókat jellemző energiák nagyságrendjébe esik ($40 - 400 \text{ KJ/mol}$). Mivel a folyamat aktiválási energiája a kémiai reakciókat jellemző nagyságrendű, ezért magasabb hőmérsékleten és lassabban megy végbe. A kemisorpció során az adszorbens általában csak bizonyos fajta adszorptívummal lép kölcsönhatásba és a felületen csak monomolekuláris réteg alakulhat ki. Mivel a felülethez kötődött részecskék lokalizáltak, nem képesek a felületen elmozdulni.

A kemisorpció irreverzibilis (*nem megfordítható*) folyamat, vagyis a felületről való deszorpció sebessége gyakorlatilag elhanyagolható (*mivel az adszorbeált molekulák és a felület között létrejövő kémiai kötések nem engedik eltávozni a megkötődött részecskéket, még akkor sem, ha az adszorptívum koncentrációja, vagy parciális nyomása nullára csökken*). A kemisorpció során megváltoznak tehát a molekulák kémiai tulajdonságai, ezért sok esetben katalitikus hatás kíséri.

A **fizikai adszorpció** során a felület és a részecskék között fizikai kölcsönhatás jön létre, amelyet van der Waals erők (*elektrosztatikus, dipólus és diszperziós erők*) alakítanak ki. Az erők gyengesége folytán kémiai reakció nem történik és aktiválási energiát sem igényel. A fizikai adszorpció során a felszabaduló adszorpciós hő a kondenzációs hő tartományába esik (8-20 KJ/mol). A folyamat gyorsan végbemegy és a felületen nem csak egy, hanem több atom- vagy molekularéteg is megkötődhet. A fizikai adszorpció nem anyagspecifikus, vagyis az adszorpció nem szelektív, továbbá a megkötődött részecskék delokalizáltak, tehát a felületen képesek elmozdulni.

A fizikai adszorpció egy dinamikus egyensúlyra vezető folyamat, tehát az adszorbeált felületi réteg és a gáz/gőztér között állandó részecske kicserélődés megy végbe. Az adszorpcióval ellentétes folyamat a deszorpció, amelynek során az adszorptívum koncentrációjának vagy parciális nyomásának a csökkenése miatt részecskék válnak le a felületről.

Az **adszorpciós izoterma** leírja, hogy konstans hőmérsékleten adott mennyiségű adszorbensre hány cm³ vagy gramm adszorptívum adszorbeálódik az adszorptívum egyensúlyi gáznyomása (gáz halmazállapot) vagy koncentrációja (folyadék halmazállapot) függvényében. Gáz halmazállapotú adszorptívumok esetén a fizikai adszorpciós izotermák 5 fő típusát különböztethetjük meg (**18. ábra**).



18. ábra: Adszorpciós izotermák.

A legtöbb anyagra az I. típusú izoterma a jellemző. Ezek szerint kisebb nyomáson az adszorbeált fajlagos gáztérfogat meredeken nő, majd a növekedés fokozatosan csökken, illetve konstanshoz közelít. Nagyobb nyomáson ugyanis az adszorbens felülete telítődik adszorptívummal és a nyomás további növelésével a felületen adszorbeált anyagmennyiség már nem nő tovább (*Langmuir izoterma*).

Az adszorpció izotermák matematikai leírására általánosan a Langmuir és a BET elméletek használatosak (ld. Fizikai kémia alapkurzus). Folyadék fázisú adszorptívum esetén az adszorpció izoterma gyökfüggvény típusú azért, mert maximum csak a 3. molekula réteg után az adszorptívumra már a folyadék fázisra jellemző kölcsönhatások lesznek érvényesek

Az adszorbensek olyan pórusos szilárd anyagok, amelyeknek a felületén nagy számú aktív centrum található és az adszorptívum ezekhez tud kötődni. A jó adszorbensek nagy felületi aktivitással (*adott tömegű anyag mennyi részecskét tud megkötni*) és szelektivitással (*csak azt köti meg, amit kell*) rendelkeznek. ***Az adszorbensek az összetételük és felépítésük alapján szénbázisúak és oxidbázisúak lehetnek.***

A ***szénbázisú adszorbensek*** alapanyaga több mint 90 %-ban szén. Nagy fajlagos felületük és hidrofób karakterük miatt jól alkalmazhatók nem poláros szerves anyagok megkötésére. A legfontosabb szénbázisú adszorbensek az aktív szén, az aktivált kokszt, a szénbázisú molekulaszűrők, a lignin, a cellulóz szivacs és a szénbázisú szintetikus gyanták.

Az aktív szén: az egyik legelterjedtebb adszorber. Főleg szerves oldószerek, üzemanyagok, kis koncentrációjú olajszennyezések megkötésére használják. Szemcse és porformájú kialakításban is használható.

Az aktivált kokszt szemcsés formában, leginkább füstgázok szervesanyag mentesítésére és kéntelenítésre használják.

A ***szén/aktív szén molekulaszűrők*** szemcsés formában kerülnek forgalomba és a szénhidrogének gázokból történő eltávolítására használhatók.

A ***lignin*** szerves anyagok vízből való eltávolítására, valamint talajhoz keverve a talajban lévő olajos szennyezők megkötésére használható.

A ***cellulóz szivacs*** amino- és karboxil csoportjai fémekkel kelátokat képeznek, az oldott nehézfémeket szelektíven képesek megkötni. Mivel olcsóbbak, mint a szintetikus gyanták, a fémmentesítési folyamatokban előszeretettel alkalmazott adszorbensek.

A ***szintetikus gyanták*** az aktív szénhez hasonló tulajdonságúak, de kapacitásuk és szelektivitásuk nagyobb. Ugyanakkor drágábbak, mint az aktív szén.

Az ***oxidbázisú adszorbensek*** alapanyaga többnyire SiO_2 és Al_2O_3 . Erősen hidrofíl karakterűek, ezért a poláros vegyületeket hatékonyan kötik meg. A leggyakrabban alkalmazott oxidbázisú adszorbenseket és fontosabb jellemzőiket alább soroljuk fel.

A ***szilikagél*** kolloid állapotú, szemcsézett kovasav, amely nagy szelektivitással köti meg a poláros vegyületeket, mint például a vizet/vízgőzt, valamint a polárosabb szerves anyagokat, mint például az etanolt, metanolt vagy a formaldehidet.

Az ***alumínium-oxid*** bauxit vagy $\text{Al}(\text{OH})_3$ kalcinálásával készült porózus adszorbens. Széleskörben alkalmazzák katalizátorként vagy katalizátor hordozóként, illetve fluorid, arzén és szelén eltávolításra is.

A ***molekulaszűrő zeolitok*** természetes vagy mesterséges úton előállított alkáli vagy földalkáli szilikátok, amelyekben a kristályszerkezetük által meghatározott pórusok és üregek vannak.

A pórusukkal összemérhető méretű részecskéket (pl. olajfrakciókat) zárványként magukba zárják illetve adszorbeálják. A poláros anyagokat előbb képesek adszorbeálni, mint az apolárosakat.

Az agyagásványok szerves és szervetlen anyagok megkötésére is alkalmasak. A szennyező anyagok molekuláris adhéziónal kötődnek az adszorbens felületéhez, de bizonyos agyagásványok a kisméretű szerves anyagokat rétegeik közé is bezárhatják, interkalálhatják. A felületükön lévő aktív helyek kationok és anionok megkötésére egyaránt képesek. A háromrétegű, 2:1 típusú agyagásványok pedig ioncserével kationokat tudnak megkötni. A megfelelő adszorbensek kiválasztásánál az alábbi szempontokat érdemes figyelembe venni:

- (1) Az adszorbensnek kis adszorptívum koncentrációk esetén is megfelelő teljesítményt kell nyújtani.
- (2) Az adszorbeált anyagokat az adszorbens újrahasznosítása érdekében könnyen lehessen deszorbeáltatni.
- (3) Az adszorbens aktivitását a különböző folyamatok (*adszorpció, deszorpció, regenerálás, tisztítás, hőmérséklet változások*) nem csökkenthetik számottevően.
- (4) Nagy mechanikai szilárdsággal rendelkezzen, bírja a túlnyomást is és ne tömődjön el.
- (5) Kémiai ellenállósággal rendelkezzen.
- (6) A leválasztandó, kinyerendő anyagra nézve nagy legyen a szelektivitása.

Ezeket a tulajdonságokat a legtöbb esetben egyidőben egy adszorbens alkalmazásával nehéz biztosítani, így mindig a célfeladat által definiált módon, a legkritikusabb tulajdonságok alapján kell megválasztani a megfelelő adszorbenset.

Az adszorpciós műveletet igénylő talajlevegő és talajvíz tisztítási eljárások többnyire *ex situ* eljárások, bár újabban kísérleteznek *in situ* megoldásokkal is, amikor szádfalakba épített adszorbensek segítségével a szennyező anyagokat a talajvíz felszín alatti áramlása közben távolítják el.

Az adszorbens összetételétől, szerkezetétől függően különböző típusú szennyezőanyagok távolíthatók el. Szénbázisú adszorbensek alkalmazásával főleg a hidrofób, apoláros, szerves anyagokat lehet eltávolítani. Például aktív szénrel vagy koksszal, ligninnel az oldószer, az üzemanyag, a kisebb koncentrációjú olajszennyezések, valamint a halogénezett szénhidrogén típusú szennyeződések, cellulóz szivaccsal a fémszennyezések távolíthatók el.

Az *ex situ* talaj és talajvíz tisztítási eljárások előtt mindig szükség van előkészítő műveletekre. Az adszorpciós művelet alkalmazása előtt a szennyezett talajt átmossák, hogy a szennyező anyagok oldott fázisba jussanak. Ha a szennyezés a talajvizet érinti, akkor azt egyszerűen ki kell szivattyúzni.

Az adszorberbe való betáp előtt le kell választani a mosófolyadékban lévő finom talajfrakciót és a kisebb szuszpendált szilárd anyagokat. Ezzel részben már a víz is tisztul, mivel a szennyezőanyagok egy elég nagy hányada a finomabb szilárd szemcséken van adszorbeálva. A leválasztás azért szükséges, mert ezek az anyagok az adszorbens felületére tapadva akadályozzák annak működését.

Az adszorberben megtörténik a szennyező anyagok eltávolítása. Mivel az adszorpció exoterm folyamat, a művelet hűtést igényel (*magasabb hőmérsékleten csökken az adszorbens kapacitása*), amely legtöbbször a kilépő folyadék hőtranszportáló tulajdonságával megoldható, ha ez mégsem következik be, előfordul, hogy hűteni kell a reaktort.

A megtisztított közeget ezután visszajuttatják az eredeti helyére, vagy valamilyen befogadóba.

Az elhasználódott, telítődött adszorbenst vagy el kell távolítani a reaktorból, vagy regenerálni, deszorbeáltatni kell az adszorbeálódott anyagot. A deszorpciónak négyféle módja lehetséges.

- (1) A hőmérséklet növelésével az adszorber ágy adszorpciós kapacitása csökken, ezért deszorbeálódik róla az adszorbeálódott anyag, amelyet aztán el kell távolítani.
- (2) Adszorbeálható anyagokat nem tartalmazó gázt vagy folyadékot nyomnak át az adszorber ágyon és a megoszlási hányados alapján az adszorbeált anyag átkerül a mozgó fázisba.
- (3) Helyettesítő deszorpcióval más, sokkal jobban adszorbeálódó anyagot vezetnek az ágyra, ami kiszorítja az eredeti adszorbeált anyagot.
- (4) Lecsökkentik az adszorbens ágy felett az adszorbeálódott anyag nyomását (*gáz/gőz esetében*) vagy koncentrációját (*folyadék esetében*), aminek hatására az adszorbeálódott anyag egy része deszorbeálódik. A négyféle eljárás közül leginkább a termikus deszorpciót alkalmazzák, mivel viszonylag könnyű és olcsó megoldás, illetve nincs szükség a deszorbeálódott anyag és a hordozó közeg utólagos kezelésére, szétválasztására.

Néhány adszorbens regenerálásának deszorbeálási hőmérséklet-tartománya:

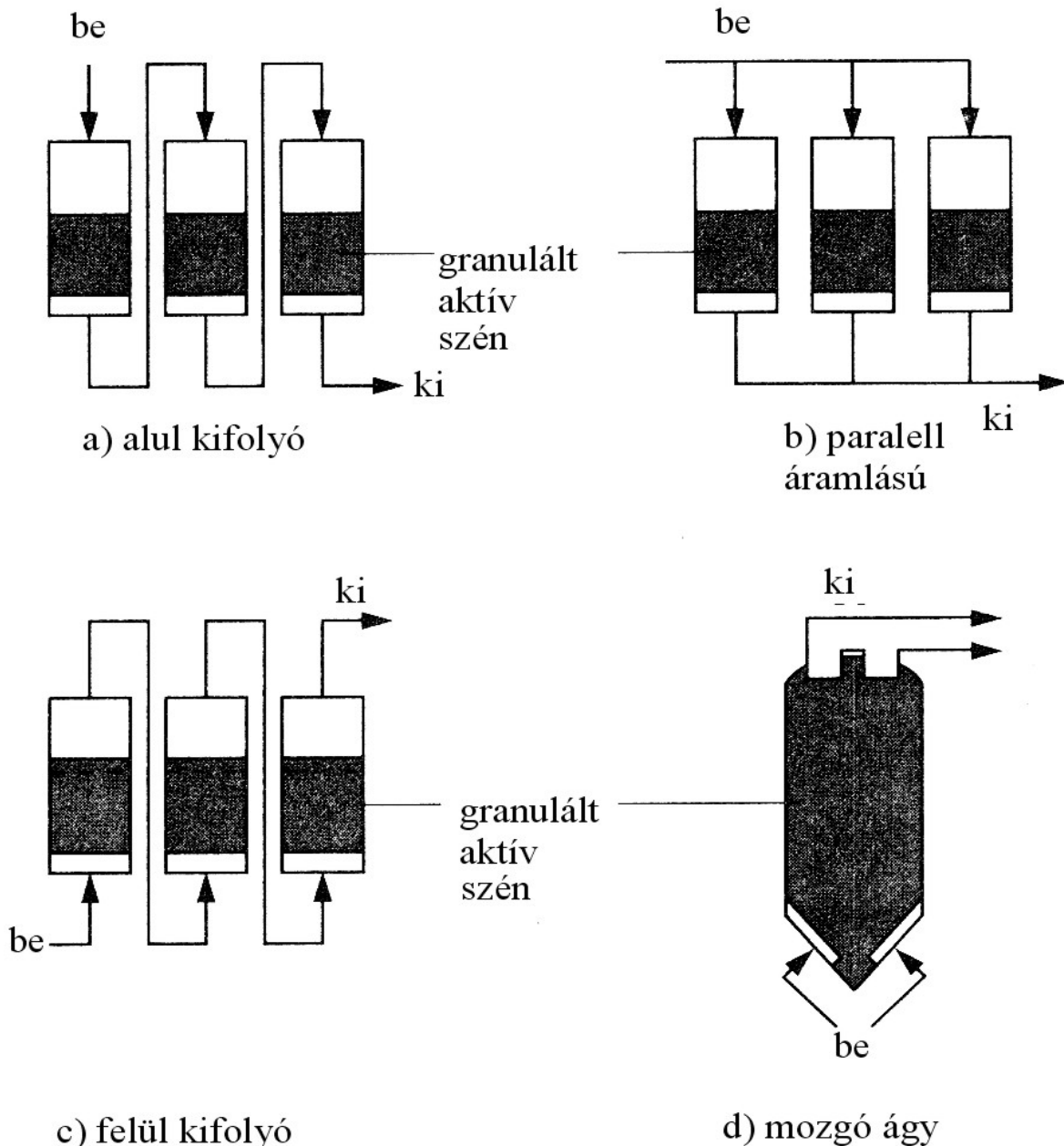
aktív szén	105...115 °C
szilikagél	155...175 °C
aktív alumínium-oxid	175...320 °C
molekulaszűrő	200...300 °C

A termikus deszorpciót követően az adszorber ágyat meg kell tisztítani, ki kell szárítani, majd le kell hűteni az adszorpciós művelet munkahőmérsékletére.

Az adszorpciós művelet alkalmazhatóságát és hatásfokát több tényező is behatárolja:

- (1) A vízben jól oldódó és kis méretű részecskék nem jól adszorbeálódnak.
- (2) Nagy szennyezőanyag koncentrációnál drága az alkalmazása, ezért elsődleges tisztítási lépésnek sokszor nem alkalmas.
- (3) Nem alkalmazható nagyobb mennyiségű olajszennyezések esetén, mivel az adszorber pórusai eltömődnek.
- (4) Túl drága lehet akkor az eljárás, ha az adszorbeálandó szennyezőanyag koncentrációja olyan magas, hogy túl sűrűn kell cserélni az adszorbenst.
- (5) A nem regenerálható adszorberek sokszor veszélyes hulladéknak számítanak, ezért kezelésük, megsemmisítésük drága.

Az aktív szenes adszorpció a legelterjedtebb adszorpcióhoz köthető talajvíz tisztítási eljárás. Ennek az oka az aktív szén viszonylag könnyű és olcsó előállíthatósága, beszerezhetősége, illetve a technológia kiforrottsága. Az aktív szén apoláros karaktere miatt általában hidrofób szerves vegyületek, pl. szerves oldószerek, üzemanyagok, halogénezett szénhidrogének, növényvédő szerek, szerves mikroszennyezők eltávolítására használják. Különböző széntartalmú anyagokból, pl. fából, kőszénből, kókuszdió héjából állítják elő úgy, hogy levegő kizárásával 1000 °C körüli hőmérsékleten izzítják a kiindulási anyagot. Az aktív szénre nagy porozitás és aktív felület jellemző, amely 1000-1500 m²/g is lehet. Pórusmérete igen változó, a vizes technológiáknál az az előnyös, ha a 2-4 nm átmérőjű mikropórusok vannak túlsúlyban. Az aktív szenet általában szemcsés és por formában használják (**19. ábra**):



19. ábra: Az aktív szenes adszorpció reaktortípusai

Az aktív szenes adszorpciót kétfajta reaktor konfigurációval valósítják meg. Fix ágyas (a,b és c kép), valamint a mozgó ágyas (d kép). A fix ágyas reaktorokban az áramlás lehet soros (alul illetve felül kifolyós rendszerben) vagy paralell.

A **porszemcsés aktív szén** szemcsemérete 10-60 μm közé esik. Előnyösen alkalmazható állandósult vízminőség-romlás esetén átmeneti megoldásként , vízminőségi határértékek időnkénti átlépése során a felszíni vizek kezelésére, vagy havária esetén. Előnye, hogy általában nincs szükség külön tisztítóberendezésre és viszonylag alacsony költséggel megoldható a beavatkozás. Hátránya, hogy a szennyezést előzetesen oldatba kell vinni, majd az aktív szénről el kell távolítani. Csak kisebb zavarosságú vizekben alkalmazható, mert hamar telítődik.

A **szemcsés aktív szén (GAC)** általában reaktortöltetként használható, a szennyezett folyadék átvezetése különbözőképpen történik. Többnyire egy tisztítási folyamat utolsó lépéseként

alkalmazzák a maradék szennyezések eltávolítására. Ha a tisztítás hatásfoka 20-30 % alá csökken, a töltetet termikusan vagy vegyi úton regenerálni kell.

A lebegő ágyas reaktorokban (*tornyokban*) a lassú felfelé áramlási sebesség a fix ágyas kiképzésnél hatékonyabb megkötést eredményez, mivel lebegés közben intenzívebb keveredés jön létre.

Fix ágyas eljárás esetén a szuszpendált szilárd anyagokat előzetesen el kell távolítani, mert azok megkötődhetnek és felhalmozódhatnak az adszorber ágy felületén, növelve a belső nyomásesést és az eltömődés veszélyét (*kényszerleállás veszélye*). Ha a nyomásesés már túl nagy, a felhalmozódott anyagot valamilyen módon el kell távolítani (*pl. ellenirányú áramoltatással*). Ez a folyamat azonban szénvesztiséget és az aktív szenes zóna megszakadását eredményezheti.

Az eltávolítási hatásfokot és a töltet élettartamát növelheti, ha valamilyen nagyfelületű anyagra impregnálják a szenet. Ezzel a megoldással a regenerálás is biztonságosabban elvégezhető. Az aktív szén élettartama általában rövid, csak alacsonyabb szennyező anyag koncentráció esetében lehet hosszabb. A működtetés időtartama és a karbantartási igény függ a szennyező típusától, a koncentrációjától és a térfogatától. Az aktív szenes szűrőket általában termikus deszorpcióval regenerálják. A hőmérséklet emelkedés hatására deszorbeálódnak a megkötődött részecskék, amiket ezután valamilyen inert anyaggal elszállítanak az adszorbers ágyról.

Bizonyos esetekben, pl. ha nagyon erősen adszorbeálódó anyagok kötődnek meg az adszorberen, vagy valamilyen viszkózus anyag eltömi a pórusokat, illetve a természetes elhasználódás miatt a regenerálás már nem gazdaságos, az elhasználódott adszorbenst veszélyes hulladékként kezelik (deponálják), vagy égetéssel hőként hasznosítják.

Az aktív szenet újabban szádfal töltetként is használják.

A szűrés alkalmazása a kárelhárítási, kármentesítési gyakorlatban

A szűrés az egyik legáltalánosabban használt elválasztás technikai művelet, amelyet a környezettechnológiai gyakorlatban általában a vízkezelés során alkalmaznak (*ld. szennyvíztisztítási és vízkezelési technológiák, kémiai technológiák*). A szürendő részecske mérete szerint többféle technikai megoldás is lehetséges. A kármentesítési, kárelhárítási gyakorlatban a költség fajlagosok csökkentése érdekében a szükséges és elégséges megoldás kerül kiválasztásra (**20. ábra**).

Az arzénvegyületek vizekből történő eltávolítására mikro, ultra és nanoszűrést is használnak attól függően, hogy az előzetesen vas-oxi-hidroxid pelyheken megkötött vegyület milyen mérettartományú részecskéket képez. A fordított ozmózist a nanoszűréshez hasonlóan arzén vegyületek eltávolítására használják, de előzetesen nem szükséges a koagulálás.

A membránszűrés (21. ábra) illékony szerves vegyületek (VOC) vizes oldatokból való kinyerésére, illékony fermentációs termékek kinyerésére, szennyvíziszapok víztartalmának csökkentésére, savas oldatok töményítésére és sóoldatok koncentrálására használható környezettechnológiai eljárás. Az ellenáramban haladó két különböző hőmérsékletű folyadékot membrán választja el. A membrán két oldala közötti hőmérsékletkülönbség gőznyomás különbséget okoz, így egy anyagtranszport alakul ki a magasabb gőznyomású helyről az alacsonyabb irányába. Hidrofób membránokat alkalmazva a kapillárisok eltömődése minimalizálható.

A szűrési tartományok

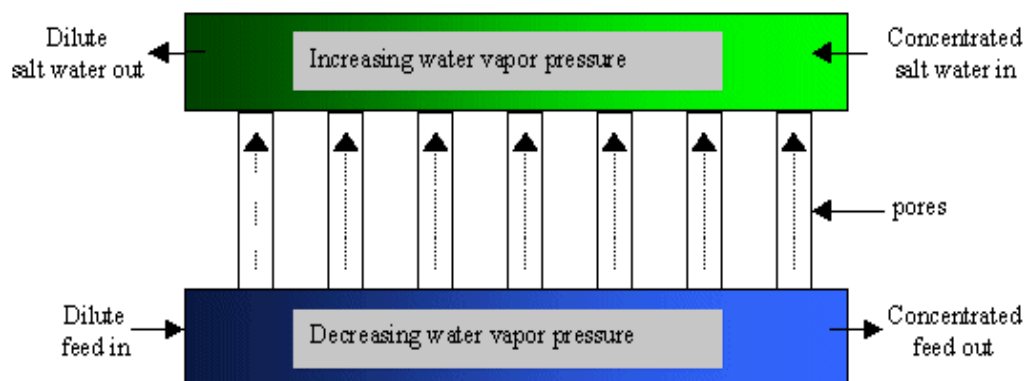
	ST Mikroszkóp	Pásztázó Elektron mikroszkóp	Optikai mikroszkóp	Szabad szemmel látható				
	Ion tartomány	Molekula tartomány	Makromolekula tartomány	Mikrorészecske tartomány	Makrorészecske tartomány			
Mikrométer (logaritmikus skála)		0,001	0,01	0,1	1,0	10	100	1000
Angström egység (logaritmikus skála)		10	100	1000	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
Megközelítő molekulatömeg (Szacharid típusú-nem skálázott)		100	200	1000	10.000	20.000	100.000	500.000
Gyakori anyagok viszonyított mérete	atom sugár	tengerisó	albumin fehérje	széntartalmú részecske	festékanyag	erjesztőgomba sejtek	tühegy	
		endotoxin / lázkeltő	vírus	cigarettafüst, dohányfüst	baktériumok	aktív szén finom porszemcséje	tengerparti homok	szemcsés aktív szén
	cukor	fém-ion	szintetikus festékanyag	Latex / emulzió	őrölt liszt			
	rovarirtó	gyomirtószer	kolloid szilíciumoxid	kék indigó festék	vörös vértestek	virágpor	lencserejt borostyán	
			azbeszt	szénpor	spórák	kód		
			zselatin					
Szétválasztás művelete	FORDÍTOTT OZMÓZIS (Hiperszűrés)							
	NANOSZŰRÉS							
	ULTRASZŰRÉS							
	MIKROSZŰRÉS							
	RÉSZECSKE SZŰRÉS							

Megjegyzés: 1 mikron (1×10^{-6} méter) = 4×10^{-5} hüvelyk (0,00004 hüvelyk) 1 Ångström egység = 10^{-10} méter = 10^{-4} mikrométer (mikron)

20. ábra: A gyakorlatban általánosan használt különböző szűrési műveletek.

Az anyagtranszport első lépése a komponens párolgása a magasabb hőmérsékletű oldalon, majd a gőz állapotú anyag transzportja a membrán pórusain keresztül, végül egy kondenzáció következik be az alacsonyabb hőmérsékletű oldalon.

A mikro, ultra és nanoszűrés, valamint a hiperszűrés csak különösen indokolt esetben alkalmazott művelet a kárelhárítási gyakorlatban, mivel drága és időigényes eljárás.



21. ábra: A membrándeszilláció elve.

Termikus eljárások

Az égetési eljárások előnye a gyors szennyezőanyag (általában kőolajszármazékok) ártalmatlanítás. **Hátrányuk** az eltávozó gázok tisztításának szükségessége, az esetleges üzemzavar irreverzibilitása, valamint a hosszú engedélyeztetési eljárás. Csak az ex situ talajtisztítási eljárásnak kivitelezhető, ami tovább növeli az egyébként is magas költségeket. A művelet során a talaj elveszíti talaj jellegét.

A termikus kezelés a **kishőmérsékletű krakkolást** (450–600 °C), a **pirolízist** (750–950 °C), és a **nagy hőmérsékletű pirolízist** ($T > 1200$ °C) jelenti. A műveletek együttes alkalmazásával minden szénhidrogén szennyezés eltávolítható a talajból. Ex situ művelet, szállítható és telepíthető. **Hátránya**, hogy rendkívül költséges.

A plazmatechnológia a termikus kezelés olyan fajtája, amikor a szennyező az extrém magas kezelési hőmérsékleten plazma állapotba kerül. Míg 2000 °C felett az anyagok (gázok) atomjaikra bomlanak, addig 3000 °C felett az anyagok már elektront is veszítenek, amelynek következtében vezetnek a villamos áramot. A vezetőképesség hőfokfüggő, amely ipari plazmagenerátoroknál 10 000 °C is lehet. A művelet előnye, hogy minden szerves és szervetlen mikroszennyező környezetvédelmi ártalmatlanítására alkalmas. Termikus inerciája rendkívül kicsi, ami gyors folyamatszabályozást tesz lehetővé. Hátránya a rendkívül költséges berendezés.

14. Néhány tesztelt technológia a kárelhárítási gyakorlatból (Dr. Horváth Erzsébet)

Pannon Egyetem, Veszprém

A 14. táblázat alapján az egyes technológiák költség fajlagosai között tetemes különbségek lehetnek. Ezért a legolcsóbb és a leghatásosabb technológia megválasztására kell törekedni. A következőkben néhány, a kárelhárítási gyakorlatban jól bevált technológiát ismertetünk.

14. táblázat: A különféle kárelhárítási technológiák egymáshoz viszonyított költség fajlagosai, egységként tekintve a fitoremediációt.

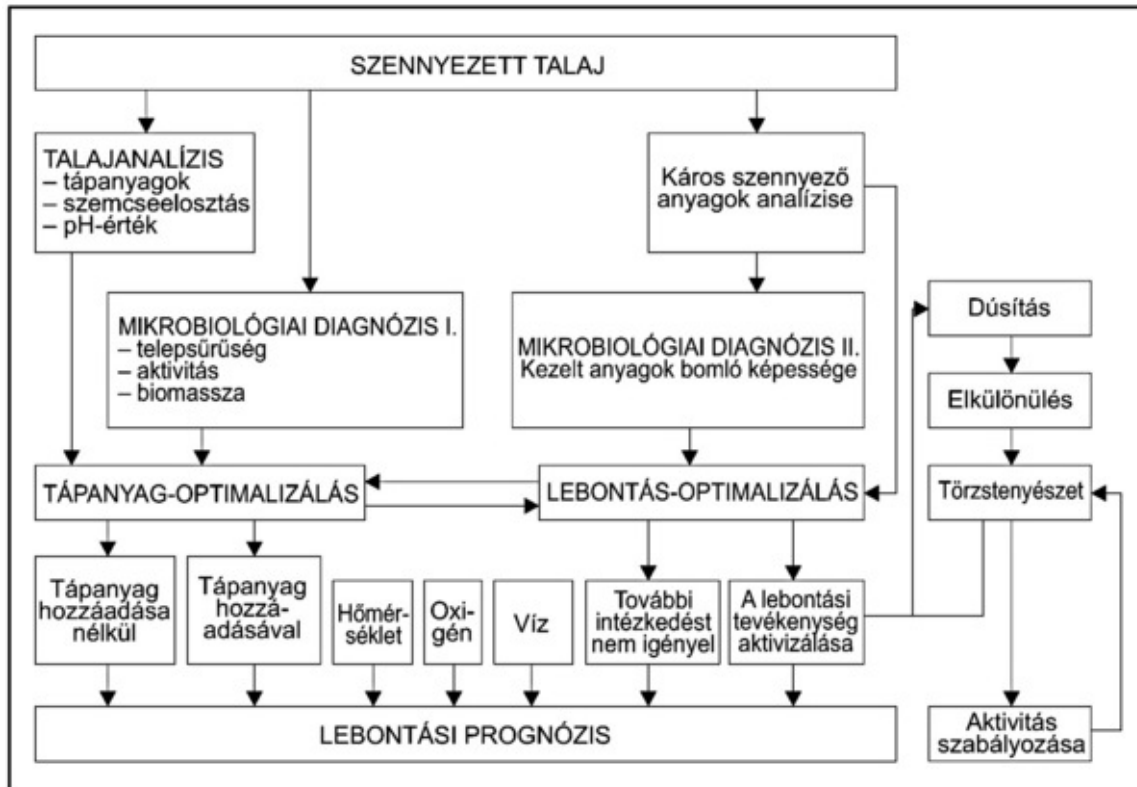
<i>Kezelési típus</i>	<i>Költségek egymáshoz viszonyított nagyságrendje költség egység/t</i>
<i>Fitoremediáció</i>	<i>1,0-3,5</i>
<i>In situ bioremediáció</i>	<i>5,0-15,0</i>
<i>Talajlevegőztetés</i>	<i>2,0-22,0</i>
<i>Indirekt termikus</i>	<i>12,0-30,0</i>
<i>Talajmosás</i>	<i>8,0-20,0</i>
<i>Stabilizáció</i>	<i>24,0-34,0</i>
<i>Oldószeres extrakció</i>	<i>36,0-44,0</i>
<i>Égetés</i>	<i>20,0-150,0</i>

14.1. Ex situ biológiai dekontaminálási eljárás

Az eljárás aromás és alifás, szénhidrogének biológiai lebontására alkalmas, amelynek során kizárólag a természetben előforduló mikroorganizmusokat használnak. Ha policiklusos és klórozott szénhidrogén vegyületek is jelen vannak, akkor célspecifikus kultúrákat adnak a talajhoz. A célspecifikus, természetben nem előforduló mikroorganizmus kultúrák használatát a hatóságokkal előzetesen egyeztetni kell.

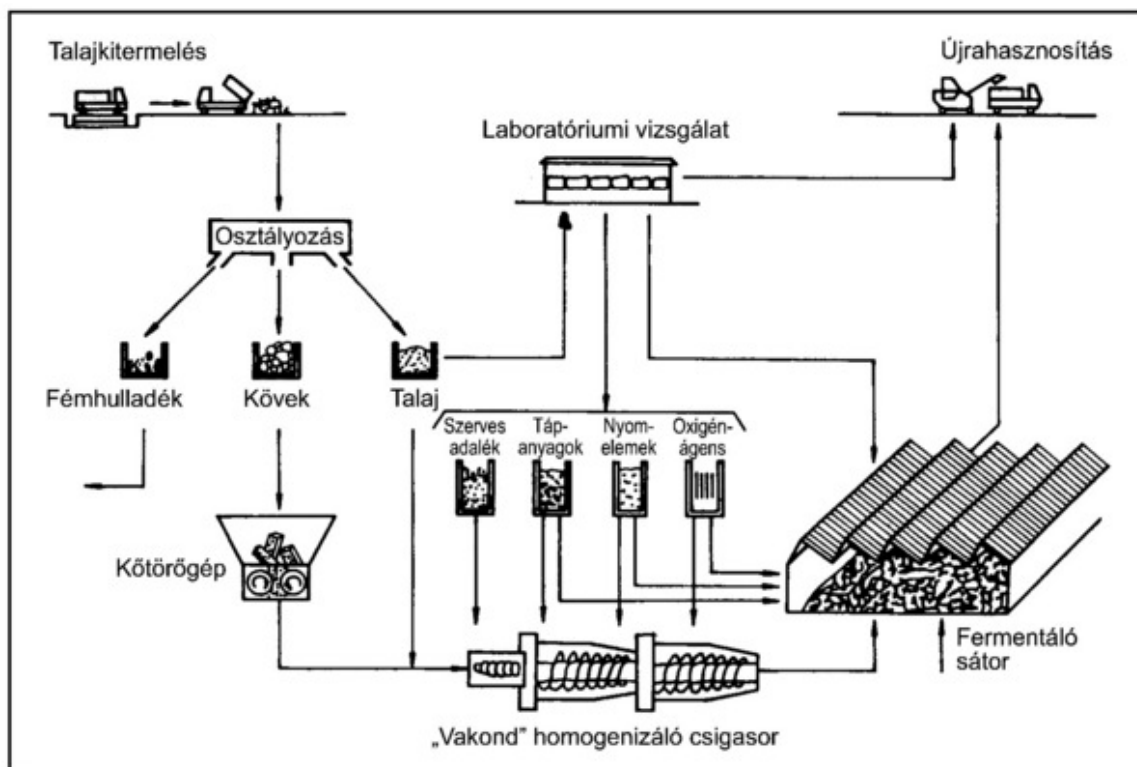
UMWELTSCHUTZ–NORD eljárás (talajtisztítás ex situ módszerrel)

Az UMWELTSCHUTZ–NORD eljárás technológiai protokollja mintavétellel kezdődik. A tisztítandó talaj a **22. ábra** feltüntetett *bioteszt-és optimalizációs rendszer* szerint kerül bevizsgálásra, illetve kezelésre. A laboratóriumban a talaj fizikai, kémiai vizsgálata mellett elvégzik a szennyezők minőségi és mennyiségi analizisét, valamint a talajban lévő mikroorganizmusok fajtáit és aktivitásukat is bevizsgálják. Ez a vizsgálat a segéd- és tápanyag minőségének/mennyiségének beállításához szükséges. A laboratóriumi eredmények ismeretében kerül sor a technológiai paraméterek meghatározására, a szerves adalékok, tápanyagok, nyomelemek mennyiségének, illetve a nedvességtartalomnak és a kezelés időtartamának kiszámítására.



22. ábra: Az UMWELTSCHUTZ-NORD eljárás elve. Bioteszt és eljárás-optimalizációs rendszer

A talajkezelés protokollját a **23. ábra** mutatja be. A kiemelt talajt osztályozzák, szétválogatják, majd a kezelendő fázist célgéppel homogenizálják.



23. ábra: Az UMWELTSCHUTZ-NORD eljárás folyamatábrája.

A laboratóriumi eredmények ismeretében szerves anyagokat (*szalma, fűrészpor, faforgács stb.*), szubsztrátot, a tápanyagokat, a nyomelemeket, a mikroorganizmusokat és az esetleges oxidálószerkeket adagolnak a homogenizálóba. Az így képzett homogenizált földkeveréket célgépek segítségével a helyszínen felállított 40×20 m-es könnyűszerkezetes sátorban terítik el. A sátrak mérete tetszés szerint növelhető.

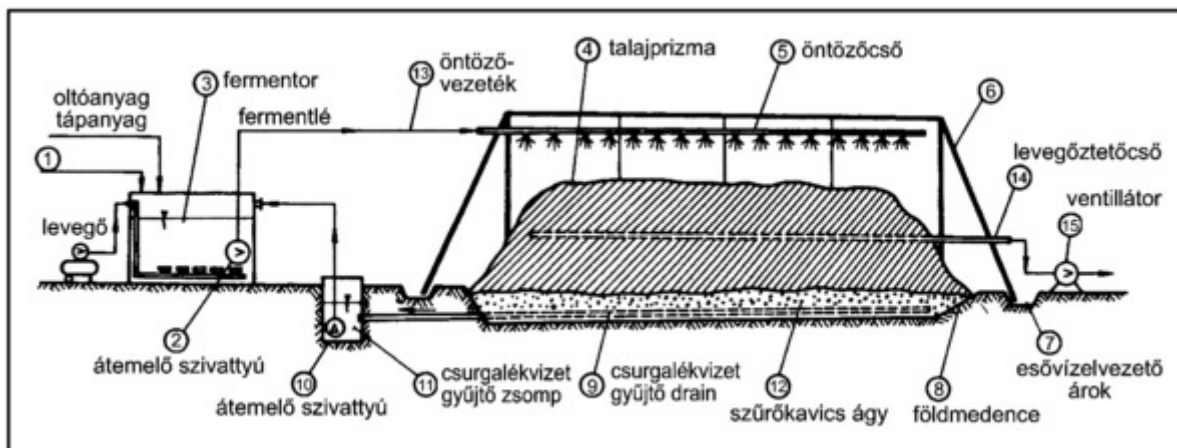
Az optimalizációs rendszer szabja meg a bioágyak magasságát, a szükséges nedvességtartalmat és az átforgatás/levegőztetés gyakoriságát. A megismételt, újabb laboratóriumi kontroll eredményei újabb tápanyag, mikroorganizmus és oxidálószer hozzáadását tehetik szükségessé. A fermentáció ideje 3–5 hónapot is igénybe vehet. Ezt követően a kezelt talajt visszatermelik a kívánt területre, majd laboratóriumi vizsgálatokat követően döntenek a talaj újrahasználatáról. Biológiai vizsgálatok alapján kerülnek meghatározásra azok a növényfélések, amelyek már az első évben is termesztethők a regenerált talajon.

Szénhidrogénnel szennyezett talajok ex-situ kezelése a BIKÖR módszerével

Az olajbontást végző baktérium kultúra szaporítását a helyszínen 1 m³-es tartályban végézik el. A tartályok levegőztetése porlasztott levegővel történik. Az Országos Közegészségügyi Intézet által jóváhagyott vegyes BIOMIX OIL baktériumkultúrát szervesetlen makrotápanyagokat és nyomelemeket tartalmazó tápoldatban 1 l/m³/nap mennyiségben adagolt szubsztráton szaporítják. Kb. 10 napi folyamatos fermentációt követően a baktérium csíraszám a talaj inokulálására alkalmas koncentráció értéket éri el.

A kezelendő talajt homogenizálják, az optimális C, N, P arány biztosítására a talajhoz 33%-os NH₄NO₃, N, P, K és nyomelem tartalmú műtrágyát kevernek. Az első keverés során a kezelendő talajba a műtrágya mellett, 10% fakéreg egyenletes bejuttatására is sor kerül.

A kezelendő talaj kötöttségétől ill. a szennyező komponensek minőségétől és koncentrációjától függően eltérő prizmaépítési technológiát alkalmaznak. A talajkezelő rendszer szerkezeti felépítését a **24. ábra** mutatja.



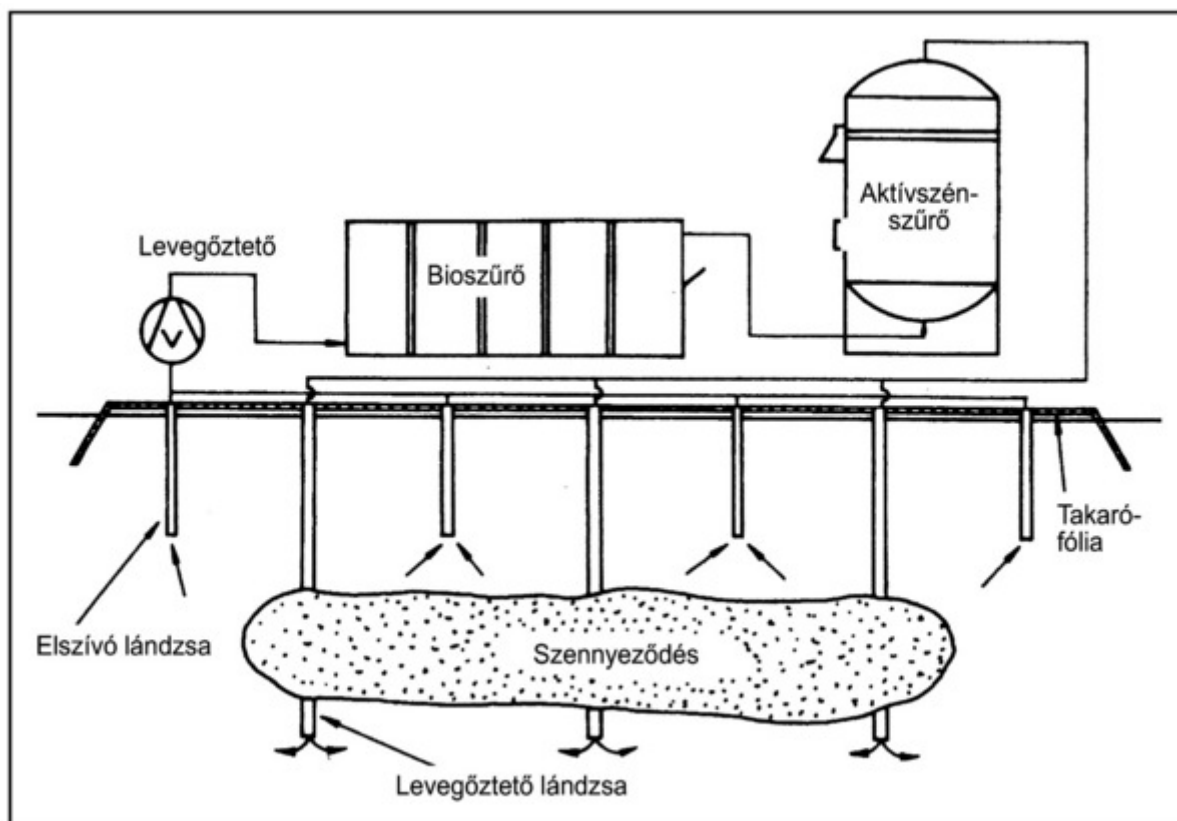
24. ábra: Ex situ talajkezelés a BIKÖR módszerével.

14.2. In situ talajtisztítási eljárás

Az in-situ eljárások akkor alkalmazhatók, ha azt a hidrogeológiai körülmények megengedik, továbbá ha a kezelendő területnek és az azokon lévő létesítményeknek a kárelhárítási tevékenység ideje alatt is el kell látni eredeti funkciójukat (*pl. közút, vasút, repülőtér, gyárterület, raktár.*)

Talajlevegőztetés a CARO GmbH módszerrel

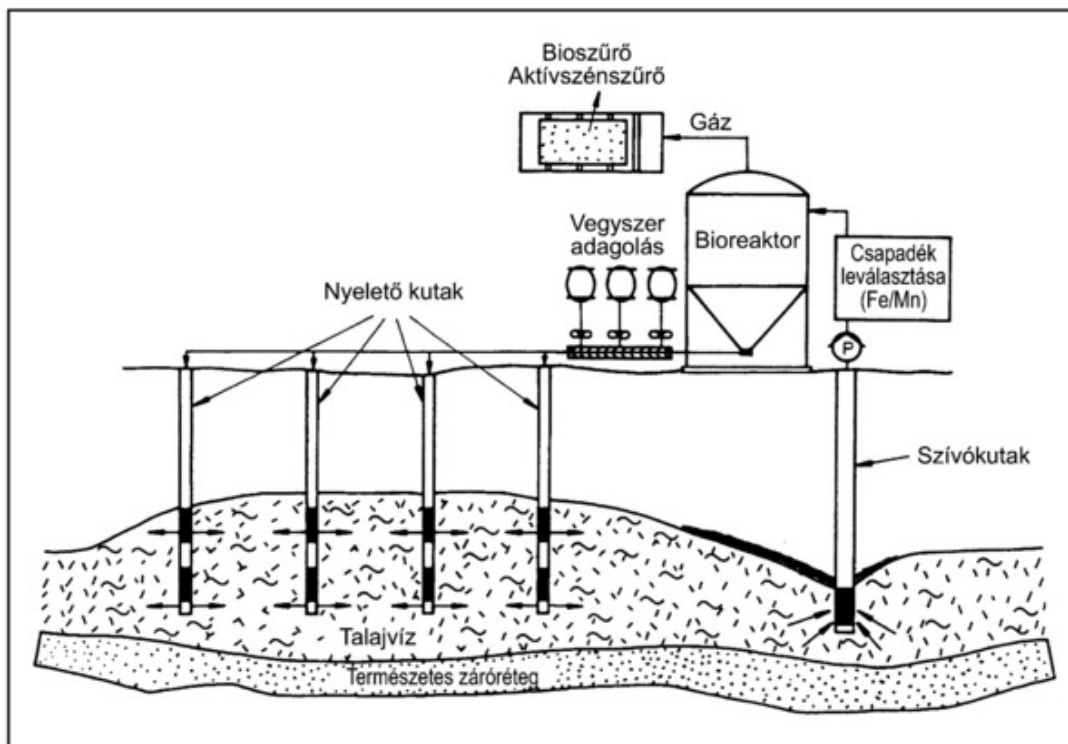
Az eljárás kizárólag a talajvíz feletti zónában lévő illékony szénhidrogének kilevegőztetésére szolgál. A feltárás során behatárolt szénhidrogén típusú szennyeződést levegőztető és elszívó „lándzsák” segítségével távolítják el. A rendszer mozgatását szívó-nyomó ventilátor egységek végzik. A **25. ábr** látható, hogy a szívóág a szennyezés fölött, míg a levegőztető ág a szennyezés alatt helyezik el. A szennyezett területet takaró fóliával védik a csapadékvíztől. Az elszívott levegőt bioszűrőn, majd aktívszén szűrőn vezetik keresztül.



25. ábra: Talajlevegőztetés a CARO eljárással

Vízfázis tisztító eljárás a SCHÜRFAG GmbH módszerével

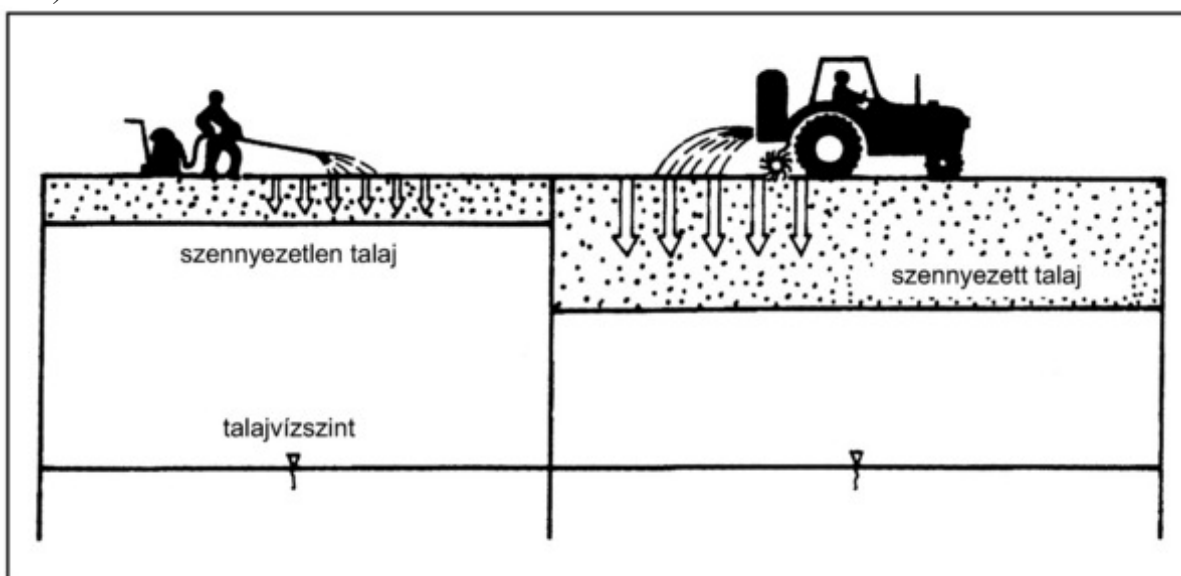
A **26. ábra** bemutatott eljárást akkor alkalmazzák, ha a talajvíz csak oldott szénhidrogén-szennyezést tartalmaz. Az eljárás lényege, hogy a szennyezett talajvíz nyugalmi szintje alá szívókutat, illetve nyelőkútsort telepítenek. A szívókútból kitermelt szennyezett talajvizet vas és mangántalanítón, majd egy bioreaktoron vezetik keresztül. A bioreaktorból távozó vizet különböző vegyszerek hozzáadása után a nyelő kútsoron keresztül visszanyomatják a talajba. A cirkuláció a víz és a talaj teljes, vagy igény szerinti megtisztításáig tart. Ha a talajvíz felszínén úszó olajfázis van, akkor egy fázisválasztó rendszer közbeiktatása is szükséges. Hasonló rendszert használ számos magyarországi kármentesítő cég is.



26. ábra: Nyelőkutak elhelyezése a SCHÜRFAG eljárás során.

Szénhidrogénnel szennyezett talajok kezelése land-farming(BIÖKÖR) eljárással

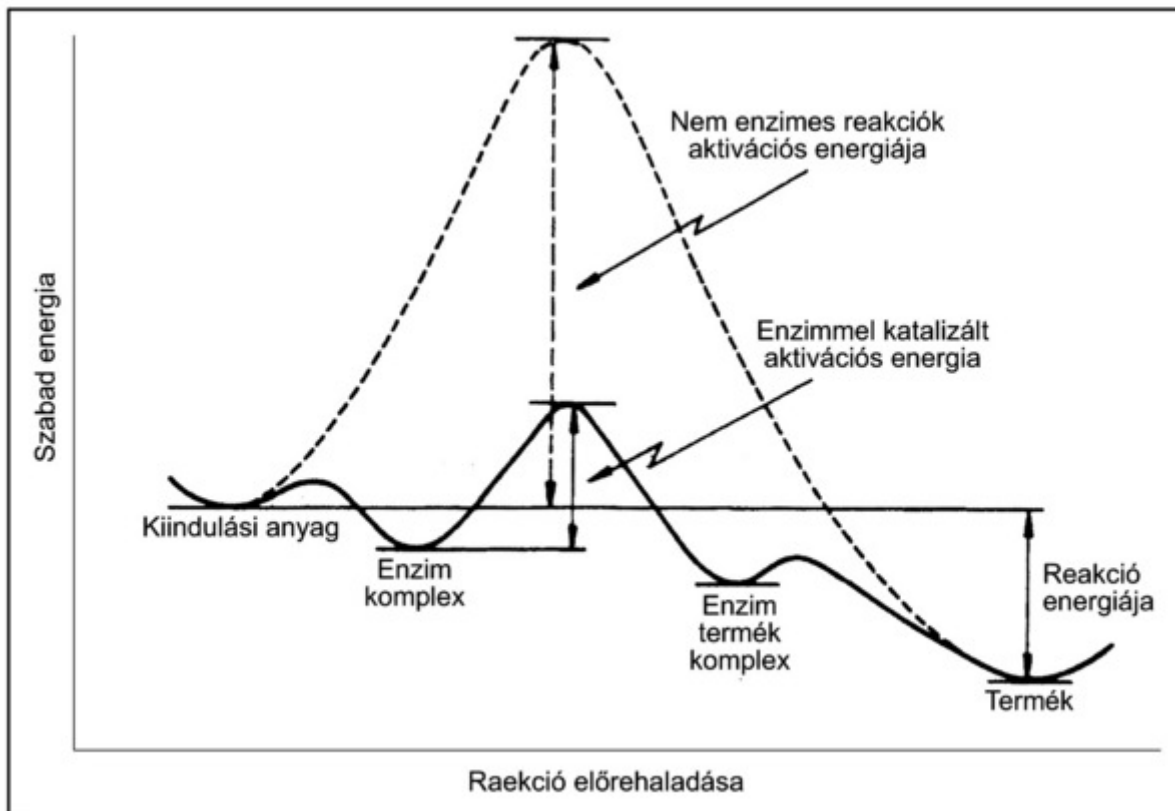
Az eljárás a felszín közeli talajrétegek megtisztítására alkalmazható, 5000 mg/kg szennyezettségi határértékig. A kezelendő területet *(ősszel vagy kora tavasszal)* 30–50 cm mélységű szántással fellazítják, N, P, K és a nyomelem tartalmú műtrágyát, szükség esetén helyszínen szaporított oltóanyagot juttatnak ki, majd boronálják. Május-június időszakában történik a fedő növényzet telepítése. A pillangós növényfaj kiválasztása a szennyezés mértékétől függ. Magasabb szennyezettségi koncentrációk esetében kétéves pillangósok kerülnek előtérbe. A technológiai folyamat a pillangósok beszántásával fejeződik be (27. ábra).



27. ábra: A BIKÖR land-farming eljárása.

Enzimkatalitikus eljárás (ELGOSCAR INTERNATIONAL Kft. módszere)

Hadiipari tapasztalatok alapján amerikai kutatók dolgozták ki egyes szennyezők enzimkatalizált dekontaminálását. Az ELGOSCAR INTERNATIONAL Kft. az USA-ból beszerzett enzimek segítségével a kőolaj származékok lebontását tudta megvalósítani in situ körülmények között, sőt klórozott szénhidrogénekkel szennyezett talajok kármentesítése területén is jó eredményeket ért el. Az ELGOSCAR technológia sémájának elvi energia diagramját a **28. ábra** mutatja.



28. ábra: Az enzim katalitikus reakciók szabadenergia változásai, elvi ábra.

Az enzim katalizálta folyamatok előnye a nagy reakciósebesség, az enzim a baktériumokkal szemben toxikus vegyületekre nem érzékeny, a hatása független a lebontandó szerves anyag koncentrációjától, a konkurens baktériumok nem rontják le egymás hatékonyságát, nem történik baktérium mutáció és tápanyag adagolás sem szükséges. A művelet elvileg ex situ is kivitelezhető.

15. A hulladék tározók kialakítása talaj- és talajvízvédelmi szempontból (Dr. Horváth Erzsébet)

Pannon Egyetem, Veszprém

15.1. Az elhelyezés fogalma, a lerakóhellyel szemben támasztott követelmények

A hulladékok felhasználását, másodnyersanyagként való alkalmazásukat, vagy a különösen környezetterhelő anyagok kevésbé veszélyes anyagokkal való helyettesítését a környezetszabályozás különféle gazdasági megoldásokkal ösztönzi. A hulladékok deponálása, ellenőrzött körülmények között való elhelyezése a hulladékkezelés végső művelete, amely során az adott ökonómiai viszonyok között a tovább nem hasznosítható anyagok a talajon vagy a talajban kerülnek elhelyezésre.

Rendezett lerakásról a települési szilárd és folyékony halmazállapotú hulladékok, iszapok és zagyok esetében akkor beszélhetünk, ha a hulladékokat (1) az adott környezetvédelmi- és közegészségügyi szabályozók betartásával, (2) meghatározott technológia szerint, (3) a talajon és/vagy talajban létesített természetes és/vagy mesterséges üregben helyezük el. A veszélyes hulladékok rendezett és biztonságos lerakása akkor valósul meg, ha a környezeti kockázatok minimalizálása érdekében a legszigorúbb környezetvédelmi előírások is teljesülnek. A rendezett lerakás/elhelyezés viszonylag egyszerű és a feldolgozáshoz/ártalmatlanításhoz képest olcsóbb, ebből adódóan elterjedtebb. A hulladék deponálók talajon/talajban, vagy mélyrétegekben kerülnek kialakításra. A hulladéklerakók tervezését környezeti hatásvizsgálatnak kell megelőznie, az előirt környezetszabályozás maradéktalan betartásának/betarthatóságának vizsgálata és ellenőrzése az illetékes hatóság feladata. Szükséges vizsgálni és elemezni továbbá az esetleges védekezési eljárásokat, megoldásokat is.

15.1.1. A hulladékok jellege, fizikai és kémiai jellemzőik

A hulladékokat környezeti hatásaik alapján (1) települési szilárd hulladékokra és iszapokra, (2) települési hulladékkal együtt kezelhető/lerakható termelési hulladékokra, valamint (3) veszélyes hulladékokra oszthatjuk. Az elhelyezést alapvetően a hulladék veszélyessége határozza meg. A vonatkozó rendelkezések szerint a hulladékok az I., II., és III. csoportba sorolhatók. Az I. csoportba tartozók a legveszélyesebb hulladékok, elhelyezésük során a legnagyobb biztonsági előírásokat kell betartani illetve ezek megvalósítására kell törekedni. A III. csoportba tartozók a megfelelő természetes és műszaki védelemmel ellátott települési hulladéklerakókban is elhelyezhetők.

A veszélyes hulladékok esetében figyelembe kell venni továbbá (1) a hulladék toxicitását, (2) halmazállapotát, (3) mennyiségét, (4) fizikai-kémiai tulajdonságait, úgy mint viszkozitás, sűrűség, oldhatóság, gyulladáspont, sav/bázis tulajdonságok, (5) a kémiai összetételt és (6) a csomagolás módját. Az „A” tűzveszélyességi osztályba sorolt, az egymással vagy önmagukban is reakcióképes, a gyorsan bomló illetve a biológiailag lebomló szerves anyagokat tartalmazó veszélyes hulladékok, a fertőző, továbbá a vizes és folyékony szerves közegű veszélyes hulladékok deponálása nem megengedett.

15.1.2. A lerakóhely elhelyezkedése, a lerakás körülményei

A lerakóhelyet több szempont figyelembevételével illetve optimalizálásával célszerű kijelölni/kialakítani. Ezek közül a legfontosabbak:

- a terület nagysága, befogadóképessége, bővítési lehetőségei; (legalább 25 éves időtartamot figyelembe véve)
- a gyűjtőhelyekről való megközelíthetőség;
- potenciális szennyezési forrásként való viselkedés miatt a természetes vizekhez és a közművekhez való közelség, különös tekintettel az ivóvízre és az energiahálózatra;
- a környezetbe való illeszthetőség lehetőségei;
- a lerakás előtti válogatás, komposztálás, beágyazás (*fixálás*), szárítás kialakításának lehetőségei;
- a tárolás biztonságát javító speciális csomagolás lehetősége, egy későbbi időpontban való továbbfelhasználás/ártalmatlanítás érdekében.

15.1.3. Környezetvédelmi követelmények

A lerakóhely kiválasztása során alapvetően a hatályos jogszabályok szerint kell eljárni. A hely kiválasztásakor a környezeti hatástanulmánynak az alábbi szempontokat kell figyelembe venni:

- a terület ökológiai adottságait,
- a levegő, a víz, a talaj/föld/termőföld, az ásványvagyron, a természet- és a tájvédelmi követelmények, előírások;
- az erdők rendeltetésszerű használatának követelményei,
- közegészségügyi előírások,
- területfejlesztési szempontok, valamint az önkormányzatok településrendezési terveiben foglalt rendelkezések.

Az EU szabályozást a COM (97) 0105 Final-Syn 97/005 számú előírás foglalja össze és három lerakóhely típust kérdéskörével és a lerakóhelyek három típusát különbözteti meg. Ezek (1) veszélyes hulladékok, (2) nem veszélyes (*települési*) hulladékok, valamint (3) inert hulladékok (*építési törmelék stb.*) lerakóhelyei. Az irányelv a települési hulladékok tekintetében 2010-ig célszámokat fogalmaz meg országos viszonylatban, a lerakóhelyekre kerülő, biológiai úton bontható települési hulladékok összes mennyiségére vonatkozóan. A célkitűzés arra irányul, hogy a deponálásra kerülő hulladék mennyisége csökkenjen a szelektív gyűjtés, az égetés, a komposztálás, a biogáz-előállítás és egyéb hulladékhasznosítási technológiák arányának növelésével.

15.1.4. A hulladéklerakók tervezési szempontjai

Települési szilárd hulladéklerakó kialakítására alkalmatlanok az (1) ivó-, gyógy-, és ásványvíz bázisok védőterületei, (2) a felszíni vizektől 200 m-es távolságban lévő területek, (3) árvízveszélyes és árvízvédelmi töltésen belüli területek, (4) kiemelten védett természeti értékek (*barlangok, nemzeti parkok*) és védőterületeik, (5) kiemelten védett levegőtisztaság védelmi kategóriába sorolt területek, (6) repülőterek és védőterületeik.

A magas talajvízállású területeken (*pl. nádasok, belvizes illetve belvíz veszélyes területek*), jó vízelvezető képződményekben kialakított kavics- és homokbányákban illetve üregekben, repedezett kőzetekben lévő felhagyott bányagödrökben (*pl. mészkő és dolomitbányák*), a vízbázisok védőterületein, valamint felszíni szennyezésekre érzékeny talajú területeken települési szilárd hulladékot csak műszaki védelemmel ellátott lerakókban lehet elhelyezni.

A műszaki védelemmel rendelkező lerakók kötelezően az alábbi technológiai építményekkel rendelkeznek:

- a lerakóhely medence kialakítású, aljzat- és oldalfal szigeteléssel rendelkezik;
- a csapadék- és a szivárgó víz gyűjtő, ellenőrző és kezelő berendezéssel rendelkezik;
- az üzemeltetés biztonságát kerítés, védőerő sáv, kommunikációs kapcsolat, számítógépes nyilvántartás, helyszíni ellenőrző laboratórium, baleset és kármegelőzési/kárelhárítási terv szolgálja;
- a lerakó területén lévő közlekedési és szervíz utak, közművek, szociális helyiségek és karbantartó/javító műhely kiszolgálják az alaptevékenységet;
- a potenciális lezáráshoz szigetelési és vízelvezetési rendszer áll rendelkezésre;
- a beérkező hulladék mennyisége (*pl. tömegre*) kontrollált;
- a folyamatos ellenőrzést biztosító monitoring rendszer biztosítja.

A terület kiválasztása

A lerakó helyének megválasztásakor a hulladék jellegét (*kommunális vagy veszélyes*), valamint a legalább 25 éves távlatban elhelyezendő mennyiségét szükséges definiálni. Ez a két paraméter már meghatározza a kiválasztandó terület nagyságát és a vele szemben támasztott geológiai, földtani és hidrológiai elvárásokat. Kommunális lerakók esetében a talajvíz mélysége, áramlási iránya, talaj összetétele (*morfológia*), valamint a talajfizikai jellemzők a legfontosabbak, különös tekintettel a vízáteresztő-képességi tényező (*k érték*) alakulására.

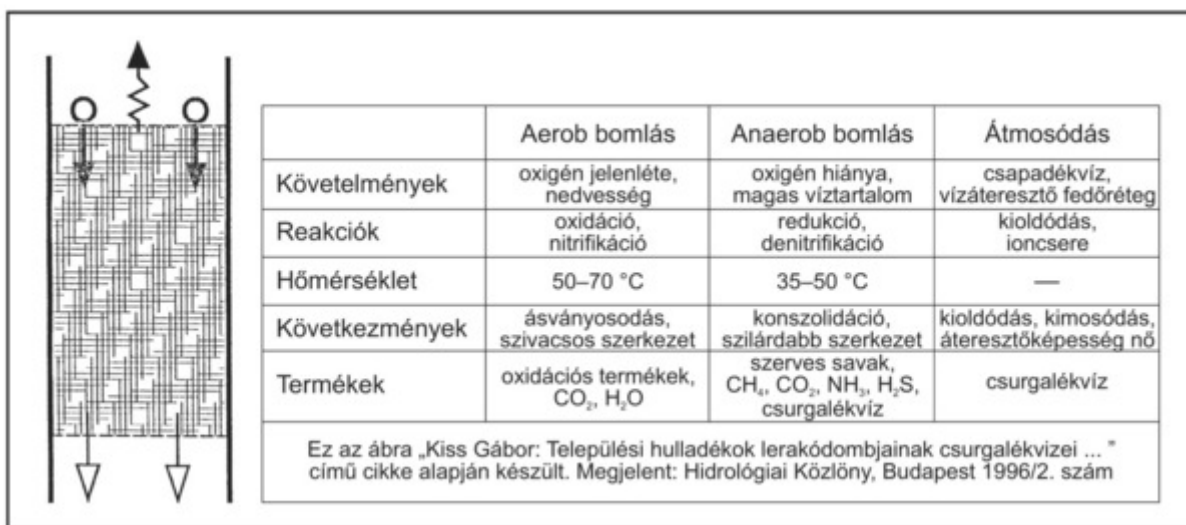
A veszélyes hulladéklerakók kialakítására alkalmas területek kiválasztásához már lényegesen több információ szükséges, ezek közül a legfontosabbak:

- geomorfológiai viszonyok: talaj megcsúszás illetve az eróziós veszély elkerülése, valamint a tároló kialakítása és üzemeltetése szempontjából előnyösebb közel sík vagy enyhe lejtésű terület;
- az elhelyezésre alkalmas területen a talaj/közettest térbeli kiterjedése, vertikális, horizontális homogenitása; kedvező, ha a talaj/közettest homogén és kiterjedése lehetővé teszi a kívánt méretű és a megfelelő szivárgási tényezőjű hulladéktároló kialakítását;
- közettani és ásványi összetétel: a tároló közetanyaga és az elhelyezett hulladékok között nem jöhetnek létre olyan kölcsönhatások, amelyek szivárgást idéznek elő; a nagy agyagásvány tartalmú, kötött talajok adszorpciós és vízzáró tulajdonsága, valamint a szemcseméret/tömörödöttség a hulladék migrációját megfékezi;
- hidrológiai és hidrogeológiai tulajdonságok: kedvező, ha a csapadékvíz nem mossa be a mélyebb rétegekbe a szennyezést, ha a talajvíz mélyen helyezkedik el, ha az esetleges szivárgás nem veszélyeztet ivóvizeket vagy élővizeket, valamint ha megoldható a csapadékvíz felszíni elvezetése;
- modellszámításokkal, geoinformatikai eszközökkel célszerű meghatározni a szennyező anyagok várható mozgását a talajban, becsülni kell a lerakóhely hatását a környezetre, az alternatív műszaki megoldások környezeti hatásait modell szinten kell összehasonlítani; fel kell tárnai az esetleges környezet-egészségügyi hatásokat.

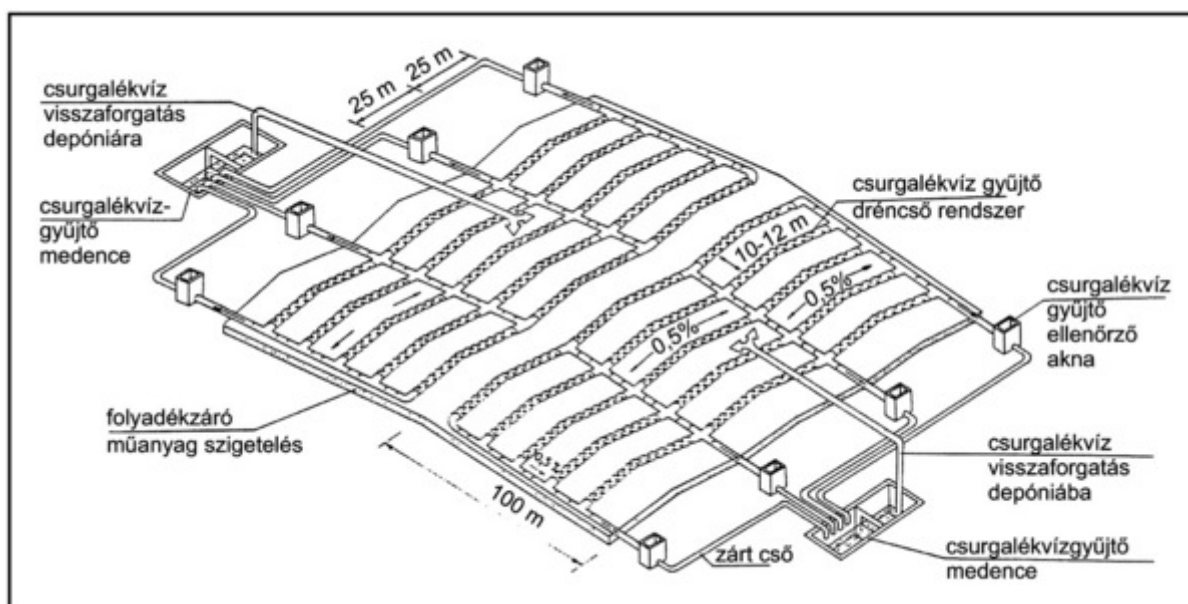
A hulladéklerakókban végbemenő folyamatok

A lerakót a szivárgó víz és a keletkező gázfázisú anaerob bomlástermékek (*depóniagáz*) hagyják el.

A szilárd halmazállapotú települési hulladékot tartalmazó lerakókban igen összetett fizikai, kémiai és biológiai folyamatok mennek végbe, amelyek hatással vannak a tervezésre és az üzemeltetésre is. (29. ábra- 32. ábra)



29. ábra: A hulladéktestben lezajló folyamatok

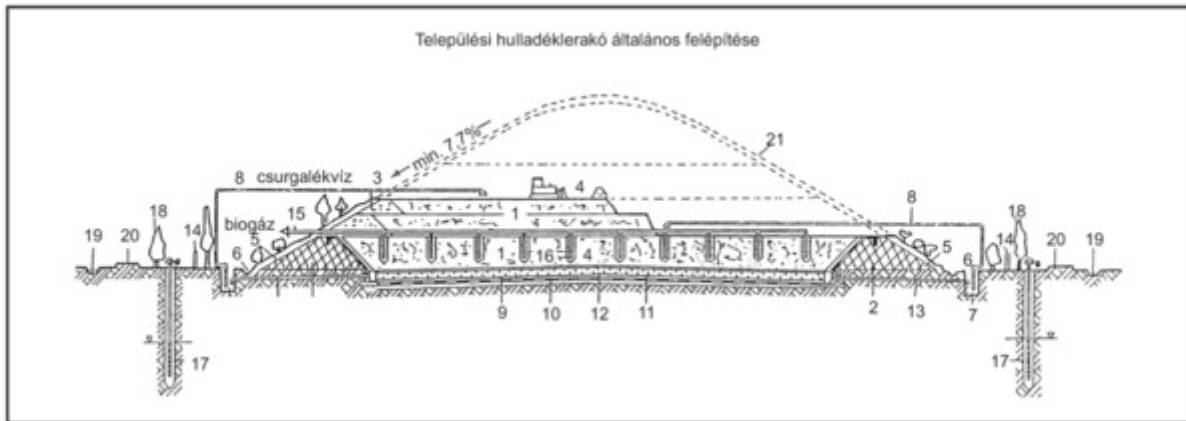


30. ábra: A hulladéklerakó csurgalékvizét elvezető rendszer kialakítása

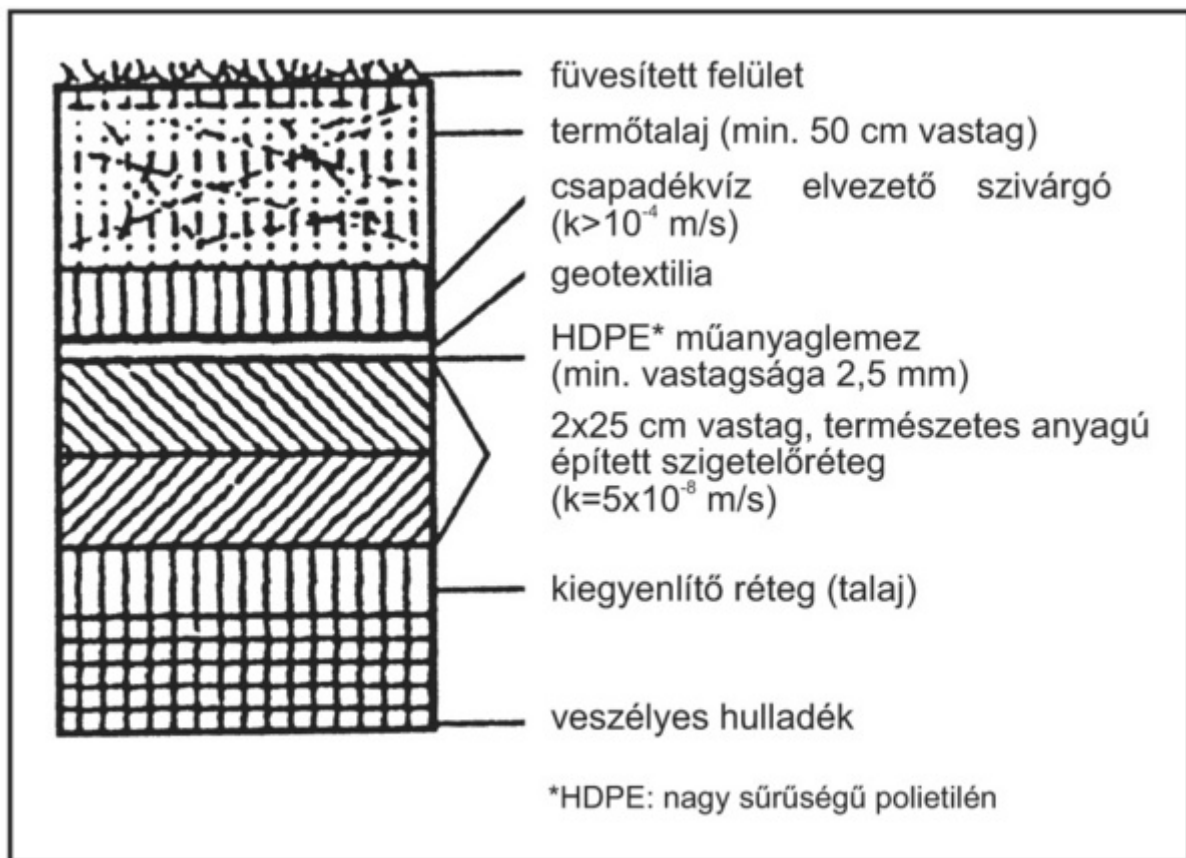
A lerakóban időben egymást követő, nagyjából öt elkülöníthető leépülési fázis megy végbe:

(1) a lerakást követően a hulladék szerves alkotói a még jelenlévő oxigénnel széndioxiddá és vízzé alakulnak, (2) az első anaerob fázisban az erjesztő és acetáló baktériumok aktivitása megnő, folyékony zsírsavak, széndioxid és hidrogén keletkezik, a keletkező savak vízzeloldhatóvá teszik a nehézfémeket, (3) a további anaerob folyamatban megnő a metánképző baktériumok aktivitása, (4) a metánképződés stabilizálódik és a folyékony zsírsavak aránya nő, (5) csak a nehezen leépülő szerves anyagok maradnak vissza, nitrogén és oxigén diffundál az atmoszférából a depóniatestbe.

Bár a bomlás kezdeti szakasza aerob, később már az anaerob folyamatok dominálnak, melyhez 50–60%-os nedvességtartalomra van szükség.



31. ábra: Egy települési hulladéklerakó elvi felépítése



32. ábra: A hulladéklerakó felső, záró szigetelése

A képződött csurgalékvíz mennyiségét több tényező is befolyásolja. Ezek közül a depónia kialakítása, a lerakás során elérhető tömörség, a lerakott hulladék jellege (*szilárd hulladék és szennyvíziszap aránya*), a csapadék- és párolgási viszonyok a legfontosabbak. A depóniatesten átszivárgó csapadék, csurgalék vagy szivárgó víz oldja a depónia anyagát és különböző bomlástermékekben feldúsul. A szivárgó víz szennyezettsége napi és időbeni (*a hulladéktest kora!*) ingadozásokat is mutat. Szerves szennyezők tekintetében a 10000 mg/l KOI érték sem ritka, a szerves szennyezők mennyisége (*ammónia, kloridok, vas és mangánvegyületek stb.*) is lényegesen meghaladja az átlagos városi szennyvizékét.

A biogáz vagy depóniagáz a szerves anyagok bomlásakor keletkezik, zömében anaerob körülmények között. A települési szilárd hulladéklerakó lényegében egy természetes, nagytérfogatú bioreaktor, amelyben az anaerob folyamatok dominálnak. A kommunális

lerakóhelyeken keletkező biogáz minősége a hulladékok összetett jellege miatt természetszerűen eltér az egyéb hulladékok anaerob erjesztése során keletkező biogázokétól, ezért a depóniagáz elnevezés helytállóbb.

Általában a depóniagáz 40–60% metánt, 40–60% szén-dioxidot, 0,1–2% szénmonoxidot és nitrogént, valamint ppm (mg/l) nagyságrendben kén-hidrogént, illékony zsírsavakat, merkaptánokat és indolt, tartalmaz. Természetesen, a gázban vízgőz is jelen van.

A depóniagáz égés és robbanásveszélyes (metán!), bűzös (kén-hidrogén, merkaptánok!), valamint aknában, zárt terekben balesetveszélyes (kiszorítja az oxigént!).

A kén-vegyületek jelenléte korróziót okoz, így a depóniagáz csak tisztítást követően hasznosítható.

A depóniagáz képződési folyamata egy sajátos lebomlási görbét ad, melynek időbeni lefutása nem ritkán a lerakóhely lezárása után 25–30 évig is eltart. Az elméletileg képződő mennyiség a szerves hulladékrész bomlásából és a tényleges mérések alapján számolható. A két érték között jelentős eltérés lehet. Az elméleti számítások alapján a hulladék összetétel függvényében a mennyiség 40–300 m³/t szemét között alakul, azonban a ténylegesen kinyerhető gázmennyiség ennél lényegesen kevesebb, átlagosan 2–3 m³/t szemét évente. Ezért a depóniagáz felhasználásának/hasznosíthatóságának gazdaságossága már a tervezés fázisában figyelembe veendő.

Míg a települési hulladék lerakók lényegében egy nagytömegű bioreaktorok, ***a veszélyes hulladéklerakókban*** (kivéve a szerves monodepóniákat, pl. szennyvíziszap) csak kismértékű térfogatváltozás, tömörödés, minimális gázképződés (az esetleges oldószer stb. maradékokból), illetve az anyag szerkezeti átalakulása, öregedése megy végbe.

A lerakóhelyek víz elleni védelme

Mivel a depóniában végbemenő folyamatok többféle és nagymennyiségű vízzeloldható vegyületet eredményeznek, ***a lerakók víz elleni természetes és műszaki védelme rendkívül fontos.*** Ezek a műszaki megoldások megakadályozzák, hogy csapadékvíz jusson a hulladéktestbe és a szennyezett szivárgó-víz bekerüljön a lerakó alatti talajrétegbe és a talajvízbe. Ennek érdekében (1) a terep megfelelő rendezésével kedvező lefolyási viszonyokat kell kialakítani, (2) a lerakó körüli vizek rá- és elfolyásának megakadályozására csapadékvíz elvezető övárkot kell kialakítani, (3) a lerakó kazettákat megfelelő nagyságúra kell tagolni és a veszélyes hulladéklerakókat fedni kell, (4) a lerakót megfelelő szigeteléssel kell ellátni, (5) a szivárgó vizeket össze kell gyűjteni és kezelni kell, (6) monitoring rendszert kell kiépíteni és üzemeltetni, (7) a lerakóhely lezárását követően rekultiváció és utógondozás szükséges.

A tároló terület tereprendezése során kialakított lejtési viszonyok és a felszíni vízrendezés kizárja annak lehetőségét, hogy a csapadékvíz egy része felszíni vízfolyások formájában bejusson a tárolóba. A külső vízelvezető övárkok pedig a távolabbról jövő csapadékvíznek a lerakóhely környezetébe való jutását akadályozza meg. A tárolók mellett kialakított belső vízgyűjtő rendszer gyűjti össze a tárolók felületére és közvetlen környezetbe lehulló csapadékokat.

A lerakók szigetelése

A mesterséges vagy természetes szigeteléseknek a szivárgó rendszerben lévő anyagokkal való hosszú idejű kölcsönhatásairól megbízható vizsgálati eredmények még nem állnak rendelkezésre. Ezért nagyon fontos, hogy a lerakót lehetőség szerint csak olyan anyagok terheljék, amelyeket a szigetelő rétegek biztonságosan vissza tudnak tartani. A szigeteléssel szembeni elvárások:

- biztosítson teljes védelmet a szivárgó vízzel szemben,
- legyen tartós és flexibilis, viselje el a hőmérsékletváltozásokat,
- legyen ellenálló a kémiai, biológiai, illetve mechanikai hatásokkal és az időjárás változásokkal szemben,
- könnyen beépíthető és javítható és olcsó legyen.

A lerakók szigetelésére a természetes agyagásványokat elterjedten alkalmazzák Vízzáró és duzzadó képességük, nagy puffer kapacitásuk, ioncserélő és adszorpciós tulajdonságaik miatt széles körben alkalmazott természetes szigetelőanyagok. Vízáteresztő képességük 10^{-6} – 10^{-8} cm/s érték között változik. Ez azt jelenti, hogy a vízmozgás sebessége az agyagban nem haladja meg a néhány centimétert évenként. Az egyes anyagféleségek eltérő fizikai és kémiai viselkedése az agyagásványok szerkezeti különbségével magyarázható. Ennek függvényében változik az agyag adszorpciós kapacitása és duzzadóképesége. Az agyagok szigetelőanyagként való felhasználásához elsősorban az ásványi összetételt, az ioncserélő kapacitást, a természetes víztartalmat, a plastikus indexet, a duzzadóképeséget, a beépítés után várható vízáteresztő-képességet és térfogatsűrűséget veszik figyelembe. Az agyag alkalmazásának nagy előnye az is, hogy a szigetelőréteg kialakítása a mélyépítésben használatos munkagépekkel megoldható.

Az egyik leggyakrabban használt agyagásvány a bentonit, mely túlnyomó részt montmorillonitot tartalmaz. Nagy duzzadóképesége miatt jól kitölti a pórusokat és repedéseket, vízszivárgás hatására önzáró szigetelőanyagként viselkedik. A bentonitot ma már nemcsak a helyszínen ömlesztve és hengerelve lehet elhelyezni, hanem tekercsben szállított ún. bentonitpaplan szigetelőként, fóliaként is lerakható.

A bitumen, valamint a belőle készült aszfalt-szigetelések vízáteresztő képessége igen kicsi, 10^{-8} – 10^{-9} cm/s érték között változik. Emellett azonban számos olyan hátrányuk van, amely csökkenti a szigetelés tartósságát. A hulladék térfogatának változása során a szigetelőrétegen repedések keletkeznek, amelyek nem önzáróak. Továbbá a szerves oldószerek nagy része oldja a bitument, amit az elhelyezhető hulladékoknál figyelembe kell venni.

A betont széles körben alkalmazzák tárolók szigetelőanyagaként. Vízáteresztő képessége 10^{-2} – 10^{-4} cm/s között van. Az aránylag nagy áteresztőképesség különféle adalékanyagok bekeverésével és védőbevonatokkal növelik a szigetelés hatékonyságát. Védőbevonatként gyakran alkalmaznak bitument, epoxi- és egyéb műgyantákat. Ez utóbbiak használata a vízzáróság növelésén kívül még avegyszerállóságot is növeli.

A polietilén, PVC, poliészterek és a butil-kaucsuk típusú műanyagok a rendkívül alacsony vízáteresztő képességük miatt kiválóan alkalmasak a lerakók szigetelésére. Kedvező tulajdonságuk az is, hogy a legtöbb vegyszernek ellenállnak. Rendszerint fóliaként kerülnek felhasználásra, minimális vastagságuk 2 mm, lerakásuk során hegesztési varratokkal a helyszínen illeszthetők. A gyors és kezelhető technológia miatt alkalmazásuk egyre elterjedtebb. Ugyanakkor komoly hátrányt jelent az, hogy szakadás, repedés esetén a szigetelés az adott helyen megszűnik. Ezt a szigetelőréteg alatti réteg tömörítésével, másrészt a fóliára helyezett finom kavicsréteg illetve adalékolás segítségével igyekeznek kivédeni. Az esetleges helyi meghibásodás gyors hatékony észlelésére ma már olyan fóliák is hozzáférhetők, amelyek a beépített elektromos érzékelők segítségével kijelzik, ha sérülés történt.

A szigetelőanyagok áteresztőképességének tesztelése igen körültekintő és időigényes munkát kíván. Fontos továbbá a szakítószilárdság, az alakíthatóság, a hegesztési helyek vízzáró-

képességének és tartósságának ismerete, az öregedési tulajdonságok, valamint az ellenálló képesség a kémiai hatásokkal szemben.

A szigetelés úgy is kialakítható, ha a talaj porozitását csökkentik. Ez bizonyos vegyszerek helyszíni adagolásával és bedolgozásával elérhető (*vízűveges szigetelés, kolloidkémiai eljárások*). Előnyük a viszonylagos olcsóságuk.

A szigetelőréteg természetesen *több módszer kombinációjával* is kialakítható.

A szigetelés biztosítja, hogy a hulladéklerakók működése során a lerakott hulladékon átszivárgó csapadékvíz, valamint a hulladék bomlásából keletkező víz a talajba, illetve talajvízre ne juthasson. Ugyanakkor ennek összegyűjtéséről és eltávolításáról folyamatosan gondoskodni kell. Ezt drénrendszer és csőhálózat kiépítésével lehet biztosítani, amelyet a szigetelőréteg felett, megfelelő lejtéssel helyeznek el és a keletkező szivárgó vizet aknába, zsompokba gyűjtik össze, kezelik, majd visszajuttatják a depónia tetejére.

A lerakók vízháztartása kétféleképpen ellenőrizhető. A települési és a veszélyes hulladéklerakók esetében megfelelően telepített figyelőkút rendszer alkalmazható. Veszélyes hulladéklerakók esetében ezt a megoldást ki kell egészíteni a szigetelőréteg esetleges meghibásodását jelző rendszerrel.

Megjegyzendő, hogy a figyelőkutak telepítése vízjogi engedély köteles. Ezek elhelyezését és mennyiségét a környezeti hatásvizsgálat és a hatóságok állásfoglalása alapján lehet kialakítani.

16. Az ökológia, mint tudományterület (Pestiné dr. Rác Éva Veronika)

Széchenyi István Egyetem, Győr

Az ökológia a környezetvédelem igen fontos, és a természetvédelem kétségkívül legfontosabb alaptudománya. Az ökológia a biológia tudomány szupraindividuális (azaz egyedfeletti szerveződési szinteken vizsgálódó) ágának egy részterülete. Élőlények csoportjainak elhelyezkedési mintázatával, környezetükhöz való viszonyával foglalkozik.

Az ökológia szó jelentése mást takar az angolszász és a kontinentális európai és a magyar szakirodalomban. Mind az ökológia tudomány, mind pedig annak legfontosabb fogalmainak pontos definiálásában máig nincs teljes egyetértés, sőt a szakirodalmon kívül sokszor divatszóként is használják. Az ökológia körüli fogalmi zűrzavar kialakulását és tisztulását a tudomány történetében követhetjük nyomon.

16.1. Az ökológia története

Az ökológia mint elkülönült, ekképpen elnevezett tudományág igen fiatal. Magát az ökológia kifejezést 1866-ban alkotta meg Ernst Haeckel, és még nagyjából további három évtized kellett a tudomány tényleges megszervezésére. Ezt jóval megelőzve azonban számos, máig fontos elmélet fogalmazódott meg és temérdek ökológiai ismeret gyűlt össze.

Az első ökológiai felismerések, elméletek és alkalmazások egészen az ókorból erednek. Az ökológia – több természettudománnyal együtt – századokon át fejlődött a természetrajz (natural history) keretein belül, és csak viszonylag későn vált önállóvá. Sok, az ökológia altudományának tekinthető tudományág hamarabb megjelent (pl. parazitológia, limnológia, növény- és állatökológia) és többé-kevésbé függetlenül fejlődött (Egerton 2001, 2008).

Az ökológia-tudomány történetének részletes ismertetése helyett csupán néhány fontos mérföldkövet emelünk ki (**15. táblázat**).

15. táblázat: Az ökológia történetének mérföldkövei (*életrajzi adatok Egerton 2001-2011, McIntosh 1985, Keller&Golley 2000*)

Időszak	Szerző	Elméletek, eredmények, művek
Kr. e ~484 —425	Hérodotosz görög történetíró	Beszámol fajok mutualisztikus kapcsolatáról. Biológiai egyensúly koncepciója megjelenik írásában.
Kr. e. 427–348/7	Platón	szuperorganizmus elképzelés
Kr. e. ~371 – ~287	Theophrasztosz görög filozófus, természettudós Arisztotelész tanítványa, Lúkeion vezetésében utódja	<i>De Causis Plantarum</i> (A növények okairól): növények talajból, vízből táplálkoznak, megporzás szerepe és mikéntje, parazitizmus leírása
~23–79	Caius Plinius Secundus római író, polihisztor.	<i>Naturalis historiae</i> – enciklopédia, egészében fennmaradt
980–1037	Ibn Szina (Avicenna) perzsa természettudós	<i>Kitab al-Sifá</i> (Gyógyítás könyve) – filozófiai és természettudományos enciklopédia
673–1050	Al Biruni arab geográfus	<i>India</i> – elsősorban földrajzi tárgyú könyve, de ökológiai megjegyzéseket is tartalmaz: korlátlan növekedés, fajok terjedése
1194–1250	Hohenstaufen II. Frigyes Szicília és Dél-Itália királya	<i>De Arte Venandi cum Avibus</i> (Madarakkal vadászás művészete) – solymászat, madarak viselkedése
~1200–1280	Albertus Magnus skolasztikus német teológus, filozófus, polihisztor	<i>Liber de natura locorum</i> (Földrajz), <i>De vegetabilibus libri VII</i> (növénytan), <i>De animalibus libri XXVI</i> (állattan) átfogó enciklopédiák
1522–1605	Ulisse Aldrovandi italiai természettudós	13 gazdagon illusztrált természetrajzi témájú kötet; biológiai egyensúly elméletének felelevenítése és kiterjesztése növényekre, a természetrajz atyja Linné és Buffon szerint
1516–1565	Konrad Gessner svájci természettudós	<i>Historia animalium</i> (5 kötet), <i>Historia plantarum</i> (befejezetlen) illusztrált enciklopédiák, az ókori tudás összegzése
1620–1674	John Graunt angol kereskedő, demográfus	<i>Natural and Political Observations Made upon the Bills of Mortality</i> statisztikai értekezés halálozási adatok alapján, a demográfia megalapozója, élettáblák – túlélési valószínűségek
1609–1676	Sir Matthew Hale angol ügyvéd, polgári ügyek legfőbb bírása	<i>The Primitive Origination of Mankind, Considered and Examined According to the Light of Nature</i> (1677) emberi és állati populációk demográfiája - becslések

1626–1698	Francesco Redi, italiai orvos, természettudós	kontrollas kísérlet feltalálója, cáfolta az ősnemzés (spontán generáció) tanát, paraziták életciklusát vizsgálta
1623–1705	John Ray angol természettudós, természettudós	A természetrajznak növény- és állatfajok azonosításán kell alapulni, fajokat megtalálási helyükkel együtt rögzíti, számos ökológiai megfigyelés, pl. évgyűrűk és a fák kora.
1632–1723	Antoni van Leeuwenhoek holland kereskedő	mikroszkopikus élet vizsgálata; spermiumok felfedezése, paraziták vizsgálata, kártevők szaporodására kísérlet és számítás (elméleti növekedési ráta), tápláléklánc vizsgálata
1688–1732	Richard Bradley angol botanikus	növények és állatok produktivitása és tápértéke, „minden élőlény függ a többiektől”
1683–1757	Rene-Antoine Frechault Réaumur francia természettudós, entomológus	<i>Mémoires pour servir à l’histoire des insectes</i> . (6 kötetes rovaratan), hőmérséklet hatása a rovarok fejlődésére, entomofág paraziták leírója, rovarok viselkedése - etológia
1707–1778	Carolus Linnaeus (Linné), svéd természettudós, taxonómus	ökológiai tudományok (oeconomia naturae = természet ökonómiája) elmélet, a növényföldrajz atyja; növények terjedése, élőhelyek karakterisztikus fajtái, szukcesszió
1707–1788	Georges-Louis Leclerc Comte de Buffon, francia tudós, enciklopédista	<i>Histoire naturelle, générale et particulière</i> (36 kötet) különböző területek élővilága különböző, hasonlóságok oka korábbi szárazföldi összeköttetés – biogeográfiai gondolatok, fajok megváltozhatnak
1766–1834	Thomas Robert Malthus angol lelkész, demográfus	<i>An Essay on the Principle of Population</i> (Tanulmány a népesedés elvéről) korlátozás nélkül a népesség geometriai haladvány szerint növekszik, míg az élelem csak számtani haladvány szerint
1769–1859	Alexander von Humboldt német természettudós, felfedező	vegetáción alapuló biogeográfia, asszociációk, életforma-felosztás, magashegységi zonalitás
1815–1854	Edward Forbes, Jr	tengeri gerinctelenek leírása, élőhelyzónák elkülönítése tengerekben
1809–1882	Charles Robert Darwin angol természettudós	<i>Journal of Researches</i> (Egy természettudós utazásai): számos faj ökológiai leírása, hasonló fajok összevetése, betelepített fajok hatása az Újvilágban és szigeteken, korallzátonyok kialakulásának elmélete. <i>A fajok eredete</i> : az evolúciós ökológia megalapozása
1825–1908	Karl August Möbius német zoológus, anatómus	<i>Die Auster und die Austernwirtschaft</i> (Az osztriga és az osztrigatelep) biocönózis kifejezés, növények és állatok egy biotikus közösséget alkotnak, az emberi zavarás megváltoztatja az életközösséget, fajok kihalásához is vezethet

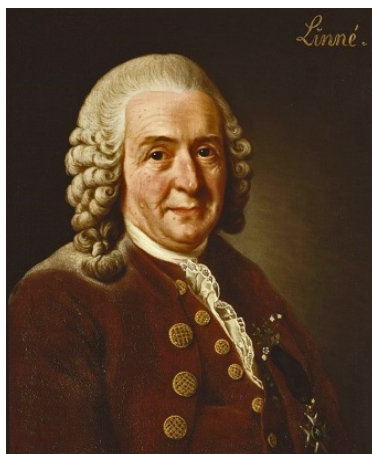
1834–1919	Ernst Haeckel német zoológus	<i>Generelle Morphologie der Organismen</i> (Az élőlények általános testfelépítése): ökológia kifejezés és első definíciói
1841–1924	Johannes Eugenius B. Warming dán botanikus, ökológus	<i>Plantesaamfund</i> (Növényökológia) – első ilyen tárgyú egyetemi tankönyv Elsősorban az abiotikus faktorok szerepét hangsúlyozta a növények elterjedési mintázatának okaként.
1844–1930	Stephen Alfred Forbes amerikai zoológus	<i>The Lake as a Microcosm</i> édesvízi ökoszisztémák vizsgálata
1841–1912	François Alphonse Forel svájci zoológus	Genfi-tó vizsgálata, kutatását limnológiának nevezte
1925-26	Vito Volterra (1860–1940) olasz matematikus, fizikus és Alfred J. Lotka (1880–1949) amerikai statisztikus	matematika konceptuális alkalmazása a biológiában ragadozó-zsákmány modell populációdinamikai oszcilláció magyarázata
1874–1945	Frederic Edward Clements amerikai növényökológus	szukcesszió tanulmányozása: klimax felé tart; szuperorganizmus elmélet az életközösségekben a növényeknek és állatoknak egyformán fontos szerepe van
1877–1968	Victor Ernest Shelford amerikai zoológus, állatökológus	környezeti tényezők hatása állatközösségekre, populációk toleranciatartománya – tolerancia-törvény Clements & Shelford (1939): Bio-ecology: könyvük megpróbálja egyesíteni a növény- és állatökológiát
1871–1955	Sir Arthur George Tansley angol botanikus	ökosziszéma és ökotóp fogalmának megalkotója British Ecological Society alapítója
1882–1960	August Friedrich Thienemann német zoológus, ökológus, limnológus	észak-németországi tavak gerinctelen faunája, összehasonlítás indonéziai tavakkal tavakat a környékükkel és történetükkel együtt kell vizsgálni
1882–1975	Henry Allan Gleason amerikai botanikus, ökológus	<i>The Individualistic Concept of the Plant Association</i> – individualista elmélet a növényközösségek szukcessziójára ($\leftrightarrow$ Clements), a növényközösségek egyediek és véletlen folyamatok befolyásolják asszociáció fogalma

1900–1991	Charles Sutherland Elton angol zoológus, ökológus	<i>Animal Ecology</i> – Állatökológia: táplálékláncok, számok piramisa, ökológiai niche özönfajok hatásának vizsgálata
1903–1991	George Evelyn Hutchinson angol-amerikai zoológus	modern limnológia megalapozója, modern ökológia alapkérdései: miért van olyan sok faj, plankton-paradoxon
1913–2002	Eugene P. Odum (1913–2002) és Howard T. Odum (1924–2002)	<i>Fundamentals of Ecology</i> – ökológia tankönyv ökoszisztéma ökológia IBP
1930–1972	Robert Helmer MacArthur amerikai ökológus	modern populációbiológia és elméleti biológia E.O. Wilson & MacArthur: <i>The Theory of Island Biogeography</i> – a szigetbiogeográfia elmélet

Az emberiség már az ókorban tisztában volt bizonyos ökológiai ismeretekkel. A korai görög tudomány felvetett olyan gondolatokat, amelyeket ma kifejezetten ökológiai gondolunk. Ilyen a biológiai egyensúly (balance of nature) elmélete, ami már Hérodotosz és Theophrasztoz írásaiban fellelhető. Bár a hellenisztikus kor és a római kultúra nem járult hozzá jelentősen az ökológiát előkészítő ismeretek bővítéséhez, vitathatatlan érdeme a görög műveltség megtartása fordítások és kivonatok készítésével (Plinius).

Az első századok után a tudományok virágzása az arab világban éledt újjá. Az arab természettudósok a birodalom hatalmas kiterjedésének kihasználásával rengeteg földrajzi, biogeográfiai megfigyelést gyűjtöttek össze (Ibn Senna, Al Biruni), melyhez fogható ismeretszerzés a nyugati tudományban csak a nagy felfedezések korát követően történt.

A természetrajz művelői a természet élő és élettelen formagazdagságának számbavétele, az élet megannyi csodálatos jelenségének megfigyelése és megfejtése közben számos ökológiai szempontból érdekes megfigyelést is tettek (II. Frigyes, Aldrovandi, Albertus Magnus, Gessner, Redi, Ray, Leeuwenhoek, Bradley, Réaumur). A fajok leírása, rendszerezése (Linné) szükséges alapja volt az ökológiai kérdések (miért, hogyan) felvetésének. A tudományos forradalom után a leltárba vételükön túllépve a fajokra egyre inkább úgy tekintettek, mint fizikai környezetük által meghatározott, közösségekben élő szervezetek (Buffon, Humboldt, Warming). Az élőlények mennyiségének okait keresve a XVI-XVIII. században kibontakozó demográfiában és a populációdinamikában jelentős eredmények születtek (Graunt, Hale, Buffon, Malthus).



33. ábra: Carl von Linné (Alexander Roslin olajfestménye, 1775)



34. ábra: Thomas Robert Malthus (John Linnell festménye, 1833)

Az ökológia előtörténetének egyik legfontosabb folyamata annak megértése volt, hogy a fajok nem állandóak, hanem elterjedésük közben maguk is változnak a környezeti feltételekhez alkalmazkodva. A fajok kihalásának és keletkezésének mechanizmusa; az evolúció léte és mikéntje az ökológia alapkövének tekinthető (Lamarck, Watson, Darwin).



35. ábra: Charles Robert Darwin (George Richmond, 1840: Darwin Múzeum, Downe.)

A XIX. század végére a közösségek szerkezete került a vizsgálódás központjába, először vízi élőhelyekkel kapcsolatban (Möbius, E. Forbes), ami a limnológia megszületéséhez is vezetett (S. A. Forbes, Forel). A jórész német hagyományokon nyugvó növényfiziológia és növényföldrajz fejlődése vezetett el az autökológiához (ami az egyedek, populációk környezetükhöz való viszonyait vizsgálja), míg a szünökológiában (közösségek ökológiája) elsősorban amerikai kutatók értek el eredményeket a XIX és XX. század fordulóján (Clements, Gleason).

A limnológia (Hutchinson, Thienemann), az állatökológia (Adams, Shelford, Elton) a növényökológia (Tansley, Curtis) és tengeri ökológia (Forbes) szinte függetlenül fejlődtek egészen az 1950-es évekig.

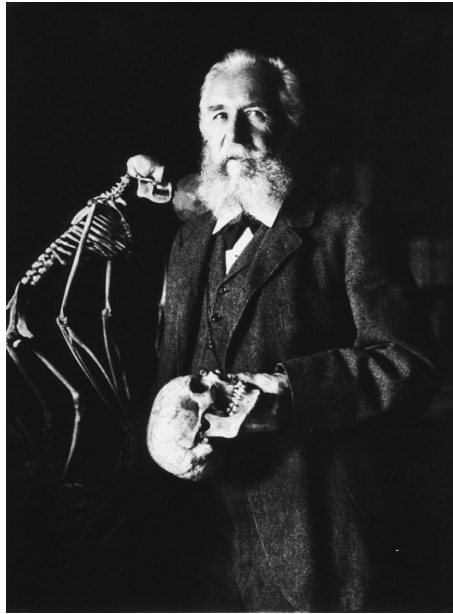
Az ökoszisztéma fogalom felépítése a modern ökológia fontos lépése volt (Lindeman), amelyre alapozva a biológiai produkció és az anyagforgalom részletes felderítésében (Odum fivérek) jelentős eredményeket értek el, elsősorban az IBP (International Biological Program) keretein belül.

A niche-konceptió felvetése (Grinnell), értelmezése (Elton) után precíz megfogalmazásával (Hutchinson, MacArthur) az ökológia sarokkövévé vált.

Az elmúlt száz évben komoly eredmények születtek a viselkedésökológia (Lorenz), a populációdinamika (Fiske, Nicholson és Bailey, Andrewartha és Birch) és az ökológiai módszerek terén, jelentős előrehaladást sikerült elérni a közösségi és ökoszisztéma-ökológiában, míg kevesebbet az elméleti ökológia, a tájökológia és természetierőforrás-menedzsment terén (Krebs 2006).

Az ökológia és a tágabb szünbiológia hazai kialakulása növényökológiai vonalon kezdődött: a florisztikai összetételt hangsúlyozó, a gyakori és jellemzőnek tekintett fajok kombinációira alapozó Zürich-Montpellier-féle irányzatot követve Soó Rezső cönológiai iskolája bontakozott ki. Az állatközösségek kutatása jóval később indult (Balogh János).

Az ökológia fogalomrendszerének tisztázásában meghatározó szerepe volt Juhász-Nagy Pál munkásságának. Az ő egyedi megközelítései, kutatási módszerei meghatározták a hazai ökológia fejlődését.



36. ábra: Ernst Haeckel (foto: Nicola Perscheild, 1906)

16.2. Az ökológia fogalma, tárgya, alapfogalmai

Az ökológia, ökológiai, ökológikus kifejezéseket gyakran következtelenül használják, sajnos tudományos kontextusban is. Sok a következtelenség az ökológia alapfogalmainak (pl. környezet, ökoszisztéma) használatában is. A fogalmi következtelenségeknek történeti okai vannak. Egyfelől a növény-, állat-, édesvízi és tengeri ökológia különálló fejlődéséből ered, másrészt pedig abból, hogy a fiatal, éppen csak egységesített ökológia még kevésbé letisztult szakkifejezései az emberiség környezeti problémákra való ráébredésével hirtelen felkapott köznyelvi szavakká váltak.

16.2.1. Az ökológia fogalma

Az ökológia szót Ernst Haeckel alkotta a görög oikosz (οἶκος: ház, lakás) és logosz (λογος: szó, beszéd, tan, tudomány) szavakból. Nincs még egy tudomány, aminek ilyen sok és ennyire különböző definíciója látott volna napvilágot. Maga Haeckel is több meghatározást adott; ezekben megjelenik az ökológia fiziológiától való elhatárolása (Haeckel 1866a), az élőlények és az azokat körülvevő külvilág viszonyával foglalkozó tudomány (Haeckel 1866b), valamint a Linné-féle „természet ökonómiája”, összekapcsolva a fajok közötti komplex összefüggésekkel, amit Darwin a létért való küzdelem feltételeinek nevezett (Haeckel 1870). Később az állatökológusok inkább az élőlények elterjedési mintázatait, a növényökológusok a közösségek szerkezetét és mechanizmusait hangsúlyozták definícióikban.

Az ökológia-tudomány meghatározása ma sem egyszerű feladat. Az angolszász ecology jóval bővebb tudományt takar, mint a magyar ökológia (vagy a német Ökologie); a hazai szakirodalomban használt szünbiológiával egyezik meg.

Az ökológiai fogalmakat következetesen Juhász–Nagy Pál (1984, 1986) definiálta, aki nem a környezet nehezen megfogható fogalmából indult ki, hanem az ökológia tárgyának, feladatának precíz meghatározásából, amelyet a tudomány lényegére rávilágító alapkérdés megfogalmazásával ért el. A meghatározás lépéseiként lehatárolta a világ azon részét, amivel foglalkozunk (centrális referencia): a földön valaha élt, és ma élő élőlények összessége (pánbióta). Megfogalmazta az élőlények véletlenszerű elhelyezkedését állító centrális hipotézist: Bárhol, bármikor, bármilyen élőlény(csoport) bármilyen mennyiségben

megtalálható.” Triviális, hogy ez az állítás hamis, az azonban messze nem nyilvánvaló, hogy (1) mikor, hol, milyen mértékben és (2) miért. Ezek megválaszolásában jelölte meg a **szünbiológia** feladatát Juhász–Nagy Pál. A két kérdéscsoport elválasztásával pedig a szünbiológia két részterületét: (1) a szünfenobiológiát és (2) az ökológiát határolta el.

A **szünfenobiológia** tehát az élő természet jelenségeinek leírásával foglalkozik, ide tartozik például a leíró biogeográfia, a klasszikus cönológia, a florisztika és a faunisztika.

Az **ökológia** viszont a kényszerfeltételeket vizsgálja; oknyomozó, tényfeltáró tudomány, ezért nem is állhat meg önmagában, a szünfenobiológia eredményeire támaszkodik.

A modern ökológia-tudomány három fő célja (Krebs 2006)

- (1) a természet működésének megértése,
- (2) annak megértése, hogyan befolyásolja az emberiség a természetet, és
- (3) olyan módszereket találjon, amelyek enyhítik mind a természeti, mind az emberi tevékenységekből eredő problémákat.

Az **ökológia részterületei** többféle szempont szerint különíthetők el.

A vizsgálatok középpontjában álló élőlény szerint beszélhetünk növény-, állat-, humán-, mikrobiális ökológiáról.

A tanulmányozott létező típusa szerinti tudományterületek a tengeri, az édesvízi, a talaj- és a városökológia.

A különböző vizsgálati léptékekhez (**38. ábra**) rendelhetjük az azon a szinten vizsgálódó ágakat: pl. Mikrokozmosz: kísérletes ökológia Lokális: populáció-ökológia, közösségi ökológia, Táj: tájökológia, Regionális: ökológiai biogeográfia, makroökológia; Globális: globális ökológia

Az ökológia alkalmazott területei például az agrár-, az erdészeti-, a radioökológia és az ökotoxikológia.

Diszciplínákon átívelő határtudományok a természetvédelmi ökológia, a paleoökológia, a viselkedésökológia, a genetikai ökológia és ökológiai gazdaságtan.

16.2.2. Egyed feletti szerveződési szintek

A szünbiológia az **egyed feletti szerveződés** (szupraindividuális organizáció = SIO) szintjein vizsgálódik (**37. ábra**). A SIO alapegysége a populáció (Juhász–Nagy 1986). A **populáció** adott helyen, adott időben valamely szünbiológiai vizsgálati szempont szerint azonosnak tekinthető élőlények csoportja, pl. tényleges szaporodási közösség.

A **csoport** a populációnál kisebb egység (pl. egy pár, egy család, rokonsági kör vagy jellegcsoport), nem minden populációban jelenik meg – ezért is nem lehet a SIO alapegysége. Azonos fajú, legalább ideiglenesen együtt élő egyedek halmaza, amelyben az egyedek között szignifikánsan erősebb kapcsolatok mutathatók ki, mint a populáció egyéb egyedeivel, szelekciós egységként működik és vagy a társas magatartás szempontjából elkülöníthető.

A koalíció valamely szempontból azonos, koegzisztens populációk halmaza. A koalíciók nagyon sokfélék lehetnek, pl. erdő lombkoronaszintjét alkotó növények vagy az ott élő odúlakó madarak populációinak halmaza.

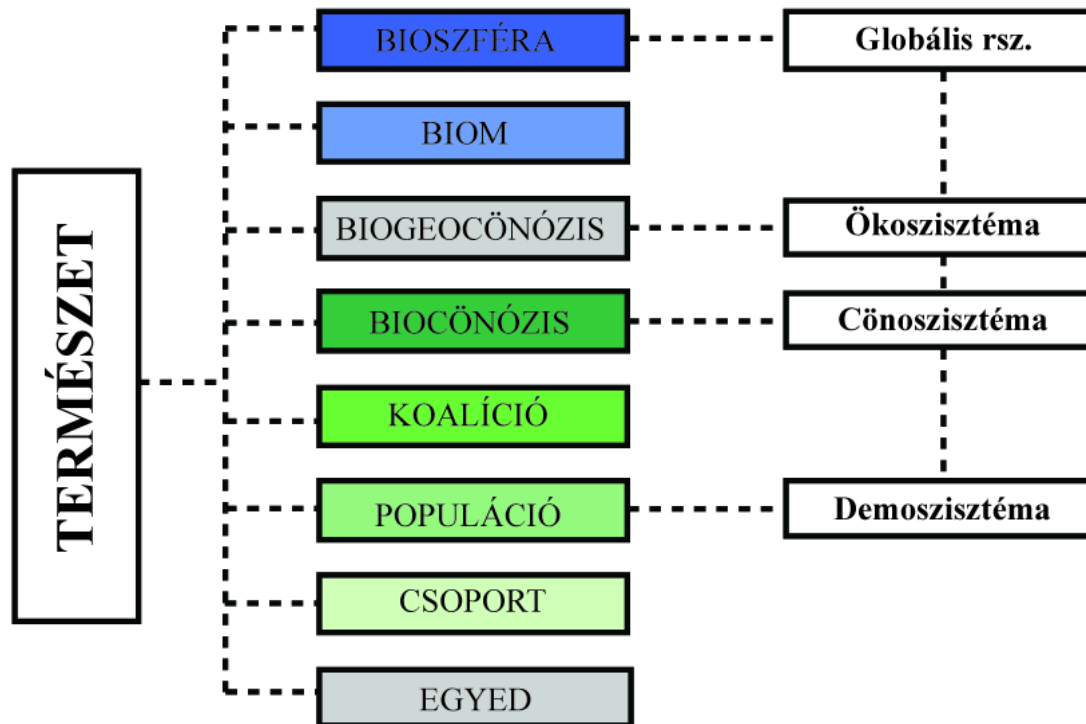
Az életközösség vagy közösség a legmagasabban szervezett tisztán biológiai organizációs szint; közvetlen vagy közvetett kapcsolatokkal összefűzött populációk halmaza.

A biogeocönózist az életközösség és annak fizikai feltételei alkotják; például egy teljes erdő élőlényeivel, talajával, mikroklímájával együtt.

A biom a Föld hasonló típusú biogeocönózisainak halmaza (pl., lombos erdők, tundra, tajga).

A bioszféra pedig Földünk összes biomjainak halmaza, tehát a Föld élőlények által benépesített része.

Entitás → Szerveződési szint → Rendszer

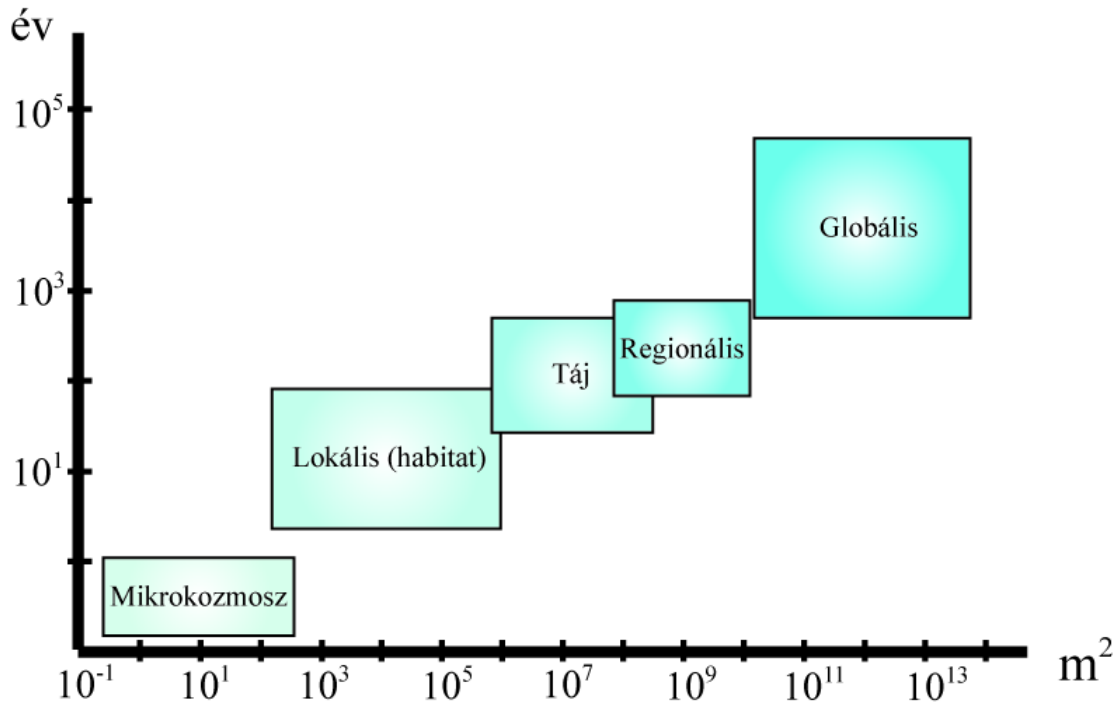


37. ábra: A SIO szintjei és a belőlük képzett rendszerek (Gallé 2010 nyomán)

Ha a rendszerelmélet alapján és a rendszerelemzés módszereivel, matematikai rendszermodellekkel tanulmányozzuk a szünbiológiai egységeket, szünbiológiai rendszerekről beszélünk. A legismertebb szünbiológiai rendszer az **ökoszisztéma**, amely egy rendszerelemzéssel vizsgált biogeocönózis. A közösségeknek megfelelő rendszer a *cönoszisztéma*, a populációé a *demoszisztéma*. (Gallé 2010)

Tansley (1935) eredeti koncepciója szerint nemcsak a biogeocönózis reprezentációját, hanem mindenféle szünbiológiai rendszert (cönoszisztémát, demoszisztémát) is ökoszisztémának neveznek. Az MTA Ökológiai Bizottsága is az ökológia néhány alapfogalmának meghatározásakor ezt a definíciót alkalmazta.

Az egyes egyed feletti szintek téridő léptéke különböző (38. ábra). A populációk, koalíciók, közösségek és biocönózisok léptéke habitat (élőhely) lépték. Táj léptékűek a közösségek rendszerei (pl. metapopulációk, szigmatközségek). Regionális lépték jellemző a biomra, a bioszféra pedig globális léptékű.



38. ábra: Léptékek téridő skálája

16.2.3. Ökológiai környezet és tolerancia

A környezet az ökológia kiemelt fontosságú fogalma, azonban gyakran félreértelmezve illetve definiálatlanul használják.

Juhász–Nagy Pál (1984, 1986) az **ökológiai környezet** kifejezés alkalmazását javasolta, hangsúlyozva, hogy az ökológiában használt környezetfogalom szükségszerűen különbözik más diszciplínák környezetfogalmától. Az ökológiai környezet fogalmát mindig adott objektumra (pl. egy populációra, egy közösségre) vonatkoztatjuk, és a külvilág arra ténylegesen és közvetlenül ható elemeinek halmazát értjük alatta. A tényleges hatás mindig a túlélési és szaporodási teljesítményen keresztül jelentkezik.

Ebből a definícióból következik, hogy nem egyetlen környezet létezik, hanem nagyon sokféle. Ezért az ökológiai környezet ezen értelmezését plurális környezet elvnek nevezzük (Juhász–Nagy 1986). Még egy adott élőhelyen élő két populáció környezete is különböző – hiszen más-más tényezők befolyásolják őket.

A külvilág (exterior komplexus): minden, ami az objektumon kívül létezik és potenciálisan az objektumra hathat. A környék a szünbiológiai objektum közvetlen topográfiai környezete (pl. egy hangyapopuláció fészke és közvetlen környezete). Az élőhely (habitat, biotóp) a valós tér egy része, az a terület, ahol a vizsgált szünbiológiai objektum előfordul (a hangyapopuláció számára az erdő).

A külvilág bizonyos elemeiről még vizsgálatunk kezdete előtt feltételezhetjük, hogy vizsgálatunk tárgyát képező szünbiológiai objektumra hatással vannak. Ezeknek a „hatásra gyanús” tényezőknek halmaza az ökológiai miliő. A feltételezetten hatóképes faktorok egy részéről vagy éppen másokról bebizonyosodik, hogy a vizsgált szünbiológiai objektumra valóban hatnak, így jutunk az ökológiai környezethez.

Önmagában a fényről, a vízről, a talajról... stb. nem jelenthetjük ki, hogy környezeti vagy miliőtényező. Ezeknek bizonyos tulajdonságai, például a víz oxigéntartalma, pH-ja bizonyulhat például egy sügér-populáció számára környezeti tényezőnek.

A külvilág komplementere a belvilág (interior komplexus), melynek környezeti hatásokat fogadó része a tolerancia (=tűrőképesség). A környezet és a tolerancia egymást kölcsönösen

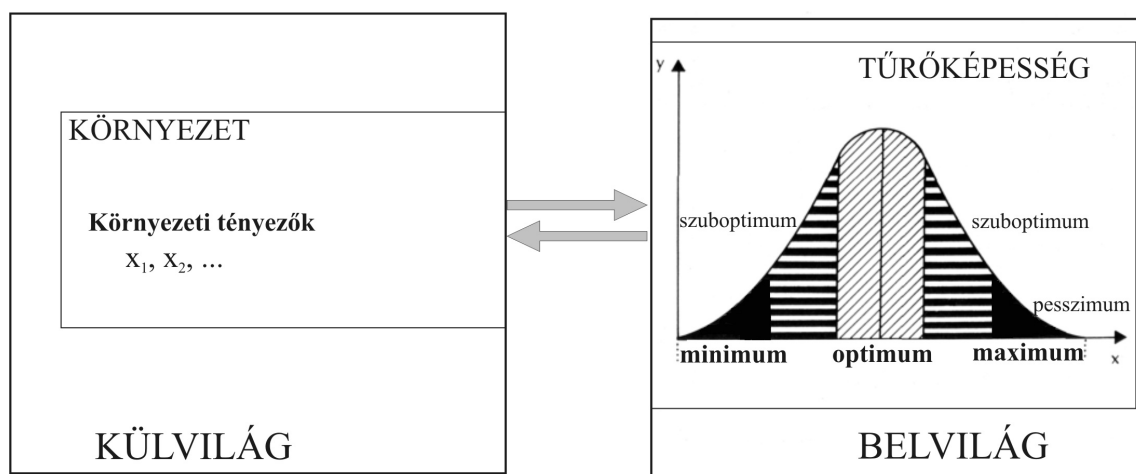
kiegészítő és kölcsönösen feltételező kapcsolatban vannak, egymás nélkül értelmetlenek. A környezet és a tolerancia elemei együttesen alkotják az **ökológiai tényezőket** (nemcsak a környezet elemei!). (Gallé 2008)

A tolerancia a környezettel való komplementaritásából következően szintén soktényezős. Minden környezeti hatófaktornak van egy olyan értéktartománya, aminél a vizsgált populáció egyedei képesek túlélni és szaporodni; ez az adott faktor toleranciatartománya (valencia, ökológiai amplitúdó). A toleranciatartományokat ún. toleranciagörbével (**39. ábra**) szokás jellemezni. A görbe azt mutatja meg, hogy a populáció a toleranciatartomány értékeit milyen mértékben preferálja. (Gallé 2010)

A toleranciatartomány szélessége alapján beszélünk tág tűrésű és szűk tűrésű fajokról aszerint, hogy populációik az adott hatófaktor milyen széles tartományában képesek megélni. A több tényezőre szűk tűrésű fajokat specialistáknak, a tág tűrésűeket generalistáknak nevezzük.

A környezeti tényezőket leggyakrabban kétféleképpen szokták csoportosítani. Egyrészt kondicionáló és forrástényezőket különítenek el aszerint, hogy az élőlények felhasználják-e növekedésükhöz illetve reprodukciójukhoz. A közeg hőmérséklete, pH-ja tipikusan kondicionáló tényező, míg a pl a fotoszintetizáló szervezetek számára a levegő széndioxid-tartalma, vagy talaj nedvességtartalma forrástényező. Az élőlények a kondicionáló tényezők jellemző értékeit is befolyásolják különféle léptékben; gondoljunk pl. a lomboszat páratartalom növelő hatására vagy egy édesvízi egysejtű mikrokörnyezetében a víz pH-jának változására.

A környezeti tényezők másik tradicionális csoportosítása a környezeti tényezőket abiotikus (élettelen; pl. fizikai-kémiai tulajdonságok: hőmérséklet, pH, oxigéntartalom ...) és biotikus (élő: már populációk hatása) faktorokra osztja. Ez a megkülönböztetés nem mindig alkalmazható egyértelműen. Például a vörös vércse számára egy élő fűzfa („biotikus faktor”) odva ugyanúgy fészkelési helynek minősülhet, mint a holt fáé („abiotikus faktor”) vagy mint egy ugyancsak „abiotikus” sziklaüreg, esetleg toronyablak. (Gallé 2008)



39. ábra: A külvilág-belvilág és a környezet-tűrőképesség viszonya. A tűrőképességen belül egy kiválasztott faktor (x) toleranciagörbéjén (y) a tradicionálisan megkülönböztetett tartományok láthatók.

16.2.4. Ökológiai indikáció

A klasszikus autökológia a szélsőségesen szűk tűrésű fajokat nevezi indikátor fajoknak. Az általános indikációs elv (Juhász–Nagy 1986) szerint viszont minden szünbiológiai objektum jó indikátor, hiszen saját környezetét egyedül önmaga indikálja jelenségszintű tulajdonságaival és azok változásaival. Minden populációnak egyszerre nagyon sokféle vonatkozásban sokféle mintázatra vonatkoztatva lehet indikátor szerepe.

Az indikáció alapfogalmai:

a jel (szignál),
az indikáció = maga a jelzés,
a indikátor = ami jelez,
az indikandum = a jelzendő,
az indikátum = a jelzett jelenség. (Majer 2004)

Az indikátor valójában nem a szünbiológiai objektum, hanem annak egy tulajdonsága (pl. a populáció denzitása vagy egy közösség diverzitása). Az indikandum a jelzendő tulajdonság, a külvilág egy paramétere, míg az indikátum az indikáció eredménye: az indikátor indikandum hatására történő állapotváltozása. A szünfenobiológia az indikátumot vizsgálja, az ökológia viszont nemcsak az indikátumra kíváncsi, hanem az indikáció teljes folyamatára.

Az általános indikációs elv kimondja, hogy minden élőlény minden fenetikai (észlelhető) tulajdonsága indikátor jellegű. Minden lényeges hatás meg is mutatkozik az élőlény valamilyen viselkedésében, azonban a gyakorlati korlátok gyakran megakadályozzák a jelenségek leolvasását, értelmezését.

16.2.5. Niche

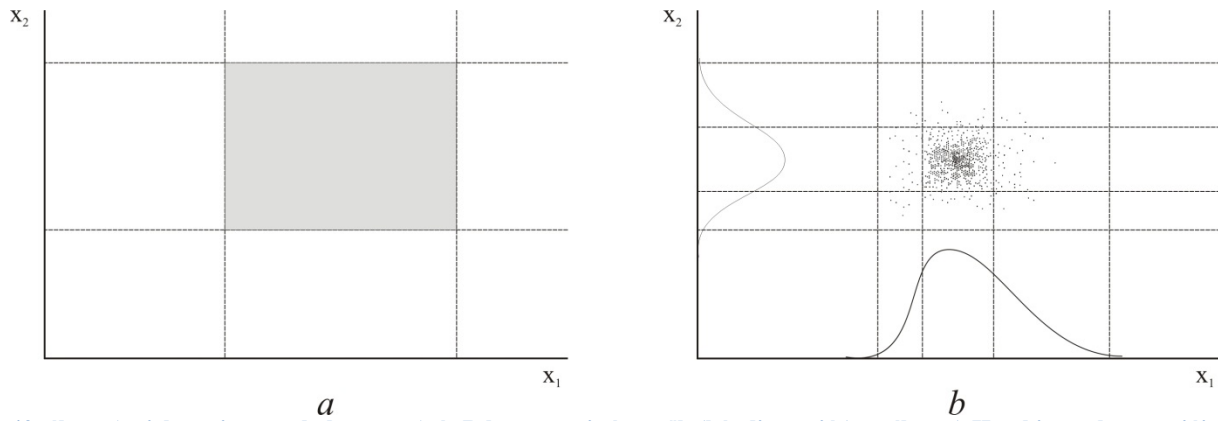
Az (ökológiai) niche fogalmát is gyakran félreértelmezik, és nem megfelelően használják. Maga a niche szó fülkét jelent, azonban az ökológiában nem valós hely, élettér értelemben használatos, hanem a toleranciaviszonyokat reprezentáló absztrakt térbeli helyzetre vonatkozik.

Joseph Grinnell (1917) egy madárpopuláció természetbeli helyzetét nevezte niche-nek, amelyet a preferált élőhely és abiotikus körülmények, a táplálékigény valamint az életmód határoz meg. Grinnelli vagy strukturális niche-ként is szokás elképzelését emlegetni.

Charles Elton (1927) inkább a faj funkcionális szerepét hangsúlyozta, annak életközösségben elfoglalt helyzetét (táplálkozási kapcsolatok, ellenségekhez való viszony) értette a niche alatt. Az eltoni niche-t ezért funkcionális niche-nek is nevezik.

A niche elméletet Hutchinson (1958) formalizálta. A környezeti tényezőket egy absztrakt tér koordinátatengelyeiként képzele el. Például egy adott madárpopuláció a hőmérséklet (x_1) és a táplálék mérete (x_2) mint környezeti tényezők egy-egy intervallumában képes megélni. A két intervallum az (x_1, x_2) síkon egy téglalapot határoz meg, ami a populáció számára megfelelő tartományt reprezentálja; ez a Hutchinson-féle niche (**40. ábra**). MacArthur figyelembe vette azt is, hogy az intervallum pontjai nem egyformán jók a populáció számára, így azokat az úgynevezett készlethasznosítási függvényekkel (resource utilization function) súlyozta. Ezért az ő koncepciójában a niche egy pontfelhő (**40. ábra**).

A valóságban egy populációra sok (n) környezeti tényező hat. Így **a niche a populáció környezetének elemei mint koordinátatengelyek által meghatározott absztrakt (n -dimenziós) hipertérben a populáció tolerancia- és preferenciaviszonyait reprezentáló ponteloszlás.**



40. ábra: A niche, mint pontthalmaz az A és B környezeti tényezők (két dimenziós) terében a) Hutchinson koncepciója b) készlethasznosítási függvények által meghatározott pontfelhő

A niche és a populációk közötti kölcsönhatások viszonyát a 3.2. fejezetben tárgyaljuk részletesen.

16.2.6. Ökológiai limitáció

A populációk és közösségeik elterjedését a tűrőképességi viszonyaik határozzák meg. A környezeti tényezők egyben korlátozó tényezők is. Liebig minimumtörvénye szerint a növények növekedését mindig az a tényező határozza meg, amelyikből a szükségeshez képest relatívan a legkevesebb áll rendelkezésükre. Victor Shelford kiterjesztette Liebig törvényét, minden élőlényre, és figyelembe vette azt is, hogy bizonyos faktorok túlzott mennyisége is lehet korlátozó. Shelford toleranciatörvénye szerint a fajok elterjedését a környezeti tényezők mennyisége és a hozzájuk tartozó tolerancia-tartomány határozza meg. Eszerint a generalista fajok elterjedése általában széles körű. Az egyes tényezőkre vonatkozó toleranciatartományt befolyásolhatják más tényezők is. A korlátozó tényezők az élőlények különböző fejlődési stádiumában gyakran nem ugyanazok.

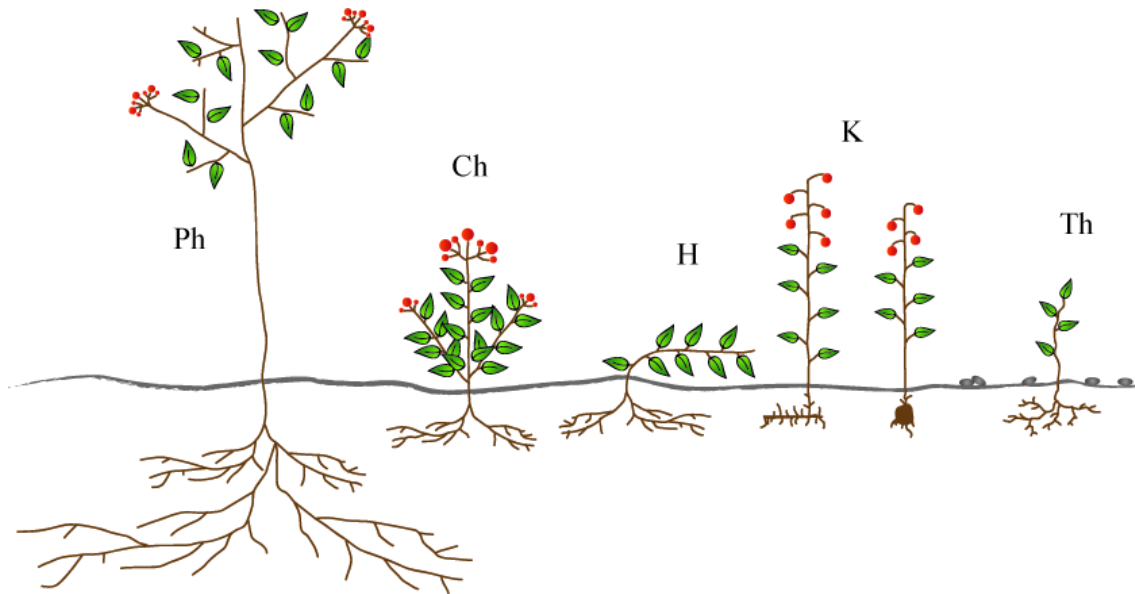
16.3. Életformák

Elsősorban a növények formagazdagságának osztályozására vezettek be a velük foglalkozók mesterséges csoportosításokat, melyeket életformának neveznek. Az életformák és az élőhely-preferencia szorosan összefüggenek, mivel a növények morfológiáját elsősorban a metabolikus folyamatok, azokat pedig a fizikai környezeti tényezők határozzák meg. Az életformák csoportosítására kitalált rendszerek a rendszertani beosztáshoz nem kapcsolódnak szorosan.

Egy életformafelosztás akkor jól használható, ha megfelel az alábbi három kritériumnak.

1. Az elkülönítésre szolgáló kritérium(ok) lényegi, strukturális jellemvonások legyen(ek).
2. A tulajdonságok a természetes élőhelyen is könnyen felismerhetőek, nyilvánvalók legyenek.
3. Az osztályozás következetes legyen, ami homogén rendszert hoz létre.

A növényi életformákra legszélesebb körben használt modern felosztás Christen C. Raunkiaer nevéhez fűződik. Rendszere egyetlen kritériumon alapul: a megújuló rügyek helyzetén. Ennek alapján Raunkiaer öt kategóriát különített el (**41. ábra**). (Fekete 2000; Niklas 2008)



41. ábra: Raunkiaer-féle életformák: Ph: *phanerophyta*, Ch: *chamaephyta*, H: *hemikryptophyta*, K: *kryptophyta*, Th: *therophyta*

- Phanerophyta (Ph)

áttelelő rügyeik a levegőben vannak, kevés kivétellel fák, bokrok. Ide tartozik a legtöbb nyitvatermő (pl. erdeifenyő, közönséges boróka), a kétszikű fák (pl. hazánkban is gyakori erőalkotó fajok: kocsányos és kocsánytalan tölgy, bükk, magas kőris, enyves éger, mezei juhar) és cserjék (pl. csíkos kecskerágó, húsos som), a fás harasztok, a legtöbb pálma, az óriáskaktuszok és a liánok (pl. borostyán).

- Chamaephyta (Ch)

a hideget vagy a szárazságot a talajfelszínhez közeli (25 cm vagy alacsonyabb) légrétegben elhelyezkedő hajtásaikkal vészelik át, gyakran a hótakaró védelmében. Törpecserjék, földön fekvő és kúszónövények, párnanövények tartoznak ide, pl. kapcsos korpafű, fehér üröm, borsos varjúháj, közönséges kakukkfű.

- Hemikryptophyta (H)

megújuló rügyeik a földfelszínen vannak, az avar és az elszáradt levelek alatt megbújva. A magyar flóra tekintélyes része ide sorolható. A legtöbb pázsitfűféle (pl. cértatippan, csomós ebír, magyar csenkesz, angolperje) és a levélrózsás növények (pl. közönséges cickafark, százszorszép, gyermekláncfű, ezüstös hölgymál) is ilyenek.

- Kryptophyta (K)

az áttelelő rügyek a talajban, vízben vagy talajvízben helyezkednek el. Három alcsoportja a geofita (földbeni raktározó szervekkel (hagyma, rizóma, szárgumó, gyökérgumó) rendelkező (G): pl. medvehagyma, közönséges spárga, őszi kikerics), a helofita (mocsarakban élő) és a hydrophyta (vízinövények)(HH) pl. nád, hínáros békaszőlő, sulyom, apró békalencse.

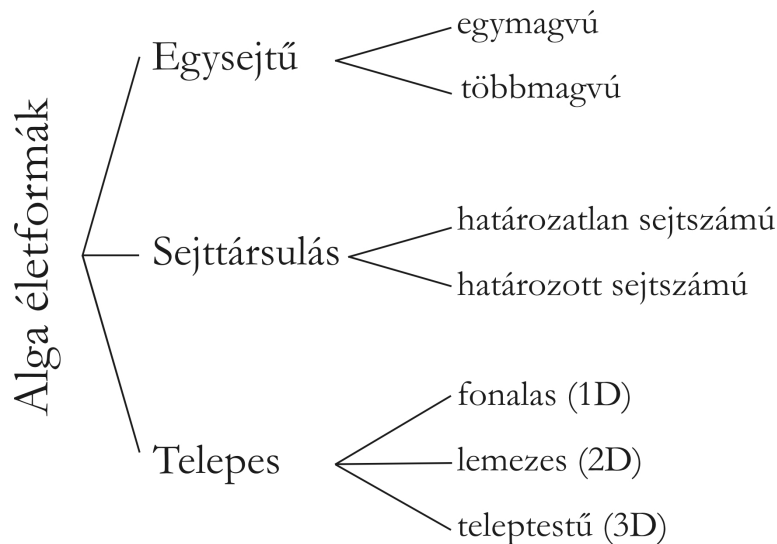
- Therophyta (Th)

egyévesek, magként vészeik át a számukra kedvezőtlen időszakot (pl. szőrös disznóparéj, fehér libatop, bürökgémorr).

Egyes életformák dominálnak bizonyos közösségekben, klimatikus zónákban, ezért az életforma-spektrum lehetőséget ad a klímaövek jellemezésére. Általában a sivatagokban a therophyta növények dominálnak, a trópusokon feltűnő a phanerophyta túlsúly, alpin és arctikus területeken a chamaephyta flóra, míg a mérsékelt övben a hemicryptophyta jellemző.

Az algák mint a fotoszintetizáló élőlények polifiletikus csoportja már önmagában is életforma jellegű megkülönböztetés. Az algákon belül öt fejlődési folyamat alapján lehet életformákat elkülöníteni (42. ábra):

1. a sejtosztódás és a kariogenezis szinkronizációja,
2. az utódsejtek osztódás utáni kapcsolódásának foka,
3. a sejtplazma folytonosságának fennmaradása osztódás után,
4. határozott vagy határozatlan növekedési program,
5. a soksejtű telepben megfigyelhető síkok száma és elhelyezkedése. (Niklas 2008)



42. ábra: Alga életformák

A vízi – különösen a tengeri – életmódra specializálódott élőlények a víztest részeihez kötődő csoportosítása is életformarendszernek tekinthető. Erről a tengerek élővilágáról szóló fejezetben szólnunk részletesebben.

16.4. Az ökológiai kutatás módszerei

Az ökológia módszerei lényegesen eltérnek az egyedeket tanulmányozó (individuális) biológia eljárásaitól: csak statisztikai módszerekkel és megfelelő mintavételekkel lehet az objektumairól adatokat szerezni, és a kiértékelés is általában hosszú időre terjed ki.

A hatékony ökológiai kutatás matematikai modelleket használ, rendszermodelleket hoz létre a szünbiológiai objektumok viselkedésének és mintázatának, ezek változásainak megértésére. Tekintve hogy a környezet és a tolerancia hatásrendszere sokváltozós, ennek megfelelően sokváltozós statisztikai módszereket használnak az összefüggések feltárására.

Az időbeli változások elemzésére széleskörűen alkalmaznak determinisztikus modelleket (elsősorban differenciálegyenleteket) és sztochasztikus szimulációkat.

Az ökológiai jelenségek vizsgálatának három alapvető módszere:

- a) természetben történő megfigyelések, vizsgálatok;

- b) kísérletek (természetes társulások kezelése, átültetési, áttelepítési, vetési kísérletek, együtt nevelés, laboratóriumi kísérletek);
- c) számítógépes szimulációk.

Az ökológiai kutatómunkában kiemelkedően fontos a kísérlettervezés, a megfelelő mintavételezés és adekvát skálák alkalmazása.

17. A környezeti tényezők és a környezet elemei (Dr. Horváth Balázs)

Széchenyi István Egyetem, Győr

Környéknek nevezzük a világnak az élőlényt körülvevő részét; környezetnek pedig mindazt, ami nemcsak körülveszi, hanem ténylegesen hatással is van rá. A környezet tehát a környéknél kisebb fogalom, annak részhalmaza. A különbségtételre azért van szükség, mert a környező világ elemei közül – legalábbis első közelítésben – nem mindegyik gyakorol észrevehető hatást egy bizonyos fajra. Például a folyó vizének széndioxid-koncentrációja a benne fürdőző víziló számára teljesen közömbös. Annál lényegesebb ugyanakkor az alámerülő vízinövényeknek, hiszen a fényerősség mellett ettől függ, milyen intenzíven fotoszintetizálhatnak (ez pedig meghatározza a növekedésük sebességét, egyéni túlélésüket és ezzel a faj sikerességét is). A szén-dioxid tehát mind a víziló, mind a vízinövény számára a környék része, de kettejük közül csak a vízinövény esetében alkotója a környezetnek.

A környezetnek a szén-dioxidon kívül még oly sok élettelen eleme létezik, hogy általában nem magát a szén-dioxidot, hanem az azt – és még sok minden mást, pl. oxigént, ionokat – tartalmazó vizet tekintjük környezeti elemnek. Az élettelen (abiotikus) környezet elemeinek listája így nem túl hosszú: fény, levegő, víz, talaj. Az élő környezet elemei közé pedig a fajtársakat (pl. a víziló számára a többi víziló), illetve a más fajokba tartozó egyedeket (a víziló számára pl. a nílusi krokodil) soroljuk. A környezeti tényezők a környezet egyes elemeinek jellemzői: a fény esetében a fényintenzitás, hullámhossz stb., a víz esetében az oxigénkoncentráció, Na-koncentráció, a hullámlás sebessége, áramlási sebesség stb., a talaj esetében pedig a foszfortartalom, kötöttség stb. Didaktikai okokból külön fejezetben mutatjuk be a környezeti tényezők közé számító hőmérsékletet, valamint a külön kategóriát képviselő domborzatot (amely nem környezeti elem és nem is környezeti tényező, hanem az élőhely olyan, a környezeti tényezők közé is sorolható jellemzőinek csoportja, mint pl. a tengerszint feletti magasság vagy a felszín hajlásszöge).

Az élőlények elterjedését az egyes környezeti elemekben (közegekben: levegő, víz, talaj) a környezeti tényezők értékei határozzák meg.

17.1. A fény

A fény tehát a környezet élettelen (abiotikus) eleme, a fénnel kapcsolatos környezeti tényezők pedig a fény egyes tulajdonságai: hullámhossz-összetétele és az egyes hullámhosszak részesedése a fény által szállított energiából, napi és éves eloszlása, iránya. A fény forrása a napsugárzás, amely energiájának 55%-át a látható fény, 40-45%-át az infravörös (infrared, IR) sugárzás, 1-5%-át pedig az ibolyántúli (ultraibolya vagy ultraviola, UV) sugárzás adja. Nappal a napsugarakra merőleges földfelszín 1 cm²-ére percenként átlagosan 5 J energia jut napsugárzás formájában, ami a Föld durván $r^2 \cdot \pi \approx (6000 \text{ km})^2 \cdot 3,14 = (6\,000\,000\,00 \text{ cm})^2 \cdot 3,14 \approx 1,9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^2$ -es keresztmetszetével és 1 év = 365 * 24 * 60 = 525 600 perc időtartammal számolva nagyságrendileg $1,9 \cdot 10^{17} \cdot 525\,600 \approx 10^{23} \text{ J}$ energiát jelent évente. Ez az óriási energiamennyiség tartja működésben a bioszférát a Földön.

A légkör küldő rétegeit elérő napsugárzásnak mintegy fele jut le a földfelszínre, a többi a légkörben vagy elnyelődik, vagy a felhőkről visszaverődik. A felszínre elért napsugarak 10%-a (a légkör külső rétegeit elértnek 5%-a) a felszínről visszaverődik, de 90%-a elnyelődik, és a talajt felmelegíti. Mivel a felmelegedett talajfelszín a Napnál jóval alacsonyabb hőmérsékletű, az általa kibocsátott sugarak (minden test bocsát ki elektromágneses sugárzást) jellemző hullámhossza a látható fényénél nagyobb hullámhosszakra esik. Ez a szemmel nem látható, hosszúhullámú (távoli infravörös) hősugárzás ugyanakkora energiát hordoz, mint a beeső

(elnyelődött) napsugárzás, de azzal ellentétes irányú. Abban is különbözik a látható fénytől, hogy számára a légkör nagymértékben átlátszatlan: a felfelé haladó sugárzás egy részét a légkör egyes komponensei (vízgőz, CO₂, metán és egyéb gázok) elnyelik és részben visszasugározzák. A légkörnek ezt a hővisszatartó működését nevezzük üvegházhatásnak, ennek köszönhető a Föld magas — pl. a légkörrel nem rendelkező Holdénál sokkal magasabb — átlaghőmérséklete. Az üvegházhatás tehát egy természetes és a bioszféra számára nélkülözhetetlen jelenség, legalábbis abban a mértékben, amelyben az ipari forradalom előtt létezett. A napsugárzással bejutott energia végül mindenképpen kijut a Föld hatásköréből, és visszasugárzódik a világűrbe (leszámítva azt, ami elhalt szerves anyag formájában elraktározódik, és hosszú idő alatt pl. kőszéntelepek formájában őrződik meg), de az üvegházhatásnak köszönhetően egy időre csapdába esik, ezzel magasabb hőmérsékleten tartva a Földet, lehetővé téve az anyagok körforgását és végső soron az általunk ismert életet.

Egy terület fényviszonyait 3 tényezővel szoktuk jellemezni:

- a fény erősségével (a napsugárzásra merőleges felszín esetében 5 J/cm²/min),
- a megvilágítás időtartamával (Magyarországon a napsütéses órák száma 2000 körül van évente) és
- a fény összetételével (szórt és direkt fény aránya).

A direkt fény kevesebb narancs és vörös összetevőt tartalmaz, így színe kékesebb, „hidegebb”. Ennek megfelelően élettani hatásai is mások.

Egy terület fényviszonyai ennek megfelelően a földrajzi szélességtől, a domborzattól, az évszaktól, a felhősödés mértékétől és a biotikus tényezőktől függ.

Mint említettük, a földfelszín a beeső fényt átlagosan kb. 10%-ban veri vissza. Ez azonban erősen változó: a hó akár a 80-95%-át is visszatükrözheti, míg az erdők csak 10-20%-át. A Föld átlagos reflexiós koefficiense (albedója) 31%, jóval megelőzve például a sötét kőzetek által borított Hold 6-8%-os értékét.

17.1.1. A fény hatása a növényekre

A növények fényigény szerint lehetnek

- hosszúnappalos növények, amelyeknek a virágzáshoz legalább napi 12-16 óra megvilágításra van szükségük. Ebbe a csoportba tartoznak a hideg és a mérsékelt égövi növények (pl. a rozs), illetve
- rövidnappalos növények, amelyeknek ugyanehhez 8-12 óra is elég. Ilyenek a trópusok növényei, pl. a nálunk is termesztett kukorica.

A fotoszintézishez szükséges fényelnyelést lehetővé tevő növényi színanyagok (pigmentek) számos típusát ismerjük, sőt, egyetlen növényegyed is ezek közül többfélével rendelkezik. A klorofill a-ra és b-re az jellemző, hogy a 380-tól 780 nm-ig terjedő hullámhosszú komponensekkel rendelkező látható fényből elsősorban a szélsőségeket: a rövid hullámhosszú (400-500 nm-es, kék) és valamivel kisebb mértékben a nagy hullámhosszú (650-700 nm-es, narancssárga és vörös) összetevőket nyelik el. A kettő közötti (500-600 nm-es, vagyis zöld és sárga) fotonok alig képesek gerjeszteni a klorofillmolekulák delokalizált elektronjait, így a fehér napfénynek ezeket az összetevőit visszaverik. Ezért zöldek többek között a — fotoszintézisüket jórészt klorofillra alapozó — nyitva- és zárvatermő növények. A szintén

fontos szerepet játszó karotinoid típusú pigmentek elnyelési maximuma a kék-kékeszöld tartományban van; a fehér fényből ezeket a komponenseket elnyelve és a fennmaradó összetevőket (zöldet, sárgát, narancssárgát, vöröset) visszaverve e pigmenteket nagy tömegben narancsszínűnek vagy vörösesnek látjuk. A klorofillok fokozatos lebomlásával nekik köszönhetően nyernek vöröses árnyalatot az őszi lomblevelek.

Természetesnek vesszük, hogy minél erősebb a fény, annál intenzívebb a fotoszintézis (amit például az időegység alatt keletkező O_2 mennyiségével lehet mérni). Valóban így van, de csak egy bizonyos fényintenzitás-tartományban. Ennél erősebb megvilágításnál a növény fotoszintetizáló rendszere „telítődik”, és bármekkora fényerősségnél sem képes intenzívebb CO_2 -megkötésre. A görbe X tengely alatti szakasza esetében — tehát egészen gyenge megvilágításnál — pedig még nincs is nettó fotoszintézis, mert a növény által a fotoszintézisben megkötött CO_2 mennyisége kisebb, mint amennyi CO_2 -ot a (fotoszintézis közben is folyó) légzése során előállít. A görbe és az X tengely metszéspontját fénykompenzációs pontnak nevezzük; e pontban a fotoszintézis során előállított és a légzés során felvett O_2 mennyisége azonos, tehát se nettó O_2 -termelés, se nettó O_2 -felvétel nincs, és ugyanez igaz a CO_2 -ra is). A fénykompenzációs pontnál alacsonyabb fényintenzitás mellett nemcsak oxigén-, hanem szervesanyagtermelés se megy végbe, ezért a növény rövid időn belül elpusztul.

A fotoszintézis intenzitásának fényintenzitástól való függése (az időegység alatt termelt szerves anyag vagy O_2 , illetve az időegység alatt felhasznált CO_2 mennyiségével kifejezve) az egyes növényfajoknál is más és más. A kukorica és a cukornád $4 J/cm^2/min$ fényintenzitásnál legalább ötször annyi CO_2 -ot termel, mint a tölgy- vagy a juharfajok.

A növényeket fényigényük szerint több csoportra oszthatjuk:

- ❖ A fényigényes (heliofil) növények a direkt fényt kedvelik, ilyenek a nyílt gyeptársulások, a sivatagok, a sztyeppék növényei vagy az útszéli gyomok.
- ❖ Az árnyéktűrő (helio-szkiofil) növények igénylik a közvetlen megvilágítást, de elviselik az árnyékolást is. Ilyen változó fényigényűek az erdőszéli növények, a kisvirágú nenyúljhozzám vagy pl. az őszi kikerics.
- ❖ Az árnyékkedvelő (szkiofil) növények nem viselik el a közvetlen napsugárzást, szórt fényt igényelnek. Az erdők gyepszintjének fajtái általában e csoportba tartoznak (odvas keltike, orvosi tüdőfű, farkas boroszlán stb.).
- ❖ A sötétséggkedvelő (szkotofil) növények általában barlangokban vagy vizek mélyén élnek. Számos fajukban klorofill helyett más színanyagok dominálnak, vagy egyáltalán nem is fotoszintetizálnak.

17.1.2. A fény hatása az állatokra

Az állatoknál is megkülönböztethetünk heliofil, szkiofil, umbrofil (árnyékkedvelő) és szkotofil fajokat. A nyílt gyepek sáskafajai fénykedvelők, ugyanakkor a vakond, a drótférgek és a többi talajlakó faj a szkotofil kategóriába tartozik, ezek a fényt elől menekülnek.

A fény az állatok életében sokoldalú szerepet tölt be. Meghatározza napi ritmusukat: nappali életmódú a legtöbb madár és hüllő, ugyanakkor szürkületkor vagy sötétben vadásznak a denevérek, és ilyenkor repülnek számos rovarfaj egyedei is. A nappal aktív fajoknak ezen túlmenően hatással van a napközbeni tevékenységére is a fényintenzitás (pl. hogy repülnek-e vagy egy helyben ülnek), a megvilágítás időtartama pedig egyes lepkefajok esetében a nemzedékek váltakozását és a bábból kikelő imágók (kifejlett egyedek) színét is meghatározza. Igen fontos szerepe van a fénynek ezen kívül a legtöbb állat tájékozódásában is. Ezen nemcsak a formák és színek érzékelését értjük, hanem olyan speciális eseteket is,

mint a méhek tánca vagy az éjjel repülő rovarok távoli fényforrások alapján történő tájékozódása.

A házi méh a virágokban gazdag rét irányát a nap irányához viszonyítva jegyzi meg: a kaptárból nézve a kettő közötti szögeltérés alapján talál vissza. Ami különösen érdekes, hogy ezt nemcsak ő maga jegyzi meg, hanem a többi méhnek is tovább tudja adni. Az erre szolgáló nyolcas alakú tánc során a kaptár függőleges falán szaladgál, mégpedig úgy, hogy a nyolcas középső szakaszának (a 8-ast alkotó két kör érintkező vonalának) a függőlegessel bezárt szöge akkora legyen, mint amekkora szöget a Nap iránya zár be a rét irányával. Mivel a tánclépések sebessége a kaptár-rét távolsággal arányosan csökken, a méhtársak azt is tudni fogják, milyen messze repüljenek. De a közölt távolság csak méhléptékkal mérve igaz, hiszen valójában nem a méterekben mérhető távolságot, hanem a rét elérésének energiaigényét adja meg (tehát szembeszélben ugyanazon rét esetében nagyobb távolságot ad meg, mint hátszélnél.) Külön meg kell jegyeznünk, hogy ha a méhlegelő felfedezése és a tánc között órák telnek el, a rovar a Nap állásának időközben történt változását is beleszámítja, és annak megfelelően módosítja a nyolcas közepének függőlegessel bezárt szögét. A méhhírnök az átszámítást még akkor is pontosan elvégzi, ha az előző nap délután talált virágok helyét másnap reggel kell „elmondania” a többi méhnek. Ráadásul akkor is a helyes irányt adja meg, ha közben akadályt kell kikerülni, pl. egy nagy sziklát; sőt, még akkor is, ha erős oldalszél volt, amit csak ferde testhelyezettel tudott kompenzálni, tehát ő maga repülés közben nem is olyan szögben látta a Napot, mint amit tánc közben meg kell adnia a többieknek (Sedlag, 1979).

Gyakran tapasztaljuk, hogy éjjelente rovarok tömegei repülnek a mindenütt világító mesterséges fényforrások közelébe (és pusztulnak el ott). Ez azért történik így, mert a különböző rovarfajok evolúciójuk során olyan környezethez alkalmazkodtak, ahol éjszaka az egyetlen fényforrás a Hold és a csillagok voltak. Mivel ezek iránya — óriási távolságuk miatt — hosszabb távra repülés során sem változik, a belőlük érkező fénysugarak alapján könnyen lehetett tájékozódni. Az éjjel egyenesen repülni kívánó rovarnak mindössze meg kellett jegyeznie, hogy a kiválasztott fényforrásból érkező fény milyen szög alatt éri a szemeit induláskor, majd a repülés során ezt a szöget tartania kellett. Ha ez sikerült, a rovar egyenesen repült. A rovarok ma is ugyanezt teszik, csak hogy tájékozódási alapnak leggyakrabban egy, az égitestekhez képest sokkal erősebb fényű utcai lámpát választanak ki, ezek pedig túl közel vannak ahhoz, hogy egyenes repülés során a belőle érkező fénysugarak szöge ne változzon. A rovar ezt a változást pontosan érzékeli, és úgy könyveli el, hogy bizonyára letért az egyenes irányról. Ezért repülési irányát úgy módosítja, hogy az eredeti szög helyreálljon. Ha ezt folyamatosan megteszi (és az eredeti szög 90 fok volt), végül körpályán kering a lámpa körül, mindvégig abban a tudatban, hogy egyenes vonalú mozgást végez. Amennyiben a kiindulási szög 90 foknál kisebb, röppályája kör helyett spirális lesz: egyre közeledik a fényforráshoz, míg az izzóhoz érve halálra nem égeti magát. Egy eredetileg hasznos evolúciós alkalmazkodás így válhat hátrányossá egy faj számára (ugyanerre számos példát találunk az ember táplálkozása kapcsán is, lásd később).

17.2. A hőmérséklet

A hő tulajdonképpen belső energia, a részecskék kinetikus energiája, SI mértékegysége a joule (J). A Föld felszínén a napsugarak elnyelődnek, energiájukat átadják a felszín anyagainak, aminek következtében azok részecskéi élénkebb mozgásba (szilárd anyagok esetén rezgésbe) kezdenek. A gyorsabban mozgó részecskékkel rendelkező anyagokról azt mondjuk, hogy több hőenergiával bírnak, a több hőenergia pedig azt jelenti, hogy az anyag hőmérséklete magasabb. A hőmérsékletet leggyakrabban °C-ban adjuk meg. Azonban hogy egy bizonyos energiamennyiség (hőmennyiség) egy bizonyos tömegű test hőmérsékletét

milyen mértékben képes megemelni, az a test fajhőjétől, végső soron az anyagától függ. A hőmérsékletet felfoghatjuk környezeti tényezőnek is.

A Földre a hőenergia túlnyomó része a Napból érkezik, bár egy kis mennyiség a bolygó belsejében zajló maghasadásból is származik. Szerves anyagok bomlásakor vagy égésekor szintén szabadul fel hő, de végső soron ez is napenergia, hiszen a bomló szerves anyag is egy korábbi fotoszintézis eredményeképpen jött létre.

A napsugárzástól vagy más módon felmelegedett talaj vagy más testek a hőt háromféleképpen adhatják tovább:

- hővezetéssel, ami magasabb és alacsonyabb hőmérsékletű test között közvetlen érintkezést feltételez,
- hőáramlással, amikor a felmelegedett testtel érintkező lég- vagy vízrétegek (hővezetéssel) maguk is felmelegednek, aminek eredményeképpen kiterjedve és kisebb sűrűségűvé válva felfelé áramlanak, helyükre pedig újabb, hideg lég- vagy vízrétegek kerülnek; valamint
- hőszugárzással, amihez közvetlen érintkezés nem szükséges: a meleg test a hőmérsékletének megfelelő erősségű (minél melegebb, annál több energiát sugároz ki időegység alatt) és hullámhossz-eloszlású (minél melegebb, annál rövidebb hullámhosszú, magasabb frekvenciájú és annál nagyobb energiájú fotonokból álló az a komponens, amiből a legtöbbet sugároz ki) elektromágneses sugárzást bocsát ki, amely légüres téren is képes áthatolni. Szobahőmérséklethez közeli hőmérsékleteknél ez a fő komponens az infravörös (vagy hő-) sugárzás, ami csak néhány ezer fokok hőmérsékleten megy át látható fénybe.

Mivel az energiát a napsugarak a földfelszínig szállítják a számukra nagymértékben átlátszó légkörön át, azért a légkör a talajtól, alulról felfelé melegszik fel a három hőterjedési mód kombinációjával. A felmelegedett földfelszín energiájának egy része hőszugárzás formájában jut a légkörbe, amit a vízgőz és egyéb gázmolekulák elnyelnek, benntartva a légkörben az energiát. Ez a már említett üvegházhatás. A légkör hőmérséklete felfelé haladva hozzávetőlegesen 0,5 °C–kal csökken 100 m-enként.

Egy terület hőmérsékleti viszonyait az alábbi tényezők határozzák meg:

- ❖ makroklimatikus tényezők (földrajzi szélesség, tengerszint feletti magasság, nagy víztömegek vagy tengeráramlások jelenléte vagy hiánya, légáramlások)
- ❖ mikroklimatikus tényezők (domborzat, talajtípus, növényzet)

Mint minden környezeti tényezőre, a hőmérsékletre is igaz, hogy az egyes fajok számára más-más értékei a legkedvezőbbek (mivel az élőlények szóban nem nyilatkoznak a közérzetükről, általában azt tekintjük a számukra optimális hőmérsékletnek, amelynél növekedési vagy szaporodási sebességük a legnagyobb). Ennek megfelelően megkülönböztetünk különböző mértékben melegigényes, vagy éppen hidegkedvelő élőlényeket.

A növények fotoszintézisének sebességére a hőmérséklet különösen nagy befolyással van. Az egyes növényfajok mind más és más hőmérsékleten kötik meg a legtöbb CO₂-ot (illetve termelik a legtöbb szerves anyagot és oxigént), mégis érdemes őket két csoportba osztanunk. Az ún. C₃-as növények — amelyeknél a CO₂ megkötése utáni első stabil szerves molekula a *három* szénatomos glicerinsav-3-foszfát — 20-30 °C-os hőmérsékleten a legaktívabbak. Ez jellemző a mérsékelt övi növényekre, haszonnövényeink közül pedig ide tartozik pl. a cukorrépa és a lucerna. Számos trópusi növény ellenben olyan sötétszakaszt működtet, amelyben a megkötött CO₂ először a *négy* szénatomos oxálcetsavba (majd a szintén négy

szénatomos almasavba vagy aszpartátba) épül be, és csak azután alakul tovább glicerinsav-3-foszfáttá. Mivel itt az első stabil molekula négy szénatomos, ezeket a növényeket C_4 -es növényeknek nevezzük. Közülük nagy mezőgazdasági jelentőséggel bír pl. a kukorica, kisebb mértékben a köles. A C_4 -esek jobban alkalmazkodtak a meleg és száraz klímához, mint a C_3 -asok, fotoszintézisük $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül a leghatékonyabb.

Természetesen a fentiek pusztán a kétféle anyagcsereútnál megfigyelt általánosságok, az egyes növényfajok fotoszintézisének hőmérsékletfüggése rendkívül eltérő lehet. A *Nephroma arcticum* nevű zuzmófaj például fagyponthoz felett $6\text{--}7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal mutatja a legintenzívebb fotoszintézist, a $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ már jóval kedvezőtlenebb számára.

A hőmérséklet az állatok anyagcseréjére is döntő hatással van. A legtöbb állatfaj testhőmérséklete a környezet hőmérsékletével arányosan nő. Ezek a változó testhőmérsékletű vagy *poikilotherm* fajok, amelyek közé tartoznak az ízeltlábúak, puhatestűek, férgek, hüllők, a madarakon és az emlősökön kívül szinte minden. Az utóbbi két taxon tagjait ugyanakkor állandó testhőmérséklet jellemzi. E *homiotherm*nek is nevezett fajok jellemzője, hogy testhőmérsékletüket a környezet hőmérsékletének meglehetősen széles tartományában többé-kevésbé állandó szinten tudják tartani. Ez természetesen hátrányokkal is jár (hidegben tetemes mennyiségű energiát, melegben vizet veszíthetnek), de ezt ellensúlyozzák olyan lehetőségek, amelyek a változó testhőmérsékletűek számára csak jóval korlátozottabban adóttak (pl. az aktivitás megőrzése /táplálékkeresés, vadászat/ nagy hidegben vagy melegben, éjjeli életmód). Természetesen nemcsak az állandó, hanem a változó testhőmérsékletű állatok és a növények is igyekeznek testhőmérsékletüket a számukra elviselhető határokon belül tartani. Ez esetükben kevésbé energiaigényes módon történik, állatoknál pl. napra fekvéssel vagy árnyékba vonulással; a változó testhőmérsékletű fajok a külső hőmérséklet változására lassabban reagálnak, és a szabályozás hatékonysága is kisebb. Számos sivatagi növény fényvisszaverő bevonattal vagy szőrökkel látja el a leveleit, amelyeket ráadásul éllel a Nap felé állít, hogy minél kevésbé hevüljenek fel; termetük nyúlánk, elágazó. A sarkvidéki és magashegységi növények ezzel szemben sötétebb színű leveleiket a napsugarakra merőlegesen tartják; termetük alacsony, a talajon szétterülő, igyekeznek minél kevesebb felületet nyújtani a hideg szélnek, ugyanakkor minél több hőt begyűjteni a kismértékben felmelegedett talajtól. Sok faj a tél beállta előtt lehullatja a leveleit, vagy megnöveli a sejtnedv ozmózisnyomását, hogy a szövetekben maradó oldat ne fagyhasson meg és a jégkristályok ne károsíthassák a membránokat.

Az egyes állat- és növényfajoknak nemcsak a hőmérsékleti optimuma különböző, hanem az a hőmérsékleti tartomány is igen változó szélességű, amelyen belül életképesek. A hőmérséklet szempontjából tág tűrésű (euriterm) fajok viszonylag nagy intervallumban elviselik a hőmérséklet változásait. Példa erre a tigris, amelynek indiai és szibériai alfajai két nagymértékben különböző éghajlaton honosak. A trópusi esőerdők orchideái vagy az emlősök bolhái ugyanakkor csak rövid ideig bírják ki a számukra igényelttől csak kicsivel is melegebb vagy hidegebb viszonyok között. Ezeket a hőmérséklet szempontjából szűk tűrésű (sztenoterm) fajoknak nevezzük.

A különböző rovarkártevők fellépésének előrejelzésével foglalkozó szakemberek gyakran használják az effektív hőösszeg fogalmát. E közelítő számolás alapja az a megfigyelés, hogy a rovarlárvák csak egy bizonyos, a fajukra jellemző fejlődési küszöbhőmérséklet (T_0) felett indulnak fejlődésnek. E küszöb alatt a fejlődési sebesség nulla, felette pedig a környezeti hőmérséklet és a küszöbhőmérséklet különbségével ($T_{\text{körny}} - T_0$) arányos. Ha például a *Cleonus punctiventris* ormányosbogár lárvájának a fejlődési küszöbe $8,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, akkor egy $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ átlaghőmérsékletű napon ($T_{\text{körny}} - T_0 = 16 - 8 = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$) négyszer akkora sebességgel fejlődik, mint egy $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ átlaghőmérsékletű napon ($T_{\text{körny}} - T_0 = 10 - 8 = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Így a lárva szempontjából nincs jelentősége, hogy egy napig $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ vagy négy napon át $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ az

átlaghőmérséklet, fejlődése mindkét esetben ugyanannyit lép előre. A keltetési kísérletek alapján azt is tudjuk, hogy a lárva teljesen kifejlődik, ha 128 napon keresztül $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ az átlaghőmérséklet (amelynek küszöb feletti része $T_{\text{körny}} - T_0 = 18 - 8 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ha a hőmérsékletet $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ helyett $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra emeljük (ami már $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal van a fejlődési küszöb felett), akkor a fejlődés kétszer akkor sebességgel megy végbe, így 64 nap is elegendő a következő nemzedék megjelenéséhez. Vegyük észre, hogy a fejlődési időtartam (t) és az átlaghőmérséklet küszöb feletti részének szorzata mindkét esetben $t(T_{\text{körny}} - T_0) = 1280\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal egyenlő. Ezt nevezzük az ormányosbogárfaj kifejlődéséhez szükséges *effektív hőösszegnek*. Természetesen az is ugyanúgy teljes kifejlődéshez vezet, ha 64 napig $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a hőmérséklet, 32 napig pedig $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, hiszen a szorzatok összege ekkor is $t_1(T_{\text{körny}1} - T_0) + t_2(T_{\text{körny}2} - T_0) = 64 * 10 + 32 * 20 = 640 + 640 = 1280\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Minden, a mezőgazdaságban jelentőséggel bíró rovarfajról ismert, hogy telelő fejlődési alakjából a teljes kifejlődéshez (vagy éppen a következő tömeges rajzás elkövetkezéséhez) mekkora effektív hőösszegre van szükség, és az is, hogy mekkora a fejlődési küszöbhőmérsékletük. Ha a hőmérséklet e szint alá csökken, fejlődésüket felfüggesztik, később pedig újra beindítják, ha ismét kedvezőbbre fordulnak számukra a körülmények. Hogy a környezet hőmérséklete hányszor süllyed a küszöbhőmérséklet alá, majd emelkedik újra föléje, azaz a fejlődés hányszor függesztődik fel és indul be újra, annak nincs jelentősége: a lényeg, hogy a $^{\circ}\text{C}$ -ban mért hőmérsékletek küszöb feletti része és az e hőmérsékleteken töltött idők szorzata kiadja a fajra jellemző effektív hőösszeget, amit a $\Sigma t(T_{\text{körny}} - T_0)$ alapján számíthatunk ki. A napi átlaghőmérsékletek alakulását nyomon követve így jó közelítéssel kiszámítható a kifejlett rovarok tömeges megjelenésének ideje, ami mérgekkel való elpusztításukat – a mezőgazdasági gyakorlatban sajnos még ma is ez az általános – nagymértékben megkönnyíti.

A homiotherm gerincesek testfelépítése és –mérete úgy alakult, hogy aktív hőmérsékletszabályozásra minél kevésbé legyen szükségük. Nyilvánvaló, hogy egy állat annál több hővel rendelkezik, minél több hőt termel, és minél kevesebbet ad le. A hőtermelés a testtömeggel (ill. térfogattal) arányos, míg a hőleadás a testfelülettel. A testtérfogat a testhossz harmadik hatványával arányos, ezért – azonos testforma esetén – egy kétszer olyan hosszú állat $2^3=8$ -szor annyi hőt termel, mint feleakkora társa. A testfelület ugyanakkor a testhossz második hatványával arányos, ezért egy kétszer olyan hosszú állat – megint azonos testalak esetén – $2^2=4$ -szer annyi hőt ad le, mint egy feleakkora. Tehát egy kétszeres testhosszúságú állat 8-szor annyi hőt termel, de csak 4-szer annyit ad le, mintha feleakkora lenne – a hőtermelés és –leadás viszonya hideg éghajlaton a nagyobb testméretű fajok vagy alfajok számára tehát kedvezőbb.

A fenti megfontolást fejezi ki a *Bergmann-szabály*: egy taxonon belül a hidegebb élőhelyeken élő állatok nagyobb testméretűek. Így például a Dél-Amerika déli részén élő Magellán-pingvin (*Spheniscus magellanicus*, 70 cm) kisebb, mint a Déli-sark császárpingvinje (*Aptenodytes forsteri*, 120 cm) és még nála is kisebb az Egyenlítő környékén honos Galapagos-pingvin (*Spheniscus mendiculus*, 50 cm). Hasonló összefüggés figyelhető meg Észak-Amerikában a három medvefaj (fekete-, barna- és jegesmedve) testmérete és a földrajzi szélesség között, de a barnamedve egyes alfajain belül is.

Hidegebb éghajlatok felé haladva a hőháztartást előnytelenül befolyásoló testfüggelékek méretének csökkenése is gyakran megfigyelhető: a Szaharában élő sivatagi róka füle óriási, a mérsékelt övi vörös rókaé kisebb, a sarki rókaé még kisebb. A mamut füle is kisebb volt, mint a mai afrikai elefánté. Az ezt leíró tapasztalati szabályt Allen-szabálynak nevezzük. Természetesen ez a szabály is csak egy-egy kisebb taxonon belül, közelrokon fajok között érvényes, ezért ne várjuk, hogy a sarki róka füle kisebb legyen a sivatagi ugróegerénél.

17.3. A légkör

Tengerszinten a légköri levegő nyomása nagyjából $10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2$. Ez azt jelenti, hogy minden egyes négyzetméterre 10^5 newton erő hat, ez pedig körülbelül megfelel egy 10^4 kg (10 tonna) tömegű test súlyának. 6000 km-es ($6 \times 10^6 \text{ m}$) Földsugárral számolva bolygónk felszíne $4\pi r^2 = 4 \times (6 \times 10^6)^2 \times \pi \approx 4 \times 36 \times 3,14 \times 10^{12} \approx 4,52 \times 10^{14} \text{ m}^2$, így a Föld felszínére összesen megközelítőleg $4,52 \times 10^{15}$ tonna tömegű testnek megfelelő súly nehezedik. A légkör tömege tehát óriási – még egy átlagos, 1 km^3 térfogatú felhő tömege is (természetesen a felhő alkotórészének tekintve nemcsak a vizet, hanem a levegőt is) 1 millió tonna körül mozog.

A légkör felfelé egyre ritkul, éles határa a világűr felé nincs. Mindazonáltal kb. 3000 km vastagságúnak vehetjük, amelynek gyakorlatilag csak az alsó 15 km-ében van élet. Már ekkora magasságban is -55°C körüli a levegő hőmérséklete, nyomása pedig a tengerszinten mérhetőnek kb. hetedrésze. Az UV-sugarakkal szembeni védelem szempontjából fontos ózonréteg túlnyomórészt a 20-25 km-es magasságban helyezkedik el.

A levegőt nagyjából 78% nitrogén, 21% oxigén és 1% argon alkotja, az üvegházhatás szempontjából lényeges CO_2 térfogataránya mindössze 0,03-0,04%. Ezen felül még sokféle természetes és mesterséges vegyület megtalálható a légkörben (pl. az üvegházhatás oroszlánrészéért felelős vízgőz).

A Föld légköre nem volt mindig a maihoz hasonló összetételű. Az élet 3,5 milliárd évvel ezelőtti megjelenése előtt olyan volt, mint ma a szomszédos bolygóké: H, He, metán, NH_3 , S, H_2S , vízgőz alkotta. Az első fotoszintetizáló szervezetek azonban (mintegy 2 milliárd évvel ezelőtől kezdődően) felesleges anyagcsereterméküket, az oxigént – ahogy elszaporodtak és elterjedtek – egyre nagyobb és nagyobb mennyiségben bocsátották a légkörbe, így az felhalmozódhatott. Egyrészt védő ózonréteget hozott létre, másrészt lehetővé tette az oxigént légző élőlények megjelenését).

Ma sem minden élőlénynek van szüksége oxigénre az élethez. Oxigénigény szempontjából az élőlényeket a következőképpen csoportosíthatjuk:

- obligát aerob élőlények: oxigén nélkül elpusztulnak
- anaerob élőlények: csak oxigén nélkül élhetnek, az oxigén rájuk nézve mérgező
- fakultatív aerob élőlények: oxigén hiányában is életképesek, de mivel légzésükhöz oxigént használni képesek, ezért e gáz jelenléte kedvező számukra
- mikroaerofil élőlények: a kevés oxigént kedvelik
- aerotoleráns anaerob élőlények: elviselik az oxigén jelenlétét, de nem hasznos számukra, mert csak fermentálásra képesek

Az élőlények többsége obligát aerob, tehát az oxigén létfontosságú számukra. Nekik a levegő 21%-os oxigéntartalma általában messzemenően elegendő, de egyes élőhelyeken hiány alakulhat ki oxigénből. A hegyekben felfelé haladva egyre csökken a légnyomás, és kb. 5500 méteres magasságban éri el a tengerszintre jellemző érték felét. A nitrogén és az oxigén aránya is kissé módosul a kisebb molekulatömegű nitrogén javára. A magashegységekben tehát az oxigénkoncentráció jóval kisebb, de ehhez az ottani élőlények sikerrel alkalmazkodtak (pl. a vérük lejjebb élő rokonaikénál több vörösvérsejtet vagy több hemoglobint tartalmaz). A talajban és a vízben azonban az oxigén limitáló tényező lehet. A még viszonylag sok oxigént tartalmazó $+4^\circ\text{C}$ -os édesvizek oxigéntartalma 14 mg/l . Hasonlítsuk ezt össze a levegő átlagos oxigéntartalmával! $24,5 \text{ liter}$ standard állapotú levegő tömege 29 g , anyagmennyisége pedig 1 mol . Ennek 21 %-a oxigén, azaz $0,21 \text{ mol}$, ami $32 \text{ g/mol} \times 0,21 \text{ mol} = 6,72 \text{ g}$ -ot jelent. Vagyis a szárazföldi élőlények közegük 1 literéből kerekén 480-szor ($6720 \text{ mg} / 14 \text{ mg} = 480$) annyi oxigénhez juthatnak, mint vízi társaik az övékből.

Az aerob állatok oxigénigénye nyilván nagymértékben függ a testtömegüktől: nagyobb szervezeteknek több energiára van szükségük, így több oxigénre is. Azonban az állat testének 1 g-jára jutó átlagos oxigénfogyasztás is erősen eltérő, hiszen a nagyobb testű fajok tömegegységénként jóval kevesebb oxigént használnak fel, mint a kisebb termetűek. Egy 10 g-os egér anyagcseréje akár 100-szor olyan intenzív is lehet, mint egy elefánt 10 g-os átlagszövetdarabjának anyagcseréje. Ez nem meglepő, hiszen a nagytestű állatok sejteinek sokkal nagyobb hányada van „belül”, ennél fogva egy elefántnak is sokkal kevesebb energiát kell fordítania hőtermelésre, mint pl. egy egérnek. A tömegegységre jutó oxigénfelhasználás ilyenén alakulása tehát a Bergmann-szabály egyik következménye.

Az idők során természetesen nemcsak a légkör oxigéntartalma növekedett, hanem a többi gáz részaránya is változott. A CO₂ koncentrációja 1000 évvel ezelőtt 0,028 térfogatszázalék volt, ami egyenlő 280 milliomodrészszel (280 ppm /parts per million/). A XIX. században aztán az ipari forradalomnak köszönhetően elkezdett emelkedni, ami egyre gyorsuló ütemben máig is folytatódik. 2011 februárjában a szén-dioxid térfogataránya a Mauna Loa-i (Hawai-szigetek) mérések szerint 391,76 ppm (kb. 0,039%)¹.

A légkör széndioxid-koncentrációja az évszakoknak megfelelően is változik. Amikor az északi félgömbön nyár van, a CO₂ globális koncentrációja csökken, hiszen a fotoszintetizáló növények lombjuk, testük felépítése során rengeteg CO₂-ot kivonnak a légkörből és szerves anyagokká alakítanak. Ősszel, mikor a levelek lehullanak és az egyéves növények elpusztulnak, a lebontó szervezeteknek köszönhetően ez a szénmennyiség lassanként újra CO₂-dá alakul és visszajut a levegőbe. Így a CO₂-koncentráció az előző év tavaszán mért értékre növekszik ismét (pontosabban az ipari forradalom óta egy annál nagyobb értékre áll be). Noha a déli félgömbön pont akkor van nyár, amikor az északin tél, az utóbbi félteke évszaka a döntő, hiszen a délin jóval kevesebb szárazföld, kevesebb erdő van.

A fotoszintézis intenzitása nemcsak a hőmérséklettől és a fénytől, hanem a CO₂ koncentrációjától is függ: minél több a CO₂, annál gyorsabb a fotoszintézis. Itt is van egy minimális érték (CO₂-kompenzációs pont), ami alatt nettó fotoszintézis nincs. Ilyen alacsony koncentrációknál a gázmolekulák diffúziója az, ami korlátozza a sebességet, nagyobb koncentrációk esetén pedig a sejtek fotoszintetizáló apparátusának véges kapacitása a limitáló tényező. A CO₂-koncentráció — fotoszintézis összefüggést egy kezdetben meredeken emelkedő, majd egyre inkább vízszintesbe forduló görbével mutathatjuk be. A legintenzívebb szervesanyag-előállítás mindenesetre a légkörinél magasabb CO₂-koncentráció mellett valósul meg (néhányek ezért abban bízhatnak, hogy a fosszilis tüzelőanyagok egyre gyorsuló felhasználása a természetlagok növekedését vonja majd maga után. Üvegházakban valóban így történik, de mivel az egyes növényfajok produktivitásának CO₂-függése eltérő, ezért a megváltozott CO₂-koncentrációk esetleg olyan fajokat juttathatnak előnyhöz, amelyek eddig háttérben voltak, ez pedig a növénytársulásban a dominanciaviszonyok felborulását okozhatja. Másrészt számolnunk kell a CO₂ éghajlatváltoztató hatásával is).

A levegő igen fontos komponense a vízgőz, amelynek még az összes mennyiségét is csak meglehetősen pontatlanul ismerjük (~12 300 km³, ez az összes földi vízfolyások statikus vízkészletének kb. a tízszerese). A levegő vízgőzkoncentrációját az abszolút ill. a relatív páratartalommal szokás kifejezni. Az abszolút páratartalom általában g/m³-ben adja meg az egységnyi térfogatra eső víztartalmat. A relatív páratartalom ugyanakkor az adott hőmérsékleten és nyomáson lehetséges maximális vízgőzmennyiség százalékában fejezi ki, hogy mennyi vízgőz van a levegőben. Ennek alapja az, hogy egy m³ levegő csak — a hőmérséklettől és nyomástól függő — meghatározott vízgőzmennyiséget képes befogadni. Ha egy 1 m³-es, száraz levegőt tartalmazó tartályba ennél több vizet fecskendezünk, akkor a víz e mennyiség feletti része nem párolog el, hanem folyékony állapotban a tartály alján marad. Ugyanígy, ha egy tartályt, amely — adott nyomáson és hőmérsékleten — vízgőzzel telített levegőt tartalmaz, lehűtünk, a víztartalom egy része kondenzálódik. Pontosan ez történik a

felfelé emelkedő légtömegek víztartalmával is. Ha a vízszintesen haladó levegőnek pl. egy hegylánc állja útját, a levegő kénytelen felfelé is elmozdulni, ami a fentebb jellemző alacsonyabb hőmérsékletek miatt vízkicsapódással, vízcseppecskék megjelenésével jár. Ha ezek kicsinyek, felhőről beszélünk, ha azonban a cseppek tovább nőnek, a kondenzált víz csapadék formájában „kieshet” a felhőből. Ennek köszönhető, hogy a hegyvonulatok szél felőli oldala gyakran jelentősen több csapadékot élvez, mint a szélárnyékos oldal, ahová már telítetlen, szárazabb, lefelé áramló levegő jut.

17.3.1. Szennyező anyagok a levegőben

Természetes körülmények között a levegő igen kevés szennyező anyagot tartalmaz (pl. por, vulkánkitörésekből származó anyagok). A levegőszennyezők túlnyomórészt antropogén eredetűek.

Napjainkban sok szó esik a különböző, légszennyezést okozó vegyületek kiküszöböléséről. Erre a múltban is voltak törekvések, pl. az oktánszámnövelőként régebben a benzinbe kevert ólom-tetraetil forgalomból kivonásával sikerült elérni a légköri ólomkoncentráció és az abból eredő betegségek gyakoriságának csökkenését. Úgy tűnt, végérvényesen megoldódott a probléma. Ám napvilágot látott egy Kensington Gardenben végzett tanulmány, amely megállapította, hogy 1925 és 2001 között a házi verebek száma a kezdeti több ezerről gyakorlatilag nullára csökkent, a legvalószínűbb ok pedig az a metil-terc-butil-éter, amit – az elavult ólom-tetraetil helyett – kopogásgátló gyanánt újabban a benzinhez adagolnak (Moss, 2001). Ez az éter, ill. annak valamilyen égésterméke ugyanis feltehetően elpusztítja azokat az apró rovarokat, amelyekkel a verébszülők az első három napban a fiókáikat táplálják. Ez az eset intő példa arra, hogy egy kártékonnak bizonyult vegyület másikkal való felcserélése egyáltalán nem biztos, hogy végleges megoldást jelent – talán csak áthelyezi a problémát egy másik szintre.

Hasonlóan tanulságos a savas esők története (Purves — Orians — Heller, 1995). A csapadék savanyodását okozó kénsav- és salétromsavtartalom növekedését először Skandináviában figyelték meg. Norvégiában 1978-ra – más halfajok mellett - a barna pisztráng populációja a felére apadt, 1983-ra pedig további 40%-os csökkenést figyeltek meg. Ma az iparosodott országokban a savas eső az általános, pl. Észak-Amerikában a csapadék átlagos pH-ja 5,6, New-Englandben 4,1, néha 3,0 (a pH=3,5 kémhatás már közvetlenül károsítja a faleveleket). Kanadában kísérletképpen egy tó vizét savanyították meg kénsavval úgy, hogy pH-ja 6,6-ról 5,2-re csökkent. Mivel ehhez a nitrifikáló baktériumok nem tudtak alkalmazkodni, a nitrogénciklus megszakadt, és mérgező ammónia halmozódott fel a vízben. A kísérlet befejeztével a pH felment ugyan 5,4-re, de savanyú kémhatás által blokkolt nitrifikáció csak egy év elmúltával indult be újra. A kémhatás megváltozása tehát jelentősen befolyásolja a vizek élővilágát, és a zavaró hatás megszűntével az élővilág csak lassan regenerálódik.

A savas esők kialakulásában fontos körülmény, hogy a savas esők és az azokat kiváltó ipari légszennyezés távolsága több száz kilométer is lehet, hiszen a példaként említett skandináv problémát is az angol és német gyárak füstgázai okozták. A savas esők ellen tehát kizárólag *regionálisan* érdemes fellépni, a problémát elszenvedő ország saját (*lokális*) intézkedései gyakran hatástalanok maradnak. (A széndioxid-kibocsátás mérsékléséhez már ez sem elég, ehhez Föld szintű összefogás kell: ez *globális* probléma).

A savas esők nemcsak a növényeket és a vízi élővilágot károsítják. Egyik jelentős hatásuk az is, hogy számos kötött állapotban levő nehézfémot kioldanak a talajból, amelyek így a felszín feletti és alatti vizeket mérgezik. Ugyanakkor az is lehet, hogy a kioldás a növényekben vagy az azokat fogyasztó állatok/emberek szervezetében épp hogy hiányt hoz létre bizonyos fémekből, ami betegségek megjelenéséhez vezet. A kémények füstgázaiból a nitrogén és a

kén oxidjai eltávolíthatók ugyan, de 90%-os hatásfok felett a tisztítás amúgy is magas költségei jelentősen megugranak.

A globális elsötétülés vagy elhomályosulás (global dimming) jelenségét csak az elmúlt években ismerték fel ^{2,3}. A vízfelszínek párolgását vizsgáló kutatók azt állapították meg, hogy adott felület párolgásának sebessége az 1950-1990-es évek közötti évtizedekben jelentősen csökkent: az Egyesült Államokban 10%-os, Nagy-Britanniában 16%-os, Oroszországban 30%-os csökkenést figyeltek meg. Ez különösen meglepő annak tükrében, hogy közben a globális hőmérséklet folyamatosan növekedett, amitől inkább a párolgás növekedését, mint lassulását várnánk. Mivel a párolgás sebessége a hőmérsékleten és a relatív páratartalomtól kívül csak a napfény erősségétől függ, a változás oka — ez később be is bizonyosodott — csak ennek megváltozása lehet. A jelenség magyarázata az, hogy a füstgázokban a légkörbe jutó apró korom- és egyéb apró részecskék a felhők kialakulásakor kondenzációs magként szolgálnak, és mivel ilyen magokból manapság sokkal több van, a felhők is sokkal több és kisebb cseppből állnak, mint korábban. A sok apró cseppből álló felhők viszont tökéletesebb tükörként viselkednek, nagyobb hányadát verik vissza a Földet érő napfénynek, ennek tulajdonítható a földfelszín elsötétedése. A global dimming jelentősége nemcsak elméleti. Egyrészt a — főként az iparosodott északi félgömbre jellemző — szennyezett felhők megváltoztatják a felszínek felmelegedését, ezzel pedig a csapadék eloszlását is. Elképzelhető, hogy az északi félteke óceánjainak lehűlése, a csapadékvíz délebbre vándorlása, a Száhel-övezet szárazsága és tízmillió afrikai nyomora csak ízelítő a global dimming hatásai közül. Másrészt, mivel a global dimming energiát von el a bolygótól, feltételezhető, hogy a globális felmelegedés eddig tapasztalt — és így is ijesztőnek talált — mértéke csak egy része annak, ami a global dimming nélkül fellépett volna. A füstgázok egyre elterjedtebb és tökéletesebb tisztításával a globális elsötétülés bár csökken, a globális felmelegedés még erősebb lesz. Az ezt is figyelembe vevő modellek a század végére a korábbi max. 6 °C-os helyett 10 °C-ot is elérő melegedést jósolnak, ami a bolygót emberi életre tökéletesen alkalmatlanná tenné. Bár vannak olyan újabb (bár időnként megtévesztően tálalt vagy meghamisított) megfigyelések, amelyek szerint a Föld melegedése bizonyos szempontból szorosabb összefüggést mutat a Nap ciklusainak változásával, mint a CO₂ koncentrációjával, ám ez nem jelenti azt, hogy az üvegházhatás jelentősége elhanyagolható. Mint ismeretes, a Föld átlaghőmérséklete mintegy 33 °C-kal alacsonyabb lenne a jelenleginél, ha nem lenne légkör és nem lenne üvegházhatása, akárhogy is váltakoznak a napsziklok. A napszél erősségének (természetes) változása és az ember által befolyásolt üvegházhatás együtt dönt a Föld éghajlatáról.

A levegő természetesen fizikai hatásokkal is bír. A levegő földfelszínnel párhuzamos áramlása, a szél, valamint az egyéb irányú légmozgások sokrétű hatással vannak az élőlényekre:

- a szél a párologtatást fokozza, ami egyrészt hőelvonó hatású (ez melegben kedvező lehet), másrészt vízvesztéseket okoz.
- a szél nyíró hatású a növényzetre, sérüléseket, féloldalas növekedést eredményezhet.
- segítheti a termések, virágporoszemek, termések, madarak, rovarok és egyéb állatok terjedését (vagy éppen akadályozhatja azt).

17.4. A víz

A földi élet 3,5-4 milliárd éve a vízben keletkezett, és mintegy 3 milliárd évig nem is lépett ki onnan. A víz ma is igen fontos élőhely, a vizek-óceánok fotoszintetizáló élőlényei állítják elő a Földön évente termelődő oxigén mintegy felét. A víz felszínformáló tényező is, a vulkáni erők által létrehozott vagy felemelt kőzeteket lepusztítja, és anyagaikat elhordva részt vesz a

tengerek feltöltésében. A Földön mindhárom halmazállapotában megtalálható, amit az asztrobiológusok az élet kialakulása egyik legfontosabb feltételeként tartanak számon (a 2010-ben tőlünk 20,3 fényévnnyire talált Gliese 581g jelű bolygó épp azért került a figyelem középpontjába, mert az eddig felfedezett mintegy félezer extraszoláris bolygó közül ez az egyetlen, amelyen a víz mindhárom halmazállapotában előfordulhat⁴.

A víz ökológiai szerepe sokrétű:

- a növények tápanyaga, a fotoszintézis kiindulási anyaga;
- testalkotó anyag (az emberi test tömegének pl. mintegy 60%-a víz);
- reakcióközeg (a sejtek biokémiai reakciói vizes közegben mennek végbe);
- kiváló oldószer (ezért tartalmazhat a növények számára értékes ionokat a talajoldat, ezért szállíthat számos tápanyagot a vér stb.);
- hőszabályozó anyag (nagy hőkapacitásánál fogva hőállandóságot biztosít az élőlényeknek, nagy párolgáshőjével pedig hatékony hőszabályozást tesz lehetővé);
- kulcsfontosságú élőhely.

A víz ökológiai fontosságára jól rávilágít az a tény, hogy egy élőhely éves csapadékmennyisége és az élőlények által évente termelt szervesanyag-mennyiség között egyenes arányosság áll fenn: minél több a csapadék, annál produktívabb (és rendszerint gazdagabb) az életközösség. A csúcson a trópusi esőerdők állnak.

A víz környezeti tényezőként jelentkező tulajdonságai

- ❖ a sótartalom,
- ❖ az oxigéntartalom,
- ❖ a hőmérséklet,
- ❖ a széndioxid-tartalom,
- ❖ az ásványianyag-tartalom.

A víz sótartalma széles tartományban változik: a világóceánok átlagos sókoncentrációja 35 ezrelék (de pl. a Finn-öbölben az édesvízű folyók hozzáfolyása miatt csak 1 ezrelék), és a sótartalmuk 77,8%-át a NaCl adja. A szárazföldi felszín alatti vizek ásványianyag-tartalma nagyon változó, rétegvizek esetében elérheti a 20 000 mg/l értéket is, ami 20 tömegszázalékos töménységnek felel meg.

17.4.1. A növények vízháztartása és vízigénye

A növények vízháztartásuk szerint lehetnek

- változó vízállapotúak (poikilohidráturás növények); ezek kiszáradástoleránsak, testük víztartalma nagymértékben függ a környezet víztartalmától. Ilyenek a mohák, egyes páfrányok (pl. a pikkelypáfrány, *Ceterach officinarum*), néhány zárvatermő faj, de a növényeken kívüli taxonok közül a cianobaktériumok (a *Nostoc* fajok például 100 szárazon töltött év után is feléleszthetők), a zöldmoszatok, és a zuzmók is ide tartoznak;
- állandó vízállapotúak (homoiohidráturás növények): testük víztartalmát többé-kevésbé állandó szinten tartják, a nagyobb mérvű vízvesztéséget nem bírják, attól elpusztulnak. Ilyen a legtöbb virágos növény.

Vízigény szerint a hajtásos növények következő típusait érdemes elkülönítenünk:

1. Vízinövények (hidatofiton): vízben élnek, az aljzathoz rögzített vagy lebegő életmódot folytatnak. Gyökérzetük csökevényes vagy teljesen hiányzik (pl.: rence). Kutikulájuk nincs, edénynyalábjaik fejletlenek. Gyakori az átszellőztető alapszövet, amely a vízfelszínen lebegést segíti elő. A szárazra kerülést és a kiszáradást nem viselik el.
2. Mocsári növények (helofiton):
vízzel borított talajon élnek, sok vizet vesznek fel, igen erőteljesen párologtatnak. Nincsenek szilárdító szöveik, testük tartását a sejtek víztelítettsége biztosítja (ezért is hervadnak el olyan gyorsan).
3. Közepes vízigényű növények (mezofiton):
állandó közepes szintű vízellátottságot igényelnek, élénkzöld szín és nagy párologtató felület jellemzi őket. Több-kevesebb szilárdító szövevel rendelkeznek; pl.: a réti és erdei növények jelentős része.
4. Szárazságtűrő növények (xerofiton):
száraz éghajlaton vagy legalább száraz talajon élnek, jellemzőjük a mélyre hatoló gyökérzet, a csökkentett párologtató felület, a sok szilárdító elem, a vastag levéllemez, a felületük szőrözöttsége vagy a viaszbevonat. Sztómájuk rendszerint besüllyedt.

A szárazságtűrő növények stratégiáikat tekintve három fő csoportba sorolhatók:

Efemer növények: Rövid tenyészidejű növények, életciklusuk legfeljebb néhány hétig tart. Gyors virágzás és termésérlelés után teljesen eltűnnek, és mag formájában vészeli át a következő hosszú ideig tartó kedvezőtlen időszakot. A sivatagokra és a tundrákra jellemzőek.

A geofiton tagjai: Olyan növények tartoznak ide, melyek áttelelő szerve a felszín alatt rejtőzik. A geofitonok a talajba húzódnak vissza, hagymát, gumót, gyöktörzset, stb. fejlesztenek, míg a csapadékviszonyok alkalmassá nem válnak föld feletti hajtás fejlesztésére. A talajban rejtve töltött idő sok esetben nem a száraz periódus átvészelését segíti, hanem a fényviszonyok rendes éves ciklusa miatt alakul ki: a magyarországi erdőkben számos geofiton faj kora tavasszal virágzik és fotoszintetizál, mert ilyenkor még sok fény éri el a talajt. Mire a fák lombot fejlesztenek, megtöltik a talajban levő raktározó szerveiket tápanyagokkal, és a következő tavaszig a talajban rejtve maradnak.

Szukkulens növények: A kis mennyiségű és rendszertelen vízellátás kihasználásához való alkalmazkodásnak azt a módját képviselik, amikor a növény valamely szervében nagy mennyiségű vizet tárol. A vízraktározó szerv lehet szár, törzs (pl.: kaktuszok, egyes kutyatejek) vagy levél (pl.: kövirózsa, varjúháj).

17.4.2. A CO₂-megkötés hagyományos és alternatív útjai

A zöld növények szerves anyagaikat a fotoszintézis során állítják elő. A növények többségénél a széndioxid-asszimiláció első stabil terméke a glicerinsav-3-foszfát. Mivel a glicerinsav-3-foszfát egy három szénatomos molekula, a biokémikusok ezeket a növényeket C₃-as növényeknek nevezték el. A megkötés folyamatának első lépései úgy zajlanak le, hogy az öt szénatomos ribulóz-1,5-biszfoszfát megköti a levegőből a CO₂-ot, így átmenetileg hat szénatomos instabil terméké alakul át, amely rögtön utána két darab három szénatomos

molekulává – glicerinsav-3-foszfáttá - hasad szét. Izotópos vizsgálatokból tudjuk, hogy a két molekula egyikének karboxilcsoportja (-COOH) tartalmazza a szén-dioxid szénatomját.

A CO₂-megkötést katalizáló enzim neve ribulóz-1,5-biszfoszfát-karboxiláz, röviden rubisco. A rubisco azonban ribulóz-1,5-biszfoszfátnak nemcsak a szén-dioxiddal, hanem az O₂-nel való reakcióját is képes katalizálni (innen is a pontos név: ribulóz-1,5-biszfoszfát-karboxiláz/oxigenáz). E reakció akkor kerülhet túlsúlyba, ha a fotoszintetizáló sejtek ill. a zöld színtestek környezetében kevés szén-dioxid áll rendelkezésre, ugyanakkor bőven van oxigén. Ilyenkor a folyamat egyik terméke, a két szénatomos glikolát a zöld színtestet elhagyván a mikrotesteknek (microbody) nevezett sejtszervecskébe vándorol, ahol belőle oxigénfelvétellel járó reakciók során szén-dioxid képződik. Mivel a folyamat fényt és oxigént igényel, ugyanakkor szén-dioxid termelődésével jár, fénylégzésnek vagy fotorespirációnak nevezték el. A névből is látszik, hogy a fénylégzés a fotoszintézis ellentéte, fordítottja. A legtöbb növény gyakran kerül olyan helyzetbe, amikor a CO₂ és az O₂ kedvezőtlen aránya folytán a fotorespiráció jelentőssé válik, így a fotoszintézissel előállított szerves anyag viszonylag nagy hányada e folyamatnak áldozatul esve visszalakul CO₂-dá.

A második világháború után a fotoszintézis-sötétszakasz egyes lépéseinek felderítésén fáradozó biokémikusok – amelynek meghatározó körfolyamatát a Berkeley-kutatócsoport vezetőiről, Melvin Calvinról és Andrew Bensonról Calvin-Benson-ciklusnak vagy röviden *Calvin-ciklus*nak nevezték el - nagy meglepetéssel vették tudomásul, hogy számos növényfaj esetében a CO₂-megkötés első stabil terméke nem a három szénatomos glicerinsav-3-foszfát, hanem a négy szénatomos oxálecetsav (oxálcetát). Ezeket a növényeket ennél fogva C₄-es növényeknek nevezték el. E fajok ugyanazt a Calvin(-Benson)-ciklust végzik, mint C₃-as társaik, de néhány rövid reakciót elékapcsolnak a folyamatnak. Először is, a foszfoenolpiroszölősav-karboxiláz (PEP-karboxiláz) nevű enzim segítségével a három szénatomos foszfoenol-piroszölősavból (PEP) és CO₂-ból négy szénatomos oxálecetsavat (ez még továbbalakulhat szintén négy szénatomos almasavvá) állítanak elő a levél alapszövetének fő tömegét alkotó mezofillumsejtek zöld színtestjeiben. A keletkezett oxálecetsav (vagy almasav) ezt követően átdiffundál a levélerek szállítószöveteit körülvevő nyalábhüvely-parenchima sejtjeibe, amelyek zöld színtestjeiben PEP-ra és CO₂-ra bomlik. Ekkor aztán beindul az a folyamat, amellyel a C₃-as növényeknél az egész sötétszakasz kezdődik: a CO₂-ot felveszi a ribulóz-1,5-biszfoszfát, majd a hat szénatomos átmeneti termék két darab három szénatomos glicerinsav-foszfáttá bomlik. Innentől a C₃-as és a C₄-es növények fotoszintézise azonos lépéseken halad keresztül.

Akkor mi értelme van a C₄-esek elékapcsolt reakciójának (PEP + CO₂ → oxálcetát), ha az oxálcetsav rövidesen visszaalakul kiindulási anyagaiba? A folyamatot katalizáló enzim, a PEP-karboxiláz (a rubiscoval ellentétben) nem érzékeny az oxigénre, így az általa katalizált folyamat alacsony CO₂- és magas O₂-koncentrációnál sem vezet fénylégzéshez. Mikor fordulnak elő ilyen viszonyok? Ha kevés a víz a talajban, és nagy a forróság, a növény az elhervadás elkerülésére igyekszik bezárni gázcserenyílásait. Ezzel ugyan megelőzheti a túlzott vízvesztést, de a zárt légrések a CO₂-felvételt is megakadályozzák, és az eredmény alacsony CO₂-koncentráció lesz. Ez a C₃-as növényeknél fénylégzéshez, következképpen szervesanyag-vesztéshez vezetne. Ám a C₄-es növények PEP + CO₂ → oxálcetát → PEP + CO₂ körfolyamata futószalag módjára szállítja a CO₂-molekulákat a mezofillumsejtekből (ahol a fényszakasz is zajlik) a nyalábhüvelysejtbe (ahol a sötétszakaszé a fő szerep). Így a nyalábhüvelysejtben jelentősen megnő a CO₂-koncentráció, fénylégzés pedig nem következik be se a mezofillumban (az oxigénre érzékeny enzim hiánya miatt), se a nyalábhüvelyben (a sok CO₂ miatt). A C₄-es növények ennek következtében a száraz, meleg élőhelyek meghódítására alkalmasabbak C₃-as társaiknál. Ez az anyagcsereút kizárólag zárwatermőkben fordul elő, hasznnövényeink közül pl. a kukoricában. Ennek tükrében érthető a korábban említett különbség: a C₄-es növények ugyanolyan fényintenzitásnál több szerves

anyagot állítanak elő, a fény és a fotoszintetikus intenzitás kapcsolatát leíró görbékük csak nagyobb fényerősségeknél mutat telítődést, és magasabb hőmérsékleten sem csökken a fotoszintézisük hatásfoka.

A CAM (Crassulacean Acid Metabolism) a C_4 -eshez hasonló, de attól megkülönböztethető anyagszereűt. A varjúhájfélékre (Crassulaceae) és számos más szukkulens növényre, kaktuszra jellemző, olyan fajokra, amelyek különösen száraz és forró éghajlaton honosak. Ezek a növények gázcsereenyílásaikat csak éjjel nyitják ki; a nappali forróság idején, hogy megakadályozzák a vízvesztést, zárva tartják. Éjjel CO_2 -ot vesznek fel a levegőből, PEP-karboxilázzal négy szénatomos karbonsavakká alakítják, amelyeket nagy mennyiségben tárolnak másnap reggelig. Akkor zárt légrések mögött elbontják azokat, a felszabaduló CO_2 a Calvin(-Benson)-ciklusba jut, a PEP pedig a következő éjjel újabb CO_2 -ot köthet meg, vagy egyéb úton alakul át. A C_4 -es növényekhez képest a különbség mindössze annyi, hogy itt a PEP a lebontó folyamatok során éjjel keletkezik, a C_4 -eseknél pedig nappal, a fotoszintézis során jön létre. További különbség, hogy a CAM növényeknél a CO_2 oxálexetsavvá alakítása, majd elbontása időben különül el (az egyik éjjel, a másik nappal megy végbe), míg a C_4 -es növényeknél térben (az oxálecetsavvá alakítás a mezofillumban, az elbontás a nyalábhüvelyben történik). Jellegzetes CAM növény például az ananász (*Ananas comosus*).

17.4.3. A fotoszintézis intenzitását limitáló tényezők; az eutrofizáció

A szárazföldi fotoszintézist a klimatikus tényezők közül a fény, a hőmérséklet és az elérhető víz mennyisége korlátozhatja, amelyek közül az utóbbi kettő szokott ténylegesen korlátozó tényezőként fellépni. A vizekben a fő limitáló tényező általában a foszfor alacsony koncentrációja. Foszfor vízbe juttatásával (pl. műtrágyák, mósószerek formájában) a vízi élőhelyek eutróffá válhatnak: a korlátozás alól kikerült algák elszaporodnak, először rendszerint a zöldmoszatok, amelyeket a folyamat előrehaladtával felváltanak a fonális kékbaktériumok. A felgyorsult szaporodás következtében megnövekedő sejtömeg sejtjei előbb-utóbb elpusztulnak, és lebontásuk a tó vizében oldott összes oxigént igénybe veszi. Amíg a víztömeg át nem keveredik (ami mélyebb tavak esetében évente kétszer, tavasszal és ősszel történik meg), a tó élővilágának komoly oxigénhiánnyal kell szembenéznie. Anaerob élőlények szaporodnak el, amelyek a problémát tovább súlyosbítják anyagcseretermékeikkel, hiszen azok – ellentétben az aerobok vétermékével, a szagtalan CO_2 -dal – sokszor mérgezők vagy bűzösök.

Az amerikai Erie-tó is eutróf. Kétszáz évvel ezelőtt a tó vize tiszta volt és viszonylag sok oxigént tartalmazott. Manapság azonban több mint 15 millió ember él a tó vízgyűjtő területén. A közeli városok több mint 250 milliárd liter háztartási és ipari szennyvizet vezetnek évente a tóba, ráadásul az egész környező terület intenzív mezőgazdasági művelés alatt áll, amit természetesen műtrágyákkal tesznek különösen jövedelmezővé. A XX. század elején az algák szaporodása soha nem látott méreteket öltött, például az 1929-ben Clevelandnél mért 81 db/ml értékről 1962-re 2423 db/ml-re ugrott (Purves — Oriens — Heller, 1995). A baktériumok közül az *Escherichia coli* úgy elszaporodott, hogy sok strandot be kellett zárni népegészségügyi aggályok miatt. Ahogy a mélyebb rétegekben csökkent az oxigén koncentrációja, számos őshonos faj kipusztult. Ezek helyett olyan kagyló-, csiga- és szúgyogfajok települtek be vagy szaporodtak el, amelyek képesek voltak az anaerobbá váló viszonyok között is fennmaradni. A *Hexagenia* genusba tartozó kérészfajokat így váltották fel bizonyos kevésértékű férgek. A halfajok közül az addig domináns hering, csuka, ponty, sügér, pisztráng helyett a gazdaságilag kevésbé értékes fajok szaporodtak el, nehéz helyzetbe hozva a halászatot is. 1972 óta az Egyesült Államok és Kanada jóval több mint 7,5 milliárd dollárt áldozott a vízgyűjtő terület szennyvíztisztító telepeinek fejlesztésére, aminek eredménye gyorsan megmutatkozott: a bevezetett foszformennyiség a maximumértékhez

képest mintegy 80%-kal mérséklődött, és a víz foszfortartalma is jelentősen csökkent. 1985 óta már „csak” 11 000 tonna foszfor jut a vízbe évente (ez volt az intézkedések megtervezésekor megnevezett célérték is). Az Erie-tó mélyebb rétegei azonban még ma is szegények oxigénben a nyári hónapok alatt, bár a helyzet súlyossága csökkenőben van. Mindazonáltal a tó élővilága sohasem nyerheti vissza korábbi gazdagságát: egyes fajok végleg kipusztultak, más fajokat, pl. a véletlenül betelepített zebrakagylót pedig már nem lehet eltüntetni. Az Erie-tóhoz hasonló nagy tavak vize lassan cserélődik, és évtizedekbe kerül, mire minősége eléri a korábbi értékét – ez azonban nem jelenti, hogy akkor élővilága is teljesen regenerálódik.

17.5. A talaj

A talaj nem élettelen ásványianyag-tömeg, hanem egy élő rendszer, amely abiotikus és biotikus részekből áll. Kialakulásához legalább 10 000 évre van szükség. Azon túl, hogy gazdag talajéletnek ad otthont, a legtöbb kulcsfontosságú elem (N, P, S, C stb.) körforgásának is nélkülözhetetlen színtere.

A talaj keletkezése a kőzetek fizikai mállásával, aprózódásával kezdődik. Ezt gyorsíthatja a hőingás, a fagy, a sókiválás fesztítő hatása, a rétegnyomás csökkenése vagy épp növekedése. A fizikai aprózódás körülbelül 0,01 mm-es szemcsék kialakulásáig hatékony. Folyamat során a kőzet kémiai tulajdonságai nem változnak meg, csupán aprózódás történik. A következő lépésben a kémiai mállás jut fő szerephez, amely a nagy fajlagos felületűvé vált kőzetanyagot oxidációs, hidratációs, hidrolitikus, oldásos folyamatok során kémiaiilag átalakítja (utóbbira példa a mészkő oldódása szénsavas víz hatására). Az így keletkező agyag Fe- és Al-hidroxidokból, kovasavból álló kolloid részecskék együttese. A talajképződés folyamatát a biológiai mállás fejezi be (ami valójában a fizikai aprózódással és a kémiai mállással együtt zajlik), amelynek során élőlények, elsősorban növények maradványaiból sötét színű, lignint, cellulózt, fehérjéket és egyéb nagy molekulájú szerves anyagokat tartalmazó anyag, humusz jön létre. A kémiai mállás során keletkezett szervesetlen kolloid részecskéekkel együtt ez alkotja a talaj élettelen anyagát. A humusz tehát az elpusztult élőlények szerves anyagainak lebontásakor létrejövő köztitermékek összefoglaló neve. A lassú lebontási folyamat végén természetesen szén-dioxid és víz képződik, de mivel a humuszmolekulák belső struktúrája igen stabil, ez több ezer évet is igénybe vehet. Közben a felső talajrétegre újabb és újabb szervesanyagrétegek kerülnek a frissen elpusztult növényekből, így a humusz kora lefelé haladva egyre nő, és minél idősebb a réteg, a folyamatos bomlás miatt annál kisebb az össztömege. (A talaj humusztartalma ennek megfelelően lefelé erősen csökken.) A lassú enzimreakcióknak köszönhető, hogy a talaj, mielőtt humusztartalma teljesen elbomlana, különféle élőlények változatos seregének élőhelye lehet. A Föld talajaiban található humuszanyagok összes tömege hozzávetőlegesen $2,5 \times 10^{12}$ tonna, ami nagyjából egyenlő a földfelszín teljes biomaszájának tömegével. Talaj tehát csak élőlények közreműködésével képződhet, anélkül csak kőzetmálladék borítaná a földfelszínt, mint az élettelen bolygókon.

A talaj függőleges metszetén, a talajszelvényen a talaj több egymás alatti rétegre különíthető. A legfelsőt „A” szintnek hívjuk, alatta helyezkedik el a „B”, majd a „C” szint:

- „A” szint: a legfelső réteg; gazdag talajélet jellemzi, sok szerves anyagot tartalmaz
- „B” szint: a középső réteg; szerves anyagban szegényebb, kevesebb talajélőlénnel
- „C” szint: a legalsó réteg; maga az anyakőzet, vagy annak nagyobb darabjai tartalmazza, közöttük a fizikai és kémiai mállás különböző fokozataiban levő agyagos közettörmelékekkel.

17.5.1. A talaj tulajdonságai

A talaj mechanikai összetételét az alkotó részecskék méretével és arányával jellemezzük. A talaj három fő összetevője részecskeméret alapján:

- vázelemek: A talaj legnagyobb részecskeméretű (2 mm-nél nagyobb) frakciója
- finomföld frakció: a vázelemek és a kolloid mérettartomány közötti részecskék alkotják
- kolloid frakció 500 nm-nél kisebb részecskékkal; tömegükhöz képest óriási felületükön nagyon sok anyag, különböző ionok és vízmolekulák megkötésére képesek, ami a talaj termőképessége szempontjából nagy jelentőségű. A vályog- és agyagtalajok sok kolloidok tartalmaznak, ezért sok víz tárolására képesek; a homoktalajok víztároló képessége kis kolloidtartalmuk miatt sokkal kisebb. A kolloid frakció az anyag kémiai összetétele szerint két részre osztható, szervetlen agyagkolloidokra és szerves kolloid részecskékre.

A három frakció arányától függ a talaj vízmegkötő képessége, vízáteresztő képessége, valamint a kötöttsége.

A vízmegkötő képesség azt mutatja meg, hogy adott térfogatú légszáraz talaj hány cm^3 vizet képes felületén megkötni.

A kötöttség annak mértéke, hogy a talaj mekkora ellenállást képes kifejteni az őt érő mechanikai hatásokkal, talajművelő eszközökkel szemben. A kötöttség jellemzésére leggyakrabban az Arany-féle kötöttségi számot használják. Ez a szám azt adja meg, hogy egy bizonyos talajhoz mennyi vizet kell adni ahhoz, hogy egy meghatározott keménységet elérjen. A száraz talajok nyilván kemények, nehezen megmunkálhatók, kötöttek. Minél nagyobb egy talaj Arany-féle kötöttségi száma, annál több vizet kell felvennie ahhoz, hogy keménysége egy adott szintre csökkenjen – tehát minél nagyobb az Arany-féle szám, a talaj annál kötöttebb. A kötött talajoknak nemcsak a megművelése nehezebb, ezekbe a növények gyökere is nehezen hatol be (Fazekas-Szerényi, 2002).

A talajélet és a termőképesség szempontjából a morzsás talajszerkezet a legkedvezőbb. Talajmorzsákon néhány mm-es rögöcskéket értünk, amelyek között sok szabad tér van, azaz öszpórusterfogatuk nagy. Ennek egy részét víz (elsősorban kapillárisvíz), másik részét levegő tölti ki. A megfelelő talajélethez mindkettőre szükség van, a jó talajban egyik sem foglal el túl sok helyet a másik rovására. A pórustérfogat szerkezeti jellemző, azt fejezi ki, hogy a szilárd részek által be nem töltött tér hány százaléka a talaj térfogatának. Előnyös a nagy pórustérfogat-érték, ekkor jó a talaj vízgazdálkodása és jó a levegőellátottsága.

A talajlevegő a légköri levegőtől eltérő arányban tartalmazza az egyes komponenseket: oxigénből kevesebbet, szén-dioxidból és vízgőzből jóval többet tartalmaz annál (a CO_2 -tartalom akár százszoros is lehet, míg az O_2 -tartalom általában fele a légkörinek).

A talaj víztartalmának egy része ún. gravitációs víz, amely szabadon elfolyhat, nincs semmihez kötve. A másik részt a kapillárisvíz alkotja, amely jobban a talajban marad, hiszen a kapillárisok vagy a kolloidok felületéhez kötődik. E kötődés ugyanakkor nem annyira szoros, hogy a növények ne tudnák könnyűszerrel felvenni. A harmadik csoportot a higroszkópos víz jelenti, amely a kolloid részecskék felületéhez olyan erősen kötődik, hogy a növények csak alig-alig képesek onnan elszívni; laboratóriumban is inkább csak hevítéssel távolítható el ez a víz.

A talaj összetétele a talaj hőmérsékletére is hatással van. A nagyobb víztartalmú talajok fajhője nagyobb, ezért ugyanolyan nappali besugárzás és éjjeli kisugárzás mellett kisebb hőingást szenvednek el. A kevés kolloidot tartalmazó, ezért kis vízmegkötő képességű homoktalajok ezzel szemben gyorsan felmelegszenek, de hamar le is hűlnek. A kolloidokban gazdag, nagy víztartalmú agyagtalajok a légkör nagy hőingása mellett is nagy hőállandóságot mutatnak.

A talaj kémhatása a nagyon savas pH=3-tól a nagyon bázikus pH=11-ig bármilyen értéket felvehet. Ha évente több csapadék esik, mint amennyi ugyanennyi idő alatt elpárolog, akkor a talajoldatban levő ionok, valamint a talajkolloidok (szintén a rajtuk kötött ionokkal együtt) lefelé mozognak, azaz a felszínről eltávoznak: a talaj kilúgozódik. Az ilyen típusú kimosódás a hideg éghajlatú területekre jellemző, és savanyú talajok kialakulását eredményezi. Hasonló savanyító hatással van a fenyőfélék lehullott tűleveleinek bomlása is a talajban.

Ha egy területen kevesebb csapadék esik, mint amennyi ugyanannyi idő alatt a felszínről elpárolog, akkor a talajionok felfelé vándorlása lesz jellemző, ami a felső talajréteg bázikussá válásának kedvez. Az így kialakuló szikes talajok sok Na- és K-iont tartalmaznak, és lúgos kémhatásúak.

Ha egy területen az évente hulló csapadék és az évente elpárolgó vízmennyiség nagyjából megegyezik, a talaj kémhatása a semleges tartományban lesz (pH≈7).

A talaj igen sokféle elemet tartalmaz különböző mennyiségben. A makroelemeknek nevezett alkotókban viszonylag gazdag (N, P, K, Ca, Mg, S, Si), de a sokkal kisebb arányban előforduló mikroelemek (B, Mn, Fe, Zn, Cu, Mo, Co) jelenléte is igen fontos, mind a talajélőlények, mind a növények, mind az azokat fogyasztó ember számára. Valószínűleg több egészségügyi probléma kialakulásáért is felelőssé tehető az a mezőgazdasági gyakorlat, hogy a termőföldről minden évben eltávolított nagy tömegű termény rengeteg (mikro)elemet visz magával, amelyek közül alig pótolunk egyet-kettőt (N, P, K). A talaj így elszegényedik (elszegényedett) olyan mikroelemekben, amelyek az emberi szervezet működésében nélkülözhetetlenek. Ezek pótlására ásványianyag-tartalmú táplálékkiegészítő készítményeket ajánlanak, ám szedésük a problémát feltehetően csak részben oldja meg.

A talaj egyes növényi tápelemeinek túlsúlya (vagy hiánya) más-más fajoknak kedvez. A nitrofrekvens növények, pl. a nagy csalán (*Urtica dioica*), a tatárlaboda (*Atriplex tatarica*), a nagy útifű (*Plantago major*), a szőrös disznóparéj (*Amaranthus retroflexus*), a mezei sóska (*Rumex acetosa*), a hagymaszagú kányazsombor (*Alliaria petiolata*), a fekete bodza (*Sambucus nigra*) vagy a ragadós galaj (*Galium aparine*) a talaj magas nitrogéntartalmának indikátorai. A szilikátjelző növények, pl. a tőzegmohák (*Sphagnum* fajok), a csarab (*Calluna vulgaris*), az áfonya (*Vaccinium* fajok), a szőrfű (*Nardus stricta*), az erdei sédbúza (*Deschampsia flexuosa*), a seprőzanót (*Sarothamnus scoparius*) vagy az egynyári szikárka (*Scleranthus annuus*) savanyú, ásványi anyagokban szegény talajokon nőnek. A sőtűrő növények pedig a talaj magas sótartalmát jelzik: sziki mézpázsit (*Puccinellia limosa*), bárányparéj (*Camphorosma annua*), sziki sóballa (*Suaeda maritima*), sziki útifű (*Plantago maritima*), sziki csenkesz (*Festuca pseudovina*), sziki szittyó (*Juncus gerardi*), sziki ősziróza (*Aster tripolium* ssp. *pannonicum*), magyar sóvirág (*Limonium gmelini* subsp. *hungaricum*)

17.5.2. A talaj élővilága

A talajban számos, rendszertanilag sokszor egymástól távol álló taxonba tartozó faj igen sok egyede él, összefoglaló nevük az edefon. Rendszertanilag lehetnek Baktériumok, Egysejtűek, Növényyszerűek, Gombák, Növények és Állatok is.

Egyesek (eukarióta egysejtűek, kerekesszervek, fonalférgek) a talajoldatban élnek, mások szárazföldiek, de nedvesséigényesek (pl. ugróvillások, egyéb fonalférgek), megint mások kifejezetten szárazságtűrők (ászkák, hangyák). A legfontosabb talajélőlények azonban a

baktériumok és a gombák. Előbbiek közül a nitrifikálók általában csak az 5,5-10 közötti pH-tartományban tudnak hatékonyan működni, nagyon savas kémhatásnál leáll a nitrifikáció, ami a nitrogén körforgásának zavarához vezethet. A baktériumok szerepe sokrétű: lebontók, felszabadítják a tápanyagokat, betegségeket terjesztenek vagy épp „semlegesítenek” (penicillin).

A talaj megfelelő kémhatása a növények számára is fontos. A Magyarországi edényes flóra határozója (Simon, 1992) egy ötfokozatú skálán (R érték) minden felvett fajról megadja az általa legjobban kedvelt kémhatás-tartományt.

A talajban található szerves anyag nagy részét humusz és a növényi gyökerek alkotják, mindössze 5%-át teszik ki a talajlakó élőlények, melyek közös neve az edafon. Francé (1913) eredeti meghatározásában csak a baktériumok, gombák, algák, egysejtűek, kerekesszék, fonálféreg és medveállatok tartoznak az edafon fogalmába, de később a fogalom értelmezése kiterjedt a talajt mint élőhelyet benépesítő életközösség minden tagjára, a talaj-biocenózis egészére.

A fonálféreg a talajban a leggyakoribb állatok (őket egyedszámban csak a ma már nem állatoknak, hanem egysejtű eukariótáknak tekintett protozoák előzik meg). Elsősorban a nedves talajban élnek, ahol közvetlen átmenetet találunk a vízi fauna és a talajszemcsék közötti adhéziós vizet benépesítő fonálféreg-fauna között. Nagyságuk 0,5 és 2 mm közötti. Ásni nem tudnak, előrehaladásukban a talajkapillárisok vízkészletére vannak utalva. Ha a talaj kiszárad vagy a 3–4-es pH-érték alá süllyed, akkor nyugalmi, ún. *anabionta* állapotba kerülnek. Táplálkozásuk változatos, a detrituszektől a ragadozóig találunk köztük fajokat. Sok faj fogyaszt állati egysejtűeket és baktériumokat. Más fajok gombákkal táplálkoznak, így pl. a *Dictylenchus* nemzetség fajtái szuronyszerűen kitolható szájszerveikkel megszűrik a vékony gombafonalakat, majd kiszívják a citoplazmát. Érdekes ugyanakkor, hogy fonálféregre „vadászó” gombafajok is ismeretesek. Már több mint 100 éve feljegyezték, hogy az *Arthrobotrys oligospora* nevű gomba hurokszerű micéliumai fonálféreg foglyul ejtésére specializálódtak. Azóta számos mikroszkopikus gombáról derült ki, hogy táplálékforrásukat a fonálféreg képezi.

A gyűrűsféreg közül a gilisztákat (Lumbricidae) és televényféregket (Enchytraeidae) érdemes megemlítenünk, melyek a földben aktívan járatokat fúrva élnek. A *televényféreg* többsége 20 mm-nél kisebb, és testük átmérője is kevesebb 1 mm-nél. Általában fehér színűek vagy átlátszók. Táplálékaik főleg mikroorganizmusok, de bélcsatornájukat kb. azonos arányban töltik ki a növényi maradványok, gombafonalak és az ásványi talajkeverék. Az avarszintben élő állatok előnyben részesítik az ugróvilágok, atkák ürülékét és a gombákat.

A földgiliszták három ökológiai típusba foglalhatók össze: avarlakók, járatások és ásványitalaj-lakók. Ez egyben vertikális eloszlást is jelent. Nagyon érzékenyen reagálnak a szárazságra. A kezdődő szárazság elől mélyebbre ásnak, majd kis csomóba összegöngyölödve vészeli át a kényszernyugalmi állapotot. A közép-európai fajok hőmérsékleti optimuma általában 10 °C körül van. Aktivitásuk 0 °C-nál gyakorlatilag megszűnik, a 25 °C-os meleget pedig a legtöbb faj még kedvező nedvességviszonyok mellett sem éli túl. A giliszták tápláléka főleg holt növényi maradványokból áll, zöld részeket csak ritkán fogyasztanak. A fenyőerdők talajának alacsony pH-ja és a rosszul lebomló tűalom gátlóan hat a giliszták fejlődésére. A földgiliszták gyakorlati jelentősége a talaj termékenységében részint a táplálék felvételében, emésztésében, részint pedig a járatok készítésében, a talaj alkotórészeinek összekeverésében, a talajszerkezet kialakításában van.

Az ízeltlábúak közül az ikerszelvényesek osztálya (Diplopoda) nagy faj- és egyedszámmal képviselteti magát a talajban. Teljes fajsámukat 12 000 – 80 000-re becsülik a világon. Életmódjukat tekintve talajlakók, többnyire növényi korhadékot esznek (bélbaktériumaik segítségével képesek a bontására), részt vesznek az avar felaprózásában, nagyon fontosak

humuszképzésben, de kis számban vannak köztük ragadozók is. Nagyobbik alosztályuk az ezerlábúak (Chilognatha).

A póksabásúak közül az atkák (Acari) jelentősége a legnagyobb. Az eddig leírt kb. 15 000 faj többsége tipikus erdőlakó, és a talajban él. Méretük 0,2–2 mm közötti. Szemük hiányzik, de fényérzékelő képességük bizonyítható. Egyedfejlődésük során egy lárva és három nympa stádiumon keresztül érik el a kifejlett állapotot. A lárvát három pár láb, a többit négy pár láb jellemzi. Az atkák számos családjából a talajfauna számára jelentősebbek a páncélosatkák (Oribatida) és a ragadozó atkák (Gamasina). A Gamasinák többsége ragadozó, táplálékspektrumuk a fonalférgektől az ugróvillásokig terjed. A páncélosatkák talajbiológiai jelentősége igen nagy. Nevüket erős, sötétbarna kutikulájukról kapták. A többé-kevésbé gömb alakú test méretéből következtethetünk a talaj pórusos szerkezetére is. Végtagjaikat szorosan a testhez tudják simítani, vagy néhány fajnál egy csuklós ízesüléssel az állat teste szabályosan összehajtható egy zárt tömbbe. Így a kültakaró hatásos védelmet nyújthat a ragadozók vagy a kiszáradás ellen. Ez lehetővé teszi, hogy a páncélosatkák a talaj különböző vertikális szintjeiben egyaránt megtelepedhessenek. A legtöbb faj mindenevő, így rendkívül nagy egyedszámuk révén kiemelkedő szerepet játszanak a lebontásban.

A hatlábúak altörzséből az ugróvillások osztálya (Collembola) kiemelkedő jelentőségű. Méretük 0,2–9 mm. A talaj belsejében élők pigment nélküli, vak állatok, az ugróvillájuk pedig redukálódott. A felszínen élők élénk színűek, jól ugranak, pontszemeik száma teljes, és megtermékenyített petékkel szaporodnak, szemben az edafon formák között gyakori parthenogenetikus (szűznemzéses) szaporodással. A Földet ma benépesítő rovarok között az ugróvillások a legszámosabbak, felülmúlva a hangyákat, természeteket és a legyeket, egyedszámuk az 1000 példányt is elérheti 1 liter erdei földben. Többségük detritusz-, spóra- és mikrobaevő, miközben sok ásványi anyag is áthalad a bélcsatornájukon. Így joggal nevezhetjük az ugróvillásokat a talajképződés, talajélet katalizátorainak, mert bélcsatornájuk mikroflórájával „beoltják” a talajt. Hőmérséklet-toleranciájuk tág határok között változik. Ismertek kifejezetten télen aktív fajok, amelyek tömegszaporodásukkor sötétre festik a havat, pl. a *Hypogastrura socialis*, de a többség hőmérséklet-optimuma 5–15 °C között van. Az európai fajok száma kb. 1800, de egy-egy erdőállományban még sincs több általában 100–150 fajnál, a domináns fajok száma pedig jellemzően alig egy tucatnyi.

A szintén a hatlábúak altörzsébe tartozó rovarok (Insecta) osztályának sok faja a talajban éli életének egy részét vagy egészét. E fajok lehetnek:

- részleges talajlakók, mint pl. a pattanóbogarak, amelyek pete és lárva állapotban a talajban élnek, kifejletten viszont a talaj felett;
- átmeneti talajlakók, pl. a nagy nyárlevelész, amely csak kifejlett alakban tölt egy telet a talajban;
- periodikus talajlakók, pl. a galacsinhajtó bogarak, amelyek életük nagy részét a talajban élik le;
- állandó talajlakók, amelyek gyakorlatilag sosem hagyják el a talajt.

A lebontás folyamata is szorosan összefügg a talajélettel. Maguk a lebontók valamilyen formában mind talajlakók, és a talaj számukra fontos erőforrást jelent. (az erőforrás nem feltétlenül azonos a táplálékkal). 1 négyzetméter erdei talajfelszínre átlagosan 670 avarlebontó állategyed jut. Ez hektáronként 6,7 millió egyed a talajban, ami 40 kg körüli tömeget jelent.

16. táblázat: Talajélőlények tömege (t/ha) rét-legelőn és árpaföldön

Talajélőlények	Rét, legelő	Árpaföld
Gyökerek	20-90	1,46
Baktériumok	1-2	0,73
„Sugárgombák”	0-2	-

Gombák	2-5	1,63
Egysejtűek	0-0,5	0,07
Fonálférgék	0-0,2	0,002
Gyűrűsférgék	0-2,5	0,056
Egyéb állatok	0-0,5	0,0006

17.5.3. Talajvédelmi megfontolások

A talajvédelem a talajszennyezéseket, a talaj kémhatásának kedvezőtlen változásait és a talajerózió folyamatait igyekszik mérsékelni.

Talajszennyezést nemcsak a növényvédőszer (amelyek valójában rovarokat, gombákat vagy gyomoknak tekintett növényeket elpusztító mérgek) okozhatnak, hanem a termőképesség fokozására kiszórt műtrágyák is. Utóbbiak közül a foszforműtrágyák nehézfém-szennyezéseket tartalmazhatnak, a nitrogénműtrágyák kijuttatását pedig gyakran túlzásba viszik. Mindkettő a talajlélölények megmérgeződését vonja maga után, amellet hogy a felszíni vizekbe jutva eutrofizációt okoznak.

A Hortobágyra jellemző és ma védelem alatt álló szikes puszták tulajdonképpen mesterséges képződmények, a Tisza szabályozása miatt bekövetkezett talajdegradáció emlékét őrzik.

A mezőgazdasági ökoszisztémák a természetes ökoszisztémáktól abban is különböznek, hogy a művelt területeket az év egy jelentős részében nem borítja összefüggő növényzet. A csupasz talajfelszínen a talaj eróziós pusztulása igen jelentős lehet: Magyarországról a Duna 10 millió tonna erodált talajt hord el évente. A szél deflációs hatása sem elhanyagolható hazánkban, hiszen ennek következtében veszítünk el minden évben mintegy 80 millió m³ talajt. Összevetve ezt azzal, hogy a talajok újraképződési ideje 10 000 év, a jelenlegi mezőgazdasági gyakorlat fenntarthatatlansága nem kérdéses. Ma még inkább megfontolásra érdemesek Franklin D. Roosevelttel amerikai elnök szavai, mint amikor 1937. február 26-án elhangzottak: „A nation that destroys its soils, destroys itself.” (A nemzet, amelyik elpusztítja a talajait, önmagát pusztítja el).

17.6. A domborzat

A domborzat nem önmagában, hanem a többi abiotikus (és biotikus) tényező megváltoztatásával fejt ki hatását az élőlényekre. A tengerszint feletti magasság például a terület éghajlatát, a hegységet alkotó kőzetek összetétele a rajtuk kialakuló talaj minőségét befolyásolja. A kitettség is rendkívül fontos, hiszen a déli lejtők melegebbek, jobban megvilágítottak, mint az északiak, ugyanakkor a szél irányába esők nemcsak hűvösebbek, hanem csapadékkal is jobban ellátottak (a nedves levegő - korábban már említett - kényszerű felemelkedéséből kifolyólag). Minél nagyobb a lejtőszög, annál erősebbek az említett hatások, és annál jobban ki van téve az eróciónak is.

A domborzatnak az élőlényekre gyakorolt hatását jól illusztrálják a Sierra Nevada hegység cickafarkpopulációin (*Achillea lanulosa*) végzett vizsgálatok. A Sierra Nevada hegységben (Kalifornia állam, USA) honos fajnak számos populációja él a hegység egészen különböző tengerszint feletti magasságú élőhelyein. Megfigyelték, hogy a legnagyobb tengerszint feletti magasságú élőhelyeken a növények átlagos testmagassága több mint háromszorosa annak, mint ami a tengerhez legközelebbi szinteken jellemző. Felmerült a kérdés: vajon genetikailag kódolt-e ez a különbség, vagy csak a hegycsúcsokon szokásos mostohább viszonyok okozzák az ottani kisebb testméretet. A kérdést átültetési kísérletekkel döntötték el: az elterjedési terület különböző tengerszint feletti magasságú pontjairól származó egyedek klónjait kis, közepes és nagy magasságban létrehozott kertekben is elültették, és megfigyelték, hogy

teljesen kifejlődve milyen testmagasságot érnek el. A kísérletek tanúsága szerint a különböző magasságokból nyert növények fenotípusbeli különbségeiket jelentős részben megtartották akkor is, ha ugyanolyan körülmények közé kerültek, a különbségek tehát örökletesek, genetikaiak. Ez nem jelenti azonban azt, hogy a cickafark növények termetére a környezeti tényezők értékei nincsenek hatással, hiszen a kísérlet azt is megmutatta, hogy az alacsony fekvésű kertekben a növények általában magasak, a magasan fekvőkben pedig alacsonyak lettek. Az is kiderült, hogy az eredeti élőhelyüknél alacsonyabb fekvésű kertekbe ültetett növények magasabb termetet értek el az élőhelyükre jellemző átlagértéknél, amelyek viszont magasabbra kerültek, azok alacsonyabbat. Az *Achillea lanulosa* testméretét tehát mind az örökletes, mind a környezeti tényezők befolyásolják. A különböző helyekről származó egyedek jellemző morfológiai bélyegeiket megtartják, ugyanakkor szaporodóképesek is a többi helyről származó egyeddel. Fajon belüli öröklődő különbségekről van szó, fajok genetikailag kismértékben különböző populációiról, amelyeket Göte Turesson (1922) svéd botanikus nyomán *ökotípus*oknak nevezünk.

17.7. Forrástényezők és kondicionáló tényezők

Az előbbieken láttuk, hogy a környezeti tényezőket élettelen (abiotikus) és élő (biotikus) tényezőkre oszthatjuk. Mindkettő alapvetően fontos meghatározója az élőlények elterjedésének, általánosságban mégis úgy fogalmazhatunk, hogy kis fajgazdagságú élőhelyeken, szélsőséges abiotikus környezeti feltételek esetén az élettelen tényezőké a fontosabb szerep (ezek korlátozzák inkább az elterjedést), míg fajgazdag közösségekben az élő tényezők a dominánsak.

Egy másik felosztás abból a szempontból tekint a környezeti tényezőkre, hogy az élőlények hatással vannak-e az értékére. Az úgynevezett forrástényezőket (mint pl. a nedvesség, tápelemek zsákmány, élettér, búvóhely, fészkelőhely) az élőlények fogyasztják, ezért elérhetőségük az egyedsűrűség függvénye: minél több élőlénynek van szüksége rájuk, annál gyorsabban fogynak. Az ún. kondicionáló tényezők ezzel szemben egyedsűrűségtől függetlenek, mert értéküket az élőlények nem csökkentik, akárhányuknak is van szüksége rájuk. Ilyen a hőmérséklet, a kémhatás, a nedvesség vagy a sókoncentráció.

A forrástényezők tovább csoportosíthatók, többek között lehetnek *esszenciálisak*, azaz mással nem pótolhatók (pl. Ca^{2+} , P, víz, O_2), vagy *helyettesíthetők* (pl. a NO_3^- , a NO_2^- és az NH_4^+ ionok többé-kevésbé mind felhasználhatók a növények számára nitrogénforrást gyanánt, ugyanígy a polifág állatfajok különböző zsákmányállatokat vagy többféle növényt is elfogadhatnak táplálékul).

A forrástényezők lehetnek továbbá egymással *szinergista* viszonyban, ha az egyik a másik jelenlétében hatékonyabban elláthatja a feladatát, valamint lehetnek egymás *antagonistái*, ha jelenlétük a másira gátló hatást gyakorol (a sok kalcium a talajban például nehezíti a vas, a magnézium és egyes nyomelemek felvételét).

Nagyon fontos megkülönböztetnünk egymástól a fiziológiai és az ökológiai környezeti igényt. A fiziológiai igényt mindig egy faktorra határozzák meg, és egy laboratóriumban kimérhető toleranciatartományt jelent. Egy növényfaj fiziológiai igénye például úgy állapítható meg, hogy magvait más fajok magvait nem tartalmazó talajon vetjük el, és a vetési terület hosszában valamely környezeti tényező értékét egyenletesen növelve megfigyeljük, hogy hol, a környezeti tényező mely értékeinél fejlődik a legjobban. Ha például egy fűféle vízigényére vagyunk kíváncsiak, egy lejtős felszínen célszerű a vetést végeznünk, hiszen ilyenkor a magasabb területekre került magvakból kikelő növények messzebb helyezkednek majd el a

talajvíztől, az alacsonyabbra kerültek pedig közelebb, ami nyilván jobb vízellátottságot jelent. A legtöbb szárazföldi növényfaj számára a közepes vízellátottság a legkedvezőbb. A kísérletet három különböző fűfélével (réti ecsetpázsit *Alopecurus pratensis*/, franciaperje *Arrhenatherum elatius*/, sudár roznok *Bromus erectus*/) el is végezték, és azt tapasztalták, hogy mindhárman a közepes vízellátottságot részesítették előnyben, fiziológiai vízigényük tehát hasonló volt. Amikor azonban a vetést mindhárom faj magjainak keverékével végezték el, a három faj felosztotta egymás között a területet: a réti ecsetpázsit a legnedvesebb, a franciaperje a közepes, míg a sudár roznok a legszárazabb helyet választotta, és saját területéről mindhárom kiszorította a másik kettőt. E kísérlet világít rá arra a tényre, hogy egy faj által elfoglalt földrajzi hely általában a fiziológiai igény és a más fajokkal való versengés együttes eredménye, és gyakran nem felel meg a laboratóriumban megfigyelt fiziológiai igényeknek. A hasonló esetekre kidolgozott Ellenberg-szabály úgy fogalmaz, hogy az ökológiai optimum általában nem esik egybe a fiziológiai optimummal, a fajok természetes körülmények közötti előfordulása kevéssé tükrözi az igények optimumát, jóval inkább a tűrőképeség azon tartományát mutatja, ahová versenytársai beszorítják. Ökológiai igényen tehát a természetben jelenlévő egyéb korlátozó tényezők hatása alatt megfigyelhető toleranciatartományt értjük.

17.8. A zavarás (bolygatás)

A populációk újra és újra zavarásnak vannak kitéve. A zavarás olyan rövid ideig tartó hatás, amely a környezet megváltoztatásával a populációra vagy az életközösségre negatívan hat. Ilyen zavaró hatások lehetnek pl. a hurrikánok, az áradások, a földcsuszamlások, a lávafolyások, az erdőtüzek, valamint a biológiai zavaró hatások közül a fakidőlés, a taposás vagy a betegségek. Általában véve a kistermetű fajok (pl. a rovarok) több és erősebb zavarásnak vannak kitéve, mint a nagytermetű fajok, ezért előbbiek egyedszáma jóval a környezet eltartóképesége alatt van. A madarak egyedszáma ellenben gyakran az eltartóképeség közelében (ill. közvetlenül az alatt) hullámozik.

Az élőlények a zavarásra annak gyakoriságától és súlyosságától függően reagálnak. Arra a zavaró hatásra, amellyel életükben rendszeresen találkoznak, élettani és viselkedésszerű változásokkal válaszolnak. Így például az állatok viharok idején menedéket keresnek, télen pedig téli álmot alszanak; a fák ősszel lehullatják leveleiket, és fiziológiájukat úgy változtatják meg, hogy a fagy ne tegyen kárt bennük. Különösen erős zavaró hatások esetében mindazonáltal előfordulhat, hogy a változások az egyedek nagy részének tűrőképeségét túllépik, így egyes populációkban jelentős pusztulás következhet be. Minél gyakoribb az adott típusú zavaró hatás a populáció élőhelyén, annál nagyobb a valószínűsége, hogy az egyedek többsége ahhoz már sikeresen alkalmazkodott.

A zavarásokhoz való alkalmazkodás jelensége elterjedt az élővilágban. Erdőtüzek után sok növény újra kihajt, sőt, gyakorta tüzeket elszenvedő területeken olyan fajok is szép számmal akadnak, amelyek e tüzeket kifejezetten igénylik. Az ausztráliai *Eucalyptus pyrifomis* tokjai például a tűz heve hatására nyílnak fel, kiszórva a magvakat, amelyek a hamu borította talajon csíráznak ki.

Az élőlényekre jelentős hatással vannak a zavaró hatások, de a zavaró hatások gyakorisága sem független az élőlényektől. Közvetlenül erdőtűz után túl kevés éghető szerves anyag van a talaj felszíne felett ahhoz, hogy újabb tűzvész indulhasson útjára. Amint azonban a vegetáció ismét növekedni kezd, egyre több elhalt növényi rész, korhadó ág lepi el a talajfelszínt, ami – a gyulladás feltételeinek megléte esetén – újabb tűz kitörését vetítheti előre. Maga a növényzet ad alapot tehát a zavaró hatások bekövetkezésére. Hasonlóképpen, a liánok, fészkelő madarak, közelben növekvő lágyszárúak és bokrok számára jelentős zavaró tényezőt jelent a fák kidőlése. Ez azonban szintén nem teljesen véletlenszerű esemény, hiszen a fa korával – a

gyökereket érintő gombafertőzések miatt — nő a valószínűsége annak, hogy egy bizonyos szélsébségnél a fa meggyengült gyökerei elszakadnak. Egy erdőben vagy erdőrészben tehát a fák kidőlését olyan időszak követi, amikor a kidőlésnek elenyésző a valószínűsége, majd ez a valószínűség folyamatosan nő addig, amíg a következő kidőlési hullám be nem következik. Ekkor az addig az idős egyedek árnyékában lassan növä („oszkározó”) fiatal fák hirtelen gyors növekedésnek indulnak, és a faállomány az adott helyen megújul. Egy erdő egyes részei a ciklusnak más és más fázisában lehetnek, így egy természetes erdőben az öreg és a fiatal fából álló állományok gyakran mozaikosan helyezkednek el. A faültetvényekben, amelyeket helytelenül gyakran szintén erdőknek neveznek, ilyen mozaikosság nincs — ezekben minden faegyed azonos korú, és egy időben is vágják ki őket.

18. Populációk (Pestiné dr. Rácz Éva Veronika)

18.1. A populációk jellemzése

18.1.1. A populáció fogalma

A populáció az egyedfeletti szerveződés szerkezeti és működési alapegysége. Legtöbbször egy időben, egy helyen együtt élő, egy fajba tartozó egyedek halmazát értik populáció alatt, ill. faji minősítésű populáció alatt. Ez a definíció azonban nem minden ökológia vizsgálódás esetén használható. Sok esetben szűkebb, máskor tágabb foglomra van szükség.

A populációdinamikai, populációgenetikai vizsgálatok esetén szükséges, hogy a populáció egyedei tényleges szaporodási közösséget alkossanak (mendeli populáció).

Táplálkozással kapcsolatos kérdésekben viszont azonos életmódú, de mégcsak nem is feltétlenül egy fajba tartozó egyedek (pl. azonos módon táplálkozó parti madarak) populációját tekintik vizsgálati alapnak.

A populáció általánosan használt fogalma nehezen alkalmazható olyan állatokra, amelyek különböző fejlődési stádiumukban más élőhelyen, egészen más táplálékot fogyasztanak (pl. lepkék, kérészek vagy a legtöbb kételtű). Növénypopulációk esetén az egyedek elkülönítése gondot okoz, sőt akár egyetlen egyed alkothatja a populációt.

Az általános szünbiológiai értelemben vett populáció mindig relatív, az adott vizsgálat céljaitól és feltételeitől függ. Ennek megfelelő definíció Juhász-Nagy (1986) meghatározása, mely szerint a populáció valamely szempont alapján összerendelt élőlények halmaza adott tér-idő intervallumban. A meghatározásban szereplő szempont sokféle lehet; függ a vizsgálat tárgyától és a tesztelendő hipotézistől.

A populációk szünbiológia vizsgálata egy $\{3+1+1\}$ dimenziós rendszerben képzelhető el: a „hol” (tér 3 dimenziója), a „mikor” (idő dimenzió), „milyen mennyiségben” (populáció méret) fenológiai alapkérdéseknek megfelelően. Tanulmányozhatjuk a populáció tér-idő dinamikáját, vagy csak a populációméret időbeli változását.

Mielőtt a populációk dinamikájának okaira és modelljeire részletesen kitérnénk, tekintsük át a populációk jellemzőit, amelyekkel mennyiségük és eloszlásuk leírható.

18.1.2. Populációméret

A populáció méretét leggyakrabban egyedszámban (N) vagy egyedsűrűségben (populációdensztás vagy abundancia) szokták megadni. Szárazföldi élőlények esetén a denzitást egyed/területegységben, míg vizekben élőkre térfogategységre vonatkoztatva mérik. Az egyedek elkülönítése azonban csak az úgynevezett unitér fajok populációiban magától értetődő, amelyek elkülönült, genetikailag különböző egyedekből állnak, mint pl. a gerinces állatok. Ezzel szemben a növények jelentős része és több gerinctelen állat csoportokat, telepeket alkotnak. Ezek az ún. moduláris fajok. Telepeik számos genetikailag azonos, klónból állnak, amelyek különböző ivartalan szaporodási formákkal jöttek létre (pl. indázás, gyökérsarj, bimbózás ... stb.). A moduláris populációk denzitását biomassa/területegységben lehet megadni.

A populáció nagyságát közvetlen számlálással is meghatározhatjuk nagytestű állatok, madarak, vagy fás növények vagy egyéb kis létszámú populációk esetén. Azonban az esetek többségében az összes egyed megtalálása gyakorlati akadályokba ütközik. A populációméret meghatározására két általános módszer használatos: a kvadrát módszer és a jelölés-visszafogás.

A kvadrát módszer jól alkalmazható olyan populációk méretének becslésére, amelyek egyedei nemigen mozognak. A kvadrát a vizsgálati területen lehatárolt megfelelő méretű (kis) terület. Általában – de nem feltétlenül – négyzet alakú. Növénypopulációk vizsgálatára hazánkban erdőkben leggyakrabban $20\text{ m} \times 20\text{ m}$, cserjésekben $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, gyepeken $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ nagyságú kvadrátokat használnak (Fekete 2000). A vizsgálati területen felvett megfelelő számú kvadrátban számolt egyedszám ill. denzitás alapján becsülhető az egész területre jellemző populációnagyság. Fontos, hogy a kvadrátok felvétele reprezentatív legyen. Ez például véletlen kijelöléssel biztosítható.

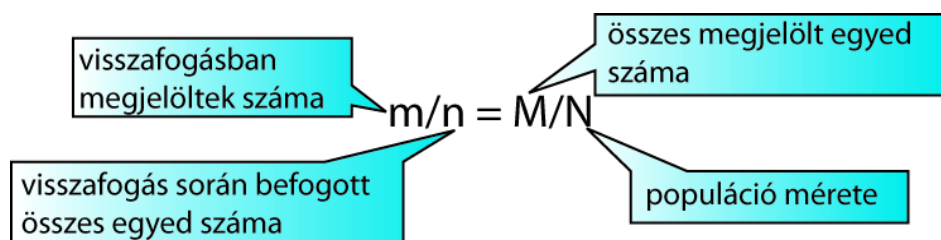
A jelölés-visszafogás gyorsan mozgó, jól elegyedő állatok populációjának becslésére használt széles körben alkalmazott módszer.

A populációból véletlenszerűen kiválasztunk egyedeket (csapdázással, hálóval ... stb.), ezeket megfelelően megjelölve visszaengedik, majd a későbbi minavétel(ek) során visszafogott jelölt egyedek mennyiségéből következtetnek a populáció jellemzőire.

A jelölés sokféle módszerrel történhet. Festéket alkalmaznak pl. lepkék vagy bogarak megjelölésére, egyenesszárnnyúakra címkét ragasztanak, kemény kitinpáncéllal rendelkező bogaraknál lézeres gravírozás is alkalmazható. Gerinceseknél általában bilétákat vagy gyűrűket kapnak, de előfordul a lábujjak (kisemlősök), vagy az úszók csonkolása (halak). Nagyobb testű állatokon rádiótelemetriás adók, műholdas nyomkövetésre alkalmas eszközök és GPS-ek is elhelyezhetők, sőt harmonikus radarokat és és bőr alá ültethető chipet is használnak. (Körösi 2006)

A jelölés-visszafogás ma már nem feltétlenül jelenti az állatok tényleges befogását. Például Észak-Amerikában a grizzlymedvéket a kerítésoszlopra kent halolajjal csalogatják oda, azonban csak kerítésen hagyott szőrszálakból vett DNS mintát használják. (Krebs 2008)

Ideális esetben (zárt populáció, tökéletes keveredés) a visszafogott mintában a jelölt egyedek ugyanolyan arányban vannak jelen, mint az egész populációban (43. ábra).



43. ábra: Lincoln–Petersen-index. Az egyedszám-becslés alapjául szolgáló arányok jelölés-visszafogás esetén.

Ennek alapján a populáció egyedszáma a következő képlet alapján becsülhető.

$$N = \frac{n \cdot M}{m}$$

Gyakran előfordul, hogy a populáció nem zárt; egyedek elvándorolnak vagy érkeznek, illetve születnek vagy elpusztulnak. Kis számú jelölt egyed visszafogása esetén erősen torzít ez a képlet. Az állatökológusok ezért általában többszörös visszafogással dolgoznak, amihez kidolgozott statisztikai adatfeldolgozó módszerek lehetővé teszik nemcsak a pontosabb egyedszám-becslést, de a populáció más paramétereinek meghatározását (pl. születési, halálozási ráta, térbeli tulajdonságok) is.

18.1.3. A populációk csoporttulajdonságai

A populációk csoporttulajdonságai olyan, egyedeken nem tanulmányozható tulajdonságok, amelyek meghatározzák a populáció struktúráját (denzitás, térbeli eloszlás, koreloszlás) és dinamikáját.

A populációk méretét a születések, halálozások valamint a be- és kivándorlás határozza meg. Ezeket pedig részben a populáció belső tulajdonságai (pl. szaporodási képesség), részben pedig a korlátozó tényezők határozzák meg: a források (táplálék, fészkelőhely) és kondicionáló tényezők (hőmérséklet, páratartalom, talajnedvesség), vagy más fajok populációi (ragadozók, versenytársak).

A populáció egyedszámának változását (ΔN) a születések (B) és halálozások (D) számának, valamint a be- (I) és kivándorló (E) egyedek számának ismeretében egyszerűen meghatározhatjuk.

$$\Delta N = B - D + I - E$$

A populáció időbeli dinamikáját vizsgálva az egységnyi idő alatt történt változásokat tekintjük (pl. évenkénti szaporulatot a szezonálisan szaporodó fajok esetében), növekedési, halálozási be- és kivándorlási rátákról beszélünk.

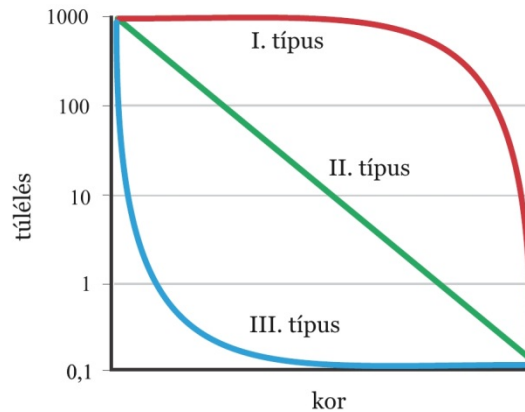
Natalitás. Az egy főre jutó (per capita) növekedési rátát natalitásnak nevezzük. Azt fejezi ki, hogy egységnyi idő alatt egy főre hány születés esik a populációban. Különböző fajok populációinak natalitása igen eltérő lehet.

Fekunditásnak nevezik az egyedek fiziológiailag meghatározott maximális utódmennyiségét. Ezzel szemben a természetben ennél alacsonyabb átlagos utódmennyiséget tapasztalunk, ez a fertilitás. Szexuálisan szaporodó populációkban általában csak a nőstényeket szokták tekinteni.

Mortalitás. A populációban az egy főre jutó halálozási rátát mortalitásnak nevezzük.

Az egyedek elhalálzásának különféle közvetlen és közvetett okai lehetnek. Közvetlen ok lehet kórokozó, parazita, ragadozó, táplálékhiány, környezeti hatás (pl. magas vagy alacsony hőmérséklet, páratartalom, toxikus anyagok, sugárzás stb.). A környezeti paraméterek megváltozása gyakran csupán közvetett oka az egyedek elpusztulásának: például a páratartalom növekedésével a gombák elszaporodnak és azok okozzák a halált (Sharov 2008). A halálozás valószínűsége fajra jellemző módon függ az egyed korától, vagy fejlődési stádiumától (pl. lárva, imágó vagy újszülött, fiatal, ivarérett ... stb.).

A halálozás korfüggését szemlélteti a túlélési görbe: a kor függvényében ábrázolják a túlélés valószínűségét – általában 1000 egyedre vonatkoztatva – logaritmikus skálán. Pearl (1928) három (idealizált) típust különböztetett meg (**44. ábra**).



44. ábra: A túlélési görbék három alaptípusa. A görbék az 1000 egyedre vonatkoztatott túlélési valószínűség logaritmikus skálán való ábrázolásával kapjuk az életkor függvényében.

Az I. típus esetén az egyedek halálozási esélye kicsi egészen az öregkorig. Az egyedek többnyire időskorban pusztulnak el. Ez jellemző a házikedvencekre, az emberre, állatkerti állatokra és az egy éves növényekre.

A II. típusra jellemző, hogy az egyedeket koruktól függetlenül azonos valószínűséggel éri a halál. Ilyen a földben (magbankban) várakozó magok pusztulása, és a korai magasabb halandóságtól eltekintve ez jellemző a madarak többségére is.

A III. típusú görbe esetén igen nagy fiataalkori halálozás tapasztalható, azok az egyedek azonban, amelyek egy bizonyos kort megérték, jó eséllyel néznek hosszú élet elébe. A természetben élő növény és állatfajok többségére ez jellemző. Sok utódot hoznak létre, amelyek nagy része fiatal korban elpusztul. Az ivarérett kort megért egyedek között viszont nagyon alacsony a halálozási arány. A természetes szelekciónak éppen ez az egyik alapja.

Természetesen a valós populációkban a görbék koránt sem ilyen szabályosak. A túlélési mintázat sokkal összetettebb. Növénypopulációk esetén a vetési denzitás (populációdensitás) befolyásolhatja, hogy melyik alaptípushoz közeli túlélési görbét kapunk.

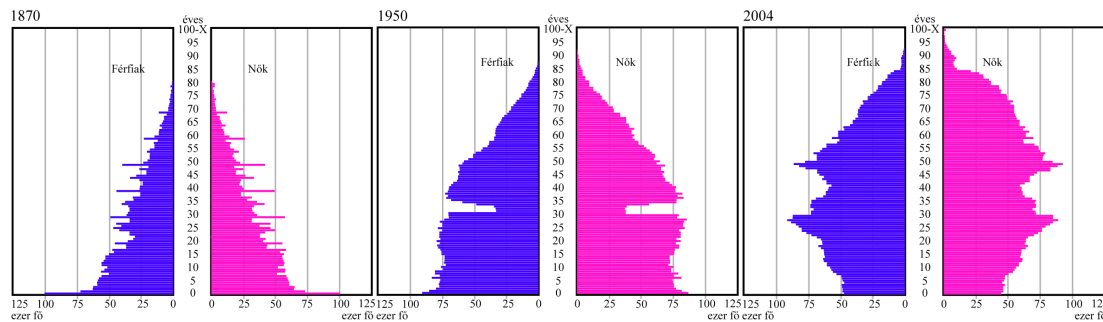
Korstruktúra

Mivel a halálozás korfüggő, a populáció kor szerinti megoszlása fontos meghatározója a populáció dinamikájának. A születések száma is függ a koreloszlástól, hiszen a különböző korú egyedek nem egyforma mértékben járulnak hozzá a szaporulathoz.

A korösszetétel és a populációgyarapodás összefüggéseivel a demográfia tudománya foglalkozik. A korfüggő szaporodási és túlélési arányok meghatározásához élettáblákat készítenek, amelyben a korcsoportok egyedszámából számíthatók a következő korcsoportba jutás a mortalitási és túlélési aránya. A korcsoportonkénti utódszámmal kiegészítve a termékenység is számolható. Ha a populáció minden egyedének kora ismert statikus (vertikális, időspecifikus) élettáblát készíthetünk. Gyakran azonban egyszerűbb egy korcsoportot teljes életük során nyomon kísérni. Ekkor egy kohorszot (közel azonos időben született egyedek csoportját) vizsgálunk és dinamikus (horizontális, korszpecifikus, kohorsz) élettáblát készítenek.

A populáció adott időpontbeli korösszetételét (többnyire nemekre bontva) jellemzi a korfa. Az egyes korcsoportok egyedszámát ábrázolják vízszintes oszlopdiagramokon. A két nemet ellentétes oldalon ábrázolva a korfa szimmetriájának megtörése mutatja a nemek közötti

különbségeket. A korfa alakjából pedig a populáció növekedését vagy csökkenését vagy stagnálását lehet leolvasni (**45. ábra**).



45. ábra: Magyarország népességének koreloszlása a) 1870-ben növekvő populációt indukáló karácsonyfa alakú korfa, b) 1950-ben stagnáló populációkat jellemző oszlopszerű korfára hasonlító c) 2004-ben előregedő populáció urna alakú (lefelé keskenyedő) korfája (KSH/1)

A humán és emlős populációk korstruktúráját legtöbbször évek alapján szokták tekinteni, rovarok esetén a korcsoportok helyett általában célszerűbb fejlődési stádiumokat tekinteni. Növényeknél a már kicsírázott növények életét nyomon követve szoktak idő szerinti korcsoportszerkezetet vizsgálni, azonban – különösen a növények terjedésének vizsgálatával kapcsolatban – szintén inkább fejlődési stádiumokat tekintenek. Ezek közül kiemelt a magbankban szunnyadó magok csoportja, amelyek akár évtizedekig (esetleg évszázadokig) megőrzik csírákéességüket. A kicsírázott magoncokat, a fiatal vegetatív és a fejlett vegetatív valamint a szaporodó egyedeket szokták még elkülöníteni.

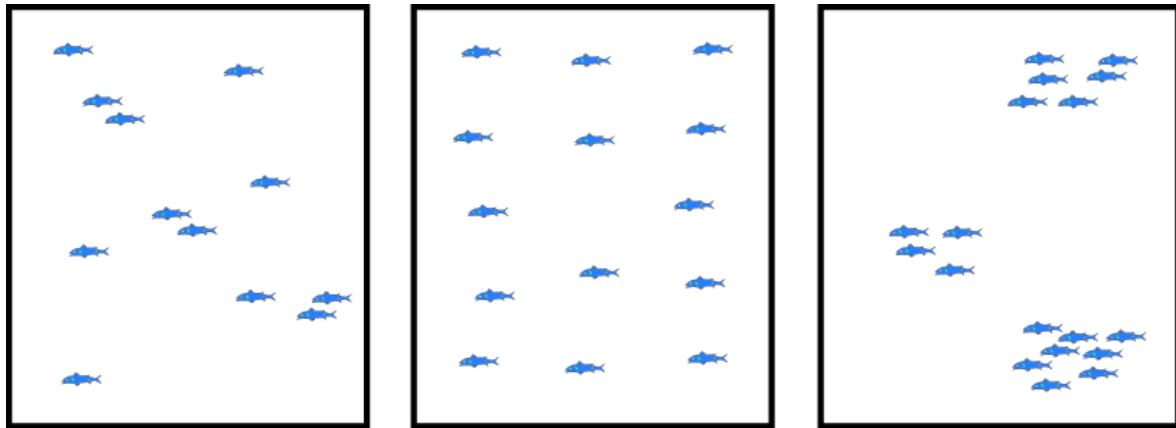
Populációk térbeli eloszlása, diszpergáltsága

A populációk dinamikáját térben is, nemcsak időben vizsgáljuk. A populáció időbeli dinamikájának nemegyszer térbeli okai is vannak. A populáció térbeli terjedése és fennmaradása szempontjából is fontos a térbeli elrendeződésének ismerete.

Kevés populáció egyedei oszlanak el véletlenszerűen (random módon) egy területen, azaz annak minden pontján azonos valószínűséggel. Véletlen diszpergáltság jellemzi a pionír társulások populációit.

A természetben egyenletes (szegregált) térbeli eloszlás pl. territoriális állatok esetén (pl. énekesmadarak) fordul elő. A villanypóznán ülő madarak is egyforma távolságra helyezkednek el szomszédjaiktól, ugyanez a jelenség figyelhető meg két dimenzióban a tengeri madarak fészkeinek szabályos elhelyezkedésén. A mesterséges, telepített növények (gyümölcsösök, faültetvények), mint alkalmas tanyahelyek hatására is kialakulhat szegregált diszpergáltság (Gallé 2010).

Az élőlények leggyakrabban csoportokba tömörülve, aggregáltan fordulnak elő (**46. ábra**). A csoportosulás oka egyrészt a szaporodás módjából ered (pl. magszórás), másrészt pedig a csoport gyakran nagyobb túlélési lehetőséget biztosít az egyedek számára (munkamegosztás, együttes védekezés stb...).



46. ábra: Populációk tipikus térbeli mintázatai. a) random, b) egyenletes eloszlású c) csoportosuló

A populáció egyedeinek eloszlása függ az elérhető források eloszlásától (homogenitás, heterogenitás) a populáció terjedési stratégiájától és az egyedek közötti kölcsönhatásoktól (ld. még interspecifikus interakciók). Ugyanaz a térbeli mintázat különböző skálán szemlélve is más típusúnak tűnhet. Például a levéltetvek eloszlása csoportosuló nagy léptékű skálán (az erdő szintjén), kisebb skálán, – a levelek szintjén a lombkoronában – random eloszlást mutat, míg finomskálán – a leveleken való elhelyezkedést tekintve – leginkább egyenletesnek tűnik.

18.1.4. Populációk szociális szerkezete

A populációk egyedei állandó kölcsönhatásban állnak egymással. Hasonló igényeik miatt közös forrásokon és ellenségeken osztoznak, gyakran társas viselkedés figyelhető meg közöttük. A különféle populáción belüli kölcsönhatások jelenősen befolyásolják a populáció egyedszámának alakulását.

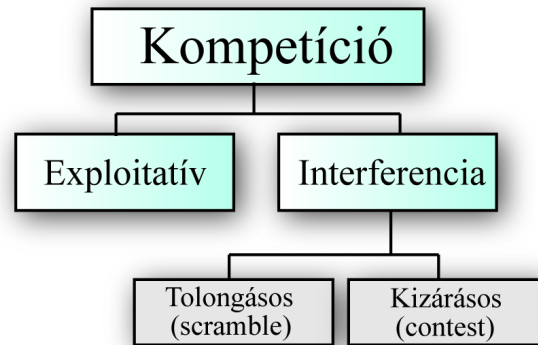
Az élőlények viselkedésével az etológia (viselkedésbiológia) foglalkozik, ezen belül a viselkedésökológia a viselkedés evolúciós hátterét és környezeti változóktól függését vizsgálja: hogyan és miért alkalmazkodnak a viselkedésükkel a különböző organizmusok, és a viselkedés hogyan befolyásolja a túlélést és a szaporodást.

Populáción belüli versengés

Ha egy populáció egyedei számára valamely közösen használt készlet (víz, táplálék, fészkelő- és búvóhely, tápanyagok, fény stb.) korlátozott mértékben áll rendelkezésre, akkor az egyedek között versengés (kompetíció) lép fel. A versengés során a résztvevő partnerek egymás túlélését és szaporodását kölcsönösen negatívan befolyásolják. Ha a versengés egy faj egyedei között zajlik, intraspecifikus kompetícióról beszélünk. A különböző fajba tartozó egyedek és populációk közötti (interspecifikus) kompetícióval részletesen később foglalkozunk.

Közvetett (exploitatív) kompetícióról beszélünk, ha az egyedek közvetlenül nem, csak a közös készletek használatán keresztül hatnak egymásra.

Közvetlen (interferencia) kompetícióról beszélünk, ha az egyedek interakcióba lépnek egymással (47. ábra). Az interferencia kompetíciónak két formáját különböztetünk meg aszerint, hogy a készlet megosztása hogyan történik. A tolongásos (scramble) kompetíció esetén a versengő partnerek a készlet teljes kimerüléséig részesülhetnek a forrásból, általában testtömegük arányában. Például egy marék búzán csipegető balkáni gerlek versengésekor. Ezzel szemben a kizárásos (contest) kompetíció esetén a forrás kihasználásának kezdetén eldőli a verseny és az egyik fél a forrás kimerülése előtt elesik a kihasználás lehetőségétől. Ilyen a például a területiális viselkedés. (Gallé 2010)



47. ábra: A versengés fajtái

A versengés minden formája a populációnövekedést korlátozza. A populáció denzitásának növekedésével egyre erősebb hatásként jelentkezik, a populáció dinamikájában negatív denzitásfüggés jelentkezik.

A versengés következtében a denzitásfüggés a növényeknél öngyérülés, bizonyos állatcsoportoknál kannibalizmus révén valósul meg. A növekedő egyedek egyre nagyobb igényei miatt kiéleződik a versengés, ami nagyobb denzitás esetén egyedek halálához vezet. Ez csökkenti a denzitást és lehetővé teszi az egyedek további növekedését, ami viszont ismét a versengés kiéleződését okozza.

Csoportképzés és társas szerveződés

A populációdensitás növekedése nem minden esetben csak negatív hatással jár. A kolóniákban fészkelő madarak esetén a kolóniaméret növekedésével, javul a költés sikeressége. A társas viselkedés különböző formái is általában meghatározott csoportméret esetén jelentenek maximális előnyt a csoport tagjainak.

A csoportban való tartózkodás többféle módon növelheti az egyed szaporodási és túlélési esélyeit: a csoportban táplálkozó egyedeknek kevesebb időt kell a ragadozók figyelésével tölteni, így több idejük jut az élelemszerzésre, a foltokban fellelhető táplálékok felkutatása is sikeresebb a csoportosan. Annak ellenére, hogy a ragadozók figyelmét könnyebben felkelti több egyed, a csoport az egyedek számára a ragadozók elleni védelmet nyújt, ami a tömegben való elrejtőzéssel (kockázatsökkentés), a ragadozó figyelmének megosztásával vagy akár aktív csoportos védekezéssel is megvalósulhat. A csoportban a párzás lehetősége is nagyobb. Az előnyök mellett a nagyobb egyedsűrűség hátrányai az előző alfejezetben tárgyalt csoporton belüli versengésen kívül a paraziták és betegségek könnyebb elszaporodása.

A társas viselkedés kialakulásával, evolúciójával részletesen a szociobiológia tudomány foglalkozik (Wilson 1975).

18.1.5. Populációdinamika

A populációk méretének időbeli alakulásával a populációdinamika foglalkozik. A populációk mennyiségi viszonyainak megértésére matematikai modelleket használunk. Az alkalmazott modellek lehetnek determinisztikusak, amennyiben a változás egyértelműen meghatározott, vagy sztochasztikusak, ha a változás kimeneteleinek valószínűségei adottak. A modellek az időt kétféleképpen kezelhetik. A diszkrét idejű modellekben a változások szinkronizáltan történnek, az időlépésekben halad (pl. évről évre). A diszkrét modellek különösen alkalmasak elkülönült generációkból álló populációk modellezésére: ilyenek például az egyéves növények és a legtöbb rovar. Ezzel szemben a folytonos idejű modellekben a változások folyamatosan

történnek, az események időben elkülöníthetők. Olyan populációk jellemzésére (is) alkalmas, amelyekben átfedő generációk vannak, a szaporodás nem szinkronizált módon történik. Leggyakrabban tömegmodelleket (folytonos időben differenciálegyenleteket, diszkrét időben differenciaegyenleteket) alkalmaznak. Ezek a modellek négy alapvető feltétel megléte esetén használhatók.

1. A populáció mérete megfelelően nagy, sok egyedből áll.
2. A populáció jól keveredik, azaz bármely egyed bármelyikkel kapcsolatba kerülhet bármikor.
3. A populáció környezete állandó. (Források nem fogynak el, eltekintünk az időjárás viszontagságaitól stb.)
4. A demográfiai jellemzők (natalitás, mortalitás stb.) állandónak tekinthetők, idővel nem változnak.

Az elemi modellek zárt populációt feltételeznek, amelyben nincs migráció, azaz az általános mérlegegyenletben $I = E = 0$.

Korlátlan növekedés diszkrét időben – geometriai sorozat

Az élőlények megfelelő körülmények között, bőséges tápanyag illetve táplálékellátás mellett a szaporodási rátájuk maximális értéke szerint szaporodnak.

Az egyéves növények és a rovarok többnyire évente egy generációt hoznak létre. Tekintsünk egy ilyen populációt. Tegyük fel, hogy egyik évről (t) a másikra ($t+1$) konstansszorosára (λ) változik a populáció mérete, azaz geometriai sorozat szerint növekszik. A

$$\lambda = \frac{N_{t+1}}{N_t}$$

konstanst a populáció bruttó növekedési rátájának nevezzük.

N_0 egyedből kiindulva,

az első évben $N_1 = \lambda N_0$,

a másodikban $N_2 = \lambda N_1 = \lambda \lambda N_0 = \lambda^2 N_0$,

és így tovább a t -edik évben pedig a populáció egyedszáma

$$N_t = \lambda^t N_0$$

lesz.

Ez a növekedés rendkívül gyors. Egy 20 percenként osztódó *E. coli* baktériumból egyetlen nap alatt az egész Földet egy sejtréteg vastagon beborító baktériumtömeg lenne. Egy évenkénti generációs ciklussal rendelkező faj kisebb populációjából kiindulva is egy évtized alatt átlépné a milliós egyedszámot.

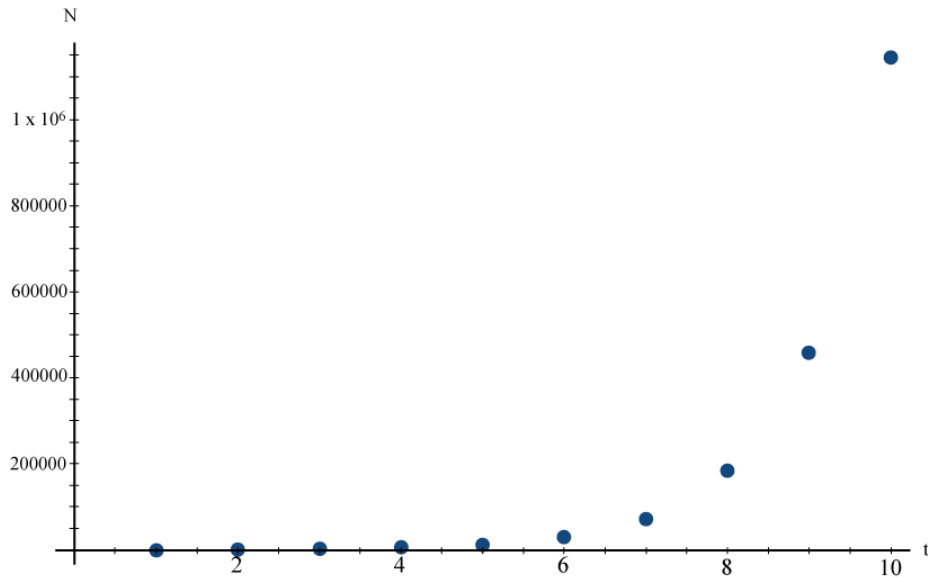
Példa

Tegyük fel, hogy egy 120 tövet számláló növénypopulációról tudjuk, hogy évente két és félszeresére nő az egyedszáma. Hány főből áll majd 10 év múlva a populáció, ha a növekedés üteme nem változik?

A $N_0 = 120$ és $\lambda = 2,5$ adatokat a $N_t = \lambda^t N_0$ egyenletbe behelyettesítve kapjuk

$$N_{10} = 2,5^{10} \cdot 120 = 1144410.$$

A populáció növekedése a 10 év alatt a **48. ábr**alátható.



48. ábra: Egy növény populáció, amelynek éves átlagos növekedési rátája, $\lambda=2,5$, $N_0=120$ egyedből kiindulva 10 év alatt meghaladná az 1 millió egyedszámot ($N_{10}=1.144.410$)

Korlátlan növekedés folytonos időben – exponenciális függvény szerint

Átfedő generációkkal rendelkező populációk ideális körülmények között exponenciális függvény szerint növekednek.

Feltéve, hogy a populáció növekedése a születési rátával ($b > 0$), csökkenése a halálozási rátával ($d > 0$) arányos:

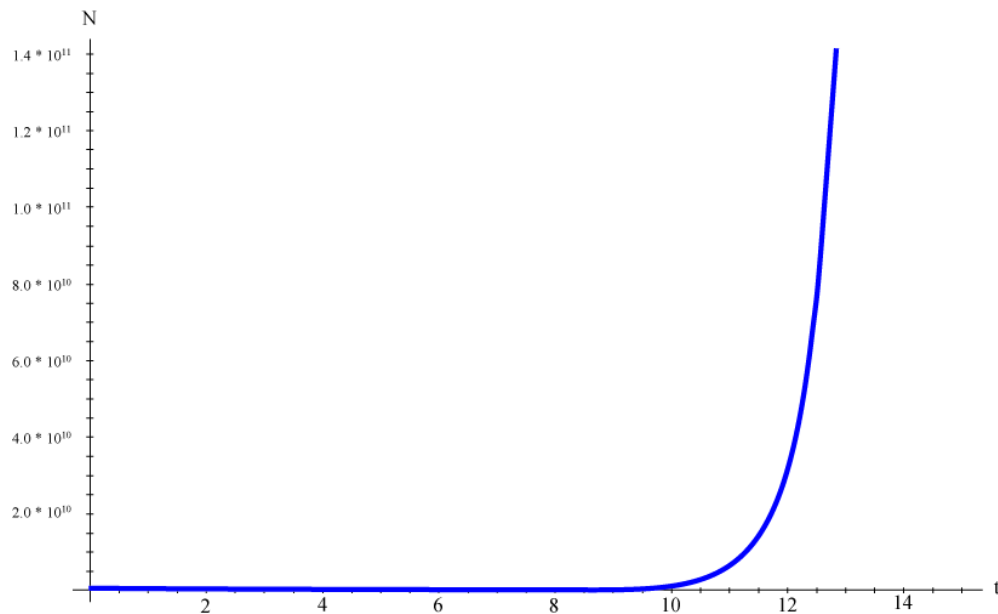
$$\frac{dN}{dt} = bN - dN$$

$b - d = r_{\max}$ az egy főre jutó pillanatnyi növekedési ráta.

$$\frac{dN}{dt} = r_{\max} N$$

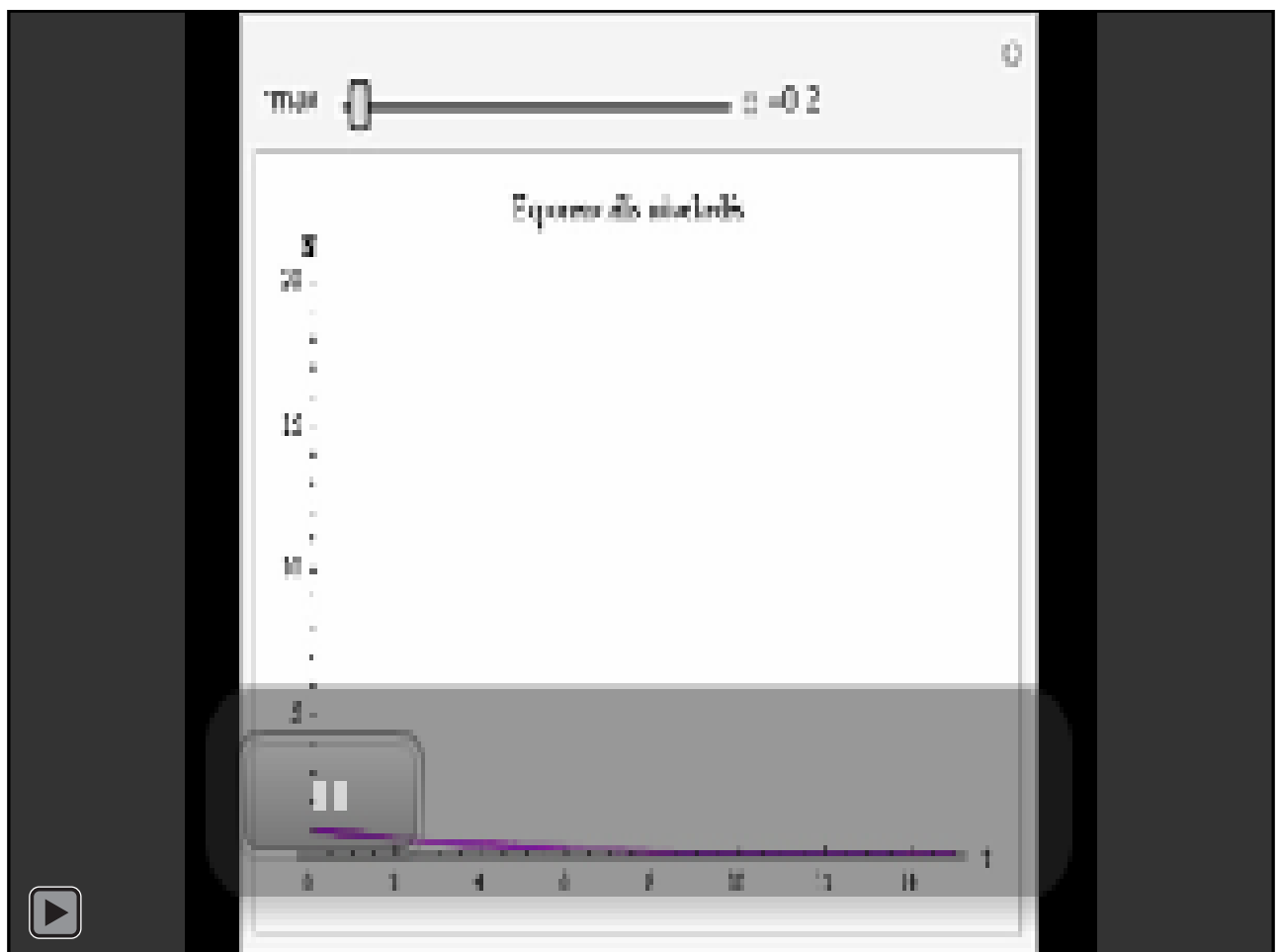
differentiálegyenlet megoldása

$$N(t) = N_0 e^{r_{\max} t}$$



49. ábra: Exponenciális növekedés, $r_{\max}=2$, $N(0)=1$.

A növekedés ütemét $r_{\max}$ nagysága határozza meg: minél nagyobb, annál gyorsabban növekszik a populáció mérete. Ha $r_{\max} = 0$, akkor a populáció egyedszáma nem változik, ha $r_{\max} < 0$ exponenciálisan csökken.



Exponenciális növekedés előfordul a természetben, de nem gyakori. Új élőhelyek meghódítása, vagy minden tavasszal az édesvízi algák szaporodása ilyen ütemű. A posztglaciális (jegesedés utáni) felmelegedés időszakában pl. lombhullató fajok potenciális elterjedési területe megnőtt, populációik exponenciális növekedést mutattak (Molles 2008). Az emberiség népessége is közel exponenciálisan nő (6.?. ábra).

Logisztikus növekedés

A korlátlan növekedés nem tarthat hosszú ideig, mivel az élőlények tömegessége nem nőhet akármeddig. A rendelkezésre álló források egy idő után korlátozó tényezőként jelentkeznek. A populáció egyedei versengnek a rendelkezésre álló készletekért. A populáció egyedszámának növekedésével a demográfiai paraméterek megváltoznak, nem tekinthetők konstansnak: a születési ráta csökken a halálozási ráta pedig növekszik. Ezért a növekedési ráta $r = r(N)$ az egyedszám csökkenő függvénye. Lineáris csökkenést feltételezve alkalmazzuk az

$$r(N) = r_{\max} - cN$$

függvényt, ahol $c > 0$ a populáció belső negatív visszacsatolását, azaz a denzitásfüggés erősségét jellemző konstans. Minél nagyobb a populáció egyedszáma annál élesebb a verseny az egyedek között, annál erősebben korlátozzák egymás növekedését és szaporodását. Ezt az előző függvényt behelyettesítve az exponenciális növekedést leíró differenciálegyenletbe

$$\frac{dN}{dt} = (r_{\max} - cN)N$$

egyenletet kapjuk. Ez a logisztikus egyenlet, melynek egyensúlyi állapota ($N = 0$ triviális eseten túl)

$$\hat{N} = \frac{r_{\max}}{c} = K$$

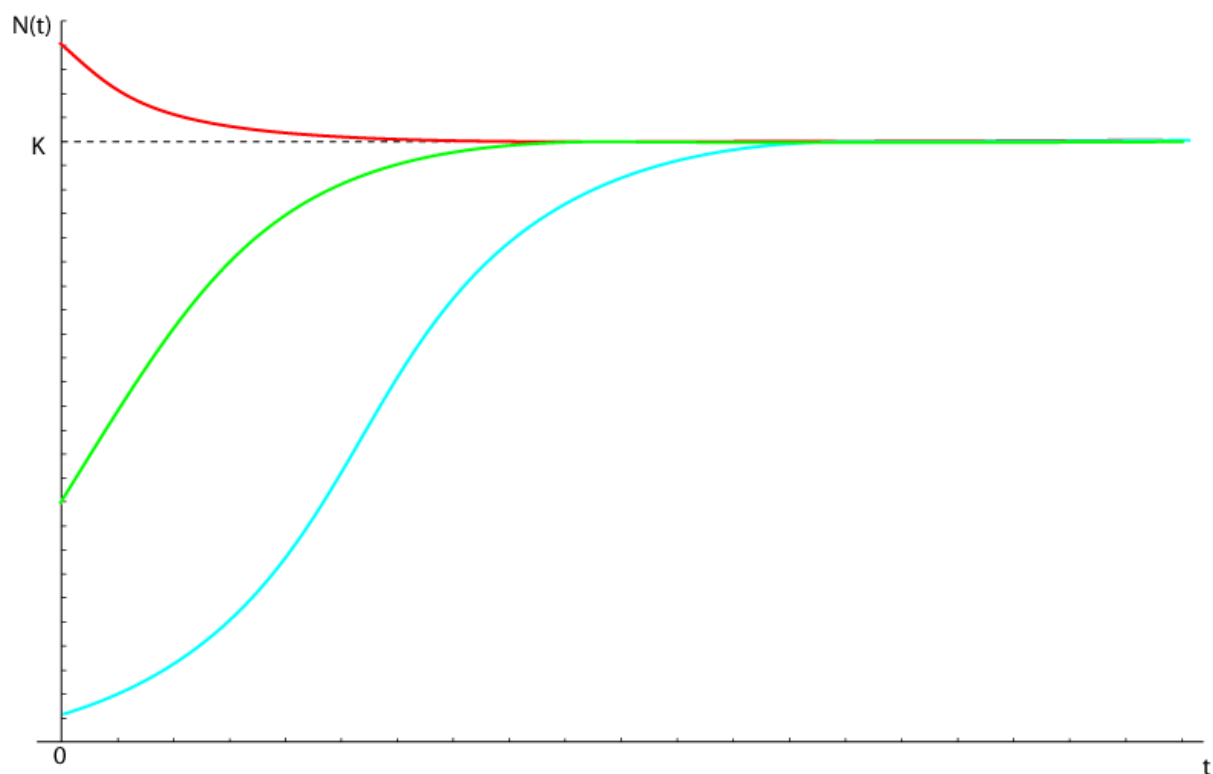
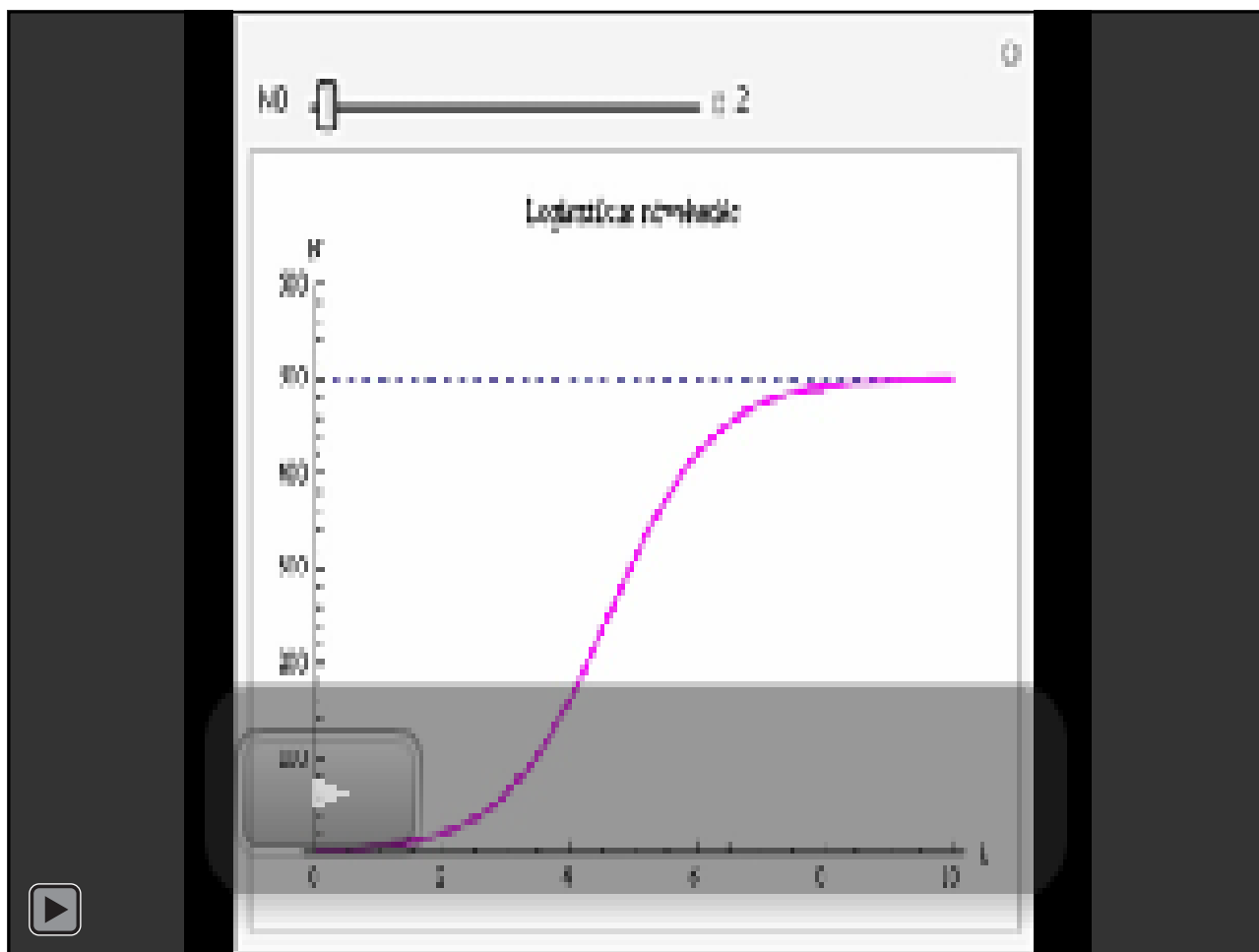
K -t a terület eltartóképességnek hívjuk, mivel éppen az a legnagyobb egyedszám, ami még képes megélni adott környezetben.

Az eredeti egyenlet felírható az előző elnevezést felhasználva.

$$\frac{dN}{dt} = Nr_{\max} \left(1 - \frac{N}{K} \right) = Nr_{\max} \left(\frac{K - N}{K} \right)$$

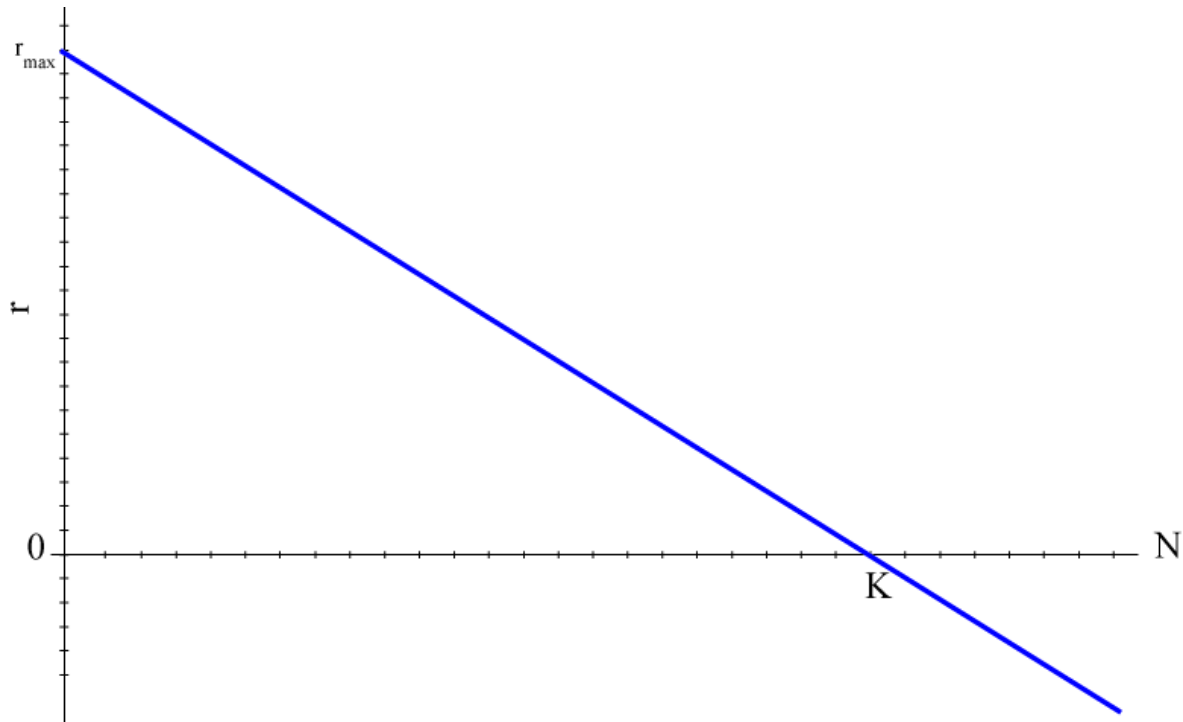
alakban. Ez a logisztikus növekedés Verhulst (1838, 1845) modellje.

Megoldásait ábrázolva szigmoid görbéket kapunk (**50. ábra**). Ha az egyensúlyi egyedszámnál kisebb a populáció mérete $N < K$, akkor növekedést, ha nagyobb akkor csökkenést tapasztalunk (lásd. következő animáció).



50. ábra: Logisztikus populációnövekedés három különböző induló populációméret esetén

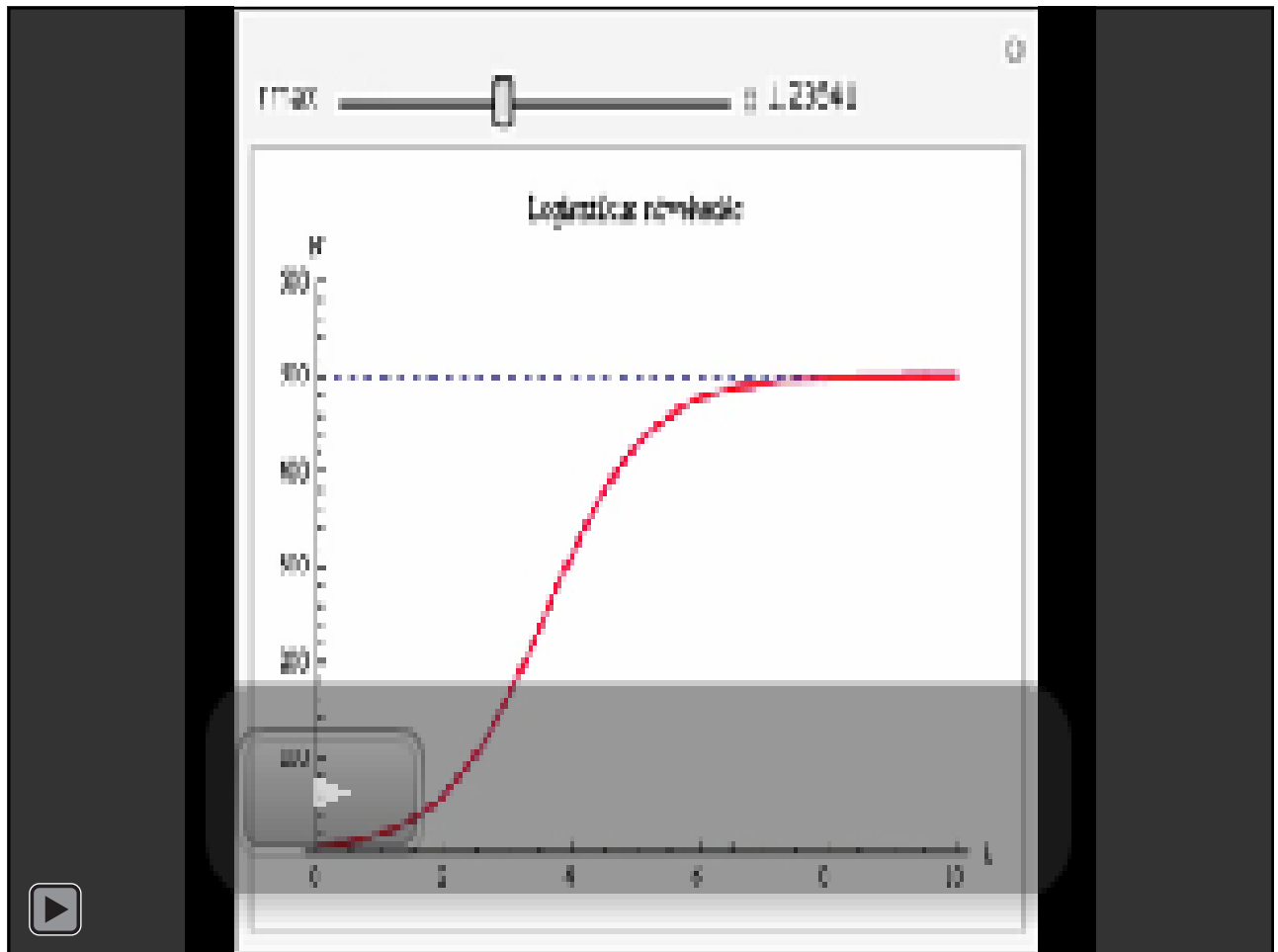
A szigmoid görbén a populációnövekedés három többé-kevésbé elkülöníthető szakasza figyelhető meg. A populáció először az exponenciális növekedéshez hasonlóan gyorsan növekszik. Ezután a növekedés üteme lelassul. Végül a növekedés (szinte) meg is áll. Ennek oka, hogy kezdetben alacsony egyedszám mellett az alap egyenletben a cN kifejezés kicsi, ezért kevésbé módosítja az exponenciális növekedést. Az N növekedtével azonban a csökkentés egyre nagyobb mértékű (**51. ábra**).



51. ábra: A populációméret és a növekedésének üteme közötti összefüggés.

Ha a populáció egyedszáma igen kicsi, akkor a legnagyobb a populáció növekedésének üteme: közel $r_{\max}$. Ahogy nő a populáció egyedszáma ($N > K$) a populáció egyre kisebb mértékben növekszik. Ha $N = K$, a populáció nem növekszik tovább. $N < K$ esetben a populáció egyedszáma csökken.

Minnél nagyobb a egy főre jutó populáció szaporodási rátája ($r_{\max}$), annál meredekebben és gyorsabban közelíti a logisztikus görbe az egyensúlyi egyedszámot (lásd. alábbi animáció).



Logisztikus növekedést tapasztalunk egy petri csészébe telepített élesztőtenyészet vizsgálatakor vagy egy üvegben élő papucsállatka populáció esetén (Gause 1934), de a természetes élőhelyükön vizsgált élőlények populációdinamikája is gyakran jól közelíthető ezzel a modellel, különösen olyan esetekben amikor egy populáció új területre lép (vagy mi telepítjük), vagy természeti katasztrófák, járványok utáni populációnövekedésre.

A populáció egyedszámát szabályzó denzitásfüggés nem feltétlenül lineáris, lehetséges ennél erősebb vagy gyengébb. A populációt dinamikáját egyszerre sok tényező befolyásolhatja. Gyakran ezek a nem közvetlenül és azonnal, hanem késleltetve (pl. τ idő múlva) jelentkeznek.

A nemlineáris denzitásfüggés és a késleltetés egyaránt könnyen beépíthető a populáció egyedszámváltozását leíró differenciálegyenletbe,

$$\frac{dN}{dt} = N(t)\Psi(N(t-\tau))$$

ahol Ψ egy meghatározott függvény, τ pedig a késleltetés mértéke.

A késleltetett negatív visszacsatolás a kártevők periodikusan jelentkező tömeges elszaporodásának azaz gradációjának legfontosabb háttértényezője. A gradáció során a populáció dinamikájában az alábbi szakaszok követik egymást:

- lappangás (látencia), mialatt a populáció mérete igen kicsiny, nehezen kimutatható,
- bevezető (akkreszcens) szakasz, növekedési szakasz, melyben a populáció egyes góccokban felfszaporodik, ezt követi a
- tetőzés szakasza (kulmináció), amelyben a tömeges elszaporodást jelentő kitörés (erupció) és az összeomlás követik egymást, végül
- a lecsengő (dekreszcens) szakaszban a populáció mérete a látencia szintjére csökken. (Gallé 2010)

A gradáció jellemző a kisméltősökre, növényevő rovarokra: tipikusan gradáló faj például a lemming, a sivatagi sáska (*Schistocerca gregaria*) és a hazánkban is súlyos gondokat okozó gyapjaslepke (*Lymantria dispar*).

18.1.6. Életmenet stratégiák

Az élőlények élettartama, a szaporodásainak száma, a létrehozott utódok száma és fejlettsége, az azokról való gondoskodás mértéke széles határok között mozog a különböző taxonokban. Életmenet tulajdonságoknak nevezzük az élőlények alkalmazkodásával kialakult olyan biológiai sajátosságait, amelyek méretét, maximális és ivarérettségi korát, utódszámát meghatározzák. Egyetlen élőlény sem tud minden tulajdonságban kimagasló lenni, energetikai és fizikai korlátok miatt. Számos élőlénycsoportban fordított függvénykapcsolat (csereviszony) mutatható ki az utódszám és utódméret – különösen a növények magjainak száma és mérete – között. Hasonlóan a többször szaporodó állatoknál a túlélés és a szaporodás között is csereviszonyt figyeltek meg: azok az egyedek amelyek több energiát fordítanak a szaporodásra kisebb tömegűek és kisebb valószínűséggel élnek túl a következő szaporodási időszakig (Molles 2008). Az életmenet tulajdonságok közötti összefüggések lehetővé teszik, az élőlények osztályozását életmenet stratégiájuk szerint.

Az *r-K* elmélet

A legelterjedtebb életmenet stratégiákra épülő osztályozás a logisztikus modell paramétereiről kapta a nevét: *r* az egy főre jutó növekedési rátát, *K* pedig a terület eltartóképességét jelöli a Verhulst egyenletben.

Az *r*-szelekció a gyors populáció növekedést támogatja, az ennek megfelelő *r*-stratégista élőlények gyorsan növekednek, hamar ivaréretté válnak, és sok utódot hoznak létre. Az életmenet csereviszonyoknak megfelelően általában apró termetűek és rövid életűek. Az *r*-szelekció elsősorban változó, bolygatott az élőlények számára kevésbé kiszámítható élőhelyeken érvényesül.

A *K*-szelekció a források minél jobb kihasználását jelenti (MacArthur & Wilson 1967). A *K*-stratégista élőlények hosszútávon versenyképesek, sokáig élnek, többször szaporodnak, de egyszerre csak kevés utódot hoznak létre, ezekről többnyire gondoskodnak – a tápanyagellátástól az aktív utódgondozásig sokféle módon. A tipikus *r*- és *K*-stratégista élőlények életmenet tulajdonságait a **17. táblázat** foglalja össze.

17. táblázat: Az *r* és *K* életmenet stratégiák összehasonlítása

	r-stratégista	K-stratégista
Testméret	kicsi	nagy
Egyed növekedése	gyors	lassú
- Élettartam	rövid	hosszú
Ivarérettség	korán	későn
Szaporodások száma	1 (semelpar)	több (iteropar)
Utódszám egy szaporodásból	sok	kevés
Utódok mérete	kicsi	nagy
Kompetíciós képesség	gyenge	erős
Ivadékgondozás	alig	jelentős
Élőhely	előrejelezhetetlen	előrejelezhető

Az *r*- és *K*-stratégia valójában egy folytonos eloszlás két végpontja a természetes populációk tulajdonságait tekintve e két szélsőség között folyamatos átmenet van (Pianka 1970, 1972). Például az egyéves növények *r* stratégiájúak, ehhez képest az erdei fák *K*-stratégisták. Ezzel szemben az erdei fák között is vannak inkább a kontinuum *r* irányában állók (pl. a nyár és nyír fajok: gyors növesű puhafák, amik hamar igen sok apró termést hoznak), és inkább a *K* végpont közelében levők (pl. tölgy, bükk: hosszú évtizedek után termőre forduló, de sokszor termő lassú növekedésű keményfák).

Grime-féle stratégiák

Grime (1977, 1979) növényekre kétváltozós életmenet osztályzási rendszert javasolt, annak alapján, hogy a növények növekedését és szaporodását két tényezőcsoport befolyásolja leginkább: a stressz és a zavarás. A stressz tartósan fennálló kedvezőtlen körülményeket jelent, mint például a forráshiány: száraz, nitrogénhiányos talaj, fényszegény élőhely vagy szélsőséges hőmérsékleti viszonyok. Ezzel szemben a zavarás időszakosan fellépő a növény számára kellemetlen hatás, mint például a legelés, kórokozók, széltörés vagy a tűz.

A két tényezővel szembeni tűrőképesség szerint elvben négy kategória közül három valósul meg a természetben (18. táblázat).

18. táblázat: Grime-féle C-S-R osztályozás

		Stressztűrés	
		kicsi	nagy
Zavarás-tűrés	kicsi	kompetitív stratégia - C	stressz toleráns stratégia - S
	nagy	ruderalis (gyom) stratégia - R	(nem lehetséges)

A **ruderalis** (gyom) növények erősen zavart területeken élnek, gyorsan szaporodnak, rövid idő alatt képesek magot hozni, ezáltal újranevesítik a zavarás hatására megüresedett foltokat. Sok magot termelnek, amelyek jól terjednek. A **stressz-toleráns** növények képesek erősen korlátozó körülmények között megélni, de a zavarást nem viselik el. A Grime osztályozásában a harmadik a kompetitív stratégia. A **kompetitív** növények sem a stresszt,

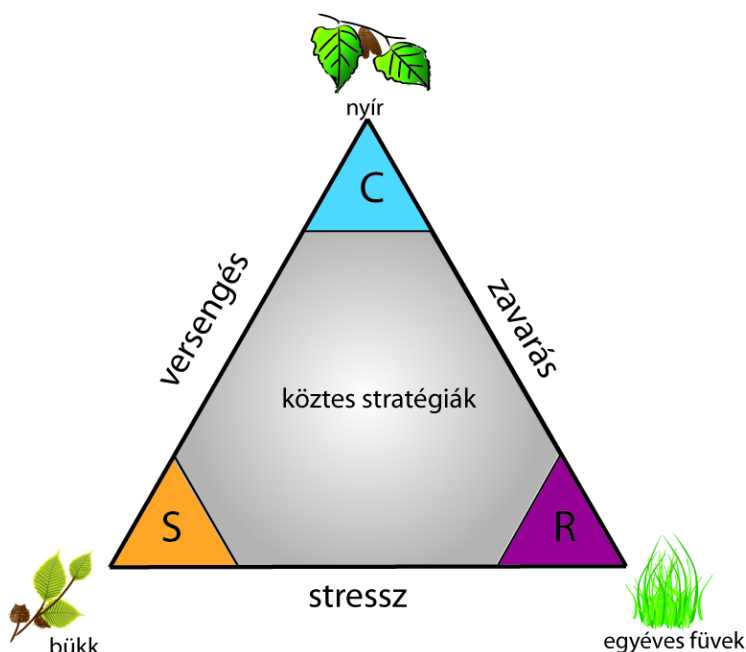
sem a zavarást nem tűrik jól, viszont kedvező körülmények között sűrűbb társulásokban is jó versengési képességei révén megélnek.

19. táblázat: Grime-féle C-S-R stratégiák összehasonlítása

	C	S	R
Termőhely	Fajgazdag, zsúfolt társulások, bolygatás sem stressz.	Tartósan forrásszegény, erősen stresszelt élőhely, kondicionáló tényező kedvezőtlen.	Nem túl forrásszegény, de vannak rossz időszakok.
Élettartam	Hosszú (sok fa).	Hosszú.	Rövid (sok lágyszárú, egyéves).
Növekedés	Gyors (nagy termet)	Lassú (kis termet)	Gyors
Virágzás	Sokára virágzik.	Amikor van rá lehetőség.	Hamar virágzik.
Magtermés	Kevés, nagy mag.	Kevés mag.	Sok kicsi mag.
Raktározás	Nem raktároz, csak ritkán; a raktár a gyors indulást szolgálja, mag és rügybankot képez.	Raktározás speciális szervekben; kedvezőtlen időszakok átvészelésére, védekezőeszközök	Főleg a magbankban van a raktár, gyors indulás + a kedvezőtlen időszakok átvészelése a célja
Allokáció	Növekedésre	Védekezésre, fennmaradásra	Reprodukcióra

A ruderalis stratégia megfelel az r szelekciónak, míg a K szelekciónak a kompetitív stratégia feleltethető meg.

Grime szerint az r-K skála lineáris megközelítésénél jobban szemlélteti a CSR háromszög jobban reprezentálja a növények életmenet-stratégiáinak terét (**52. ábra**).



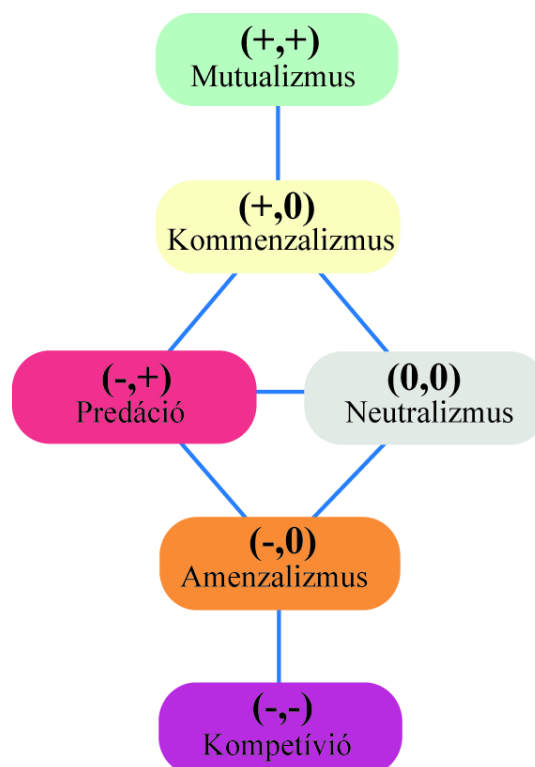
52. ábra: A C-S-R kontinuum (Grime 1979 nyomán)

Grime felosztására épít Borhidi Attila (1993) a növények szociális magatartástípusai szerinti felosztása. A botanikai alkalmazásokon kívül hangyaközösségek osztályozására is alkalmazzák Grime rendszerét. (Gallé 2010)

Az életmenet stratégiák tipizálása természetesen mindenképpen általánosítással és egyszerűsítéssel jár. Gerincesekre és magasabbrendű növényekre, melyek csoportjaiban az életmenet sajátosságok többé-kevésbé megegyeznek, jól használhatók ezek az egyszerű felosztások. A gerinctelenekre és egyéb alsóbbrendű élőlények életmenet sajátosságai olyan nagy változatosságot mutatnak, hogy ezen általános rendszerek helyett taxonspecifikus felosztásokat készítenek.

18.2. Populációk kölcsönhatásai

A populációk nagyon ritkán élnek elszigetelten. Az egy területen élő populációk különféle hatással vannak egymásra. Ezek a (kölcsön)hatások meghatározóak mind az egyes populációk életére, mind pedig a belőlük szerveződő közösségre nézve. Egy populáció hatása egy másikra lehet negatív (–) vagy pozitív (+), aszerint, hogy hogyan hat annak dinamikájára. Szigorúan véve kölcsönhatásról akkor beszélünk, ha mindkét populációnak van hatása a másikra. Eszerint a populációk közötti kölcsönhatások alapvetően háromfélék: negatív kölcsönhatások (pl. versengés), táplálkozási kölcsönhatások (pl. ragadozó-zsákmány, parazita-gazda) és a pozitív kölcsönhatások (mutualizmus), aszerint hogy a populációk kölcsönösen negatív (–,–), negatív és pozitív (+,–) vagy kölcsönösen pozitív (+,+) módon hatnak egymásra. Tradicionálisan a populációk kölcsönhatásai között tárgyalják azokat az eseteket is, amikor az egyik populáció hatása a másikhoz képest elhanyagolható: (0,+) vagy (0,–). Bár ezek szigorúan véve nem kölcsön(ös)hatások, evolúciós ökológiai szempontból kölcsönhatások szélsőséges eseteinek, – vagy ha úgy tetszik két kölcsönhatás-típus közötti átmenetnek tekinthetők (**53. ábra**).



53. ábra: A populációk közötti kölcsönhatások típusai és a közöttük lehetséges evolúciós átmenetek

A populációk közötti interakciókat aszerint is szokták csoportosítani, hogy a résztvevő felek egy fajba tartoznak-e. Egy faj egyedei között intraspecifikus kölcsönhatásokról, míg különböző fajok egyedei illetve populációi között interspecifikus kölcsönhatásokról beszélünk. Előbbivel korábban már foglalkoztunk.

A logisztikus modell kiterjesztésével két faj kölcsönhatásának Lotka–Volterra modelljét kapjuk:

$$\frac{dN_1}{dt} = (r_1 - c_{11}N_1 \pm c_{12}N_2)N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (r_2 - c_{21}N_1 \pm c_{22}N_2)N_2$$

ahol N_1 és N_2 , az első ill. második faj egyedszámát, r_1 és r_2 a növekedési rátájukat jelöli. A $c_{ij} \geq 0$ konstansok az i faj j -re gyakorolt hatását jellemzik: c_{11} és c_{22} a két fajon önmagára való hatását azaz elsősorban az intraspecifikus kompetíció erősségét, c_{12} és c_{21} az egyik faj másikra hatásának mértékét. Az egyenletekben a kölcsönhatás típusának megfelelően + vagy – előjelet választunk.

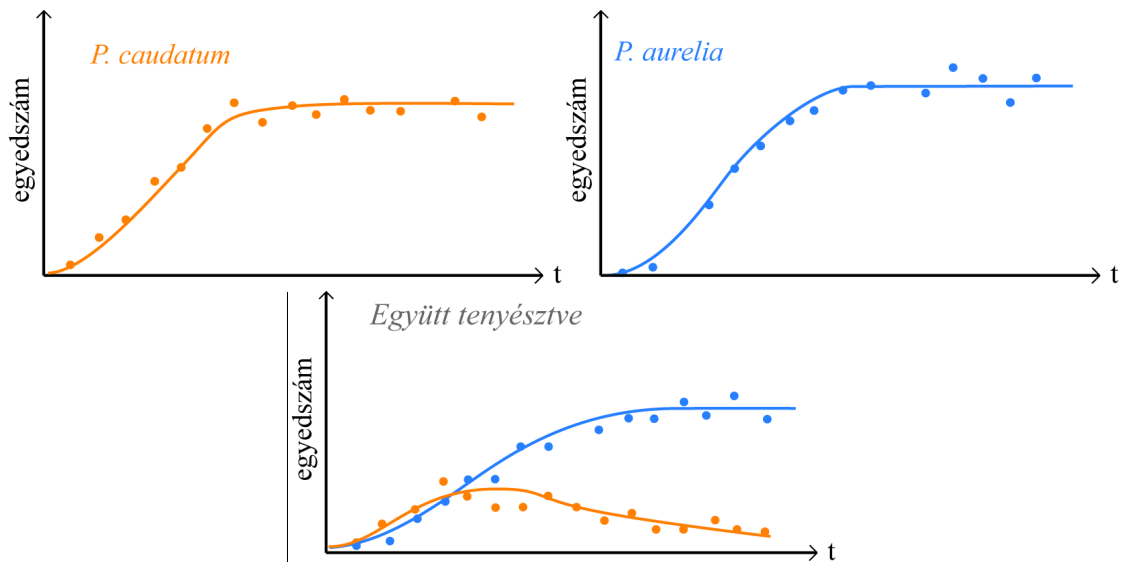
A modell elemzését az egyes kölcsönhatástípusok tárgyalásán belül a megfelelő speciális esetekre végezzük el.

18.2.1. Negatív kölcsönhatások – versengés

Két vagy több faj egyedei, populációi közötti versengésről beszélünk, ha egy területen való együttes jelenlétük mindegyikük szaporodását és/vagy túlélését csökkenti. Tehát a versengés a populációk növekedésének kölcsönös gátlását jelenti (Neal 2004), befolyásolja a populációdinamikát, a fajok elterjedését és evolúcióját.

A versengés fajtáit az intraspecifikus kompetíció kapcsán tárgyaltuk, a **47. ábra**án összefoglalt a felosztás az interspecifikus versengésre is vonatkoztatható.

A versengés gyakran megfigyelhető a természetben, és laboratóriumi körülmények között is széles körben tanulmányozták. Az egyik leghíresebb Georgij Francsevics Gauze papucsállatkákkal végzett klasszikus kísérletsorozata (Gause 1934). A *Paramecium aurelia* és *P. caudatum* tenyészetek baktériumokkal és élesztőkkel táplálkoznak. A két fajt külön nevelve mindkettő populáció telítési görbével jellemezhető (logisztikus) dinamikát mutatott. Együtt nevelve azonban a *P. caudatum* faj minden esetben kipusztult a tenyészetből (**54. ábra**).

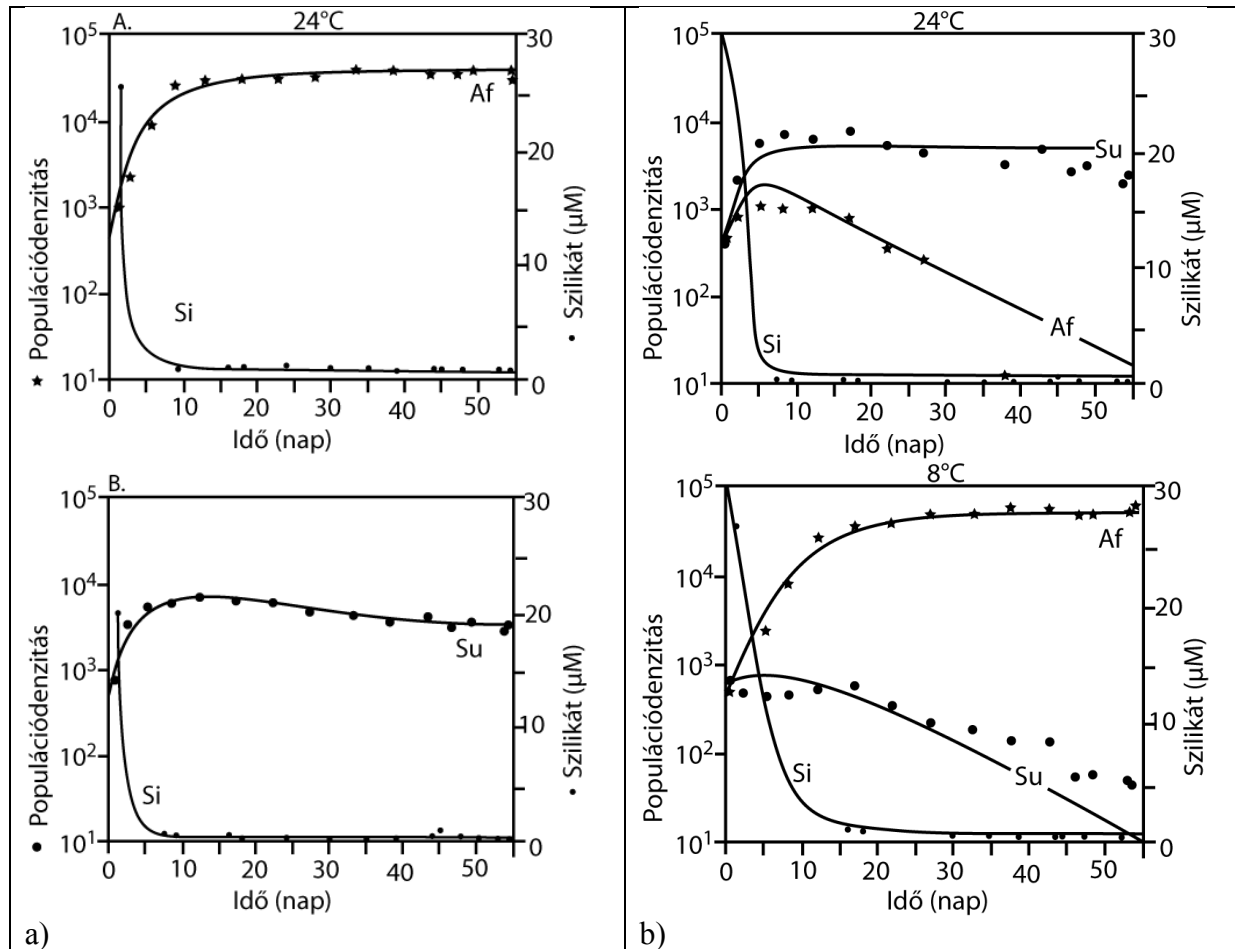


54. ábra: Gauze papucsállatkákkal végzett kísérletének eredményei. (Gause 1934 nyomán)

Ezzel szemben *P. caudatum* és *P. bursaria* tenyésztet együtt nevelve Gauze a két faj együttélését tapasztalta: az előbbi inkább a diffúz módon elhelyezkedő baktériumokkal, míg az utóbbi jellemzően az aljaton élő élesztőkkel táplálkozott.

David Tilman és munkatársai (1981) édesvízi kovamoszatokkal végeztek a hasonló kísérleteket. A kovamoszatok vázuk felépítéséhez szilíciumot-oxidot használnak, ezért a forrásért versengtek az *Asterionella formosa* és a *Synedra ulna* fajok tenyésztet. A kevert tenyészetekben mindig csak egyetlen faj maradt meg hosszabb távon (55. ábra). Nemcsak a két faj populációdensitását mérték, hanem a szilícium-koncentrációt is rögzítették. Természetesen a tápelem koncentrációja a populáció növekedésével mindig csökkent, egészen addig, míg olyan alacsony értéket el nem ért, amelynél a kovamoszatok már nem tudták hasznosítani a szilíciumot, így megállt a populáció növekedése. A fajok különböző egyensúlyi koncentrációra voltak képesek lecsökkenteni az oldat kovatartalmát. A kutatók vizsgálták a kovamoszat-populációk dinamikájának hőmérsékletfüggését is. Alacsonyabb hőmérsékleten (4, 8 és 13 °C-on) tiszta tenyészetekben az *Asterionella* faj alacsonyabb szilícium-dioxid koncentrációnál érte el az egyensúlyi denzitását, mint a *Synedra*. Ezekben az esetekben a kevert tenyészetekben az *Asterionella* populáció legyőzte a *Synedrát*, függetlenül a két populáció kezdeti denzitásától. (Tehát akkor is, ha nagyobb *Synedra* populációval indították a kísérletet.) Magasabb hőmérsékleten (24 °C-on) viszont külön-külön tenyésztve a két fajt a *Synedra* hasznosította jobban a szilíciumforrást: alacsonyabb koncentráció mellett érte el populációja egyensúlyát, és a kevert tenyészetekben is nyert.

A kísérletsorozat fontos tanulsága, hogy a versengés kimenetelét a fizikai környezeti tényezők is befolyásolják a populációk növekedési képességének módosításán keresztül. A kovamoszatok versengése összhangban van az úgynevezett R^* -szabállyal, ami kimondja, hogy azonos forrásért versengő fajok közül a legalacsonyabb tápanyag-koncentráción egyensúlyban megélő marad fent a többi fajt kiszorítva.



55. ábra: *Asterionella formosa* (Af) és *Synedra ulna* (Su) populációk növekedése különböző körülmények között.

a) 24 C°-on tiszta tenyészetekben az *Asterionella* (A) és a *Synedra* (B) populáció denzitása. Mindkét esetben az oldat szilícium-dioxid koncentrációját (Si) is feltüntették. b) kevert tenyészetben a két faj denzitása és a szilícium-dioxid-koncentráció 24 és 8 C°-on. (Tilman és mtsi. 1981)

A versengés Lotka–Volterra modellje

Két, tiszta tenyészetben logisztikus növekedést mutató faj versengése a következő egyenletrendszerrel jellemezhető az interspecifikus kompetíció lineáris denzitásfüggését feltételezve. A c_{12} és c_{21} konstansok fejezik ki az 1 faj 2-re és fordítva gyakorolt negatív hatásának mértékét.

$$\frac{dN_1}{dt} = (r_1 - c_{11}N_1 - c_{12}N_2)N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (r_2 - c_{21}N_1 - c_{22}N_2)N_2$$

$$r_{1,2}, c_{ij} > 0 \quad i, j = 1, 2.$$

helyzeteinek vizsgálatával kaphatunk választ. Az egyes populációk éppen akkor vannak egyensúlyban, amikor egyedszám-változásuk nulla.

$$\text{Azaz } \frac{d\hat{N}_1}{dt} = 0 \text{ és } \frac{d\hat{N}_2}{dt} = 0.$$

Ezt a 3.15-16. egyenletrendszerbe behelyettesítve az egyensúlyi egyedszámokra egy egyszerű lineáris egyenletrendszert kapunk.

$$0 = (r_1 - c_{11}\hat{N}_1 - c_{12}\hat{N}_2)\hat{N}_1$$

$$0 = (r_2 - c_{21}\hat{N}_1 - c_{22}\hat{N}_2)\hat{N}_2$$

Mivel az a megoldás számunkra nem érdekes, amikor egyik populáció sincs jelen, ezért az $E_0 = (\hat{N}_1, \hat{N}_2) = (0, 0)$ egyensúlyi helyzettel nem foglalkozunk. Ha $\hat{N}_1 \neq 0$ és $\hat{N}_2 = 0$, akkor az első fajra vonatkozó logisztikus egyenletet kapjuk vissza, melynek egyensúlyi helyzete $\hat{N}_1 = \frac{r_1}{c_{11}} = K_1$, az első faj eltartóképessége. Tehát $E_1 = (K_1, 0)$. Hasonlóan $\hat{N}_2 = 0$, $\hat{N}_1 \neq 0$

esetben $E_2 = (0, K_2)$, ahol $K_2 = \frac{r_2}{c_{22}}$.

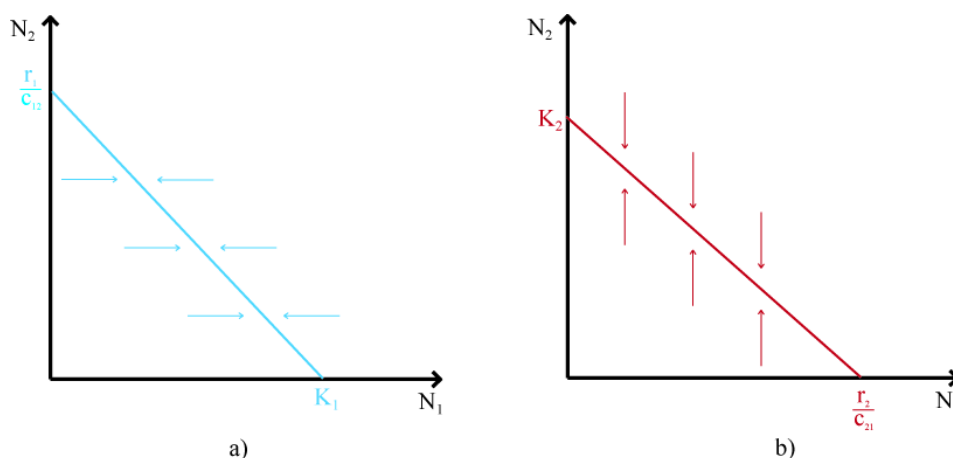
A két faj együttélése pontosan akkor valósul meg a modellben, ha létezik olyan egyensúlyi helyzet, amelyben mindkét populáció nagysága határozottan pozitív (azaz $\hat{N}_1, \hat{N}_2 > 0$).

Ekkor az előző egyenletrendszer ekvivalens a

$$0 = r_1 - c_{11}\hat{N}_1 - c_{12}\hat{N}_2$$

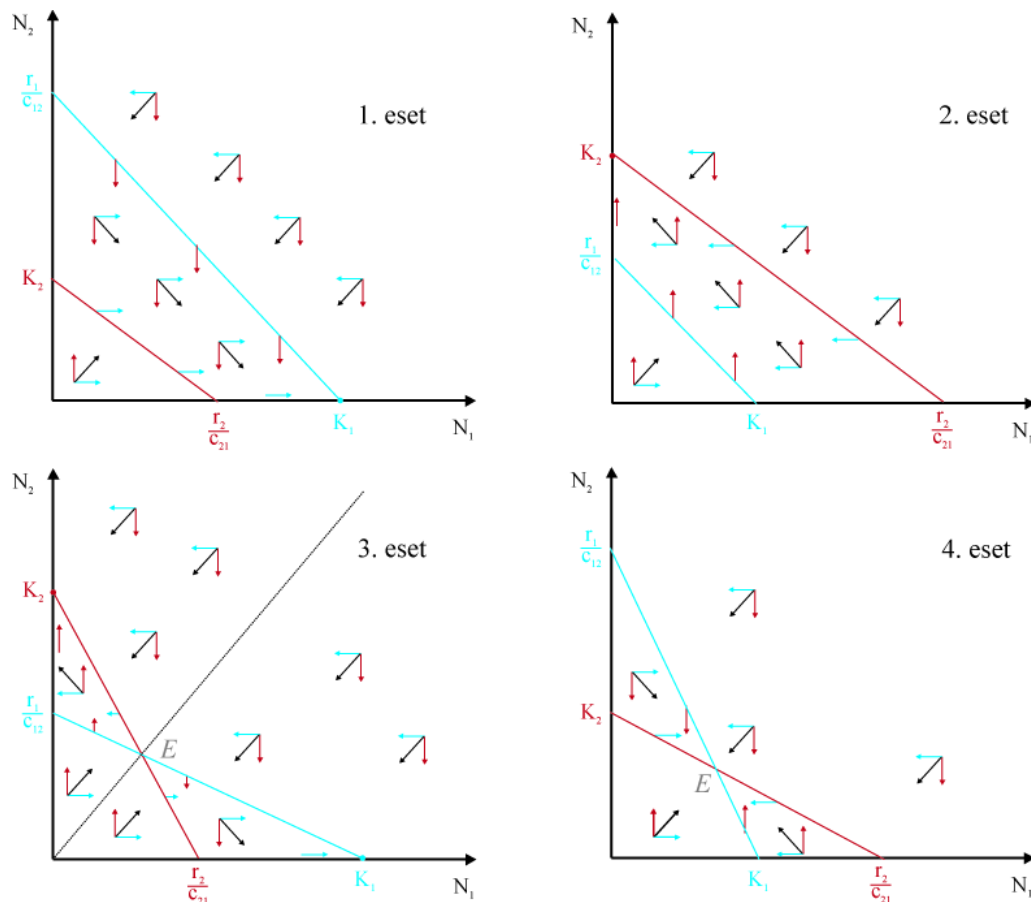
$$0 = r_2 - c_{21}\hat{N}_1 - c_{22}\hat{N}_2$$

elsőfokú lineáris egyenletrendszerrel. A egyenletet N_1 (zéró)izoklínájának nevezzük, mivel az (N_1, N_2) síkon olyan egyenes egyenlete, amelynek mentén az első faj egyedszáma nem változik. Fölötte az első faj egyedszám csökken, alatta nő. Hasonlóan az N_2 -izoklína mentén a második faj egyedszáma állandó (**56. ábra**).



56. ábra: a) az első, b) a második faj izoklínája. A nyílak a populációméret változását jelzik az egyenesek alatti és feletti tartományokban.

Az $E = (N_1 > 0, N_2 > 0)$ egyensúlyi helyzet létezése és stabilitása a két izoklína egymáshoz viszonyított helyzetétől függ. Ez az egyenesek tengelymetszetei közötti relációval jellemezhető négy esetet jelent (57. ábra).



57. ábra: A két faj izoklínájának elhelyezkedése és két populáció nagyságának változása pozitív síknegyed egyes részein az egyenesek helyzetének megfelelő négy esetben.

$$1. \text{ eset } (K_1 =) \frac{r_1}{c_{11}} > \frac{r_2}{c_{21}} \text{ és } \frac{r_1}{c_{12}} > \frac{r_2}{c_{22}} (= K_2)$$

Az első faj izoklínája a másodiké felett helyezkedik el, a két egyenesnek nincs metszéspontja. Ekkor együttélés nem lehetséges. A két faj populációjának nagysága úgy változik, hogy az $E_1 = (K_1, 0)$ egyensúlyi ponthoz közelít (57. ábra). Tetszőleges $(N_1 > 0, N_2 > 0)$ egyedszámokból kiindulva a második faj kihalását tapasztaljuk, az első faj nagysága a logisztikus növekedésének megfelelő egyensúlyi értékhez tart.

$$2. \text{ eset } (K_1 =) \frac{r_1}{c_{11}} < \frac{r_2}{c_{21}} \text{ és } \frac{r_1}{c_{12}} < \frac{r_2}{c_{22}} (= K_2)$$

Ha a két faj izoklínái fordított helyzetűek, akkor az első faj hal ki, és második faj egyedszáma tart a saját eltartóképességéhez. A rendszer az $E_2 = (0, K_2)$ egyensúlyi ponthoz közelít (57. ábra).

$$3. \text{ eset } (K_1 =) \frac{r_1}{c_{11}} > \frac{r_2}{c_{21}} \text{ és } \frac{r_1}{c_{12}} < \frac{r_2}{c_{22}} (= K_2)$$

Ekkor a két egyenes metszi egymást. Metszéspontjuk egy olyan egyensúlyi pont, amely megfelel a $\hat{N}_1 > 0, \hat{N}_2 > 0$ kritériumoknak. Ez azonban nem stabil, mivel a pozitív síknegyed nem minden pontjából tart ide a rendszer. (Analízisbeli eszközökkel megmutatható, hogy létezik egy E -n átmenő egyenes, amelynek pontjaiból E -be, a fölötte lévő pontokból $(0, K_2)$ -be, az alatta lévőkből pedig $(K_1, 0)$ -ba tart a rendszer.) Ebben az esetben sem élhet együtt a két faj, a győztes azonban a függ a két faj kiindulási egyedszámától (ld. 3.1. példa).

$$4. \text{ eset } (K_1 =) \frac{r_1}{c_{11}} < \frac{r_2}{c_{21}} \text{ és } \frac{r_1}{c_{12}} > \frac{r_2}{c_{22}} (= K_2)$$

A két egyenes metszéspontja stabil egyensúlyi helyzet, így ebben az esetben tartósan együtt élhet a két faj. A kritérium egyenlőtlenséget biológiai nyelvre lefordítva; ez az eset akkor következik be, ha az intraspecifikus kompetíció erősebben korlátozza mindkét fajt, mint a közöttük lévő versengés.

3.1. példa – Lisztbogarak esete

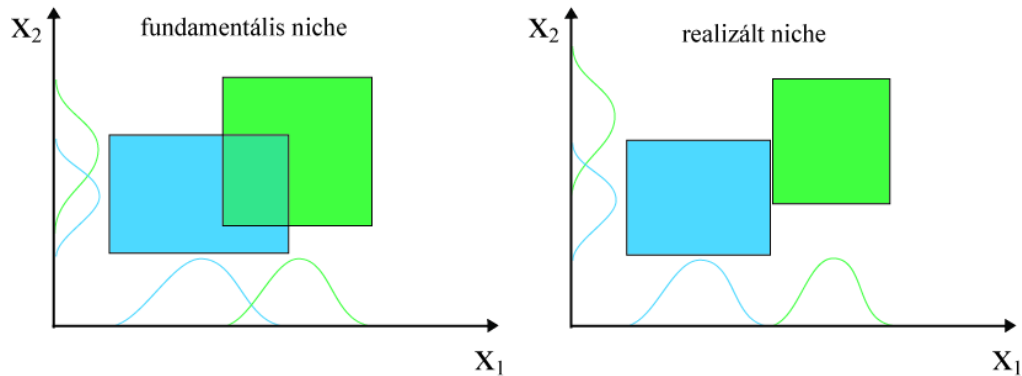
Két lisztbogár faj, a *Tribolium confusum* és a *T. castaneum* versengését vizsgálva Park (1962) megfigyelte, hogy a bogarak nemcsak a közös forrásként szolgáló lisztet fogyasztják, de különböző fejlődési stádiumukban a másik és a saját fajba tarozó alacsonyabb fejlődési stádiumú egyedeket (petéket, lárvákat, bábokat) is. Összesítve a kannibalizmust és a keresztbe-ragadozást kiderült, hogy mindkét bogár-populáció jobban ritkítja ellenfelét, mint fajtársait. Bár a mechanizmus nem klasszikus versengés, a mindkét faj jobban korlátozza a másikat, mint saját magát, ezért a Lotka-Volterra modell 3. esete alkalmazható. A modell predikciója szerint nem lehetséges együttélés, és a versengés kimenetele változó, a kezdeti denzitásoktól függően. A kísérletek ezzel valóban összhangban voltak: hol az egyik, hol a másik lisztbogár faj kerekedett felül. A versengés kimenetelét azonban nemcsak a kezdeti egyedszámok, de a környezeti feltételek (hőmérséklet, páratartalom) is befolyásolták.

Ha a két faj interakciós koefficiensei között nagy a különbség ($c_{12} \gg c_{21}$) aszimmetrikus versengésről beszélünk. Különösen gyakori az aszimmetria, ha a versenytársak között jelentős méretkülönbség van. Szélsőséges esetben az egyik faj negatív hatásával szemben a másik faj hatása versenytársára elhanyagolható: ezt nevezik amenzalizmusnak. A Galapagosz szigeteken élő szula fajok költőhelyért versengésekor a *Sula granti* elüzi a kedvelt fészkelőhelyeiről *Sula neboxii* egyedekét, míg rá a másik faj jelenléte láthatóan egyáltalán nem hátrányos (Towsend et al. 2002). Rovarok között is több példát találhatunk amenzalizmusra (Lawton & Hassell 1981).

A kompetitív kizárás elve és a niche szétválás

Egy populáció ökológiai helyzetét a niche fejezi ki. Bár maga a niche egy absztrakt térbeli halmaz, következtetni lehet belőle, hogy milyen fizikai paraméterekkel és forrásokkal rendelkező területeken számíthatunk az adott faj populációira. A fajok elterjedési területe a természetben kisebb a niche-ben reprezentált ökológiai tűrőképességi viszonyok által jósoltnál. Ha egy faj egy adott területről versenytársa jelenléte miatt hiányzik, kompetitív kizárásról (versengéses kiszorításról) beszélünk (Pásztor és Oborny 2007). A versenytársak jelenlétében mutatott toleranciatartományt realizált ökológiai toleranciának, illetve az ezekből képzett niche-t realizált niche-nek nevezzük szemben a versenytársak hiányában felvett fundamentális niche-sel.

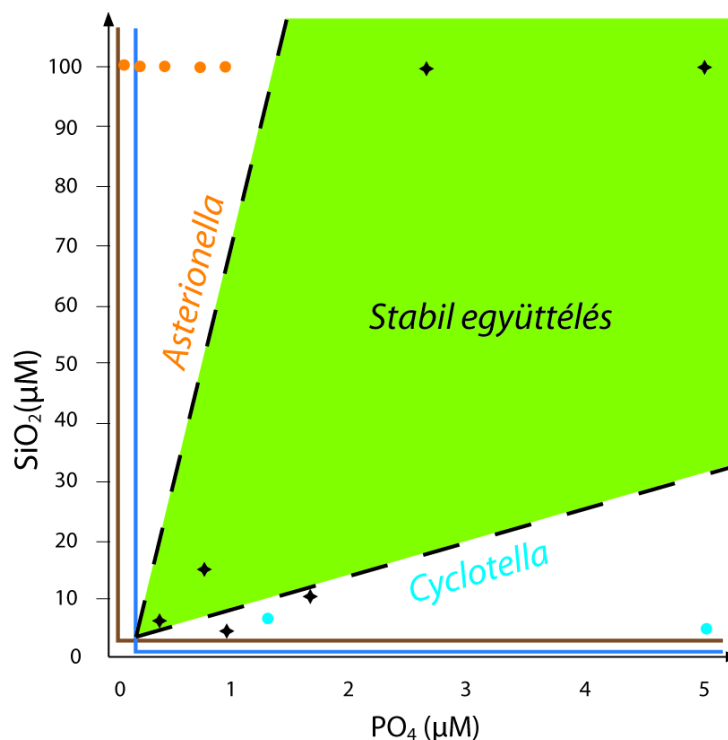
Két faj niche-ei közötti áthatás mértékét niche-átfedésnek nevezzük (**58. ábra**). Kompetitív kizárás akkor történhet, ha két faj igényei hasonlóak, azaz jelentős niche-átfedés van közöttük, és ehhez erőteljes versengés társul a közösen használt források szűkössége miatt. A **kompetitív kizárás elve** vagy más néven **Gauze-elv** szerint azonos niche-ű populációk nem élhetnek tartósan együtt versengve. Versenytársak együttélése csak niche-ük különbözőségével valósulhat meg, azaz a realizált niche-ük nem fedhet át jelentős mértékben.



58. ábra: Két faj kétdimenziós niche-ének viszonya: az egymástól függetlenül élve tapasztalható fundamentális niche-ük nagyobb, mint a közös élőhelyen felvett realizált niche-ük.

Kompetitív kizárás tétele véges sok forrásra is megfogalmazható: a stabilan együttélő populációk száma nem haladhatja meg a szabályozó tényezők számát.

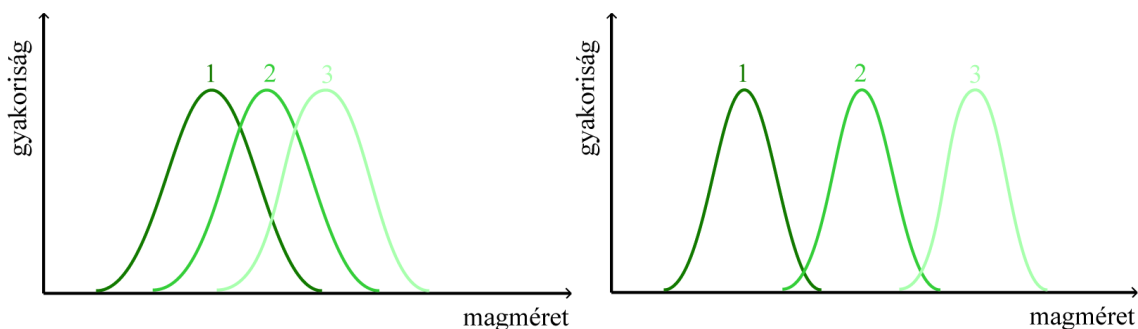
Két szabályozó tényező esetén együttélő két fajra klasszikus példa Gauze (1934) már említett papucsállatkákkal végzett kísérletei között a baktériumokkal táplálkozó *P. caudatum* és az élesztőket fogyasztó *P. bursaria* együttélése. Hasonlóan híres Tilman édesvízi kovamoszatokkal végzett vizsgálatainak között az *Asterionella formosa* és *Cyclotella meneghiniana* versengése (Tilman 1977) foszfát és szilikát forrásokért (**59. ábra**).



59. ábra: Két kovamosztafaj versengése szilikát és forrásokért.

Mivel a két forrás független, egymásra át nem váltható ezért a zéró növekedés izoklinái két egyenesből állnak. Mivel az egyik faj a foszfátot, a másik a szilikátot képes hatékonyabban hasznosítani a két faj izoklinájának van metszéspontja. A két izoklina feletti tartományban elvileg mindkét faj képes lenne megélni, azonban versengés van közöttük. Stabil együttélés ennél szűkebb (szaggatott vonallal jelölt, zöld) tartományban valósulhat meg. Ettől balra-felfelé az Asterionella, jobbra-lefelé a Cyclotella faj győz versenytársával szemben. Az elméleti megfontolások alapján szerkesztett tartományok jó egyezést mutatnak a kísérleti eredményekkel (színes pöttyök a győztes fajt, a kereszt együttélést jelöl). (Tilman 1980 nyomán)

A tápelemektől eltérően egyes források önmagukban lehetővé teszik az együttéléshez szükséges elkülönülést. Tipikusan ilyenek a magok, de más táplálékként szolgáló élőlények is lehetnek méret szerint felosztható források (**60. ábra**). A versengéses kiszorítás méret szerinti felosztással való elkerülését jellegpolarizációnak nevezzük. A madaraknál a hatékonyan gyűjtött magméret szoros összefüggésben van a csőrmérettel, így az e specializációnak jó indikátora.



60. ábra: Három faj forráshasznosítása különböző méretű magok esetén és a jellegpolarizáció. Az eredetileg tágabb mérettartományt fogyasztó fajok a magok méret szerinti felosztásával csökkentették a közöttük lévő versengést.

Például a Galapagos szigeteken élő Darwin pinty fajok esetén a fajok allopatrikus populációi csőrméretüket tekintve jelentősen átfednek, míg a szimpatikus populációk csőrmérete eltér. Tehát az olyan szigeteken, ahol a rokon fajok nincsenek jelen, a populáció egyedeinek csőrmérete szélesebb tartományban mozog, és főként a leggyakrabban elérhető magok méretéhez igazodik. Míg azokon a szigeteken, ahol több földipinty faj él együtt, az egyes fajok csőrmérete elkülönül.

A maggyűjtő hangyák hasonlóan jó példát szolgáltatnak a jellegpolarizációra (Gallé 2010), esetükben a mandibula mérete arányos a gyűjtött mag méretével.

A kompetitív kizárás elve alapján sok esetben kevesebb együttélő fajra kellene számítanunk, mint amivel a természetben találkozunk. Ezt a problémát Hutchinson (1961) méltán híres cikkében a **plankton-paradoxon** címén vetette fel. A hasonló életmódot folytató, fotoszintetizáló fajok népes seregéből álló tengeri fitoplankton fajgazdagsága a viszonylag kevés korlátozó tényezős, homogén környezetben hogyan lehetséges? Erre a kérdésre Hutchinson javaslatán kívül az azóta eltelt évtizedekben számos válasz született. Valószínűleg a természetben egyszerre több ok is hozzájárul a közösségek fajgazdagságának fenntartásához.

A laboratóriumban igazolt kompetitív kizárás a sokszor azért nem valósul meg, mert

- az élőhelyek nem homogének, kedvező és kedvezőtlen részek mozaikjából állnak;
- a források időlegesen elérhetők az egyes területeken;
- a források tér-idő dinamikája előrejelezhetetlen;
- a faj(ok) egyedei csoportokba (csomókba) tömörülnek, ezáltal az egyedek többsége csak fajtársakkal érintkezik.

A fajok ezen vagy más okokból nem érik el az egyensúlyi denzitásukat, a domináns versenytársaknak nincs idejük teljesen kiszorítani a gyengébbeket, mert valamilyen külső behatásra a verseny előről kezdődik.

18.2.2. Táplálkozási kapcsolatok: predáció, szaprofágia

A táplálkozási kapcsolatokban az egyik populáció jelenléte növeli a másik túlélési és szaporodási teljesítményét. Ha ez a növekedés az első populáció kárára valósul meg (+,–) kölcsönhatás áll fenn, **predációról** beszélünk. A predáció során az egy élőlény (ragadozó) egy másikat (zsákmányt) fogyaszt úgy, hogy a zsákmány él, amikor a ragadozó elkezd támadni. Ez utóbbi feltétel különíti el a ragadozást a dögevéstől. Ez a tág predáció definíció sokféle táplálkozási kölcsönhatást foglal magába. A ragadozókat kétféleképpen szokták csoportosítani: taxonómiai és funkcionális szempontok alapján (Begon et al. 2006). Rendszertani alapon elkülönítjük a húsevőket, amelyek állatokat fogyasztanak, a növényevőket, amelyek növényeket esznek és a mindenevőket, amelyek több táplálkozási szintről fogyasztanak.

A funkcionális csoportosítás valódi ragadozókat, legelőket, parazitoidokat és parazitákat különít el. A **valódi ragadozók** szinte azonnal megölik áldozatukat, és életük során számos különböző egyeddel végeznek. A triviális példák (oroszlánok, baglyok, ragadozó növények) mellett ide tartoznak a magevő rágcsálók és hangyák, a planktonevő bálnák és még sokan mások. A **legelő életmódot folytatók** szintén sok zsákmánnyal érintkeznek, de ritkán okozzák azok halálát. A nagytestű legelő emlősök mellett ez a definíció ráillik a bolhákra, amelyek beleharapdálnak a gerincesekbe, és számos vérszívó állatra.

A **paraziták** a legelőkhöz hasonlóan a zsákmányuk egy részét fogyasztják, és többnyire nem okozzák azok halálát, de velük ellentétben mindössze egy, esetleg néhány egyedre támadnak meg. Ilyenek például a galandférgek, a májmételyek, a kórokozó baktériumok és vírusok, gombák. A levéltetvek és lepkehernyók is nagyon kevés egyeden fordulnak meg életük során, így parazita növényevőknek tekinthetők.

A paraziták jelentősége mind az emberiségre, mind a Föld élővilágára nézve hatalmas. Mind fajszámban, mind egyedszámban meghaladják a teljes élővilág 50%-át (Begon et al. 2006). A parazitákat méretük és ezzel összefüggő életvitelük szerint két csoportra osztjuk. A **mikroparaziták** a gazda testében, többnyire intracellulárisan élnek, ott szaporodnak, mennyiségük egy gazdában többnyire hatalmas. Ezért dinamikájuk vizsgálatában többnyire nem a számukat, hanem a fertőzött gazdák mennyiségét követik. Jellemzően baktériumok vagy vírusok. A **makroparaziták** a gazdában fejlődnek, de nem ott szaporodnak, speciális terjedő alakjuk van, és ebben a formában jutnak át másik gazdába. Az állati makroparaziták inkább a gazda külsején vagy tápcsatornájában élnek, nem pedig a sejtjeiben. Mennyiségük általában számlálható, nemcsak a fertőzött gazdák száma. Bár többségük fonálféreg, rendszertanilag változatosak, vannak köztük zárvatermő növények is, mint például az arankák (*Cuscuta* fajok). Vannak olyan élőlények, amelyek nem teljes parazita életmódot folytatnak, csak bizonyos forrásokat vagy bizonyos fejlődési stádiumban használnak más élőlényekéből. Ilyenek a félparazita fagyöngyök (Phoradendron fajok), amik fotoszintetizálnak, csak a vizet lopják a gazdából, vagy a borostyán (*Hedera helix*), ami teljesen önálló életre is képes. A fészekparazitizmus nemcsak a kakukkra jellemző, a récéknél gyakori az intraspecifikus fészekparazitizmus. Az államalkotó rovaroknál gyakori a szociális parazitizmus, amikor egy csoport a másik dolgozóival nevelteti fel a saját utódait.

A **parazitoidok** olyan – főleg hártáasszárnyú és kétszárnyú – rovarok, melyek kifejlett egyede szabadon él, lárváikat azonban más rovarokra vagy rovarokba tojják, és a parazitoid lárvák a gazda testéből táplálkoznak, elfogyasztva azt. A parazitoidok egyetlen zsákmány

egyedhez kötődnek (mint paraziták), nem okozzák a zsákmány azonnali halálát (a legelőkhöz hasonlóan), de végül megölik azt (mint a ragadozók). A parazitoid életmód koránt sem ritka, a fajok mintegy 10%-ára jellemző (Begon et al. 2006).

Ragadozó-zsákmány modell

A Lotka-Volterra egyenletrendszer alapján az 1. a zsákmány és 2. a ragadozó faj dinamikájának modellje

$$\frac{dN_1}{dt} = (r_1 - c_{11}N_1 - c_{12}N_2)N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (r_2 + c_{21}N_1 - c_{22}N_2)N_2$$

egyenletek szerint alakul, ahol $r_{1,2}, c_{ij} > 0 \quad i, j = 1, 2$.

Mivel feltételezzük, hogy a ragadozó teljes mértékben ettől a zsákmánytól függ (hiszen nincs más faj a rendszerben) és zsákmány-populáció kizárólagos szabályozója a ragadozó populáció, az alábbi egyszerűsítéseket tehetjük a modellben.

A zsákmány faj önkorlátozásától eltekinthetünk, azaz a logisztikus modell helyett exponenciális növekedéssel számolunk ($r_1 - c_{11}N_1 = a$), $a > 0$ konstans. A ragadozó populáció pedig a zsákmány hiányában exponenciálisan csökken ($r_2 - c_{22} = -g$), $g > 0$ konstans. E két feltételt az előbbi egyenletrendszerbe behelyettesítve kapjuk a

$$\frac{dN_1}{dt} = (a - c_{12}N_2)N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (-g + c_{21}N_1)N_2$$

egyenletrendszert.

A rendszer viselkedését a korábbi fejezetben versengés modelljének tárgyalásakor bemutatott módon vizsgáljuk. Ebben az esetben azonban a zsákmány és a ragadozó zéró izoklínája egy vízszintes illetve függőleges egyenes az (N_1, N_2) síkon (**61. ábra**). Mivel $\hat{N}_1 \neq 0$ és $\hat{N}_2 \neq 0$ feltételezhető, hiszen ragadozó hiányában a zsákmány korlátlanul szaporodik, zsákmány hiányában pedig a ragadozók rövid időn belül éhenhalnak.

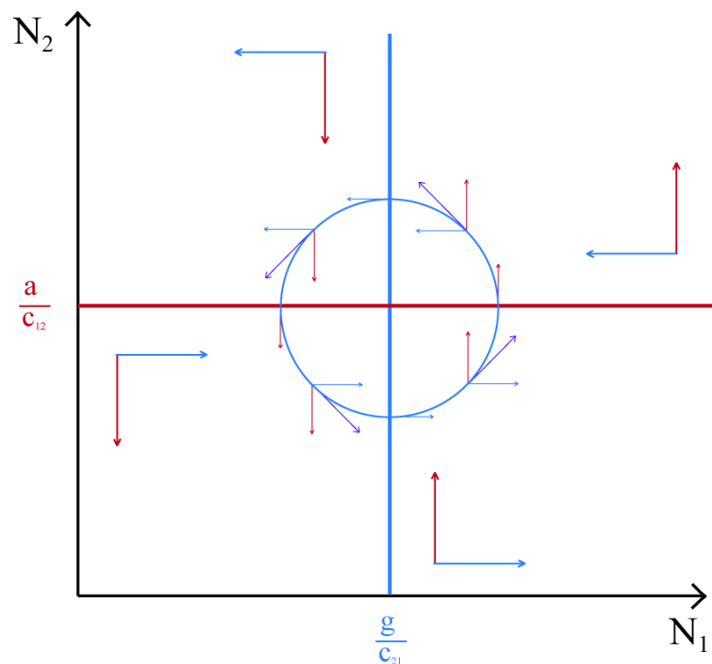
$$\hat{N}_2 = \frac{a}{c_{12}} \text{ (zsákmány)}$$

$$\hat{N}_1 = \frac{g}{c_{21}} \text{ (ragadozó)}$$

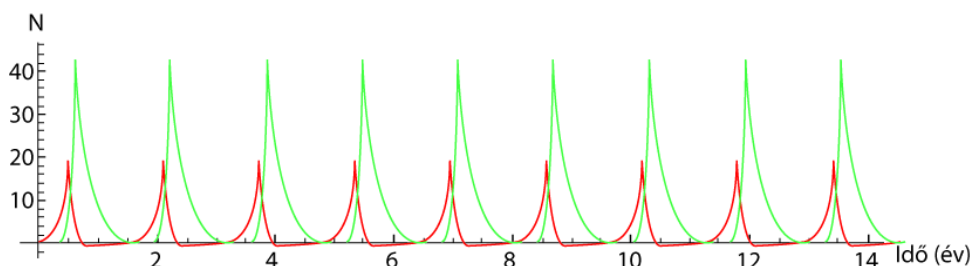
Ezek metszéspontja $(\hat{N}_1, \hat{N}_2) = \left(\frac{a}{c_{12}}, \frac{g}{c_{21}}\right)$ a rendszer stabil egyensúlyi pontja.

A két populáció (a deriváltak előjele alapján meghatározott) növekedési-csökkenési tendenciáját összegezve – a pozitív kvadráns két faj izoklínái által meghatározott négy részben – látható, hogy az $(N_1(t), N_2(t))$ pontok által leírt pályák kör alakúak.

Tehát egy tetszőleges ragadozó-zsákmány létszámból kiindulva, annak az (N_1, N_2) pont elhelyezkedésétől függően változik a két populáció egyedszáma. Induljunk például egy bal alsó részbe eső pontból, amikor mindkét fajból kevés egyed van jelen ($N_1 < \hat{N}_1$ és $N_2 < \hat{N}_2$). Ekkor a ragadozók száma csökken, mivel kevés zsákmány áll rendelkezésre. Az alacsony predációs nyomás mellett a zsákmánypopuláció viszont szépen növekedik. Ez a tendencia egészen addig folytatódik, míg a zsákmányok mennyisége el nem éri az egyensúlyi mennyiséget, ekkor ugyanis a ragadozók egyedszám-csökkenése megáll, majd növekedés kezdődik. Emellett a zsákmánypopuláció mérete még mindig nő, egészen addig, míg a ragadozó populáció el nem éri egyensúlyi egyedszámát. Ezután már elég sok ragadozó van ahhoz, hogy a zsákmánypopulációt csökkentse. Csökkenő zsákmánypopuláció mellett a ragadozópopuláció növekedési üteme lassul, majd az egyensúlyi zsákmánylétszámnál megáll és innentől csökken. A ragadozók mennyiségének csökkenésével lassul a zsákmánypopuláció hanyatlása, az egyensúlyi ragadozópopuláció elérésével megáll. Ezután a növekvő zsákmánypopuláció csökkenti a ragadozópopuláció hanyatlását, ami a zsákmányok egyensúlyi létszámra való felszaporodásakor megáll. A továbbiakban a két populáció egyaránt csökken, áthaladva azon az értéken, amiből eredetileg kiindultunk.



61. ábra: Ragadozó-zsákmány modell egyensúlyi helyzete és a megoldás egy pályája.



62. ábra: Ragadozó (piros) és a zsákmány (zöld) egyedszámának időbeli alakulása.

Dögevés és lebontás

Szaprotrof táplálkozás esetén – ellentétben a predációval – az egyedek a tőlük függetlenül elpusztult organizmusokat fogyasztják. A szaprotrofok két csoportját szokás elkülöníteni: a baktériumokból és gombákból álló lebontókat és a dögevő állatokat. A szaprofiták nemcsak az elpusztult élőlényekből táplálkozhatnak, hanem a növények lehullott leveleiből, gerincesek folyamatosan termelt holt anyagán (bőr, haj, toll, szarv) vagy az állatok ürülékén is. A szaprotrof populációk a táplálékukkal általában (+,0) viszonyban vannak, azonban ez a kapcsolat gyakran mutualisztikus, a növényi lebontóknál például határozottan kölcsönösen pozitív.

18.2.3. Pozitív kölcsönhatások – mutualizmus

Mutualizmusról akkor beszélünk, ha egy faj egyedei egy másik faj egyedeivel kölcsönösen pozitív kapcsolatban van, azaz együtt élve mindkettőnek nagyobb a növekedési és/vagy szaporodási sikere. Az együttélés megvalósulhat egy élőhelyen laza formában, vagy tartósan – akár közös testben vagy az egyik élőlény testén belül. A tartós, szoros együttélést szimbiózisnak nevezzük. A mutualizmus lehet továbbá **fakultatív** vagy **obligát** aszerint, hogy partnerek képesek-e a másik jelenléte illetve segítsége nélkül megélni. Lazább mutualizmus például a magterjesztés gyümölcsért cserébe, a megporzás nektárral viszonzva, a tisztogató állatok és klienseik közötti kapcsolat. A megporzó kapcsolat lehet fajspecifikus is, mint például a fügedarázs vagy a jukkamoly esetében. Szorosabb a kapcsolat a közép-amerikai tüskés akácia (*Acacia cornigera*) és a rajta élő *Pseudomyrmex ferruginea* hangyák között. A fa nemcsak fészkelőhelyet növeszt a hangyáknak, de levelein fehérjében gazdag testecskéket termel táplálékul, és ráadásul nektáriumaiából cukros szirupot választ ki. A hangyák a fiatal növény versenytársainak ágait megcsónkítják, és a növényevők – köztük a nagytestű gerincesek – ellen is hatékony védelmet biztosítanak (Janzen 1967). Az állatok (főként gerincesek) tápcsatornájában élő baktériumok lebontó tevékenységükkel nemcsak saját magukat gyarapítják, hanem különféle, eredetileg emészthetetlen anyagokat felvehetővé alakítanak, különösen a cellulózbontásnak van nagy jelentősége. Különféle állatok sejtjeiben élnek fotoszintetizáló algák szimbiózisban. Sokféle szimbiózis létezik magasabbrendű növények és gombák között. Talán a legismertebb a pillangósvirágúak és a nitrogénmegkötő baktériumok kapcsolata, egyre több kutatás alátámasztja a különféle mikorrhiza kapcsolatok jelentőségét. A magasabb növények nagy része nem rendelkezik hajszálgökökkel, szerepüket különböző gombák hifái látják el. A mutualisztikus kapcsolat kialakulása mögött egy olyan evolúciós folyamatot feltételezünk, amelynek kezdeti szakaszában az egyik vagy mindkét fél igyekezett a másikat kihasználni (**43. ábra**). Léteznek olyan kapcsolatok, amelyek az élőhelyi körülményektől függően (+,+) vagy (+,-) jellegűek. Más esetekben a pozitív kapcsolat erősen asszimmetrikus, inkább (+,0) jellegűnek tekinthető. Ekkor kommenzalizmusról beszélünk. A kommenzalizmusra tipikus példa a másik számára megfelelő élőhely teremtése. Például a fák fészkelőhelyet biztosítanak a madaraknak, ágaikon mohák, zuzmók fejlődhetnek, támasztékul szolgálhatnak felfutó liánnövényeknek. Hasonló szerepet töltenek be vízi közösségekben különböző alga fajok.

19. Anyag- és energiaforgalom a biocönózisban – produkcióbiológia (Dr. Horváth Balázs)

Széchenyi István Egyetem, Győr

Amint az előbbieken láttuk, az életközösségeket alkotó populációk között változatos kapcsolatok alakulnak ki. Produkcióbiológiai szempontból ezek legfontosabbikát a táplálkozási kapcsolatok alkotják, hiszen az egyes táplálkozási (trofikus) szintek között ennek köszönhetően vándorolhat az anyag, és vele az energia: a fotoszintézist végző növényeket (termelőket) fogyasztják a növényevő állatok (elsődleges fogyasztók vagy primer konzumensek), azokkal pedig a ragadozó ill. élősködő állatok (másodlagos fogyasztók vagy szekunder konzumensek) táplálkoznak, ezeket a ragadozókkal táplálkozó ragadozók ill. élősködők fogyasztják (harmadlagos fogyasztók vagy terciér konzumensek), s így tovább egészen a csúcsaragozóig. Az elpusztult élőlényeket pedig — legyenek azok termelők, fogyasztók vagy lebontók — a lebontó szervezetek (reducensek) bontják le. (Természetesen az elpusztult reducenseknek is más — lehet, hogy éppen ugyanabba a fajba tartozó — reducensek a lebontói). Mivel a szerves anyagokat szervetlenekké lebontva azokat újra hozzáférhetővé teszik a rendszer alapját alkotó termelők számára, a lebontó szervezeteket gyakran visszaforgatóknak (rekuperálóknak) is nevezzük. Közben természetesen elágazások vannak, a táplálékláncok közös fajainál a láncok összefonódnak, így sok faj részvételével végső soron egy rendkívül bonyolult, részleteiben még a sokat tanulmányozott életközösségekben is kevésbé ismert táplálkozási hálózat jön létre. Célszerűbb úgy tekintenünk, hogy egy társuláson belül nem különálló táplálkozási láncok tömkelege létezik, hanem csak egyetlen táplálkozási hálózat, amelynek azonban minden populáció a tagja. A produkcióbiológia az e táplálékhálózat trofikus szintjei vagy populációi között végbemenő anyag- és energiaforgalmat tanulmányozza.

19.1. A biológiai produkció

A zöld növények a napenergia felhasználásával szervetlen anyagokból (szén-dioxid, víz, ásványi anyagok) szerves anyagokat állítanak elő, ebből építik fel saját testüket. A folyamatot fotoszintézisnek nevezzük. A fotoszintézis alapvető fontosságú, ugyanis néhány kivételes mélytengeri élőhelyet leszámítva, ahol a kemoszintetizálók az egyetlen termelők, túlnyomórészt a fotoszintetizáló növények állítják elő azt a szervesanyag-mennyiséget, ami az egész táplálékhálózat anyag- és energiaigényét biztosítja. A növények — és a kemoszintetizáló baktériumok — által előállított szerves anyagot elsődleges (primer) produktumnak nevezzük, a folyamatot pedig primer produkciónak (vagy, mint említettük, fotoszintézisnek, ha nem a folyamat termékét, hanem az energiaforrás mibenlétét hangsúlyozzuk). A második trofikus szinten álló növényevők (elsődleges fogyasztók) szerves anyaggal, a termelők által előállított elsődleges produktummal táplálkoznak, amelynek nagy molekuláit emésztésük során kisebbekre bontják. Ezeket aztán részben elégetik CO_2 -dá és vízzé (ebből nyerik az energiát), részben pedig felépítik belőlük a saját szerves anyagaikat (ebből áll a testük).

Érdekes mindjárt két dolgot észrevennünk. Először is, minden elsődleges fogyasztó csak egy részét tudja beépíteni a testébe annak a szerves anyagnak, amit elfogyasztott. A többit lebontja szén-dioxiddá és vízzé (ill. az anaerob élőlények egyéb kis molekulákká), hogy a közben felszabaduló energiával működtethesse a szervezetét, fűthesse a testét, mozoghasson, táplálkozhasson, szaporodhasson. A szén-dioxidot, a felesleges vizet és az egyéb salakanyagokat pedig leadja a környezetébe a légzésével, a vizeletével vagy az ürülékével. Ez az anyagvesztés okozza, hogy az ember 1 kg szőlő elfogyasztásától nem lesz 1 kg-mal nehezebb (csak időlegesen), vagy hogy egy növényevő faj populációját alkotó egyedek

össztömege sosem nő annyival, amekkora növénytömeget lelegelnek. A különbség óriási: egy életközösség összes növényevője legfeljebb tizedakkora tömegű, mint ahány kilogrammot nyom az életközösséget alkotó összes növény.

Másodszor, a növényevő elsődleges fogyasztók – az elmondottak értelmében – a termelők szerves anyagainak tekintélyes részét szerves anyagokká (CO_2 -dá és vízzé) alakítják vissza. Ez tehát nem csak a lebontók privilégiuma. A reducentek csupán annyiban különböznek a konzumensektől, hogy megvárják, amíg a lebontandó szerves anyagok eredeti tulajdonosa elpusztul, míg a konzumensek élő anyagot fogyasztanak. De anyagátalakítás tekintetében minden fogyasztó egyben lebontóként is működik.

Az elsődleges fogyasztókat fogyasztják a ragadozó vagy élősködő másodlagos fogyasztók. Ők is hasonló anyagvesztéssel dolgoznak, így össztömegük szintén egy nagyságrenddel kisebb a növényevő állatok össztömegénél. Ugyanez igaz valamennyi következő trofikus szintre is, minden lépcsőfok hozzávetőlegesen 90%-kal alacsonyabb össztömeget képvisel a megelőzőnél. Az egyes trofikus szintek így egyre kevesebb tömeget, ennek megfelelően egyre kevesebb egyedet és egyre kevesebb fajt tartalmaznak. A trofikus szintek tömegcsökkenésének az imént bemutatotton kívül még egyéb okai is vannak:

1. A növényevők sosem fogyasztják el az összes növényt (pl. mert a növények számos része ehetetlen vagy elérhetetlen számukra), a ragadozók nem ejtik el az összes növényevőt, az élősködők esetében pedig fel sem merül, hogy a gazda teljes szervesanyagmennyiségét felhasználhatná, hiszen csak élő állatból táplálkozhatnak;
2. Az elejtett préda (pl. tülkök, paták, szőr) egy része is megmarad, vagy az ürülékkel lebontatlanul távozik.

A primer, szekunder, terciér és egyéb fogyasztók, illetve lebontók által előállított szerves anyagokat másodlagos produktumnak nevezzük, megkülönböztetve a termelők elsődleges produktumától. Az elsődleges és másodlagos produkció együtt a biológiai produkció, ami minden szerves anyag termelését magában foglalja: az élő rendszerek által egységnyi idő alatt létrehozott ill. asszimilált élőanyag-mennyiségről van szó, ahol időegység alatt rendszerint az egyed életét, a populáció generációs idejét vagy a vegetációs periódust értjük.

Az ökoszisztémában egy adott időpontban az élő (vagy nemrég elhalt) szervezetek testébe beépítve található szerves anyagok összességét biomasszának nevezzük. Mivel az élőlények víztartalma nagyon különböző lehet, a biomassza mennyiségét nem az élőlények összetettömegével fejezzük ki, hanem az 1 m^2 felületen található élőlények összes szárazanyag-tartalmát adjuk meg (g szárazanyag/m^2). Az is gyakran előfordul, hogy szárazanyag helyett csak a széntartalmat adjuk meg g szén / m^2 mértékegységben. A kettőt könnyű átszámolni egymásba, mert a biomassza szárazanyagra vonatkoztatott széntartalmát 45%-nak szokták tekinteni.

A trofikus szintek közötti jelentős anyagvesztésből következik, hogy a biomassza túlnyomó részét növényi szerves anyag, ún. fitomassza alkotja, és csak kis hányadát adja a zoomassza (az állatok szerves anyagainak összessége). A fito- és zoomassza tömegének hányadosa tízszeresnél sokkal nagyobb is lehet, szárazföldön elérheti a 120-szorost is. A fitomassza jelentős hányadát képezi az elhalt szerves anyag, amit nekromasszának nevezünk. Ebbe nemcsak az elhalt növények szerves anyagait értjük, hanem a még élő növények már nem élő sejtjei is ide tartoznak (ilyen sejtek alkotják például a fák fatestének és kérgének nagy részét is). Érdekes a biomassza térbeli megoszlása a szárazföldi társulásokban. Az erdőkben a biomassza 70-80%-a a talajfelszín felett van, 20-30%-a az alatt. Gyep-társulásokban, sivatagokban, tundrán ezzel szemben a biomassza 50-70%-a a földfelszín alatt, rizómák,

hagymák, gyökerek stb. formájában található meg. Egy virágos rét biomasszájának tehát kevesebb mint felét látjuk csak a felszín felett.

A szervesanyag-képződés (produkció, P) sebességét g szárazanyag/m²/év vagy g szén/m²/év mértékegységben szoktuk megadni. A produkció túlnyomó része a növényeknek köszönhető, ezt nevezzük bruttó primer produkciónak (BPP), angolul Gross Primary Production-nak (GPP) (az állatok szervesanyag-termelése ehhez képest alárendelt). Az újonnan előállított szerves anyag egy részét a növények légzésük során mindjárt el is bontják, ami marad, azt nettó primer produkciónak (Net Primary Production, NPP) hívjuk. A növények tömegnövekedése ennek a NPP-nak köszönhető: ahány g szárazanyag/m²/év egy területen a NPP, annyi grammal növekszik 1 év alatt az 1 m²-t borító növények szárazanyagának össztömege. Természetesen a szukcesszió végigért és zavarásnak ki nem tett természetes társulásoknál nincs növekedés, ezeknek a társulásoknak a fitomasszája állandó — legalábbis középhosszú távon lényegesen nem változó — tömeget képvisel. 0-tól különböző NPP esetén ez úgy lehetséges, hogy az évente termelődő szerves anyagok egy részét a növényevők elfogyasztják, másik része pedig elhal és a nekromassza időközben elbomlott részét helyettesíti.

A Föld összes bruttó primer produkciója hozzávetőlegesen 223 milliárd tonna szén / év, aminek több mint fele (120 milliárd tonna) a szárazföldek, 103 milliárd tonna pedig a tengerek, óceánok, édesvizek részesedése. A BPP fele légzési veszteség, így a globális NPP körülbelül 112 milliárd t évente (=112 gigatonna/év). Ennyi új szerves szén képződik évente a Föld bioszférájában (Kalapos 2007).

A nettó szekunder produkció (NSP) a fogyasztók és a lebontók által 1 év alatt termelt szerves anyagok mennyisége. Ennek értéke egy-két nagyságrenddel kisebb, mint a NPP.

Említettük, hogy az idős életközösségek biomasszája középhosszú távon se nem növekszik, se nem csökken. Ez nem teljesen igaz. Előfordulhat, hogy egy ökoszisztéma időegység alatt több szén-dioxidot köt meg, mint amennyit kibocsát (nettó szénelnyelő, pozitív szénmérlegű), de az is, hogy többet bocsát ki, mint amennyit elnyel (nettó szénkibocsátó, negatív szénmérlegű). Előbbiek biomasszája felhalmozódásban van, míg utóbbiak biomasszáját veszítenek. Ennek mértékéről, irányáról a nettó ökoszisztéma produkció (NÖP) tájékoztat. Globálisan a NÖP értéke hozzávetőlegesen 10 gigatonna szén / év, ebből azonban le kell vonni a tüzek, erdőirtások, kaszálás okozta szénveszteségeket. A NÖP egy bizonyos ökoszisztémában (tehát nem globálisan) évszakos változást mutat: a vegetációs időszakban a szénmegkötés dominál (NÖP>0), míg a hideg (vagy száraz) évszakban a légzés és a lebontás a fotoszintézis hiányával párosulva nettó szénveszteséget okoz (NÖP<0). A szerves anyagok talajból való kimosódása szintén nagy veszteség okozója lehet, ami az arktikus tundránál az évente megkötött szén 20%-át is elérheti. Évente is nagyok lehetnek az eltérések egy ugyanazon ökoszisztéma esetében is, így például a tundrák meleg években gyakran nettó szénkibocsátók, hideg években nettó szénelnyelők. A legjelentősebb hatással azonban a zavarás van a nettó ökoszisztéma produkcióra: bolygatás idején (ami lehet tűz, aratás stb.) a szénveszteség miatt a NÖP értéke negatívvá válhat, míg a bolygatást követő regenerációs periódusban magasabb lehet, mint ami az egyensúlyi, bolygatásnak ki nem tett ökoszisztémára jellemző (Kalapos, 2007).

Évszakos és egyéb ingadozások tehát vannak, de az újabb vizsgálatok (in Kalapos, 2007) azt állapították meg, hogy a szárazföldi ökoszisztémák legtöbbször mégis általában nettó szénelnyelőként működik. Ez azt jelenti, hogy több szenet kötnek meg a légkörből, mint ami a lebontásnak köszönhetően belőlük távozik. Ez az ember által okozott széndioxid-szennyezés káros hatásait szerencsés módon csökkenti valamelyest.

Gyakran kiszámítják egy-egy ökoszisztémára a produkció és a biomassza arányát (P/B). ez azt mutatja meg, hogy évente a biomassza hányadrésze termelődik újra. Általában azt mondhatjuk, minél nagyobb a már meglévő biomassza mennyisége, annál több új szerves

anyag termelésére képes egy év alatt, tehát annál nagyobb a P/B arány. De az nem mindig van így. A szárazföldi szukcessziók során ugyanis, bár a növények fitomasszájának tömege nő, a fotoszintézisben részt nem vevő nekromassa még gyorsabban gyarapodik, ami a P/B hányados csökkenéséhez vezet. A klimaxtársulás (általában erdő) tehát jóval több széndioxidot nyel el egy év alatt nettó, mint egy pionír társulás, de nem annyiszor többet, ahányszor nagyobb tömegű a biomasszája.

A Föld összes biomasszája kb. 1841 gigatonnányi (1841 milliárd tonna = 1841×10^9 tonna) szárazanyagot képvisel (Kalapos, 2007). Ha az élőlények átlagos víztartalmát 50%-nak közelítjük, akkor ez azt jelenti, hogy a bolygónkon élő összes élőlény tömege hozzávetőlegesen 3700 milliárd tonna. Ha pedig az élőlények sűrűségét a vízával azonosnak vesszük, akkor arra jutunk, hogy a Föld összes élőlénye egy helyre gyűjtve kb. 3700 km^3 -es térfogatban férne el. Összehasonlításképpen: a Balaton statikus vízkészlete mintegy 595 km^3 . Ha az 1841 gigatonna szárazanyagtartalmú biomassza még ugyanennyi vizet is tartalmaz (előbb ebből indultunk ki), és feltételezzük, hogy nagy része élő állapotban van, akkor kijelenthetjük, hogy a Föld élőlényei több vizet raktározna a testükben (kb. 1841 km^3 -t), mint amennyit a bolygó összes vízfolyásai egy bizonyos időpillanatban a medrükben tartalmaznak (kb. 1250 km^3 -t). (Talán ez a durva becslés is nyilvánvalóvá teszi, mekkora jelentősége lehet a bioszférának ill. az erdőirtásoknak a globális éghajlat alakításában.) Érdekes módon a biomassza 99,8%-a a szárazföldeken található, csak a maradék 0,2% jut a tengerekre (amelyek pedig a Föld felszínének 71%-át borítják). A tengerek, óceánok kis biomasszája azonban korántsem jelenti azt, hogy a globális biomassza-termelésből is ilyen kis arányban veszik ki a részüket. A tengeri primer producensek döntő hányada ugyanis kis méretű planktonikus szervezet, alga vagy baktérium, amelyek össztömege kicsi, de anyagcseréjük annyira gyors, hogy a P/B arány 20-nak adódik (szemben a szárazföldek $P/B=0,13$ értékével). Ennek köszönhető az is, hogy a tengeri algák felelősek a globális fotoszintézis 50-60%-áért. Az óceánok elsődleges fogyasztóinak össztömege nagyobb, a másodlagos fogyasztóké még nagyobb — a nyílt vízi ökoszisztémákra a fordított biomasszapiramis jellemző, amelynek alapja keskeny, csúcsa széles.

A nettó primer produkció szárazföldön a növekvő hőmérséklettel, csapadékmennyiséggel és a talaj növekvő ásványianyag-koncentrációjával nő. Ebből következik, hogy értéke az egyenlítőnél a legmagasabb, a sarkok felé csökken. A csökkenés azonban nem egyenletes: a térítő környéki sivatagok produkciója a szárazság miatt valóban nagyon kicsi, ám a térítők övét elhagyva és a sarkok felé továbbhaladva a mérsékelt övi lomberdők szélességénél újra magasabb értékeket ér el, majd a tundrákon lesz újra kicsi (de itt már a hideg miatt). A szárazföldi ökoszisztémák NPP-ja a tenyészidőszak hosszától és az össz-levélfelület nagyságától is függ, ezek pedig, ahogy előbb említettük, a hőmérséklet, csapadékmennyiség és talajadottságok függvényei. Természetes, hogy például a sivatagokban a területegységre eső összes levélfelület kicsi, a vegetációs idő pedig a rövid csapadékos időszakok miatt rövid, így nem számíthatunk túl nagy produkcióra. Ha azonban a sivatagok és a Föld többi biomjainak NPP-ját ugyanolyan hosszú tenyészidőszakra és ugyanakkora levélfelületre vonatkoztatjuk, nincs közöttük jelentős különbség, mindegyik az $1\text{-}3 \text{ g}$ szárazanyag/ m^2 levélfelület tartományba esik.

Az óceánokban a produktivitás legjelentősebb korlátozója nagyobb mélységekben a fényhiány, a felszínközeli rétegekben az ásványi anyagok hiánya. A nyílt tengerek felszínközeli vizeiben az ásványianyag-tartalom olyan alacsony, hogy a nettó primer produkció $NPP=2\text{-}400 \text{ g}$ szárazanyag/ $\text{m}^2/\text{év}$ értékével a szárazföldi sivatagokéra emlékeztet. Az óceánokban a kis NPP alól egyedül a mélyből tápanyagokban gazdag vizet hozó feláramlási régiók, a nagy tengeráramlások környéke és a kontinensperemek jelentenek kivételt. Utóbbiak azért, mert a tengerekbe tartó folyók nagymennyiségű szervesen

tápanyagot öntenek a kontinensszéli vizekbe, kedvező feltételeket teremtve ezzel a fotoszintézisre.

Az elmondottakból következik, hogy Földünk felszíne nem egyformán termékeny: a bolygónk felületének 80%-át elfoglaló sivatagok és nyílt tengerek rendkívül kevés szerves anyagot állítanak elő évente, míg a jégmentes szárazföldeknek mindössze 11%-át borító trópusi esőerdők adják a földi NPP és biomassza 40%-át. Az egyéb erdők biomasszája további 30%-ot képvisel (a trópusi esőerdőkkel együtt tehát 70%-ot), éves NPP-juk pedig a globális összérték 20%-át adja. A fátlan társulások biomasszája (20%) viszonylag kicsi, de NPP-juk így is igen jelentős (40%):

20. táblázat: Élőhelyek és vegetációtípusok részesedése a globális biomasszából és a globális nettó primer produkcióból

	A globális biomassza...	A globális NPP...
Trópusi esőerdők	40%-a	40%-a
Egyéb erdők	30%-a	20%-a
Fátlan szf-i társulások	20%-a	40%-a
Óceánok	10%-a	töredéke

A vízi fotoszintetizálók BPP-ja a mélységgel rohamosan csökken, mivel a növekvő mélységekben a fény intenzitása egyre kisebb. A felszín közelében a növények időegységenként és térfogategységenként sok szerves anyagot állítanak elő (nagy BPP), amiből egy viszonylag kis részt rögtön (vagy az éjjelek folyamán) vissza is alakítanak szervetlen anyagokká, CO₂-dá és vízzé, a közben felszabaduló energiát pedig életfolyamataikhoz felhasználják fel. A BPP és a légzésre elhasznált mennyiség (R, respiráció) különbsége a nettó primer produkció (BPP-R=NPP). A növekvő mélységgel a kevesebb fény miatt a BPP értéke egyre kisebb lesz, míg a R értéke nem változik, ezért a NPP, vagyis a növekedésre felhasználható szervesanyag-mennyiség (energiamennyiség) egyre csökken. Egy bizonyos mélységben a BPP és a R értéke egyenlővé válik, a NPP pedig nullává. Ez alatt a mélység alatt — amit eufotikus mélységnek is neveznek — növényi élet tartósan nem lehetséges. Az eufotikus zóna mélysége a víz tisztaságától függően néhány métertől 10 méternél tovább is terjedhet.

A növényevő állatok szervesanyag-előállításának (másodlagos produkciójának) hatásfoka változó, de általában nem túl nagy érték. Egy átlagos lepkehernyó esetében az elfogyasztott levél szervesanyag-tartalmának 50%-a ürülék formájában veszendőbe megy. A másik 50%-nak 2/3-a a légzés során lebontódik és energiaforrásként hasznosul, 1/3-a pedig növekedésre fordítódik.

19.2. Energiaáramlás

A Nap földfelszínre elérő sugárzásának mintegy a 45%-a hasznosítható a növények számára (PAR: fotoszintetikusán aktív radiáció). Azonban ennek az energiának is csak egy meglehetősen kis hányadát használják fel a növények ténylegesen. A rendelkezésre álló sugárzási energia és a szerves anyaggá alakított energia arányát százalékban szoktuk kifejezni, és elsődleges energiahasznosítási hatékonyságnak (vagy efficienciának), EEH-nak (vagy EEE-nek) nevezzük:

$$EEH = (\text{szerves anyaggá alakított } E / \text{sugárzási } E) * 100$$

A természetes vagy természetközeli szárazföldi vegetációkra 1-2%-os vagy annál kisebb EEH jellemző. A termesztett szántóföldi növények monokultúráiban ugyanakkor 4%-os értéket is

mérték már (aminek jelentőségét nagymértékben csökkenti az a tény, hogy e kultúrákra az év nagy részében csupasz talajfelület, azaz 0%-os EEH jellemző). A globális átlagérték $EEH=0,2-0,5\%$.

Az előbbiekben a „szerves anyaggá alakított E” a bruttó primer produkcióra utal, amiből nagy hányad vonódik le mint légzési veszteség. Ez a légzési veszteség fátlan társulásokban a BPP 15-25%-a is lehet, mérsékelt övi lomberdőben 50-60% körül alakul, trópusi esőerdőkben pedig elérheti a 70-75%-ot. A levonás után megmaradó NPP (ez fordítódik növekedésre és a fogyasztók ellátására) így nem túl nagy.

Egy alsóbb trofitási szint teljes produkciójának azt a hányadát, amit a felette levő trofitási szint elfogyaszt, **fogyasztási hatékonyságnak** (FH) nevezzük. Értéke változó: erdőkben a növények teljes produkciójának 5%-át eszik meg a növényevők ($FH=5\%$), gyepekben 25%-át, a tengeri fitoplanktonnak pedig akár az 50%-át is. Gerinces ragadozók a gerinces zsákmányállataik termelte szerves anyagnak szintén gyakran elfogyasztják az 50%-át ($FH>50\%$).

A fogyasztó által elfogyasztott szerves anyag energiatartalmának azt a hányadát, amit az állat növekedésre vagy munkavégzésre tud fordítani, **asszimilációs hatékonyságnak** (AH) nevezzük, és szintén százalékban fejezzük ki. Láttuk, hogy lepkehernyóknál az AH 50% körüli, az elfogyasztott energia másik fele ürülékként távozik. Növényevőknél, mikrobákat fogyasztóknál, ürülékevőknél ez az érték általában is alacsony, mintegy 20-50%, húsevőknél ugyanakkor 80% is lehet. A külső emésztést folytató szervezetek (gombák) csak hasznosítható anyagokat vesznek fel a külvilágból, így asszimilációs hatékonyságuk 100%-os. Az AH az elfogyasztott növényi rész minőségétől is nagymértékben függ: a magvak a legjobban hasznosíthatók ($AH=60-70\%$), a levelek kevésbé ($AH=50\%$), míg a faanyag hasznosulása a legkisebb ($AH=15\%$).

Az asszimilált energiának azt a hányadát, ami új biomassza termelésére fordítódik, **produkciós hatékonyságnak** (PH) nevezzük. Nyilván annál kisebb a PH, minél nagyobb a légzési veszteség. Az állandó testhőmérséklet fenntartása a madaraknál és az emlősöknél (endoterm vagy homoioterm állatok) igen nagy légzési veszteséggel jár, ezért ezek produkciós hatékonysága a legalacsonyabb.

21. táblázat: A produkciós hatékonyság jellemző értékei egyes taxonokban

Élőlénycsoport	Produkciós hatékonyság
Mikroorganizmusok, állati egysejtűek	60%
Gerinctelen állatok	30-40%
Ektoterm gerincesek	10%
Endoterm gerincesek	1-2%

Az előbbi három hatékonysági jellemző szorzata a **trofikus energiaátviteli hatékonyság** (TEH):

$$TEH = FH * AH * PH$$

A TEH 2-24% között alakul a különböző ökoszisztémákban, jellemző átlagértéke 10%. Ez azt jelenti, hogy az egyik trofitási szint energiájának mindössze 10%-a épül be a felette levő trofitási szint élőlényeinek testébe. Mivel ennek következtében a felsőbb szinteken egyre kevesebb energia áll rendelkezésre, a felsőbb szintek biomasszája is egyre kisebb tömegű (az összefüggést Charles Elton angol ökológus publikálta először 1927-ben). Ebből az is következik továbbá, hogy a táplálékláncok véges hosszúságúak.

Az energiakinyerés sarokszámai tehát a következők:

- a zöld vegetáció a Nap hasznosítható sugárzó energiájának kb. 1%-át hasznosítja
- egy adott trofitási szint energiájának 10%-a kerül át a felette levő szintbe

19.3. Anyagforgalom a bioszférában

Míg az energia a földi rendszeren átáramlik, az anyagok körforgásban vesznek részt. Az egyes elemek körforgásában mind biológiai, mind geokémiai folyamatok közrejátszanak, ezért ezeket biogeokémiai ciklusoknak nevezzük. A körforgásban való részvétel minden elemre jellemző, ami az élőlények testének alkotásában részt vesz, de közülük csak néhány kivételesen fontos elem ciklusát szoktuk részletes rajzokon bemutatni. A makrotápanyagokat (C, N, H, O, P) az élőlények nagy mennyiségben tartalmazzák, míg a mikrotápanyagok (S, Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu stb.) mindegyikére az jellemző, hogy a szervezet szárazanyagtartalmának 1%-nál kisebb hányadát alkotják.

A ciklusok között megkülönböztetünk gáz- és üledékes ciklusokat. Előbbiek esetében a körforgást végző elem a légkörben jutva és ott tárolódva hosszabb időre kikerül a körforgásból, utóbbiaknál viszont a fő tárolók a földkéreg kőzetei. Egy-egy elem több tárolóban is előfordulhat (pl. a szén a légkörben is előfordul CO_2 -ként, ugyanakkor a karbonátos kőzeteknek is alkotó anyaga), és az egyes tárolók relatív jelentősége is más és más lehet az egyes ökoszisztémákban (pl. a tundrában a legtöbb szén a talajban raktározódik, a trópusi esőerdőkben pedig a növények biomasszájában). Az egyes elemek körforgása természetesen egymással is összefügg, és e biogeokémiai ciklusokat újabban az ember is nagymértékben befolyásolja (pl. a szén ciklust a fosszilis energiahordozók égetésével, a nitrogén ciklust a műtrágyázással zavarja meg), jelentős környezeti problémákat okozva. A körfolyamatok sebessége a sivatagokban és a tundrákon a legkisebb, a trópusi esőerdőkben a legnagyobb.

19.3.1. A szén körforgása

A szénnek négy nagy raktára van bolygónkon:

- a légkör (szén-dioxid),
- a vegetáció (a növények teste és a talaj szerves széntartalma),
- az óceánok víztömege,
- széntartalmú üledékes kőzetek (mészkő, dolomit, stb., valamint az ősmaradványi energiahordozók).

A szénraktárak közül a negyedik a legjelentősebb.

Érdekes körülmény, hogy a növények szénmegkötésének biokémiája olyan földtörténeti korban alakult ki, amikor a légkör széndioxid-koncentrációja a mainak körülbelül a tízszerese volt, azaz 0,3% körüli. Mivel az alapvető biokémiai lépések az evolúció során lényegesen nem változtak, a levegő jelenlegi alacsony koncentrációja ma többnyire korlátot jelent a fotoszintézis hatékonyságával szemben. (Az üvegházi termesztés során ezen könnyen lehet segíteni azzal, ha a zárt térben a CO_2 -ot feldúsítjuk.) Napjaink CO_2 -szennyezése valóban kedvező lehet egyes fajok számára, de ez korántsem jelenti azt, hogy globális léptékben is hasonlóan előnyös hatásokkal kell számolnunk. Már csak azért sem, mert a könnyebben elérhető CO_2 mindegyik faj számára más-más fokú előnyt jelent, így az egyes fajok évszázadok alatt kialakult „erőviszonyai” megváltoznak – a globális diverzitás szempontjából nem biztos, hogy kedvezően.

19.3.2. A víz körforgása

A víz körforgása, bár kémiai szempontból nem elemről van szó, az egyik legjelentősebb folyamat, lévén, hogy a legnagyobb anyagmennyiség mozgásával jár. A víz körforgását nagyrészt fizikai folyamatok hajtják, de nem elhanyagolható az élőlények szerepe sem. A vízciklus egyik legfőbb ismérve, hogy az óceánok felületéről több víz párolog el, mint amennyi ugyanannyi idő alatt csapadékként behull. A légkörbe kerülő többletvíz a szárazföldek fölé (felhők, légnedvesség formájában) vándorolva ott hull le csapadékként. A szárazföldeken pont fordított helyzet alakul ki: ott az időegység alatt lehulló összcsapadék mennyisége meghaladja az időegység alatt elpárolgó mennyiséget. A lehulló többletvíz a vízfolyások útján jut vissza a tengerekbe.

A ciklus említett fő elemeit a biológiai folyamatok jelentős mértékben módosítják. A növények párologtatása (transpirációja) nagyon jelentős lehet: egy adott levélfelület párologtatási sebessége gyakran eléri a hasonló nagyságú szabad vízfelület párolgási sebességének a felét. Az Amazonas medencéjének esőerdeje óriási vízraktárat és óriási párologtatási kapacitást jelent, amelynek jelentős éghajlatmódosító hatása van. Ezt szemlélteti a következő — kisebb léptékű — példa.

Egy becslés szerint (Pokorný — Rejšková, 2008) egy 100 000 km²-es területen évente átlagosan 50 millió tonna biomassa keletkezik, ami legalább 50 milliárd tonna víz elpárolgásával jár együtt. Mivel a víz párolgáshője 2400-2500 kJ/kg (hőmérséklettől függően), ez azt jelenti, hogy egy nagyjából Magyarországnyi területről évente 126 EJ energiát von el a párolgás. (Összehasonlításképpen: a teljes magyar energiafelhasználás 1 EJ/év nagyságrendű.) A hőelvonás nyilvánvalóan csak akkor tud megtörténni, ha elpárologtatható víz van jelen, és minél természetközelibb állapotban van a táj, a területegységre eső mobilizálható víztartalom rendszerint annál nagyobb. A szántóföldek és főként a beépített és burkolt felületek vizet nem tartanak magukban, így a napsugárzás szállította hő az ilyen területeken nem halmazállapot-változtatásra, hanem hőmérsékletemelésre fordítódik. A legköltséghatékonyabb légkondicionálás módja tehát az, hogy minél nagyobb területeket hagyunk meg eredeti, természetközeli állapotában.

Az esőerdők hatalmas párologtatóképessége alapjaiban meghatározza azt a klímát, ami az Amazonas-medencében uralkodik. Ebből természetesen az is következik, hogy ennek az erdőségnek a kivágása az éghajlat megváltozását vonja maga után. Az összefüggés globális méretekben is igaz. A modern ember megtelepedése szinte minden esetben a természeti környezet vízraktározó képességének jelentős mérvű csökkenésével jár: az őserdőket legjobb esetben ültetett plantázsokkal, rosszabb esetben szántóföldekkel váltjuk fel (az európai ún. őserdők területe a jégkorszak utáni 80%-ról mára 0,2-0,3%-ra csökkent, lásd Gálhidy — Jordán, 2010), de egyre nagyobb területeket borítanak épületek, aszfalt és beton is (az európai kontinens területének hozzávetőlegesen 10%-át), amelyek a napsugárzásra azonnali hőmérséklet-emelkedéssel válaszolnak, nyaranta megkeserítve az ott lakók életét. A globális éghajlatváltozásban a felszínek antropogén átalakítása és víztelítettségének csökkentése is jelentős szerepet játszik.

19.3.3. A nitrogén körforgása

A nitrogén fő raktára a levegő, melynek 78%-át alkotja. A molekuláris N₂-t a két atom közötti háromszoros kötés miatt csak az olyan speciális nitrogénfixáló prokarióta egysejtűek tudják felhasználni, mint a pillangósvirágúak gyökérgümőiben élő *Rhizobium*ok, az égerfák gyökérgümőit lakó *Frankia* sugárgombák, egyes (*Anabaena*, *Nostoc*) kékbaktériumok, valamint a talajlakó *Azotobacter* és *Clostridium* fajok. E nitrogénkötő szervezetek a N₂-t ammóniumionná (NH₄⁺) alakítják, amely vízben jól oldódik, és a növények számára is

hasznosítható. Néli korlátot csak az jelent, hogy e kation szívesen kötődik a talajkolloidok negatív felületéhez, így a gyökerek esetleges nagy mennyisége ellenére is nehezen tudják felvenni. A talaj aerob nitrifikáló baktériumai azonban az ammóniumiont nitrit- (NO_2^-) vagy és nitrátiónná (NO_3^-) alakítják, amely a növények igényeinek is tökéletesen megfelel. A felvett nitrogéntartalmú ionokat a növényi sejtek szerves vegyületekbe (aminosavakba, fehérjékbe, nukleotidokba, nukleinsavakba és egyéb molekulákba) építik be.

A növények szerves nitrogénje az elsődleges fogyasztó növényevőkbe, majd a táplálékhálózat további tagjaiba is bekerül, mindegyik a rá jellemző nitrogéntartalmú molekulákat hozva létre belőle. Az ürülékkel, illetve az élőlények elpusztulásával a N-tartalmú szerves vegyületek a talajba kerülnek, és a talaj szervesanyagkészletét gyarapítják. E szerves vegyületek fokozatos lebomlásával aztán ismét szervesetlen formákká alakul a nitrogén, köszönhetően az ammonifikáló baktériumok munkájának (amelyek tehát a szerves vegyületek nitrogénjéből ammóniumionokat gyártanak). Az ammóniumionok nitrit- és nitrátiónná alakulva folytatják a körforgást.

A légkörből a talajba ill. az élőlények testébe került nitrogén a denitrifikáló baktériumok működése révén kerülhet vissza légzemű állapotba (N_2 , N_2O). A denitrifikáló baktériumok tevékenysége anaerob körülmények között, pl. a talaj vízzel való telítődése esetén gyorsulhat fel. A nitrogén légkörbe kerülésének másik módja a növények elégeése pl. erdő- vagy szavannatűz alkalmával.

A nitrogénciklusban évről-évre részt vevő nitrogén mennyisége óriási, a N a hidrogén, oxigén és szén után a negyedik legnagyobb volumenben mozgó elem. A bemutatott biológiai folyamatok mellett vannak abiotikus folyamatok is, amelyek vízzeloldható N-t juttatnak a légkörből a talajba, ám ezek nagyságrendje elmarad a biotikus folyamatoké mögött. Becslések szerint a nitrogénkötő prokarióták évente mintegy 120-450 millió tonna nitrogént kötnek meg a levegőből, míg az abiotikus utak mindössze évi 3 millió tonna N-nek a körforgásba kerüléséért felelősek (Kalapos, 2007). Ha nem léteznének nitrogénfixáló szervezetek (túlnyomórész prokarióták, de az újabb kutatások^{5,6} szerint eukarióták is lehetnek), a nitrogén körforgása jóval lassabb lenne, és a bioszféra a mostaninál jóval szerényebb méretekben és fajgazdagsággal jöhetett volna csak létre.

Azonban az élőlények számára elérhető nitrogén mennyiségének hirtelen megnövekedése is káros hatású. Az emberi tevékenység miatt a légköri nitrogén fixációja — a történelem előtti korhoz képest — kétszeres sebességgel megy végbe. Az ember tehát a lejelentősebb nitrogénmegkötő szervezet. A nitrogénműtrágyák ipari előállítása (és ezek lényege, a nitrogénfixáció) a nagyüzemi gyártás 1913-as megkezdése óta exponenciális növekedést mutat. A műtrágyagyártás, a pillangósvirágúak nagyarányú vetése, valamint a rizstermesztés (a sekély vízben élő kékbaktériumok révén) évente 140 millió tonna új N megkötését jelenti a légkörből.

A foszfor (P) mellett a nitrogén az egyik, a növényi növekedést legjobban korlátozó elem. A N elérhetőségének antropogén okok miatti megnövekedése — a szintén gyakran limitáló tényezőként fellépő CO_2 és P koncentrációjának szintén ember okozta növekedésével karöltve — a növénytársulásokban az egyes fajok erőviszonyainak átrendeződéséhez vezet. A nitrogénkötésre képes pillangósvirágúak és égerek előnye csökken a nitrogénkötő baktériumokkal nem bíró többi taxon tagjaival szemben, így azok visszaszorulása várható, ami a természetes állapotú közösségekben is diverzitáscsökkenéshez vezethet. Ezt támasztja alá az a régi megfigyelés, hogy a nitrogénműtrágyázás a gyepek fajgazdagságára negatív hatással van.

A talajok műtrágyázás miatt megnövekedett nitráttartalma csapadék hatására fokozott nitrátkioldódást von maga után, és ez amellet, hogy a természetes vizek eutrofizációjához hozzájárul, a talajok Ca^{2+} - és Mg^{2+} -tartalmát is csökkenti, hiszen a nitrátiónnal együtt pozitív ionok is kioldódnak.

19.3.4. A foszfor körforgása

A nitrogénnel ellentétben a foszfor gyakorlatilag nem tárolódik a légkörben. A foszfor körforgása a kőzetek, a talaj, a víz és az élőlények között megy végbe (üledékes ciklus). A foszfor egyes kőzetek mállásával lép be a ciklusba PO_4^{3-} formájában, amelynek felvételéért a növényeken kívül a mikroorganizmusok is versengenek. Így a foszfor a nettó primer produkció jelentős limitáló tényezője. A foszforatomok számos ciklusban vesznek részt, mielőtt üledékes kőzetbe záródva és a fenékre ülepedve hosszú időre kivonódnának a forgalomból.

20. Biogeográfia (Dr. Horváth Balázs)

Széchenyi István Egyetem, Győr

A biogeográfia a szünfenobiológiának a biomok élővilágával, a fajok elterjedésével és különböző elterjedésük okaival foglalkozó területe. Részterületei közül kiemelendő a

- növényföldrajz (fitogeográfia v. geobotanika),
- állatföldrajz (zoogeográfia),
- történeti biogeográfia (paleobiogeográfia)

A tudományterület a következő alapfogalmakkal operál. Adott terület *flórája* az ott élő növényfajok összességét jelenti, míg egy adott terület *faunája* az ott élő állatfajok összessége. Egy faj áréája a faj elterjedési területe. Az endemikus vagy bennszülött faj pedig olyan faj, amely a mindenkor ismeretek szerint csak az adott területen fordul elő. Ez a terület általában kicsi, a faj gyakran csak egyetlen tóban, hegyen, szigeten él. Minél hosszabb ideje tart vagy tartott egy terület fizikai vagy ökológiai akadályok általi elszigeteltsége a környező területektől, annál nagyobb az ott található endemikus fajok száma. A Bajkál-tóban élő több mint 650 fajból közel 600 az endemikus fajok száma.

Reliktumnak nevezzük az olyan fajt vagy más rendszertani csoportot, mely valamely régebbi földtörténeti korban virágzó (akmikus), nagy elterjedésű, fajgazdag, majd fokozatosan kihalt (parakmikus) rendszertani csoport utolsó maradványa. Szokták ezeket a fajokat élő kövületeknek is nevezni. Ilyen fajok ill. csoportok pl. a hidasgyík, a maradványhal, az okapi, a pörgekarúak, a négykopoltyús lábasfejűek (a *Nautilus* fajok), az erszényesek vagy a tüdőshalak.

Az endemizmusok jelentős része egyben reliktnum is. A pilisi len (*Linum dolomiticum*) pl. Budapest környékén dolomitsziklagyepben él; ritka, többek között azért, mert korábban a terület egy részét feketefenyővel ültették be. Igazi ereklyenövény, vagyis reliktnumendemizmus.

A biogeográfiára Alfred Wegener kontinensvándorlás-tana jelentős hatással volt⁷. A német geofizikus-meteorológus 1912-ben tárta a tudományos közösség elé elméletét, amelynek lényege, hogy Földünk szilárd kérge — a kontinensek és a tengerek alatt is — lemezekből áll, amelyek egymáshoz képest állandó mozgásban vannak, közelednek, távolodnak, rotációs mozgást végeznek. Közvetett bizonyítékait (többek között azért, mert a jelenség magyarázatával adós maradt) kezdetben kevesen vették komolyan, munkája 1925-ös amerikai megjelenésekor az [American Association of Petroleum Geologists](#) szervezet még külön szimpóziumot is tartott az elmélet cáfolatára. Csak több mint két évtizeddel Wegener korai halála után, az 1950-es években kezdtek gyűlni az elképzelést alátámasztó újabb adatok, míg az 1980-as években, köszönhetően a lézeres geodiméterek (geodetic distance meter) fejlődésének, a kontinensek távolságának centiméteres pontosságú megmérésével végérvényesen bizonyítani nem tudták az elmélet helyességét⁸. Wegenert ma a kontinensvándorlás atyjának, „a klasszikus természettudomány utolsó nagy diadala” elindítójának tekintjük (Gribbins, 2002).

A kb. 100 km vastag tektonikus lemezek a Föld története során helyüket, helyzetüket folytonosan változtatják: összeköttetésbe kerülnek, köztük szárazföldi hidak keletkeznek, ezeken keresztül pedig megindulhat az addig elkülönülten fejlődő szárazföldi növény- és állatfajok kicserélődése. Ugyanakkor az új szárazföldi összeköttetés természetesen gátat vet a tengeri élőlények terjedésének. Ellenben, ha a lemezek eltávolodnak vagy egyes részeik víz alá kerülnek, akkor a szárazföldi összeköttetés szűnik meg, és a kontinensek között csak a repülő vagy szélsodorta élőlények és propagulumaik képesek áthidalni bizonyos távolságokat. A tengeriek számára viszont épp ilyenkor válik szabaddá az út az addig elválasztott óceánok

között. Mindezek igen komplex, soktényezős folyamatok, ahol természetesen nemcsak az akadály léte, milyensége, de a környezeti faktorok és az egyes élőlények ökológiai igényei is meghatározóak. 250 millió éve, a Perm időszakban a Föld szárazföldjei egy egységes őskontinenst alkottak, amit Pangeának nevezünk. Az őskontinens lassan két részre, Lauráziára és Gondwanára vált szét, amelyek később tovább darabolódtak. A kontinentális lemezek azóta még tovább távolodtak egymástól, de újabb 250 millió év múlva ismét egy egységes kontinensben egyesülnek majd. A lemezek ütközésekor hegységek gyűrődhetnek fel (így emelkedett ki a Himalája is az utolsó 10 millió évben), de az is előfordulhat, hogy az egyik a másik alá gyűrődik. A lemezek mozgásának évi 10-20 mm-es tempója az emberi köröm növekedésének sebességére emlékeztet.

A kontinensvándorlást ma már mérni tudjuk, de olyan közvetett bizonyítékai is vannak, amire már régen is felfigyelhettek. Ilyen például az, hogy Dél-Amerika és Afrika kontinensei alakilag egymáshoz illenek, vagy az a tény, hogy egyes közelrokon taxonok pont az egymáshoz alakilag passzoló földrészekben fordulnak elő vagy fordultak elő a múltban. A fossziliák közül különösen különösen érdekes a [Lystrosaurus](#), egy, a [Triász](#)ban élt emlősszerű „hüllő” (a modern rendszertanban nem használjuk ezt a taxont, mert a rajta értett fajcsoport leszármazása nem monofiletikus) leleteinek előfordulása. Az állat alkatának rekonstrukciója és a kísérő fossziliák azt bizonyítják, hogy a [Lystrosaurus](#) egy édesvízi „hüllő” volt. Maradványait öt, ma egymástól távol levő területen találták meg: ezek közül [három Antarktisz](#), Dél-Afrika és India, amelyek a Triász időszakban a Gondwana (ős)kontinenshez tartoztak. További előfordulása a mai Kína területére esik, a Himalájától északra, ami csak úgy magyarázható, ha elfogadjuk, hogy a néhai Gondwana indiai lemeze nagyobb volt, mint eredetileg feltételeztük, és a Himalája hegységrendszere az indiai táblának az ütközésekor, azon belüli felgyűrődéssel jött létre. (Kína nagy része így nem Lauráziához tartozott.)

Hasonlóan a kontinensvándorlásra utaló jel a gerincesek ma is élő, ősi kialakulású csoportjainak, a kloakás és erszényes emlősöknek az előfordulása, amelyek csak a déli kontinenseken találhatók meg.

A kontinensek alakján túl és a mai taxonok és a múlt kövületeinek elhelyezkedése mellett további közvetett bizonyítékot jelent a hegységek elhelyezkedése (folytonossága) az összeillő kontinenseken.

A fajok áréája a faj kialakulása után általában növekszik, és a faj elterjed annak a területnek az egészén, amelyen számára kedvező környezeti feltételek vannak. Az elterjedésnek a körülmények térbeli-időbeli változása vagy valamilyen hasonló igényű faj konkurenciája szab határt. Állatok esetében legfontosabbnak azt az areát tekintjük, ahol a fajnak rendszeres és sikeres szaporodása történik. A szaporodással nem kapcsolatos areák egyrészt az időszakosan, de rendszeresen látogatott területek (telelő- és vonulóhelyek), illetve az ún. steril expatriációs helyek, ahol a faj előfordul, de annak hosszabb tartózkodására, létfenntartására és szaporodására a terület nem alkalmas.

A faj áréájának nagysága szerint lehet

- nagy áréájú (több földrészen található; ezek földtörténetileg régebbiek, euriök, generalista, ált. kozmopolita fajok)
- közepes áréájú (egy földrészen található meg; közepes tűrőképesség jellemző a fajra)
- kis áréájú (kicsi v. igen kicsi elterjedési területű fajok, sokszor reliktumok v. endemizmusok)

A fajok áréáját folytonosság tekintetében is szokás csoportosítani. Az área lehet:

- a) folytonos (kontinuus; az área összefüggő terület) ill.
b) nem folytonos (diszkontinuus), utóbbi pedig tovább osztható

- ❖ hézagos (2 vagy néhány nagyjából azonos területre osztott),
- ❖ elkülönített (egy nagyobb és több kisebb területre osztott) és
- ❖ szétszórt (szórványos; több, egymástól távolabbi kis területből álló)

típusokra.

A Földön általában vagy klímaövek szerint a következő elterjedési formákat különböztetjük meg:

- ❖ teljes elterjedés: a faj az egész Földön, mind az öt kontinensen előfordul; pl. vándorsólyom (*Falco peregrinus*), gyöngybagoly (*Tyto alba*), vándorpatkány (*Rattus norvegicus*)
- ❖ sarkkörüli (cirkumpoláris) elterjedés: valamelyik sarkvidékre korlátozódik; pl. sarki róka, rozmárok, a Déli-Sarkon élő különböző pingvinfajok
- ❖ kétsarki (bipoláris) elterjedés: mind az Északi-, mind a Déli-Sarkra kiterjed
- ❖ egyenlítő körüli (cirkumtropikus vagy pantropikus) elterjedés: a trópusi övre terjed ki
- ❖ mérsékelt övi (amfitropikus) elterjedés: az elterjedés a mérsékelt övre terjed ki
- ❖ déli-félgömbi elterjedés: a Föld déli féltekéjén; pl. laposszegycsontú madarak
- ❖ boreo-montán vagy boreo-alpin elterjedés: a sarkvidékre és a magashegységekre (vagy Európában az Alpokra) terjed ki általában
- ❖ partmenti (litorális) elterjedés: a tengerpartokra szorítkozik; pl. számos madárfaj, a tengerparti fővény állatai (bolharákok, szöcskerákok stb.)
- ❖ folyómenti (fluviatilis) elterjedés: patakok, folyók, folyamok menti elterjedés
- ❖ szigetszerű (inzuláris) elterjedés: szigetrajokon belüli elterjedés

Előfordul, hogy egy genus két rokon faja egymástól távol eső, környezeti és ökológiai viszonyaiban hasonló területen mintegy helyettesíti egymást, ilyenkor helyettesítő (vikarizáló) elterjedésről beszélünk. A **22. táblázat** néhány példát látunk erre.

22. táblázat: Vikarizáló fajok

Eurázsia	Észak-Amerika
európai hód (<i>Castor fiber</i>)	kanadai hód (<i>C. canadensis</i>)
európai bölény (<i>Bison bonasus</i>)	amerikai bölény (<i>B. bison</i>)
hiúz (<i>Lynx lynx</i>)	kanadai hiúz (<i>L. canadensis</i>)
kínai alligátor (<i>Alligator sinensis</i>)	alligátor (<i>A. mississippiensis</i>)

A fajok életének ugyanúgy szakaszai vannak, mint az egyedek életének. A fajok is létrejönnek, majd elterjednek egy kisebb-nagyobb területen (aréán); később visszaszorulnak, az área bizonyos részeiről ki is halnak, végül a faj mindenholon teljesen kipusztul. A fajkeletkezés és a fajpusztulás természetes folyamatok. A fajok néha sokáig nem változnak, és ma élő egyedeik anatómiailag nem különböztethetők meg a régi korokban élt őseik kövületeitől (ilyenkor élő kövületekről beszélünk), de a faj idővel — ahogy változik a többi faj és a környezet, és alkalmazkodása már nem lesz megfelelő — akkor is kipusztul. A kipusztulás egy módon küszöbölhető ki, úgy, ha a faj folyamatos (vagy éppen hirtelen) átalakulással egy másik fajjá alakul. Erre szolgáltat példát az összes ma élő faj evolúciója.

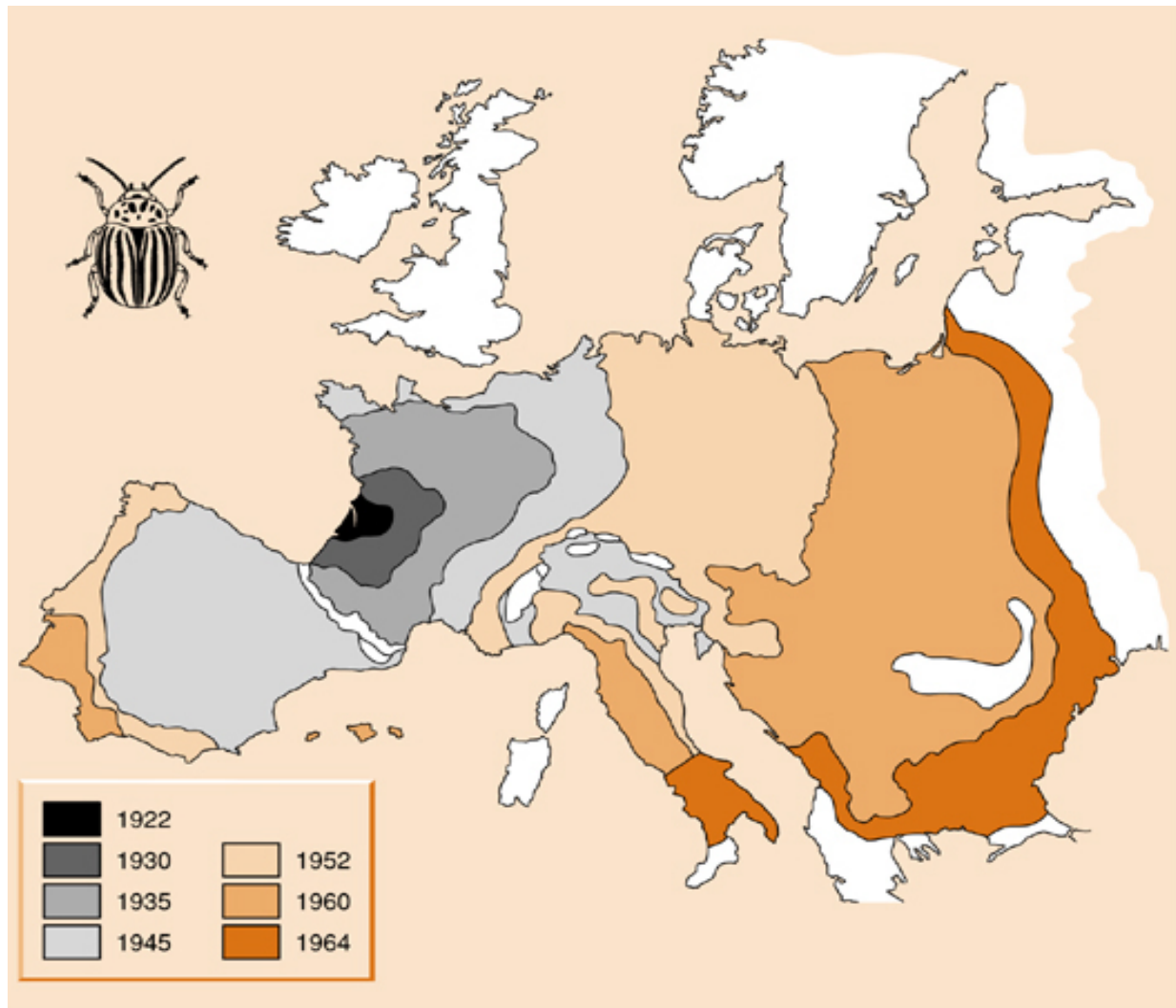
A fajok szétterjedésére külső és belső tényezők lehetnek hatással. A külső tényezők lehetnek fizikai akadályok, de lehetnek ökológiai akadályok is. *Fizikai akadály*nak azt tekintjük, amelyen az élőlény fizikailag nem képes áthatolni, aktív vagy passzív mozgása gátolt, míg az ökológiai akadály nem az egyedek mozgását gátolja, hanem olyan területet vagy időszakot jelent, ahol a szétterjedő élőlény életfeltételei hiányoznak, megélhetése, túlélése nem biztosított. A gyakorlatban sokszor nehéz a kétféle hatást egymástól élesen elkülöníteni, mert a nagyobb kiterjedésű fizikai akadályok egyszersmind ökológiai akadályt is jelenthetnek, pl. egy magas hegylánc, melynek mentén az ökológiai feltételek, az életkörülmények is változnak, és nem csak a hegy fizikai, térbeli kiterjedése jelent akadályt. Ugyanaz a tényező (pl. egy folyó) fajtól függően lehet gátló, de lehet az elterjedést segítő tényező is.

A növények szétterjedése vegetatív szaporodással (gyökérsarj, inda) vagy magterjesztéssel történhet; utóbbit a szél (repítőkészülékek segítségével), az állatok vagy a víz mozgása teszi lehetővé. A víz általi termésszállítás például számos pálma terjedésében játszik szerepet.

Az állatok szétterjedése a faj életterétől függően különböző lehet. A tengeriek általában lárvakorban terjednek, hiszen a kifejlett egyedek gyakran ülő életmódúak (szesszilisek). Az édesvízi fajok lárvája ugyanakkor élete nagy részében általában egy jól behatárolt térrészben, kisebb víztömegben él — viszont a kifejlett alak röpképes, ezért ez utóbbi játszik jelentősebb szerepet a faj terjesztésében.

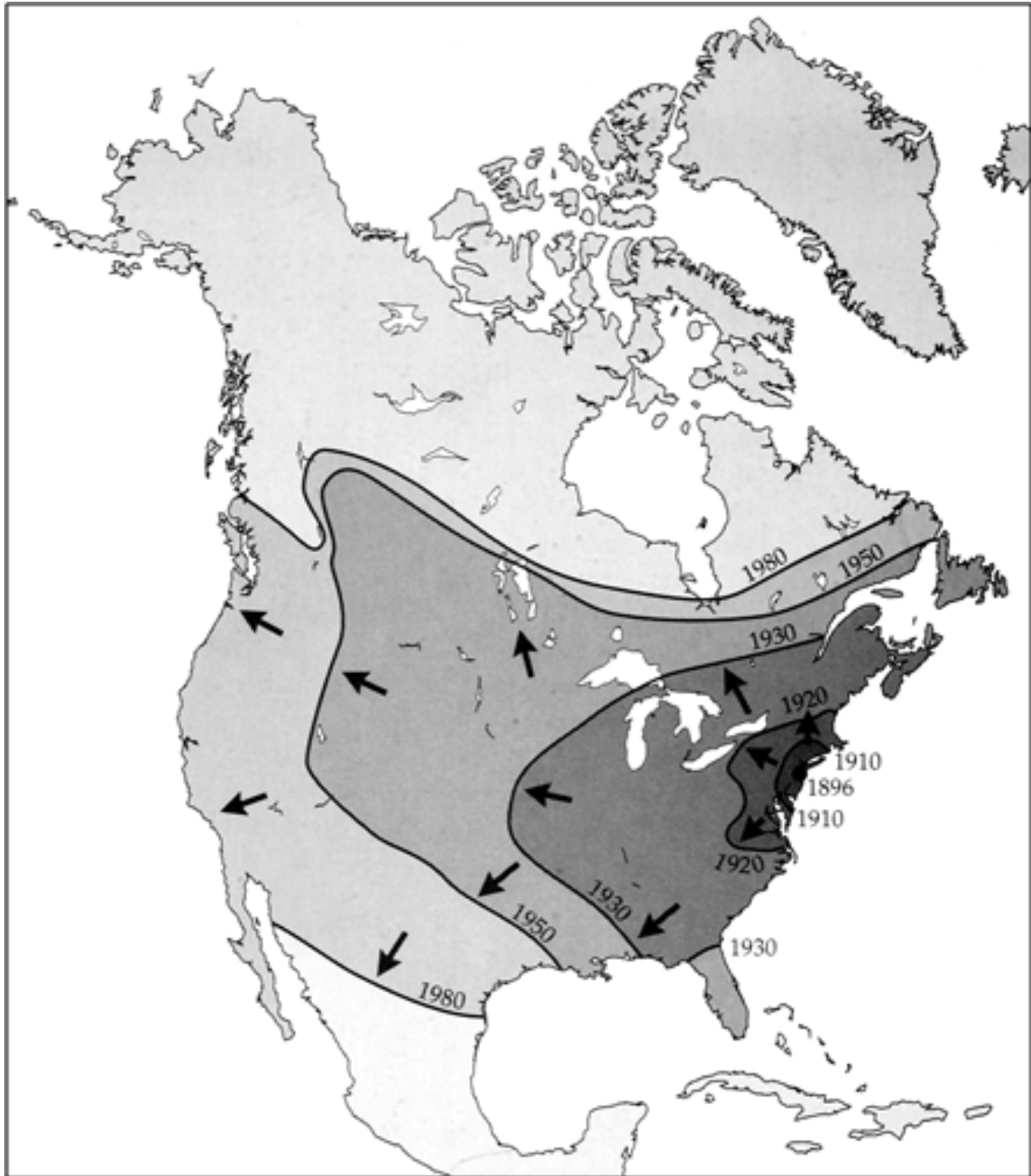
Érdekes módon az aktívan mozgó állatok és a helytülő növények közül utóbbiak terjedése a gyorsabb.

Az állatok (olykor gyors) terjedésére jó példa a burgonyabogár (*Leptinotarsa decemlineata* SAY, 1824) esete (Kaszab, 1962; Sáringer, 1990). A faj őshazája az észak-amerikai Sziklás-hegység, Mexikó északi része és Új-Mexikó (USA) állam területe. Eredeti tápnövényei szárazságtűrő burgonyaféle gyomnövények voltak, főképp a *Solanum rostratum*. A ritka levélbogárfaj csak később, Nebraska államban találkozott a termesztett burgonyával, amely számára kiválóan alkalmas tápnövénynek bizonyult. Colorado államból kiindulva kezdett terjeszkedni 1856 körül, és 16 év alatt 3000 km-t megtéve haladt kelet felé (**63. ábra**). Az Atlanti-óceánt 1874-ben érte el, és 1880-ra elterjedési területe már 4 millió km²-re növekedett. Ez részben annak volt köszönhető, hogy Észak-Amerikában a számára legkedvezőbb, +10 — +15 °C-os évi középhőmérsékletű élőhelyeken évi 3 nemzedéke is kifejlődik. Európába először 1876-ban hurcolták be, majd még több alkalommal is, de akkor még mindegyik esetben sikerült kiirtani. Az első világháború utolsó éveiben azonban Franciaországban ismét megjelent, és minden erőfeszítés ellenére folyamatosan terjedt kelet felé. Ausztriát 1940-ben, hazánkat 1947-ben érte el. Az első kolóniát Hédervárnál találták (itt újabban bronzszobor is őrzi az emlékét), és bár sikerült kirtani, a délről és nyugatról érkező újabb előőrsök végleg megvetették a lábukat Magyarországon.



63. ábra: A burgonyabogár (*Leptinotarsa decemlineata*) terjedése Európában

A fordított irányú fajcserére példa az európai seregély (*Sturnus vulgaris*) szétterjedése az Észak-Amerikai kontinensen (64. ábra):



64. ábra: A európai seregély (*Sturnus vulgaris*) terjedése Észak-Amerikában

Általában véve a szétterjedés különböző lehet: diffúz, ugrásszerű vagy szekuláris migráció.

A **diffúzió** a populációk generációkon keresztüli, fokozatos mozgását jelenti számukra kedvezőtlen helyeken át. A fajok ez esetben fokozatosan növelik elterjedésük határait. Példa erre a házi veréb (*Passer domesticus*) terjedése Észak-Amerikában nyugat felé, vagy a pénzmapatkány (*Ondatra zibethica*), amely Közép Európában van terjedésben.

Az **ugrásszerű diszperzió** az egyedek (ill. propagulumok) mozgását jelenti nagy távolságokon keresztül. Ezt az eredeti szétterjedők populációinak sikeres megtelepedése követi. Az egész nagyon rövid időn belül történik, ami rövidebb, mint egy egyed élettartama.

Ezalatt a terjedők teljesen barátságtalan területeket „ugorhatnak” át. Ilyen például a pókok terjedése a légáramlatokkal, vagy a vadgesztenyelevél-aknázómoly (*Cameraria ohridella*) lárváinak vagy bábjainak eljutása messze vidékekre vadgesztenyefák alatt parkoló autókra hullott levelekben.

A **szekuláris migráció** „időtlen” vándorlásként értelmezhető, egy olyan lassú terjedést jelent, amelynek során a terjedő fajok jelentős evolúciós változásokon mennek át. A szekulárisan vándorló fajok elterjedési határai nagyon hosszú, olykor geológiai időtartam alatt változnak. A faj új környezetbe kerül, miközben maga a környezet is változik. A természetes szelekció hat a vándorlókra, ezért egy-egy új régióban a leszármazó populációk különböznek a származási hely ősi populációitól. Pl. a tevék családjának (Camelidae) dél-amerikai tagjai, a láma (*Lama peruana*) és a vikunya (*Vicugna vicugna*) a kihalt észak-amerikai ősök leszármazottai, és a Pliocén időszakban vándoroltak délre az újonnan létrejött Panama-szoroson át.

A fajok terjedése tehát együttjárhat azok jelentős megváltozásával, fajképződéssel is. A fajképződésnek kétféle módját tartjuk lehetségesnek:

Szimpatrikus fajképződés — egyetlen népesség utódainak elterjedési területükön belül létrejövő reproduktív izolációhoz vezető mechanizmusa. Ez esetben az új fajok előfordulásai ökológiai izolátumok, azonos geográfiai területen belül szubpopulációk, amelyek különböző élőhelyeket (habitatok) kedvelnek.

Allopatrikus fajképződés — két vagy több szubpopuláció gáttal történő szeparálódását követő reproduktív izoláció kialakulása. A gátak olyan ökológiai alkalmatlan élőhelysávok, ahol az élőlények nem élnek meg, és amit nem tudnak keresztezni egyetlen „ugrással”. A géncsere kizárt. Sokak szerint ez a fajképződés egyetlen lehetséges módja. Másodlagosan az utódfajok szimpatrikussá válhatnak a gátak átalakulásával, átjárhatóvá válásával. Ez esetben azonban az ökológiai specializáció következmény, nem pedig ok.

Az adaptív radiáció során a közös őstől származó fajok az élőhely adottságainak megfelelően diverzifikálódnak az ökológiai niche-ek sokféleségéhez. A Hawaii mézevő madarak vagy egyes afrikai tavak halfajai például így jöttek létre. Az adaptív radiáció lehet robbanásszerű és fokozatos.

Egy régi megfigyelés szerint a földrajzi határoknál egyszerre számos növényfaj elterjedése ér véget. Ennek alapján Földünk florisztikailag eléggé jól elkülönülő területekre osztható. E flórabirodalmak a következők (egy lehetséges felosztás szerint):

1. Holarktikus régió (Európa, Észak-Amerika, Észak- és Közép-Ázsia)
2. Paleotropikus régió (Afrika, Dél-Ázsia, Óceánia)
3. Neotropikus régió (Közép- és Dél-Amerika)
4. Ausztráliai régió (Ausztrália)
5. Fokföldi régió (Dél-Afrika)
6. Antarktisz régió (Tűzföld, Patagónia, Új-Zéland, Antarktisz)

Az állatföldrajzi felosztás is többféle lehet, nálunk a Dudich-féle a leginkább elfogadott.

20.1. A biomok

A biotópok a társulások nagy egységei, amelyek a Földön zónálisan helyezkednek el. (A biotóp a bioszféra után a legnagyobb egyed feletti szerveződési szint.) Elhelyezkedésüket elsősorban a hőmérséklet és a csapadék mennyisége határozza meg. Mivel ezek alapvetően a szélességi körökkel változnak, a biotópok elhelyezkedése is zónális. A vegetációzónáknak elvileg párhuzamosan kellene elhelyezkedni a szélességi körökkel, de a klimatikus viszonyokat módosító tényezők miatt ez nem teljesen így van a valóságban. A biotópok pontos határai ugyanis sok egyéb tényezőnek is függvényei. Ilyen éghajlatot — és ezáltal az élővilág előfordulását is — módosító tényezők a következők:

- az óceántól való távolság (a kontinensek belsejében kevesebb a csapadék és nagyobb a hőingadozás),
- a nagy szélrendszerek (pl. passzát, monszun stb.),
- a tengeráramlások (pl. Golf-áram, Észak-atlanti áram Európa partjait fűti, a Labrador-áram Észak-Amerika keleti partjainak csökkenti a hőmérsékletét), valamint
- a domborzat (magashegységekben vertikális zonalitás alakul ki).

A fő éghajlati övezetek az alábbiak:

I. A hideg övezet és biotópjai:

sarkvidéki öv: - állandóan fagyos
sarkközi öv: - tundra

II. A mérsékelt övezet és biotópjai:

hideg mérsékelt öv - tajga
valódi mérsékelt öv: - szélsőségesen szárazföldi területek: - mérsékelt övi sivatagi
- szárazföldi terület: - száraz kontinentális
- mérsékelt száraz terület: - nedves kontinentális
- óceáni területek: - óceáni
meleg mérsékelt öv: - szubtrópusi monszun
- mediterrán

III. A forró övezet és biotópjai:

térítői öv: - trópusi sivatagi
átmeneti öv: - szavanna
egyenlítői öv: - egyenlítői

20.1.1. A forró öv biotópjai

A forró öv a 0-25. szélességi körök között található. A trópusi biotópok kialakulásában a csapadék évi mennyisége a meghatározó ökológiai tényező.

Három biotóp tartozik ide: a trópusi esőerdők, a szavannák és a trópusi sivatagok.

A trópusi esőerdők

A trópusi esőerdők az Egyenlítő mentén kb. 20°-os sávban húzódnak. Kiegyenlített, magas hőmérséklet, 25-27 °C évi középhőmérséklet jellemző rájuk, az évi hőingadozás mindössze 1 °C körüli. A levegő páratartalma igen magas, az évi csapadékmennyiség 1500-3500 mm

közötti. Termőtalajuk szerves anyagban szegény, humuszfelhalmozódás gyakorlatilag nincsen annak ellenére sem, hogy nettó primer produkciójuk óriási. Ennek oka a gyors szerves-anyagbontás, és az állandóan nagy mennyiségű csapadék következtében lejátszódó felszíni talajréteg-kimosódás. Talaja egyébként vasban és alumíniumban gazdag laterit. Termelői szintje (növények) dús, erőteljes növekedésű, fajokban gazdag, fái örökzöldek, lombjuk folyamatosan cserélődik.

A trópusi esőerdő szintezettsége

Az erdő lombkoronaszintje rendkívül tagolt, nemritkán 5-7 szintre is elkülönül. Szintjei:

- felső lombkoronaszint (25-55 m)
- középső lombkoronaszint (15-25 m)
- alsó lombkoronaszint (5-15 m)
- cserjeszint (5 m)
- gyepszint

A legmagasabbak a trópusi esőerdők óriásfái, amelyek egymástól távol helyezkednek el, és lombkoronájuk kiemelkedik az alsóbb szintekből. Az óriásfák hatalmas törzsének megtartását támasztógyökerek segítik. Sűrű lombtakarójuk csak nagyon kevés fényt enged át, ezért összefüggő cserjeszint nem fejlődik a trópusi esőerdőkben. Sok a fára felkúszó lián, és gazdag a fán lakó epifiton növényzet is, amelyek többsége nem parazita, hanem kommenzalizmusban él az aljzatul szolgáló fával (ilyenek pl. az orchidea- és broméliafajok). 1-1 óriásfán 30-40 epifiton növény is élhet.

Az óriásfák Afrikában a mimózafélék közé tartoznak, Ázsiában jellemzően *Dipterocarpus*- vagy *Dracontomelon*-fajok, Ausztráliában *Eucalyptus*-fajok, Amerikában pedig *Cecropia*-fajok.

Az esőerdők állatvilága még változatosabb, itt él az óriás hangyász (Kelet- és Dél-Amerikai esőerdők), jaguár, lajhárfajok, nyílméregbékák, tukán, ara, bögőmajmok, csuklyásmajmok, cerkóf-majmok, papagájok, kolibrik, sokféle „hüllő”, kétéltű, ízeltlábú fajok sokasága, paradicsommadarak, okapi, párduc, tapír, stb.

Természetvédelmi szempontból érdekes adat, hogy a trópusi esőerdők a szárazföldeknek csak 6 %-át borítják, de az összes földi faj mintegy felének szolgálnak élőhelyül. Értékük is ennek megfelelő.

A szavannák

A szavannák nagyjából a 10-25° szélességi körök közötti sávokban találhatók. A tengerparttól távolodva a száraz időszak hossza nő, amelynek hossza ill. a csapadék mennyisége szerint három típusukat különítjük el (**23. táblázat**).

23. táblázat: A szavannák fő típusai

	Száraz évszak hossza	Évi csapadékmennyiség
erdős szavanna	3-5 hónap	1200-1400 mm
fűves szavanna	5-7 hónap	500-1200 mm
tüskés szavanna	7-10 hónap	300-500 mm

A szavannák élővilága gazdag, az óvilági szavannákon sok a nagytestű állat, valamint igen nagy a természetek és a levélvágó hangyák száma; újvilági társaikra pedig a pálmák, kaktuszok és a kevés nagytestű állat jellemző. Gyakoriak az akácia-fajok (az *Acacia* genus a hüvelyesek rendjének mimozafélék /Mimosaceae/ családjába tartozik, fajai Afrika és Ausztrália szavannáin elterjedtek), és a sok faj közül jellemző még a mályvavirágúak rendjébe tartozó, akár 40 m törzskerületű óriásfa, a majomkenyérfa, amelynek virágait denevérek porozzák be. Állatvilágából megemlítendő a különféle majomfajok, Afrikában a zöld cercófmajom (*Cercopithecus mitis*), a huszármajom (*Erythrocebus patas*), az egyéb emlősök közül gyakori a sujtásos sakál (*Canis adustus*), a hiénakutya (*Lycaon pictus*), a foltos hiéna (*Crocota crocuta*) és a csíkos hiéna (*Hyaena brunnea*). A nagymacskák jellegzetes faja az oroszlán (*Panthera leo*) és távolabbi rokona, a gepárd (*Acinonyx jubatus*). A növényevő megafauna tagjai közül többek között a mocsári antilop (*Kobus kob*), a gazella (*Gazella gazella*), a csíkos gnú (*Connochaetes taurinus*), az impala (*Aepyceros melampus*), a zsiráf (*Giraffa camelopardalis*), a fekete orrszarvú (*Diceros bicornis*), a strucc (*Struthio camelus*) érdemelnek említést.

Ausztráliában az emlősök közül az erszényesek, pl. a koala (*Phascolarctos cinereus*), a nyugati óriáskenguru (*Macropus fuliginosus*), a madarak közül pedig a papagájok, az emu (*Dromaius novaehollandiae*) és a sisakos kazuár (*Casuarius casuarius*) a fauna legjellemzőbb fajai.

A trópusi sivatagok

A trópusi sivatagok a 15-50° szélességi körök közötti szélességekre jellemzők, az antipasszátszelek hatására alakultak ki a trópusi és szubtrópusi területek határán. Évi középhőmérsékletük 20 °C körüli és igen magas a napi hőingás. Az évi csapadékmennyiség a 250 mm-t sem éri el, egyes helyeken akár évekig nem esik eső. Talajuk humuszmentes köves homok, amihez a növények vízraktározással vagy párolgáscsökkentéssel alkalmazkodnak.

A szélsőséges környezethez csak kevés állat- és növényfaj alkalmazkodott. A gyér, szegényes növényzetben a pozsgások, a törpecserjék és az egyévesek jellemzőek. A növények szára vagy levele pozsgás, vízraktározó, és a párologtató felületüket minimálisra csökkentették. Gyakran a lomblevelek vékony levéltövissekké módosulnak, ez is a párolgáscsökkentés funkcióját látja el. A növények bőrszövete vastag, gyakori a szőrözöttség, ami a hőingadozás ellen is védelmet nyújt. A fajok száma viszonylag alacsony.

A sivatagok osztályozása alapkőzet szerint lehetséges. Így megkülönböztethetünk szikla-, és kősvivatagokat, kaviessivatagokat, homoksvivatagokat, agyagsivatagokat, sós agyagsivatagokat, gipszsvivatagokat.

A sivatagok növényei közül kiemeljük az ürömöket (*Artemisia* sp.), a libatopféléket (*Chenopodium* sp.), a levél nélküli vesszős cserjéket (*Caragana* sp.), a Belső-Ázsia sós

sivatagaira jellemző tamariska-fajokat (*Tamarix* sp.), a Dél-Afrikai kavicskaktuszokat (*Lithops* sp.), valamint a különleges nyitvatermőt, a *Welwitschia mirabilis*-t Dél-Afrikában.

A szubtrópusi biomok

Alapvetően kétfélek lehetnek a csapadék eloszlása alapján, esős nyarúak (mediterrán) vagy esős telűek (monszun).

Az esős telű (azaz mediterrán) területekre a meleg, száraz nyár és az enyhe, esős tél jellemző. Talaja humuszban gazdag terra-rossa, terra-fusca, vagy fahéjbarna talaj. A mediterrán éghajlatú területek az emberi tevékenységtől régóta érintettek, és ma is visszaszorulóban vannak. A forró, csapadékban szegény nyár miatt az örökzöld növényzet elsősorban kemény, bőrnemű levélzettel és sűrűn szőrös levélfonákkal védekezik a felesleges párolgás ellen. Jellemző növénye a magyaltölgy (*Quercus ilex*), a szabdaltlevlű tölgy (*Quercus coccifera*), a paratölgy (*Quercus suber*), a rododendronok, a szelídgesztenye (*Castanea sativa*), a ciklámen, az örökzöld puszpáng (*Buxus sempervirens*), a ciprus (*Cupressus sempervirens*), a libanoni cédrus (*Cedrus libani*), a mandulafenyő (*Pinus pinea*), a feketefenyő (*Pinus nigra*), a közönséges jegenyefenyő (*Abies alba*), a babérfa (*Laurus nobilis*), valamint a pisztácia (*Pistacia lentiscus*).

Azokon a területeken, ahol a monszun okozta esős időszak a meleg nyári hónapokkal egybeesik, ott a keménylombú erdőket felváltják a babérlombú erdők. A klíma az egész év folyamán meleg és csapadékos, kicsi a napi és az évi hőingás, a tél enyhe és fagymentes. A Földön a Kaukázus nyugati oldalán, Kelet-Ázsiában (Korea, Kína, Dél-Japán), Florida atlanti partjainál, a Kanári szigeteken, Ausztráliában (Új-Dél-Wales) és Új-Zéland északi szigetén található meg.

Kelet-Ázsiai területei nagyjából részben mezőgazdasági művelés alatt állnak. Itt él sok egyéb faj között a kámforfa (*Cinnamomum camphora*), a kamélia (*Camellia japonica*), a gazdaságilag jelentős teacserje (*Thea sinensis*), a cikászok (*Cycadaceae*) és a japán ciprus (*Cryptomeria japonica*).

20.1.2. A mérsékelt öv

A mérsékelt övbe tartoznak a 40–65. szélességi körök között elhelyezkedő, a nyugati szelek hatása alatt álló területek. Amerika, Európa és Ázsia középső részeinek uralkodó éghajlata ez; a déli féltekén jelentősége alárendelt, mert ott az adott szélességeken kevés a szárazföld. Jellemzője a négy évszak, a Nap évi járása határozza meg a hőmérsékleti viszonyokat. A nyár meleg, ekkor hosszúak a nappalok. Télen a napsugarak alacsony hajlásszöge miatt hideg van és rövidek a nappalok. Az évi középhőmérséklet +10 és –10°C között változik, az évi hőingadozás nagy, a kontinensek belseje felé növekszik.

A mérsékelt övi sivatagoktól eltekintve három zónát érdemes itt megkülönböztetnünk, a füves pusztákat, a mérsékelt övi lomberdőket és a tűlevelű erdőket.

Füves puszták

A füves pusztákat viszonylag kevés csapadék (200-500 mm, a hosszúfűvű prérin azonban akár 600-1000 mm) és nagy éves hőingás (>25 °C) jellemzi. A csapadék nagy része kora nyáron hull, a téli csapadék hó. A száraz és a hideg időszakok elkülönülése miatt gyakran két nyugalmi időszak is lehet. A füves pusztákat Észak-Amerikában prérinek, Dél-Amerikában pampának, Eurázsiaiában sztyeppnek nevezik.

A hosszúfűvű prérrik 600-900 mm évi csapadék mellett jöhetnek létre, 450-500 mm esetén rövidfűvű préri alakul ki Észak-Amerikában. A prérrik állatvilágát sokféle „hüllő” (pl. *Sistrurus catenatus*, *Crotalus atrox*, *C. viridis* és más csörgőkígyók), madár (*Tympanuchus cupido*, *T. pallidicinctus*, *Centrocercus urophasianus*, *Speotyto cunicularia*, *Ammodramus bairdii*, *Calamospiza melanocorys*, *Spizella pallida*, *Calcarius ornatus*), rágcsáló (pl. *Perognatus flavescens*, *Spermophilus franklinii*, *S. spilosoma*, *Cynomys ludovicanus*), valamint rovarévők, oposszumok alkotják. Jellemzőek még a nagytzermetű növényevők, pl. a bölény is.

A Dél-Amerikai pampák a déli szélesség. 32°-38°-nál jönnek létre ott, ahol a csapadék eléri az 1000 mm-t. Fagy ritkán fordul elő, az éves hőingás 20-22°C. Nyáron kevesebb a csapadék, ezért ebben az évszakban aszályos időszakok alakulhatnak ki. A pampák emlősei közül a vikunya (*Lama vicugna*) valamint rokona, a guanako (*Lama guanaco*), az övesállatok (pl. *Zaedyus pichy*), a vadkutyák (*Lyncogon patagonicus*, *Dusicyon griseus*), a tengerimalac, a pampanyúl (mara) érdemelnek említést. A pampákat erszényes emlősök is lakják, pl. az amerikai oposszum (*Didelphis marsupialis*), amely táplálkozását tekintve nagyrészt ragadozó, de sok minden mást is elfogyaszt. A pampák nagytermetű pikkelyes hüllői a leguánok (*Orocutotretus pectinatus*, *Liolaemus magellanicus*, *L. fuscus*), a madarak közül pedig a Darwin-strucc (*Pterocnemia pennata*) nevezetes.

A sztyeppék

Az eurázsiai sztyeppék állatvilága alapjaiban a prérrikéhez hasonló (jellemző fajaik közül többen hazánkban is gyakoriak): a pusztai sas (*Aquila rapax*), a kerecsensólyom (*Falco cherrug*), a fogoly (*Perdix perdix*), a pártás daru (*Anthropoides virgo*), a túzok (*Otis tarda*), a lillebíbic (*Vanellus gregarius*), a pusztai szajkó (*Podoces panderi*), a rózsaseregély (*Sturnus roseus*), a fécán (*Phasianus colchicus*); a rovarévők közül a különféle cickányfajok (*Sorex sp.*), a pireneusi pézsmacickány (*Galemys pyrenaicus*), a vakond (*Talpa europea*), a sün(disznó) (*Erinaceus europeus*); és a rágcsálók, pl. a mormota (*Marmota marmota*), ürge (*Citellus citellus*), hörcsög (*Cricetus cricetus*), sztyepplemming (*L. lagurus*), üregi nyúl (*Oryctolagus cuniculus*).

A mérsékelt övi lombdők

A mediterrán táj felől a mérsékelt égövbe átlépve a keménylombú erdőket felváltják a lombhullató erdők. Elterjedési feltételük a meleg-nedves, legkevesebb 4-6 hónapos vegetációs időszak enyhe téllal, évi 10-15 °C középhőmérséklettel és 500-600 mm évi csapadékmennyiséggel, amely néhol elérheti az 1000 mm-t is. A lombdőkben az évszaknak megfelelő aszpektusok alakulnak ki. Talaja kedvező humusztartalmú barna erdőtalaj, barnaföld, csapadékosabb területeken kilúgozott podzolos erdőtalaj, mészkőfelszíneken pedig a rendzina dominál. A talaj mikroorganizmus-sűrűsége és biomasszájának tömege is lényegesen nagyobb, mint a tűlevelű erdőkben.

A lombdők Európa, Észak-Amerika és Ázsia csapadékos mérsékelt övi területeire jellemzők. A lombdők markáns függőleges tagozódást (szintezettséget) mutatnak:

- ❖ felső lombkoronaszint (12-20 m)
- ❖ alsó lombkoronaszint (5-12 m)
- ❖ cserjeszint (0,5-1 m)
- ❖ gyepter- és mohaszint (0-0,5 m)

A tűlevelű erdők

Azokon a területeken, ahol a nyár rövid és a tél hosszú, a lomblevelű erdőket a tűlevelű erdők váltják fel. A tűlevelű erdők összefüggő növényzónát alkotnak az eurázsiai és az amerikai kontinensen. A négy évszak váltakozása ugyanúgy megvan, mint a lomberdők esetében, de a nyár rövid és meleg, júniusban a középhőmérséklet akár a 20 °C-ot is elérheti, míg a tél hosszú és hideg, a hőmérséklet akár helyenként –60 °C alá is süllyedhet. A tavasz és az őszi két rövid, átmeneti időszakra korlátozódik. A csapadék összes évi mennyisége 150–400 mm, ami melegebb éghajlaton kevés lenne, de itt a gyenge párolgás miatt a víz lefelé mozog a talajban, ami kimosódást eredményez, így jön létre a jellegzetes, szürke színű, savanyú talaj, a podzol. Az altalaj tartós megfagyása miatt a kevés csapadék a vékony talajrétegben marad, s így a növények vízigényét kielégíti. A fagyott altalaj következménye a gyakori túlnedvesedés és elláposodás. (A tajga szó jelentése „swampland”, vagyis mocsárföld, ingoványos talaj.) A szervesanyag-termelés 5,5 t/év hektáronként, valamivel kisebb a trópusi esőerdők 7,3 t/éves értékénél. A talajlények aktivitása kicsi.

A tajga számos fenyőfaj hazája: lucfenyők (*Picea* sp.), ezüstfenyő (*Picea glauca*), egyéb fenyőfajok a *Pinus* nemzetségből, vörösfenyők (*Larix* sp.), balzsamfenyő (*Abies balsamea*), a lombos fák közül pedig a nyír (*Betula pendula*), a nyárfajok (*Populus* sp.), az enyves éger (*Alnus glutinosa*), a fűzfélék (*Salicaceae*) fajai tartoznak az alkotó fajok közé. A tajga gazdasági jelentősége óriási: a Földön kitermelt famennyiség 80%-a tűlevelű fajokból származik, és ennek a 70%-át a boreális zóna adja.

A tajga nagy erdőségei több nagytermetű emlősfajnak is otthont adnak: jávorszarvas (*Alces alces*), rénszarvas (*Rangifer tarandus*), karibu rénszarvas (*Rangifer caribou*), európai hód (*Castor fiber*), kanadai hód (*Castor canadensis*), a ragadozók közül a barnamedve (*Ursus arctos*), hiúz (*Lynx lynx*), halászó nyest (*Martes pennanti*), a madarak közül a kis bukó (*Mergus albellus*), a fajdkakas (*Tatrao urogallus*), a császármadár (*Bonasa bonasia*), a nyírfajd (*Lyrurus tetrix*), a szakállas bagoly (*Strix nebulosa*), a macskabagoly (*S. uralensis*) és a fenyőpinty (*Fringilla montifringilla*), a kétéltűek közül az erdei (*Rana sylvatica*) és mocsári béka (*Rana temporaria*), a kigyók közül pedig a keresztes vipera (*Vipera berus*) és az elevenesülő gyík (*Lacerta vivipara*) tipikus faj.

A tundra

A tundrán évenként váltakozik a hosszú nappalok — rövid éjszakák időszaka a hosszú éjszakák — rövid nappalok időszakával. Az évi középhőmérséklet általában 0 °C alatti, a nyár igen rövid és hideg, a nyári középhőmérséklet 10 °C alatt van. A csapadék igen kevés, évi 150-300 mm, a rövid vegetációs periódus időtartama mindössze 2-3,5 hónap. Télen a hóborítás vastagsága 10-50 cm is lehet. A tundra Eurázsia és Észak-Amerika magas északi szélességű területeire jellemző. Fajszegény biotóp, mindössze 200-300 virágos növény hazája, amelyek a sejtnedvük megfagyása ellen cukorszármazékok, pektin vagy egyéb oldott anyagok felhalmozásával védekeznek. Ezek a vegyületek a nedvek fagyáspontját nagymértékben csökkentik. A tundrán a napsugárzás igen tartós, alig zavarja meg borultság, ami lehetővé teszi a folyamatos fotoszintézist és a növények tápanyag-felhalmozását.

A tundra típusai:

- erdős tundra
- sarki fahatár
- törpecserjés és bokros tundra
- tőzeghalmos tundra
- mohás és zuzmós tundra
- hegyi tundra

A magashegységekben felfelé haladva a síkvidéken jellemző társulásokat egyre specializáltabb növényegyüttesek váltják fel, míg a hegység földrajzi szélességétől függő magasságban elérkezünk a hóborította régióhoz.

A trópusi magashegységek többé-kevésbé jól elkülöníthető régiói az alábbiak:

- hóvidék (nivális) (5000 m -)
- alpin tundra (4500-5000 m)
- puna (füves) (3500-4500 m)
- paramo (bozotos) (3000-3500 m)
- köderdők (2000-3000 m)
- hegyi esőerdők (1000-2000 m)

Hasonlítsuk ezt össze a mérsékelt övi magashegységek régióival:

- nivális régió >3000 m
- szubnivális régió 2400-3000 m
- alpin régió 1900-2400 m
- szubalpin régió 1500-1900 m
- montán régió 800-1500 m
- szubmontán régió <800 m

A mérsékelt övi magashegységek régiói nagyobb felbontásban és alulról felfelé:

- Síkvidéki (planár) régió: a klímazonális, Leggyakoribb fafaja a kocsányos tölgy.
- Dombvidéki (kollin) régió (400–600 m): az évi átlaghőmérséklet 8 °C feletti, uralkodó fafaja a kocsánytalan tölgy, délebbre a cser.
- Középhegységi (szubmontán) régió (800 m alatt): a régió felső határát a kocsánytalan tölgy elterjedésének határa jelöli ki. A társulásokban a bükk állományszerűen vagy szálszerűen elegyedve található, számos lombos elegendővel (juharok, hársak, gyertyán stb.).
- Hegyvidéki (montán) régió (800 -1500 m): felső határa egybeesik a zárt erdővegetáció határával. Uralkodó fafaja a luc, alacsonyabban elegyedik a bükk és a jegenyefenyő. Szárazabb termőhelyeken az erdőfenyő dominál, elegendőfajként pedig előfordul a hegyi szil, a hegyi juhar, a magas körös és a madárberkenye.
- Alhavas (szubalpin) régió (1500 -1900 m): a törpefák és cserjések magassága, zárt erdő már nem alakul itt ki. Hengyefenyő, a törpe boróka (*Juniperus communis* ssp. *nana*), havasi éger, védettebb fekvésekben a hangarózsa (*Rhododendron hirsutum*, *myrtifolium*) fordul elő. A szálszerűen előforduló fatemetűek között leggyakoribb a vörösfenyő, továbbá elszórtan luc- és cirbolyafenyőket találunk.
- Gyephavas (alpin) régió (1900 -2400 m): az évi középhőm. 0 °C alatt van, a fás növények csak a párnaalkotó törpecserjék (a hangafélék családjába tartozó *Rhododendron*-, *Empetrum*-, valamint *Loiseleuria*-fajok). A összefüggő gyepterületet cseresz-, sás- és szittyófajok, adják törpe, gazdagon virágzó kétszikűekkel (tárnicsokkal, kötőfűvekkel) elegyedve.
- Szubnivális régió (2400 -3000 m között): itt már nem találunk összefüggő növénytakarót. Kopár, kötőfűvel borított talajfelszín fogad ebben a magasságban gyepterülettel és párnaalkotó kétszikűekkel.

- Nivális régió (3000 m felett): ezek a gyakorlatilag egész évben hóval borított területek. Nyáron ugyan előfordulnak hómentes foltok, de moha- és zuzmóvegetáción kívül csak néhány növény él meg, pl. a gleccserboglárka (*Ranunculus glacialis*), amely az Alpokban egészen 4200 m magasságig előfordul.

Az édesvizek élővilága

Az édesvízi életközösségek nem stabil összetételű vizekben élnek, hiszen mind a tavak, mind a folyók vizének kémiai összetétele állandóan változik. A tavaknál a párolgás és a csapadék mennyisége évszakosan is előidézi a sótartalom ingadozását, a folyóvizek összetétele pedig még inkább változik, hiszen a folyó különböző földrajzi területen halad keresztül, ahol a környezeti adottságoknak — a vízgyűjtőterület közetminőségének, a klimatikus tényezőknek és az élővilág hatásának — megfelelően változik a vízminőség.

Vízi és vízparti társulások

Termelő szintjüket különböző vízben lebegő (pl. békalencse-fajok *Lemna* sp.) ill. aljzatban gyökerező (pl. tündérrózsafélék) hínárnövények adják. Elsődleges fogyasztóik a különböző egysejtű planktonok (kandicsrákok, bolharákok) és növényevő halak (ponty, compó, keszegfélék, amur, busa). A másodlagos- és harmadlagos fogyasztók közül a nagyobb vizekben előfordul a ragadozó őn, csuka, lesőharcsa, süllő. A kételtűek ritkán fejlődnek halas vizekben, inkább a sekély, gyorsan felmelegedő vizű élőhelyeket kedvelik: pl. kecskebéka, mocsári béka, sárga- és vöröshasú unka, tarajos- és pettyes göte. A madarak közül sok faj kötődik a vizekhez: fehér gólya, barna rétihéja, kormorán (kárókatona), bakcsó, szürke- és vörös gém, bölömbika, kis- és nagy kócsag. A vizek lebontó szervezetei ugyanazon főbb taxonokba tartoznak, mint a szárazföldi rekuperálók: baktériumok, férgek, puhatestűek (csak a gombák hiányoznak).

A tavak élővilága

A tavak ökológiai szempontból önálló zárt rendszert alkotnak. A Föld összes tavának vízmennyisége csekély, a szárazföldek területének csupán 1,8%-át teszik ki. Típusai klímazónánként különbözőek, mind víz-, mind hőháztartásukat tekintve. A mérsékelt övi tavak a téli évszakban befagynak, az Antarktisz tavait egész évben vastag jég borítja. A hőmérséklet növekedésével csökken a víz oxigéntartalma, ugyanakkor az élő szervezetek oxigénigénye megnő. A tavak vertikális (függőleges) metszetében megkülönböztetünk pelágikus és bentális életteret. A pelágikus térben azok az élőlények élnek, amelyeknek a fejlődési ciklusa nyílt vízfelszínhez kötött, a bentális élőlények pedig aljzathoz kötött életmódot folytatnak. A bentális régió tovább tagolható litorális (partmenti) és profundális (mélytavi) területre.

A tavak tápanyagellátottság szerint csoportosíthatók. A **disztróf tavak** jellemzője a magas humusztartalom, amely miatt barnavízű tavaknak is nevezik. Az **eutróf tavakra** bőséges tápanyagkészlet és sok szerves anyag jellemző. A szerves anyag bomlása miatt oxigénszintjük viszonylag alacsony. Vizük színe zöldessárga, szürkés, zavaros. Az **oligotróf tavak** tápanyagszegények, kevés szervesanyaggal rendelkeznek. Magas az oxigéntartalmuk, mélyek és átlátszóak, esetleg kékes-zöldes színűek.

A tavak elöregedése során megváltozik az ökoszisztéma, a feltöltődést követően fertő, illetve mocsár keletkezik. Tipikus élővilágukat járommoszatok (*Saragrum* sp.), egyéb moszatok, ágascápú rákok (Cladocera) és kerekesszék (Rotatoria) alkotják.

Az európai tavakban a part felső részén a nádzóna helyezkedik el, amelynek uralkodó faja a

nád, amit néha tavi káka vagy gyékény helyettesít. A szennyezőanyagok nagy részét ezek a nádasok tartják vissza, fontos víztisztító szerepük van. A parttól befelé haladva a hínárosok két típusa jelenik meg, az alámerülő és a rögzült hínárok. Az európai tavak jellemző növényei a nád (*Phragmites australis*), tavi káka (*Scirpus lacustris*), széleslevelű gyékény (*Typha latifolia*), keskenylevelű gyékény (*Typha angustifolia*), bodros békaszőlő (*Potamogeton crispus*), úszó békaszőlő (*Potamogeton natans*), füzéres süllőhínár (*Myriophyllum spicatum*), csavarhínár (*Vallisneria spiralis*), fehér tündérrózsa (*Nymphaea alba*), sulyom (*Trapa natans*), vízitők (*Nuphar luteum*), apró békalencse (*Lemna minor*), rucaöröm (*Salvinia natans*) és a kolokán (*Stratiotes aloides*).

A folyók élővilága

A folyóvizek sótartalma 60% karbonátból, 10% szulfátból és 5% kloridból áll. A folyók átmeneti ökológiai rendszert képviselnek, különböző adottságú ökorendszereket kötnek össze. A torkolatvidéken az ökoszisztéma állandó anyag- és energiacserében áll a tengeri ökoszisztémával. Ebben a régióban a sótartalmat széles határok között elviselő (eurihalin) fajok élnek. A mederfenék közelében az oxigénellátottság igen rossz, ennek ellenére számos puhatestű és örvényféreg faj kedveli ezt az élőhelyet. A folyók környezeti terhelése a múlt században jelentősen megnövekedett, és az antropogén hatás következtében a faji összetétel is sok helyen megváltozott.

A folyóvizek egyes szakaszait, attól függően, hogy a forrás és a torkolat között milyen magasságú és esésű részen járunk, az alábbi osztályokba szoktuk sorolni:

A **pisztrángos régió** a felső szakaszon, a forráskilépést követően található. Vize oxigénben rendkívül gazdag, egész évben egyenletesen hideg, a patakágy pedig általában kavicsos, köves.

A **pórhak által betelepült régió** jellemző faja a pórhal (*Thymallus thymallus*), patakágya homokos, a víz hőmérséklete magasabb.

A **márnarégió** jellemző faja a márna (*Barbus barbus*); gyorsfolyású szakasz, ahol homokos vagy iszapos a folyóágy.

A **dévérkeszgek zónájában** a legjellemzőbb halfaj a dévérkeszeg (*Abramis brama*). Ez a folyónak egy lassú folyású szakasza, ahol a víz zavaros, oxigénszegény és meleg. Bentális élővilága igen gazdag, és sajátos madárfajok is köthetők ehhez a területhez, pl. a vízirigó vagy a mexikói rigó.

21. Ember a bioszférában (Vida, 2001) (Dr. Horváth Balázs)

Széchenyi István Egyetem, Győr

21.1. A bioszféra története az ember előtt

A világegyetem korát 13,7 milliárd évre becsülik. A 100 milliárd csillagból álló Tejútrendszer maga is csak egyike a létező 100 milliárd galaxisnak. Napunk mintegy 5 milliárd éves, a Föld korát pedig 4,5-4,6 milliárd évre tesszük.

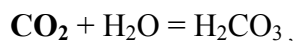
Az égitestek korának milliárd éves nagyságrendje elődeink számára nem mindig volt ilyen egyértelmű. II. Hillél zsidó rabbi az i.sz. IV. században a teremtés napjának i.e. 3761. október 7-ét tartotta. Iulius Sextus Africanus két-háromszáz évvel korábban az i.e. 5502. évben határozta meg a teremtés dátumát, míg az i.sz. 412-ben meghalt Panodórosz szerint Ádámot i.e. 5493. augusztus 29-én teremtették. Luther Márton 1540-ben úgy hitte, hogy az i.e. 3960-ban teremtett világ 6000 éves fennállásából 5500 év már eltelt. Sőt, azt gyanította, hogy a végítélet ennél is közelebb van, mert az isten a még hátralevő időt az emberek bűnös volta miatt meg fogja rövidíteni. A legjobba James Ussher írországi érsek számítása ismert, aki a biblia szereplőinek életidejéből visszaszámolva i.e. 4004. október 26. délelőtt 9 órára tette a világ keletkezésének időpontját (Glasenapp, 1972).

Megjegyezzük, hogy a régi korok emberei sem gondolkodtak mindenhol ennyire szűkös időtávlatban: a hindu vallások egyik fő ágának követői, a visnuiták szerint a jelenlegi világkorszak 3 893 112 évvel ezelőtt kezdődött (a 2010. évhez képest). Eszerint az elképzelés szerint még 426 888 van hátra a világkorszakból. Indiában az istenek is halandók, Indra hetvenegy világciklust átívelő élete például 306 720 000 évig tart. Ez ugyanakkor csak 48 percnél felel meg Brahma életében. Brahma egy napjának leteltekor összeomlik a világ, majd másnap újjáalakul. Mire Brahma élete 120 évesen véget ér, 795 billió év telik el (ez a világ általunk becsült korának kb. az 58 000-szerese). És ez Visnu életében csak egyetlen nap, amelynek elteltével Brahma is újjászületik (Küng-Stietencron, 1984).

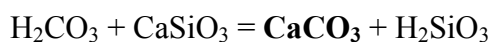
A XIX. században tudományosan alátámasztott vélemények is napvilágot láttak a Föld korával kapcsolatosan. Lord Kelvin, a Glasgow-i Egyetem híres fizikusának számítása szerint — aki azt feltételezte, hogy a Föld kialakulásakor egy 3850 °C-os folyékony gömb volt, és folyamatos hőkisugárzással hűlt le a mai hőmérsékletére — bolygónk legfeljebb 100 millió éves lehet. (Kelvin számítása helyes volt, de ő még nem tudhatott a magmában lezajló maghasadásos folyamatokról, amelyek fűtik a Föld belsejét.)

Bolygónk öslégköre (ún. gőzatoszférája) a kőzetek felületén kötött gázok kiszabadulásából és a jégmeteoritok elpárolgásából keletkezett, és vízgőz, szén-dioxid és nitrogén mellett CO₂-ot is tartalmazott. 4 milliárd évvel ezelőtt aztán Földünk annyira lehűlt, hogy a gőzatoszférából kicsapódhatott a víz. A magas hőmérsékletet addig a kisbolygókezdemények és a meteoritok folyamatos becsapódása tartotta fenn, ám ezek idővel ritkábbá váltak, ahogy Naprendszerünk Nap körül keringő anyaga nagyrészt bolygókká állt össze. A bolygó további hűlését — sőt, jéggé fagyását — a különleges összetételű légkör üvegházhatása akadályozta meg. Akkoriban a légkör CO₂-koncentrációja a mainak ezer- vagy tízezerszerese volt (kb. 10 atmoszféra nyomás mellett), ami a Naphoz hasonló csillagok termionukleáris reakciójának lassú beindulása és az akkori Nap ebből következő 25%-kal kisebb teljesítménye miatt nem okozott túlmelegedést: négy milliárd éve bolygónk felszíni hőmérséklete csak mintegy 85 °C lehetett. Ekkor azonban még valószínűleg nem volt élet, amelynek fennmaradását ezek a mostoha viszonyok próbára tették volna.

A körülmények kellemesebbé válásához a légkör széndioxid-tartalmának csökkennie kellett. Eleinte ez szervetlen kémiai folyamatok volt köszönhető. A levegő szén-dioxidja és a víz szénsavvá egyesült:



majd a szénsav és a szilikátos kőzetek egymással reakcióba lépve kalcium-karbonátot és kovasavat hoztak létre:

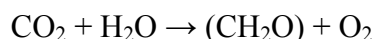


A folyamatok lényege szempontunkból az, hogy a légkör CO_2 -ja CaCO_3 -tá alakulva elhagyta a légkört. Így az üvegházhatás gyengébb lett, a Föld hőmérséklete pedig alacsonyabb.

21.2. Az élet megjelenése — és túlélése az éghajlati szélsőségek időszakában

Az élet a cseppfolyós víz 4 milliárd évvel ezelőtti megjelenése és a 3,3-3,5 milliárd éves első (kövületek által bizonyított) életnyomok közötti időben jelent meg Földünkön. Feltételezésünk szerint mintegy 3,5-3,8 milliárd éve jöhettek létre az első baktériumszerű élőlények. Ezen első szervezetek létrejöttét az abiotikus kémiai folyamatok által létrehozott bonyolult szerves vegyületek megjelenése és fokozatos feldúsulása tette lehetővé a vizekben. Az első élő sejtek valószínűleg ugyanazokkal a szerves vegyületekkel táplálkoztak, mint amelyekből létrejöttek, tehát heterotrófok voltak. (Az anaerob körülmények miatt a szerves vegyületek lebontásához természetesen nem használhattak fel oxigént, ezért kénytelenek voltak viszonylag szerény felszabaduló energiámmennyiséggel beérni.) Az is lehet azonban, hogy kemoautotrófok (kemoszintetizálók) voltak, azaz egyes, a környezetükben megtalálható szervetlen vegyületeket vitték hőtermelő reakcióba, majd a folyamat során felszabaduló energiát használták fel anyagcserefolyamaik energiaigényének fedezésére.

Idővel — talán a vizekben oldott szerves anyagok fogytával — megjelentek olyan élőlények, amelyek a napfény energiájával szén-dioxidból és vízből szénhidrátot és oxigént tudtak előállítani az alábbi egyenlet szerint:



A folyamatban keletkező szénhidrát a sejt számára hasznos anyag volt, hiszen annak továbbalakításával állította elő azokat a vegyületeket, amelyekből sejtje felépült. A szintén a termékek között szerepelő oxigén azonban csak melléktermék, amely nemcsak felesleges, hanem az őt előállító sejtre sokszor még mérgező is volt. Később azonban kifejlődtek azok az élőlények, amelyek saját vagy a környezetből felvett szerves anyagaikat oxigén felhasználásával bontották el. E folyamat lényege ugyanaz, mint amit a fenti egyenlettel leírtunk, csak az ellenkező irányban megy végbe, szerves anyagokból és oxigénből víz és szén-dioxid jön létre. Ennek a fajta anyagcserének az előnye a már korábban megjelent (és az előző bekezdésben említett) anaerob anyagcserével szemben az, hogy folyamata során ugyanannyi szerves anyagból tízszer annyi energia szabadul fel. Az aerob sejtek hatásfoka egy nagyságrenddel nagyobb, mint az anaeroboké.

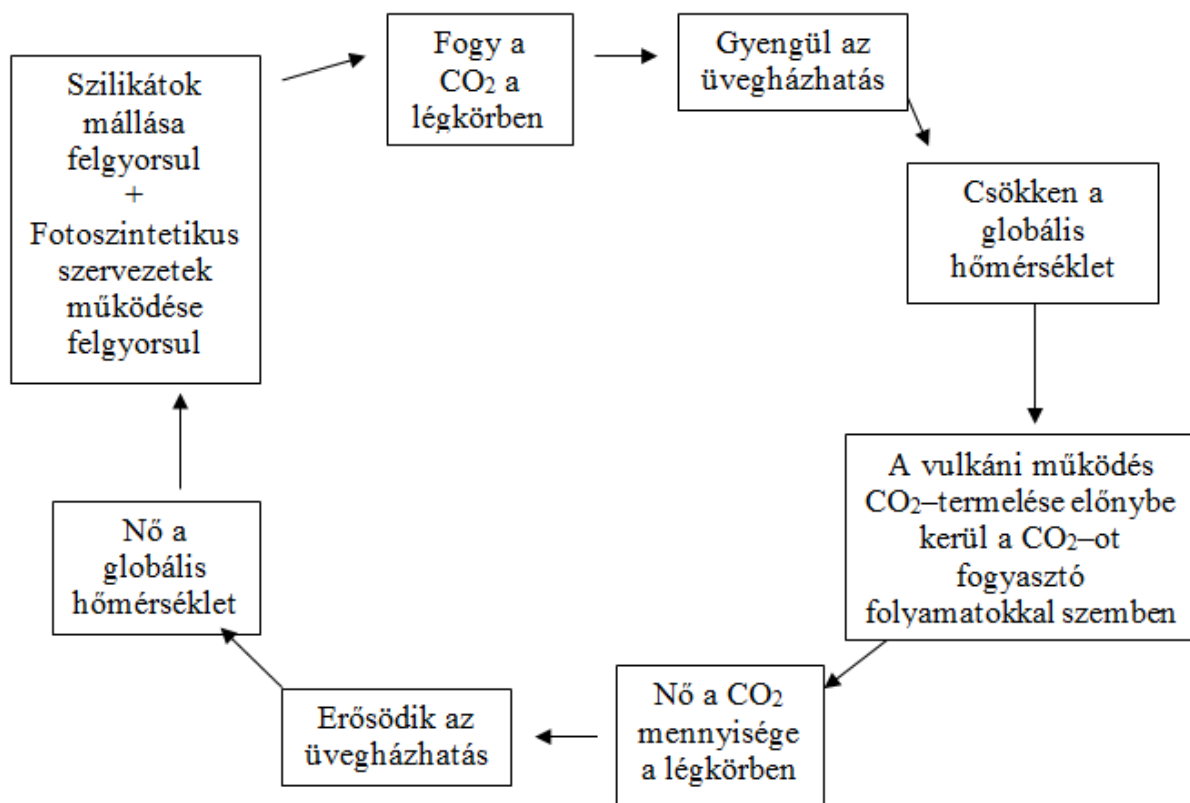
Visszatérve a fotoszintetizáló sejtekhez, a felszín elérő erős ultraibolya sugárzás miatt az első élőlények nemcsak a szárazföldön nem élhettek, hanem még 10 méternél sekélyebb vízmélységben sem maradhattak fenn. Ekkor ugyanis nem volt még annyi oxigén a légkörben,

hogy ózonná (O_3) továbbalakulva és ózonpajzsot alkotva hatékony védelmet nyújthasson a Napnak az élőlények örökítőanyagára rendkívül káros UV-B sugárzása ellen. Tíz méteres vízréteg azonban a napsugárzás fotoszintetikusán aktív komponensét is eléggé elnyeli, így a fotoszintézis sebessége, és vele a légkör oxigéntartalmának növekedése kezdetben meglehetősen kicsi volt.

Ha lassan is, a légkör CO_2 -tartalma csökkenni, O_2 -tartalma pedig növekedni kezdett, a széndioxid-molekulák szénatomjai pedig az élőlények szerves anyagaiba záródtak be. Az óceánok tíz méter körüli vékony vízrétegében (ennél kisebb mélységben túl erős volt az UV-B, alatta viszont túl gyenge a napfény) azonban nem jöhetett létre akkora élőlénytömeg, amely a légkör hatalmas CO_2 -készletének majd' összes széntartalmát magába gyűjthette és szerves anyagaiban megkötve tarthatta volna. Talán még annyi sem, amennyi ahhoz kellett volna, hogy a felszabaduló oxigénből elegendően hatékony ózonpajzs jöhessen létre. Az elpusztuló sejtek szerves anyagai ugyanis a fenti egyenlet szerinti módon (jobbról balra olvasva) lebomlanak, és széntartalmuk CO_2 -dá alakulva újból a levegőbe kerül. Egy fotoszintetizáló élőlény testének CO_2 -dá és vízzé való lebomlásakor ugyanannyi oxigén használdik fel, mint amennyi a felépülésekor, egy élet fotoszintézise során összesen keletkezett, ezért akárhányszor épül fel és bontódik le egy fotoszintetizáló test, a légkör oxigéntartalma nem változik. Csak az adott pillanatban a bolygón meglévő szerves anyagok összes mennyisége számít: ez mutatja meg a légkör oxigéntartalmát, mert minden egyes szerves szénatomnak a légkörben egy oxigénmolekula felel meg.

Tehát nem feltételezzük, hogy a vékony vízrétegben akkora élő tömeg halmozódott fel, aminek ellenértékeként a légkör oxigénnel töltődhetett volna fel. A légkörben idővel mégis felszaporodott az oxigéngáz. Ezt az tette lehetővé, hogy a fotoszintetizáló élőlények jelentős része elpusztulását követően a mélybe süllyedt, ahol nem bontódott le, hanem hosszú időre kikerült a körforgásból. Így az az oxigénmennyiség, amely a lesüllyedt élőlények élete során, testük fotoszintézissel való felépülésekor a levegőbe került, az nem használdott fel testük lebontására, hanem a légkörben maradt. Így az elpusztult fotoszintetizálók folyamatos lesüllyedésével az oxigén felszaporodhatott a légkörben.

Két folyamatot is láttunk az előbbieken, amely a légköri CO_2 mennyiségét hatékonyan csökkenteni képes: a szilikátos kőzetek mállását és a fotoszintetikus szervezetek mélybe süllyedését. Szerencsére a két folyamat lelassult, mielőtt a szén-dioxid koncentrációja túl alacsonyra csökkent volna. A CO_2 fogyása miatt ugyanis gyengült az üvegházhatás, aminek eredményeképpen jobban lehűlt a Föld, a kisebb hőmérséklet pedig visszafogta mindkét CO_2 -elvonó folyamat sebességét. A sebességek ugyan nem csökkentek egészen zérusra, de relatív fölénybe kerülhettek olyan folyamatok (vulkánosság), amelyek viszont CO_2 -ot juttatnak a légkörbe. Így egy negatív visszacsatolós folyamat jött létre, amely a Föld hőmérsékletét egy többé-kevésbé állandó szinten tartotta (**65. ábra**):



65. ábra: A fiatal Föld hőmérsékletét befolyásoló főbb hatások dinamizmusa

A vázolt negatív visszacsatolásnak az élet fenmaradásában nagy jelentősége volt. A bioszféra már az élet korai szakaszában komoly éghajlatbefolyásoló tényezővé nőtte ki magát.

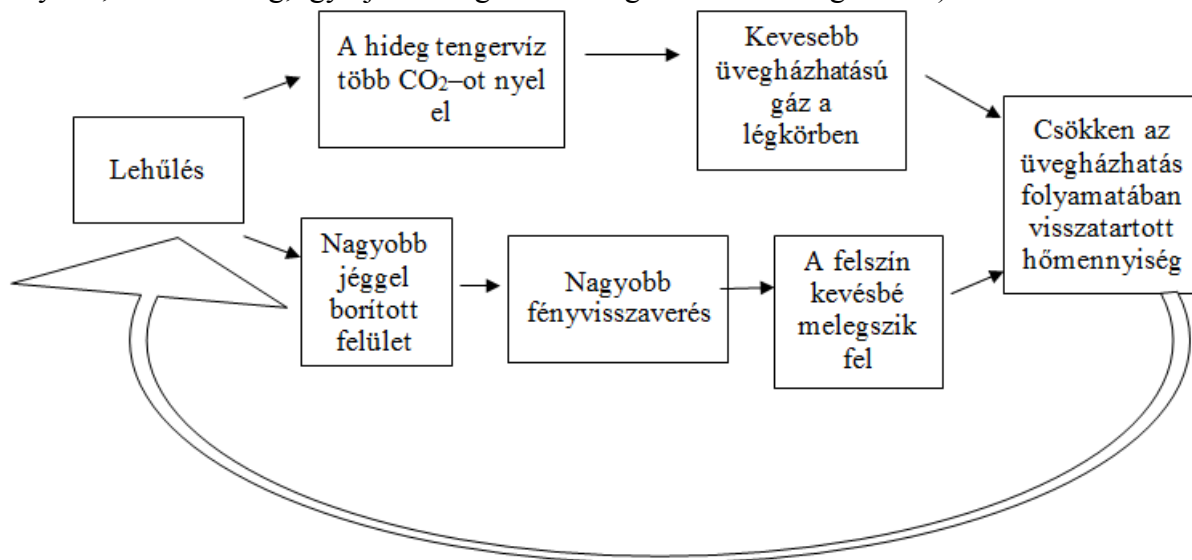
21.3. Az oxidáló bioszféra kialakulása

A fotoszintetizáló élőlények elterjedésével a korábbi fejezetben bemutatott folyamatoknak köszönhetően a kezdetben oxigént szinte egyáltalán nem tartalmazó légkör — és a vizek egyre mélyebb rétegei is — jelentős oxigéntartalomra tettek szert. Az akkori élőlények számára ez kezdetben gondot okozott, hiszen oxigénmentes körülményekhez alkalmazkodott, szigorúan anaerob szervezetek voltak. A fotoszintézisük melléktermékeként keletkező elemi oxigén az ő szempontjukból ugyanolyan szennyezőanyag volt, mint nekünk az autók kipufogógázai. A két helyzet között azonban van egy igen jelentős különbség: míg az autók kipufogógázainak koncentrációja mindössze 100 év alatt érte el a mai egészségkárosító szintet (házánkban évente 5500 ember hal meg a közlekedés okozta légszennyezés miatt), az oxidáló bioszféra kialakulása több százmillió évet vett igénybe (és tart ma is). Az oxigén felszaporodása tehát milliószor lassabban történt, mint a mai szennyező anyagoké, olyan időskálán, amelyen az élőlényeknek bőven volt lehetőségük az alkalmazkodásra.

Az oxidáló bioszférában az élet felgyorsult. Az ózonréteg vastagodása miatt vékonyabb vízréteg is elegendő lett az ultraibolya sugarak kiszűrésére, ezért az élet közelebb költözhetett a víz felszínéhez, ahol az erősebb napsugárzás intenzívebb fotoszintézist tett lehetővé. Az intenzívebb fotoszintézis ugyanakkor az ózonréteg további megerősödését vonta maga után, ami a felszínhez még közelebbi vízrétegek meghódítását tette lehetővé (pozitív visszacsatolás). Az oxigént felhasználó lebontással (légzéssel) felszabaduló nagy energia a heterotrófok sikerességét is jelentősen növelte, és az ózonrétegnek köszönhetően az ő életük is nőtt. E folyamatok eredményeképp az 1,6 milliárd évvel ezelőtről származó

kövéletek tanúsága szerint az algák (főként az akkor domináló kékbaktériumok) mennyisége jelentősen megnövekedett.

Az élő biomassza – és a tengerek mélyére süllyedt maradványaik – tömege olyan mértékben felszaporodott, ami a légkör CO_2 -tartalmának nagymértékű csökkenéséhez vezetett. Ez pedig az üvegházhatás gyengülését, végső soron pedig a globális hőmérséklet csökkenését bonta maga után. A korábban bemutatunk egy egyszerű negatív visszacsatolási modellt, amely a Föld hőmérsékletének élőlények számára kedvező intervallumban tartásáról gondoskodott. Ez a gondoskodás azonban korántsem volt tökéletes, előfordulhattak olyan esetek, amikor a hőmérséklet kiszaladt abból a tartományból, aminek kezelésére a rendszer méretezve volt. Valójában legalább két ilyen túllengéses eset játszódtott le bolygónkon az elmúlt 700 millió évben. A CO_2 fogyása és az üvegházhatás gyengülése miatt a bolygó annyira lehűlt, hogy a sarkok környékén jégtakaró jelent meg. A hó és jég – jó fényvisszaverő sajátosságánál fogva – nagy területeken visszaverte a Nap fényének nagy részét a világűrbe, amivel tovább csökkentette a felszín felmelegedését, és ezzel az üvegházhatást. Ennek hatására további lehűlés következett be – ez viszont újabb területek eljegesedését vonta maga után. A pozitív visszacsatolási folyamat az egész Föld megfagyásához vezetett több száz méter vízmélységig. (Ehhez járult még kezdetben az is, hogy a hideg tengervíz több CO_2 -ot tudott elnyelni, mint a meleg, így újabb üvegházhatási gázt vont ki a légkörből.)



66. ábra: A Hógolyó Föld állapotot előidéző tényezők öngerjesztő működése

A „Hógolyó Föld” korszak felfedezése az ezredforduló tudományos szenzációja volt. A kutatók valóban azt találták, hogy még az Egyenlítő környékén is hatalmas gleccserek működtek ebben az időszakban, amelyek hordaléka az óceánokban vastag réteget hagyott hátra. Meglepő módon a $-50\text{ }^\circ\text{C}$ -os globális hőmérséklet viszonylag hirtelen $+50\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőségbe váltott át (a folyamatot a vulkáni tevékenység CO_2 -ja és a növekvő hőmérséklettel a légkörbe párolgó, szintén üvegházhatási vízgőz fordíthatta ellentétjére). Hasonló átváltás bolygónk története során legalább még egyszer megtörtént a százmillió éves kritikus időszak alatt. Az élővilág mindkét végpontban szinte teljesen kipusztult a Földről. A nagy hideg nemcsak a biokémiai folyamatok lelassításával hatott gátlóan az életre, hanem az eredményeképpen kialakuló vastag jégpáncél a vízi szervezetek fotoszintézisét és a heterotrófok légzését is lehetetlenné tette, mivel elzárta az oxigént tartalmazó légkörtől a vizet. Ilyen körülmények között zömmel csak a kemoautotróf élőlények, a hőforrások életközössége és a felszínközeli jégben élő kékbaktériumok maradhattak fenn. Innen indult bolygónk élővilága újra robbanásszerű fejlődésnek mintegy 600 millió évvel ezelőtt.

21.4. Az élet kibontakozása

A XX. század második felében talált, a Hóglyó Föld kora előtről származó kőületek alapján úgy gondoljuk, hogy soksejtű élőlények már 1,5 milliárd éve is léteztek, de szilárd vázuk hiánya miatt nem nagyon fosszilizálódtak. Ha ugyanis a 600-700 millió évvel ezelőtti események élőlénypróbáló körülményei minden soksejtű forma elpusztulását okozták volna, a megmaradt egysejtűekből nem alakulhatott volna ki ilyen hirtelen az a csodálatosan sokszínű állatsereglet, amelynek maradványaival az 570 millió éves kőzetekben találkozunk. A Hóglyó állapotú Föld refúgiumaiban (barátságosabb mikroklimájú menedékhelyein) tehát soksejtű szervezeteknek is át kellett vészelnük a kivételesen zord százmillió éves időszakot.

Az élővilág robbanásszerű kibontakozását legfőképpen a pozitív visszacsatolással erősödő fotoszintézis tette lehetővé, melynek eredményeképpen a légköri O_2 -koncentráció hamarosan elérte a **Pasteur-szintet** (a mai koncentráció 1%-át). E szint felett már lehetséges az oxigén légzés.

A földi élet történetének igen érdekes vonása, hogy az élet kialakulása után 2-3 milliárd évig csupán a tengerben élő, mikroszkópikus lények formájában létezett, és az élővilág mai változatossága csupán az utolsó hatszáz millió (legfeljebb 1,5 milliárd) éves fejlődés eredménye. Ennek alapját azonban ez egysejtű fotoszintetizáló kétmilliárd éves tevékenysége teremtette meg azzal, hogy egy, a későbbi életformák számára kedvező összetételű légkört hozott létre. Az élet szárazföldre lépéséhez egy hatékony ózonpajzs kellett, amelynek keletkezését az tette lehetővé, hogy **a légköri oxigénszint elérte a mai egytizedét**.

A szárazföldet meghódító fotoszintetizáló élőlényeknek több új kihívással is szembe kellett nézniük. Először is védekezniük kellett a kiszáradással szemben. És hogy ne csak a felületeket egyetlen rétegben borító szerves bevonat alakjában létezhesse, a felszín fölé emelkedő szervek tartását lehetővé tevő szilárdító szerkezeteket kellett kialakítaniuk, és meg kellett oldaniuk ezek víz- és ásványianyag-utánpótlását is (szállítószövetekkel). E kihívásoknak a hajtásos növények feleltek meg a legjobban.

A szilárdító szövetek képzése sok energiát igényel, ezért a növényevő állatok a fotoszintézissel előállított szerves vegyületeknek csak egy kisebb részét fogyaszthatták el, mint ami a vízi táplálékhálózatokra jellemző. A szárazföldi életközösségek tömegének ezért kisebb hányadát képezi az állatok biomasszája, mint a tengeri életközösségekben, ahol a gyorsan szaporodó algák bruttó produkciójának csak egy kis töredékét adja a légzésre „elpazarolt” szerves anyag, nagyobbik része a gyors szaporodásra — és a fogyasztók táplálására — fordítódik (más szóval a szárazföldi életközösségekben a fogyasztási hatékonyság /FH/ kisebb, mint a tengeriekben).

A szárazföldek benépesítése 400-500 millió évvel ezelőtt zajlott le, 300 millió évvel ezelőtt pedig már hatalmas erdőségek léteztek. A karbonkori erdők fáiból keletkezett kőszén ma is az egyik legfőbb energiaforrásunk. Az élet súlypontja lassan a tengerekből a szárazföldekre helyeződött át: ma itt él a fajok többsége, és a szárazföldeknek a területegységre eső nettó elsődleges produkciója (NPP) is nagyobb. A fajszám növekedéséhez hozzájárult, hogy a szárazföldek élőhelyei sokkal változatosabbak, mint a víziek, ahol a víz hőkiegyenlítő szerepe jobban érvényesül. A 300 millió évvel ezelőtti erdők növényvilága még szinte ugyanolyan mindenütt, ám százmillió évvel később jelentős fajösszetételbeli különbség figyelhető meg az északi és a déli félgömb flórájában. Az erdők léte a talaj létét is feltételezte, egyszersmind elő is segítette annak létrejöttét és fejlődését. A talajok anyaga folyamatosan keletkezett, ugyanakkor mosódott is ki a folyókba, onnan pedig a tengerekbe, így a szárazföldi élővilág a vízi flóra számára jelentős tápanyagutánpótlást biztosított. Mindezek eredményeképpen az elemek biogeokémiai ciklusai élénkebbé és változatosabbá váltak. Az élőlénytársulások

regionálisan jellemző együttese, a biomok gazdagabbak lettek, és egyre jobban elkülönültek egymástól.

A vázolt folyamatok eredményeképpen a fajok száma nagymértékben megnőtt. Időszakunk azonban ismét nem volt mentes olyan folyamatoktól, amelyek a diverzitás csökkenésével jártak. Az utóbbi 500 millió évből mintegy öt nagy kihalási hullámról tudunk, amelyek közül a 250 millió évvel ezelőtti volt a legnagyobb. Ekkor még a tengeri fajoknak is kiveszett a 95%-a. A legnevezetesebb kihalási hullám pedig 65 millió évvel ezelőtt indult útjára: okozója pedig egy 10 km átmérőjű aszteroida volt, amely 5 km/s-es sebességgel (a hang sebessége mindössze 0,3 km/s) csapódott be a mexikói Yucatán-félsziget peremébe. A felszabaduló óriási energia porba és hamuba takarta az összes szárazföldet, óriási erdőtüzek keletkeztek mindenütt, 150 méteres szökőár söpört végig a tengereken (a 2011. március 11-i japán cunami hullámai „mindössze” 7-10 métereseek voltak), és a napot eltakaró füst és por miatt két évre nukleáris tél köszöntött be. Az élőlényeknek az a kisebbsége is, amelyik ezt az irtatlan pusztítást túlélte, feltehetően megsüketült a robbanás zajától (Dawkins, 2004). A légkört megtöltő szennyeződések okozta globális sötétségben hónapokra fagypontra alá süllyedt a szárazföldek hőmérséklete, a fotoszintézis pedig gyakorlatilag leállt, elvágva a fogyasztói szintek tápanyagutánpótlását is. A hideg azonban idővel felmelegedésbe fordult, mert a becsapódáskor a helyi mészkőréteg (CaCO_3) égetett mésszé (CaO) és szén-dioxiddá bomlott a magas hőmérséklet miatt, másrészt az elégett nagymennyiségű biomassza is növelte a légkör CO_2 -tartalmát és ezzel üvegházhatását.

Az előbbieken bemutatott földtörténeti események korunkra nézve is tanulsággal szolgálnak. Az egyik ilyen tanulság, hogy a sokelemű, rendkívül bonyolult rendszerek (a bioszféránál bonyolultabbat ebben a mérettartományban nem ismerünk) viselkedése megjósolhatatlan. Negatív és pozitív visszacsatolások folyamatok működnek egyszerre és egymással összefonódva, és nem tudhatjuk, hogy mikor melyik válik közülük dominánssá. A Föld történetében jó pár példa van arra, hogy valamilyen hatás túlsúlyba kerülése miatt egy öngerjesztő (pozitív visszacsatolások) folyamat szélsőséges irányba vitte el a bolygó éghajlatát, ami végül az élővilág szinte teljes kipusztulásához vezetett. A másik tanulság, hogy Földünk légkörét és éghajlatát a múltban nem pusztán szerves fizikai és kémiai folyamatok alakították, hanem abban a bioszféra is meghatározó szerepet játszott. Sőt, a földi bioszféra ez éghajlatot nemcsak kialakította valamikor a múltban, hanem szerteágazó működéseivel aktívan fenntartja — ma is.

21.5. Az ember megjelenése a bioszférában. A hódítások kora.

A molekuláris genetikai vizsgálatok szerint az ember legközelebbi ma is élő rokona a közönséges csimpánz (*Pan paniscus*) és a törpecsimpánz (*Pan troglodytes*). (Ezekkel genetikai hasonlóságunk olyan fokú, hogy egy elfogulatlan kutató valószínűleg egy genusba sorolna bennünket /Diamond, 1992/.) A csimpánzok és az ember leszármazási vonala kb. 7 millió éve vált el egymástól. Közös őseink — az elválás után még sokáig — Afrikában éltek, a csimpánzok mai is kizárólag e kontinens lakói.

Az ember korábbi őseinek rendszertana még vitatott, az azonban bizonyos, hogy az 1,9 millió évvel ezelőtt megjelent *Homo erectus* már „ember volt”, és mindenképpen kiérdemli a *Homo* genusnevet. Bár Afrikában alakult ki (ottani populációit, főleg angol nyelvterületen, gyakran *Homo ergaster*ként tartják nyilván), 1,7 millió évvel ezelőtt már a mai Grúzia területén is élt, 1,1 millió éve pedig Kelet-Ázsiában is megjelent. A *Homo erectus* folyamatos átalakulás során *Homo sapiens*-szé vált. A két faj közötti határt 600 000 évvel ezelőttre teszi a kutatók többsége (Takács-Sánta, 2008).

Az ember elterjedése és egyedszámának növekedése eleinte lassan ment, és a bioszféra működésében nem okozott különösebb zavart. Minden faj átalakítja kisebb-nagyobb

mértékben azt az élőhelyet, amelyet lakik. Azokat a fajokat, amelyek ezt különösen nagymértékben teszik, ökoszisztéma-mérnököknek nevezzük (ilyen pl. a hód). Az ember viszont minden ismert fajon messze túltesz ebben a tekintetben — olyannyira, hogy már saját fennmaradását is veszélyezteti.

Érdekes módon fajunk bioszféra-átalakító tevékenysége nem egyenletesen nőtt az időben, hanem időről időre „ugrásokat” végzett, hogy aztán átalakító tevékenységét egy magasabb szinten folytassa. Ezeket az ugrásokat nagyrészt Takács-Sánta (2008) és Diamond (1992, 1997) műveire támaszkodva ismertetjük.

Az első ugrás a **tűzhasználat**hoz kötődik. Ideje kérdéses: a *Homo sapiens* 250 ezer évvel ezelőtt már biztosan használt tüzet, de mivel már 500 ezer éve is előfordult a rendkívül hideg sarkkörön túli területeken, valószínűsíthető, hogy tűzzel való ismeretségünk negyedmillió évnél jóval korábbi időpontra tekint vissza. (Egyes, meg nem erősített adatok szerint már a *Homo erectus* is használhatott tüzet, akár már 1,8 millió évvel ezelőtt is). A tűzhasználat elsajátítása lehetővé tette a növényzet felégetését (pl. a nagytestű zsákmányállatok egy helyre terelésére vagy a ragadozók távoltartására), a hideg éghajlatú területeken való elterjedést, valamint a nyersen mérgező táplálékok elfogyasztását (főzés). Mindezek az ember további terjedését és a népesség növekedését okozták.

A második ugrás a **nyelv** kialakulásának köszönhető. Nem tudjuk, hogy ez mikor történt, és az is lehet, hogy nem hirtelen esemény volt, hanem évszázadok alatt lezajló folyamat. A nyelv kialakulásának első elfogadott bizonyítékai 40 ezer évvel ezelőttre nyúlnak vissza, és egybeesnek az első művészi alkotások (ékszerek, barlangrajzok, agyagedények) korával (egyszersmind ezek képezik a nyelv bizonyítékait). Az egybeesés nem véletlen, hiszen a művészet is feltételezi a populáció minden tagja által ismert egyezményes jelképek ismeretét. A nyelv sokkal korábbi kialakulása sem kizárt, hiszen a *Homo sapiens sapiens* alfaj legkorábbi, mintegy 130 ezer éves maradványai is arról tanúskodnak, hogy ezek a korai egyedek is rendelkeztek már a beszédhez szükséges száj- és gégeberendezéssel, valamint agymérettel.

A nyelvnek köszönhetően az emberek közötti kommunikáció hatékonyabbá vált, komplexebb együttműködést és hosszabb távú tervezést téve lehetővé. A nyelv kialakulása a gondolkodás további fejlődésére is pozitívan hatott vissza. Új típusú vagy új anyagokból (pl. csontból) készült szerszámok jelentek meg, amelyekkel a hatékony kommunikációt használva őseink a nagytestű állatok vadászatában is komoly sikereket könyvelhettek el. Mindezek következménye volt a bioszféra-átalakításban ekkor tapasztalható ugrás.

A tűz, a nyelv, a fejlett gondolkodás, az új eszközök és az új vadászati módszerek birtokában a *Homo sapiens sapiens* egyes populációi 100 ezer évvel ezelőtt elhagyták Afrikát, és fajunk csakhamar megvetette a lábát a Föld legtöbb szárazföldjén. Kelet-Ázsiában már 67 ezer éves leleteit is találták a modern embernek. Ausztráliát és Új-Guineát (amelyek akkoriban egybefüggő szárazföldet alkottak) 50-60 ezer éve érte el több mint 100 km-es hajóút után, míg Észak-Amerikába — a Bering-szoroson keresztül — 13-15 ezer évvel ezelőtt jutott el, ahonnan viszonylag rövid idő (talán ezer év) alatt benépesítette az egész kontinenst. Az európai hódítók XV. századi amerikai megjelenésekor az indiánok népessége becslések szerint 10-18 milliós lehetett Észak- és Dél-Amerikában együttvéve.

A sarkkörön túli terjeszkedést — és a Bering-szoroson való átkelést — a csontból készült tük és a velük varrt ruhák és sátrak tették lehetővé, melyek legkorábbi leletei Európában kerültek elő, és 40 ezer évvel ezelőttről származnak. A sarkkör átlépésének első bizonyítékai 36 ezer évesek.

Az új területek benépesítése emberi és állati részről is sok áldozatot követelt. A hódító modern ember, a *Homo sapiens sapiens* nagyjából kiszorította vagy elpusztította a már régebb óta ott élő emberpopulációkat (pl. a *Homo erectus*), kisebbrészt keveredett velük (pl. a *Homo sapiens neanderthaliensis*-szel). Az eredmény mindenesetre az lett, hogy a modern

emberen kívül az összes értelmes emberféle kipusztult a Földről. Hasonló sorsra jutott az Ausztráliában és Amerikában élő nagytestű gerincesek többsége, amelyek — feltehetően nem véletlenül — pont akkor haltak ki, amikor őseink ott megjelentek. A mai afrikainál lényegesen nagyobb termetű, talán 500 kg-ot is elérő amerikai oroszlánt, valamint a szintén e kontinent (is) benépesítő amerikai mamutot, masztodot, gepárdot, a háromtonnás földi lajhárt, a medve nagyságú hódót, a kardfogú macskát, tevét, lovat és egyéb impozáns fajokat mi már csak kövületekből ismerhetjük. Ugyanígy jártak Ausztráliában az óriáskenguruk és az erszéyes oroszlánok, Európában a gyaljas orrszarvú és az óriás szarvas, Krétán és Cipruson a törpe elefánt és a törpe víziló, Dél-Afrikában az óriás bivaly és óriás fokföldi ló, Új-Zélandon az óriás moa. A felsorolást sokáig lehetne folytatni. A modern ember hódításai nyomán olyan pusztítást végzett a nagytestű faunában, amire a dinoszauruszok 65 millió évvel ezelőtti — és teljesen más okból bekövetkezett — kihalása óta nem volt példa (Diamond, 1992). Valószínű, hogy először az önmagához hasonló — és szintén többé vagy kevésbé értelmes, de mindenképpen könnyen elejthető — főemlősfajokat pusztította ki vagy ritkította meg, és csak utána tért át egyéb nagytestű zsákmányállatokra (Csányi, 1994), amelyek közül sok faj kihalását a *Homo sapiens sapiens* fejlett vadászmodszereivel és fegyvereivel akaratlanul okozta.

A nagytestű gerincesek vadászata nemcsak az új vadászati eszközök és módszerek alkalmazása lehetett ennyire „sikeres”, hanem azért is, mert a távoli kontinensek *Homo sapiens*hez nem szokott faunája nem látott fenyegetést az emberben. Az Egyesült Államok ember által ritkán háborgatott vidékein a vadállatok ma sem mutatnak félelmet, hanem meglepően szelíden viselkednek az emberrel szemben. Afrikában nagyvadjai azért maradhattak fenn, mert az ember is a kontinens gyermeke, a vadakkal együtt evolválódott, és ahogy őseink egyre tökéletesebb vadászati technikákat fejlesztettek ki, az állatoknak volt idejük alkalmazkodni hozzá. A többi kontinens megafaunája (nagytestű állatai) viszont rögtön egy hatékony módszereket alkalmazó, hatékony kommunikációt folytató modern emberrel szembesültek, amelynek gyorsabban áldozatul estek, mint hogy megfelelő „ellenintézkedéseket”, evolúciós stratégiákat fejleszthettek volna ki. Az őslakos megafauna és az új hódító faj közötti küzdelem talán csak néhány száz évet vehetett igénybe, és mindig az új faj javára dőlt el.

A harmadik nagy ugrást a **mezőgazdaság** feltalálása tette lehetővé. Az ember (*Homo*) létezése túlnyomó részében vadászó-gyűjtögető életmódot folytatott. Ha a *Homo* fajok történetét gondolatban 24 órára sűrítjük, azt mondhatjuk, hogy az első 23.54 percben vadászó-gyűjtögetők (illetve sokszor inkább gyűjtögető-vadászók) voltunk, és csak az utolsó 6 percben foglalkozunk mezőgazdasággal. Az élelem tudatos előállításának módszere a Földön legalább öt helyen alakult ki egymástól függetlenül: először a Termékeny Félholdon a mai Irak területén, később Kínában, Mezoamerikában, az Andokban és a mai Egyesült Államok keleti részén. A Termékeny Félhold területén a növénytermesztés mintegy 10 500 — 11 500, az állattenyésztés pedig kb. 10 000 évvel ezelőtt alakult ki. A váltás időpontja nemcsak ismereteink hiányossága miatt bizonytalan, hanem azért is, mert az átállás nem egyik napról a másikra történt, hanem fokozatos volt. Az első természeti nép mezőgazdálkodóvá válása valószínűleg csak egy vagy néhány növényfaj termesztésbe vonása révén indult meg, amit csak lassan követtek a többiek. Végül eljutottak oda, hogy az étellemezésükhöz szükséges termények és állati termékek túlnyomó többségét maguk állították már elő. Több ezer évet vett igénybe, mire egy-egy kontinens népei az összes termesztendő növény- és tenyészhető állatfaj háziásítását megoldották. A háziásítás során a vad fajokat az emberi célokra fokozatosan alkalmasabbá tették azzal, hogy a kíváncsabbnak gondolt tulajdonságokkal rendelkező egyedeket (pl. nagyobb mag, nagyobb zsírtartalmú hús) szaporították tovább. (A mezőgazdálkodás sokszor nem is vált kizárólagossá: a fejlett világ népessége ma is részben vadon élő fajokból oldja meg étellemezését, gondoljunk a tengeri halászatra.) A

mezőgazdaságra később átváltó népek átállása általában gyorsabban valósult meg, hiszen a módszert és a termesztendő-tenyésztendő fajokat készen kapták a már régebb óta azzal foglalkozó népektől.

A mezőgazdaság kialakulásában négy ok játszhatott közre:

- A túlvadászat miatt csökkent az elejthető vadak száma
- A jégkorszak után kellemesebb klíma köszöntött be
- Megjelentek a termesztést lehetővé tevő fejlett technológiák és eszközök
- A népesség lassan, de folyamatosan növekedett

Számos faj rendelkezik olyan élettani, etológiai vagy más mechanizmussal, ami túlszaporodását megakadályozza (a rókák pl. nem nevelik fel a kicsinyeiket, vagy petetermelődésük leáll, ha egyedsűrűségük elér egy kritikus értéket). Az ember esetében ilyen mechanizmus nem fejlődött ki, vagy ha régebben rendelkezett ilyennel, az utóbbi százezer évben, a Föld meghódítása idején — mint hosszú ideig szükségtelent — az evolúció során elvesztette. Feltételezésünk szerint a mezőgazdaságra való áttérésre a növekvő népesség élelemmel való ellátásának kényszere miatt volt szükség.

A mezőgazdaság a bevezetését követő évezredekben tovább súlyosbította azt a problémát, amelynek leküzdésére feltalálták: tovább növelte a népességet, még hozzá sokkal nagyobb sebességgel, mint korábban bármikor lehetséges volt. Ez megint csak több tényezőnek köszönhető:

- A természetes életközösségekben a biomassza túlnyomó része az ember számára nem ehető, a mezőgazdasági területeken viszont szinte csak a táplálásunkra alkalmas fajok élnek. Így egy négyzetkilométernyi mezőgazdasági terület 10-szer vagy akár 100-szor annyi embert is el tud tartani, mint egy négyzetkilométernyi vadon (természetes társulás).
- A mezőgazdálkodással járó letelepedés miatt a nők gyakrabban szülhettek és átlagosan több gyereknek adhattak életet. A vadászó gyűjtögetők szokásos életmódja ugyanis az, hogy ideiglenes letelepedési helyük környékén felélik az emberi fogyasztásra alkalmas növény- és vadkészletet — eközben mindennap egy kicsivel távolabb kell menniük élelembeszerzés céljából —, majd amikor már túl sok időt és energiát kellene naponta gyaloglásra fordítaniuk, új helyre költöznek. Általában évente többször is továbbállnak, vagy egy nyári és egy téli lakóhely között ingáznak. A költözések hosszabb vándorutat jelentenek, amelyek alkalmával a nők csak akkor tudnak lépést tartani a többiekkel, ha nem kell egynél több gyereket kézben cipelniük, vagyis, ha nem szülnek négy évenként gyakrabban (a négyévesek már saját lábon teszik meg az utat). A mezőgazdaság lehetővé tette, sőt feltételezte a tartós letelepedést, ami a szülések gyakoriságának növekedését, végső soron a populáció gyorsuló növekedését vonta maga után.
- A vadászó-gyűjtögető társadalmakban a nők fő tevékenysége általában a gyűjtögetés, a férfiaké pedig a vadászat. Sok népnél a gyűjtögetésből származik az elfogyasztott élelem nagyobbik része (a Kalahári-sivatagi busmanoknál és a Kelet-Afrikai hadzánál akár 85%, szemben a vadászat fedezte 15%-kal), ráadásul a gyűjtögetés a vadászatnál jóval biztosabb módja is a táplálék megszerzésének. A nők társadalmi megbecsültsége ennek megfelelően nem marad el a férfiaké mögött. A mezőgazdaság elterjedésével azonban a nők társadalmi helyzete sokat romlott, és a női népesség a világ nagy részén vagy talán egészén ma is többé-kevésbé alávetett helyzetben van. A csökkenő társadalmi rang egyszersmind azt is jelentette, hogy több gyereket kellett szülniük, mint amennyit maguktól vállaltak volna.

A természeti népek a rendszeres vándorlás miatt nem halmozhatnak fel javakat nagy tömegben, élelmet pedig nem is szükséges felhalmozniuk, hiszen azt bármikor megtalálhatják lakóhelyük környékén. A busmanok összes magántulajdona elfér egy hátizsákban, és mindössze tíz-tizenegynéhány kg-ot nyom. Ha újra kell minden darabját készíteni, az sem vesz igénybe többet egy-két heti munkánál. A vadászó-gyűjtögető társadalmakban senkinek sincs ennél több tulajdona (egalitárius társadalom). A letelepedéssel azonban lehetővé vált nagy élelmiszerkészletek és anyagi javak felhalmozása, ami csakhamar társadalmi rétegződéshez, vagyoni, státuszbeli és hatalmi különbségek kialakulásához vezetett. A társadalmi különbségek megjelenése, majd növekedése egyre gyakoribbá tette egyes személyeknek vagy csoportoknak a még nagyobb vagyon vagy hatalom elnyeréséért folytatott, gyakran fegyveres konfliktusait. Az egyének és a csoportok közötti versengés ma is bioszféra-átalakító tevékenységünk legfőbb okainak egyike. (Például azért, mert a versengést nagyobb eséllyel nyeri meg az a csoport, amelyiknek nagyobb a népessége.)

A letelepedett ember életének egyre nagyobb hányadát töltötte mesterséges környezetben, így egyrészt nem alakult ki megfelelő érzékenysége a természeti környezet szépsége iránt (Lorenz, 1973), másrészt egyre távolabb kerültek attól a helytől, ahol tevékenységük környezeti problémái jelentkeztek (Takács-Sántha, 2008). Mindezek a jelenségek ma még fokozottabban megfigyelhetők.

Nagyon fontos megjegyezni, hogy a mezőgazdaság megjelenése, ellentétben a történelemkönyvek által az egész civilizált világban a mai napig tanított tétellel, nem szüntette meg az éhezést, nem növelte az általános jólétet, és nem csökkentette az ember túlélésért folytatott küzdelmének intenzitását. Mindezek ellenkezője történt. A természeti népekre jellemző napi 2-6 órás „munka” helyett a mezőgazdálkodók idejük sokkal nagyobb részét voltak kénytelenek a pusztá létfenntartásukra fordítani. A társadalmi egyenlőtlenség és a háborúskodás miatt is növekedett az emberi szenvedés mennyisége. A vadászó-gyűjtögetők rendkívül sokféle (táplálék)növényt és -állatot ismernek lakóhelyük környékén (pl. Storch — Welsch, 1973; Diamond, 1992), ezért igen kicsi a valószínűsége annak, hogy egy bizonyos időszakban ezek mindegyike elérhetetlenné válik valamilyen oknál fogva. A természeti népek körében ezért ritka az éhezés, sőt, még az alultápláltság is. A nagy éhezések valójában akkor jelentek meg az emberiség történetében, amikor az ember fennmaradását egy vagy néhány termesztett tápláléknövényre alapozta. Ha a kiválasztott haszonnövény fejlődésének az időjárás nem kedvezett, vagy kártevő, kórokozó támadta meg, akkor valóban éhínség várt az emberre. Ez a mezőgazdaság feltalálása előtt azonban ismeretlen volt.

A járványok megfékezését a tudomány legnagyobb vívmányai között tartják számon. Az igazság azonban az, hogy a tüdővész, a lepra és a kolera csak az alultáplált tömegeknek otthont adó, zsúfolt, saját szennyvizükkel fertőződő mezőgazdálkodó települések elterjedésével kaphatott lábra, a himlő, a bubópestis és a kanyaró pedig a még sűrűbben lakott városok megjelenéséhez kötődik. A kis népsűrűségű, rendszeresen vándorló, erős immunrendszerrel rendelkező vadászó-gyűjtögetők körében ilyen betegségek ritkán bukkantak fel, és akkor sem dülhettek sokáig. Kórokozóink jó része (kanyaró, szamárköhögés, tuberkulózis, himlő, influenza stb.) egyébként eredetileg háziállataink kórokozója volt, és csak a tömeges állattartás elterjedése miatt váltak képessé — és lett alkalmuk egyáltalán — az ember megfertőzésére (Diamond, 1992, 1997). A különféle kórokozók így a civilizált emberi populációkban széles körben elterjedtek, és idővel a városok növekedésének komoly akadályává váltak. A helyzet olyan súlyos volt, hogy az európai városok népesség tekintetében csak a XX. század elejére váltak önfenntartóvá, addig ugyanis a falvakból a városokba költöző parasztok beáramlása ellensúlyozta a városi lakosság tömegbetegségek okozta állandó fogyását. A XIX-XX. század (orvos)tudománya tehát azt a

problémát oldotta meg (ráadásul csak részlegesen), amit a tudomány egy másik ága, az agrártudomány évezredekkel korábban előidézett.

A mezőgazdálkodók és a vadászó-gyűjtögetők tápláléka minőségében is egészen más. Előbbiek kalóriák nagy részét magas szénhidráttartalmú táplálék, gabona, burgonya, valamint nagy zsírtartalmú, kis telítetlensírsav-tartalmú hús és tej formájában veszik magukhoz, míg utóbbiak táplálkozásukat jórészt nyers gyümölcsökre, zöldségekre, dió- ésogyorófélékre, tojásra, mézre, valamint kis zsírtartalmú, de nagy telítetlensírsav-tartalmú vad- vagy halhúsra alapozták (Eaton — Shostak — Konner, 1988). A természeti népek táplálkozása ezért sokkal egészségesebb, amit az is jól mutat, hogy fogaik még idősebb korban sem lyukadtak ki. Az elmúlt évtizedekben a XX. századot megért természeti népeken széles körű antropológiai kutatásokat végeztek (pl. Truswell — Hansen, 1976), amelyek megerősítették, hogy jó egészségi állapotban élnek meg viszonylag hosszú életet, körükben a vérnyomás korral való növekedése nem figyelhető meg, és egyéb keringési betegségek és a rák is rendkívül ritkán fordul elő (ugyanakkor a civilizált világban a népesség kétharmada, Magyarországon a a háromnegyede ilyen betegségekben hal meg).

Ennyi negatívum ismeretében felmerülhet a kérdés, hogy akkor mi értelme volt a mezőgazdaság feltalálásának, és miért vált mára mégis csaknem kizárólagossá az egész Földön. Ahogy előbb említettük, a növénytermesztés és az állattenyésztés nem egy csapásra terjedt el és lett domináns létfenntartási stratégia, hanem olyan apró lépésekben, amelyek az akkor élő egyéneknek talán fel sem tűnhettek. Az újabb és újabb növények fokozatos termesztésbe vonása logikus válasz lehetett az akkori lassú népességnövekedésre, és arra a tényre, hogy az ember akkorra már az egész bolygót benépesítette. Mivel nem volt hová tovább terjeszkedni, a növekvő népesség problémájára — a számbeli növekedés megfékezésén kívül, amit civilizációnk ma is vonakodik megtenni — a környezet eltartóképességének a növelése, azaz a mezőgazdaság fokozatos bevezetése volt az egyetlen megoldás.

A mezőgazdaság kialakulási központjai körül élő többi — a vadászó-gyűjtögető életmódnál megmaradt — népnek már ennyi választása sem maradt. A mezőgazdaságra áttált népek növekedése még gyorsabbá vált, mint azelőtt, így a helyhiány tovább fokozódott. A környező vadászó-gyűjtögetők vagy átvették a jónak egyáltalán nem nevezhető életmódot, vagy harcba szálltak a folyton terjeszkedő és előbb-utóbb az ő földjükre is szemet vető mezőgazdákkal. Bár támadóiknál egészségesebbek és erősebbek voltak, a földművesek számbeli fölénye miatt hosszú távon nem lehetett esélyük a győzelemre. A földművelő-állattenyésztő életmód így terjedt el az egész Földön. A mezőgazdaságra való áttérésnek tehát sok hátránya, és csupán egy előnye volt (az is csak a szomszéd társadalmakkal szemben, hiszen abszolút értelemben hátrány): a számbeli fölény.

A régészeti leletekből pontosan ismerjük, hol mikor tértek át az új életmódra. Európában a mezőgazdaság rendkívül lassan, évi mindössze 1000 m-es sebességgel terjedt, ami feltehetően azzal magyarázható, hogy a kontinens vadászó-gyűjtögető lakói tökéletesen tisztában voltak annak hátrányaival, nem kívántak arra áttérni, és csak kényszer hatására tették meg. Nem véletlen, hogy a máig megmaradt természeti népek kizárólag a mezőgazdaságra legkevésbé alkalmas helyeken (sivatagokban, trópusi esőerdőkben, fagyos területeken) tudtak csak fennmaradni, és további létük még így is kérdéses.

A harmadik ugrás tárgyalását Richard Lee és Irvén DeVore (1968) szavaival zárjuk: „A vadászó életmód az ember legsikeresebb és legtávolabbi fennmaradt alkalmazkodási módja. [...] Mindmáig nyitott kérdés, hogy képesek leszünk-e fennmaradni azok között az egyre bonyolultabb és labilisabb ökológiai viszonyok között, amelyeket magunknak teremtettünk. Amennyiben kudarcot vallunk, a jövő interplanetáris régészei bolygónkat azon égitestek közé fogják sorolni, ahol a kisléptékű vadászatnak és gyűjtögetésnek egy nagyon hosszú és stabil időszakát a technológia és a társadalom egy szinte átmenet nélküli, gyors felvirágzása követte, ami hamarosan kipusztuláshoz vezetett.”

A negyedik ugrást a **civilizációk kialakulása** tette lehetővé. (A civilizáció definiálása sokféleképpen lehetséges, de a különböző szerzők között abban egyetértés van, hogy a civilizáció feltételezi az állam, azaz a városok és a társadalmi rétegződés meglétét.) Az első városok Mezopotámiában alakultak ki 5500 évvel ezelőtt. A városok kialakulása nemcsak a népsűrűség további növekedését, a betegségek elterjedését és az emberi tevékenység környezeti hatásainak még távolabbra kerülését jelentette. A városokban nem folyik élelemtermelés. A városokba élelmiszerek formájában óriási mennyiségű szerves és ásványi anyag áramlott be a környező földekről, amelyek aztán ahelyett, hogy idővel visszakerültek volna, a szennyvízzel a folyókba, onnan pedig a tengerekbe távoztak. A termőföldek így aztán fokozatosan kimerültek. A termőföldek tápanyagban való elszegényedése (és eróziója) a mi civilizációnk számára is nagy probléma.

A civilizációk kialakulásával a társadalom tovább rétegződött, megjelentek a főállású (élelmet nem termelő) kézművesek, katonák, királyok, írnokok és egyéb specialisták, újabb lökést adva az eszközök és a technológiák fejlődésének. 5000 évvel ezelőtt megjelent az írás is, amely az információ hosszú távú megőrzését lehetővé tette, és elősegítette a társadalom további központosítását (a nyomtatás az i.sz. XV. századtól tette az írott szöveget tömegek számára elérhetővé). A fémek nagy mennyiségben való gyártása 5500 éve kezdődött, az olvasztás és az öntés feltalálásának köszönhetően. Ezeken túlmenően új mechanikai eszközök (emelő, ferde sík, csiga, s ezek változatai, az ék, a csavar és a fogaskerék) és új mezőgazdasági technológiák (öntözés, ekehasználat) is hozzájárultak a további bioszféra-átalakításhoz és népességnövekedéshez. Az öntözést először Egyiptomban, az ekét először Mezopotámiában alkalmazták, mindkettőt kb. 5000 évvel ezelőtt (és hosszabb távon mindkettő a talajok termékenységének csökkenéséhez vezet). A civilizációk környezetátalakító tevékenységét új energiaforrások is segítették: 5000-6000 évvel ezelőttől az állati izomerő (főleg a ló és a szarvasmarhafélék), mely a mezőgazdaság intenzívebbé tételét és a termények városokba szállítását könnyítette meg; majd az i. e. I. századtól a víz, az i. sz. X. századtól pedig a szél erejét is igénybe vették, bár ezek jelentősége az állati erőét nem érte el.

A bioszféra-átalakítás ötödik nagy ugrása során **az európaiak meghódították a többi földrészt** (elsősorban Amerikát és Ausztráliát), és leigázták azok őslakosságát. Nem a véletlen vagy az európaiak rátermettsége volt az oka, hogy nem az amerikai indiánok vagy az ausztrál bennszülöttek tették ugyanezt az európai lakossággal. Eurázsia egyrészt a legnagyobb kontinens, ezért a legtöbb potenciálisan házasítható növény- és állatfajjal rendelkezett. A világon ma is elterjedt haszonnövények és -állatok őseinek túlnyomó többsége valóban Eurázsia lakója volt eredetileg, és csak elenyésző kisebbségük származik más földrészekről (Afrika vagy Amerika legtöbb nagytestű állatfaját például máig sem sikerült házasítani, és a mai termesztett gabonaféléinkhez hasonló fajok kinemesítésére alkalmas ősök sem nagyon voltak másutt). Másrészt az Eurázsiaiban egyszer sikeresen házasított fajok könnyedén elterjedhettek a földrész fő tengelyét adó kelet-nyugati irányban, mert akármilyen messzire jutottak a szélességi kör mentén, nagyjából ugyanolyan éghajlati körülmények között maradtak. (Az Újvilág észak-déli irányban elnyújtott kontinensén ugyanakkor nehéz lett volna pl. egy északon házasított fajt Dél-Amerika hasonló szélességi körön fekvő tájaira átvinni az Egyenlítő-vidék számára élőhelynek alkalmatlan trópusi esőerdein keresztül.) A világtörténelem alakulása és a Földön jelenleg uralkodó hatalmi viszonyok az egyes kontinensek flórájában és faunájában, végső soron a földrészek méretében és tengelyében már akkor kódolva voltak, amikor az ember még meg sem jelent (Diamond, 1997). (A nagy földrajzi felfedezéseket lehetővé tevő közvetlen ok egyébként az iránytű elterjedése volt, amit a kínaiak találtak fel a Csou dinasztia idején, i.e. 1160 körül, és *fsze-nannak*, dél felé mutatónak nevezték.)

Az Európán kívüli világ meghódítása nyomán az áruk földrészek közötti cseréje is megindult, és olyan vívmányok jutottak el a távoli kontinensekre, valamint azokról Európába, amelyek a bioszféra-átalakítás jelentős növekedéséhez vezettek (pl. eke, csak itt vagy ott ismert haszonnövények és -állatok stb.). Így terjedt el szerte a világban az eurázsiai sertés, juh, kecske, szarvasmarha, búza és árpa, így jutott a legnagyobb termésátlagokat nyújtó burgonya és kukorica Amerikából Európába, és így került a dél-amerikai manióka és batáta Afrika és Ázsia nagyrészt terméketlen vidékeire, és vált ott később nagy emberi népesség eltartójává. A folyamat természetesen tovább fokozta azt a már többször említett jelenséget, hogy az árucikkek előállítási és felhasználási helye közötti távolság immár interkontinentális méretekre növekedése miatt az emberek egyre kevésbé voltak képesek érzékelni életmódjuknak az egyre hosszabb szállítási út miatt (is) egyre jelentősebb környezeti hatásait. A XVII. századtól kialakuló világgazdaság legfőbb haszonélvezője Európa volt, hiszen a tengerentúlon megtermelt javak túlnyomó része (főképp az arany) ide áramlott, gazdaggá téve a kor fő gyarmatosítóit, az indiánokat leigázó spanyolokat és az Indiát uralmuk alá hajtó portugálokat. Így az európai polgárok egyre gazdagabbak, a földbirtokosok és a lovagok egyre szegényebbek lettek, megteremtve az alapját a későbbi társadalmi változásoknak.

A rendszeres kereskedelem nemkívánatos fajok behurcolását is elkerülhetetlenül maga után vonta. Nemcsak arról van szó, hogy a mezőgazdasági kultúrákban kárt okozó fajok „követték” gazdanövényeiket azok új elterjedési területeire, hanem arról is, hogy egyéb idegenhonos fajok egy-egy új élőhelyre kerülve gyakran hatalmas területeket foglaltak el, ahol ráadásul még tömegessé is váltak (invazív fajok). Az idegenhonos fajok behurcolása a fajok mai tömeges kihalásának egyik legfőbb oka.

A haszonélőlények cseréje minden kontinensen hozzájárult a népesség gyorsuló növekedéséhez, ami a XVII. század közepétől vált rohamossá. Ekkorra a világ népessége megduplázódott az időszámításunk kezdetén a bolygón élt kb. 250 millióhoz képest. A következő megduplázódáshoz, köszönhetően az előbb vázolt folyamatoknak, már csak 150 évre volt szükség.

Az emberiség hatodik, máig is tartó ugrása a **tudományos-technikai-energetikai forradalom**. A XVIII. század második felében a kőszén vált az új gépek fő üzemanyagává, a XIX. század közepére pedig a tudományos alap kutatások eredményeit tömegesen kezdték el használni. Ekkortól nemcsak a természeti erőforrások felhasználása fokozódott, hanem a szennyezések is egyre komolyabb problémává váltak, és ezzel az ember bioszféra-átalakító tevékenysége új szintre lépett.

A kőszén Kínában már 2000 évvel ezelőtt is használták, Európában pedig a XII. századtól, de meghatározó energiaforrássá csak a XVII. századi Angliában vált. A kőszén az emberiség addigi legkoncentráltabb energiaforrása volt, és új hajtóerőt jelentett a megnövekedett energiaigényű gazdaság számára. Ahogy a kézműipari manufaktúrát felváltotta a gépi munkán alapuló tömegtermelés, a gépeket pedig víz vagy szél helyett a kőszén energiája működtette, az ipar egyre nagyobb súlyt szerzett a gazdaságon belül, maga mögé utasítva az addig legfontosabbnak tekintett mezőgazdaságot. A XIX. század közepétől a kőszén vezető helyét az energetikában a kőolaj vette át, amelynek kJ/kg-ban kifejezett energiasűrűsége még elődjéét is felülmúlja. A gőzgépeket felváltották a jobb hatásfokú és nagyobb teljesítménysűrűségű belső égésű motorok. A XX. század második felében ismét új energiaforrás jelentkezett, az addig figyelmen kívül hagyott földgáz.

Az elektromosság Michael Faraday munkásságától kezdődően (az elektromágneses indukció felfedezése, 1831) kezdhette meg felfelé ívelő pályáját. A XIX. század végétől a transzformátorok és az elektromos motorok feltalálása ösztönzőleg hatott az energiafelhasználás meredek emelkedésére. Az 1800 és 2000 között eltelt kétszáz év alatt a világ energiafelhasználása a 40-szeresére nőtt. Ma a világ elsődleges energiatermelése 4/5

részben a köszéne, kőolajon és földgázon alapszik. Az általuk hajtott gépek és a működésük közben keletkező égéstermékek minden eddiginél nagyobb mértékben alakítják át a bioszférát.

Ehhez a piacgazdaság kialakulása is hozzájárult. A drága gépekkel való termelés ugyanis csak akkor lehet kifizetődő, ha nagy mennyiségű árucikket gyártanak velük, és azt sikeresen el is adják. Ezzel együtt a gazdaság és a társadalom viszonya megfordult: a társadalom lett a gazdaság alárendeltje. A piaci társadalmak lakói számára ma is az anyagi javak birtoklása számít a legfontosabb értéknek, ezért az ilyen társadalmak megkérdőjelezhetetlen célja a folytonos gazdasági növekedés.

A gazdaság növekedésével a vegyipar robbanásszerű fejlődése is együtt járt. Az eddig előállított 150 ezerféle szintetikus vegyület közül számos okozott vagy okoz mai is környezeti problémát, amelyek közül a DDT és az ózonréteg-vékonyító halogénezett szénhidrogének esete csak két klasszikus példa (a környezetbe kerülő vegyületeknek az élőlényekre gyakorolt közvetlen vagy közvetett hatásait az ökotoxikológia interdiszciplináris tudománya vizsgálja). A vegyipar műtrágyái és növényvédőszerai (mérgei), valamint a belső égésű motorok a mezőgazdaság intenzívvé válásához, „iparosításához” vezettek, rengeteg környezeti kárt okozva. A nitrogénműtrágyák mesterséges előállítása az ammóniaszintézis 1913-as feltalálása (Haber-Bosch szintézis) óta lehetséges nagyipari méretekben. A rendkívül energiaigényes folyamathoz a földgáz energiáját veszik igénybe. A nitrogénműtrágyák (és a növényvédő mérgek) együttes alkalmazása az 1950-es évektől a termésátlagok megtöbbszöröződését hozta magával, ami a világnépesség növekedési ütemének megugrásához vezetett. A XX. század végén a világ népessége 30-40-évenként duplázódott meg. Jelenleg az átlagember által a táplálékkal elfogyasztott fehérjék nitrogénatomjai közül minden harmadikat - vagy talán öt közül kettőt – a földgáz energiájával Haber-Bosch szintézis során kötöttek meg a levegőből a vegyipari üzemekben. A ma (2011. március) 6,9 milliárdos világnépesség⁹ e hányada tehát a fosszilis energiaforrásoknak köszönheti létét.

Az iparosítást a halászat sem kerülhette el. A napjainkban évente kifogott halak mennyisége eléri, sőt meghaladja azt a mennyiséget, ami még fenntartható lehet. A tengerek eltartóképeségének túllépése a globálisan kifogott mennyiség csökkenésében, a gazdaságilag fontos fajok megritkulásában és az egyedek átlagos méretének csökkenésében ölt testet.

A fosszilis tüzelőanyagok munkába fogásával elhárult az utolsó akadály a városok méretének növelése előtt (korábban a környék kis energiasűrűségű biomasszájának kellett élelemmel és tüzelőanyaggal eltartania a várost, amit a szállítás nehézsége is korlátozott). A XIX. század elején a világ népességének 2,5%-a élt városokban, a XX. század elején 10%, ma pedig – újabb száz év elteltével - már a népesség 50%-a városlakó. A tömeges urbanizáció újabb, és már nehezen felülmúlható lépés az ember természeti környezettől való teljes eltávolodása felé.

A csíraelmélet felállítása (Pasteur és Koch, 1860-1870-es évek) és az ebből következő felfedezések, a fertőtlenítőszer, az antibiotikumok (Fleming, 1929), kisebb részben a védőoltások elterjedése, a városi köztisztaság és a személyi higiénia fejlődése hatalmas lökést adott a népesség növekedésének. Már nemcsak a városok mérete, hanem lakosszáma is látszólag korlátok nélkül növekedhetett. A világnépesség növekedési üteme jelenleg is (2011. március) gyorsulóban van: minden évben több fővel gyarapszik a népesség, mint a megelőző évben. Mindennap kétszázezer emberrel többet kell eltartania a bioszférának, és mindennap újabb milliók jelentik be igényüket a nyugati életszínvonalra. A folyamat vége és következményei egyelőre beláthatatlanok.

Az ember ökoszisztémái

A természetes ökoszisztémákat (amilyenek például a természetes állapotukban megmaradt erdők, más néven őserdők) rendszerint több ezer faj alkotja, amelyek populációi egymással bonyolult kapcsolatrendszerben élnek. A természetes életközösségek lehetnek ugyan ennél jóval egyszerűbbek is, sokkal kevesebb fajjal, de akkor az életközösség — a szukcessziónak nevezett természetes átalakulási folyamatban — újabb és újabb betelepülő fajokat épít be rendszerébe, fokozatosan növeli változatosságát, és egy idő elteltével kialakul az élettelen környezeti viszonyok (éghajlat, talaj vízellátottsága, talajtípus stb.) által megengedett legnagyobb diverzitású, legnagyobb NPP-jú ún. zárótársulás. Természetes társulások alatt tehát most a zárótársulásokat értjük. A Földön mindenütt ilyen társulások vannak, ahol elég idő volt a kialakulásukra, és ahol nincsenek kitéve jelentős természetes zavarásnak sem.

A Föld természetes társulásaiban mindig van több vagy kevesebb olyan faj, amelyek az ember számára fogyaszthatók. Még a sivatagokban sem feltétlenül reménytelen az ember helyzete, az egyébként rendkívül fajgazdag trópusi esőerdőkben viszont meglepően kicsi az ehető fajok száma. (Ennek ellenére a Yanomamo indiánok az Amazonas-medencében a legjobban táplált vadászó-gyűjtögető népek közé tartoznak /Neel, 1970, idézi Chagnon, 2009/). A Kalahári-sivatag természeti népe, a busmanok 200-nál több növényt ismernek lakóhelyükön, amelyek közül 105-öt táplálékként fogyasztanak is (Lee, 1979). Közülük 14 faj adja az elfogyasztott kalóriák háromnegyedét, míg egy fajból, a mongongo dióból származik az összes kalóriájuk majdnem fele. A vadállatok közül 262 fajt ismernek, és körülbelül 80 fajra vadásznak is. Amint korábban említettük, ilyen gazdag választék esetén nagyon kicsi annak a valószínűsége, hogy valamely időpontban a potenciálisan fogyasztható 105 + 80 faj közül egyik se legyen jelen olyan mennyiségben, amellyel fedezni lehet a gyér népesség élelemigényét. A természeti népek ezért ezért rendkívül ritkán éheznek, még ha sivatagban élnek is. Az erdős szavannák népei persze még változatosabban étkezhetnek: a Tanzániában élő Hadza nép étlapján például 880 faj szerepel (növények és állatok együtt; Marlowe, 2010). Tízezer évvel ezelőtt élt őseinknek a változatos táplálkozásnál azonban fontosabb lett a táplálék mennyisége, mivel a Föld népessége lassú növekedésben volt, az élőhelyek eltartóképességét pedig fajunk már elérte. A megoldást az élelemtermelés megkezdése jelentette (addig, amíg lélekszámunk a modern mezőgazdaságnak köszönhetően sokszorosára növelt eltartóképességet is el nem éri/érte). Az ember élelemtermelő ökoszisztémáit úgy alakítja ki, hogy a napfény energiájának minél nagyobb része vagy emberi fogyasztásra alkalmas növények szerves anyagaiba épüljön be, vagy olyan növényekbe, amelyek háziállataink táplálására alkalmasak. A cél tehát az, hogy a mezőgazdasági területen kizárólag a mi haszonnövényeink éljenek, NPP-jük a lehető legnagyobb legyen, és asszimilált szerves anyagaikon ne kelljen más élőlényekkel osztoznunk. Minden olyan egyéb növény, amely a megfelelő talajkezelésekkel, műtrágyákkal és öntözéssel ideálissá tett talajon szintén élni szeretne, gyomnak minősül; minden olyan állat pedig, amely haszonnövényünket fogyasztja, kártevő besorolást nyer (még olyan növények is gyomoknak számítanak, amelyek egyébként haszonnövények, de most éppen nem azokat termesztjük, pl. a repceföldön kikelt búza). Az ember által létesített mesterséges ökoszisztémák tehát monokultúrák, amelyek faji egyhangúságát (jellemzően) szelektív mérgekkel tartjuk fenn. Ez elkerülhetetlen, hiszen a szukcesszió termőföldeken is beindul. Az élőlények igyekeznek elfoglalni a rengeteg üres niche-t, és e természetes végbemenő folyamat megfékezése tetemes energiát igényel az ember részéről. A befektetett külső fosszilis energia, amit növényvédő mérgek, műtrágyák és talajmozgatások formájában viszünk be a rendszerbe, a növények által megkötött napfényenergia 3-10-szerese is lehet. Az energiabevitelen sajnos nem tudunk sokat spórolni, mert haszonnövényeink mind hosszú nemesítő munka eredményei, amelynek során úgy lettek szelektálva, hogy minden energiájukat a termés kialakítására fordítsák. Saját

immunrendszerük helyett mi védjük őket a kártevőktől, mi öntözzük őket. A „nemes” növények az embertől mindent készen kapnak, magukra hagyva alig lennének életképesek, sokuk egyáltalán nem. Ugyanez igaz a háziállatainkra is. A vad növények ezzel szemben erejük nagy részét a kártevők elleni védekezésre, a mélyen levő víz felszívására, a szélsőséges viszonyok túlélésére vetik latba, és csak viszonylag kevés energiájuk marad a tulajdonképpeni termés létrehozására.

Az **24. táblázat** a természetes és a mesterséges ökoszisztémákat hasonlítja össze:

24. táblázat: A természetes és a mesterséges ökoszisztémák (Vida G. (2001): *Helyünk a bioszférában c. műve alapján*)

	Természetes ökoszisztéma	Mesterséges ökoszisztéma
Fajdiverzitás	nagy (több ezer faj társulásonként)	kicsi (gyakran monokultúra egy fajjal)
Géndiverzitás	nagy (az egyes fajok közötti ill. egy faj egyedei közötti genetikai távolság nagy)	kicsi (a hasznofaj egyedei egymáshoz genetikailag nagyon hasonlóak, gyakran klónok)
Biomassza	nagy tömegű (zárótársulás esetén)	kis tömegű (az élőanyag-mennyiség az őserdőkre jellemző érték 1-2%-a, ami a téli félévben a betakarítás után gyakran 0-ra csökken)
Elemek körforgása	teljes, záródó anyagciklusok	részleges, nyílt ciklusok, átáramlás a rendszeren: anyagaik jó része kívülről származik, s kikerül a rendszerből; elszegényedés egyes elemekben
Változó környezethez alkalmazkodás	természetes szelekció útján	faj- vagy fajtaváltással, nemesítéssel
Tapasztalat a működőképességéről	400 000 000 év	4000 év
Globális trend	folyamatos kiszorulás	folyamatos térnyerés
Hatása a bioszféra működésére	fenntartja a bioszféra működését	globális instabilitást eredményez

Láthatjuk, hogy bioszféránk harmonikus működésére (ennek egyik megnyilvánulása a kiegyensúlyozott globális éghajlat is) az ember által létrehozott mesterséges ökoszisztémák terjedése negatív hatással van. Ez annál is aggasztóbb, mivel az emberiség velük kapcsolatos tapasztalatai mindössze néhány ezer éves múltat tekintenek vissza. Még sosem fordult elő, hogy a Föld szárazulatainak felét az egyik faj saját igényei kielégítésére alakította volna át, és nem tudjuk, hogy ennek a bioszféra egészének működésére, és ezen keresztül pl. az éghajlat alakulására milyen következmények lesznek.

A bioszféra jelenlegi helyzete

2000. évi adatok szerint a szárazföld 37%-a mezőgazdasági művelés alatt áll. A városok területe a szárazföldek 4%-át foglalja el, ehhez adódik még az utak, falvak, faültetvények

(nem erdők! hanem egykorú, genetikailag azonos klónok ültetvénye gyom jellegű aljnövényzettel, amit a gabonaföldektől a fás szár és a többéves betakarítási ciklus különböztet meg) stb. területe. Elmondhatjuk, hogy a természetes szárazföldi vegetáció felét megsemmisítettük, ráadásul ebből is főképp a nagy produkciójú társulásokat — a sivatagokat és a tundrát nagyobb arányban hagytuk meg. Ráadásul a maradék természetközeli társulásokat is bolygatjuk, itt töltjük el a szabadidőnket, erre épül az idegenforgalom, ezt is károsítják a szennyezéseink és az éghajlatváltozás. Az 50% megmaradása tehát közel sem garantálja, hogy a bioszféra még 50%-ban működőképes. De vajon miben nyilvánulhat meg a bioszféra sérült mivolta?

Az 1990-es évek elején Arizona államban (Egyesült Államok) 13 000 m² alapterületen 204 000 m³ belső térfogatú üvegházhozat hoztak létre, amelyet Bioszféra II-nek neveztek el (Vida, 2001, Gowdy — McNally, ?). A hermetikusan lezárt üvegház területének 80%-án természetes társulásokat próbáltak létrehozni sokféle növény, állat és egyéb szervezet betelepítésével, 16%-án termőföldeket létesítettek, 4%-ot pedig a 8 önként vállalkozó ember lakóhelye foglalt el. A légkondicionálást, szűrés és keringtetés feladatait kívülről bevezetett energiával oldották meg, egyébként a Bioszféra II. minden más tekintetben önellátó volt. A kísérletet 2 éves időtartamra tervezték.

A bezárt nyolc ember ébrenléti ideje 45%-át élelemtermelésre, 25%-át javításra és fenntartásra fordította, és csak 5% jutott pihenésre. A kísérlet ennek ellenére bizonyos szempontból kudarcba fulladt. A 25 gerinces fajból álló fauna 19 tagja rövidesen kipusztult, hasonlóan a beporzó rovarokhoz (ez nagymértékben megnehezítette a benn élők helyzetét). A sáskák, csótányok, hangyák, liánok ugyanakkor elszaporodtak, a vizek eutrofizálódtak. Ennél is nagyobb gondot okozott azonban a levegő összetételének változása: 1,4 év elteltével az O₂-koncentráció 21%-ról 14%-ra csökkent, a mérgező N₂O mennyisége pedig vésszenen megnőtt (79 ppm-re). A kísérletben résztvevő önkéntesek egészségének megőrzése érdekében ezért levegőcserét kellett végrehajtani, mielőtt még befejeződött volna a kísérlet.

A Bioszféra II legfontosabb tanulságai a következők:

- ❖ Eddig nem sikerült embert is fenntartó mesterséges ökoszisztémát létrehoznunk.
- ❖ Nem tudjuk, hogyan lehet, hogy a Föld bioszférájában „élőlénybarát” tartományban marad a gázok koncentrációja, és a globális fajsza (eltekintve az időnként végbemenő kihalásoktól) csökkenés helyett folyamatosan növekszik.
- ❖ Nem tudjuk, hogy az 50%-ban sérült bioszféra e működéseit mennyire képes még fenntartani. Az ember mesterséges ökoszisztémái hosszabb-rövidebb ideig eltarthatnak egy nagyobb népességet, de a bioszféra önfenntartó funkciójához nem járulnak hozzá. Elképzelhető, hogy bioszféránk már rég nem működőképes, de a nagyobb méretéből adódó nagyobb tehetetlensége miatt ennek még csak kevés jelét adta.

Ha tisztában vagyunk mindezzel, akkor vajon miért folytatjuk tovább bioszféra-átalakító munkánkat? Az okok összetettek és számosak. Először is, nem igaz, hogy tisztában vagyunk mindezzel. A népesség nagyon kis része mondhatja magáénak azt az alapvető ökológiai tudást, amelyre a helyes következtetések levonásához okvetlenül szükséges lenne. A politikusok legkevesébé, akik pedig mégis, és a gazdasági növekedéssel kapcsolatban felmerülő kétségeiket nyilvánosan meg is fogalmazzák, azok aligha számíthatnak újbóli megválasztásra, még saját pártjuk berkeiben sem. Az emberek arra szavaznak, aki *anyagi* jólétük növelését ígéri, egy tájékozott politikus pedig soha nem ígérhetne ilyet.

A civilizált világban a fiatalok mindenütt azt hallják, hogy a vadászó-gyűjtögető ember élete „durva, kegyetlen és rövid” volt, az ember sorsában némi enyhülést csak a mezőgazdaság feltalálása hozott. A történelem kurzusok a mezőgazdaság előtti időkről nem tanítanak egyebet néhány tévedésnél, és az ökológia előadásoknak is csak ritkán tárgya, hogy az emberi faj hogyan élt „24 órás” történetének első 23 óra 54 percében. Állatfajok százainak életmódját tanuljuk, de az emberét nem.

Néhány további közkeletű tévhit: a korai vadászó-gyűjtögetők fogait a szuvasodás miatt már fiatal korban elvesztették (ezért jönnek elő későn a bölcsességfogak, hogy húszévesen is tudjunk még rágni); szabadidejük az állandó létharc matt szinte nem volt; a harmincévesek már aggastyánok voltak, az öregség csak a legújabb kor vívmánya. A valóság azonban pont ennek az ellenkezője. Néhány közkeletű – a bioszférát érintő döntéseinkben kulcsfontosságú – tévhitet foglalunk össze a **25. táblázat**:

25. táblázat: A jóléti és a vadászó-gyűjtögető társadalmak néhány jellemzője és a velük kapcsolatban kialakult téves nézetek

	ÁLTALÁNOSAN ELTERJEDT TÉVES NÉZET	VALÓSÁG	
		Jóléti társadalmak	Vadászó-gyűjtögetők
Keringési és daganatos betegségek (Dunn, 1968; Truswell — Hansen, 1972; Eaton — Shostak — Konner, 1988)	-	A halálozások túlnyomó részét okozzák (USA, 2006: 57,8%; Magyarország, 1998: 75,5%)	Igen ritkán fordulnak elő
Éhezés (Dunn, 1968; Truswell — Hansen, 1972)	<i>A természeti népek élete folyamatos éhezés volt</i>	Napjainkban (WHO, 2000) a világon 800 millióan éheznek	Igen ritkán fordul elő
Elhízás (Truswell — Hansen, 1972; Eaton — Shostak — Konner, 1988)	-	Napjainkban a világon 300 millióan elhízottak	Nem fordul elő
Vérnyomás (Truswell — Hansen, 1972; Eaton — Shostak — Konner, 1988)	<i>A korrallal természetes módon emelkedik</i>	A korrallal emelkedik, átlagos értéke 70-83 éves korban 168/90 Hgmm (London, 1954)	A korrallal nem emelkedik, értéke 70-83 éves korban is 120/67 Hgmm (San /=busman/, 1954)
Koleszterinszint (Truswell — Hansen, 1972; Eaton — Shostak — Konner, 1988)	-	Magas	Alacsony marad a nagy koleszterinbevitel ellenére
Érelmeszesedés (Eaton — Shostak — Konner, 1988; Truswell — Hansen, 1972)	-	Már a gyerekek erein megfigyelhető	Idős korban sem fejlődik ki

	ÁLTALÁNOSAN ELTERJEDT TÉVES NÉZET	VALÓSÁG	
		Jóléti társadalmak	Vadászó-gyűjtögetők
Fogak (Truswell — Hansen, 1972; Diamond, 1992)	<i>A vadászó-gyűjtögetők fiatal korban elvesztették őket a fogszuvasodás miatt</i>	A rendszeres fogápolás ellenére életünk végére elveszítjük őket	A fogápolás hiánya ellenére az élet végéig 0-1 fogon figyelhető meg felületes szuvasodás
Magas életkor (kiragadott adatok) (Lee, 1979)	<i>A vadászó-gyűjtögetők fiatalon meghaltak, a harmincévesek matuzsálemek lehettek</i>	A 65 éven felüliek aránya a populációban 10% (USA, 1976)	Mind a Hadzánál, mind a busmanoknál 80 éven felüliek is előfordulnak. A 60 éven felüliek aránya 10% (busmanok, Dobe körzet, 1964-1973)
Munka és szabadidő (Lee, 1979; Diamond, 1992; McDaniel — Gowdy, ?)	<i>A vadászó-gyűjtögetőknek szabadidejük egyáltalán nem volt a permanens létharc miatt</i>	Napi 8 órás munkaidő (utazás és otthoni munka nélkül)	Mindössze napi 2-8 órát fordítanak élelemszerzésre házimunkával együtt (San; népenként változó)
Az anyagi javak és a boldogság (Szondy, 2010)	<i>Minél többet birtokolunk, annál boldogabbak leszünk</i>	Az anyagi helyzettel a boldogság valóban nő, de egy telítési görbe szerint: az alapvető szükségletek megszerzése után (amivel a természeti népek is rendelkeznek) a jövedelem növekedésével már csak igen kismértékben nő tovább; a javak megszerzése később is örömet okoz, de csak egy rövid átmeneti ideig, míg birtoklásukhoz hozzá nem szokunk	
Boldogság (Szondy, 2010)	<i>A vadászó-gyűjtögetők maximálisan boldogtalanok voltak</i>	A civilizált euroamerikai populáció legboldogabbjai a Forbes-listára felkerült dúsgazdagok	A vadászó-gyűjtögető populációk tagjainak átlagos boldogságszintje megegyezik a legboldogabb nyugatiakéval (akik a Forbes-listára felkerültek /inuit indiánok, 2004/)

	ÁLTALÁNOSAN ELTERJEDT TÉVES NÉZET	VALÓSÁG	
		Jóléti társadalmak	Vadászó-gyűjtögetők
Fenntarthatóság (pl. Diamond, 1992; Wackernagel — Rees, 1996; Vida, 2001; Végh — Szám — Hetesi, 2008; Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács, 2010)	<i>Civilizált életmódunk nemcsak fenntartható és a Föld minden lakójára kiterjeszthető/kiterjesztendő, de anyagi életszínvonalunk még emelhető is, ha többet áldozunk környezetvédelemre</i>	A civilizált életmód energetikailag, ökológiailag, társadalmilag és gazdaságilag egyaránt fenntarthatatlan. Fosszilis energiaforrások nélkül 1 fő táplálékának az előállítása Mo-on, XVIII. sz-i életszínvonalon 1,5 ha területet igényel, és csak 0,8 ha áll rendelkezésre (Horváth, 2010)	Az emberiség eddigi egyetlen létezési módja, amely bizonyítottan hosszú távon is fenntartható volt

Hangsúlyoznunk kell, hogy a 2. táblázat 1. ill. 3. oszlopának információi nem azért ellentétesek, mert az egyik oszlop az egyik tudományos iskola nézeteit közli, a másik pedig a másikéit, és mi most épp egy olyan korszakban vagyunk, amikor az új iskola fölébe kerekedik a réginek. Nincs és nem is volt két tudományos iskola: az „Általánosan elterjedt téves nézet” oszlop alatt közölt tévinformációkat soha nem támasztotta alá semmilyen tudományos eredmény. Minden komoly vizsgálat a második és a harmadik oszlop adatait erősíti meg.

A táblázat áttekintése után talán nem kell hosszasan magyaráznunk, miért van jelentősége e tévhiteknek a bioszférát is érintő mindennapi döntéseinkben. Csíkszentmihályi Mihály (2009) egyetért Arisztotelésszel abban, hogy minden emberi cselekvés végső mozgatórugója az a vágy, hogy boldogok akarunk lenni. Az ember a gazdagságért vagy a hírnévért csak azért küzd, mert azt reméli, hogy ezektől boldog lesz. Az utóbbi két-három évtized pszichológiai kutatásai azonban bebizonyították, hogy az emberi boldogság hosszú távon a külső körülményektől gyakorlatilag független. Az egy-egy egyénre jellemző „beégetett” (és a pozitív vagy negatív körülmények által onnan csak rövid időre kibillenthető) boldogságszintet civilizáciánk minden vívmánya sem tudta megváltoztatni, viszont az alapvetően szükséges javak (élelem, fedél, megfelelő egészség) biztosításával százmillióknak adós maradt, a környezeti problémák elmélyítésével pedig további milliárdok néznek hasonló kilátások elé. Természetesen, ha akarnánk, hétmilliárdnyian akkor sem térhetnénk vissza a vadászó-gyűjtögető életformához. Az azonban egészen bizonyos, hogy tévinformációk alapján állva az embernek esélye sincs megtalálni a helyét a bioszférában.

22. Ökológia helye és szerepe (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

22.1. Az ökológia helye és szerepe a biológiai tudományágban

22.1.1. Az ökológia fogalma

Az **ökológia**, tudományág, mely az életttereket, azaz az élőlények és a környezet kapcsolatait vizsgálja. A kifejezést 1866-ban alkotta meg Ernst Haeckel (1834-1919) német darwinista biológus – zoológus. Az "öko" (görögül oikosz ="lakás, ház, háztartás") és a lógia (görögül logosz="tudomány") szavakból.

Az ökológia, a biológiához tartozó élőlényközpontú tudományág, azon belül az egyed feletti (populáció, társulás, ökoszisztéma, bioszféra) **szünbiológiához** tartozik. Környezetbiológiának is szokták a közhasználatban nevezni. Kutatja a környezetbiológiai jelenségeket előidéző okokat, kényszerfeltételeket, a jelenségek mechanizmusát és hátterét. Az ökológia az a tudományág, mely az élőlény populációk és élőlény-együttesek tér-időbeli eloszlásával és az azt előidéző okokkal foglalkozik.

Az ökológia más kutatók szerint az ökoszisztémák működésével foglalkozik. Az ökológiai vizsgálódások alapja a környezet (hatótényező) és a tolerancia (a fogadóképes tényező; tehát az élőlény maga, pontosabban populáció vagy populációkollektívum) komplementaritása.

Az ökológia és a környezet tehát nem egyenlő. Az ökológia nem a környezet- vagy természetvédelmet jelöli. A környezet- és természetvédelem csupán az ökológiai vizsgálódások egyes eredményeit használja fel (természetvédelmi biológia).

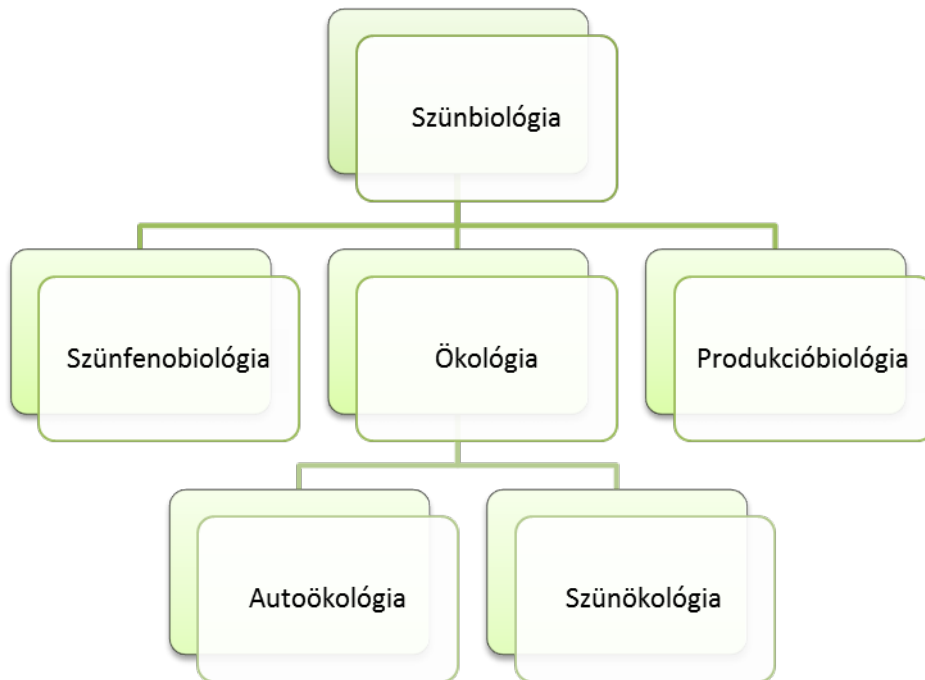
Mivel az ökológia élő és élettelen rendszerek kölcsönös egymásra hatását vizsgálja, arra keres választ, hogy milyen feltételek között tartható fenn a kettő egysége a bioszférában. Maga a fogalom több, mint 100 éves múltra tekint vissza, de elterjedéséhez sajnos aggasztó méretű természetkárosításra és környezetszennyezésre volt szükség.

Korábban, az ókor tudósai is kiemelten érdeklődtek a populációk, különösen az állati populációk iránt. A populációk dinamizmusa, elsősorban egyes állati populációk tömeges túlszaporodása (sáskajárás, pocok-, és hernyódulás) igen érzékenyen érintette az akkori mezőgazdaságot, élelmiszertermelést azon keresztül pedig az egész társadalmat. A tömeges túlszaporodások (gradációk) mögött a földöntúli hatalmat, elsősorban az isteneket látták, sőt az állatoknak is földöntúli hatalmat tulajdonítottak. Platón (i.e. 4. sz.) az első, aki a populációk elméletével is foglalkozott (Southwood 1968) tehát az „első populációbiológusnak” tekinthetjük. Arisztotelész (i.e. 4. sz.) a pestisjárványokat az egerek és a sáskák túlszaporodásával magyarázta (Majer 1994), mások szerint viszont nem Arisztotelész, hanem kollégája és barátja, a botanikus Theophrastos írta le először az élőlények közötti, valamint az élőlények és környezetük közötti kölcsönhatásokat (Ramaley 1940, Kendeigh 1974, Smith 1992), tehát ők tekinthetők az első „ökológusoknak”.

22.1.2. Az ökológia helye a biológia tudományok között

A **szünbiológia** a biológia tudomány azon ága, mely a populációkat és az ezekből felépülő egyed fölötti szerveződési szinteket, valamint az ezek modellezésére felhasznált ökoszisztémákat vizsgálja. Tehát a szupraindividuális organizáció (SIO) azaz egyed feletti szerveződési szintek jelenségeivel foglalkozó biológiai tudományág. Angol elnevezése korábban a *natural-history*, újabban az *ecology* terjedt el.

A Magyar Tudományos Akadémia Ökológiai Bizottságának testületi állásfoglalása szerint, (amely nagyrészt Juhász-Nagy Pál ökológia-elméleti munkásságára alapozódik) meg kell különböztetnünk a leíró (jelenségszintű) és az oknyomozó kutatásokat. Magyar nyelvterületen csak az oknyomozó kutatásokat értjük ökológia alatt. Ezt a testületi állásfoglalást a magyar ökológus társadalom jelentős része, így a Magyar Ökológusok Tudományos Egyesülete is elfogadta.



67. ábra: Az ökológia és résztudományainak helye a szünbiológia tudományok között

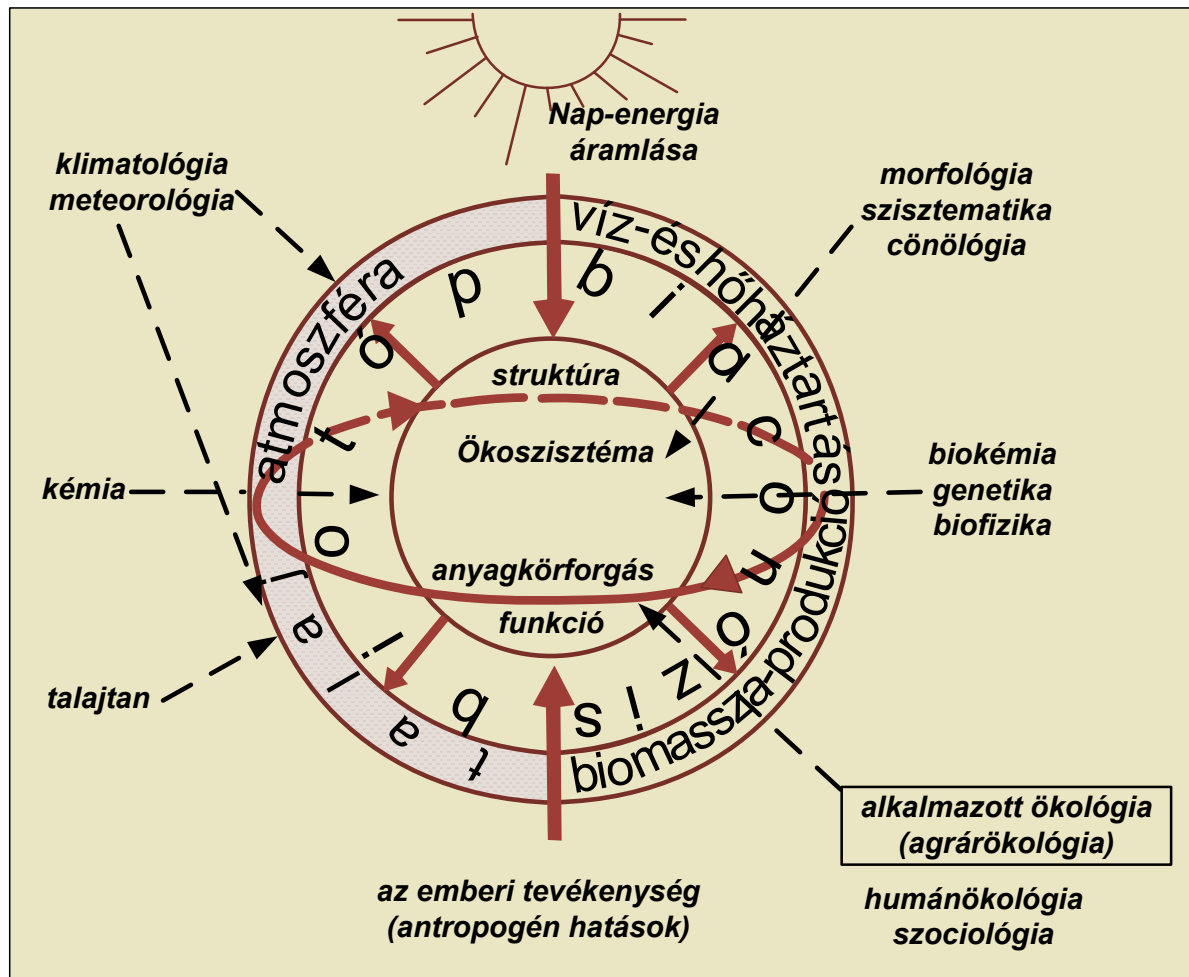
Fő résztudományai:

A **szünfenobiológia** a szupraindividuális biológiai organizáció jelenségeit vizsgálja. Az élőlénypopulációk és populációkollektívumok tér-időbeli előfordulási mintázatának leírásával foglalkozó tudomány. Részterületei a társulástan, a cönológia és a biogeográfia.

Az **ökológia** a szupraindividuális biológiai organizáció jelenségeinek az okait tárja fel. A szünfenobiológia által már leírt jelenségek környezeti hatótényezők és a vizsgált rendszer toleranciatényezőinek összekapcsoltságán (komplementációján) és ebből fakadóan a környezeti limitáción alapuló okait és következményeit vizsgáló tudomány. Az ökológia az élőlény (objektum) és környezet egymásra hatását, és inkább a hatókörnyezetet vizsgálja. A hatás alapját (az objektumot) a szünfenobiológia vizsgálja.

A **produkciobiológia** a fentiek működését és termékenységét (produktivitását) kutatja. A biológiai termeléssel, valamint a biocönózisok anyag- és energiaforgalmával foglalkozik.

Populációkollektívumok: Egy összefoglaló név, mely alatt az egyed fölötti (szupraindividuális) szerveződési szinteket - társulásokat, biomokat, bioszférát, együttesen értjük.



68. ábra: Az ökoszisztéma kapcsolatainak vázlata (Kreeb, 1974)

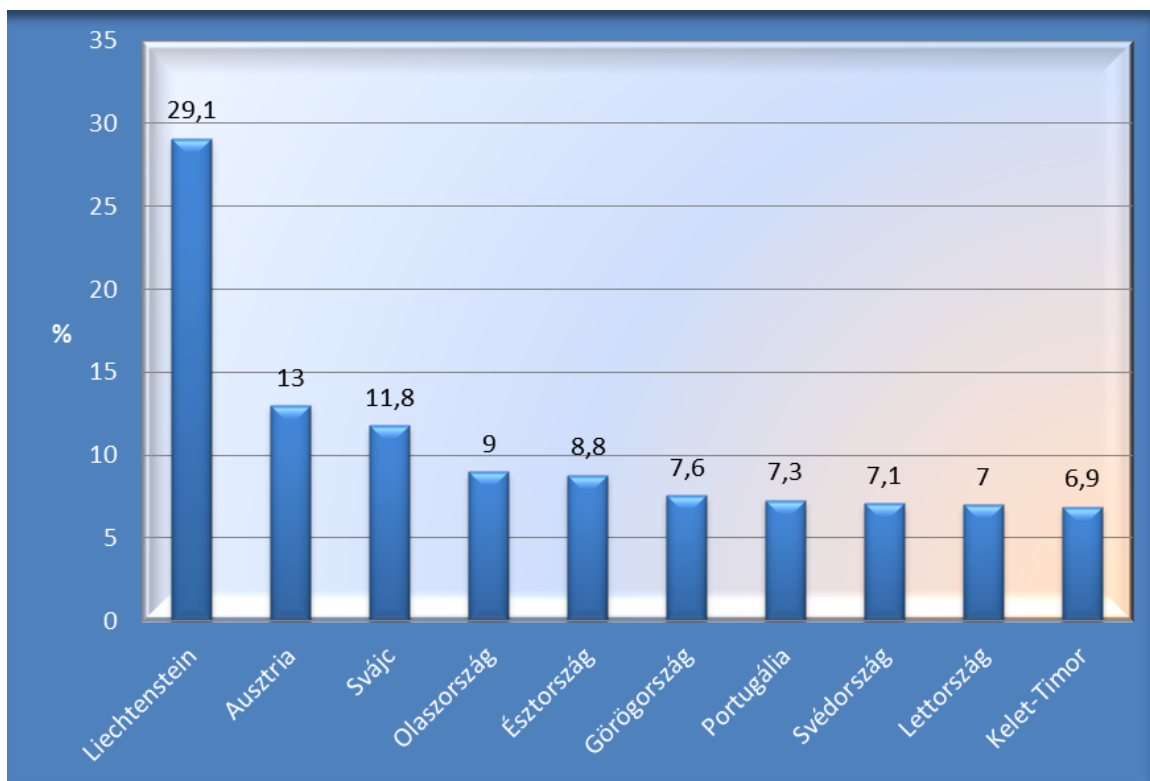
Az ökológia vizsgálatának tárgya tehát az élőlények populációira ható és a koegzisztenciális mintázatok kialakulásáért felelős kényszerfeltételek - ún. korlátozó vagy limitáló tényezők valamint a kényszerfeltételeket fogadó, populációkra jellemző toleranciaviszonyok (tűrőképesség, a korlátozott vagy limitált tényezők) közötti kölcsönhatások. A limitáló tényezők pl. a hő, a víz, a fény, a tápanyagellátás, a klimatikus viszonyok és az intra-, valamint interspecifikus kompetíció, predáció stb. A kényszerfeltételeket és tolerancia viszonyokat együttesen **ökológiai tényezőknek** nevezzük.

Az ökológia két területe az **autökológia** és a **szünökológia**. Az autökológia vizsgálja az egyedeket, a szünökológia a populációt. Autoökológiai vizsgálatról beszélünk, ha pl. laboratóriumi körülmények között két populáció egyedeinek egymásra hatását vizsgálják (azért, hogy a populációk természetes társulásokban való viselkedését jobban megértsék).

22.2. Az ökológiai gazdálkodás

A mezőgazdaság a legelső olyan emberi tevékenység amely egyben a legszorosabb kapcsolatban áll a természettel, a természetes ökoszisztémával. Az ökológiai gazdálkodásnak nagy szerepe van a fenntartható fejlődésben. „A fenntarthatóság az ember jelen szükségleteinek kielégítése, a környezeti és természeti erőforrások a jövő generációk számára történő megőrzésével egyidejűleg”. (Világ Tudományos Akadémiáinak nyilatkozata, Tokió 2000)

Az ökológiai gazdálkodás hozzájárul egy élhető környezet kialakításához, amely utódaink túlélését is szolgálja és minden kétséget kizáróan biztonságos és egészséges élelmiszert ad az emberiségnek. Hogy ezt elérje, az ökológiai gazdálkodás olyan célkitűzéseken és elveken, valamint egységes módszerek alkalmazásán alapul, melyek minimalizálják az ember hatását a környezetre, miközben biztosítják a mezőgazdasági rendszerek lehető legtermészetesebb működését.



69. ábra: A világ tíz legnagyobb ökológiai gazdálkodási arányát felmutató országok (2007) (Forrás: Helga Willer, Minou Yussefi-Menzler and Neil Sorensen (ed.): *The World of Organic*)

Az ökológiai gazdálkodáshoz ma néhány olyan szabályt kell betartani, amely a növénytermesztés és állattenyésztés sok évezredes történelme során korábban sosem volt kérdés. Generációról generációra hagyományozott tudás, tapasztalat és az egyetlen ésszerű, magától értetődő gyakorlat volt. A természettől elrugaskodott tömegtermelésben azonban egyértelműen definiálnunk kell.

- Többéves vetésforgó mint a helyi források hatékony felhasználásának előfeltétele.
- A kémiai úton előállított növényvédő szerek és a tápanyag utánpótlók, az állatoknak adott antibiotikumok, az élelmiszeradalekok és segédanyagok, valamint minden egyéb bevitt anyag használatának szigorú szabályozása.
- A genetikailag módosított szervezetek használatának tiltása.
- A helyi források kihasználása, mint például az istállótrágya használata tápanyag-utánpótlásra vagy a gazdaságban megtermelt takarmány megetetése az állatokkal
- Olyan növény- és állatfajok kiválasztása, melyek ellenállóak a betegségekkel szemben és alkalmazkodtak a helyi körülményekhez
- Az állatállomány szabadon tartása, és biotakarmánnyal való etetése
- A különböző állatfajok egyedi igényeihez alkalmazkodó tartási gyakorlat

Barries Commoner elismert zoológus, aki molekuláris biológusként is tevékenykedet és részt vett az amerikai zöld mozgalomban. Egyik remek műve a „The Closing Circle” (1971) azaz a „Bezáruló kör”, melyben rávilágít az emberi társadalomnak a természet rendjével való konfliktusára. A környezet élő komplexum és az ökológia tudományát tekinti az alapvető környezettudománynak, melynek törvényeit az embernek tiszteletben kell tartani.

Barries felállítja az ökológia négy informális törvényét művében, ami szerint a természet folyamatos ciklus szerint él és munkál. Véleménye szerint ezekkel az törvényekkel minden ember tisztában van csak eltekintenek tőle és nem veszik tudomásul. E figyelmetlenség következménye tragikus és visszafordíthatatlan fázisba tudja juttatni a természet körforgását, ami magával vonja az emberi élet változását is.

Minden összefügg mindennel

A bioszférában található összefüggések bonyolult hálózatára utal. Az ökológiai összefüggések rendszert alkotnak, a belső anyag és energiaforgalom meghatározza, hogy mekkora terhelést bír el a rendszer anélkül, hogy összeomlana. A állati és növényi populációk és a fizikai és kémiai környezetünk között egy komplex biológiai lánc alakult ki. Kölcsönös függés és pro-contra viszony alakult ki minden között. Ha valamelyik része a ciklusnak módosul akkor, ez az egységes rendszer alkalmazkodik a változáshoz és a természet adott paraméterein belül korrigálja a változást. Az egyensúly újbóli elérésére törekszik, mert ha ez nem áll vissza egy bizonyos intervallumon belül akkor összeomolhat a rendszer. Az emberi beavatkozások melyek huzamosabb ideig és komolyabban károsítják a természet szisztémáját, olyan maradandó károkat okozhatnak, melyek talán a saját vesztünket okozzák.

Minden tart valahová

A fizika anyagmegmaradási törvényének az ökológiára való alkalmazása. A természetben ismeretlen a hulladék fogalma. Minden természeti rendszerben az egyik organizmus által adott végtermék a másik organizmus számára alapanyagul szolgál. Barrie szerint ez a törvény kapja az emberiségtől a legkevesebb figyelmet. Ez a törvény az fizikában már ismert energia-megmaradás törvényével hasonlítható össze. Az élővilág csodálatos szisztémájában nem létezik olyan hogy „hulladék”. A kialakult biológiai táplálékláncban egy adott egyed outputjaként megjelenő végtermék, egy másik bizonyos egyednek inputként fog megjelenni. Ami ebben a rendszerben nem tud már beleilleni az lebomlik alkotóelemeire és újra inputként fog megjelenni egy másik faj számára. Minden szerves és állandó fizikai és kémiai változásokon megy keresztül. Ebbe a kifinomult láncolatba csak az emberi eredetű **mesterséges hulladékok** nem illenek bele, mert haszon helyett csak kárt tudnak okozni. Vigyázni kell velük hogy az egyensúlyt fel ne borítsák.

De képzeljünk el egy mindössze 100 évvel ezelőtti, öfenntartó tanyát. Gyakorlatilag nem keletkezett hulladék a működése során, mindent fel tudtak használni. Egy ilyen gazdaság szinte nem terheli meg a természetet. Képes egyensúlyban élni vele.

A természet tudja a legjobban

A bioszféra képes ön maga szabályozására és fenntartására, évmilliárdok alatt kialakult folyamatai a rendszert felfoghatatlanul komplexé tették. A mai modern technika-technológia egyik legszívesebben hangoztatott célja, a természet megjavítása. Sajnos azonban ez a "megjavítás" inkább megzavarja a bioszféra folyamatait. A mesterséges hatás sosem lehet olyan összetett és alkalmazkodó mint a természetes úton kialakult. A természet az évmilliók során alakulva azokat a szerves kombinációkat tartalmazza a végtelen kombinációk közül, amelyek a lehető legjobbnak tud felhasználni az élet működéséhez. Ilyen például a szén, oxigén, hidrogén és nitrogén. Az evolúció és az adaptáció a természetben a leghatékonyabb verziókat termelte ki és tartotta fenn. Barrie szerint minden szerves anyagnak megvan a maga helye ahol felhasználható, de tartozik hozzá egy enzim ami majd idővel lebontja, így részt tud

venni a kialakult körforgásban. Az óra példáját hozza fel: az óra azért olyan, amilyen, mert az órás és az óratudomány már sokszor kipróbálta és igazolta, hogy abban a formában a lehető legjobb. Nos, ha az ember beleavatkozik a természetbe, akkor ahhoz hasonló, mint amikor az ember az óraműbe egy ceruza hegyével belenyúl. Annak, hogy jót tegyen, kicsi az esélye, majdnem biztos, hogy inkább elrontja azt. Ilyen a természet is, hiszen a természet jobban tudja.

Nincs ingyen ebéd

A bioszféra összefüggő egész, amelyből ha az ember tevékenységeinek során elvesz azt vissza is kell juttatni. Nem kerülhetjük el a megfizetését, legfeljebb elodázhathatjuk. A hiányt, a későbbi katasztrófát azonban ezzel csak növeljük. A jelenlegi környezeti krízis annak a jele, hogy sokat késtünk a fizetéssel. Másképp fogalmazva mindennek ára van. A folyamatos erőforrások kihasználása és a túlzott szennyezéseknek a következménye a globális problémák kialakulása.

22.3. Ökoszisztéma

Az élő szervezetekkel foglalkozó tudományok számára fordulópontot jelentett az, hogy 1935-ben Tansley A.G. bevezette az **ökoszisztémák** fogalmát. A produkcióbiológia és az ökológia energetika a későbbiekben mintegy összefonódott Tansley ökoszisztéma fogalmával. Értelmezése szerint az élő szervezeteket nem lehet külön választani jellegzetes környezetüktől, mivel azok egységes fizikai rendszert képeznek. Ezek a rendszerek - ökológusok véleménye szerint - a természet alapegységeit képezik a Földön. Az ökoszisztémák a legváltozatosabb formában és kiterjedésben létezhetnek.

Az időközben eltelt évtizedek alatt az ökoszisztémák ismerete sokat fejlődött. Mai tudásunk szerint olyan sok komponensű élő és élettelen összetevőket tömörítő szerveződések, amelyek alkotórészei között sajátos anyag és energiafolyamatok zajlanak le.

Az **ökoszisztéma** alatt értjük élőlények és élettelen környezetük teljes kapcsolatrendszerét, mely nyílt rendszer, de bizonyos mértékű önszabályozásra képes. (Braun—Blanquet, 1964., in Ellenberg, 1973). A hazai és a nemzetközi szaknyelvi jelentése jelentősen eltér egymástól, ami számos félreértés forrása lehet. A hazai ökológiai szaknyelvben az ökoszisztéma az ökológiai jelenségek értelmezése, vizsgálata céljából, (az ökológiai kutatómunka során) létrehozott rendszermodell. Azaz határozott módon elrendezett és összekapcsolt elemekből álló, kvantifikálható egység. A modell azonban mindig egy leegyszerűsítést, lényegkiemelést jelent, így a modell viselkedése sohasem teljesen azonos a vizsgált objektum viselkedésével. Az ökoszisztéma-modellek a kiválasztott ökológiai rendszer és környezete kapcsolatát vizsgálják (Szlávik J. Környezetgazdaságtan. 40-48., 2008.).

A nemzetközileg elfogadott meghatározás szerint azonban az ökoszisztéma a társulás (biocönózis) és az élőhely (biotóp) együttese.

A **biomot** több ökoszisztéma komplex alkot. A biomot egységes, kiterjedt életterek, az éghajlati övek által meghatározott ún. **zonobiomok** alegységei. A teljes zonobiom sorozat alkotja a **bioszférát**.

Legjellemzőbb típusok:

- trópusi esőerdő
- szavanna
- sivatag
- mérsékelt övi erdő
- füves puszta
- tűlevelű erdő
- tundra

A mai természetes ökoszisztémák csodálatosan összefüggő, szabályozott rendszerek. Az ökoszisztéma önkényesen megadott határok között definiálható. Pl: egy erdőt, az azt alkotó fajokat s az ezekkel kölcsönhatásban lévő élettelen, fizikai-kémiai környezeti tényezőket (például levegő, talaj, alapkőzet, oldatok összetétele, napfény, hőmérséklet, csapadék, páratartalom stb.) elemzi, s az általunk megadott határon túlról érkező hatásokat veszi számba. Ezek szerepe annál jelentősebb, minél kisebb térre korlátozzuk a rendszert. Ennek fordítottjával, a rendszer egyre nagyobb bővítésével végül eljutunk az egész Földet felölelő nagy földi ökoszisztémához.

22.3.1. Az ökoszisztéma szerveződésének és működésének elve

Talán Vida Gábor szemléletes és kézzelfogható írásán keresztül érthetjük meg legjobban milyen összetett rendszert alkotnak az ökoszisztémák:

A Föld egésze túlságosan nagy és összetett, így az ökoszisztéma szerveződésének és működésének elveit könnyebb bemutatni egy olyan egységen, melynek összetétele és jellemzői az ember léptékével összemérhető. Ilyen ökoszisztéma lehet például a hazai lombdők egyik jellegzetes típusa, a cseres-tölgyes erdő.

A Bükk-hegység déli lejtőin, Síkfőkút közelében közel fél évszázada folyik egy ilyen ökoszisztéma tanulmányozása. E kutatásokat még Jakucs Pál (1928-2000), a Debreceni Egyetem ökológus professzora szervezte meg, s neki és munkatársainak köszönhetően a világon egyedülállóan hosszú, folyamatos adatok állnak rendelkezésre az erdei ökoszisztéma működésének részleteiről. Az erdő régóta jelentős emberi hatás alatt áll, így a „természetes” ökoszisztéma működéséről legfeljebb alapos megfigyelésekre épülő következtetéseink, elképzeléseink vannak.

Nagyfokú leegyszerűsítéssel e környezeti rendszer az élő és élettelen alrendszerekre bontható. Két fő közege a levegő és a talaj, melyeket az élőkön kívül a csapadékvíz köt össze. Az élők rendszere jóval bonyolultabb. A táplálékszerzés alapján ún. trofikus (táplálkozási) szintekre bontható. Az elsődleges termelők a zöld növények, amelyek a napfény energiájával a levegő szén-dioxidjából, vízből és az abban oldott ásványi anyagokból energiadús szerves vegyületeket szintetizálva építik föl testüket. Ennek sorsa, mint minden élőé, mulandó. Vagy a növényevőknek szolgál táplálékkul, vagy elhalva a lebontók fogyasztják el. Ugyanez lesz a növényevőkkel is, azzal a különbséggel, hogy őket a ragadozó húsevők és élősködők (paraziták) fogyasztják. A rendszer kiegyensúlyozott működésének elveit akkor vesszük észre, ha elrontjuk.

Világos, hogy az élők között a növényeknek alapvetően fontos, nélkülözhetetlen funkciója van. Ők közvetítik a Naptól érkező energiát az összes többi élőnek. Naiv módon arra is gondolhatnánk, hogy ez utóbbiak tulajdonképpen felesleges parazitái a rendszernek. Mi lenne, ha kiiktatnánk őket? A rendszer összeomlana. A növények csak addig növekednének, amíg a talaj tápanyagkészletét ki nem merítenék, sőt sok növény (köztük a fák) gombák nélkül nőni sem tudnak. A lehulló levelek, elpusztuló növények biológiai lebontás nélkül évezredek át a talaj felszínén maradnának. Az már csak további apró gond, hogy a legtöbb virágos növény beporzásához vagy magvainak terjesztéséhez is állatok közreműködése szükséges.

Jól van, mondhatnánk, de ragadozókra bizonyára nincsen szükség. Ezek eltüntetésével bizonyára sokkal békésebb, szelídebb lenne a természet. Eleinte igen. De mi akadályozná meg a növényevőket, hogy túlszaporodva saját éltető elemüket, a növényeket elpusztítsák? A józan ész aligha. Számos példát ismerünk arra, hogy ragadozók hiányában a katasztrófa ténylegesen be is következik.

És a ragadozók túlszaporodását mi akadályozza, kérdezhetnénk. A válasz egyszerű: az energia. Minden táplálkozási szint átlépése során az energiának csak kb. egytizede marad felhasználható. A nap–növény–növényevő–húsevő energialáncban a húsevőknek már alig

marad valami. Pedig a ragadozó életmódhoz ugyancsak sok energia kell, főleg a megritkuló préda felkutatásához és elejtéséhez.

Persze a dolog sokkal bonyolultabb. Az egyes trofikus szinteken több száz, olykor több ezer faj él együtt egymással kölcsönhatásban. A növényevő és húsevő szint különösen bonyolult. A növényevő nem csak legelésző állatot, hanem mindenféle növényt vagy annak részeit fogyasztó apró lényt is jelent, a magevő madártól a levéltetűig, vagy a gyökérszűrőket helyettesítő gombáktól a nitrogénkötő baktériumokig. Húsevőnek számít ugyanakkor az oroszlánon kívül a cinke, a kullancs vagy a lapostetű is. További bonyodalom, hogy egyes fajok egyszerre vagy időben egymás után (fejlődési stádiumtól függően) kétféle táplálkozási szinthez is tartozhatnak, valamint a húsevőknek is lehetnek ragadozói, illetve parazitái. Ugyanez igaz a lebontókra is.

Az ökológia tudománya derekasan küszködik e bonyolult táplálékhálózat kibogozásával vagy akár csak a legegyszerűbbnek tűnő páros kapcsolatok, például a ragadozó-préda vagy az azonos táplálkozási szinten levő fajok közötti kompetíció modellezésével, elemzésével. Anélkül, hogy ezekre itt kitérnénk, a természetes ökoszisztéma egy igen lényeges sajátosságára hívom csak fel a figyelmet: az óriási mértékű változatosságra, szakszóval biodiverzitásra.

A cseres-tölgyes erdő legfeltűnőbb élőlényei a virágos növények, főleg a fajok. A leggyakoribb cser és kocsánytalan tölgy mellett még vagy egy tucatnyi más fafajt is találunk az ilyen erdőben. A cserjékkel és lágyszárú növényekkel együtt a virágos növényfajok száma egy ilyen erdőben száz körül van, s ehhez talán ugyanennyi alacsonyabb rendű más növény (moha, zuzmó, alga) járul. A növényevők száma ennél jóval nagyobb. A fajok zöme nem nagytestű emlősállat vagy más gerinces, hanem apró, főleg rovar. Ezek egy része szűk specialista. Csak egy bizonyos növényfajt fogyaszt, ennek is speciális részét (levél, termés, bélszövet, gyökér, fatest, kéreg stb.). A ragadozó vagy húsevő kategóriát is zömmel rovarok adják. Összességében legalább ezres, talán tízezres nagyságrendű lehet az ökoszisztémát alkotó fajok száma, a baktériumokat zavaros fajfogalmuk miatt nem is számítva.

(Vida Gábor: helyünk a bioszférában, 2004)

22.3.2. Az ökoszisztémák csoportosítása

Természetes:

Olyan természetes és stabil önszabályozó életközösségek rendszermodellje, melyek a működésükhöz nem igényelnek külső beavatkozást. Az evolúció, a szukcesszió és más ökológiai folyamatok szabadon érvényesülnek. Nagy fajgazdaság, magas diverzitás jellemzi. Napjainkban arányuk kicsi. Pl: őserdők, óceánok

Mesterséges:

Azon életközösségek rendszermodellje, melyeknek fennmaradásához az ember kismértékű beavatkozása szükséges.

- Félkultúr ökoszisztémák. Pl.: erdőtársulások, ősgyepek
- Kultúr ökoszisztémák: csak az ember teljes beavatkozásával lehetséges a fennmaradásuk. Az evolúció helyébe a termesztés lép. Pl.: mezőgazdasági kultúrák. Ez esetben éppen a természetes szukcesszió visszaszorítása a cél.

22.3.3. Az ökoszisztémák összetevői

Az ökoszisztéma tartalmazza az élő szervezeteket egy adott területen valamint a fizikai környezetüket.

Az **élő (biotikus)** rendszer a **biocönózist (társulást)** alkotja. A biocönózis egyed feletti szerveződési szint. Ugyanazon az élőhelyen egy időben együtt élő populációk

kapcsolatrendszere. Valamely **élőhely (biotop)** közelítően meghatározott minőségű, és mennyiségű állat,- és növényfajokból álló társulása. Lehetnek közöttük **termelő szervezetek (producensek)**, **fogyasztók (konzumensek)** és **lebontók (reducensek)**. Tehát növények, mikrobák, állatok. Jellemző rájuk az állandó fajkombináció, a réteges elrendeződés, az időbeli ismétlődés, az **önszabályozó képesség (autoreguláció)**, és valamely faj dominanciája (pl. nádas, tölgyes).

Az ökoszisztéma biotóp összetevői az **élettelen (abiotikus)** környezet, víz, levegő, talaj, ásványi sók, a klíma stb. vagyis az élőhely. Az élőlények meghatározott csoportja által (biocönózis) lakott terület. A biotóp az életközösség környezete, általában elhatárolható és jellemző ökológiai, biológiai tulajdonságai vannak.

A biocönózis a környezetet jelentő biotoppal együtt biogeocönózist alkot.

22.3.4. Az ökoszisztémák kialakulása és fejlődése

Amíg az ökoszisztémák **térbeli kiterjedése a biotóp**, addig **időbeli kiterjedése a szukcesszió**. Szukcessziónak a növénytársulások fokozatos, egy irányba mutató fejlődését nevezzük. A fejlődés meghatározott ideig tart, amíg egy bizonyos helyen kialakulhat a meghatározott életközösség.

A fajok tömegessége a környezeti feltételek szezonális vagy éves változatossága miatt igen ingadozó, fluktuál, még ha a fajösszetétel állandó is. Ha egy felhagyott szántó vagy egy erdőirtást követően csupaszon maradt terület növényzetének alakulását pár évig figyeljük, gyors és szembetűnő változások tanúi lehetünk.

A **korai** stádiumok fajai, a **pionír fajok**, általában gyors növekedésűek, kis termetűek, rövid életűek, nagy területre képesek szaporító képleteiket eljuttatni (*r-stratégisták*). Ezután a **késői** szukcessziós fajok kisebb területre tudják csak elterjeszteni szaporító képleteiket, lassabb növekedésűek, nagyobb testméretűek és hosszabb életűek (*k-stratégisták*).

A szukcesszió típusai:

- **Primer szukcesszió:** olyan felszíneken megy végbe, amelyeket nem borított növényzet. Az, hogy milyen életformájúak lehetnek az első kolonizálók, az újonnan keletkező felszín tulajdonságai határozzák meg, de bizonyos, hogy még nem találunk organikus komponensekben gazdag talajt.
- **Szekunder szukcesszió:** az eredeti vegetáció a fellépő zavarás vagy egy oda nem illő, mesterséges vegetáció fenntartása következtében eltűnt. E hatások megszűnte után a talajban nyugvó magvak, vegetatív szaporító képletek elindítják a szukcesszió folyamatát.

22.3.5. Anyagáramlási szintek

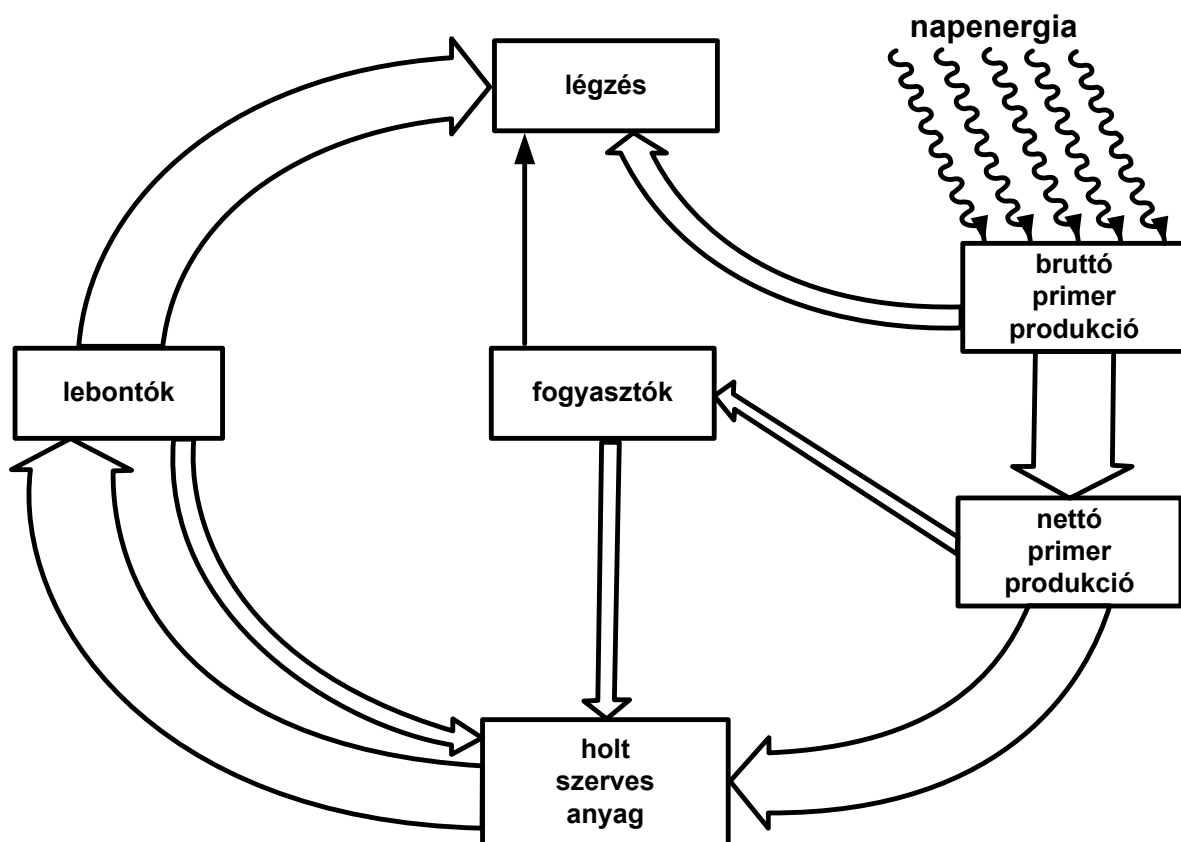
A szervesanyag-termelés és az anyagcsere-folyamatok típusa szerint az élőlények alapvetően autotróf és heterotróf táplálkozású szervezetekre oszthatók.

Három jellegzetes termelési típus különül el az élő rendszerek anyag- és energiaforgalmában betöltött szerepük szerint, amelyek a rendszer trofikus szintjeit azaz táplálkozási szintjeit alkotják.

- a. **Termelők (producensek):** olyan szervezetek, amelyek testük anyagát autotróf módon, túlnyomórészt szervetlen anyagok felhasználásával építik fel. Energia-forrásul a Nap sugárzó energiája (esetleg kivételesen vegyületek kémiai energiája) szolgál; ezek a szerves anyag elsődleges termelői.

- b. **Lebontók (destruensek):** elhalt szervezetek, anyagcseretermékek energiatartalmát hasznosítják és a szerves anyag lebontásával alkotóelemeit a tápanyag-körforgalom számára hozzáférhetővé teszik.
- c. **Fogyasztók (konzumensek):** szerves anyagból szerves anyag szintézisére nem képesek, életfolyamataik fenntartásához élő szerves anyag fogyasztásától függenek. Táplálékbázisként vagy a producensek szolgálnak (= primer konzumensek, növényevők), vagy más konzumens szervezetek (= szekunder, terciér konzumensek, ragadozók).

A trofikus szintek jellemző energiamennyiséggel rendelkeznek. Ezt befolyásolja az általuk megkötött energia és az őket fogyasztók energiaátalakítási hatékonysága is. Tehát egy szint energiaáramlását meghatározza a táplálékként szolgáló szint energiatermelése amihez hozzáadódik a más forrásból felvett energia. De csökkenti azt a hasznosítatlan táplálék energiája vagy a légzés veszteséges stb.



70. ábra: Az „élet kereke”: az energiaáramlás általános sémája erdei életközösségekben. A nyilak vastagsága megközelítőleg arányos az áramló energiamennyiségekkel (Mátyás Cs., Lotka ötlete nyomán)

Azt az energiamennyiséget amely a táplálékláncon áthalad, jellemezhetjük az egyes szintek termelésének hányadosával. Ezt az összeget **ökológiai hatásfoknak** nevezzük:

$$\frac{\text{fogyasztó szint termelése}}{\text{táplálékszint termelése}} = \text{átlagosan } 0,1 \text{ körüli érték}$$

A trofikus szintekre általánosan jellemző ez a megközelítő érték (Kozlowsky, 1968). Mivel a fogyasztók általában a felvett energia legfeljebb 5–20 %-át képesek szervezetükbe beépíteni. Az ökológiai hatásfok fajtól és táplálékbázistól függ. Mivel a fotoszintézis hatékonysága

megközelítőleg 1%, ebből levezethető, hogy az egyes trofikus szinteken rohamosan csökken a felvehető energia mennyisége.

Az egyes trofikus szinteken rendelkezésre álló energiamennyiségtől függően a szintek biomasszája is igen jelentős mértékben változik. Az erdei ökoszisztéma összetételében és anyagforgalmában a fás növényzetnek, illetőleg a koronaszintnek igen nagy jelentősége van. A konzumensek, producensek, azon belül a fás növények biomasszáját egybevetve a lebontókkal jól érzékelhető ez.

26. táblázat: Egy gyertyános-tölgyes erdőben nyáron mért biomassza 1 ha-ra vetített, becsült adatai szárazanyagban (t/ha) és az összes biomassza százalékában (Innes és Krauchli, 1995 adatai felhasználásával)

Producensek	t/ha	%	Konzumensek	t/ha	%	Lebontók	t/ha	%
Lomb	4	1,3	madarak	0,007	–	giliszták	0,5	0,2
Ágak	30	10,0	nagyemlősök	0,006	–	egyéb talajfauna	0,3	0,1
Törzs	240	76,0	kisemlősök	0,025	–	talajflóra	0,3	0,1
Lágyszárúak	1	0,3	rovarok	0,07	–			
Gyökérzet	38	12,0						
Együtt	313	99,6	együtt	0,108	0,04	együtt	1,1	0,4

22.3.6. Energiaáramlási szintek

A bioszféra számára a legjelentősebb energiaforrást a napsugárzás biztosítja. Az energia a táplálékláncok útján haladva egyre csökken:

1. Elhasználódik az életműködésekhez.
2. Hő formájában felszabadul.

A társulások működésének feltétele, hogy az energia külső forrásból (napsugárzás) rendszeresen pótlódjon.

A társulásokban anyagkörforgalom (tápláléklánc) és energiaáramlás valósul meg. A fotoszintetizáló növények a talajból felvett szerves anyagokból a nap fényenergiájának segítségével növényi szerves anyagokat szintetizálnak. A növények energiatároló vegyületek kémiai kötéseinek formájában raktározzák az átalakított napenergiát. Minden további fogyasztó ebből nyeri a testfelépítéséhez és életműködéséhez szükséges energiát. Az élőlények pusztulásával a lebontó szervezetek tevékenységének következtében az anyagok mint kis molekulájú, energiában szegény elemek vagy vegyületek kerülnek vissza a légkörbe és a talajba miközben a termelők számára újra felvehetőkké válnak.

A társulásokat nyílt anyagi rendszereknek tekintjük, amelyek a működésükhöz szükséges energiát kívülről kapják. A nap sugárzó energiája a legfontosabb és elsődleges energiaforrás (a kemoautotróf prokarióták esetében a kémiai energia, ez azonban napjainkban nem jelentős a bioszféra egésze szempontjából). A zöld növények fotoszintézise során megkötött energia a keletkező szerves vegyületekbe épül be. A felületükre jutó napenergiának azonban alig 0,5 % -át képesek a növények hasznosítani és a szervezetükbe építeni.

Egy élőlény által a táplálékkal felvett energiának a sorsa három fő irányt vehet. **Beépülhet** a szervezetbe, az öfenntartásához **elhasználódhat**, vagy pedig ürülék szerves anyag tartalmának formájában, mint kémiaiilag kötött, de fel nem használt energia **elhagyja** a szervezetet.

Az a napenergia tehát, amit a termelők megkötnék szerves vegyületek formájában, kémiai energiává alakítva a társulás rendelkezésére áll. A társulások energiamozgásának állomásai vannak, melyek a termelőktől az elsődleges, másodlagos stb. fogyasztókon keresztül a csúcsragadozók felé halad, majd a lebontó szervezetek zárják a sort.

Azonban az energiamozgás következtében az összes táplálkozási szinten jelentős veszteséggel kell számolni. Az energia jelentős hányada szintenként, az életfunkciók működtetésére elhasználandó. Más részük az ürülékkel leadásra kerül a környezetbe. További veszteséget képez, hogy a termodinamika törvényszerűségei alapján a különböző energiaformák egymásba történő átalakulása során az energia egy meghatározott hányada szükségszerűen hőenergiává alakul át és elhagyja a rendszert. Így csak a fennmaradó egyre csökkenő hányad jut préda formájában a tápláléklánc következő szintjére.

Termodinamikai szempontból az ökológiai rendszerek élőlényei a rendszerbe belépő energiával munkát végeznek és hőt termelnek. A termodinamika törvényei a társulások működésére is ugyan úgy érvényesek. Az első főtétel az **energia megmaradását** mondja ki, miszerint egy elszigetelt rendszerben az energia mennyisége nem változik, mennyisége nem növekedhet és nem is csökkenhet. Ez a nyílt ökológiai rendszerek szempontjából azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló kémiai energia mennyisége a megkötött fényenergia mennyiségétől és hasznosulásának mértékétől függ minden biocönózisban. Adott rendszerben ennél több nem termelődhet, a kémiai energia munkává és hővé átalakulhat, de az energiafajták összege a kiindulási energiánál nem lehet több. Pontosabban annyi sem, mert egyrészt a társulások nyílt rendszerek, tehát energiavesztéssel kell számolni, másrészt pedig a termodinamika második főtétele szerint az energetikai folyamatok során termelt hő teljes egészében nem tud munkává alakulni, egy része hő formájában szükségszerűen a környezetben távozik. Ez által a biocönózisokban az összes táplálkozási szinten a kilépő hő miatt energiavesztéssel kell számolni és ezt kívülről pótolni kell.

Vizsgálatok azt bizonyítják, hogy a növényevő állatok az elfogyasztott tápláléktömegnek csupán 38 %-át hasznosítják, a többit leadják ürülék formájában. Az elfogyasztott szervesanyagnak pedig alig 4 %-a épül be a szervezetükbe, a többi anyag energiatartalma az életműködéseik fenntartásához kell. A ragadozó táplálékláncokban is nagyon rossz az energiahasznosítás hatásfoka. A tömegcsökkenés általában egy nagyságrendnyi, szintről szintre haladva, ami átszámolható megfelelő energiatartalomra. 10 000 tonna növényi planktonból 1 000 tonna állati plankton lesz, ez a plankton tömeg 100 kg plankton fogyasztó kishal testtömeg gyarapodásához elegendő. Ezekből pedig 10 kg ragadozó haltömeg épülhet fel, amely az emberi fogyasztást tekintve mindösszesen 1 kg testtömeg gyarapodást okoz. Tehát látszik, hogy minél hosszabb egy tápláléklánc, energiavesztése annál nagyobb, a rövidebb táplálkozási láncoknak jobb a hatásfoka.

Az energia útja a társulásokban egyirányú áramlásként írható le. Kiindul egészen a termelőktől és a táplálkozási szinteken keresztül a csúcsragadozó felé halad. A társulások energiaellátása a bizonyos szinteken fellépő energiavesztés miatt csak állandó utánpótlás révén biztosítható. Ezt a Nap sugárzó energiája biztosítja.

22.3.7. Produktum és biomassa

Az autotróf növényzet szerves anyag termelési folyamatainak terméke az **elsődleges produkció**. A **másodlagos produkció** az, amely során a heterotróf állatok a növényi szerves anyagokat a saját testükké alakítják át. A folyamat sebessége a produktivitás, eredménye pedig a produktum.

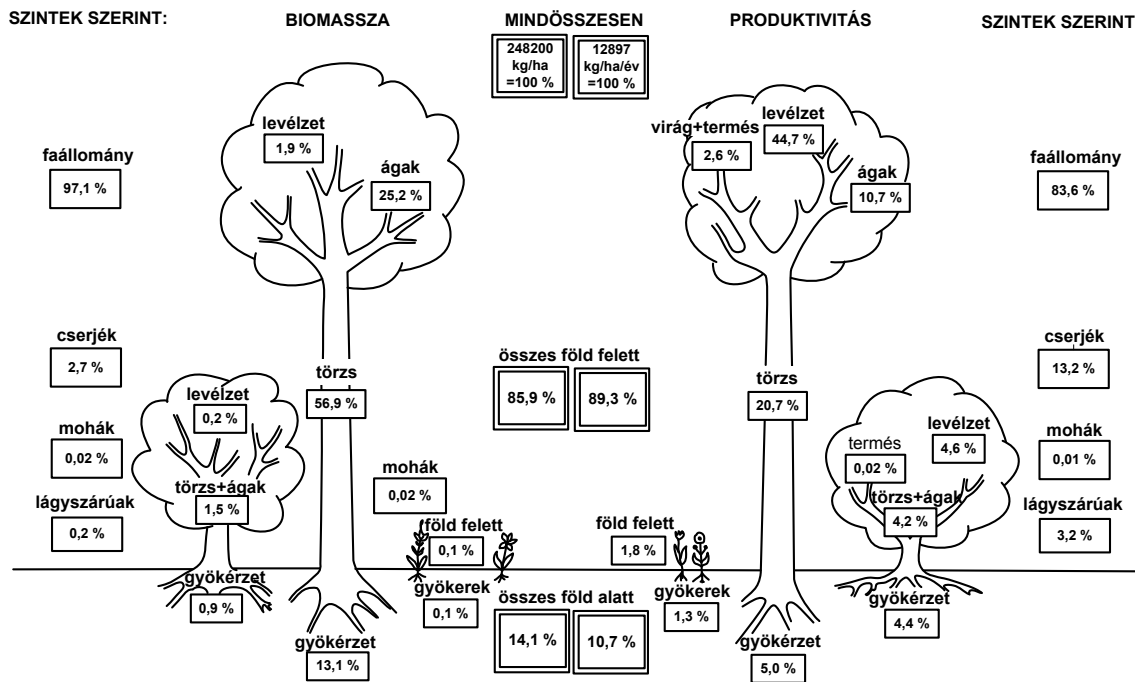
A növények által megtermelt összes szerves anyag, illetve megkötött energia az **elsődleges produktum (BEP)**. Ennek egy részét a növények saját replikációjukra (szaporodásukra) használják fel. A fennmaradó rész az úgynevezett **nettó elsődleges produktum (NEP)**. Ennek mintegy fele a **lebontó folyamatok (LR)**. Kisebb része a növények és állatok légzése során használandó fel. A maradék felhalmozódik és növeli az élőlények szerves anyagának a mennyiségét.

A élőlényekben adott időben területegységen található összes szerves anyag mennyisége a **biomassza (BM)**. Ez a **fitomassza** (növények tömegének), **zoomassza** (állatok tömegének) és az egyéb élőlények tömegének az összege. A biomassza élettelen de nem kevésbé jelentős összetevője a **nekromassza (NM)**, mint például az elhalt fatest. A nekromassza azonban nem azonos az **elhalt szerves anyaggal (ESZA)**. Az ESZA az elhalt növényi és állati szervezeteket, a lehullott leveleket, a humuszt stb. foglalja magában. Az elhalt szerves anyag a biomasszában – az élőközösség típusától függően- töredéke de többszöröse is lehet. Az elhalt szerves anyag sorsa hogy vagy lebomlik vagy elég (pl. erdő tüzekben) s így lezárul a bioszféra anyag és energia körforgalma. Egy további lehetséges útvonal, hogy felhalmozódva mélyebb földrétegekbe kerül, eltemetődik. Így évszázadok alatt kőolaj vagy szén mezők alakulhatnak ki belőle.

A szárazföldön az elsődleges produkció révén évente és hektáronként átlagosan mint egy 3,4 tonna szerves anyag keletkezik, és négyzetméterenként 6250 kJ energia kötődik meg. Mind az elsődleges mind a másodlagos produkció az ökoszisztéma típustól függően nagyon eltérő intenzitású. Látható, hogy a legproduktívabb ökoszisztémák az erdők.

Ökoszisztéma típus	Terület millió km ²	Fajlagos nettó produktivitás (t/ha/év)		Világ összes (milliárd t/év)	Fajlagos biomassza (t/ha)		Világ összes (milliárd t/év)
		terj.	átl.		terj.	átl.	
Trópusi esőerdő	17,0	10–35	22	37	60–800	4	765
Trópusi lombhullató erdő	7,5	10–25	16	12,0	60–600	3	260
Mérsékelt övi fenyőerdő	5,0	6–25	13	6,5	60–2000	3	175
Mérsékelt övi lomberdő	7,0	6–25	12	8,4	60–600	3	210
Boreális erdő	12,0	4–20	8	9,6	60–400	2	240
Fás-cserjés területek	8,5	2,5–12	7	6,0	20–200	6	50
Szavanna	15,0	2–20	9	13,5	2–150	4	60
Mérsékelt övi puszták	9,0	2–15	6	5,4	2–50	1	14
Tundra és alpesi terület	8,0	0,1–4	1,4	1,1	1–30	6	5
Félsivatag, sivatag	18,0	0,1–2,5	0,9	1,6	1–40	7	13
Szélsőséges homok- és sziklasivatag, jeges terület	24,0	0–0,1	0,03	0,0	0–2	0	0,5
Művelt területek	14,0	1–35	6,5	9,1	4–120	1	14
Mocsarak	2,0	8–35	20	4,0	30–500	1	30
Tavak, folyók	2,0	1–15	2,5	0,5	0–01	0	0,05
Összes szárazföldi	149,0		7,73	115,0		1	1837
Összes tengeri ökoszisztéma	361,0		1,52	55,0		0	3,9
Föld összesen	510,0		3,33	170,0		3	1841

A korábban már említett, középkorú cseres erdő vizsgálata, amely Jakucs Pál Professzor munkásságához kötődik (Jakucs, 1985), számos fontos, számszerűsíthető eredményt hozott. Megállapította, hogy a szerves anyagot az erdő producensei nem egyenlő arányban termelik, a legfontosabb termelők és felhalmozók a fák. A vizsgált időszakban az erdő nettó elsődleges produkciójának 84%-át adták a fák, 13%-át a cserjék, 3%-át a lágyszárúak, és mintegy 0,01%-át a mohák. A föld feletti biomasszát tekintve hasonló a helyzet: 97% volt a fák, 2,6% a cserjék részesedése; a lágyszárúak részaránya 0,3%, a moháké pedig kb. 0,02%.



71. ábra: Egy középkorú cseres növényzetének biomasszája és produktivitása szintek, növényi testtájai szerint, valamint föld feletti és föld alatti összesítésben (Jakucs, 1985 után, módosítva)

22.4. A Környezeti hatások felosztása, jellemzése

22.4.1. Élőlényekre ható környezeti tényezők (ökológiai faktorok)

Az élőlények populációi egy adott földrajzi térben, az élőhelyen élnek. Ebben a térben az illető közösségeket számos hatás éri, mint pl. hőmérséklet-ingadozás, talaj- és fényviszonyok változása, vagy a környező élővilág összetételének változása

Az **abiotikus tényezők**, vagy élettelen tényezők, a biológiában az ökológiai értelemben vett környezet élettelen jelenségeit jelölik. Magához az élethez azonban elengedhetetlenül szükséges fizikai és kémiai elemek ezek. Általában komplexen, minden élőlényre hasonló mechanizmussal ható feltételek, mint a fény, a hőmérséklet, a levegő, az atmoszféra, a víz, a szél, illetve adott fajokra és ökoszisztémákra ható környezeti feltételek, mint a talaj, a szalinitás (sófelhalmozódás), a domborzati viszonyok vagy a természeti katasztrófák. A **természeti környezetet a biotikus tényezőkkel** (evolúció, szimbiózis, kompetíció stb.) együtt alkotják.

Az abiotikus környezet biztosítja az élet fennmaradásához szükséges feltételeket (például hőmérséklet, víz). Másrészt a populációnak alkalmazkodnia kell az általa biztosított feltételekhez (például szélsőséges hőmérséklet, vízhiány). Így egyszerre hat az ökoszisztéma stabilitására és azzal szemben az instabilitására is. Az abiotikus tényezők legcsekélyebb állandósuló (például talajerózió) vagy időszakos (például árvíz) változása is instabillá teheti és adaptációra, akklimatizációra készíti az adott ökoszisztéma egyedeit.

Az ökoszisztéma abiotikus elemei közé tartoznak a különböző fizikai és kémiai tényezők.

A **fizikai tényezők**, amelyek a legnagyobb hatással vannak az ökoszisztémára a következők:

1. napfény és árnyék
2. átlaghőmérséklet
3. az átlagos csapadék és forgalmazás
4. szél
5. szélesség és magasság
6. talaj (a földi ökoszisztémák)
7. tűz (a szárazföldi ökoszisztémák)
8. vízáramlás (vízi ökoszisztémák)
9. szilárd anyagok

A **kémiai tényezők** a következők:

1. a víz és a levegő a talajban
2. a növényi tápanyagok oldott talajnedvesség (földi), és a víz (vízi)
3. természetes vagy mesterséges toxikus anyagok oldott talajnedvesség és a vízben
4. sótartalma víz vízi ökoszisztémák
5. szintje az oldott oxigén vízi ökoszisztémák

22.4.1.1. A fény mint környezeti tényező

A bioszféra számára az egyedüli energiaforrás a Nap sugárzása, ez az energia különböző hullámhosszúságú sugarak formájában éri a Földet. Az energia több mint fele fénysugárzás, kisebb része hősugárzás és csak néhány százaléka ultrabolya sugárzás. A földfelszínre jutó fény közvetlen és visszavert, ún. szórt fényből áll.

A Földre érkező fénysugárzás nem oszlik el egyenletesen a bioszférában. Változik a földrajzi szélesség szerint, a földfelszínen függőleges irányban, befolyásolják a domborzati viszonyok és a terület fölötti meteorológiai viszonyok is.

22.4.1.2. Légkör – Atmoszféra

Földünk gázburkát a légkör képezi. A föld felszínétől felfelé haladva rétegeket különböztetünk meg. Troposzféra, sztratoszféra, ionoszféra, exoszféra. Az élő szervezetek a troposzférában élnek, de az élet számára a légkör többi rétegének is van jelentősége. A légkör összetételében az élő szervezetek számára fontos az egyes összetevők aránya. Jelenleg a légkör 78%-a nitrogén, 21%-a oxigén, 0,3%-a szén-dioxid. A maradékban nemesgázokat és szennyezőanyagokat találunk. A levegő fizikai tulajdonságai közül legfontosabbak a légkör éghajlati jellegét kialakító és befolyásoló sugárzás, a hőmérséklet, a páratartalom és csapadék, valamint az ezekkel összefüggő légnyomás és légmozgások. A levegő áramlása, a szél több szempontból is befolyásolja az élőlények fennmaradását. Segíti a növények beporzását, az állatok tájékozódását és vándorlását, de lehet negatív hatása is. A levegőszennyeződésnek 5 tartományát különböztetjük meg: lokális, regionális, ipari, kontinentális, globális. A légkörbe kerülő szennyezőanyagokat emisszióknak nevezzük, ezek lehetnek szilárdak, folyékonyak vagy gázneműek.

22.4.1.3. A víz, mint környezeti tényező

A bioszférában a víz az egyik legfontosabb környezeti tényező. Számos feladatot lát el: fontos oldószer, biztosítja az anyagszállítást, részt vesz a vegyi reakciókban, hő szabályozó szerepe

van, és némely szervezet támasztát képezi. Földünkön a hidroszférát a tengerek és óceánok vize, valamint a felszíni és talajvíz képezi- a vizek nagy része sós, az édesvízkészlet mindössze 3%, ám ennek a kétharmada jég. A természetben a víz állandó körforgásban van. Ez a körforgás a hidrológiai ciklus, mely lehet rövid és hosszú. A rövid ciklus alatt a víz ugyanott csapódik le, ahol elpárolgott. A hosszú ciklus alatt a vízpárák keletkezésének helyétől a légmozgások a szárazföld felé sodorják a felhőket, a víz ott lecsapódik, a folyókkal visszajut a tengerbe. A szervezetek és a környezetük között is állandóan cserélődik a víz. A különböző szervezetek különbözőképpen érzékenyek a vízhiányra. A növények vízellátás szempontjából lehetnek: vízi növények (pl. hínár), közepes vízellátottságú növények és szárazságtűrő növények. A víz az állatok szempontjából is fontos környezeti tényező. A különböző állatfajok tűrőképessége a vízvesztés szempontjából egymástól jelentősen eltérhet. Az emlősfajok már akkor is súlyos zavarokkal küzdenek, ha szervezetük víztartalmának, 15-20%-át veszítik el. A gerinctelen állatok számos faja ettől sokkal nagyobb vízvesztést is képes elviselni (pl. csiga 60 %).

22.4.1.4. A talaj

A litoszférát kőzetek és ásványok képezik. A fiz. és kém. folyamatok eredményeként a kőzettörmelék akkor válik talajjává, ha a biológiai mállás hatására végbemegy a humuszképződés. A talaj tulajdonságai közül fontos a szemcsézettség, a víz és oxigén háztartása, valamint a talaj pH értéke. Egyes növény és állatfajok képesek arra, hogy magán a kőzeten megtelepedjenek, vagy abban járatokat vájjanak (fúrókagyló). A zuzmók a csupasz sziklákon élnek, ezért tekintik őket az élet „pionírjainak”. Az élő szervezetek számára fontos a talaj vegyi összetétele. A növények a talajban oldott ásványi tápanyagokat gyökereik segítségével veszik fel és építik be testükbe. Egyes elemek bizonyos élőlények számára kulcsfontosságúak, pl. embernél a jód. Az élőlények élettevékenységük folytatásához meghatározott kémhatású környezetet igényelnek. A talaj kémhatása és az élőlények előfordulása között egyértelmű összefüggés van. A lúgos és semleges kémhatású talajokban főleg a baktériumok száma magas, míg a savas kémhatású talajok a gombáknak kedveznek. Sok esetben maguk a növények teremtenek adott kémhatású talajt (pl. fenyők lehulló tűleveleiből).

22.4.2. Ökológiai tényező fogalma és felosztása

Az élőlényeket valamilyen módon befolyásoló tényezőket ökológiai tényezőknek nevezzük. Mivel a külső környezet állandó mozgásban van, így a környező világ tényezői hatnak egymásra (pl: víz a talajra) és ezek együttesen az élő szervezetre, másrészt az élő szervezetek is hatnak a környezetre (pl: növény a talajra).

• Edafikus tényezők:

A talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait ölelik fel, és magukban foglalják a kőzeteknek azokat a tulajdonságait is, amelyek hozzájárulnak ahhoz, hogy termőtalaj képződjön.

• Helyrajzi tényezők:

Ezek a tényezők a domborzat tulajdonságaiból tevődnek össze (domborzati tényező). Ide tartoznak a tengerszint feletti magasság, a talaj lejtése, a függőleges tagoltság fokozatai stb.

- **Éghajlati tényezők:** Az éghajlat jelentős hatással van a szervezetekre és az életközösségekre, és meghatározza egy terület élővilágának általános jellegét. Az éghajlati tényezők közé sorolják: a fényt, a hőmérsékletet, a nedvességet és a levegőt.

Biotikus tényezők:

- **A szervezetek kölcsönhatása:** A biotikus tényezők sorában megkülönböztetjük az egyes növényi, illetve állati populációk és egyedek közötti hatásokat, valamint a növények és az állatok közötti kölcsönhatást. A különböző fajok kölcsönös kapcsolata lehet egymás számára közömbös, kölcsönösen hasznos, sőt elengedhetetlen vagy káros és ezek számos fokozata és változata.
- **Antropogén tényező:** Az ember kétféleképpen hat az élő világra: közvetve azáltal, hogy a környezet fizikai, kémiai és biológiai feltételeit megváltoztatja és közvetlenül, az élőlényekre gyakorolt hatásával (pl.: erdőirtás, és az erdők helyén művelhető erdőirtás, és az erdők helyén művelhető területek létesítése stb.) azt is szem előtt kell tartanunk, hogy az ökológiai tényezők nemcsak térben, hanem időben is hatnak az élőlényekre, ezért az ökológiai jelenségek magyarázatánál tekintetbe kell vennünk a történelmi tényezőket is. Annál is inkább, mert az idők folyamán a szervezetek átalakultak és meghatározott módon fejlődtek.

22.5. Bioszféra

A bioszféra a Föld közetburkának (**litoszféra**), vízburkának (**hidroszféra**), levegőburkának (**atmoszféra**) azon része, ahol van élet és biológiai folyamatok mennek végbe.

A bioszféra a globális ökológiai rendszer, az összes élőlényel és ezek minden kapcsolatával, beleértve az élettelen környezettel való kapcsolatot is. Néhány évvel ezelőtt a Földön élő fajok számát 2-3 millió körülire becsülték. Aztán az emberi civilizációtól elzárt esőerdők lombkoronájának vizsgálatakor kiderült, hogy a rovarok világa még olyan sok, eddig nem ismert fajt tartogat, hogy a fent leírt mennyiségnek a többszörösében kell gondolkodnunk.

2000-ben kezdték és 2011-re tervezik befejezni az **Integrated Taxonomic Information System-Species 2000 Catalog of Life** nevű rendszertani információs rendszert. A projektnek Frank Bisby az angliai Readingi Egyetem munkatársa, valamint Thomas M. Orrell a vezetője és további mintegy 3000 biológus vesz részt benne. A cél, hogy egy rendszerbe kategorizálják a –feltételezések szerinti– összes eddig ismert fajt, amit 1,75 millióra becsülnek. A fosszilis fajok kivételével. A katalógus megtalálható a következő címen: <http://www.itis.gov/>. A rendszer hozzáférést nyújt sokféle, különböző szakterületre specializálódott tudományos szervezet adatbázisához. Így például a londoni, a hollandiai és a New York-i természettudományi múzeumok a lepkék, a szitakötők és pókok adatait gondozzák.

1980-ban kezdték el építeni a **Bioszféra II. project** kísérleti objektumát az Arizonai sivatagban. Megpróbálták megépíteni és fenntartani a földi bioszféra kicsinyített mását. A kísérlet 1991-ben indult el és 1993-ban fejezték be, sok-sok elkeserítő tanulsággal. Egy 13 000 m² alapterületű, 204 ezer köbméternyi teret hermetikusan elzártak a külvilágtól, mintegy 200 millió dolláros beruházással. A zárt „bioszférához” számos kiszolgáló egység csatlakozott, melyek a természetes napfényen túl mesterséges energiatöbbletet adtak légkondicionálás, szűrés és keringés formájában. Semmit nem felejtettek ki, amit csak ismer az ember a természet működésével kapcsolatban, még a fotoszintézisről és a víz körforgásáról is gondoskodtak. Az üveggel lefedett területen 80%-ot „természetesnek”, 16%-ot agrár-

ökoszisztémának, 4%-ot pedig lakóterületnek (urbán-ökoszisztémának) rendeztek be. A „természetes” ökoszisztémákat a vízi, felsívatagi, füves és erdős rendszerek képviselték, arányaik nagyjából megfeleltek az Egyesült Államok viszonyainak. Mindez rengeteg növény, állat és talajlakó mikroszervezet betelepítését jelentette. Nyolc kutató is csatlakozott a két éves, teljes bezártságot jelentő kísérlethez. Az anyagforgalmat teljesen kiküszöbölték, kizárólag az energia és az információ számára volt átjárható a rendszer. A kísérletből kimaradt a légszennyező autóforgalom és az ipari szennyezés. Havi 150 ezer dollárt emésztett fel a fenntartása.



72. ábra: Bioszféra II. project, ökológiai kísérlet

A kísérlet vége tökéletes bukás lett. A bezárt rendszerben nem működött megfelelően az oxigénciklus. A levegő O_2 -koncentrációja a dús növényzet ellenére fokozatosan csökkent, 1,4 év elteltével már a normális 21% helyett csak 14% volt. Ugyanakkor a dinitrogén-oxid veszélyesen magas szintre (79 ppm) emelkedett, mely már-már agykárosodást is okozhat. E két ok miatt a kísérletet módosítani kellett, a légkör összetételét az utolsó fél évre fel kellett kívülről javítani, így a teljes anyagi zártságot nem sikerült fenntartani. A vizekben algavirágzás alakult ki, eutrofizálódtak, a szárazföldön a liános növények kiszorították a többi fajt. A 25 gerinces állatfajból nem kevesebb mint 19 rövid idő alatt kipusztult, és ugyanígy jártak a virágos növényeket beporzó rovarok, ezzel szemben a hangyák a sáskák és a csótányok tömegesen elszaporodtak. Hogy mindez miért történt, arra nem sikerült megnyugtató választ találni.

A számos megismert tanulság mellett a legfőbb tapasztalat az volt, hogy közelében sincs az emberiség annak megértéséhez, hogy miként működik az élet. Levonva a következtetéseket:

1. Eddig nem sikerült embert tartósan fenntartó ökoszisztémát konstruálnunk. Ennek nem csak a bioszféra működésének jobb megértéséhez volna szükségünk, hanem például hosszabb űrutazások, földön kívüli bázisok, kolóniák kialakításának is elengedhetetlen feltétele lenne.
2. Nem tudjuk, hogy a „Bioszféra I.” (a nagy földi rendszer) ezt hogyan csinálja.
3. A földi bioszféra működőképessége számunkra nélkülözhetetlen.

Olyan bonyolult kapcsolat van a Föld élőlényei között, amelyet a tudomány mai állása még nem képes teljes egészében megmagyarázni.

Az esőerdők egyre nagyobb mértékű pusztításával féltjük, hogy rengeteg olyan élőlény fog eltűnni, amelynek létezéséről fogalmunk sem volt. Az élet keletkezésekor elinduló folyamat látszik megtörni, amely szerint az élet folyamata nem áll meg, hanem egyre inkább fejlődik, tökéletesedik és bonyolultabbá gazdagabbá válik. Kezünk alatt fajok sokasága tűnik el, egész ökológiai rendszereket rombolunk szét. Az ember által nem zavart területek száma egyre

csökken, kis foltokká zsugorodnak, ahol folyamatosan csökken a fajok száma. Az egyre kisebb élőhelyeken megakad az élet fejlődése, amelynek lehetséges következményeit nem nagyon látjuk. Jóra bizonyosan nem vezethet az egész.

Ezen a ponton érdemes megállni és elgondolkodni azon, hogy érdemes-e a tudomány robbanásszerű fejlődéséről, a technikai fejlődésről olyan komoly hangon beszélni, mint ahogy azt eddig tettük. A Bioszféra II. kísérlet tapasztalataiból inkább úgy tűnik, hogy az emberiség ahhoz a gyerekhez hasonlatos, amelyik valamilyen szerkezet működését nem értve szétszedi azt, összerakni azonban már nem képes.

22.6. Szukcesszió

A fogalom, ökológiai folyamatot jelent, mely a növénytársulások időbeli egymás után következését mutatja. Időváltozások sorozata, mely a biocönózisban megy végbe. Részbeni kicserélődése a társulást alkotó populációknak. Élőhely változásként is értelmezhetjük.

A szukcesszió jelenségének megfigyelése csak a századfordulótól szerepel a tudomány említésében, bár nagyon hosszú múltra tekint vissza. Az elmélet megalkotásában úttörő szerepük volt az észak-amerikai ökológusoknak. Közülük is kiemelendő Clements munkássága. A „szuperorganizmus” társulás koncepció megalkotója a szukcesszióra is évtizedekig uralkodó elméletet alkotott (Clements, 1916).

A **szekuláris szukcessziót** geológiai időléptékkel mérjük. Ez együtt jár evolúciós és makroklimatikus változásokkal (fajok kihalnak, keletkeznek). A **biotikus szukcesszió** kisebb, néhány 10-1000 év léptékben zajlik, lényeges evolúciós változások nélkül.

Fajtái:

Kiindulási állapot szerint:

- A primer szukcesszió (felszínen zajló, friss vegetáció fejlődés)
- Szekunder szukcesszió (katasztrófa után induló szukcesszió) - külső környezet változás

A primer szukcesszió indulása a kívülről odajutó fajok megtelepedésével kezdődik és a talajképződés is párhuzamosan zajló, hosszú folyamat. Például a gleccser visszahúzódása utáni legyalult felszín, vagy humusz képződés.

A szekunder szukcesszió megindulásakor van talaj, s a talajban sok faj magva már jelen van, Példa: tarvágás, tűzvész vagy folyóhordalék feltöltés.

Időlépték szerinti csoportosítás:

- szekuláris (földtörténeti időskálán)
- biotikus (lokális)

Változás eredete szerint:

- autogén (talajképződés)
- allogén (külső hatás)

23. Agrár-ökoszisztéma (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A természetes ökoszisztémák rendszerére az egyik legnagyobb hatást gyakorló és leg hosszabb ideje tartó mesterséges emberi beavatkozás a mezőgazdasági művelés. Kihat éppúgy a növény és állatvilágra mint a talajéletre, ezért kiemelten célszerű foglalkozni vele. Általánosságban az ökoszisztéma szót egyszerűen egy terület megjelölésére használják akkor, amikor hangsúlyozni kívánják annak a biológiai egységét. Így definiálnak erdei, tavi, mezei stb. ökoszisztémákat. Ehhez hasonló módon érthető az **agrár-ökoszisztéma** kifejezés is. Ezesetben egy mezőgazdasági művelésbe vont területről van szó. Ebből kiindulva a mezőgazdasági szakirodalomban egy halastavat, egy gyümölcsöst, egy erdőt, egy legelőt, egy növényekkel bevetett táblát, sőt néha egy állattenyésztő telepet is neveznek agrár-ökoszisztémának. Ezekben az ökoszisztémák törvényszerűségei tagadhatatlanul mindenütt és mindenkor érvényesülnek. Az alapvető eltérésük a természetes társulásoktól abban nyilvánul meg, hogy az ember tekintélyes biológiai, kémiai és fizikai energiát fektet beléjük azzal a céllal, hogy ezáltal a természetet meghaladó biológiai produkciót betakarítsa, tehát elvonva az ökoszisztémától hasznosítsa.

23.1. Az agrár ökoszisztémák sajátosságai

A természet és az ember által létrehozott ökoszisztémákban lezajló anyag és energiaforgalom alapvetően különbözik egymástól. A természetes ökorendszerek önszabályzóknak, normál körülmények között évtizedeken, évszázadokon át fennmaradó nagy stabilitású rendszereknek tekinthetők.

Ezzel szemben az ember által fenntartott növénykultúrák stabilitása kicsi. Legtöbbjük beavatkozás nélkül még egyetlen ciklust sem fejezne be. Az ember irányítószerepének a legfontosabb feladata az állományok folyamatos karbantartása.

Az egyjárási kultúrák esetében a növénytermesztési ciklus a talaj előkészítésével és a vetésével kezdődik, amit a vegetációs időszak követ, szinte folyamatos emberi beavatkozással vegyítve. Azaz gyommentesítés, növényvédelem stb. A növénytermesztési ciklust elvileg a betakarítás zárja. Ha ez megtörtént, a termőhelyen csupán a melléktermék egy része marad, a hasznosítható terméket elszállítják. Az ökoszisztémából ilyesformán anyag és energia kerül ki, amit az ember közreműködésével vissza kell pótolni.

Rendszerelmélet szempontjából megállapítható tehát, hogy a mezőgazdasági kultúrák- mivel a rendszeren kívülről származó, anyag- és energiaforrásokat is felhasználnak – a **nyílt anyagforgalmi rendszerek** kategóriájába tartoznak.

A természetes ökoszisztémák, amelyek rendszeren belüli anyag- és energia körforgásra épülnek, **zárt anyagforgalmi rendszernek** nevezzük.

23.2. Tavi ökoszisztéma

A Földön levő tavaink a legjelentősebb édesvíz készletünk. Ezeket patakok és folyók fonják egymásba és így alkotnak egy komplett rendszert. Minden földi ökoszisztémának megvan a maga alapvető vízforrása. Ilyenek a tundra jeges tavacskái, az északi erdők mély, hideg vizű tavai és a sebesen zuhogó hegyi patakok.

A hidrobiológia a vízi élőlények és vízi ökoszisztémák tudománya; rész tudománya a limnobiológia, a nem tengeri állóvizek tana.

A víz az egyik legfontosabb környezeti tényező. Az élet nélkülözhetetlen feltétele. A jelentőségét mutatja, hogy az élőlények szervezete 10-95% vizet tartalmaz. A víz a

legkihasználtabb közeg. Minden élőlény megtalálja a maga hasznát benne. Élőhelyként, folyadékpótlásra, tisztálkodásra, játszó és búvóhelyként vagy szaporodási közeget hoz létre egyes fajok számára.

A tavi ökoszisztéma összetett és változatos társulásokból épül fel.

23.2.1. Társulások

Planktonok

Görög eredetű szó (πλαγκτον), a jelentése „vándorló”, „sodródó”. A planktonnal foglalkozó tudományág a **planktonológia**. Minden olyan élőlényt a planktonok közé sorolunk, amely helyváltoztatásban elsősorban a víz áramlása és nem a saját izomműködése a meghatározó. A testük magas víztartalma miatt állandó vízszintes sodródás jellemzi ezeket. Kivételek is vannak. Néhány faj alkalmas a vízáramlástól független, jellemzően függőlegesen felfelé irányuló (Angolul: diel) mozgásra. A planktonikus élőlényekkel szemben megkülönböztetünk **nektonikus** (úszó) élőlényeket, amelyek irányítani tudják a mozgásukat és képesek a környező áramlásokkal szemben úszni a vízi környezetben (pl.: halak, magasabb rendű rákok, vízi emlősök, egyes puhatestűek).

A planktonon belül a **holoplankton**ba azok az organizmusok tartoznak, amelyek életük egész időszakát plankton közösség részeként töltik (például a legtöbb alga, medúza és alsóbbrendű rákok: ágascsapú és evezőlábú rákok). A **meroplankton** az élőlények azon csoportja, amelyek életük csak egy részében planktonikusak (általában a lárva részben), majd az ontogenezisük során képesek lesznek az önálló helyváltoztatásra és később a **bentosz** (üledék) vagy a **nekton** életközösség részévé válnak. A puhatestűek legtöbb faja és a legtöbb hal a meroplankton tagjai. A planktonbőséget és planktoneloszlást olyan tényezőktől erősen befolyásolják, mint a víz áramlása és megvilágítottság mértéke vagy a környező tápanyagok koncentrációja.

Bakteroplanktonok.

Prokarióta szervezetek, mikrométeres nagyságrendű mikroorganizmusok. A mikrobiológián belül a bakteriológia foglalkozik a baktériumok tanával. A baktériumok és a szintén idetartozó archeák fontos szerepet játszanak a szerves anyag lebontásban, jellemzően a mélyebb vízrétegekben. Az állóvizekben, folyóvizekben lévő bakterioplanktonok mennyisége igen változó, és ez függhet az adott év éghajlatától is. Mély tavakban a baktérium fajok mélység alapján rendeződnek. Az eloszlás azonban nem egyenletes, hanem 2 - 3 dúsulás maximum található.

Fitoplanktonok

Fototrofikus algák alkotják. Szükségük van fényre a fotoszintézishez emiatt a vízfelszínhez közel élnek. Megfigyelhető a fitoplanktonok az üledék feletti víz-üledék határon történő feldúsulása. A növények őseinek tekinthetjük a csoportjukat. A fontosabb csoportjai a kovamoszatok (*Diatomeae*), cianobaktériumok és a zöld algák (*Chlorococcales*)

Az alga nem természetes csoport, nem önálló rendszertani egység, bár a hagyományok miatt a rendszertan elfogadja az algák csoportját még akkor is, ha azt tulajdonképpen több divízió alkotja. Van den Hoek és mts. szerint az algák olyan változatos felépítésű, fotoszintetikus növények, melyeknek nincs gyökerük, levelük, szöveteik, egyesek nem fotoszintetizálnak ugyan, de nagyon hasonlítanak a fotoszintetizáló formákhoz. Egy- vagy többsejtű, teleptestű, asszimiláló autotróf növények.

Zooplanktonok

Feneklakó apró állatok melyek fő tápláléka a fitoplankton. Lehetnek egysejtűek vagy többsejtűek is. Többsejtűek például a különféle tengeri állatkák, apró halak, meszes héjú állatkák, alsóbbrendű rákok (*Crustaceae*) és gyűrűs férgek petéi és lárvái. A többsejtű édesvízi zooplankton három csoportra osztható: a kerekesszék (Rotatoria), az ágascsapú rákok (*Cladocera*), valamint a nagyobb evezőlábú rákok (*Copepoda*) csoportjára. A kerekesszék között szinte kizárólag édesvízi élőlényeket találunk. Kinézetük sokféle, gyakran valószerűtlenül mókás. Az édesvízi plankton legapróbb élőlényei ezek, sok egyed az 1 mm-es méretet sem éri el.

Csoport neve	Mérettartomány	Hosszúság	Taxonok
Megaplankton	$> 2 \times 10^{-2}$ m	> 20 mm	Medúzák (egyes csoportjai) Bordásmedúzák Előgerinchúrosok Fejlábúak
Macrop plankton	$2 \times 10^{-3} \rightarrow 2 \times 10^{-2}$ m	2–20 mm	Tengeri pillangók (Pteropodák) Nyílférgek Krillek Bordásmedúzák; Előgerinchúrosok (egyes csoportjai) Fejlábúak
Mesoplankton	$2 \times 10^{-4} \rightarrow 2 \times 10^{-3}$ m	0.2 mm–2 mm	Metazoák Medúzák (egyes csoportjai) Ágascsapú rákok vagy vizibolhák (<i>Cladocera</i>) Kagylósrákok (<i>Ostracoda</i>) Nyílférgek (<i>Chaetognaths</i>) Tengeri pillangók (Pteropodák) Zsákállatok (<i>Tunicata</i>) Heteropódák
Microplankton	$2 \times 10^{-5} \rightarrow 2 \times 10^{-4}$ m	20–200 μ m	Nagy eukarióta protisták A legtöbb phytoplankton Protozoák (<i>Foraminifera</i>) Ciliáták Rotiferák Juvenilis metazoák Crustacea (copepod nauplii)
Nanoplankton	$2 \times 10^{-6} \rightarrow 2 \times 10^{-5}$ m	2–20 μ m	Apró eukarióta protisták Apró diatómák (<i>bacillariaceák</i>) Apró flagelláták Pyrrophyta Chrysophyta Chlorophyta Xanthophyta
Picoplankton	$2 \times 10^{-7} \rightarrow 2 \times 10^{-6}$ m	0.2–2 μ m	Apró eukarióta protisták Baktériumok Chrysophyta
Femtoplankton	$< 2 \times 10^{-7}$ m	< 0.2 μ m	vírusok

Makrofitonok

Ebben a csoportba tartoznak a magasabb rendű vízinövények. Ilyenek a nádasok (*Scirpo - Phragmitetum*), sás (*Aquila*) stb.

Makroszkópos gerinctelenek

Ide tartoznak a csigák, kagylók, szivacsok, stb. Igen népes csoportot alkotnak.

Halak

Ez rendelkezik a legváltozatosabb fajösszetétellel. A halfajokat a kifejlett korokra jellemző táplálkozásmód szerint csoportosíthatjuk:

Békés halak

- növényevők (amur, fehér busa)
- mindenevők (ponty, keszegfélék)
- apróállat evők (garda, tokfélék)

Ragadozó halak (csuka, harcsa, süllő, stb.)

Életének első heteiben a legtöbb halfajhoz hasonlóan a növényevő halak ivadéka is a mikro- és mezozoo planktonhoz tartozó élőlényeket fogyasztja (*Rotatoriák*, apró *Copepodák* és *Cladocérák*), majd fokozatosan áttér a fajra jellemző végleges táplálékra. A ragadozó halaink egyedfejlődésük során különböző fejlődési stádiumokon mennek keresztül, amelyek során döntő fontosságú a megfelelő méretű és mennyiségű táplálék (akár zooplankton, akár élő hal) megléte. A ragadozó halaknak nagy szerepe van az egyes eutrofizációra hajlamos tavak (pl.: Balaton) biomanipulációjában. A kívánatos fehérhal-ragadozó arány eltolódása a tavi élet alapvető megváltozását idézi elő. A zooplankton fogyasztó halpopulációk jelentős mértékű elszaporodása döntően befolyásolja a fitoplankton mennyiségét, ami egyenes arányban áll a különféle algák túlszaporodásával, és az eutrofizáció kialakulásával. Ebbe a csoportba sorolható a csuka (*Esox lucius*), a sügér (*Perca fluviatilis*), vagy a süllő (*Stizostedion lucioperca*).

A nyíltvízi tápláléklánc fő tagjai:

Fitoplankton → növényevő zooplankton → ragadozó zooplankton → nyíltvízi békés halak → nyíltvízi ragadozó halak.

Az üledéklakó fogyasztók táplálkozási láncának fő tagjai:

Az üledék algái, a vízínövények és a szerves törmelék → a növényevő üledéklakó állatok → ragadozó üledéklakó állatok → az üledék közelében élő békés halak és → az üledék közelében élő ragadozó halak.

Az egyedek tömeggyarapodásából és az adott faj biomasszájának a növekedéséből látható, hogy a két fő táplálékláncban résztvevő fogyasztó szervezetek a szerves anyagok egy részét raktározzák.

23.2.2. Eutrofizálódás

Az **eutrofizáció** a többlet tápanyag (különösen nitrogén- és/vagy foszforvegyületek) hatása miatti fokozódó fitoplankton szaporodás és feldúsulás. Elsősorban az állóvizeket (tavakat, tározókat) veszélyezteti ez a folyamat, mert az állóvizekben kevésbé tud hígulni a koncentráció, mint a vízfolyásokban. A víztest gyakran rétegekből áll és ezek a rétegek kevésbé keverednek egymással. További probléma az állóvizek szennyezésében, hogy az átöblítés és a teljes vízcsere egy- de akár száz évig is eltarthat, míg a vízfolyások esetében néhány nap illetve hét alatt megtörténik. Mindezek következményeként az állóvizek érzékenyebbek, mint a vízfolyások az olyan anyagok szennyezésére mint a növényi tápanyagok, olaj, és toxikus anyagok, amelyek a fenék élővilágát megsemmisíthetik, a halakat elpusztíthatják. Eutrofizálódás alatt az állóvizek tápanyag-feldúsulása következményeként

bekövetkező **trofitásfok** (a víz szervesanyag-termelésének mértéke) emelkedését értjük. A tápanyag dúsulás hasonló a feltöltődéshez, lassú, geológiai időmértékkel mérhető természetes folyamat. Az emberi tevékenység a **természetes eutrofizálódást** gyorsíthatja, elsősorban tápanyagoknak a vízbe juttatásával. Ez a gyorsított jelenség a **mesterséges eutrofizálódás**.

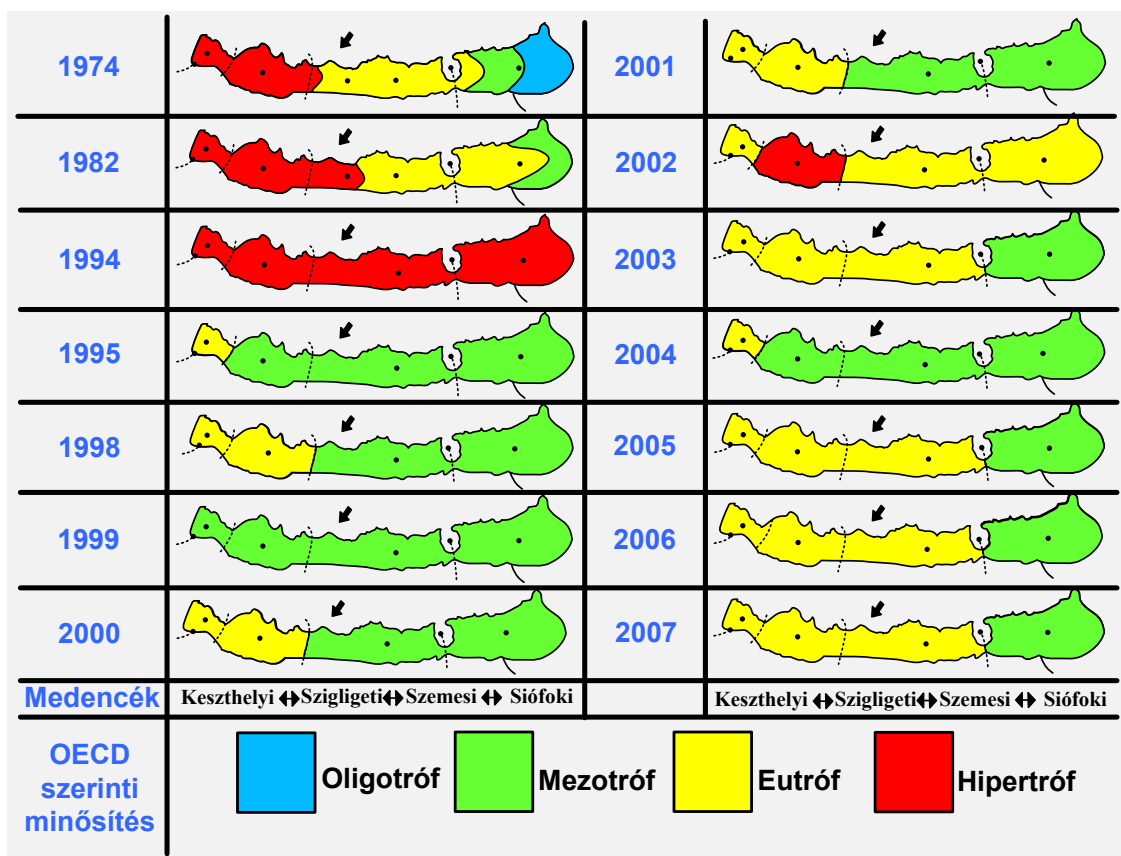
A felesleges tápanyagok amelyek az eutrofizációt kiváltják, vagy természetes úton széllel érkeznek, esővízzel bemosódnak vagy befolyás útján érkeznek a tóba, illetve mesterséges úton, az emberi tevékenységből származó mezőgazdaságból, közlekedésből vagy a természetellenes háztartási mosószerekből.

Első lépésként az eutrofizáció folyamata során a szerves szennyezőn (pl. kommunális szennyvíz) heterotróf élőlények szaporodnak el, amelyek a víz **szaprobításfokát** növelik és a biológiai oxidáció során elfogyasztják a víz oldott oxigéntartalmát, ezzel kizárják belőle „természetes” élővilágának jelentős részét. A szaprobítás a vízben élő szervezetek szerves anyag lebontó képességének mértéke. A szerves anyagokon elszaporodó mikroorganizmusok, amik a vizet is jellegzetes szagúvá (bűdössé) változtatják, végeredményben alkotórészeikre bontják a szennyezést: vízre, szén-dioxidra és szervesetlen sókra, vagyis az autotróf élőlények számára készítenek belőlük tápanyagokat. Elsősorban a P- és N-vegyületek, de általában a szervesetlen növényi tápanyagok a víz **trofitásfokát** (algatermő képességét) növelik.

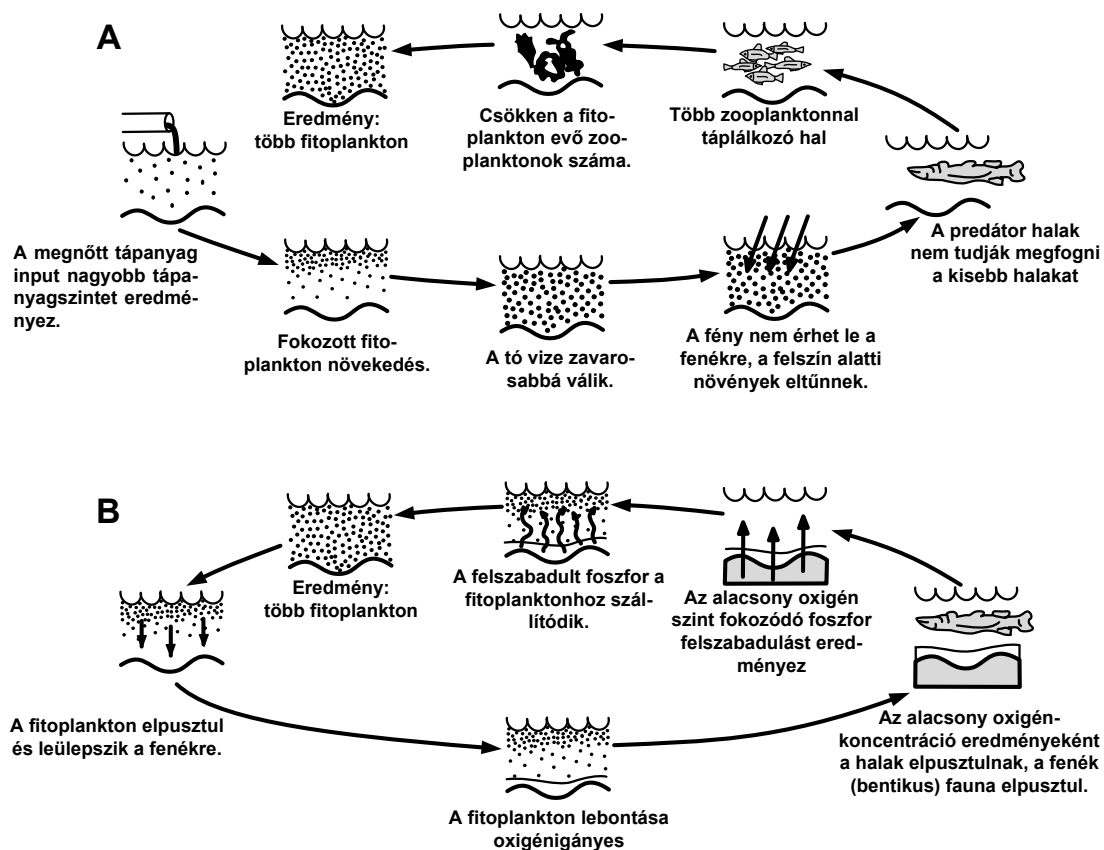
A természetes algapopulációnak hasznos szerepük is van abban, hogy segítik a felszíni vizek öntisztulását, a nappali oxigéntermelést, de mindemellett zavarokat, károkat is okoznak. Anyagcsere-termékeik miatt ronthatják a vízminőséget közvetlenül, élénk szaporodásukkal pedig zavarják a vízelőkészítő művek működését és az egészséges tavi viszonyokat.

A trofitás fokát többek között a víz a-klorofil tartalma, algaszáma, valamint széntermelése alapján adják meg. Ezek alapján a skála az **atrofikus** (szerves anyag teljes hiánya) állapottól az **oligotróf**, **mezotróf**, **eutróf** állapoton keresztül a **hipertrófig** terjed, vagyis ez utóbbinak a legnagyobb a szervesanyag-termelése. A trofitás növekedése, azaz az eutrofizálódás során nő a vizet borító algák, hínárok mennyisége, csökken a víz oxigéntartalma, ami a vízi élővilág számára kedvezőtlen, de emberi használatra is egyre inkább alkalmatlanná válik a víz.

A képen a kéktől a piros felé haladva egyre rosszabb a vízminőség. A felgyorsított - mesterséges- eutrofizálódás megfékezésének megoldása egyrészt input módszerek alkalmazásával csökkenteni a tápanyagoknak a tavakba, tározókba való bejutását, másrészt output módszerekkel megtisztítani a már előrehaladott mértékben eutrofizált tavakat. Az input oldalról történő megközelítés értelem szerűen a leghatékonyabb. Elsődleges szempont, hogy a különböző növényfajok növekedéséhez szükséges sokféle tápanyag közül a legkisebb mennyiségben jelen lévő fogja meghatározni a növekedést, vagy annak leállítását (Leibig-törvény). A legtöbb édes vízi tóban például a foszfor bizonyult a limitáló tényezőnek. Tehát a foszfor bevitel csökkentése lehet a kulcsa az eutrofizáció leghatékonyabb visszafordításának.



73. ábra: Balaton eutrofizációs térképe (1974-2007) (Forrás: Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség)



74. ábra: Eutrofizálódás ökológiai hatása (Forrás: <http://www.ibela.sulinet.hu/termtud/viz/olajszenny.htm>)

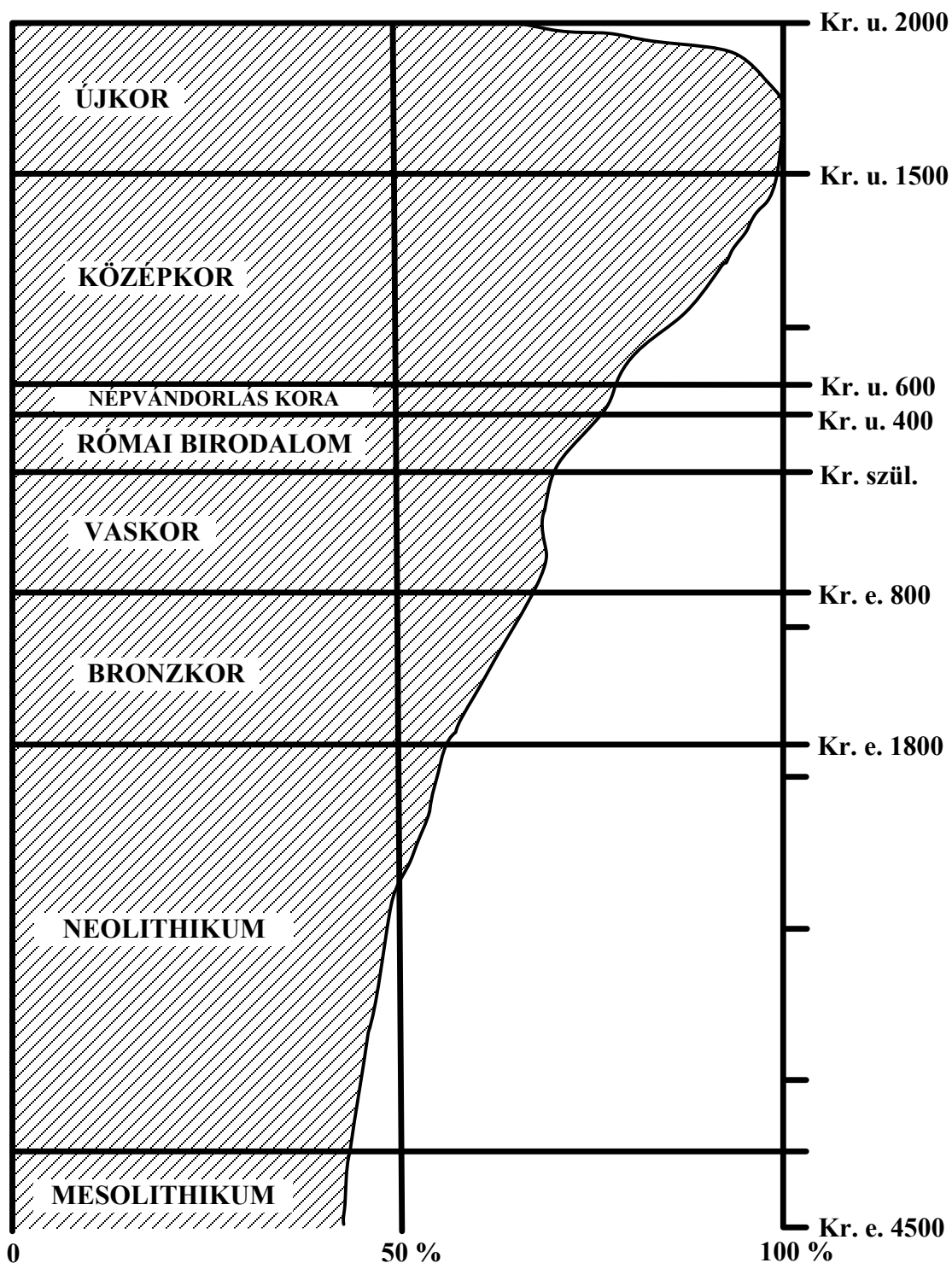
23.3. A szántóföldi ökoszisztéma

Korunk egyik súlyos ellentmondása, hogy a mezőgazdaság, amelynek tevékenysége az összes termelési ág közül a legközvetlenebbül kapcsolódik a természethez, a természeti elemek (talaj, víz, levegő) egyik legjelentősebb szennyezőjévé vált. A mezőgazdasági termelés legfőbb környezet károsító faktorai a talajok pusztulását okozó oktan földhasználat, a kemizálás azaz a vegyszeres növényvédelem, a peszticidek, inszekticidek, herbicidek elterjedt használata, a nem szakszerű műtrágyázás, illetve a nagyüzemi állattenyésztés hasznosítatlan melléktermékei, az állati tetemek és trágyák. További problémát jelent a kiterjedt mezőgazdasági **monokultúrák** (egy területen csak egyféle növény termesztése) elterjedése. Ez egy kisebb ökoszisztémában csökkenti a biodiverzitást (biológiai sokféleséget), mivel az adott monokultúra csak adott fajösszetétel számára biztosít optimális feltételeket. Egy mezőgazdasági monokultúrán jellemzően annak a néhány fajnak a túlszaporodását figyelhetjük meg, amelynek az megfelelő táplálékot nyújt. Így kialakul egy fajszegény, de egyedszámban dús, nem természetes ökoszisztéma. A kémiai védekezéssel azután pedig nem csak az elsődleges fogyasztókat gyéríti az antropogén beavatkozás, hanem a tápláléklánc összes tagját.

Ezzel szemben a mezőgazdálkodás összességében a biológiai sokféleséget növelő hatással bír. Ez arra vezethető vissza, hogy az általa létrehozott antropogén agrárökoszisztémák új élőhelyeket és lehetőségeket nyitottak olyan fajok részére, amelyek az erdővel borított természeti tájakon nem találták volna meg létfeltételeiket. A föld használatba vételével összefüggő biodiverzitás növekedésre és annak mértékére mutat rá a közép-európai flóra diverzitásának változási tendenciáit szemléltető ábra.

Megállapítható, hogy a flóra diverzitása az ipari forradalom időszakára érte el Közép-Európában a maximumát. Kr.e. 4500 körül a diverzitás ennek még 50%-a sem volt. A környezet túlhasználata az ipari forradalommal kezdődött. Ez drasztikus diverzitáscsökkenést okozott, s amit a környezet kíméletes és fokozatos használatba vétele e tekintetben 2500 év alatt felépített, azt a túlhasználat 250 éve tökéletesen lerombolta. A tendencia folytatásának beláthatatlanok a következményei. A mezőgazdasági művelés Magyarország összterületének több mint 65%-át érinti, így az igen jelentős hatással van a biológiai sokféleségre nem csupán a közel 6 millió ha művelt területen, hanem az érintkező egyéb területeken is. Láthatjuk, hogy ez a folyamat alapvetően kétirányú lehet. A mezőgazdálkodás egyaránt növelheti vagy csökkentheti is a biológiai sokféleséget.

A szántóföldek ökoszisztémája egy hosszú idő alatt kialakult másodlagos élőhely, ahol a különböző vadon élő növény és állatfajok alkalmazkodtak a természet rendjétől eltérő feltételekhez. A adottságait figyelembe vevő gazdálkodási formák jelentős mértékben hozzájárulnak a szántóföldi területek természeti értékeinek megőrzéséhez. A természeti erőforrások fenntartható használatára és a földművelők évszázadok alatt összegyűjtött tapasztalatára épülő ökológiai hasznosítás során a természetvédelmi és a gazdasági szempontok kerülnek összehangolásra. Ideálisnak hangzik...



75. ábra: Közép-európai flóra diverzitásának változási tendenciái (Hüppe, 1990 nyomán; Harrach, 1994)

23.4. Gyep

A gyep egyike a föld legősibb mezőgazdasági művelésmódjának. Az állattartás szállástakarmány igényének kielégítéséhez meghatározó helyet foglal el a gyepgazdálkodás. Szerte a világon egyre több helyen gyeptermesztésről beszélnek, mivel a meglévő állatállomány és a gyepnövények ismeretében az adott ökológiai feltételek mellett, a piac által diktált költségek figyelembevételével -agrotechnikai módszerekkel és megfelelő

szakértelemmel tervezhető és termelhető meg a legeltetéshez, vagy a téli szállástakarmány ellátásához szükséges zöldfű mennyiség.

A szántó és az erdő területek aránya csak Európában haladja meg a gyepeket. A hazai gyepek mezőgazdasági értéke nem jelentős. Azonban állapotuk természetes, vagy természet közeli. Így fajgazdagságuk és tájalkító szerepük miatt kiemelkedő fontosságúak. A természetvédelmi területek 52,5%-a erdő, 29,5%-a gyepterület. A legszigorúbb védelemmel rendelkező nemzeti parkokban minden harmadik hektár gyepterület. A gyepek nagymértékű elterjedése ökológiai alkalmazkodó képességüknek köszönhető, ugyanis ökológiai amplitúdója minden más vegetációnál szélesebb. Képesek tolerálni a szélsőséges viszonyokat, így pl. a fagy, talajvíz bőség, hiány, változékonyság, téli vízborítás, nyári szárazság. Képesek tolerálni a szélsőséges talajtulajdonságokat, alacsony, vagy magas pH, szélsőséges szerves anyag tartalom, - és mechanikai összetétel, stb.

23.5. A talaj edafon élőhelye

Az egysejtű baktériumoktól az emlősökig és a magasabb rendű növényekig mintegy 4000 faj él a talajokban, az élőlények mellett pedig megtalálhatóak a maradványaik is. Az élő anyag tömege hektáronként –25 cm-es talajréteget tekintve– mintegy 10 tonna! A talaj szerves anyagának az átlagos összetétele a következő: humusz 85%, gyökerek 10%, a benne élő növény és állatvilág (gombák, algák, baktériumok, földigiliszták és egyéb állatok) 5%. A sokféle faj közül talán a mikroorganizmusok a legfontosabbak. A mikrobiológia tudománya foglalkozik velük. A mikroorganizmusok közé tartoznak a baktériumok, gombák, archaeák és protisták. A talajban élő mikrobák és a makroszkópikus fauna összességét nevezzük **edafonnak**.

Az edafon képezi a lebontókat és ők az anyagforgalom kulcsszereplői. Mikroszkopikus mérettartományúak, szabad szemmel nem láthatóak. Életképességükhöz elengedhetetlen a víz jelenléte. Mennyiségüket tekintve a baktériumok a legjelentősebbek. Egy gramm talajban számuk 1 millió körül van. Kedvező körülmények között testtömegük 100-1000-szeresének megfelelő anyagmennyiséget tudnak egy nap alatt lebontani. A baktériumok jórészt negatív kontextusban, valamilyen betegséggel kapcsolatban emlegetjük, pedig a kellemetlenségek mellett köszönettel is tartozunk nekik, például a jól működő emésztésért. A probiotikus, élőflórás élelmiszerek ma már talán senki számára nem ismeretlenek: ezek a termékek pontosan ilyen "jó" baktériumokat, vagyis probiotikumokat tartalmaznak, melyek a szervezet működését segítik.

A magasabb rendű talajlakó állatok képviselik a **zooedafont**, ilyenek például a vakond és giliszta. Munkájuk során nagy földmennyiséget forgatnak és mozgatnak meg, ennek eredményeként a talajt lazábbá és porhanyóssá teszik. Járataikkal javítják a szellőzést és a vízgazdálkodást, ezenkívül pedig sok növényi maradványt dolgoznak a talaj mélyebb rétegeibe. Zooedafonok közül a giliszta említésre érdemes. Már Darwin felismerte a giliszta fontosságát a talajok termékenységének alakulásában. A giliszta mindenféle szerves anyagot elfogyasztanak, de legfőként a fák lehullott leveleinek lebontásában játszanak kulcsszerepet. A növényi maradványok enzimek hatására bomlani kezdenek az emésztőcsatornáikban, a talaj ásványi alkotórészeivel szorosan összekeverednek és összetapadnak. A giliszta testéből kis golyócskák vagy kolbászok alakjában távozó ürülék már homogén (egynemű) anyag. Ezek a kis rögöcskék később sem esnek szét, felhalmozódnak, és a talajszerkezetet morzsalékosá teszik.

24. Talaj, mint élőhely (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A talaj megújuló erőforrás, a biomasza termelés alapvető közege. Mérsékli a szennyeződések, illetve azok továbbterjedését, raktározza a hőt, vizet és a növényi tápanyagokat. Raktározó, puffertoló hatása van. Rendkívül jó nyersanyagforrás és élőhelyet biztosít számos faj számára.

24.1. Talaj

A talaj ásványi vagy szerves anyag réteg a föld felszínén. Természetes rétegekből áll, szerves kristályokból és ásványi anyagokból épül fel. Természetes rétegek (talajszintek), különböző vastagságú ásványi összetevők alkotják, amelyek eltérnek a kiinduló anyag morfológiai, fizikai, kémiai és ásványtani jellemzőitől. Különböző kölcsönhatások révén jönnek létre, melyben szerepet játszik a **litoszféra**, **hidroszféra**, **atmoszféra** és a **bioszféra**.

A litoszféra a kőzetburok. A Föld külső, a kéregből és a legfelső köpenyből álló, szilárd, merev kőzetburka, amely a köpeny asztenoszféra nevű, képlékeny részén úszik. A litoszféra szokásos vastagsága 70–150 km. Az óceánok alatt vékonyabb, a kontinensek alatt vastagabb. A litoszféra nem egységes héj, hanem több, különböző méretű kőzetlemezből áll. Ezek mozgásának természetével és okaival foglalkozik a lemeztectonika.

A hidroszféra a vízburok. A Föld különböző halmazállapotú vizeket tartalmazó része. A 0,5%-nál nagyobb sótartalmú vizeket sós, az ennél kevesebb oldott ásványi anyagot tartalmazókat édesvizeknek nevezzük.

Az atmoszféra a légkör. A Föld felszínét körülvevő gázburok. Felső határa nem egyértelműen meghatározható. Legkülső rétege ugyanis éles határ nélkül megy át a bolygóközi térbe. Azt mondhatjuk, hogy a légkör mindazon gázmolekulák összessége, melyeket a Föld forgása során magával visz.

A bioszféra megközelítőleg 3,5 milliárd évvel ezelőtt keletkezett. A biológiai szerveződés legmagasabb szintjét képezi. Kialakulása az élettelenből indult, ma már egy egységes, önszabályzó rendszerként működik. A bioszférát a Nap energiája tartja fenn. A bioszféra elemeiként tartjuk számon a litoszférát, a hidroszférát és az atmoszférát.

A pedoszféra a litoszféra legfelső rétege. Állandó átalakulásban vesz részt, a környezet és az ember hatására egyaránt. Laza, háromfázisú rendszer, ahol a talaj kialakulása történik.

A talaj laza részecskékből áll, pórusterekkel teli. Ezeket a pórusokat a talajoldat (folyadék) és talajlevegő (gáz) tölti ki. A talajt háromfázisú polidiszperz rendszernek nevezzük. A legtöbb talaj sűrűsége 1 illetve 2 g/cm³ között van.

24.2. Talajképződés

A talajképződés kiindulási anyaga a kőzetmálladék. Az ezen elpusztuló állatok és növények maradványait lebontják a különféle gombák és baktériumok, majd átalakítják humusszá. A humusz a korhadáson átment növények és állatok elhalt maradványaiból keletkező szerves vegyületcsoport. Minél több humuszt tartalmaz a talaj, annál sötétebb a színe is. A folyamat a **humifikáció**, mely folyamat során válik a kőzetmálladék talajjá.

A Föld felszínén eltérő időpontokban indult a talajképződés. Míg az északi féltekén a jégtakaró visszahúzódása volt főszerepben, az egyenlítő környékén a tengerek húzódtak vissza. A talajok között évmilliónyi különbség is lehet korukat tekintve. Ezt abszolút kornak nevezzük. A relatív kor azt jelenti, hogy különböző talajok egy időpontban, de különböző módon fejlődtek.

Földtani tényezők

Kéregmozgások során kialakuló magasság változások hatására megváltoznak a sugárzásviszonyok, amelyek jelentős hatással vannak a Föld felszínének alakulására. Közrejátszik a süllyedés, talajvízviszonyok, a felszíni vizek hálózata. A talajoknak a passzív földtani tényezők szolgáltatták a talajképződés feltételeit oly módon, hogy anyagot szolgáltatnak kialakulásukhoz. A kémiai tulajdonságok befolyásolják a mállási folyamatokat, illetve ezek alapján lehet meghatározni azon vegyületeket, amik a mállás során keletkeznek, és a talaj alkotóelemeivé válnak.

Éghajlati tényezők

A hőmérsékleti viszonyok azt jelzik, hogy a felszínre mennyi energia érkezik, hogyan befolyásolja a talajban lejátszódó folyamatok kialakulását, illetve sebességét. A csapadékviszonyok a felszínre érkező víz mennyiségére és formájára vannak hatással, valamint a párolgással együtt a talaj vízháztartását is befolyásolják. A szélviszonyok közvetett hatásai, a párolgás és párologtatás fokozása által befolyásolják a talajképzést. Közvetlenül is hatással vannak rá, defláció útján.

Domborzati hatások

A domborzati hatásoknál az éghajlati tényezők ugyanúgy szerepet játszanak, mint a földtani tényezők. Ahogy nő a tengerszint feletti magasság, úgy nő a csapadék mennyiség is.

Biológiai tényezők

Növények, állatok tevékenysége során alakul ki. Ezt a tevékenységet hívjuk biológiai aktivitásnak. A tényező visszafelé is hat, hiszen az élővilág kialakulásához és annak milyenségéhez nagyban hozzájárulnak a kőzet – talaj fizikai tulajdonságai.

24.3. Kolloid rendszer kialakulása, jelentése

A kolloidok homogén és heterogén anyagok. Homogénnek azt tekintjük, amely makroszkóposan egységeket alkot. Ilyenek például a valódi vizes oldatok. A heterogén rendszerek eltérő homogén fázisokból állnak. A kolloidok a talaj legaktívabb részei. Hatással vannak a talaj tápanyag-, víz-, illetve hő gazdálkodására. Megkötik az ionokat, molekulákat, segítenek a talajszerkezet kialakításában.

A kolloid rendszerek csoportosítása alakjuk szerint:

- Fibrilláris kolloidok
- Lamináris kolloidok
- Korpuszkuláris kolloidok

Kolloidrészek felépítése szerint:

- Makromolekulás kolloidok
- Asszociációs kolloidok

E kettő az anyag folyadékában történő spontán oldódással keletkezik.

- Diszperziós kolloidok (Különböző anyagokból keletkeznek)

Felületi tulajdonságaik alapján:

- Poláros felületű kolloidok
- Apoláros felületű kolloidok

Méreteloszlás alapján:

- Homodiszperz
- Polidiszperz

Anyag eredete alapján:

- Szervetlen/ásványi kolloidok
- Szerves kolloidok

Ezek kölcsönhatását együttesen a talaj ásványi-, szerves-, illetve adszorpciós komplexumának nevezzük. A kolloid részecskék, más néven **micellák**, szerkezetüket tekintve két részre bonthatóak.

Szilárd fázis: micellamag. Az itt kialakult töltéssűrűséggel rendelkező réteg a **szolvátburok**. **Talajoldat:** más néven **intermicelláris folyadék**, ami a micellák között elhelyezkedő folyadékfázis. A szolvát réteget a kolloid mag negatív töltésű ionjai kötik meg. A szolvát réteg kation koncentrációja nagyobb, mint a talajoldat egyensúlyi állapotban. A közelebb eső kationok jobban kötődnek a felülethez, mint a távolabbiak, a távolabbiak viszont megnő a kinetikus energiájuk, és egyfajta diffúz réteget alkotnak.

24.3.1. A talajkolloidok határfelületi jelenségei

A megkötődés különböző lehet, függ az adszorpció létrehozó erők nagyságától, jellegétől. Ez alapján megkülönböztethetünk:

Van der Waals erőt: fizikai adszorpció

Hidrogén kötések: fizikai adszorpció

Elektrosztatikus erőt: ioncsere

Koordinációs, egyéb kémiai kötések: kemosszorpció, komplexképződés

24.4. Talajszintek

A-szint: Szerves anyagban gazdag, sötét színű. Szántó területnél az A-szint az a szint, ahol még a talajművelő eszközök hatása érvényesül. Ha nem művelt talajról van szó, A-szintnek nevezzük a talajréteg felső humuszos részét. Ezen felül még alszintekre tudjuk bontani. Például A0 szinttel jellemezzük azokat a talajokat, melyek nagy mennyiségben tartalmaznak szerves anyagot, A1-el a humuszos szint jelét, A2-vel az erdőtalajokat, illetve a kifehéredett, szikes talajokat.

B-szint: Az A-szint alatt található átmeneti szint. Kilúgozással, sófelhalmozódással, illetve agyagelmozdulással jellemezhető talajok esetében, itt halmozódnak fel a felette fekvő szintekből érkezett anyagok. Ahol nem jellemzőek az említett szelvényen belüli mozgások, fokozatosan csökkenő B-szint jellemző. A B-szint tovább tagolható B1, B2 alszintekre.

C-szint: Talajképző kőzet. Ennél a szintnél lehet például Cca szint, ami a felhalmozódott CaCO_3 -t jelzi.

D-szint: Ágyazati kőzet. Ezt a jelölést akkor használjuk, amikor a talajképző folyamatok nem alakították át a talajképző kőzet alatti más kőzeteket, vagy nem mállott kőzeteket. A szintek között kettős jelzést használunk, mint például AB, DC, CD szint, esetleg még indexelhetjük, mint például Bt (texturális B szint)

E-szint: kifakult, kilúgozott szint.

24.5. Talajképző folyamatok

Vegyük sorra a talajok fejlődésében lejátszódó legfontosabb folyamatokat.

Mállás: A kőzetek különböző átalakulásait a Föld felszínén mállásnak nevezzük. Az átalakulást előidéző energiák, valamint az átalakulás jellege szerint megkülönböztetünk fizikai mállást, aprózódást, valamint kémiai mállást. Az aprózódás megváltoztatja a kőzet tömörségét, valamint a szemcsék nagyságát. A kémiai mállás az elemek átcsoportosulását idézi elő. A biológiai mállás során kémiai és fizikai változások mennek végbe, folyamatát a növények, illetve a mikroszervezetek tevékenysége szabja meg. A mállás hatására az elsődleges ásványok átalakulnak másodlagos ásványokká, illetve a másodlagos ásványok bomlása határozza meg a talaj ásványi összetételét. Ez által befolyásolja a fizikai és kémiai tulajdonságokat.

Humuszosodás: Ennél a folyamatnál alakul ki a humusz, ami a talajra jellemző szerves anyag. Ez oly módon jön létre, hogy a szerves anyag átalakul, lebomlik, és a talaj ásványi anyaga keveredik a bomlástermékkel. A humuszosodás függ az ilyen anyagok, élők, ill. elpusztult szervezetek mennyiségétől, minőségétől, bomlásától és átalakulásától, a humuszanyagok keveredésétől a talaj ásványi anyag tartalmával. Minden földrajzi övezetben, különböző mennyiségben és minőségben található meg a felszínre, illetve talajba jutó szerves anyag. Még fontos tulajdonság a humuszanyag-tartalom szempontjából, hogy milyen kötésben vannak jelen ezek az anyagok a talajban.

A humuszanyagok jellegzetességét a talajban lévő növények és állatok befolyásolják. Fontos szerepet játszik a humuszosodás folyamatában az idő. Ahhoz, hogy kialakuljon a megfelelő humusz mennyiség és a minőség, több száz, vagy ezer évre van szükség.

Kilúgzás: A mállás során a bomlástermékek újra egyesülnek, új ásványt alkotva bent maradnak a talajban. A maradék részük oldhatóvá válik, és kimosódnak a talajszelvényből. A kilúgzáshoz szükséges a lefelé áramló talajoldat, az oldható anyagok. A csapadék mennyisége és a párolgás mértéke befolyásoló tényező. Ezen kívül összefüggésben van a talajoldat kémhatásával, illetve a talajban található növényzet vízfelhasználásával. A kilúgzás eredménye például a CaCO_3 kimosódása a talajból.

Agyagosodás: Ennél a folyamatnál az elsődleges szilikát ásványok gyorsabban alakulnak át és bomlanak. Hatására másodlagos ásványok képződnek. A kilúgzás hatására a talaj agyagosodása gyorsabb folyamat, mivel a talaj szintjei savassá válnak.

Agyagbemosódás: Az agyagbemosódás során két talajszint, pontosabban az A és E szint agyagtartalma minden nagyobb átalakulás és változás nélkül az alatta fekvő B szintbe vándorol. Ebben a B szintben felhalmozódik, a pórusait kitölti és a talaj szerkezeti elemeinek

felületét is bevonja. Helyszínen felismerhető jelei vannak a folyamatnak. Ilyen pl. a szintek (A, E és B) agyagtartalma közötti különbség és az előbb említett, a szerkezeti elemek felületén képződött hártyszerű agyagbevonat. Ilyenkor a E szint világos, fakó színéről is megállapítható a bemosódás, amiből egyértelműen következik, hogy a B szint sötétebb színű, barnás, vöröses árnyalatú. Laboratóriumi vizsgálatokkal pontosan meghatározható a folyamat és annak mértéke. Ez az agyagmozgás, bemosódás létrejöhet savanyú talajokban és lúgos környezetben, azaz a szikes talajok rétegeiben is.

Podzolosodás: Más néven agyagszétesés. Szélsőségesen savanyú, durva szemcsés erdőtalajoknál fordul elő. Az ásványok alkotóelemeire (kovasavra, alumíniumra, vásra) esnek szét, ennek következménye, hogy a vas és alumínium a mélyebb rétegekbe halmozódik egyéb szerves anyagokkal. Következménye a további savasodás.

Szologyosodás: Az agyagásványok lúgos közegben való szétesését hívjuk így.

Kovárványosodás: A homokon kialakult talajoknál lejátszódó folyamat. A talajoldalt lefelé mozog. A talajoldatból kicsapódó anyagok összefüggéstelenül, egymás alá különböző távolságban több réteget képeznek. A talajoldat a homok szemcseösszetételének köszönhetően gyors diffúziójú. A rétegek távolsága, vastagsága a diffúzió sebességétől, illetve a homok eredeti rétegzettségétől függ. A csíkok vastagsága, távolsága 15 – 20 cm között van.

Glejesedés: Levegőtlenység hatására fellépő reakció. Talajvízből, felszíni vízborításból, vagy eltömődött talajszelvényből alakulhat ki.

Szikesedés: Olyan területen alakul ki, ahol a csapadék mennyiségét meghaladja a párolgás mértéke. Növekszik a felszín közelében a talaj sótartalma. Ennek következménye a nátriumion mennyiségének növekedése kötött kationok között. Hatása: rossz kémiai és fizikai tulajdonságok, gyenge vízáteresztő képesség.

Láposodás: Igen nagy mennyiségű, gyakran állandó vízborítottság alatt játszódik le a talajképződési folyamat. Víz alatt csak levegőtlen körülmények között bomlanak le a növényi maradványok, és felhalmozódnak az aljzaton. Így jelentősen különbözik a humuszosodás bomlástermékeitől.

Váztalajok

A váztalajokhoz azok a talajtípusok tartoznak, ahol rövid ideig, kis mértékben adottak a biológiai folyamatok feltételei. Lehet talajképző közet tulajdonságainak következménye, vagy a felszín gyors, folyamatos változásának hatása. A felszín változása a defláció illetve erózió hatására megy végbe.

A váztalajok típusai:

- Köves, sziklás váztalajok
- Kavicsos váztalajok
- Földes kopárok
- Futóhomok és jellegtelen homoktalajok
- Humuszos homoktalajok

24.6. Talajélet

Mondhatni a leggazdagabb élettér a Földön. Egy marék földben több fajta élőlényt találunk, mint ahány embert a Földön. Élő és élettelen komponensekből tevődik össze. 50-60%-ban szilárd, 40-50%-a pedig gáznemű illetve folyékony halmazállapotú. Szerkezetének fő elemét az aggregátumok alkotják, amelyek az állatok beleiben, ürülékükben képződnek.

A termőtalaj támogatja a különböző növények, állatok, mikroorganizmusok növekedését azáltal, hogy különböző fizikai, kémiai, biológiai élőhelyeket biztosít számukra. A talajnak azt a képességét, amivel felbecsülhető a növényi és állati élet, a következő mutatók mérésével lehet értékelni:

Biológiai aktivitási mutatók: aktív gombák, földigiliszták, mikrobiális biomassza, a mineralizált nitrogén, légzés, a talaj enzimek, stb.

Biológiai diverzitás mutatók: ami magába foglalja az élőhelyek sokféleségét és különféle mutatókat, mint például a baktériumokat, fonálférgeket, és növényeket. A fajgazdagságot.

Mivel a talaj különböző összetételű egyes területeken, más-más életkörülményeket biztosít a benne élő mikroorganizmusok számára, így azok másképp alkalmazkodnak a különböző életviszonyokhoz, és így a talaj bioösszetétele sem lesz egyforma egyes területeken. A talaj viszonylag sűrű közeg, ezért jellemző a benne élő állatokra a megnyúlás, hosszúkás testfelépítés, fényérzékítő szervek redukciója, miniaturizáció, végtagok átalakulása és alkalmazkodása a környezetükhöz. A kisebb állatok a talaj pórusaiban mozognak, a nagyobbak átrágják magukat a földön mozgás közben, és a gerinces, nagy testű állatok pedig átalakult végtagjaik segítségével alagutakat ásnak a talajban, amelyben mozognak. Vannak növényevő és húsevő talajlakók egyaránt.

A talaj edafonnak óriási szerepe van a lebontásban, valamint az energia áramlásában, és a tápanyag körforgásában. A légkörre is hatással vannak, mivel csökkentik a szén-dioxid képződést, azzal hogy megkötik a szenet, így mérséklék az üvegházhatást. A növényi kártevőket és az állati kórokozókat visszaszorítják, szennyezett talaj bioremediációval szénhidrogénekből vizet és szenet képeznek, valamint hozzájárulnak a kedvezőbb víz-, illetve levegőháztartáshoz, továbbá szerves anyagok átalakításában is döntő szerepük van, elpusztulásuknál pedig a talaj szerves anyag tartalmát biztosítják.

A talajlakók különböző méretűek lehetnek a mikroszkopikus élőlényektől egészen a nagyobb testű gerincesekig. Ilyen szempontból a következő képpen csoportosíthatjuk a talajfaunát:

Prokarióták	Gombák	Növények		Állatok		
		Mikro	Magasabb rendű	Mikro <0.2µm	Mezo 0.2µm-2mm	Makro 2-20mm
Baktériumok Sugár-gombák Ciano-baktériumok	Mikro-gombák Nagy-gombák	Algák	Magvak Rizómák Gumók Hagymák Gyökerek	Egysejtűek Fonálférgek	Ugróvilások Atkák Medve-állatkák	Pókok Rovarok Puhatestűek Giliszták

A talajok biológiai összetevői a növényi gyökerek és a talajlakók egyaránt. A talajlakók közvetlenül és közvetve is hatnak a talaj minőségére. Közvetlen hatásuk, hogy lazítják a talajt, amivel biztosítják a levegőztetést, oxigén ellátását, valamint a tápelemek körforgását a talajban, ami gyorsítja az elhalt szerves anyagok lebontást a talajban. Közvetlen hatása pedig a táplálkozási lánc és a különböző szabályozási mechanizmus révén.

Talajlakók alatt értjük azokat az állatokat is, amelyek nem feltétlenül élnek egész életciklusuk alatt a talajban, hanem csak időszakosan. Életciklusuk szerint tehát feloszthatjuk őket permanens (ilyen például a földigilisza, ami egész élete során a talajban él), időszakos (mint egyes rovarlárvák, amik életük egy részét töltik a talajban), periódusos talajlakókra (ezek elhagyják és vissza térnek a talajba, és ezt ismétlődik), valamint egyes darazsak több generáción át is a talajban élnek, majd ezeket a generációkat felváltva egyszerűen föld feletti biotópokba vonulva élnek az azutáni generációk, és ez így váltakozik a generációk között, illetve vannak fajok melyek inaktív formái vannak csak jelen a talajban (lárvák, peték, bábok).

24.7. Mire van szükségük az élőlényeknek a talajból?

Mikrobák szükségletei:

- Táplálék. A legtöbb mikrobának szüksége van szerves anyagra (pl. növényi maradvány) a talajból.
- Hely. Nagyobb talajban élő szervezeteknek, mint például a fonálférgeknek és rovaroknak szükségük van elegendő helyre hogy mozoghassanak.
- Levegő. A legtöbb talajban élő szervezetnek szüksége van oxigénre. A talaj levegőztetésével lehet növelni a talaj biológiai aktivitását.

A növények szükségletei:

- A növények növekedéséhez szükséges mikrobiológiai tevékenységre.
- Miközben megfelelő a levegőztetés, a víz bevitelére és megtartására a talajban.
- A talaj levegő és légkör cseréjére.
- Rezisztencia erózióra.
- Ásványi és szerves eredetű tápanyagokra.

Állatoknak és embereknek:

- Egészséges növények növekedésére.
- Rendelkezésre kell állniuk az alapvető tápanyagoknak az állatok egészsége érdekében.

Valamennyi élő szervezetnek szüksége van:

- A toxikus vegyületek alacsony koncentrációjára
- A víz és levegő szűrésére.

24.8. A talaj és a talajban élő szervezetek sokfélesége

A talaj edafon összetevői:

- prokarióták
 - baktériumok
 - sugárgombák
 - cianobaktériumok
- gombák
 - mikrogombák
 - nagygombák
- növények
 - mikro
 - algák

- magasabb rendű
 - magvak
 - zuzmók
 - gumók
 - hagymák
 - gyökerek
- állatok
 - mikro
 - egysejtűek
 - fonálféreg
 - mezo
 - ugróvillások
 - atkák
 - makro
 - rovarok
 - puhatestűek
 - földigiliszták

Minden állat, növény és mikroba eltérő élőhelyet igényel. Mikrobiális szinten a sokszínűség több okból is előnyös. A különböző szervezeteknek többlépcsős folyamatra van szükségük a lebomláshoz, illetve a tápanyag körfolyamathoz. A komplex talajban élő szervezetek küzdenek a többi organizmussal szemben, és ezáltal megakadályozzák egymás túlszaporodását. Sokféle szervezet vesz részt a talaj szerkezetének létrehozásában és fenntartásában. A legtöbb talajban élő szervezet nem található meg azon kívül, ezért ügyelni kell arra, hogy megőrizzük a természetes és változatos ökoszisztémájukat, hogy megőrizzessük ezen fajokat is.

A talajban élő fajok becsült száma: 30 000 baktérium, 1 500 000 gomba, 60 000 alga, 10 000 prokarióta, 500 000 fonálféreg és 3000 földigiliszta. A talaj részei állandóan változnak. Különböző talajtípusok alakulhatnak ki, amelyeknél eltérőek a talajszelektívumok. A talajban találhatóak a növények gyökerei, mely által fel tudják szívni a tápanyagot. Ezeket a tápanyagokat kationonként, illetve aniononként tudják hasznosítani. Emiatt is fontos, hogy a kiindulási közeg valamilyen módon részre bomoljon, és a szerves anyagok lebomoljanak. A kationoknak és anionoknak köszönhetően ilyenkor létrejönnek az anyagásványok, **huminok**, amik a talaj termékenységéért felelősek. A talajt mikroorganizmusok, növények illetve állatok alapján lehet jellemezni.

A talaj **abiotikus alkotórészei**. Az abiotikus alkotórészek közé tartozik az ásványi anyag (agyag, iszap homok), víz, levegő, és a szerves anyagok. Az ásványi anyag különböző arányú homokból, iszaptól, agyagtól áll. A homok 0,05 – 0,2 mm átmérő között, az iszap 0,002 - 0,05 átmérő között, az agyag részecskék 0,002 mm átmérőnél kisebbek. Mivel az agyag részecskék kisebbek, ezért több vizet és tápanyagot képesek befogadni, mint a nagyobb részecskék.

24.9. Fizikai és kémia tulajdonságok hatása a talaj élővilágára

24.9.1. Fizikai tulajdonságok

A talaj szerkezete:A talajt különböző méretek alapján osztályozhatjuk szemcseösszetétel alapján.

Nagyon durva homok	2,0 – 1,0 mm
Durva homok	1,0 – 0,5 mm
Közepes homok	0,5 – 0,25 mm
Finom homok	0,25 – 0,10 mm
Nagyon finom homok	0,10 – 0,05 mm
Iszap	0,05 – 0,002 mm
Agyag	0,002 mm

A szemcsecsoportok fontosabb fizikai tulajdonságai:

A homokszemcséknél a tapadóerő jelentéktelen. Nincs aggregátum képződés, a vizet jól vezetik a tág hézagok miatt, viszont kevés vizet tud visszatartani.

A szemcsék tapadása az iszapfrakcióban sokkal erősebb. Itt az aggregátumok könnyen széteshetnek. A pórustér szűk, a vízáteresztő illetve vízvisszatartó képessége igen gyenge.

Az agyagfrakciónál a legerősebb a tapadóerő. Rengeteg vizet képes befogadni, ami által megduzzad. Száraz állapotban megkeményedik. Az agyag a vizet nem vezeti. Ez köszönhető annak, hogy nagyon apró a pórusmérete. Ebből következik, hogy a víztartó képessége igen jó. Az aggregátum képződéséhez hozzájáruló anyagok közé tartoznak az agyagásványok, giliszták ürüléke, vas – alumínium – mangán hidroxidok, CaCO_3 , különböző baktériumok, gombák.

Talajszerkezeti egységek formái:

1. Szerkezet nélküli talaj:

- Külön álló szemcsék,
- Tömött talaj.

2. Aggregált talaj:

- Kőbős: morzsás, rögös, poliéder, diós, szemcsés,
- Hasábszerű: prizmás, oszlopos,
- Lemezzerű: leveles, táblás.

A talaj pórustere:

adszorpciós pórus	0,2 μm >
kapilláris pórus	0,2 – 10 μm
kapilláris/gravitációs	10– 50 μm
gravitációs pórus	50μm<

24.9.2. Kémiai tulajdonságok

Nyolc kémiai elem tartalmazza a legtöbb ásványi anyagot a talajban. E nyolc elem közül egyik az **oxigén**, negatív töltésű ion (**anion**). A következő leggyakoribb elemek pozitív töltésű ionok (**kationok**), ezek csökkenő sorrendben: **szilícium, alumínium, vas, magnézium**,

kalcium, nátrium, kálium. Több mint 80 elem fordulhat elő a talajban és a földkéregben, de ezek kisebb mennyiségben vannak jelen.

A talaj kémiaiilag eltér a sziklaktól és ásványoktól, ez azért van, mert a talaj kevesebb vízben kioldódó terméket tartalmaz (kalcium, magnézium, kálium) és viszonylag oldhatatlan elemeket is tartalmaz, mint pl. vasat és alumíniumot. Régi, erősen mállott talaj magas koncentrációjú alumíniumot és vas-oxidot tartalmaz.

A talaj szerves anyag tartalma **szénből, nitrogénből, hidrogénből, oxigénből**, kisebb mennyiségű **kénből**, és egyéb elemekből áll. A szerves anyag tartalom egyfajta tartályként szolgál a növény nélkülözhetetlen tápanyagának, a **nitrogénnek, foszfornek, kénnek**, és növeli a talaj víztartó és **kation cserélő kapacitását**, javítja a talaj szerkezetét.

A legtöbb kémiaiilag aktív része a talajnak kolloid agyagból és szerves anyagból áll. A kolloid részecskék olyan kicsik, ($<0,0002\text{mm}$) hogy megmaradnak a vízben, és nagy felületű részen kimutathatóak. Ezek az anyagok általában nettó negatív töltést is mutatnak, és nagy **adszorpciós kapacitással** rendelkeznek. Több különböző szilikát agyagásvány van jelen a talajban, de ez réteges szerkezetű elrendeződést mutat.

A pH (*pondus Hydrogenii, hidrogénion-kitevő*) egy dimenzió nélküli kémiai mennyiség, mely egy adott oldat kémhatását (savasságát vagy lúgosságát) jellemzi. A tiszta víz pH-értéke 7, ennél kisebb pH-érték savasságot, nagyobb pH-érték pedig lúgosságot jelez. A különböző növényeknek eltérő az optimális pH szükségletük. A legtöbb növénynek a pH 6-7 a legmegfelelőbb, ami enyhén savas. A talaj pH értékében is fontos szerepet játszanak a talajban található ásványi anyagok. Egyes ásványi anyagok toxikus hatást is kiválthatnak a talajból, ha túlzott mennyiségben előfordulnak. Ilyen ásványi anyagok: alumínium, vas, cink, réz, mangán, bór.

pH = 7,0	semleges
pH < 7,0	savas
pH > 7,0	lúgos

A talajok csoportosítása a vizes szuszpenzióban mért kémhatás szerint

erősen savanyú	pH < 4,5	savanyú
savanyú	pH = 4,5-5,5	
gyengén savanyú	pH = 5,5-6,8	
közömbös vagy semleges	pH = 6,8-7,2	semleges
gyengén lúgos	pH = 7,2-8,5	lúgos
lúgos	pH = 8,5-9,0	
erősen lúgos	pH > 9,4	

A talaj szerkezete: A talajt a különböző szemcseösszetétel mérete alapján osztályozhatjuk:

Nagyon durva homok	2,0 – 1,0 mm
Durva homok	1,0 – 0,5 mm
Közepes homok	0,5 – 0,25 mm
Finom homok	0,25 – 0,10 mm
Nagyon finom homok	0,10 – 0,05 mm
Iszap	0,05 – 0,002 mm
Agyag	0,002 mm

24.10. Talajsavanyodás

Hazánkban a talajok egyik jelentős problémája a savasodás. A talajsavanyúság előidézői főleg az éghajlatváltozás, a növényzet, a domborzat azaz **természetes okok**. Valamint az **antropogén hatások**, a mezőgazdasági eljárások, a műtrágyázás, a környezetszennyezés.

Az éghajlatváltozás a fokozott nedvesség miatt jelent veszélyt a talajra. Ha magas hőmérséklet is párosul ehhez, kémiai mállás indul meg az ásványi anyagoknál, ami hatására a talaj kilúgozódhat, emellett agyagosodhat is.

A növényzet befolyásolhatja a kilúgozódás mértékét. Erdős részeknél például a lebomló alomból savanyú **humuszsavak** szabadulnak fel, ami fokozhatja a lúgosodást.

Lejtős területeken a talajba szivárgó víz mennyisége kisebb, ezáltal kisebb a kilúgozódás.

Az ésszerűtlen műtrágyázás is oka lehet a talajsavanyodásnak. A 3 fő veszélyforrás a hidrolizáló sók, kationcsere, valamint az ammónia.

Hidrolizáló sók: mivel a műtrágyák ammónium-szulfátban és szuperfoszfátban gazdagok. A talajba kerülve ezek növelik a talajoldat H^+ koncentrációját.

Kationcsere: a műtrágya kationjai megkötődnek a kolloidok felületén, ezáltal H^+ kerül az oldatba.

Az ammónia azért veszélyes, mert salétromsav képződik belőle.

A **savas eső** más néven **savas ülepedés** alapvetően megváltozott pH-értékű csapadék. Nehéz elhatárolni az antropogén hatásra kialakuló savas esőt a természetes folyamatok között kialakulótól. Ezen mindennapi folyamatok hatására a csapadékvíz természetes pH-értéke 5 körüli. Itt főleg a vízben oldott szén-dioxid és szulfátrészecskék játsszák a főszerepet. Néhány jól ismert folyamatban is meghatározó szerepe van a csapadék természetes savasságának, ilyen például a karsztosodás is.

A Grönlandon vizsgált, 1800-as évekből származó jég 6,0-7,0 közötti, semleges pH-értékű. Tehát abban az időszakban még nem beszélhetünk a probléma nagy mértékű jelentkezéséről. Ez alapján a fő probléma az emberi társadalom működése, az általa levegőbe juttatott savképző anyagok túlzott jelenléte

A gyengébb hatást a szén-dioxidból létrejövő szénsav gyakorolja a környezetre. Ez a csapadék és a hó pH-értékét 5,6-ra csökkenti. Ezt az értéket tekintik többen a savas eső határának, de másik besorolás szerint az 5-ös pH-értéket tartják annak.

A szén-dioxiddal szemben a kénsav és a salétromsav akár 2,4 pH-értékű savasodást is okozhat. Meg kell jegyezni, hogy a pH-érték skálája logaritmikus beosztású, így nagyságrendbeli különbségekről beszélünk. Európában a szárazföldről a légkörbe jutó kén-dioxid közel egésze antropogén eredetű. Egyrészt a kén-tartalmú ércek kohósítása, másrészt a kőolaj és a szén (elég jelentős 1-5%, vagy még több koncentrációjú kén tartalmaznak) elégetésekor kén-dioxid keletkezik, amely az atmoszférában vízzel kénessavat (H_2SO_3) alkot. Kibocsátók a belső égésű motorok is, főleg a katalizátorok általános bevezetése előtt adták nagy részét a szennyezésnek. Természetes úton általában az erdőtüzeknél, növényi bomlásnál és vulkáni működéskor kerül a levegőbe kén-dioxid.

A levegő nitrogénje égéskor nitrogén-oxiddá oxidálódik, amelyből salétromsav (HNO_3) képződik.

A talajfelszínre jutó savas anyagok csökkentik a talaj pH-értékét, aminek hatására a kötött formában lévő nyomelemek stabilizálódnak. Jellemző eset az alumíniummérgezés, amely elpusztítja a fák gyökereinél szimbiózisban élő mikorrhiza gombákat.

A savasodás főként a trópusi, szubtrópusi területeken a legelterjedtebbek. Magyarországon a Dunántúl térségében, a Tisza és a Rába egyes területein találkozhatunk vele. A talajsavanyodásra a legalkalmasabb kezelés a pétisó használata.

A talajsavanyodás hatása:

- Tápanyag szegényedés
- pH változás
- Talajszerkezet romlása
- Agyagásványok szétesése
- Penészgombák, mikroorganizmusok megváltozása
- Fémek oldhatóságának növekedése
- Termés romlása

24.10.1. A talajsavanyúság formái

Aktuális / tényleges: A vizes szuszpenzióban mért pH érték alapján kimutatható savanyúság, amely csupán a talajoldat lehetséges hidrogén koncentrációját fejezi ki, de nem mutatja a talajkolloidok proton leadó képességét.

Rejtett / potenciális: Savanyú talajban a hidrogén ionok egy része és az ásványokból kioldódó alumínium ionok többsége a kolloidokhoz kapcsolódva található. A körülmények változásával azonban ezek megjelenhetnek a talajoldatban, növelve annak savanyúságát.

24.10.2. Talajsavanyúság csökkentése

A talajok pH(KCl) és az y_2 -értéket kell figyelembe venni, ha a pH(KCl):

- <4,5 erősen savanyú, erősen mészigényes.
- 4,6 – 5,5 savanyú, gyengén mészigényes.
- 5,6 – 6,8 gyengén savanyú, nem mészigényes.

Talajmeszezéshez alkalmazható meszező anyagok:

- Mészköpor
- Mésztufa
- Lápi mésziszap
- Meszes lápföld
- Égetett mész
- Cukorgyári mésziszap
- Egyéb ipari meszes anyagok.

24.11. Talaj lúgossága

A talajt a $\text{pH} > 8,5$ értéknél nevezhetjük lúgosnak. $\text{pH} > 8,2$ fenoftalein lúgosságot okoz az OH^- , CO_3^{2-} .
Egyéb lúgosságot okozó anyagok:

- hidrogénkarbonát
- szilikát
- metaszikát
- aluminát

Lúgos talajokon a következő hatásokat figyelhetjük meg:

- Magas pH, termésdepresszióhoz, azaz a növényi produkció csökkenéséhez vezet.
- Oldhatóság, felvehetőség megváltozása, relatív hiány pl. bróm, magnézium, cink, mangán, réz, foszfor elemeknél.
- Kalcium hiány, nátrium, klór, magnézium toxicitás, NH_4^+ és Ca^{2+} csökkenése.

24.11.1. Környezetszennyezés okozta talajlúgosodás

2010 Október 4-én 12:30-kor átszakadt az Ajka és Devecser közötti, 400x600 méteres vörösiszap-tároló gátja. A kiömlő 1 millió köbméternyi iszap elöntötte Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely mélyebben fekvő részeit. A vörösiszap-katasztrófa emberéletben, lakóházakban és a vidék természeti környezetében: a talajban, természetes vizekben is hatalmas pusztítást végzett.

A vörösiszap többféle fémvegyület elegye, a timföld gyártásának mellékterméke, lúgos kémhatása miatt fokozottan veszélyes hulladék. Hazánkban a vörösiszapot nem dolgozzák fel, csak tárolják. Az évtizedek alatt összesen 55 millió tonna vörösiszap halmozódott fel a zagytározókban szerte Magyarországon. Nyitott zagytározó van Ajka mellett, Almásfüzitőn és Neszmélyen, illetve zárt Mosonmagyaróváron.

A veszélyes anyagok szállításának nemzetközi szabályait meghatározó bázeli egyezmény 11,5-ös pH-érték felett tekint egy lúgos anyagot veszélyesnek. Az ajkai tározóból kiömlött vörösiszap pH-értéke 13 (összehasonlításként a tömény hipó pH-ja 12), ami azt jelenti, hogy egymilliószor lúgosabb a víznél.



76. ábra: Vörösiszap a talajon Forrás: RTL Klub és Digital Globe Imagery

A vörösiszap-szennyezés nem csak a jelentős lúgosságával okoz gondot, hanem a környezetbe kikerült rendkívül káros fémek (kadmium, króm, nikkel, vanádium, vas, ólom, arzén, cink, higany) jelentenek fenyegetést a talajra, az élővilág és az emberek egészségére. Habár a pánik elkerülés érdekében harsányan kommunikálták, hogy a megengedett határértékeknél kisebb ezek mennyisége a vörösiszapban.

A kifolyt vörösiszap kémiai összetétele

Az MTA, a MÁFI és egy független szervezet, a Bálint Analitika munkatársai közel húsz, Kolontár és Devecser térségében összegyűjtött vörösiszap minta elemzését végezték el. Az adatok szerint a kiömlött vörösiszap heterogén anyag, összetétele helyről-helyre bizonyos határok között változik. A környezeti szempontból legfontosabb fémekre vonatkozó eredmények a következők:

A vörösiszap összetételére nincsenek előírások, ezért viszonyítási alapnak a mezőgazdaságban, talajjavításra használható szennyvíziszapokra (EU lista szerinti kódszámuk 20 03 06) megengedett határértékeket tekintettük.

Minták	Vörösiszap fémtartalma (mg/kg)						
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
MTA KK AKI 2010.10.05 ^{1a}	135-144	n.d.	632-677	1,64-8,59	192-219	189-195	47,9 56,7
MTA KK AKI 2010.10.05 ^{1b}	33,4-35,7	n.d.	83,4-85,8	n.d.	64,3-73,1	43,2-53,9	36,8-43,6
Bálint Analitika 2010.10.05 ²	43,6-44,5	2,30-2,42	689-721	0,54-0,67	281-289	80,9-83,2	142-155
Bálint Analitika 2010.10.05 ³	27,9-32,3	0,24-0,34	57,6-74,5	0,18-0,28	26,3-36,4	7,52-11,8	64,2-77,9
MÁFI 2010.10.06 ⁴	81,6-131	0,82-1,44	360-694	0,61-2,83	143-322	96,2-177	108-172
Határértékek szennyvíziszapra⁵	75	10	1000	10	200	750	2500

n.d. nem mérhető

^{1a,b} Az MTA KK AKI által 2010.10.05-én a gátszakadástól 100 méterre, illetve Kolontártól 1 km-re nyugatra vett minta adatai;

² A Bálint Analitika által 2010.10.05-én a gátszakadástól mintegy 30, illetve 50 méterre vett 2 iszapminta adatai (határértékek);

³ A Bálint Analitika által 2010.10.05-én Kolontár belterületén vett 2 iszapminta adatai (határértékek);

⁴ A MÁFI által 2010.10.06-án Kolontár és Devecser térségében vett 10 iszapminta adatai (határértékek);

⁵ Az 50/2001 (IV. 3) Korm. rendelet szerint a mezőgazdaságban felhasználásra kerülő szennyvíziszapra megadott határértékek

A vörösiszap minták a szennyvíziszapokra megengedett határértékeknél kisebb, esetenként jóval kisebb koncentrációban tartalmazznak kadmiumot, krómot, higanyt, nikkelt, ólmot és cinket. Az arzéntartalom az MTA KK AKI Kolompár külterületén vett mintájánál és a Bálint Analitika által vizsgált mintáknál ugyancsak kisebb a szennyvíziszap határértékénél; az MTA KK AKI a gátszakadás közelében vett mintánál, és a MÁFI az által gyűjtött mintáknál a táblázatban szereplő határértéknél magasabb arzéntartalmakat mértek.

A vörösiszap kioldható fémtartalma

A vörösiszap fentiek szerinti fémtartalma akkor jelent valós környezeti veszélyt, ha a fémek kioldódnak a vörösiszaphoz. Ezáltal ugyanis egyrészt mobilizálódhatnak, másrészt az élő szervezetek könnyebben fel tudják azokat venni. A fémek kioldódását száraz vörösiszap mintákon, desztillált vizes, illetve az MSZE 21420-31 szabvány szerinti pH=4,5-s ammónium-acetátos pufferben kezelések után határozták meg. Az eredményeket az alábbi táblázat tartalmazza.

Minták	Oldatok fémtartalma (µg/l)						
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
MTA KK AKI 2010.10.05 ¹ desztillált víz	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	190	60	k.h.a
MTA KK AKI 2010.10.05 ¹ ammónium-acetát puffer	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a
Mérés kimutatási határa	20	3	1	4	0,7	8	0,8
Határértékek szennyvízre	200	20	2500	10	1000	1000	5000

k.h.a. - kimutatási határ alatt

¹ Az MTA KK AKI munkatársai által 2010.10.05-én a gátszakadás helyének közeléből és Kolontár külterületén vett 2 minta adatai

A mérési adatok alapján a vizsgált fémek nem oldódnak ki a vörösiszapból az adott feltételek mellett.

Forrásadatok: Az ajkai vörösiszap-ömléssel kapcsolatban 2010. október 12-ig végzett vizsgálatok eredményeinek összefoglalása. MTA Kémiai Kutatóközpont, Anyag –és Környezetkémiai Intézet

Figyelembe kell azonban venni, hogy ezek a határértékek a szennyvíziszapokra vonatkoznak, amelyeket a környezettől jól elzárva kell(ene) tartani. Az élővilágban ez a koncentráció katasztrofális! Ezt bizonyítja, hogy az iszaptárolók tetején nincs növényzet. Mert nem alkalmas az életre. Csak nagy sokára, egyes különlegesen nagy tűrőképességű fajok fognak elsőként megélni rajta. A laboratóriumi körülmények közötti kioldódás alacsony értéke több mint valószínű, hogy nem vonatkoztatható a természetben lejátszódó folyamatokra. Oly sokszor, élettudományokkal foglalkozó kutatók számára pedig nap mint nap bizonyítja a természet, hogy az *In vitro* (kémcsőben) körülmények között lejátszódó folyamatok egészen másképp viselkednek *In Vivo* (élőben) környezetben. Az élővilág sokkal összetettebb mint azt bárki is felfoghatná.

Ne legyenek illúzióink! A nehézfémek előbb vagy utóbb bejutnak az élőlényekbe és ezzel az ökológiai körforgásba, mert ott vannak. Lassan oldódnak majd, kötődnek különböző kémiai vegyületekhez. A talaj edafon és a növények fel fogják venni a talajból, a levegőbe kerülő iszapport be fogják lélegezni az élőlények és még számos változatos, eddig ismeretlen úton fel fogják venni ezeket a mérgeket az élőlények.

Kárméréséklés

A kármentesítést nem érzem megfelelő kifejezésnek. A Marcal folyóba 4 helyszínen juttattak gipszet (500-600 tonna körül) és ecetsavat a lúgos kémhatás közömbösítésére. A pH értéket így sikerült 10 körülire csökkenteni. Ennek ellenére a Marcalban az élet gyakorlatilag teljesen kipusztult. Az érintett termőterületek talajában kipusztult az edafon. Ezen a baktériumtrágya sem segíthet, hiszen ezeknek a törzseknek a mesterséges bejuttatása után azoknak pár év múlva nyomuk sem található. A talaj első megközelítésben 15 cm mélyen érintett a szennyeződésben. Ezt a mennyiséget azonnal el kell távolítani róla. A mélyebb bemosódás nem bizonyított, de valószínűsíthető. Ezután a pH szintet kell beállítani, de úgy, hogy a lekötött nehézfémek közben ne kerüljenek oldatba. Később pótolni kell a talaj tápanyagokat, hogy a talajélet helyreálljon. Végül pedig **fitoremediáció** szükséges, azaz ellenálló növényfajok telepítése, mint például olasz nád, olajfűz, nyírfa vagy éppen seprűfű. Természetesen ezekben meg fog jelenni a fémszennyezés, ami további szakszerű kezelést igényel majd.

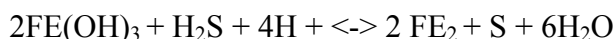
24.12. Redoxi- reakció

A redoxi- reakció során elektronleadás, illetve felvétel történik. Az egyszerű folyamatok között van bomlás, helyettesítés, egyesülés. Ezek a folyamatok homogén és heterogén közegben egyaránt végbemennek. Az egyesülés sok esetben **oxigénnel** történik, de ezen felül más reagens is előfordulhat. A vegyület a bomlás során összetevőire esik szét, ami elektronátmenethez kapcsolódik. A helyettesítésnél az egyik vegyület a másik vegyület helyébe lép a reakció során, ez a típus gyakran a fémek savban történő oldásakor keletkezik, ha hidrogén fejlődik. Általában egy **oxidálószer** (talajok esetében ez leggyakrabban a levegő oxigénje, vagy fémion) és egy **redukálószer** (talajoknál ez leggyakrabban valamilyen szerves anyag, vagy fémion) reagál egymással, úgy, hogy az oxidálószer felveszi a redukálószer által leadott elektronokat.

Redoxipotenciál (Eh): Platina elektród és egy ismert összehasonlító elektród között kialakuló potenciálkülönbség.

Redoxi folyamat: $ox_1 + red_2 \leftrightarrow red_1 + ox_2$

Pl.:



Redoxi potenciált számíthatunk a **Nerst egyenlettel**:

$$E_0 + \frac{0,059}{n} \times \log \frac{[ox]}{[red]} - 0,059 \frac{m}{n} pH$$

A talajok redoxi potenciálját befolyásolja a levegőellátottság, nedvességtartalom, szennyezőanyag-tartalom, pH érték.

A talaj felső rétegében 100 – 600 mV között mozog az értéke. Ha a talaj száraz, akkor csökken, ha nedves, akkor nő a redoxi potenciál. 55-56 mV-al változhat a redoxipotenciál értéke 1 pH egység változásakor.

$$rH = \frac{Eh}{28,9} + 2pH$$

Ahol: **rH**: a redoxirendszerben lévő hidrogéngáz parciális nyomásának negatív logaritmus.

Ha a talajban az rH értéke <15, akkor redukációs folyamatok vannak jelen, ha pedig rH > 25, akkor oxidációs.

24.13. A talaj hőgazdálkodása

$$kH = \frac{Q \times L}{t \times F}$$

Ahol:

Kh: hővezető képesség

Q: az időegység alatt elmozduló hőmennyiség

L: rétegvastagság

t: időegység alatt hőmérsékletváltozás.

Egy rendszer hőkapacitása megadja, hogy mennyi hőt (Q) kell közölni a rendszerrel, hogy hőmérséklete (T) egy kelvinnel emelkedjék. Jele: C, mértékegysége: J/K. Matematikailag megfogalmazva: a hőmennyiség hőmérséklet szerinti differenciálhányadosa:

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Hőkapacitás: K

$$K = f \times \rho$$

Néhány anyag fajhője és hőkapacitása:

Anyag	Fajhő	Hőkapacitás
víz	4	4
levegő	1	0,0012
homok	0,84	2,18
agyag	0,92	2,5
humusz	1,70	2,72
iszap	2,10	1,88

Melegítőhatás: $a = \frac{Kh}{K}$

A legjobb hővezető képességgel rendelkező talajnak közepes a nedvességtartalma. A túl száraz, illetve túl nedves talajnak kicsi ez a képessége.

A talaj hőgazdálkodása a talaj következő tulajdonságaitól függ:

- víztartalom
- hővezető képesség
- talaj mechanikai összetétele
- a talaj szerkezete
- domborzat és a lejtő kitettsége
- A talajhőmérséklet napi és évszakos ingadozása
- A talaj mechanikai összetétele és színe
- A talajművelés
- A növénytakaró
- A talaj takarása
- A hótakaró
- A nagyobb esőzések.

A hőterjedésnek három különböző formáját ismerjük:

- hővezetés
- hőkonvekció
- hősugárzás

A hőáramlás a hőmérséklethez és ennek elosztásához szorosan kapcsolódik. A Föld felszínén változik a hőmérséklet (kb. +50 és -50 C° fok között). A Föld belseje felé nő a hőmérséklet a földfelszín közelében. Azonban 10-50 m mélység között eltűnnek a Föld felszínét érintő változások. A Föld hőháztartását e mélységek alatt a Föld belsejéből terjedő hőáram határozza meg.

a.) A földkéreg szilárd kőzeteiben a hő **vezetés** útján terjed.

A közepesen nedves talaj hővezető képessége nagy, míg a sok nedvességet tartalmazó talaj és a száraz talaj hővezető képessége kicsi. Ahhoz, hogy a hő, vezetés és konvekció útján terjedjen, közegre van szüksége, amely a hőt közvetíti, ill. szállítja.

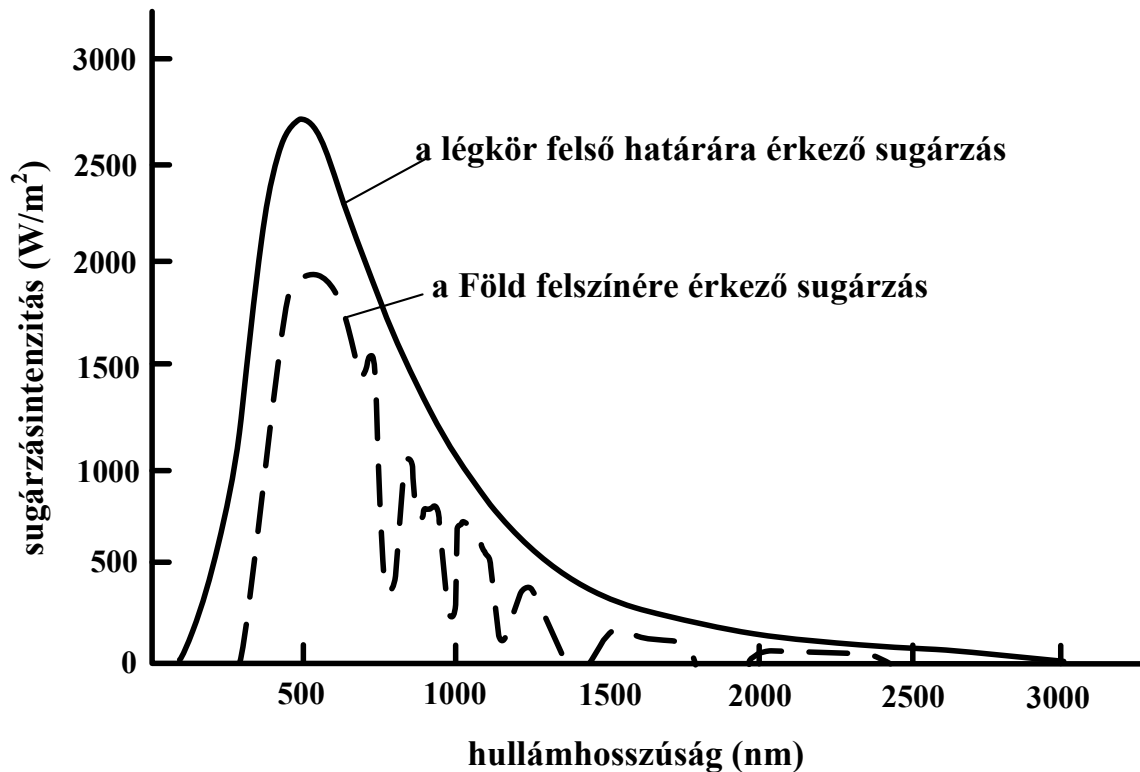
b.) A **sugárzással** való terjedéshez nincs szükség közegre

A Nap melege a Földre sugárzás útján jut, anélkül, hogy a levegőt jelentősen melegítené. A hősugarak melegítő hatása csak akkor kezdődik, ha azok valamely testre esnek, mely azokat elnyelni képes. A sugárzás légüres téren keresztül is terjed.

A földi hőáramnak 105 szerese a Napból a földfelszínre érkező sugárzás.

A sugárzás intenzitása függ:

- tengerszint feletti magasságtól
- földrajzi helyzettől
- lejtős területek kitettségétől
- felszín tulajdonságaitól (talajfelszín szerkezete, növényi fedettség)



77. ábra: A légkör felső határára és a Föld felszínére érkező sugárzás spektruma (Balázs és mtsai. 2004)

c.) **Hőkonvekció** : az hőenergiát az áramló folyadék vagy gáz részecskék viszik a melegebb helyről a hidegebb felé.

24.14. Talaj vízpotenciálja

A növények hatékony vízfelhasználásához nagyon fontos a talaj optimális szerkezete, valamint a talaj vízgazdálkodásának kialakítása és fenntartása.

A talaj-vízpotenciál hatása a növények vízellátottságára függ:

- a talaj vízvezető képességétől
- a növények gyökereinek elhelyezkedésétől is

Ahhoz, hogy a gyökér menti talajrétegek átnedvesedjenek a homokos talajban nagyobb víztartalom szükséges, mint a kötött talajban. A talajban mélyebben elhelyezkedő gyökérzet több vízhez képes juttatni a növényt. A tömörített talajok kisebb szívóerő értéknél kezdik meggátolni a vízfelvételt. 50 %-kal is csökkentheti a terméshozamot, ha a talajnak mínusz 1 báros vízpotenciál-értéke van.

A talaj vízpotenciálja tenziométerrel mérhető. A tenziométer vízzel töltött műanyag csőből áll, amelynek alsó vége porózusos kerámiacsúcsban végződik. Felső végét egy manométer zárja le. A kerámia csúcsot a talajban a mérni kívánt gyökérzóna mélységében kell elhelyezni. A zárt rendszernek tekinthető tenziométerből a száradó talaj a vizet kiszívja. Az öntözés megfordítja ezt a folyamatot. Az egyensúlyi állapotra jellemző vákuum mértékét a manométer mutatja. Léteznek ajánlott leolvasási értékek, amelyek jelzik ha a növény gyökérzónájában vízhiány keletkezik és öntözés szükséges. Vannak elektromos - digitális jelkimenettel rendelkező típusok is, amelyek további lehetőséget jelentenek az öntözés ellenőrzésében és irányításában. A talaj nedvességtartalmát a szívóerő függvényében ábrázolva, a 0-3 tartományban megszerkeszthető a pF görbe, amelyről közvetlenül leolvashatók a különböző szívóerővel kötött nedvességfrakciók értéke. A tenziométeren a szívóerő mértéke kPa-ban olvasható le.

- 0 - 10 A talaj telített. A leolvasott értékek ebben a tartományban túlóntozottságot vagy vízzel átitatott talajt jeleznek.
- 10 - 25 Szántóföldi vízkapacitás. Kielégítő öntözöttség a legtöbb növényhez.
- 25 - 50 Normál leolvasási értékek az öntözés elkezdéséhez. Az alsó értéktartomány durvaszövetű, homokos talajoknál, különösen forró, száraz éghajlaton. A felső értéktartomány hideg, nedves klímáknál, és olyan talajoknál, mint az agyag, nagy vízmegkötő kapacitással.
- 50 - 75 Ebben a tartományban lényeges az öntözés az optimális növekedés fenntartásához. A 75 és azon túl terjedő leolvasások azt jelentik, hogy a növény nem képes elegendő vizet felszívni a talajból és következésképp csökken a terméshozam.

Sajnos a használata nálunk még alig terjedt el. Talajvizsgálattal azonban megállapítható, hogy az adott talaj vízkapacitás értéke milyen vízpotenciálnak felel meg, és ennek alapján tervezhető a vízutánpótlás.

A víz, mely a talajra jut a talajrészecskék felületén kötődik meg, míg más része gravitációs úton halad lefelé. A megkötődő víz részaránya függ a talaj porozitásától és telítettségétől. A talaj vízkapacitása (VK) az a vízmennyiség, amelyet a gravitációs erővel szemben meg tud tartani.

A talaj víztartalmát a vízkapacitás százalékában fejezzük ki. A talajkolloidok felületei és a pórusok kapillárisai kötik meg a vizet a szívóerejükkel. A vízzel teljesen telített talaj szívóereje (vízpotenciálja) nullával egyenlő. A gyökér szívóerejére nagy hatással van a hőmérséklet is. Könnyebben veszik fel a növények a vizet a meleg talajból.

24.15. Talajtulajdonságok hatásának megváltozása

Anaerobnak nevezzük az olyan kémiai átalakulás, többnyire mikroorganizmusok (aerob szervezetek) hatására végbemenő szervesanyag-leépülés (**bomlás, fermentáció**), amelynek feltétele a levegő, illetve az oxigén jelenléte. Az egyik jellemzője a természetes átalakulásoknak, pl. **korhadás** és az aerob **hiodegradációs** eljárásoknak (pl. komposztálás, erológiai szennyvíztisztítás). Az aerob bomlás eredményeként a szerves anyagok jelentős hő fejlődéssel, de jelentős bűz-, illetve szagképződés nélkül szén-dioxiddá és vízzé, nitritekké és nitrátokká, szulfitokká és szulfátokká, valamint foszfátokká alakulnak (ásványosodás).

Az antropogén beavatkozások hatásai, a feltételek megváltozása.

Talajművelés	aerob feltétel
Talajművelés hiánya	anaerob feltétel
Vízeltett talaj	anaerob feltétel
Felesleges víz elvezetése	aerob feltétel
Öntözés	hasznos víz pótlása
Szerves anyag pótlás	humuszképződés
Meszezés	talaj kémhatásának, Ca telítettség növelése.

25. A talajban élő mikroorganizmusok (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A talajban élő szervezetek tárgyaláskor nem célom a felépítésük, élettanuk vagy biokémiai folyamataik részletes ismertetése. Csak a talajökológiai szempontból kiemelkedően fontos jelenségeket és a más fajoktól való jellemző eltéréseket vesszük számba.

25.1. Prokarióták

A ma élő sejtek közös őse kb. 3-4 milliárd évvel ezelőtt keletkezhetett. A közös ős legközelebbi utódja a **prokarióta**, melynek számos képviselője ma is megtalálható. Ezek a legegyszerűbb organizmusok a Földön, melyeknek alakjuk és formájuk igen változatos. A prokarióta görög eredetű szó, jelentése sejtmag előtti (*prósz: előtt, karyon: mag*). A prokarióta szó azt fejezi ki, hogy sejteikben még nincs hártával körülhatárolható sejtmag, örökítő anyaguk a citoplazmában maghártya nélkül helyezkedik el. Mikrométer nagyságúak. Biokémiai szempontból nagyon változatosak, ezért sokféle helyen előfordulhatnak. Képesek igen sokféle környezeti feltételhez alkalmazkodni. Ennek érdekében számos fajban igen egyedi biokémiai és élettani megoldások alakultak ki.

A talajban élő baktériumok fontos szerepet játszanak a szerves anyagok lebontásában. Biztosítani tudják, hogy a már elhalt szerves anyagot a növények szervesetlen nitrogénvegyületek, szén-dioxid és más szervesetlen vegyület formájában hasznosítani tudják. Két rendhagyó taxonjuk:

Az **aktinomiceták** (*Sugárgombák*) olyan elágazó, vékony fonalak, amelyek a penészek és a baktériumok közötti átmenetet képezik, és a talajban lévő nehezen lebontható vegyületek lebontásában jelentősek.

A **Cianobaktériumok** az egyik legősibb baktériumok a Földön. Sejtfelépítésük szinte majdnem megegyezik a baktériuméval, általában édesvizekben találhatók meg, és meleg időjárás mellett tevékenységük a látványos „víz virágzásához” vezet.

25.1.1. A prokarióta sejt felépítése

- nem körülhatárolt sejtmag
- sejthártya
- sejtplazma
- zárványok
- riboszómák (fehérjékből és nukleinsavakból áll)
- sejtfal
- mozgásszervek (ostor vagy csilló)
- tok

A prokarióták általában az ostorukkal vagy a csillóik segítségével képesek mozogni. A csillók megtalálhatóak a sejtnek vagy csak az egyik, illetve mindkét végén. A mozgáshoz egyfajta segítséget nyújt a protonmozgató erő, amely a könnyebb haladást teszi lehetővé.

A prokariótákat két nagy csoportra osztjuk:

- **archeák (ősbaktériumok)**
- **baktériumok** (ma élő prokarióták)

A Földön szinte minden környezetben előfordulnak (talaj, víz, levegő).

A vizekben a plankton alkotójaként, esetleg az aljzaton is előfordulhatnak. A talaj anyagforgalmában is nélkülözhetetlenek. A szaprofita mikroorganizmusok anyagcseréjük során a talajban lévő szerves anyagokat szervetlenre bontják, melyeket a kemoszintetizálók már felhasználhatnak. A nitrogéngyűjtő (szabadon vagy pillangósok gyökerével szimbiózisban élő) baktériumok a levegő nitrogénjét alakítják át és teszik beépíthetővé. De igen nagy mennyiségű baktérium található az emberben és az állatokban egyaránt. Például a szájüregben (bár szaporodásukat a nyál gátolja, mégis sok fajuk megtalálható itt) vagy a vastagbélben (több fajuk szimbiózisban él az emberrel). Nem csak a szimbionták, hanem a paraziták is előfordulhatnak az ember szervezetében, azonban ezek túlzott elszaporodása betegséghez vezet.

A **baktériumok** a legősibb egysejtűek. Lehetnek kórokozók, de számos igen hasznos fajukat is ismerjük. Nélkülük megszűnne a földi élet. Nagyságuk 0,1-100 mikrométer közé esik, csupán néhány egyed lépi át ezt a határt. Tipikusan sejtmag nélküliek, önálló anyagcseréjük van és általában könnyen tenyésztethetők mesterséges körülmények között is

Alakjuk szerint megkülönböztetünk:

- gömb (**coccus**) alakú baktériumot, amely a legegyszerűbb baktérium alak
- pálcika (**bacillus**) alakú baktériumot, amelyeknél jellemző a hossz és a keresztmetszet változása
- csavart (**spirillum**) alakú baktériumot, amely felismerhető spirált alkotó alakjáról.

A sejtmembránon kívül helyezkedik el a **bakteriális sejtfa**, mely a baktériumot védi a környezeti hatásoktól és esetleg a gazdaszervezet immunrendszere ellen. A sejtfa emellett fontos szerepet játszik a sejt magas ozmózisnyomásának fenntartásában, ami akár a légköri nyomás tizenötszöröse is lehet.

A növények sejtfa **cellulóz**ból épül fel, míg a gombáké **kitin**ből. A baktériumok sejtfaának fő alkotórésze **peptidoglikán**, ekek olyan molekulák, amelyekben a peptidekhez poliszacharidláncok kapcsolódnak kovalens kötéssel. A bakteriális peptidoglikán (más néven **murein**) térhálós szerkezetű: poliszacharidláncai D-aminosavakat tartalmazó peptidekkel vannak keresztülkötve.

A baktériumok sejtfa az archeák sejtfaától is különbözik, mivel azok sejtfa nem tartalmaz peptidoglikánokat. A sejtfa alapvető fontossággal bír a túlélés szempontjából: a penicillinszármazékok (antibiotikum) éppen azáltal teszik lehetővé a baktériumok elpusztítását, hogy gátolják a peptidoglikán szintézisét.

A baktériumfajok hagyományos osztályozására használjuk a **Gram-festés** eredményét. Két különböző típusú sejtfa található a baktériumokban, ezek alapján **Gram-pozitív** és **Gram-negatív** baktériumokra lehet felosztani a fajokat. A Gram-pozitív baktériumok sejtfa vastag, sok peptidoglikán- és lipoteichoinsav-réteget tartalmaz. A Gram-negatív baktériumok ezzel szemben viszonylag vékony sejtfallal rendelkeznek, mely csak néhány réteg peptidoglikánból áll, melyet lipopoliszacharidokat és lipoproteineket tartalmazó második lipidmembrán burkol. A legtöbb baktérium a Gram-negatív csoportba tartozik, csak a *Firmicutes* és *Actinobacteria* törzs tagjainak van Gram-pozitív sejtfa. A felépítésbeli különbségek eltérő érzékenységet eredményeznek az antibiotikumokkal szemben, például a vankomicin csak Gram-pozitív baktériumokat tud elpusztítani, és Gram-negatív patogénnel, mint például a *Haemophilus influenzae* vagy a *Pseudomonas aeruginosa* fajokkal szemben hatástalan.

Számos baktérium esetében egy merev szerkezetű fehérjemolekulából álló S-réteg borítja a sejtet. Ez a réteg kémiai és fizikai védelmet biztosít a sejt felszínnek, és egyben a

makromolekulák diffúzióját akadályozza. Ez segít, hogy a baktérium száraz körülmények között is életben maradjon, és védelmet nyújt a külső környezettel szemben. Az S-rétegnek más, még kevésbé ismert funkciói is vannak. Ismeretes például, hogy a *Campylobacter* fertőzőképességéhez hozzájárul, és a *Bacillus stearothermophilus* esetében felszíni enzimeket is tartalmaz.

A merev sejtfalon belül egy vékony rugalmas fehérjéből és lipidekből álló sejtmembrán található. A sejtfalon szabadon áthatolhatnak a tápanyagok; a víz, és más kis molekulák. A sejthártya viszont félig áteresztő hártya, azaz csak bizonyos anyagokat enged a sejtbe és jutat ki onnan. A sejthártya néhol betüremkedik a sejten belülre. Ezek a betüremkedések a **mezoszómák**, ahol az energiatermelésért felelős fontos anyagcsere enzimek találhatóak. Membránjai tartalmaznak DNS-kötőhelyet, és kapcsolatban állnak a nukleoiddal. Aerob baktériumokban a mezoszóma membránjai tartalmazzák az oxidatív foszforiláció fehérjekomplexeit.

A **csillók** finom, fonalszerű rendszerint hosszú képletek, melyek a baktériumsejt felszínéről nyúlnak annak környezetébe. A talajlakó baktériumok mozgását is ezek biztosítják. A helikális filament általában 5-10 µm hosszú és kizárólag **flagellin** nevű fehérjét tartalmaz. Az eukariótáknál az ilyen képleteket, ha rövidek, csillóknak (cilia), ha pedig hosszúak, akkor ostoroknak (flagella) nevezzük. A baktériumoknál viszont tekintet nélkül a hosszúságra, a magyar nyelvű irodalomban minden esetben a csilló megjelölés, míg az angolban a flagella (többes szám flagellum) használatos. Természetesen nem minden baktériumnak van csillója. A csillókkal rendelkező baktériumoknál viszont a csillók száma, mérete és elhelyezkedése a fajra jellemző. E tekintetben az alábbi főbb típusokat különböztethetjük meg:

- **Monotrich:** egyetlen poláris csilló.
- **Lofotrich:** azonos póluson több csilló.
- **Peritrich:** elszórtan több csilló
- **Amfitrich:** két ellentétes póluson egy-egy csilló.
- **Lofo-amfitrich:** az ellentétes pólusokon több csilló.

A bakteriális csillók a sejtmozgásban játszanak szerepet, akárcsak az eukarióták csillói. Azonban a pro- és eukarióta csillók mind felépítésükben, mind működési módjukban jelentősen különböznek egymástól. Az eukarióta flagellummal szemben a bakteriális csilló forog és nem üt. Természetesen nem minden baktérium mozgásképes, és az sem igaz, hogy minden mozgásképes baktériumot a csillója hajt. A bakteriális csillók nem a sejtfalból, hanem a falon áthatolva, a citoplazma membránból erednek. Fénymikroszkóppal a csillók nem láthatók, mivel nagyon vékonyak (az átmérőjük mindössze 10-25 nm). Néha azonban nagyon hosszúak (15-20 µm hosszúak) is lehetnek. A csillómozgás nagyon hatékony, mert a baktériumokat másodpercenként testük hosszának több mint 20-szoros távolságára, akár 50 µm/sec sebességgel is hajthatják előre. Egyes baktériumok (például *E. coli*) mozgását a sejt felszínéből kitüremkedő számos flagellum (4-10) teszi lehetővé. E képletek rotációra képesek és ennek iránya meghatározza a sejt mozgásformáját is: Az óramutató járásával ellentétes (CCW) rotáció a flagellumokat egy csoportba rendezi és a sejt egyenes irányú úszását okozza. Az óramutató járásával megegyező irányú rotáció (CW) a flagellumok által alkotott köteg felbomlását okozza, minden egyes flagellum más-más irányba mutat és ezáltal a sejt egyhelyben jár, bukdácsoló mozgását okozza.

A baktériumok mozgása **egyenes vonalú** úszási és **bukdácsoló, ún. tumbling** fázisok váltakozásából áll össze. Az *E. coli* és a hozzá hasonló baktériumok képtelenek az úszási irány előre történő eldöntésére, mint ahogyan arra sem képesek, hogy néhány másodpercnél hosszabb, egyenes szakaszokat tegyenek meg reorientációs rotáció nélkül. Másképp fogalmazva, a baktériumok „elfelejtik” az eredeti úszási irányt. A mozgást behatároló ezen

tényezőket is figyelembe véve igen nagy eredménynek tekinthető az, hogy a baktériumok képesek mozgásuk eredőjét a nagy koncentrációjú, számukra kedvező **attraktáns** (rendszerint táplálék) irányába fordítani, illetve képesek elkerülni a **repellens** hatású (rendszerint mérgező) anyagokat. A baktériumok **kemotaxisukat** a kémiai anyag által kialakított gradiens jelenlétében alakítják ki, illetve egész mozgásállapotuk e gradiens(ek) jelenléte határozza meg. Ha egy baktérium érzékeli, hogy mozgása megfelelő irányba történik (attraktáns felé vagy repellenstől eltávolodva) bukdácsoló fázisok közbeiktatása nélkül tartja fenn egyenes vonalú mozgását. Amennyiben rossz irányba mozog a sejt, az hamarosan bukdácsolást okoz, mely lehetővé teszi egy véletlenszerűen választott új úszási irány kiválasztását.

Az E.coli és hasonló egyéb baktériumok tehát egy átmeneti érzékelés segítségével értékelik közeli életterük kedvező vagy éppen hátrányos voltát. Így lehetőségük van arra, hogy az attraktáns számukra kedvező legmagasabb koncentrációját viszonylag nagy pontossággal megtalálják (rendszerint ez az attraktáns forrása). Azonban még igen nagy koncentrációk esetében e sejtek viszonylag kis koncentráció különbségek érzékelésére is képesek. A repellensektől való eltávolodás során hasonló érzékenység figyelhető meg. A fentiekben leírt, „céltudatos” random mozgás két mozgási elem - egyenes úszás és bukdácsolás - közötti sorozatos választások eredménye. A baktérium **kemotaktikus** válaszai a központi idegrendszerrel rendelkező és a beérkező érző impulzusokat elemezni képes, magasabb rendűek döntéshozatali képességére emlékeztet.

Például a *Shewanella oneidensis* talajlakó baktérium, képes különböző fémionokat redukálni, így gazdasági fontossága is jelentős. Mozgékony, ostorral rendelkező baktérium, ami protongradiens és nátriumion-gradiens is fel tud használni az ostora hajtásához.

25.1.2. Anyagcsere folyamatok

A baktériumok rendszertanát az anyagcsere jellegzetességei által határozták meg, de az eredmény gyakran eltér a modern genetikai osztályozás eredményeitől. A környezethez való alkalmazkodás következtében az anyagcsere többféle módon változhat:

- represszió
- indukció
- feed-back gátlás

A bakteriális anyagcsere felosztása függ a baktérium növekedéshez szükséges szén- és energiaforrás minőségétől, az energiatermelő folyamatok során milyen anyagoktól és vegyületektől származik az elektron (**elektrondonor**) és végül, kik kapják a folyamat végén az elektront (**elektronakceptor**).

Szénforrás szempontjából megkülönböztetünk heterotróf baktériumokat, tehát a környezetükben lévő szerves szénvegyületeket használják föl energia- és szénforrásként, vagy autotrófok baktériumokat, vagyis szénforrásuk a környezet szén-dioxidja és ezt használják.

Az autotrófok legjelentősebb baktériumai a fotoszintetizáló **cianobaktériumok** vagy a **bíborbaktériumok** (Pl.: *Rhodospseudomonas*). Azonban autotróf baktériumok a **kemolitotróf** fajok is, többek között például a **nitrifikáló** (aerob szervezetek, így szükséges megfelelő oxigénellátottság) és a **kénoxidáló** (az elemi ként szulfáttá alakító) baktériumok. Energiaforrás szempontjából megkülönböztetünk fotoszintetizáló baktériumot, amelyek a fényből nyernek energiát, vagy kemoszintetizáló baktériumot, amelyek kémiai vegyületekből szerzik az energiát.

A kemoszintetizálókon belül további 2 csoportra oszthatjuk a baktériumokat. Az egyik ilyen csoport a **kemolitotrófok**, akik a légzéshez szervetlen elektrondonort használnak, a másik **kemoorganotrófok**, akik a légzéshez szerves elektrondonort használnak. A

kemolitotrófoknak általában hidrogén, szén-monoxid, ammónia (ennek eredménye a nitrifikálás), esetleg vas ion, vagy más redukált fémion, illetve valamennyi kénvegyület az energiaforrása.

A legtöbb kemolitotróf szervezet autotróf, míg a kemoorganotróf szervezetek heterotrófok. A heterotrófokhoz tartoznak a **szaprofiták**, akik elhalt szerves anyagokból élnek; **paraziták**, amelyek élő szervezetekben élősködnek; illetve **szimbionták**, akik kölcsönösen együtt élnek más fajokkal. **Paratrófok**nak nevezzük azokat a fajokat, amelyek nem tenyészthetők mesterséges táptalajokon. A vírusokhoz hasonlóan többnyire csak élő sejtben szaporodnak, mivel anyagcseréjük hiányos.

Elektrondonorok és elektronakceptorok esetén, amikor a kémiai vegyületeket felhasználják energiaforrásként, az oxidálódó anyagból az elektronok átadásra kerülnek a végső elektronfelvevő részére, redukciós folyamat közben. Így a reakció folyamán energia szabadul fel, amelyet az anyagcsere közben felhasználnak.

Az aerob élőlények oxigént vesznek fel, viszont az anaerob élőlények esetében más szerves vegyület lesz az elektronfelvevő (pl.: nitrát, szulfát, vagy szén-dioxid). Ennek eredménye a **denitrifikálás** (oxigénszegény környezetet igényelnek, a nitrát-ionokat visszaalakítják elemi nitrogénné), a **kéntelenítés** (különböző kén-tartalmú vegyületekből a kén kivonása) és az **acetogenezis** (hidrolizálókat által termelt szerves savakat, aminosavakat hangyasavvá, tejsavvá, vajsavvá, propionsavvá, ecetsavvá és hidrogénné alakítják).

Vannak olyan fakultatív anaerob baktériumok, amelyeknek, ha nincs rendelkezésre álló végső elektronfelvevő, akkor életműködésüket **erjedéssel** biztosítják.

25.1.2.1. Asszimiláció

Az **Asszimiláció (anabolizmus)** az a folyamat, amelynek során az élő szervezetek a környezetükből felvett anyagokból saját testük anyagait felépítik. Ha a szervezet szerves anyagokból is fel tudja építeni testének sajátos szerves anyagait, akkor **autotrófnak** (autotróf életmód), ha kész szerves anyagokra van szüksége az asszimiláláshoz, **heterotrófnak** (heterotróf életmód) nevezzük.

Az autotróf prokarióták összes szerves anyag-szükségleteiket, s ezekből struktúraanyagaikat szerves anyagból nyerik. Az ide tartozó prokarióták energianyerés szempontjából két csoportra oszthatók: foto- és kemoautotrófokra (foto- és kemoszintetizáló szervezetek).

- **Fotoautotrófok**nak azokat az élőlényeket nevezzük, amelyek fényenergia felhasználásával készíti el szerves anyagait. Pl.: bíborbaktérium.
- **Kemoautotrófok**nak azokat az élőlényeket nevezzük, amelyek képesek szerves anyagok eloxidálásával nyert energiával felépíteni saját szerves anyagait. Pl.: **nitrifikáló baktériumok**.

A **heterotróf** élőlények szerves vegyületekből építik fel a számukra szükséges szerves anyagokat. Megkülönböztetünk közöttük 3 csoportot:

- **parazita** (élősködő): más élőlények által felhasznált szerves anyagokat veszik fel, a gazdaélőlény legyengül, beteggé válik. Pl.: kolera baktérium.
- **szimbionták** (szimbiózisban élők): fajok olyan együttélése, mely mindkét fél számára előnyös. Pl.: pillangósvirágú növényekben a nitrogéngyűjtő baktérium, a szarvasmarha bendőjében élő cellulózbontó baktérium. A talajban is léteznek cellulózbontó baktériumok, melyek a cellulózt humusszá alakítják.

- **szaprofiták** (korhadék-, rothadéklakók): ezek az elhalt élőlények szerves vegyületeit használják fel, az ásványosításban van lényeges szerepük, a szerves vegyületeket szervetlenné alakítják át. Pl.: ecetsav baktérium, rothasztó baktérium.

25.1.2.2. Disszimiláció

A **disszimiláció** (katabolizmus) az élőlények lebontó jellegű anyagcsere folyamatainak összessége. A disszimiláció energia felszabadító folyamat, hiszen a makromolekulákból enzimek hatására egyszerű felépítésű, kis energiatartalmú molekulák keletkeznek. A felszabaduló energia jelentős része ATP-molekulákban, kémiai formában raktározódik el és később felhasználódik az életfolyamatokhoz. Az autotróf és a heterotróf élőlények (autotrófia, heterotrófia) disszimilációs folyamatai lényegében azonosak. E folyamatok első lépése során a makromolekulák építő alapelemekre esnek szét (fehérjék, lipidek, szénhidrátok, nukleinsavak). A lebontás további mozzanatai már ezekből a molekulákból indulnak ki.

25.1.2.2.1. Erjedés

Egy glükóz molekula lebontásakor csupán 2 molekula **ATP** keletkezik. A folyamat lehet anaerob is, azaz nem szükséges hozzá **oxigén** (légzés). Tehát levegőtől elzárt talajban, folyadékokban is végbemehet.

Az erjedés (fermentáció) kémiai folyamat, amelynek során valamely szerves anyagot enzim hatásának kitéve bontanak le. E folyamatot jellemzően baktériumok vagy élesztőgombák használatával végzik, és pl. cukrokat bontanak le oxigén kizárásával.

Legelőször Gay-Lussac állította fel az **alkoholos erjedés** vegyi egyenletét:



vagyis 180 g **szőlőcukorból** 92 g **etilalkohol** és 88 g (44,8 normál liter) **szén-dioxidgáz** keletkezik.

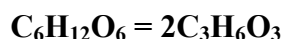
A folyamat az elméletinél lényegesen bonyolultabb, több lépésben megy végbe. A közbelső termékek között szerepel acetaldehid. Ha az erjedő folyadékba nátrium-szulfidot tesznek, az acetaldehidet leköti, minek következménye, hogy lényegesen több glicerint keletkezik az erjedésnél, mint közönségesen. A világháború folyamán ezt az elvet a gyakorlatban is használták glicerintermelésre, nitro-glicerint gyártáshoz.

Az erjedés melléktermékei között megtalálhatók a **szén-dioxidon** és **glicerinen** kívül az úgynevezett **kozmaolajok** is, melyek lényegileg magasabb rendű alkoholok (propil-alkohol, izobutil-alkohol és főleg amil-alkohol).

Az erjedés egy további mellékterméke, a borostyánkősav amely nem a cukorból, hanem egy aminosavból, a glutaminsavból jön létre az erjedés folyamán.

A **tejsavas erjedést** a tejsavbaktériumok okozzák. Legismertebb esete a tej megsavanyodása. Itt a tejben lévő tejcukor tejsavvá alakul át. Tejsavas erjedéssel van dolgunk a "kovászos uborka" megsavanyodásánál, amihez a tejsavbaktériumokat közismerten egy szelet kenyérrel visszük uborkás üvegünkbe. Lényeges szerep jut ennek az erjedésfajtának a téli káposzta besavanyításánál és egyes takarmányok (pl. répafej- és levél, avagy kilúgozott répaszeletek) besavanyításánál is. Ezeknél a folyamatoknál tejsavbaktériumokon kívül egyéb mikroorganizmusok is szerepelhetnek.

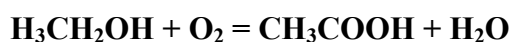
A tejsavbaktériumok munkájának bruttó-folyamata:



vagyis a hat szénatomos cukorból tejsav keletkezik.

Tejsavon kívül sokszor más termékeket is találunk az ilyen erjedés termékei között, köztük illó savakat, pl. **ecetsavat** és **szénsavat** is.

Az **ecetsavas erjedés** kevésbé hasznos, mint a tejsavas. Ha pl. a boroshordó nincs tele borral, tartalma az ecetsav-baktériumok hatására megecetesedhet. A borban mindig vannak ecetsav-baktériumok, és csak a kedvező alkalmat várják, hogy elszaporodva működésbe lépjenek. Működésük bruttó-egyenlete:



vagyis 46 g **etilalkoholból** a levegő **oxigénjével** (és az ecetsav-baktériumok enzimjeivel), **aerob folyamatban**, 60 g **ecetsav** és 18 g **víz** keletkezik.

Az egyenlet szerint 1kg etilalkoholból 1,3 kg ecetsav képződik. A valóságban azonban - az úgynevezett gyors ecetgyártásnál - alig kapnak többet 0,75-0,9 kg-nál.

A **vajsavas erjedés** során a vajsavtermelő baktériumok erjesztik a **cukrokat, keményítőt, tejsavat és fehérjéket**. Az erjedés termékei **vajsav, szén-dioxid, hidrogén** és kevés **butilalkohol**. Az erjedés egyenlete:



A vajsavbaktériumok anaerobok, sőt az oxigén egyenesen gátolja a fejlődésüket. Nagyon savérzékenyek, ezért az erjedés a képződött vajsav hatására önmagától hamarosan megszűnik, és csak akkor folytatódik, ha pl. szénsavas mész adagolásával lekötjük a termelt savat.

A **butilalkoholos erjedés** okozói a vajsav-erjesztőkhöz nagyon hasonló savérzékeny baktériumok (pl. *Bacillus butilicus*), melyek kevés sav mellett főleg **butilalkoholt, szén-dioxidot és hidrogént** termelnek.

A folyamatból a felhasználható energia 2 ATP molekulányi. Az erjedés energetikai szempontból nem gazdaságos, mert termékei oxidálással még további energiát tudnának termelni.

25.1.2.2.2. *Biológiai oxidáció*

A legtöbb szénhidrát a **biológiai oxidáció** során bontódik le. A biológiai oxidáció oxigéndús (aerob) környezetben játszódik le. A biológiai oxidáció folyamata több lépésből áll.

Glikolízis: A folyamat során a **poliszacharidok** először glükóz-foszfát építőegységekre bomlanak, később glicerin-aldehid-foszfáttá alakulnak. Majd több lépésben piroszőlőssavvá alakul, eközben foszfátcsoportok szakadnak le, így 2 db ATP molekula (energia) keletkezik. A szakasz végén a piroszőlőssav CO₂ leadása közben két C-atomos acetilcsoporttá alakul át. Az acetilcsoport a koenzim-A molekulára kerül és acetil-koenzim-A molekulává válik.

Citromsavciklus: a biológiai oxidáció második szakasza. Kezdetén a Ko-A molekuláról leválik az acetilcsoport, ezt felveszi a négy C atomos oxálecetsav. Ez a felvett acetilcsoporttal 6 C atomos citromsavvá alakul. A citromsav oxidálódik, ezért újra oxálecetsav alakul ki, ez CO₂-t ad le. A citromsav ciklus lényege, a szén és oxigén atomok elvesztése.

Terminális oxidáció: ennek során az előző szakaszokban leadott H-eket a NAD szállítja NADH formájában. Erről a molekuláról a hidrogének $p+$ és $e-$ formájában kerülnek a terminális oxidáció elektronszállító rendszerébe. Citokrómok adják át egymásnak az $e-$ -okat. A rendszer első tagja az elektronnal redukálódik, majd a következő tagnak leadja az elektront, ezzel oxidálódik. Ez addig folytatódik, míg az elektron a végső felvevő-molekulához nem ér. Az elektronok lépésenként alacsonyabb energia szintre kerülnek. Az így felszabadult energia ATP szintézisre fordítódik. Az elektronszállító rendszer végső felvevője a légzéssel felvett oxigén. Ide érkeznek a NADH által szállított protonok, melyek az oxigénnel és az elektronnal vízzé alakulnak.

A glikolízis során 2 ATP keletkezik, a terminális oxidációban 36. 1 mólnyi glükóz oxidációjakor 38 mólnyi ATP hasznosítható energia keletkezik.

25.1.3. Prokarióta eukarióta differencia

	Prokarióta	Eukarióta növények	Eukarióta gombák	Eukarióta állatok
Méret	Kisebb	Nagyobb		
Sejtfal	szénhidrát, fehérje	Cellulóz	Kitin és fehérje	nincs
Belső membránok	Nincs	Fejlett (ER, Golgi, lizoszóma)		
Mitokondrium	Nincs	Van, változó alak		
Színtest	Nincs	Van	Nincs	Nincs
Színanyag	Klorifill-a, fikocián	Klorofill-a, b, karotin, xantofill	Nincs	Nincs
Sejtmag-hártya	Nincs	Van (kettős membrán, pórusokkal)		
DNS-állomány	Plazmában, gyűrű alakú	Több darabban, kromoszómát képez		
DNS-hez kötődő fehérje	Nincs	Van (nukleoszóma)		
Ostor, csilló	Lehet	Lehet, 9x2 szerkezet		

25.1.4. Szaporodás

A baktériumok sejteinek növekedése és osztódása nagymértékben összefügg egymással, hisz míg el nem érnek egy bizonyos nagyságot, addig növekednek, majd kettéosztódnak.

Ivartalan szaporodás esetén a prokarióták (ill. baktériumok) esetében hasadásról beszélünk, így különböztethetjük meg az eukarióta sejtektől, amelyek valódi sejtmaggal és kromoszómákkal rendelkeznek, és sejtosztódással szaporodnak. Az osztódás után, vagy genetikai elrendeződésben egy darabig megmaradnak, vagy pedig utána azonnal szétválnak. A genetikailag kódolt összeköttetésektől meg tudjuk különböztetni a külső okok hatására létrejött csoportosulásokat, ilyen például a kocsonyás burok, a baktériumok fejlődésére szolgáló szubsztratum (alsó réteg alatti rész) szilárd, vagy híg összeállása.

Természetes körülmények között a baktériumok nem tudnak korlátlanul szaporodni, a mesterséges körülmények (folyékony vagy szilárd táptalaj) viszont lehetővé teszik a megfelelő mennyiségű utód létrehozását.

Hasadás során a citoplazma tömegének megkettőződésével a nukleáris állományt jelentő DNS mennyisége is duplázódik (replikáció), ez előzi meg a sejtosztódást. A replikáció egyetlen pontban kezdődik. Ezután a citoplazma hártya betüremkedésével a válaszfalképződés is

megindul, ezt követi a sejtfalképződés, mely végül is a két sejt teljes elválását eredményezi. A kiindulási kromoszóma a kezdő- és végpontnál csatlakozik a sejtfalhoz. A szaporodáshoz elengedhetetlen feltétel a sejtek növekedése. Általában egy sejt 20-30 perc alatt a kétszeresére növekszik (arányosan nő a sejt tömege, a mérete, illetve minden összetevője).

25.1.5. Baktériumok száma a talajban

Erdei élőhelyről származó fiatal akácgyökér rizoszféráját vizsgálta Gyurkó Pál, a Magyar Tudományos Akadémia Soproni Talajbiológiai Kutató Laboratóriumában. Számlálásokat végzett a gyökéren és a gyökértől különböző távolságban elhelyezkedő mikroorganizmusokon.

Az eredmények rámutatnak hogy, milyen mikroszervezeteknek élnek az akácgyökéren, a gyökerek körül és attól távolabb. Azok számbeli megoszlásáról nyújtott információt, valamint arról, hogyan szelektál az akácgyökér a lehetséges organizmusok közül. A mikroszervezetek számbeli változásáról arra lehet következtetni, hogy a talajban mekkora a távolság, ameddig a gyökér a talajéletet érezhetően befolyásolja.

A mikroorganizmusok mennyisége az akác hajszálgyökérén, illetve a gyökértől számított különböző távolságokban

Mikroorganizmus csoportok	Mikroorganiz-musok száma a gyökéren	Mikroorganizmusok száma a hajszálgyökértől						kontroll
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	
		mm távolságban						
Pálcika alakú spórás baktériumok	-	-	-	-	15	14	19	37
Pálcika alakú spórátlan baktériumok	432 800	31 900	7 040	880	735	638	616	657
Kokkuszok	-	6 300	260	80	47	-	-	-
Azotobakterhez hasonló baktériumok	-	-	-	6	2	-	2	15
Összes baktériumszám	432 800	38 200	7 300	966	799	652	637	709
Actinomvcsek (arányszám 0-4)	0,33	3,33	1,35	0,2	0,2	0,55	0,2	0,15
Gombák (arányszám 0-4)	-	0,08	0,23	0,74	1,14	0,54	0,65	0,5

Forrás: Gyurkó Pál. Néhány adat az akác rizoszférájáról. Az erdő. Az erdészeti tudományos folyóirata. Magyar Tudományos Akadémia Talajbiológiai Kutató Laboratóriuma, Sopron 1955

A baktériumszámok 1 mm² felületre vonatkoznak. A táblázatban közel 1200 számlázás adatait átlagolta. A táblázat adatainak értékelésekor feltűnik a gyökér felületén a nagy összes baktérium szám. A 432 800 baktérium mm²-ként kb. 600-szorosa annak, amennyi a gyökértől távolabb él a talajban. Tehát a gyökér nagymértékben gazdagabbá teszi a körülötte kialakuló talajéletet, élőhelyet biztosít és fokozza a biológiai diverzitást.

Rétegmélység (cm)	Baktériumszám/g talaj		
	aerob	anaerob	összes
2-5	2 500 000	1 300 000	3 800 000
30	1 150 000	1 800 000	2 950 000
60	800 000	2 000 000	2 800 000
90	500 000	900 000	1 400 00
120	60 000	100 000	160 000
150	6 000	2 000	8 000

Az aerob baktériumok száma a felszínhez közeledve nő. Legnagyobb értékét közvetlenül, pár cm mélységben éri el. Az anaerob baktériumok levegő szempontjából optimális mélysége 60 cm körül van. Ettől lejjebb erősen csökken a számuk. Az összes baktérium szám azonban a felszínhez közeledve mindenképpen emelkedik, az aerob baktériumok nagy számának következtében.

25.2. Gombák

Olyan többsejtű eukarióta szervezetek, amelyek szintesttel nem rendelkeznek és kész, szerves anyagokból táplálkoznak. Az ilyen szervezeteket heterotróf típusúaknak nevezzük. Valószínűleg még az evolúció korai szakaszában különülhettek el más többsejtű eukariótáktól és párhuzamosan fejlődtek a növényekkel és az állatokkal. A gombákat ma testfelépítésük és életmódi sajátosságuk alapján elkülönítik a növényektől és az állatoktól egyaránt. Rendszerezésükre még nem alakult ki egységes felfogás. A fejlődéstörténeti összefüggések megismerését megnehezíti az a tény, hogy a gombáknak csak nagyon kevés ősmaradványa maradt fenn, mivel az elpusztult szervek rosszul fosszilizálódnak. Feltételezhetjük, hogy a gombavilág mai csoportjai egymással párhuzamosan fejlődtek ki.

A gombák élő, szabad szemmel nem látható, kizárólag mikroszkóp alatt megfigyelhető, az erdőkben, korhadó, illetve élő fákon, szerves hulladékokon megtelepedő szövedékek. Csak a termőtest a gomba, mely a föld felett található. Ennek annyi a feladata, hogy spórákat hozzon létre és terjesszen. A gombák saját világot alkotnak. Nem növények, mivel más a sejtfaluk felépítése, és nem tudnak fotoszintetizálni, de nem is állatok, mert nem tudnak mozogni, képtelenek a helyváltoztatásra. Persze kivételek vannak, például a nyálkagomba, amely képes a mozgásra, sőt aktív táplálékkereső is. Őt azonban már az állatokhoz soroljuk. A gombák energiaigényüket a szimbiózisban élő növényekkel elégítik ki.

A gombák a szerves anyagokat alkotóelemeikre bontják és újra felhasználják. Lebontják a faleveleket, tűleveleket, ürülékeket, halott rovarokat, madárköpetet, faszenet, papírt, fűvet, szarut, stb.

25.2.1. Gomba törzsek

1. Nyálkagombák: Fajai a többi gombától eltérő módon fejlődtek ki. Egysejtűek, sejtfallal nem rendelkeznek. Mozgásuk amőbaszerű és egysejtűeket kebeleznék be. Életük bizonyos szakaszában összeolvadnak és nyálkás plazmacsomókat hoznak létre. Életterük: korhadó fakéreg vagy avar. Spóráikat apró termőtesteikben termelik.
2. Ostoros gombák: Fajai egyostoros rajzospórakkal (rajzospóra: önálló mozgásra képes, ostorral vagy csillókkal ellátott spóra) rendelkeznek. Telepük mikroszkopikus nagyságú. Sejtfaluk kitint tartalmaz.
3. Moszatgombák: A moszatgombákban a rajzospórák kétostorosak. A sejtfaluk cellulózt tartalmaz. Élősködő életmódot folytatnak. Legismertebb képviselői: peronoszpórák, ami a szőlő egyik gyakori kártevője.
4. Valódi gombák: Ostoros fejlődési alakjuk nincs. Szaporodásukhoz nem szükséges víz. Leginkább szárazföldi szervezetek.
 - (1) Tömlősgombák osztálya: Tömlőszerű képződményben alakulnak ki a spórái. A borélesztő sejtjei például bimbózással jönnek létre. Az élesztőgombák erőteljes erjesztőképességét manapság sokoldalúan hasznosítjuk.
 - (2) Járomspórás gombák: Ebbe az osztályba tartozik például a fejespenész. Fehér színű hifái kenyéren néhány nap alatt megjelennek.
 - (3) Bazídiumos gombák: Ebbe az osztályba tartozó gombák gombafonalainak végén megvastagodott képződmény, ún. bazídium figyelhető meg. A bazídium végén található kis nyúlványokon fejlődnek a spórák. A fonalak szövődése szembetűnő.

25.2.2. Mikroszkopikus gombák

A mikroszkopikus gombák növényi vagy állati szövetekben élnek. Jelentőségük, hogy lebontják a talajban a **cellulózt** és a **lignint**. Ezen kívül táplálékkal segítik a fát, a fa pedig növényi hormonokkal látja el a gombát, tehát szimbiózisban élnek egymással.

Négy morfortípust különböztethetünk meg a mikroszkopikus gombáknál:

1. **Fonalas gombák**: egy vagy több sejt alkotja, rövidebb illetve hosszabb fonalakat képeznek, melyeket hifáknak nevezünk. Felépítésük lehet osztatlan vagy válaszfalassal (pl. *Asco* és *Basidiomycetes*)
2. **Sarjadzó gombák**: Egysejtűek, alakjuk lehet gömb, ovális illetve kihegyezett. **Pszeudomicéliumot** képeznek, ami a sarjadzás után az anyasejttel együtt maradt leánysejtek képlete.
3. **Dimorf gombák**: Alakjuk a hőmérséklet függvényében változik. 26 fokon fonalas formájúak, míg 37 fokon sarjadzó formájúak vagy parazita alakúak.
4. Vannak bizonyos gombák, melyek amőbaszerűen mozognak és táplálkoznak. Ezeknek plazmaik sejtmagban gazdagok.

25.2.3. Életmód

A gombák általában korhadéklakók, azaz **szaprofiták**. Ez azt jelenti, hogy elhalt, szerves anyagokon telepsznek meg és ezeket bontják. Vannak azonban parazita gombák is, amelyek élő organizmusok (pl. gyökérrontó tapló). Ezek általában a növényeket támadják. A szilvatapló minden idős szilvafát megtámad, ám a fa termését egyáltalán nem befolyásolja.

A **mikorizás** gombák fákkal és más növényekkel élnek szimbiózisban. Behálózák a partnernövényt a gombafonalaikkal és tápanyagcserét tesznek lehetővé. A mikorizás

gombákkal együtt élő fák bizonyítottan erősebbek és egészségesebbek, mint a többi fa. Ezek a gombák azonban nagyon könnyen elpusztulnak, mivel rendkívül érzékenyek környezetükre.

25.2.4. Szaporodás

A gombák a talajban élő organizmusok termőtestei. A gombaszövedék megnyúlt sejtekből, azaz **hifákból** áll. Ezek **spórákból** hajtanak ki, majd egyesülnek egy ellentétes ivarú spóra hifájával. A keletkező szövedék a **micélium**. A micélium nagyon hosszú és sokáig él. Jó körülmények között a gombaszövedék termőtestet nevel. A gombafonalak sűrű gomolyagokká, elsődleges hifákká alakulnak. Ez a termőtest, a gomba alapja. Ezek a fejlődés folyamán differenciálódnak és kialakul belőlük a kalap, lemezek, tönk. A lemezek külső részét, a csöves termőrétegű gombák csöveinek belső felét, a csészegombák fénylő rétegét és az áltriflák belsejét összetett sejtek, azaz termőréteg veszi körül. Ezen belül fejlődnek ki a spórák. Miután beértek, leválnak és a széllel terjednek. Kicsíráznak és új micéliumot képeznek.

25.2.5. Táplálkozás

Szaprotrof: Ezek holt szerves anyaggal táplálkoznak, a lignint kizárólag ők tudják lebontani. Nagy jelentőséggel bírnak, az emberre gyakran kedvezőtlen hatást gyakorolnak. Az ételeket ehetetlenné teszik vagy megfertőzik. Az ilyen gombák jelenlétére utalhatnak a penészes ételek, rothadó gyümölcsök. Vannak azonban kifejezetten hasznos szaprotrof gombák is, mint például a nemes penész, illetve vannak olyan élelmiszerek, amelyeket mi, emberek nem tudnánk elkészíteni a gombák nélkül (pl. kefir, sör).

Paraziták: Olyan élősködő gombák, melyek élő szervezeten, illetve szervezetben élnek. Általában növényeket károsítanak. Ilyen például a lisztharmatgomba is.

Mutualizmus: A szó maga mindkét populáció számára előnyös kölcsönhatást jelent. Kölcsönösségnek is fordíthatjuk. Ide kapcsolódó egyedi szimbiózis a **mikorrhiza**. Ez szoros élettani kapcsolatot jelent a gombafonalak szövedéke, a micélium és a növények gyökérzete között. A gyökérsejtek közé benövő gombafonalak magukra vállalják a vízfelvétel feladatát, mivel a micélium jóval nagyobb vízfelvevő területet jelent. Ezért cserébe a növény kész tápanyagokat ad a gombának. Két formáját ismerjük, az **ektotróf** és az **endotróf**. Az ektotróf a fenyőfélékre, a lombos fákra jellemző, míg az endotrófnál a növényi gyökér sejtjeibe épülnek be a gombafonalak és hólyagszerűen kiszélesednek, a fonál és a növényi sejtek között pedig nagy felületek keletkeznek. A mutualizmusnak evolúcióbeli jelentőségét először Konsztatyin Merezkovszkij (1855-1921) orosz kutató vizsgálta. Szerinte néhány sejtalkotó megjelenése és létezése a szimbiogenezis útján történő fejlődés eredménye. Az elmélet vizsgálatát Ivan Wallin (1883-1969) amerikai kutató folytatta. Az elméletet legpontosabban Lynn Margulis (1938 –) fejtette ki 1967-ben.

25.2.6. Hifák

A **hifák** csöves szerkezetűek, kemény kitines fallal rendelkeznek. Több csoportjuk ismert:

1. **Alaphifa:** Eredeti alakját megtartja, fala nincs megvastagodva.
2. **Rosthifa:** Az alaphifából jön létre, fala vastag.
3. **Edényhifa:** Csőszerű fonál tágas üreggel.

4. **Tapadó vagy kapaszkodóhifa:** Parazita és szaprofita fajok tenyésztését rögzíti a táplálóközegben, illetve a gazdanövényen. Fakultatív parazitáknál behatol az epidermisz sejtjeibe és rögzíti a micéliumot. (Micélium: a gombafonalak összessége, szövédéke)

25.2.7. Micélium

Cönotikus micélium: Sok sejtmagvú egysejtű, lehet elágazó vagy nem elágazó.

Táptalajmicélium vagy **vegetatív micélium:** Vegetatív szerepet játszik a táptalajba mélyedve. Nem szaporodik, csak nő.

Légmicélium: A szaporítóképletek kifejlődésének helye.

Primer micélium: A spórából fejlődik, nem tagolt, lehet soksejtű is. A fő és oldalhifák vattaszerű szövédéket hoznak létre. Haploid és konídiumokat termel.

Szekunder micélium: Két primer micélium találkozáskor keletkezik. Termőtestet fejleszt és erősen tagolt, dikariont tartalmaz.

Tercier micélium: a másodlagos micélium képlete.

Plectenhyma: A hifanyalábok által jön létre, amelyek több oldalra növekednek.

Szklerócium: Kitartó képlet, mely áll egy külső, kemény kéregből és egy belső, laza állományú bélből.

Micéliumnyaláb: Megnyúlt hifa, párhuzamosan fut és csúcsosan növekszik.

25.3. Algák

Olyan élőlénycsoport, amely prokarióta és eukarióta divíziót foglal magába. A *Cryptogamia* taxonba soroljuk őket, ahová olyan élőlények tartoznak, melyeknek nincs termésük és viráguk, mint például a gombák, mohák és páfrányok. Az algák nem alkotnak önálló rendszertani egységet. Van den Hoek így fogalmazta meg az algák definícióját: "Az algák olyan változatos testfelépítésű fotoszintetikus növények, melyeknek nincs gyökerük, levelük, szöveteik, egyesek nem fotoszintetizálnak, de nagyon hasonlítanak a fotoszintetizáló formákhoz". Ivaros szaporodás is előfordulhat náluk, ám az néhány pontban különbözik más zöld növényekétől.

1. Az eukarióta algáknál az algasejt lehet a gaméta.
2. A prokarióta algák kis részénél a gaméták gametangiumban jönnek létre.
3. Más részüknél a gametangium soksejtű, minden egyes gametangialis sejt fertilitássé válik és gamétákat hoz létre.

Az algák a növényvilág legváltozatosabb élőlényei. A legegyszerűbb felépítésűek, a baktériumokkal állnak igen közeli rokonságban. Ezért is hívják a kékalgákat cianobaktériumoknak. A legbonyolultabbak a hínárokhoz hasonlatosak. Többségük fotoszintetizál, ezért a vízben zajló oxigéntermelésben nagy szerepet kapnak. Édes és sós vizekben, jégfelületen, hőforrásokban, sziklák legfelső rétegén, talajban egyaránt

megtalálhatjuk őket. Egy részük képes mozogni és táplálkozása is állati eredetű, ezért joggal mondhatjuk, hogy objektuma a zoológiai kutatásoknak.

25.3.1. Elterjedése

Az algák **ubikvisták** (mindenhol előfordulók), ami annyit tesz, hogy akár a sivatagi sziklákon, vagy a hó-jég felszínén is megtalálhatóak. Alapvetően az algák vízi szervezetek, egyaránt jól szaporodnak a kis halobitású édesvizekben és a tengerekben. Vannak olyan fajok is, melyek a kontinentális sós vizekben találhatóak meg és meglehetősen toleránsak a sókoncentrációval szemben. Az algák lehetnek a plankton, a benton vagy a neuston tagjai. Közismertek a nedves fa, kő és földfelületen élő zöld réteget alkotó algák. A talajban élő algákról sajnos nagyon kevés információ áll rendelkezésünkre, pedig jelentőségük nem éppen elhanyagolható. Számos kékalga a talajban lejátszódó N-kötésben egyértelműen közreműködik. Ezek és más különböző fajok igen fontos szerepet játszanak a talaj termékenységének, szemcseszerkezetének és szerves anyag tartalmának biztosításában.

Az algák sivatagos területeken és sziklákon egyaránt előfordulhatnak. Ezzel foglalkozik a világhírű, magyar származású kutató, Friedmann. Véleménye szerint megkülönböztethetünk **endedafikus** (talajban élő), **epidafikus** (talaj felszínén élő), **hipolitikus** (talajba ágyazott kövek mélyebben lévő részein élő), **kazmolitikus** (sziklarepedésekben élő) és **endolitikus** (sziklák néhány cm-es mélységű rétegeiben élő) algákat. Vannak azonban olyan algák is, amelyek **endozoikus** módon élnek, ami azt jelenti, hogy különböző puhatestűekben és gyűrűsférgekben élnek. Ilyen például a Hydra, amely puhatestűek és édesvízi szivacsok testében él. A *Cholorochyum* zöldalga a mohákkal él szimbiózisban. Vannak olyan algák is, amelyek parazita életmódot folytatnak, nyitvatermők levelein és gyümölcssein élőködnek. Hihetetlen, de az Antarktiszon is élnek algák, mégpedig fél cm-es mélységben a sziklák alatt, melyek képesek a fotoszintetizálásra is. Növekedésük lassú, életük hosszú, akár 10 ezer évig is élhetnek. Ezzel ellentétben 50-73 Celsius fokos hőforrásokban is találkozhatunk algákkal, melyek zömében kékalgák. Találtak már atomeróművek hűtővizében is kékalgákat.

25.3.2. Eukarióta alga törzsek sejtfelépítése

Sejtfelépítésük változatos, lehetnek ősi ostoros állatok sejtjeihez hasonlóak vagy akár növényi sejt szerkezetű formák is. Az ősi ostoros sejtfelépítés a magasabb fejlettségű moszatok egyedfejlődési ciklusában, az ivartalan és ivaros szaporítósejtekben megismétlődik.

Az állati és növényi sejteket is vékony hártya veszi körbe, amit sejthártyának, plazmahártyának vagy membránnak nevezünk. A növényi sejtet körülvevő sejtterméket pedig sejtfalnak hívjuk. A sejthártya három rétegből áll, minden rétege 25 Å vastagságú, a középső világos, a két szélső sötét színű. A világos réteg lipoidmolekulákból épül fel, a két sötétebb pedig fehérjemolekulákból. A sejthártya az élővilágban általánosan elterjedt szerkezeti elem. Nem csak a sejtek felületét borítja, hanem a sejtszervecskéket is bevonja. Ezért nevezzük egységshártyának.

Az ostorosmoszatok vegetatív sejtjeinek, és az eukarióta algák **zoospóráinak** és **gamétáinak** felszínét nem borítja a növényi sejtekre jellemző szilárd sejtfal, ezek **protoplasztja** csupasz és egy **periplazmatikus membrán** határolja el a külvilágtól. A **pellikula** szubmikroszkopikus szerkezetében a membránra jellemző felépítés, két sötétebb fehérjetermészetű réteg között egy világosabb lipoidtartalmú réteg mutatható ki. A pellikula rugalmasságát növelik az alatta található összehúzódásra is képes szerkezeti elemek. Egyes ostorosmoszatok sejtjeiben a pellikula alatt a külvilággal finom csatornácskákkal közlekedő gömbölyded kiválasztó üregeket mutattak ki.

A **barázdásmoszatok** sejtjeiben a citoplazma felső rétegében **trichociszták** találhatóak. Ezek bizonyos ingerhatásra hosszú, vékony fonalakat képesek kilövellni a pellikula pórusain keresztül a környezetükbe.

A **sárgásmoszatok** sejtfelületét egyedülálló ultraszerkezetű kovapikkelyekből felépülő páncél fedi. Több ostorosmoszat és sárgásmoszat pellikulával fedett sejtjei egyedi alakú és szerkezetű házacskáiban élnek.

A **kovamoszatok** kovavázát felépítő fedőrések egy egyszerű átlukasztott lemezből vagy két belső és külső lemezből épülnek fel, amelyeket függőleges lemezek kötnek össze. A lemezpórusok nyitottak, illetve vékony porózus kovahártyával fedettek.

A magasabb fejlettségű **zöldmoszatok** sejtjeit a háromrétegű felületi plazmahártyán kívül még egy mikrofibrilláris felépítésű szilárd sejtfa is burkolja. Ebbe a sejtfaalba egyes fajoknál kalcium vagy magnézium karbonát rakódhat le. A poliszacharidokból álló **mikrofibrillák** egy szerkezet nélküli, amorf alapanyagban vannak különböző módon elhelyezkedve. Több eukarióta és cönobiumalkotó zöldalgafaj sejtjeinek falában a cellulóz mikrofibrillákból álló réteget kívülről polimerizált karotinoid réteg burkolja.

A **barnamoszatok** sejtfalának külső rétegében a cellulózból, laminarinból és alginsavakból kialakult mikrofibrillák hálózatos, a belső rétegben párhuzamos elrendeződést mutatnak.

A **vörösalgákon** végzett kutatások a polimannóz mikrofibrillák hálózatos elrendeződését mutatták ki.

A **citoplazma-mátrix**: A sejtthártya által körbezárt üregben helyezkednek el a sejtszervecskék (sejtmag, mitokondriumok, endoplazmás retikulum, Golgi-apparátus, citocentrum, lizoszómák, plasztiszok és egyéb szerkezeti elemek) meghatározott szerkezetű, félfolyékony alapállományba, a citoplazmába beágyazva. A citoplazma-mátrixot rostos vagy struktúrfehérjék és gömb formájú fehérjék építik fel. A citoplazma kontinuitását a többsejtű moszatokban a sejtfaiban kialakult csatornácskákon keresztül átmenő finom plazmafonalak, plazmahidak vagy plazmodezmák biztosítják. A magasabb szervezetségű **barnaalgákban** a plazmodezmák a sejtfa vékonyabb pontjainál csoportosan alakulnak ki, rostalemezeket alkotva. A pórusok száma és méretei változóak.

27. táblázat: A rostalemezek szerkezete a Laminariaceae családba tartozó barnamoszatok rostacsöveiben (Forrás: H. Ziegler)

Pórusok száma a rostalemezben	Laminaria 20-30 ezer	Pelagophycus 1000-2000	Macrocystis 100-200
Pórusok átmérője	0,06 mikrométer	0,3-0,65 mikrométer	2-3 mikrométer

A **vörösmoszatok** plazmodezmái komplex felépítésűek, szinapszist alkotnak, és a szomszédos sejtek plazmalemmáikhoz kapcsolódnak.

Az **endoplazmás retikulum és a riboszómák**: Az egysejtű algák sejtjeiben kimutatható az endoplazmás retikulumnak nevezett csövecskék és hólyagocskák összefüggő rendszere. Fala ugyanolyan membránszerkezetű, mint a sejtthártyáé. Az endoplazmás retikulum membránjának külső felszínén nagyszámú testecske foglal helyet. Ezeket riboszómáknak nevezzük. A moszatoknál is kimutatható olyan csőhálózat, melynek külső felületére nem tapad riboszóma. Ezt sima felszínű endoplazmás retikulumnak nevezzük. A riboszómák ribonukleinsavat, bázikus természetű fehérjéket és kis molekulásúlyú bázisokat tartalmazó

100-300 A átmérőjű részecskék, amelyek aggregátumokba tömörülve fontos szerepet töltenek be a fehérjeszintézisben. A riboszómákban szintetizált fehérje a durva felszínű endoplazmás retikulum csőhálózatán keresztül jut be a sejt alkatrészeibe.

A plasztiszok: Az algacsoport (más-más autotróf thallophyta telepes növényekből összeötvözött algophyták) egyik közös jellemzője a fotoszintézis sejt szervecskéinek, a **kromatofóráknak** a jelenléte és működése a sejtjeikben. Az algák kromatofóriái jellemzően egyes nagy fejlődési csoportokat is. A zöldmoszatokra a zöld kloroplasztiszok jellemzőek. A *Chromophyták* sejtjeiben **feoplasztiszok**, a vörösmoszatokban pedig **rodoplasztiszok** vannak, melyek jellemző képviselői a kromatofóráknak. A kromatofóránál három nagy fejlődési irányzatot különböztetünk meg az eukarióta moszatok keretein belül. A kromatofórák felületét burkoló kettős hártýából álló perisztrómiunon belül a mátrixnak nevezett sztrómaplazmában párhuzamosan elhelyezkedő lemezszerű képződmény van jelen.

A pirenoidok a kromatofórákhoz kapcsolódó sajátos képződmények, amelyek a növényvilágban csak az eukarióta algák és mohák sejtjeiben találhatók meg. Szerepük a tartalék anyagok képződésében és tárolásában igen nagy. Alakjuk, helyzetük és szerkezetük jellemző megkülönböztető jelleg a fajok rendszerezésében.

A szemfolt az ostorosmoszatok vegetatív sejtjeiben, a moszatok zoospóráiban és gamétáiban található. Narancsvörös színű képződmény, amit másnéven **sztigmának** nevezünk. A citoplazmában vagy a kromatofóra felületén helyezkedik el, amit változó számú szubmikroszkópos méretű gömböcskék alkotnak.

Az ostorosmoszatok, zoospórák, gaméták és anterozoidok aktív helyváltoztató mozgást végeznek ostoraik segítségével, amelyeket másképpen flagellumnak hívunk. Az ostorok hossza, száma, külső morfológiai felépítése igencsak változó, belső felépítésük pedig az eukariótákhoz hasonló. Az ostor sejtén kívüli részében a háromrétegű hártýa, a plazmalemma és a pellikula folytatása 11 csőszerű mikrofibrillát burkol be, amelyek közül kettő áll a központban, 9 pedig a felületi részben. A sejtben belül egy rövid, henger alakú, 3 központi és 9 periferikus mikrotubulusból felépülő bazális testben folytatódik az ostor gyökerecskéjéig. A 9 kerületi fibrilla képes az összehúzódásra.

A mikrotubulusok részt vesznek a sejt belső vázának kialakításában. Elősegítik a sejtben belüli transzportot, a sejtszervek és kromoszómák mozgását. Ezen kívül részt vesznek még az ostorok szerkezeti felépítésében, a sejtosztódás és növekedés folyamatában, és a centroszóma kialakításában. Átmérőjük 23-27 nm közötti.

Centroszóma: A magasabb fejlettségű algák sejtjeiben a sejtmagban vagy mellette élesen körülhatárolt plazmamezőből finom, sugarasan elhelyezkedő fonalak indulnak ki, amiket centroszómának vagy citocentrumnak nevezünk. Fontos szerepe van az ostorok mozgásában és a kromoszómák vándorlásában.

A sejtmag nagysága, alakja és helyzete az algáknál a sejtek kora és mérete alapján változik. Az algasejtek egymagvúak, kivétel a polienergidas sejtű rendszertani csoportok. A sejtmag külső részét maghártýa fedi. A maghártýa kettős hártýa. Külső lemeze közvetlen kapcsolatban van az endoplazmás hálózattal.

A magplazma protidekben és nukleinsavakban gazdag kolloid természetű folyadék.

A mitokondriumok az algákban általánosan előforduló sejtszervecskék, kivétel a kéalgák. Felületüket kettős sejthártya burkolja. A belső hártya csörszerű. A mitokondriumok számos légzőenzimet tartalmaznak, melyeknek egy része a mátrixban, másik része pedig a mitokondrium sejthártyáiban található meg.

A diktioszóma egymás fölé rétegezett, erősen lapított hólyagokból álló sejtszervecske. Az algasejtek diktioszómái polárisak, homorú felületük ciszternákat hoz létre, a domború résznek pedig kiválasztó szerepük van.

A citoszómák a sejtekben található 0,5-1 mikrométeres átmérőjű hólyagocskák, amelyeknek szemcsés szerkezetű, fehérjetartalmú alapállományát egyszerű hártya határolja. A citoszómákat más néven **szferoszómáknak** nevezzük. Fontos zsírképző szerepük van, ezenkívül tartalmazzák a liposzintézishez szükséges enzimeket.

A peroxiszómák szemcsés kinézetűek, alapállományukat sejthártya veszi körül, különböző enzimeket tartalmaznak, melyeknek fontos szerepük van a sejtlegzésben.

A vakuólum: Számos vízben élő zöldmoszat sejtjeinek citoplazmájában különböző alakú és nagyságú üregek láthatóak, amelyeket a **tonoplasztnak** nevezett sejthártya határol el a hialoplazmától. Ezeket a hólyagocskákat nevezzük vakuólumnak. A vakuólum belsejét kitöltő folyadék a sejtnedv, amelynek vizében többféle szerves és szervetlen vegyület van feloldva vagy diszpergálva.

25.3.3. Tudományos kutatások

Az algákkal vízbontás révén nagy mennyiségű hidrogént tudunk előállítani. Ilyen kutatásokkal találkozhatunk a Szegedi Biológiai Központban is. Ahhoz azonban, hogy hidrogént tudjunk előállítani, az algákat folyamatos fotoszintézisre kell kényszeríteni. Németországban már létrejött egy fotoszintetizációs nagyüzem, melyben kb. 2000 köbméternyi algát keringtetnek a vízben csöveken keresztül. Így minden sejt képes fényhez jutni. A hidrogént az algák melléktermékként hozzák csak létre, ezért a hidrogéntermelést gensebészeti úton növelik meg.

Az algák számos országban a táplálék fontos részét képezik már napjainkban is. Japánban például, nem hiányozhatnak az étlapokról. Azonban a fejlődő országban a lakosok számának túlnövekedése, vagy a talajváltozások következtében folyamatosan fenyeget az éhínség veszélye. Az algákban egy olyan potenciális erő rejlik, mely legyőzheti az alultápláltságot. Igen hatékony fotoszintézisük által olyan óriási biotápértéket képeznek, mely akár tízszerese is lehet a kontinentális haszonnövényekének. Magas és igen sokoldalú tápértékük miatt napjainkban az algák egyre fontosabb és hatásosabb részei táplálkozásunknak.

Kutatóintézetek, melyek az algákkal foglalkoznak:

- PTE Biológiai Intézet
- Magyar Algológiai Társaság
- Innovum Kft.
- Cyanosite
- Balatoni Limnológiai Kutató Intézet stb...

25.3.4. Felhasználásuk

Az algák között kiemelkedően fontos szerepe van a smaragdzöld, illetve a kékeszöld algának. Mindkettőnek rendkívül előnyös az összetétele. Szárazanyag tartalmuknak 40-60 %-a kismolekulájú, így egész könnyen lehet emésztteni. Mivel teljes értékű fehérjék, ezért a vegetáriánusok is fogyasztják. Az algák kiemelkedőek ásványi anyag és nyomelem tartalmukban, ezért ipari méretekben vonják ki belőlük a mangánt, brómot, jódot. A algáknak főként a kálium és jódtartalma magas, így előnyös a vízajtót szedőknek a fogyasztása. Természetes jódtartalmuknak köszönhetően normalizálják a csökkent pajzsmirigyműködést. Található benne vas is, így vashiány pótlására is alkalmas. Mindkét algaféle tartalmazza az összes B, C, és E vitamint. Ezen kívül természetes linolénsav és az A vitamin-forrást jelent. Nukleinsavak és klorofill is megtalálható benne. A klorofill remek regeneráló, illetve dezodoráló szer. Számos vizsgálatot kezdett az USA, Anglia, Japán, Franciaország az algák hatásainak tisztázása érdekében. A vizsgálatok bizonyították, hogy az alga segít a vírusfertőzések legyőzésében (pl. herpeszvírus, influenza- A vírus). További kutatások folynak a HIV1 vírus elleni harcban. Indiában nemrég több betegen vizsgálták az alga hatását a száj nyálkahártyájának rosszindulatú megbetegedésének kezelésében, illetve megelőzésében. Itt is bebizonyosodott, hogy az algát felépítő anyagok kedvező hatással bírnak az immunrendszerre és megkötik a szabadgyököket. Az orvostudomány egyre gyakrabban használja daganatos betegségek kiegészítő kezeléseként.

25.4. Zuzmók

A zuzmók egyedi élőlények, főként keletkezésüket tekintve, mivel gombák és moszatok szoros együttélése révén fejlődnek ki. Az együttélés mind a két fél számára előnyös és hasznos. A gomba vizet és tápanyagot ad a moszatnak, a moszat ezt szerves anyaggal „hálálja meg”. Alkotóiktól eltérően azonban teljesen más morfológiai, fiziológiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Körülbelül 20 000 fajuk ismert.

25.4.1. Élőhely, életkörülmények

A zuzmók bárhol képesek megélni, sziklákon, korhadó vagy élő fák kérgén, sőt még a tundrán is. Főként a levegő szennyezettségére érzékenyek. A zuzmótelepeken általában **tömlősgombák** és **cianobaktériumok** élnek együtt. A gombafonalak egy része a moszatsejteket veszi körbe, ez alkotja a zuzmó testét. A fonalak másik része a talajba hatol és rögzíti a telepet. A zuzmó a vizet és az ásványi tápanyagokat egész felületén keresztül képes felvenni. A szélsőséges élőhelyeken (sivatagok, sziklák) a gomba nyújt védelmet a moszatnak.

25.4.2. Szaporodás

A zuzmók egyik alkotói, a moszatok csak vegetatív módon szaporodnak. A gombák **termőtesteket** és **meiospórákat** alkotnak, amelyeknek az új telep kialakításához találkozniuk kell az algapartnerrel. **Apotéciumaik** (a tömlősgombák csészeszerűen nyitott termőteste) egyes nemzetségekben kiemelkedő bokor, csésze... alakú telepeken, annak részein, vagyis **podéciumokon** képződnek. A szoráliumokban változatos alakú képződmények jönnek létre, a kéreg fészakadásával szabaddá váló lisztszerű szorédium, ahol aztán együtt erjed a két partner. Az **izidiumok** (telep felszínén létrejött változatos alakú kitüremkedések) szintén a szél segítségével a telepet terjesztik.

25.4.3. Rendszerezés

A lichenológia (zuzmókkal foglalkozó tudományág) a zuzmókat nem jelöli külön törzsként, hanem a gombák közé helyezi. Indoklásul a lichenizáció fokozataiban és a szimbiózisban megjelenő változatosságokat helyezi előre. Ismeretes olyan gomba és moszatfaj is, melyek egyazon az élőhelyen megtalálhatóak lichenizált és szabadon élő formában is. Ezen kívül egy-egy gombafaj más cianobaktérium és zöldmoszatfajokkal más- más morfológiájú zuzmótelepeket képez. Emiatt a cianobaktériumokat és az egysejtű zöldmoszatokat a zuzmókon belül nagyon nehéz feladat meghatározni, de a gomba-résztől könnyen be lehet sorolni a megfelelő rendszertani kategóriába.

25.4.4. Felhasználás

A természetben fontos szerepükön kívül, az emberek számára is többértéűen felhasználható a zuzmó. Ritka antibiotikumokat állítanak elő a zuzmóból, amit rezisztencia esetén alkalmaznak. Folyamatosan vizsgálják a zuzmók antitumor aktivitását. A zuzmóanyagokat felhasználják illatszer és festék gyártása során is. Nappali és éjszakai, hidratáló és fertőtlenítő krémeket, borotválkozás utáni arcszeszeket, lábhintőporok hatóanyagait készítik belőlük. A zuzmóanyagokat ma már mesterségesen is próbálják előállítani. Mesterséges tenyésztésük lassan a kutatások eredményeképpen megvalósul és elérhető lesz. Jelentőségüket növeli a környezetvédelemben, természetvédelemben, **biomonitorozásban** betöltött szerepe. A zuzmók általi **bioindikációnak** nagy a gyakorlati jelentősége. A felismerés Európa először iparosodott területein kezdődött és egyre több példa igazolja világszerte az óriási mértékű öltő környezetszennyezés folytán. Szintén a zuzmók bioindikátor tulajdonságára utal, hogy a levegőminőség javulása után a zuzmók visszatelepednek. A klímaváltozás hatására a zuzmók valószínűleg több helyen el fognak terjedni. Morfológiai-, élettani tulajdonságaik, valamint UV-szűrő anyagaik szélsőséges környezeti viszonyokkal szemben is ellenállóvá teszik őket.

25.4.5. Zuzmókutatás a világban és Magyarországon

A Nemzetközi Lichenológiai Szövetségnek megközelítőleg 500 tagja van. A zuzmókkal mintegy 500-1000 kutató foglalkozik a világon mindenfelé. Magyarországon ez nagyon kevés számot mutat, csak 4-5 fő tevékenykedik aktívan lichenológusként. Tóth Erika az Aggteleki Nemzeti Parkba került és hozzájárult a zuzmók védetté nyilvánításának folyamatához. Hajnal Henriett már hallgató korában részt vett az akkori osztrák zuzmótenyésztési kísérletekben. Molnár Katalin pedig vendégkutatóként dolgozik jelenleg is a világ lichenológiai területén neves és vezető molekuláris kutató laboratóriumában, a Duke Egyetemen (USA).

További információk: www.obki.hu

26. Mikro- és mezofauna (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

26.1. Egysejtűek állatköre – Protozoa

Az egysejtűek az élővilág legegyszerűbb szervezetű tagjai. Már a **kambrium** rétegeiből ismeretesek. Kicsi méretük ellenére fontos szerepük van az élővilágban. Nevükből adódóan testük egy sejtből áll, mely rendkívül sokoldalú, ez a sejt végzi el az összes életműködésüket. Lehet több sejtmagjuk is. Fajaik száma 20.000 körüli, mely nagy változatosságot mutat, sokuk csak mikroszkóppal láthatóak, testméretük változó 0,002 mm és 3 mm közötti. Valódi sejtfaluk nincs. Jól alkalmazkodnak a környezeti körülményekhez, eléggé ellenállóak, képesek extrém körülményeket is elviselni. Szabadon, nyirkos közegben, vízben élnek, vagy élősködnek valamilyen élőlény szervezetében. Jól elhatárolhatóak az élővilág többi tagjától, kicsi méretűek, de nagy jelentőségük van. A mozgásukat, valamint táplálékszerzésüket szolgáló szerveik igen bonyolult felépítésűek, szaporodásuk is komplikált. Sejtjük sokoldalúan differenciálódott. Külön szervszerű képződményeik vannak a helyváltoztatáshoz, a szaporodáshoz, a táplálkozáshoz, az ingerfelvételhez, valamint a kiválasztáshoz is. Sok sejtmagjuk lehet, de gyakran ezek funkciója azonos. Mennyiségük kapcsolatban van a talaj tulajdonságaival. Minél jobb a talaj minősége, annál több van belőlük és annál változatosabbak.

Az egysejtűek felépítése:

Az egysejtűeket öt törzsbe sorolhatjuk. Vannak egyféle magvúak, ide sorolhatóak a:

- ostorosok
- galléros ostorosok
- gyökérlábúak
- spórások

Valamint vannak kétféle magvúak:

- csillósok

Az ostorosok (*Flagellata* vagy *Mastigophora*) csoportjába változatos egyedek tartoznak. Jellegzetességük, hogy egy vagy több helyváltoztatást szolgáló ostoruk van. Számos képviselőik tengerekben élnek. A következő csoport a gyökérlábúak (*Rhizophoda*) képezik. Ide tartoznak az amőbák (*Amoeba*), a lyukacsoshéjúak (*Foraminifera*), a sugárállatkák (*Radiolaria*), és a napállatkák (*Heliozoa*). Ezen képviselők állabakkal mozognak. Táplálékukat bekebelezéssel szerzik meg. A spórások (*Sporozoa*) közé csak élősködők tartoznak. Spórákkal szaporodnak, valamint **metagenesis**-sel. Egyes spórások különböző háziállatok megbetegedéseit okozzák, valamint ismert képviselőjük a Plazmodiumok, ezek a malária okozói. Az ostorosok, a gyökérlábúak és a spórások szaporodásmódja megegyezik, **kopuláció** (összeolvadás). Utolsó törzsük legfőképpen a szaporodásukban tér el az eddig említettektől, valamint abban, hogy két sejtmagjuk van, egy kicsi és egy nagy. A csillósok (*Ciliata*) **konjugációval** szaporodnak, vagyis a kölcsönös megtermékenyítés akkor történik ha a sejtmagok kicserélődnek. Ők már nem ostorral, hanem csillókkal mozognak. Ismert képviselőjük a papucsállatka (*Paramecium*), a kürtállatka (*Stentor*), valamint a szívókások (*Suctorina*). Számos csoportjuk arról nevezetes, hogy szilárd héjuk, vagy házuk van.

A Protozoák táplálkozásuk szerint lehetnek:

- baktériumfalók
- ragadozók
- kannibalisták
- szaprofágok

A táplálkozásra szolgáló szervecskéik vannak, melyek elvégzik a táplálék felvételét, emésztését és kiürítését. Az állati módon táplálkozó **Protozoáknál** külön sejtszáj alakult ki. Egyes esetekben csillók is találhatóak a száj környékén, valamint pl. a szívókások szájníylását szívókák helyettesítik. A gazdaszervezetben lévő élősködőknek nincsenek táplálkozási szervecskéjük, mert a táplálék egyenesen a testükbe kerül. Az emésztésre is külön szervecske alakult ki, a táplálék az emésztő -üregecskében emésztődik meg. A felesleges folyadék kiürítésére lüktető -üregecskéik alakultak ki, amikor összehúzódnak akkor ürül ki a folyadék, majd ezek után a zsugorodott üregecskéik megtelnek újra folyadékkal. Így működik az egysejtűek anyagcseréje.

Az egysejtűek ingerfelvétele:

Az egysejtűek érzékelik az őket érő ingereket, pedig nincs idegrendszerük. A különböző ingereket a sejtestest szervecskéi veszik fel, így vezetődik az impulzus testükön keresztül. Akkor érik őket ingerek ha megváltozik a hőmérséklet, ha idegen tárgy érintkezik, vagy ha megváltoznak a fényviszonyok. Az ostorosok esetében az ostor az ingerfelvevő szerv. Inger hatására pl. a csillósok az aljzathoz simulnak, az amőbák behúzzák állábaikat és összegömbölyödnék, a gyökérlábúak nyálat választanak ki, mert védekezéssel reagálnak az ingerre. A vízben lévő vegyi anyagokat is ingerként érzékelik. Az egysejtűek plazmája fényérzékeny így fény hatására is reagálnak. A kürtállatkák és a papucsállatkák a mérsékelt fényviszonyokat kedvelik. Úgy reagálnak a fényingerre, hogy ellentétes irányba mozognak, azonban irányításuk és képlátásuk nincs.

Az egysejtűek szaporodása:

Nincs konkrét ivarsejtjük. Az ivartalan formák általában nagyobbak, mint az ivaros formák. Lehetnek hasonló felépítésűek, de valójában különböznek egymástól. Szaporodásuk sokféleképpen létrejöhet. Osztódással azaz ivartalanul, vagy ivaros módon. Ivartalan esetén azonos nagyságúra osztódott sejtek jönnek létre. Előfordulhat a nemzedékváltakozás (**metagenesis**), mely az ivaros és ivartalan osztódás váltakozását jelenti. Az ivaros osztódásnak a már említett két változata ismert a **konjugáció** és a **kopuláció**. Meg lehet különböztetni tehát a gaméták nemét is, a makrogaméták a női, a mikrogaméták a hím ivarsejtek.

Az egysejtűek mozgása:

A protozoák aktív helyváltoztatásra képesek. Ezt általában plazmaáramlással érik el valamit az állabakkal, csillókkal és ostorral. A plazma belső nyomás hatására a legkisebb ellenállás irányába áramlik. Az állabakkal történő helyváltoztatásnak két típusa van, a lépegető típus és az áramlási típus. Az állabak széles, lapos alakjának köszönhetően az állatkák szabadon lebeghetnek a vízben, valamint ezek segítségével gyors helyváltoztatás érhető el. Eltérő mozgástípus a spórák állatka mozgása, mert mozgásszervek nélküli siklómozgást végez. Az ostoros mozgásra példa a mindenki által ismert zöldszezes ostoros moszat. Ostorai rugalmas fonalak, melyekben fehérje szálak, fibrillumok vannak. A csillókban is ezekhez hasonló fehérje szálak találhatóak. Ostorból általában egy fordul elő az állat testén és hosszú, míg a csillóból sok van, és jóval rövidebbek.

Az egysejtűek ökológiája:

Lételemük a víz. De víz nélkül sem pusztulnak el minden esetben, mert **betokozódásra** is képesek, így a szél elszállíthatja őket távoli helyekre, ahol esőzések alkalmával életre kelhetnek. A magas hegységekben ismert jelenség a „véres hó”, melyet az ostorosok tömeges megjelenése okoz.

Nem homogén elterjedésűek, hanem gócpontok mentén élnek gyakran rothadó anyag és gyökerek közelében. Bár az egysejtű állatok képesek egy óra alatt 30 ezer baktériumot is fölfalni, bizonyították, hogy a nagyobb véglény-aktivitás nagyobb mikrobiológiai aktivitást eredményezett. A véglények egyszerűbb vegyületekké alakítják a bonyolult szerves anyagot, így elérhetővé teszik a magasabb rendű növények számára. Megállapították, hogy a baktériumokkal való együttélésük során nő a CO₂ mennyisége, holott csökken a baktériumok száma, de ezzel párhuzamosan nő a szaporodásuk üteme.

26.2. Fonálférgek- Nematoda

A Földön szinte mindenütt megtalálhatóak a talajban. Valamint a tengerektől a forrásokig, a víz minden formájában. Kedvelik a nedves talajt, de a homokban is előfordulnak. Közel 20.000 faja lehet. Ivarszervei igen egyszerűek. Két részre osztható a nőtény egyed petefészke (sziket és petét termel). A hímeknek párzó szervük van mely különböző osztályonként alkalmazkodott a változó környezeti viszonyokhoz. Mindenütt előfordulnak vízben, szárazföldön, sőt élősködőként a növények és állatok testében is. Gazdáik között találunk gerinceseket és gerincteleneket egyaránt. Nagy gazdasági és egészségügyi jelentősége van a parazita fonálférgeknek. Növényeknél kártékony tevékenységük figyelhető meg, pl. burgonya esetében. Az embernél-, és az állatoknál megbetegedések okozója lehet, pl. trichina. Alacsony fejlettségük az oka annak, hogy jól alkalmazkodnak a szélsőséges viszonyokhoz.

A testük hengeres, tagolatlan. Lehetnek helyváltoztatást szolgáló horgaik, sertéik, pikkelyeik. Bőrük felső rétege a kutikula, mely biztosítja testük állandó alakját, mechanikai védelmet, valamint szerepe van a mozgásukban is. Bőrük alatt csak hosszanti irányban elhelyezkedő **bőrizomtömlő** található. Ahol összehúzódnak az izmai a test arra fordul, mely kígyózó mozgást eredményez. Ebben a mozgásban a kutikula akkor kap szerepet, amikor az ellankadó izmokat eredeti hosszukra nyújtja. A szárazföldön a „támaszkodva mászás” kifejezéssel jellemezhető a mozgásuk. Ekkor megtámaszkodnak, majd maguk után húzzák testüket.

Testük elülső részén van a szájníylásuk. Ajkukon tapintást és szaglást szolgáló szemölcsöket lehet találni. Szájüregükben erős fogak vagy tüskék vannak. Garatjuk úgy működik, mint egy szivattyú. Baktériumokkal, szerves törmelékkel, növényekkel vagy kicsi állatokkal táplálkoznak. Az emésztés a középbélben történik, ezután következik a végbél, mely a szabadba torkollik. Végül a farok következik, mely módosulhat, párosodásra módosult segédszerv lehet (pl. párzó táská -*bursa copulatrix*). Kiválasztó szervük fejlett, ezzel szemben véréndszerszervük és légzőszervük nincs. Kétfélék lehetnek kiválasztásuk alapján, az egyszerűbb, rövid, **kutikulabélés** nélküli kivezető járattal rendelkezők, ezeket *Adenophorea* alosztályba soroljuk. Ezzel szemben a bonyolultabbaknak két kiválasztó csatornája van, őket a *Secernentea* alosztályba soroljuk.

Idegrendszerük egyszerű, melynek központja a **garatideggyűrű**. Érzőszemölcszeiken kívül kevés érzékszervük van. Néhány fajukon kicsi szemeket találunk, de ezek gyenge látást biztosítanak. A Nematodák **váltivarú** állatok. A nőtényeknek és a hímeknek is egy pár csőszerű ivarszervük volt. Ez változott a hímeknél az egyik here visszafejlődött, a nőtényeknek mindig két tömlőszerű petefészük van. Vízben általában azonos számban fordulnak elő a nemek, viszont talajban több a nőtény. Észrevették, hogy ezen nőtények képesek spermiumot is termelni, tehát **hímnősek**. A petékből kikelő egyedek hasonlítanak a szülőkhöz, növekedésük során négy vedlésen mennek keresztül. A nyugalmi állapot a

harmadik fejlődési stádiumban következik be, ekkor már képesek fertőzésre. (a kérődző állatok is ekkor fertőződnek meg). A gazdaváltás vérszívó rovarok útján is létrejöhet, így terjed pl. a *filária*.

Osztályozásuk táplálkozás szerint:

1. **Mindenevők**: legáltalánosabbak, főleg bomló szerves anyagokon élnek.
2. **Ragadozók**: más fonálférgekkel táplálkoznak.
3. **Paraziták**: a növényi gyökereket fertőzik meg. Cisztákat képeznek a gyökereken. Ha sikerült a növénybe bejutnia, más kórokozók is könnyen bejutnak
4. **Növényevők**
5. **Gombákat** fogyasztók,
6. **Baktériumokkal** táplálkoznak.

26.3. Ugróvillások-Collembola

Az ugróvillások nagyon kis ősovarok, potrohuk hat szelvényből áll. A potroh hasoldalán találjuk az ugróvillát (**furca**), amely nyeles nyúlvány és a végén két hosszú, villaága van. Ez csak kevés fajon csökevényes és még ritkábban hiányzik. Ha az ugróvilla erősen a talajhoz ütődik, az állat egész testével a magasba emelkedik így nagyokat tud ugrani, innen kapta a nevét. Ennek segítségével képesek vészhelyzet esetén támadóiktól elmenekülni rövid időn belül. Az ugrás irányát nem képesek befolyásolni, véletlenszerű irányba ugranak el. A harmadik lábpárnál találhatjuk a ventrális tubust, az első potrohszelvényen levő két lábcsonk összeolvadásából keletkezett nagy, csapszerű nyúlvány. Csúcsán található két hólyag, melyben vér található, valamint két vékonyfalú, hosszú cső. Ezek segítségével lélegzik az állat nyirkos, párás levegőben. Ezek tapadószervekként is szolgálnak, képesek bármilyen felületen megtapadni, amivel energiát takarítanak meg, azáltal, hogy nem mozdítják lábukat.

Az entotroph szájrészek, amelyeknek alakulása a *Diplurákra* hasonlít, több funkciót is ellát. Rágásra és szívásra is használja. Táplálékuk főleg lágy anyagokból áll, különböző korhadó anyagokból, olykor élő növényi részekből is. Nincsenek Malphigi-edényeik. A légzésük kizárólag bőrön keresztül történik, diffúzióval, tehát legtöbbjüknél hiányzik a trachearendszer. Szemük van, ez pontszem több oldalon, valamint gyakran középső homlók szemei is vannak. Emellett vannak más érzékszervei, egy pár csáp, mely érzékszőrökkel és szaglócsápokkal van tele. Néhány ugróvilláson van egy rendhagyó érzékszerv, amely a csápok mellett foglal helyet és egy csápmögötti, postantennális szervből áll. Feltételezhetően hallást szolgáló szervek lehetnek.

Ugróvillásokat a föld összes zónájából ismerünk. Villafarkúakat találtak az Arktis és Antarktis örökös hó- és jégmezőin is, rendkívüli módon elterjedtek. Mindenütt megtalálhatóak ahol egy minimális nedvesség is előfordul.

Vegyes táplálkozásúak. Elsősorban gombahifákat, növényi gyökereket, növényi részeket, avart, zuzmót, algát, baktériumokat, nematodát, más Collembolákat, vagy azok petéit fogyasztják.

Nagymértékben hozzájárulnak a humuszképződéshez. A talajban megesznek minden rothadó-korhadó anyagot. Jól jelzik a talaj öregedését is. A melege nagyon érzékenyek, viszont az alacsony hőmérsékletre nem, akár meg is fagyhatnak, azután ha felmelegszik a talaj, akkor aktívvá válnak ismét. Legfontosabb szerepük a gombafonalak elfogyasztásában rejlik, kevés biomasszát termelnek.

26.4. Atkák- Acari vagy Acarina

Az atkák a pókszabásúak fajokban leggazdagabb rendjét képviselik. Több, mint 10.000 fajuk ismert, de ez a szám folyamatosan növekszik. Vannak közöttük ragadozók, növényevők, hulladékfogyasztók, valamint élősködők is. Az atkák gyakran színtelenek, fehéresek, de akad közöttük élénk színű, tarka is, mely a kitinnek és bőrfestéknek köszönhető, a kutikulában lejátszódó interferencia jelenségek határozzák meg döntően. Földünk valamennyi területén megtalálhatóak rendkívül nagy számban, sok ezer méter magasban is élnek különböző fajaik. Mintegy 2800 fajuk él a vizekben, egészen 400 m mélységben is. Kis mennyiségű táplálék elég számukra, így ahol sok az élelem, ott nagy számban elszaporodnak. Szeretik a párás közeget. Átlagosan 0,5- 2 mm között van a testméretük, kicsi ízeltlábúak. Viszont néhány nőstény kullancs hatalmas, a 30 mm méretet is elérhetik. Testük szelvényezettsége testméretükből adódóan szinte elmosódott, szerveik is rendszertelenül helyezkednek el. Két pár lábuk van testük elülső részén, valamint hátul is, ezek megrövidültek. Előfordul egyes esetekben, hogy a lábaik a megszokott módon helyezkednek el, de azok megrövidültek, főként a gubacsatkákon figyelhető meg ez a módosulás. Életmódjukhoz alkalmazkodik a testük formája is. Mivel gyakran szűk résekben helyezkednek el, utótestük megnyúlt, és gyűrűs, a férgekéhez hasonlóan. De ez az alak nem általánosítható, mert vannak például gömb alakú atkák is(rühatka).

Lárvaikon csak három lábpár található. Lábaik a sajátos életmódjuknak megfelelően változatos. Néhány hímnek fogólába van, melyet párosodáskor használ, ezzel kapaszkodik meg a nőstényen. Karmok, tapadó lebenyek egészítik ki lábaikat. Minden atka mászással, járással változtatja meg a helyét. Táplálkozása igen változatos, mely sajátos szájrészeinek érdeme. Előtestük (proterosoma) két részből áll. Hátulsó szakasza a két elülső járólábat tartó szelvényből áll, a többi járólábat viselő szelvény a potrohhal olvadt egybe. A két páros szájrész a csápfogók és a tapogatólábak szelvényeiből áll, ezért **gnathoszómának** nevezik. Ez egy csőszerű, összenőtt és a végén nyitott száj előtti tér, melynek alját és oldalait a tapogatólábak ízei, testét pedig a homlokperem kettőzete alkotja. A felső ajak alatt található a szájniylás. A felső ajak feletti izületi hártya köti össze a csáprágókat. Főként a *Parasitiformes* és a *Trombidiformes* rendek között vannak húsevők, ragadozók. Legtöbbjük rovarlárvákra vadászik. A növényevők csáprágóikkal szívják ki a növények nedvét, ilyenek pl. a takácsatkák és a gubacsatkák. **Kommenzalistákként** élnek más állatokon a hulladékevő atkák. Gazdáik testének nem létfontosságú anyagait fogyasztják. Akadnak közöttük parazita fajok, melyek nyirokkal és bőrszövetekkel táplálkoznak vagy kifejezetten vért szívnak, mint a kullancs. A kullancs nyálának véralvadástgátló hatása is van, tehát elősegíti a vérzést. Hámszöveteket pusztít például a rühatka.

Lábaikkal ingereket érzékelnek. A hőmérsékletet érzékelő receptoraik a hátulsó lábaikon vannak. A vegyi anyagokat is érzékelik az elülső lábaik lábfejizének hegyén. Emellett még a tapintás játszik az érzékelésükben nagy szerepet. Egész testükön és végtagjukon érzőszőröket találunk, valamit elülső lábukat használják tapogatóként. Oldalt elhelyezkedő szemeik csekély látást biztosítanak csupán. Szaporodásuk is változatos. Egyesek szűznemzéssel szaporodnak, akadnak közöttük elevenszülők. De legtöbbjük tojásból kel ki, ezekből születnek a nyolclábú **nimfák**. Megközelítőleg 300 órát élnek és 50 utódot hoznak a világra. A petéket egyesével vagy kis halmokban rakják le. Hatlábú lárvák kelnek ki a petékből, melyek négy vedlésen mennek keresztül, míg kifejlett egyedekké válnak. Az atkák mintegy 10.000 faja 180 családra és 6 rendre tagolódik.

26.4.1. Parasitiformes vagy Gamasiformes alrendje

Erre a csoportra jellemző, hogy csak két légzőnyílásuk van, melyek a test két oldalán, esetleg hasi-, háti oldalon helyezkednek el.

26.4.2. Nyúgatkák osztága- Mesostigmata

A hátpáncél alatt helyezkednek el a légzőnyílásai. 39 család tartozik ebbe az osztágba. Rendszeresen szállítják magukat más rovarokkal. Érdekesség, hogy a *Parasitus fucorum* faj dongók fészkeiben él, és azok ürülékével táplálkozik. A *Laelaptidae* családban sok élősködő van. A külső élősködők közé tartoznak a *Laelaps* fajok, melyek főként kismamák fészkeiben élnek. A lárváik szabadon élnek, eleven kicsinyeket hoznak a világra. A hazai *Liponyssus* fajok csak a denevérek testén élősködnek máshol nem. Hazánkban a leggyakoribb madaratka a tyúkatka (*Dermanyssus gallinae*), mely leginkább tyúkok vérére szívja, de más madarakra is átkereshetnek, ugyanakkor az ember számára nem jelent veszélyt, de kellemetlen viszketést okozhatnak. A nőstények minden peterakás előtt vért szívnak, ez rendszerint négy nyolc alkalommal játszódik le. Belső élősködők a *Laelaptidae* családba tartozók, melyek a gerincesek légzőszerveiben találhatók meg. Előfordulhat, hogy kis mértékben károsítják a hajszálereket. Az *Antennophoridae* fajok rovarok között élnek és elszedik azok táplálékát.

26.4.3. Kullancsszabásúak osztága- Ixodoidea

Jellemzőjük, hogy járólábuk hozzánőtt a hasoldalhoz. **Haller-féle szerv** található az elülső lábaikon. A tapogatólábaik töveiknél összeolvadtak. Ez a csoport három családból áll. Az *Ixodidae* nőstények elérik a 3 cm-es nagyságot is ha tele szívják magukat, ezek a legnagyobb méretű egyedek. A hímeket kitinpajzs fedi, viszont a nőstények testét csak részben borítja kitin, ezért potrohuk tágulékony maradt. A kullancsok táplálkozásuk során a saját testsúlyuk kétszázszorosát képviselő vérmennyiséget is képesek felszívni, miközben csüngnek a gazdaállat testén. A melegebb éghajlatú övezetekben rengeteg betegség terjesztéséért ők a felelősek. Nemcsak az emberre veszélyesek, hanem az állatokra is főként a szarvasmarhát és a juhot támadja meg. A világszerte ismert 720 kullancsfajból körülbelül 20 él Magyarországon, amiből 2-3 faj veszélyes az emberre. Egyikük a közönséges kullancs, amely a magas páratartalmú helyeket kedveli. Ez hordozza a legtöbb kórokozót és ez fordul elő nálunk leggyakrabban. Az ember, szárazföldi emlősök, madarak, hüllők, esetleg kétélűek bőrén rögzülve, azok vérével táplálkoznak. A vérszívás során kórokozókat juttathatnak be a gazda vérkeringésébe. A kullancsok által terjesztett leggyakoribb betegségek az agyvelőgyulladás és a Lyme-kór. Az előbbi vírusát körülbelül minden ezredik kullancs hordozza, az utóbbi azonban akár az 50 százalékukban is megtalálható. Azok a kullancsok melyek vért szívnak kizárólag a nőstény egyedek. Fejlődésükhöz sok idő szükséges, egy-másfél év kell a teljes fejlettség eléréséhez.

26.4.4. Trombidiformes alrendje

Mintegy 75 családot foglal magába ez az alrend. Életmódjuk és alakjuk sokféleséget mutat. Járólábaik nem mozgathatóak. Légzőnyílásaik a **gnathoszóma** területén helyezkedik el. Középbélük vakon végződik, és rendkívül vékony. Végbélük és végbélnyílásuk hiányzik.

26.4.5. Tarsoneminik osztága- Tarsonemini

Légzőszerveik csak a nőstényeknek vannak, a hímeknek legfeljebb a stigmák maradványai láthatóak. Csáprágóik szuronyszerűek, és a tövüknél összenőttek. Négy család sorolható ide. A *Pyemotidae* család hasznos képviselője a *Pyemotes herfsi*. Hasznos állat, mert a ruhamolyok hernyóit fogyasztják. Táplálkozása során a nőstény egyed a kétszeresére dagad, valamint gömb alakúvá változik. Ezek az élőlények elevenszülők, tehát a fejlődés az anya testében megy végbe, amikor világra jön az utód máris szaporodásra kész. Közismert tagja még a családnak a *Siteroptes graminum*. A 0,2 mm-es nőstények felmetszik a növények felső rétegét a szuronyszerű csáprágóikkal, és kiszívják a nedvességüket. Ennek következtében a növény elfonnyad. Nagy kárt okozhat a 0,1-1,2 mm nagyságú méhatka (*Acarapis woodi*). A fiatal méhek utótestébe a fő trachea törzsekbe fúrják be magukat, akkor okoznak nagy kárt a gazdaállatban miután hosszan tartózkodnak ott, és az ürülékükkel eltömítik a tracheát.

26.4.6. Prostigmaták osztága- Prostigmata

Ezeknek az atkáknak légzőszerveik vannak a csáprágóik tövénél. 68 család sorolható ide. Kizárólag növényeken élnek a 0,25- 0,8 mm nagyságú zöldes, narancs vagy vöröses színű takácsatkák. Kiszívják a növények nedvét, ennek eredménye, hogy levelükön barnás foltok jönnek létre, végül elszáradnak. A levelek találkozásánál szövedéket feszítenek ki. Ez védi őket az esőtől, szélről. A levelekre rakják a petéiket, melyeket szintén szövedékükkel erősítenek oda. 0,3- 0,5 mm nagyságú a közismert közönséges takácsatka. Károkat okoz a kertekben, babon, uborkán, burgonyán tanyázik. Évszakoknak megfelelően változtat a színük, nyáron piszkos zöld, télen vöröses színű, ez a változatosság az elfogyasztott klorofill függvényében változik. A legnagyobb takácsatkák egyike a 0,8 mm hosszú *Bryobia praetiosa*. Főleg a ribizlifélékben okoz kárt. Jellemző rá, hogy hullámos a kutikulája. Ősszel elpusztulnak.

Különböző élelmiszerekben található a *Cheyletus eruditus*, a készletatkát pusztítja. Mérgével megbénítja áldozatát. Legtöbbjük a száraz helyeket kedvelik, de akadnak közöttük olyanok is, melyek a nedves, nyirkos helyeket szeretik, pl.: *Johnstoniana*. A család hazai képviselője a *Trombidium holosericeum*, azaz bíboratka. Szőrzete élénk skarlátvörös, innen származik a neve. Általában rovarok petéivel táplálkozik, ezért a talaj felső rétegeiben lelhető fel. 40 család sorolható a víziatkák közé, melyek édesvizekben élnek, de talajvizekben is megtalálhatóak. 2400 fajuk ismert. Hasonló a testalkatuk a szárazföldi társaikhoz, azonban testükről hiányzik a szőr és a tüskék. A lárváik teljes testfelületükön veszik fel az oxigént, vöröses vagy narancs színűek.

26.4.7. Rühatkaszabásúak alrendje- Sarcoptiformes

Erős páncél borítja testüket, némelyikükénél hiányzik a légzőnyílás is. Ollószerű csáprágóik vannak. Középbelük nagyobb mint más atkáknak.

26.4.8. Acaridia osztága

Könnyen meg lehet különböztetni a hím és a nőstény egyedeket, jellemző rájuk az ivari kétalakúság. 20 családjuk ismeretes. Zömök testalkat, fehéres, sárgás szín jellemzi a lisztatkákat. Tömegesen jelennek meg. Ha bekerülnek a lakásokba akkor a bútorokat, élelmiszereket támadják meg. Komoly betegségeket okozhatnak, viszketés, bélgyulladás, kötőhártya gyulladás és asztmatikus tünetek keletkezhetnek. A házi atka többnyire állatok körül az istállóban telepszik meg, de a lakásokban is elszaporodhatnak. Ismert fajuk a

sajtatka, egy négyzetcentiméternyi sajton átlagosan akár 100 állat is előfordulhat. Kizárólag gömb alakúak a rühatkák (*Sarcoptidae*). Ezek az állatok élősködők, az állandó testhőmérsékletű állatok és az ember bőrén tanyáznak. A bőr szöveteit károsítják csáprágóikkal, nem szívnak vért. Az emberi rühatka befúrja magát a bőr vékonyabb részeibe, ahol járatokat készít. Kellemetlen viszkető érzést okoz a fiatal egyedek rágása. Posztembrionális fejlődésen mennek keresztül, mely 17 nap alatt játszódik le. Az állatokon élősködők (nyulak, lovak, sertés), súlyosabb károkat okoznak. Súlyos gyulladások lépnek fel, valamint az állat szőre is kihullik. Az áldozatuk nagyon lefogy, és el is pusztulhat. A *Knemidocoptes mutans* nevű faj okozza a tyúkok meszeslábúságát. Említést érdemel még az *Otodectes cynotis* rühatka faj, mely a hallójáratokban él, kutyákat és macskákat támad meg.

26.4.9. Páncélosatkák osztága- Oribatei

Általában lágybőrűek, vagy a hátoldalukon található legfeljebb kitin. Nagy szerepet játszanak a humuszképződésben. Az elhalt, rothadó növényekkel táplálkoznak, de előfordul, hogy elpusztult kisállatok testét fogyasztják. Lassú mozgás jellemző rájuk.

26.4.10. Gubacsatkák alrendje- Tetrapodili

Testük sűrűn gyűrűzött, megnyúlt. Kis méretűek, a legnagyobb egyedük is csupán 3mm. Nincsenek kiválasztó-, keringési-, és légzőszerveik sem. Növényeken élősködnek. Nagy károkat nem okoznak a növényekben. Posztembrionális fejlődésen mennek keresztül, és két hét elég ahhoz, hogy új nemzedék jöjjön létre. Csak a nőtények maradnak életben, csak ők telelnek át, fák törzsének repedéseiben.

26.5. Medveállatkák- Tardigrada

A Taunus hegységből származnak. Csupán 3 mm vastag mohapárnában 52 medveállatka található. Három nembe sorolt, hat különböző nembe tartoznak. Helyváltoztatásuk igen lassú és nehézkes, nagyon hasonlít a medvékéhez s ezért kapták nevüket is. Testük jellegzetesen henger alakú, kissé lapos a hasoldaluk. Négy szelvényből, egy fejevégből állnak. Minden szelvényen egy pár ízeletlen csonkaláb található, melyen karom van. 150 m mélységtől a 6600 m-es magasságig mindenütt megtalálhatóak. Mintegy 600 fajuk ismert. Akkor szaporodnak, és akkor érzik jól magukat, ha nyirkos helyen vannak, mindegyik éghajlati övezetben megtalálhatóak. A legkevesebb számban a trópusokon élnek, a legtöbb fajuk a mérsékelt öveket kedvelik, de egészen az Északi sarktól a Déli sarkig megtalálhatóak, ezért nevezzük a medveállatokat bipoláris elterjedésű fajoknak. A beszáradt egyedek terjedésével jutnak el távoli területekre. Ezeket a szél és a víz szállítja, de rátapadnak más állatokra is. A mohapárna ahol megtalálhatóak nem nyújt védelmet, mert könnyen kiszáradhat, ezért ez a hely a számukra nem tartós. Ha a környezeti viszonyok nem megfelelőek, akkor jellegzetesen beszáradnak, áttérnek a lappangó élet állapotára és bődön vagy tonna alakot vesznek fel. Ezt az oxigénhiány miatt teszik. Akkor történik ha a vízhártya, mely az állatot borítja vékonyabb, mint a medveállatka átmérője. Ekkor következik be a „ beszáradás ”, elveszíti víztartalma nagy részét, és összezsugorodik. A lappangó élet hosszúsága igen változatos, különböző sok fajnál. A *Macrobiotus* 4 évi lappangás után 6 év múlva is életképes marad. Mások csak 2,5 évig képesek lappangó élete folytatni pl. az *Echinoscoides*, ezek csak 10 napig életképesek. Ilyen állapotban rendkívül ellenállóak, a hideggel és a meleggel szemben. Ha nedvesség éri őket, megduzzadnak, és újra mozognak kis idő elteltével. A kutikularéteg kitin helyett, könnyen duzzadó fehérjéből áll.

A rossz körülmények átvészelésének másik alternatívája a ciszta képződés. Ekkor elválik a bőr kutikulája, majd közöttük egy új kutikula képződik, mely ciszta falaként szolgál. Ez a megoldás kevésbé ellenálló, mint a beszáradás.

Többségük növényevő, a növényi nedveket erős garatizomzatuk segítségével szívják ki. Egyes fajok az elhullott fajtársaikat is elfogyasztják. Színüket, a sárgászöldes anyagot tartalmazó belükről kapják, de többségük szinte átlátszó. Itt is érvényesül, hogy a hímek kisebbek, mint a nőstények. A végbelükbe nyílnak az ivarvezetékeik kivezető járatai, külső megtermékenyítésűek. A fiatal utódok a kifejtettekhez hasonlítanak. A földrajzi viszonyoktól függ a méretük. Élettartamuk csupán valamennyivel több, mint egy év. Nekik sincsenek légző-, és keringési szerveik. Sok mindenben viszont különböznek az ízeltlábúaktól, nem különül el a fejük, ízetlen lábaik vannak, nincsenek tapogatóik, valamint nem kitin borítja testüket. Feltételezhető, hogy a ma vizekben élő fajok a szárazföldi medveállatkák leszármazottai.

27. Makro –és megafauna (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A talajfauna a szerves anyagokat szervesen anyagokká alakítja, szerepe van a humuszképződésben, az energia termelésben, valamint biztosítja a bioszféra anyagkörforgalmát és a mineralizációt. A talaj szerkezetét javítja, a giliszták például a járataikkal, így a talaj jól szellőző lesz. A vízmozgás feltételeit az ízeltlábúak valamint a talajlakó csigák optimalizálják. Pusztulásukkal pedig bontható szerves anyagokkal járulnak hozzá a talaj összetételéhez. A csigák mészvázukkal is gazdagítják a talaj összetételét.

A megafauna képviselői, a vakondok, a rágcsálók, és a hullók legfontosabb szerepe, hogy összekeverik a talajt, és járataikkal a vízvezetést alakítják. A rágcsálók, bár keverik a talajt, nagyobb mértékű elszaporodásuk a mezőszégi talajokon kárt okoz. A növények termését nagy mértékben pusztítják.

27.1. Földigiliszták – lumbricidae

Törzs:gyűrűsférgek/Annelida

Rend:kevéssertéjúk/Oligochaeta

A gyűrűsférgek/*annelida* törzsébe tartoznak, mely a férgek között a legfejlettebb. Nevük testük **szelvényezettségére** utal. A főtengely mentén barázdákkal jól láthatóan tagolódnak, szelvényekre osztja a gyűrűsférgek testét. Egyaránt beszélünk külső és belső/homonóm szelvényezettségről. A külső szelvényezettség változhat az izmok alakulásával. Kültakarójukat **kutikula** réteg fedi. A hámsejtek közötti mirigysejtek nyálkát termelnek, ez védi az állatot a kiszáradástól. Jól fejlett **bőrizomtömlőjük** a mozgásszervük, ami nem más, mint a hámréteg szoros összenövése a belső hosszirányú izomrostokkal.

A földigiliszták perisztaltikus mozgást (féregmozgást) végeznek, amelyet szelvényenként két pár serte segíti. Ez a féregmozgás a hosszanti- és a körkörös sima izomzat mozgásával történik. Körkörös izom összehúzódásánál a giliszta megnyúlik, és elvékonyodik a hosszanti izom összehúzódásánál pedig rövidebb és vastagabb lesz.

Az egész testfelületükkel lélegeznek, a légzési gázok diffúzióval cserélődnek. Fejlett, zárt véredényrendszerrel rendelkeznek, és piros vérük miatt rózsaszínes a testszínük. Szelvényenként ismétlődnek a kiválasztó szervek (**vesécskék**), és a páros idegdúcok, amelyek hasdúc-lánc-idegrendszer alkotnak. Mivel híműek (**hermafroditák**) minden egyedben megtalálhatók a hím- és a női ivarszervek is. Előfordulhat önmegtermékenyítés (parthenogenezis), bár nem egyszerre érnek be a hímivarsejtek és a peték. Általában a megtermékenyítés kölcsönös, de ivartalan szaporodás is előfordulhat (állatláncok, fragmentáció). A közhiedelemmel ellentétben a gilisztából nem lesz két darab, amikor ketté vágjuk. Ha ez a farkánál történik, egyszerűen újra növeszti, ha a fej és a nyereg között, akkor elpusztul.

Fontos szerepük van a talaj minőségének javításában, mivel gyakorlatilag megforgatják a talajt, összekeverik a szerves anyagokat az ásványi anyagokkal. A földben szabályosan átrágják magukat, ezzel lazítják a talajt, amivel hozzájárulnak a föld levegőztetéséhez, javítják a termőképességét. A bélcsatornájukon áthaladó föld finomra őrlik, miközben emésztőszerveik felszívják a szerves anyagokat. Humuszos talajjal, korhadó szerves anyagokkal táplálkoznak (**szaprofágok**), amelyek hiányában járataikba húznak leveleket, elpusztult rovarokat. Ilyen formán mondhatni magokat is ültetnek. A közönséges földigiliszta (*Lumbricus terrestris*) például a friss növényi részeket is elfogyasztja, amelyekért este merészkedik a felszínre. Ürülékük gumó szerű, nitrogént és foszfort tartalmaz, ami remek

táplálékul szolgál a növények számára. Évente akár testtömegük 30 szorosának megfelelő gilisztahumuszt képeznek, ami egy hektárra számítva 1,5 tonna biomassa.

27.2. Csigák - gastropoda

Törzs:puhatestűek/mollusca

Osztály:csigák/gastropoda

Rend:nyelelsszeműek/Stylommatophora

A második legnagyobb törzsbe, a puhatestűek törzsébe tartoznak, és valószínűleg ősi férgekől alakultak ki. A csigák osztályába tartozó fajok száma meghaladja a 110 ezret. Szelvényezett testükön jól láthatóan elkülönül a **fej** a **lábtól** és a **zsigerzacskótól**. A fejet és a lábat úgynevezett **köpeny** köti össze, ami a háti oldalon levő bőrredő. A köpenyt a mészvázból álló csigaház takarja, melyben megtalálható a zsigerzacskó, ami belső szervek zömét tartalmazza. A szervezet részaránytalaná vált a zsigerzacskó és a mészváz spirális felcsavarodásával. A csigaházuk általában jobbról bal felé csavarodik, de ismerünk olyan fajokat is, amelyek házaikat elhagyták (meztelen csigák). A köpenyüregbe torkollik a kiválasztószerv nyílása, az ivarvezetékek és a végbélnyílás. Gázcserére alkalmas a köpenyüreg dúsan erezett fala, ami betölti a légzőszerv szerepét (tüdő). A fejen két pár szem és tapogatók valamint a szájnílás található. Szájüregükben a puhatestűek jellegzetes szerve a **radula** (reszelőnyelv) segítségével képes felaprítani a táplálékot. Emésztőnedv termelő mirigyeik a nyálmirigyük és a középbéli mirigyük. Kiválasztásuk módosult vesécskékkel történik.

Dúcós idegrendszerük van, testtájankénti dúcokkal, melyeket hosszanti idegkötegek kötnek össze. Valamennyi idegdúcuk a nyelőcső körül összpontosult, melyek idegfonatokkal összekötve garatgyűrűt alkotnak. A csigák lehetnek váltivarúak vagy hímnősek is. A hermafroditák (hímnősek) esetében a spermiumok hamarabb beérnek, mint a petesejtjeik (**protendrikus hermafroditizmus**). Páráskor a csigák kicserélik egymással a hímvarsejteket, amelyeket az ondótárban tárolnak a pete beéréséig. Ritkább esetben önmegtermékenyítés is előfordulhat. Petéiket a földbe helyezik.

A szárazföldi csigák friss növényi részekkel táplálkoznak, és mivel hajlamosak a túlszaporodásra a kertekben gyakran kártevőknek tartják őket. Nyílt keringési rendszerük van. A vérnyirok **hemocianint** tartalmaz, ami réztartalmú fehérje. A légzési gázokat nem csak szállítja, de raktározni is képes. Kék színű, ezért a testfolyadékuk is kék.

A csiga **exokrin** mirigye a szájnílás alatt váladékot termel, amin a csiga könnyedén csúszik. Száradás után jól látható nyomot hagy. A csigák nedvességkedvelő állatok és kerülnek a fényt, ezért általában éjszaka, illetve csapadékos időben kerülnek elő táplálékot keresni. Mindenevők, főleg tavasszal és ősszel végeznek nagy pusztításokat a növényzetben. Mivel hermafroditák minden egyed képes petéket rakni a föld üregeibe, ez novembertől februárig történik. Fajtól és élettartamtól függően akár 50-600 petét is képesek lerakni. Áttelelésük a talajban történik. Egyes fajoknál petéikkel, másoknál kis csigákkal vagy kifejlett egyedekkel. 1-3 évig élnek. Csigatojásuk apró, néhány mm, amelyet mészkristályokat tartalmazó mészhéj véd. A csigáknak számos, természetes ellensége van. Kacsák, vakondok, madarak, sündisznók, cickányok, lábatlan gyíkok. A csigák petéit és lárváit a legtöbb futrinkafaj előszeretettel fogyasztja.

27.3. Bogarak - Coleoptera

Törzs: Ízeltlábúak/Arthropoda

Osztály: Fedelesszárnyú rovarok/Coleopteroidea

Rend: Bogarak/Coleoptera

A bogarak rendje nemcsak a rovarok osztályában, de az egész élővilágban a leggazdagabb. A rend ismert és leírt fajszáma közelíti az ötszázezretet. Mivel folyamatosan fedeznek fel újabb és újabb fajokat, fajsámukat több millióra becsülik. Nagy-Magyarország területén több, mint tízezer bogárfajt és fajtát írtak le, 28 családba sorolva, amiből egyértelműen látszik faunánk gazdagsága. Ez a földrajzi fekvésével, és a természeti viszonyokkal magyarázható. Észak- és Dél-, Nyugat- és Kelet- Európa bogárvilágát mind megtaláljuk a Kárpát- Medencében. Származásuk és kapcsolatuk egyéb rovarrendekkel még tisztázatlan. Egyes kutatók szerint nem elképzelhetetlen, hogy csótányféle ősvoroktól származnak, de ez idáig nem bizonyították.

Négy fő tulajdonság az összes bogárfajnál egyaránt megtalálható:

1. Két pár szárny, ahol az elülsők kemény szárnyfedővé (**elythrum**) módosultak, a varratban érnek össze, és nyugalmi állapotban eltakarják és védik az alattuk megbúvó hártyás szárnypárt.
2. Testük **fejből, torból és potrohból** áll. Jól fejlett **előtor** szabadon áll, tömör testet alkot a közép -és utótoruk , melyek egymással és a potrohhal is összenöttek.
3. Rágó szájszervük van
4. Fejlődésük teljes átalakulású

Olyan helyeket képesek betelepíteni, amelyeket más rovarfajok nem képesek meghódítani. A bogarak szárnyait erős kittin páncél védi, ezzel előnyben vannak más, sérülékeny szárnyú csoportokkal szemben. Ilyen például a trágyában, a talajban, a gombák testében, a fakéreg alatt stb. élőhelyek. Napközben, hogy ne száradjanak ki, ritkán repülnek. Légzőnyílásaik (**stigmák**) a potroh két oldalán (a vízi bogaraké felfelé tolódott). A legkisebb bogarak 2,5mm körül, míg a legnagyobb példányok akár 18cm hosszúak is lehetnek. Számos fajuk védett.

A szárnyas rovarok fejlődése alapján megkülönböztetünk tökéletlen átalakulású (**hemimetabolia**) és tökéletes átalakulású (**holometabolia**) rovarokat. A bogarak tökéletes átalakulású rovarok, melyek petéiből szárnyatlan lárvák kelnek ki, és ezek később bebábozódnak. Alap állapotban a kittin páncél alatt a hártyás szárnyak redőzve helyezkednek el. Repülésnél a hártyás szárnyat a légcsőhálózatába került levegő kimerevíti. Összetett szemek jellemzik, némely fajnál e-mellett a pontszemek is megtalálhatók.

Trachea tüdővel lélegeznek, nyílt a keringési rendszerük, melyben a **hemolimfa** gázokat nem szállít. Kiválasztó szervként **Malpighi-edények** (4-6 darab) szolgálnak. Dúcos az idegrendszerük. Ez csoportosult dúcokból álló agyból és **hasdúcláncból** áll. Módosult járólábuk úszásra, ásásra és ugrásra specializálódhatnak.

Táplálkozásuk szerint csoportosíthatjuk őket ragadozó, növényevő, dög- illetve korhadékevő bogarakra. Egyes fajok csak lárvákban, mások kifejlett korukban is táplálkoznak.

A ragadozók alrendjében (*Adephaga*) a szárnyának jól kifejlett az erezte haránterekkel, míg a mindenevőké (*Polyphaga*) egyszerűbb. Lárvaiknak hat lábuk van, mozgékonyak. Nyolc családba soroljuk őket: Cicindela-félék (*cicindelidae*), Futrinka-félék (*Carabidae*), Csíkbogár-félék (*Dytiscidae*), Víztaposó bogarak (*Halipidae*), Hygrobiidák (*Hygrobiidae*), Keringő bogarak (*Gyrinidae*), Rizodes-félék (*Rhysodidae*), Fülescsápú bogarak (*Paussidae*). A

mindenevő bogarak alrendjének további mintegy 45 családja van. Ezekbe tartoznak például a dögbogarak, pattanóbogarak, csíbor-félék, fénybogarak, katicabogarak, gyászbogarak, cincéralakúak, ormányosbogarak, szarvasbogarak, szú-félék, csak hogy néhány közismertebbet megemlítsünk.

A bogárfajok tevékenységét figyelembe véve egyaránt ismerünk kártevőket és hasznosakat. Erdő -és mezőgazdasági kártevők leginkább a cserebogárfélék. Nálunk elterjedt a közönséges sárgacserebogár és a májusi cserebogár. Ezek a lomblevelek táplálkozása miatt károsak. A szipolyok gabonafélék kalászának fogyasztásával károsítják a termést. Ezt a családot képviseli az orrszarvúbogár, és a virágbogarak is. Az utóbbi csukott szárnyfedővel is képes repülni, virágport és növényi nedveket fogyasztanak. A biológiai védekezésben jelentős szerepük a katicabogárféléknek van (Hétpettyes katica). Ezek ragadozók, táplálkozásukkal a levéltetveket és a pajzstetveket pusztítják. Kalifornia narancsültetvényeit mentette meg például egyik faja, egy behurcolt ausztrál pajzstetű fajtól. Talajjavító fajok a ganéjtúrófélék. Ezek pozitív szerepe, hogy a szerves anyagokat visszajuttatják a talajba (Óriás galacsinhajtó).

27.4. Pókok

Törzs: Ízeltlábúak/Arthropoda
Osztály: Pókszabásúak/Arachnoidea
Rend: Pókok/Araneae

A pókok meghódították Földünk csaknem minden élőhelyét. Mérsékelt égövi zónákat, trópusokat, a sarkvidéket, az alföldet, a sivatagokat, magashegységeket, szigeteket, őserdőket, a levegőt, és a vizet. Egyes pókok selyemszálon emelkednek a levegőbe, így vándorolnak, olykor feljebb kerülve a légkörben **hibernálódnak**, majd lejjebb ismét aktívakká válnak. Napjainkban az ismert hálószővő pókfajok száma 35.000 körül mozog. Európában csaknem 1.300 fajt, Magyarországon 900 ismert fajt írtak le.

Testük a rovarokéval ellentétben nem három, hanem láthatóan két testrészt alkot. A fej és a tor rész fejtorként összenőtt, amely ún. nyelvecskével kapcsolódik a potroh részhez. Négy pár lábuk, ollós **csáprágójuk** van. Nincsenek csápjaik, és a testrészeknél eltűnt a szelvényezettség.

Ragadozó életmódjukat méregmirigyek, és a szövőmirigyek segítik. Az *Uloboridae* és a *Holarchaeidae* családba tartozó fajokon kívül (kb. 350 faj) az összes pókfaj önvédelem és vadászat céljából mérget termel. A méregmirigyek a csáprágók tövében helyezkednek el. Nagyon kevés faj mérge veszélyes az emberre. A pókok pókhálóselyme erős proteinszármazék, olyannyira, hogy a hasonló vastagságú acélszál szakítószilárdságát túlhaladja, rugalmasabb a nejlonnál vagy a guminál.

A pókfonal anyaga a **szövőmirigyekben** termelődik. A különböző minőségű fonálhoz szükséges anyagot hét különböző mirigy termeli. Ezek közül azonban fajtól és nemtől függően egy pók nem feltétlenül rendelkezik mindegyikkel. Más szerkezetű, vastagságú és minőségű például az a pókháló, amelyet a nőstény pók termel, mikor párzásnál várja, hogy a hím közeledjen vagy a vadászatnál az áldozatra dobott fonál. Vannak azonban olyan pókok, amelyek háló nélkül vadásznak.

A pókok általában kétféle pókhálót szőnek, ragacsos pókhálót vagy sodort fonalat. A sodort fonál lehet színes vagy fehér színű. A szövőmirigyek kitüremkedései a potrohon figyelhetők meg. A közismert ökörnyál olyan pókháló, amit fiatal pókok, vagy párszerzés céljából útnak indult hím pókok szőnek és eszközként használnak ahhoz, hogy a légáramlat segítségével eljussanak más helyekre.

Légzésük tracheatüdővel és légcsövekkel történik. Hasdúclánc típusú idegrendszerük van. Általában 4-6 különálló pontszemük van. A főszemek képeket és talán színeket, a

mellékszemek mozgást érzékelnek. Legjobb az ugrópókok látása. Ez a faj, közelről látványosan ráugrik az áldozatára, de nem szőnek hálót. Vannak barlanglakó fajok, melyeknek teljesen eltűntek a szemeik. Keringési rendszerük nyílt, melynek alapja a csőszerű szív. Testüket kitinpáncél védi. A nőstények mérete sokkal nagyobb, mint a hímeké. A petéket az anya sokáig magával hordozza. A kis pókok hasonlítanak a kifejlett egyedekre, amelyek még sokáig az anyjukon maradnak.

27.5. Hangyák

Törzs: Ízeltlábúak/Arthropoda

Osztály: Rovarak/Insecta

Rend: Hártyásszárnyúak/Hymenoptera

Család: Hangyák/Formicidae

A hangyák mintegy 12.000 fajukkal csaknem a világ minden részén megtalálhatóak. Óriási egyedszámukkal a biomassza 15-25% -át teszik ki. A hártyásszárnyúak rendjébe tartozó méhek és darazsak rokonai. Apró természetűek, egyes fajok egyedeinek testhossza csupán néhány milliméter. A trópusokon élnek fémfényű, kitinpáncéllal (*Polyrhachis*) rendelkező hangyák, de megjelenésükre nem jellemző a feltűnés, többnyire színtelenek, ezt azonban rendkívül változatos alakjukkal kompenzálják.

Ezek a rovarok szervezett társadalomban élnek, ahol minden egyednek megvan a saját funkciója, feladata a közösségben, és e funkciók elvégzéséhez egész testük morfológiai felépítésével is specializálódtak. Funkciójuk szerint egy államon belül vannak tökéletlen ivarszervű, ivarképtelen nőstények (dolgozók), ivarképes hímek és ivarképes nőstények (királynő). Életmódjuk figyelemre méltó, gyakran akár párhuzamot is lehetne vonni a hangyák és az emberek viselkedése illetve életmódja között. Jól szervezett közösség, a hierarchia élén a királynővel. Hangyabolyokban élnek. Ezek rendezett telepek, ahol akár több millió egyed él úgy, hogy minden egyed pontosan tudja, mi a feladata a közösségben, és ezért ezek az államok irigylésre méltóan harmonikusan működnek.

Fejük aránya a testükhöz képest nagyobb, mint általában más állatoknál. A száj feletti rész a homlokpajzs. Szájszervek a fej elülső részén, az összetett szemeik —amelyek általában fejletlenek— pedig oldalt helyezkednek el, a három pontszem —ami gyakran hiányzik— pedig a homloki részen található. Egyik legfontosabb érzékszervük a csáp, ami a fej felső részéhez kapcsolódik. Ez a páros szerv két részből, egy hosszabb nyélből és rövidebb ostorból áll. Két felső állkapcsuk rendszerint fogazott. Ennek segítségével hurcol, épít, ezzel tépi szét zsákmányát, ezzel támad illetve védekezik.

A tor alapján könnyen meg lehet különböztetni a szárnyas katonákat a dolgozóktól, mivel a dolgozók tora jóval gyengébb, és kevésbé összetett a szárnyas társaikéhoz képest. A torhoz három pár láb kapcsolódik. A két elülső lábuk tisztító, úgynevezett kefével és fésűvel vannak felszerelve.

A potroh első egy-két íze elvékonyodott nyélként kapcsolódik a torhoz. Potrohuk végében található legfontosabb védekezési eszközük, a fullánk, ami néhány fajnál elkorcsosult, és a méregmirigyek, melyek hangyasavat termelnek. Hazánk fullánkos hangyái közül legnagyobb fájdalmat a *Myrmica rubida* okoz.

Azonos fajon belül is nagy mértékben eltérnek az egyedek morfológiai jegyekben, mivel a kolóniában más-más szerepet töltenek be. Így a katonai szerepet betöltő szárnyas hímek karcsú testűek, csápstoruk jóval hosszabb, és összetett szemük is láthatóan nagyobb, mint más szerepet betöltő társuké. A többiekhez viszonyítva rövid életűek, és kevésbé tehetségesek. Hatalmasan kifejlett toráról meg lehet ismerni a szárnyas nőstény hangyákat, a királynőket is, habár a megtermékenyítésük után szárnyaikat elvesztik. Ezek a nőstények több

évig is élhetnek, egyes fajaik 10-15 évet is. Rendszerint egy államnak egy ilyen királynője van. Ő hozza létre az utódokat, amelyekből később a jól szervezett kolónia alakul ki. Akadnak azonban olyan államok is, ahol három-négy királynő is megfér egymás mellett. A munkások szintén nőstények azonban nem termékenyek, kevésbé fejlett és kicsi a toruk, pontszemeik szintén sokkal kisebbek vagy nincsenek. A szárnyas nőstényekéhez képest azonban szellemileg magasabb színvonalat képviselnek, képesek sokrétű munkát végezni.

A vándorló, fosztogató hangyafajok ültetvényeket szabadítanak meg férgektől és rovaroktól, ami mezőgazdasági szempontból előnyös, és pótolhatatlan. Mikor egy-egy ilyen helyen elfogy az élelem a hangyakolónia tovább vándorol egy újabb területre. Ezek a portyázók nagy körütekintéssel végzik a költözést. Megkeresik az új helyet, majd általában a föld alatt alagutat rágnak az új helyszínig, és ebben a járatban vándorolnak. A föld felszínén költözők katonaosztagot állítanak fel, ami védi a vonuló hangyákat és lárvákat, amiket magukkal cipelnek. Egy ilyen költözés napokig eltart, és ha a csapat az új fészek helyszínére ér, a katona osztag követi a többieket.

Az ivarképes nőstények és a hímek rendelkeznek szárnyakkal, amelyeket vándorútjuk végén levedlenek. Felfedező utakat leginkább tavasszal folytatnak, ezért gyakran ez a nászrepülés is egyben. A királynők útját katonák kísérik, melyek feladata a királynők védelme a ragadozókkal szemben. A megtermékenyítés már az úton megtörténik. Az út végén a királynő levedli szárnyait és megfelelő helyet keres az új állam alapításához.

A gombatenyésztő- vagy levélvágó hangyák termete és alakja fajon belül is nagyon különbözik (pl.: *Atta cephalotes*). Ezek a hangyák megfosztják a fákat leveleiktől, ami jelentősen károsítja a növényeket. A nagyobb termetű egyedek vonulnak és rágnak le a leveleket intenzíven, kárt okozva ezzel a narancs-, citrom-, mangófáknak, kávécserejéknek. Paraguayban a szőlőtulajdonosok is joggal tartanak tőlük, mert egy éjszaka alatt lerághatják az összes tőke minden levelét. Észak-Amerika egyes területein ezek a hangyák a tűleveleket gyűjtik össze hasonlóképpen. A gombatenyésztők egyedüli tápláléka *Rhizites gongylophora* nevű gomba, mely fonálait abba a pépszerű anyagba oltják, amit a levelekből rágással alakítanak ki. Ezekre a telepekre gondosan ügyelnek, és saját ürülékükkel figyelmesen trágyázzák azt. A kis fejű, és termetű dolgozók gyomláznak, a közepes méretűek fiasítanak.

Hazánkban négy nembe tartozó négy faj képviseli a *Dolichoderinae*-alcsaládot. A *Dolichoderus quadrimaculatus* dió-, gesztenyefa gallyaiban tanyázik, *Tapinoma erraticum* pedig kövek alatt vagy a talajban fészkel. A három-négy milliméter testhosszú *Dolichoderus quadrimaculatus* potrohán négy fehér pöttyöt visel, amiről könnyen fel lehet ismerni. A *tapinoma* melegkedvelő, kisebb, 2,5-3,5 milliméter nagyságú, fekete színű, és Magyarországon a meleg hegyoldalakon gyakori. Ezek a ürge állatok főként elpusztult rovarokkal táplálkoznak, gyakran a nagyobb hangyák háborújában sebesült és elpusztult hangyákat könnyű zsákmányként elhurcolják. Potrohukból jellegzetes szagú váladékot engednek ki, ha megbolygatják őket, és eszeveszettül rohagnak. Nem vetik meg a döglött madár húsát sem.

A *Camponotinae* alcsaládot hazánkban hét nembe tartozó harminchat faj képviseli. Ezekre a fajokra jellemző, hogy hiányzik a fullánkjuk és kloákanyílásuk. Ilyen például az erdei vörös hangya (*Formica rufa*).

Járatokat vájnak a talajba, amivel megkeverik a fel- és az altalajt, valamint fellazítják azt, ezzel javítják a levegő és a vízáteresztő képességét. Járataikban táplálékot halmoznak fel, mivel nitrogéntartalmú anyagokat kevernek össze a talajjal.

Pusztítják a különféle kártevő rovarokat, azonban az elvetett búzaszemeket kiszedik a termőföldből, amivel kárt tesznek a mezőgazdaságban. A gyümölcsfákon mászkáló hangyák jelzik, hogy a fákat ellepték a levéltetvek. A tetvek ingerlésükkor mészharmatot választanak ki, ami a hangyák kedvelt tápláléka. Ilyenkor a tetű több nedvet szív el a fától, viszont a hangyák gyakran megtámadják, és elpusztítják őket.

27.6. Vakondok

Törzs: Gerinchúrosok/Chordata

Osztály: Emlősök/Mammalia

Rend: Cickányalakúak/Soricomorpha

Család: Vakondfélék/Talpidae

A vakond talajban élő, nagy étvágyú, emlős állat, amelyet már a megafaunához sorolunk. Testtömegének akár másfélszeresét is képes naponta elfogyasztani. Tápláléka a rovarok, kisebb rágsálók, csigák, bogarak lárvái, de legfőképp a giliszta. Áldozatait kiszimatolja. Nemcsak a járataiban vadászik, de olykor a felszínre jön, vagy a vízben fogja el áldozatát.

Hallása rendkívül kifinomult, a fülkagylója hiányzik, ami egyébként is zavarná a föld alatti mozgásban, szeme mákszemnyi nagyságú, amit a sűrű, rövid, puha, fekete bundája betakar. Elülső végtagjai kifelé vannak fordulva vízszintesek, rövidek és lapát alakúak, ujjai között hártya található, és erős karmokkal rendelkezik, ezek segítségével függőlegesen ássa járatait.

A kertekben termesztett növények hagymáit, rizómáit vagy gyökereit nem rágja meg, legfeljebb feltúrja azokat, egyéb kárt nem tesz, és ezt is kompenzálja azzal, hogy elpusztítja a kártevő rovarokat.

Ahogy emelkedik a talaj hőmérséklete a különböző rovarok a talaj felszíne felé merészkednek, és ezt a mozgásukat a vakond is követi. Azokon a helyeken a leggyakrabban fellelhető, ahol a talaj hemzseg az élőlényektől. Csapadékos időben járatait elönti a víz, ilyenkor a földgilisztához hasonlóan ő is a felszínre kényszerül.

Vadászterületén a talajfelszín alatt általában 10 és 40 cm között mozog, a téli időszakokban viszont mélyebbre kénytelen merészkedni, akár 100 cm-re is a felszín alá. Állandó mozgásban van, szerteágazó alagútszisztémában. Földtúrásaival jelzi hollétét. Nem alszik téli álmot hanem állandó mozgásban van és járataiban állandóan követi a rovarokat, gilisztákat. A fagyos téli időszakra élelmiszerkészletet halmoz fel.

Vannak állatok, mint például a nyest, a menyét, a macska, a róka stb., amelyek prédájává válhat.

28. Talajképződés folyamatai (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

28.1. Talajképző kőzet

Fontos szerepe van a talaj felépíttetésében a **kőzeteknek**, ugyanis ezek alkotják a legfelső földkéreg. Ez a kéreg kb. 10-40 km vastagságú, aránylag laza kőzetek alkotta masszív réteg. Kontinensenként és területenként változik az összetétele. Az ásványok nagyrészt szabályos szerkezetű, kristályos felépítésűek. Megkülönböztetünk szabad szemmel is jól látható, úgynevezett **makrokristályokat** és csak mikroszkóp alatt látható **mikrokristályokat**, illetve röntgendiffrakciós vizsgálattal és elektronmikroszkóppal kimutatható szubmikrokristályokat. A legfontosabb talajképző ásványok, kémiai összetételük alapján hat csoportba sorolhatóak: szilikátok (primer és szekunder szilikátok); oxidok és hidroxidok; karbonátok; kloridok; szulfátok és szulfidok; valamint a foszfátok.

A kőzetek jellemző összetételű ásványtársulások, ezekből három típust, a mélységi (**magmás**), az üledékes (**szediment**) és az átkristályosodott (**metamorf**) kőzeteket különböztetünk meg. A magmás kőzeteket, elsődleges, azaz primer, a második és a harmadik kőzettípusokat pedig másodlagos, azaz szekunder kőzeteknek tekintjük. A magmás és a metamorf kőzetek a földkéreg közel 95 tömegszázalékát adják. Ha viszont a földkéreg felületét vesszük figyelembe, azt találjuk, hogy az üledékes kőzet a 75 %-ban, míg a magmatikus kőzetek csak 25 %-ban borítják a földkéreg.

Az izzón folyó magma kihűlésével és megszilárdulásával jönnek létre a magmás kőzetek. Aszerint, hogy a magma a fölfelületen vagy a föld mélyén merevedett-e meg, megkülönböztetünk **vulkanikus** (kiömlési) és **plutonikus** (mélységbeli) eredetű kőzeteket. A szilárd kéreg repedéseiben kihűlt anyagot pedig **telérkőzetnek** hívjuk. A magma lassú kihűlése esetén a kőzetek kifejezetten kristályos szerkezetűek lesznek. Ilyenek a mélységbeli kőzetek. Ha azonban gyorsan hűl, akkor üveges állományú, illetve **hialin** szövetű lesz a megszilárdult magma. Ezen szempontok alapján különbséget teszünk **hemikristályos** szerkezetű kőzetek, melyek a kristályos részekon kívül üveges részeket is tartalmaznak, és **profiros** kőzeteket, melyeknél, kristályok nagyméretűek és emellett a körülmények változása következtében apró kristályok is előfordulnak.

Az üledékes kőzeteket két nagy csoportra bonthatjuk, a szervesre, és szervesetlen üledékekre. A szervesetlen eredetű üledékes kőzetek aszerint, hogy felaprózódása során vagy pedig a jelenkori folyamatok hatására jöttek létre kategorizálhatóak. Lehet **törmelékes** üledékes kőzetek továbbá **vegyi eredetű** vagy **oldatból kivált** üledékek. A törmelékes üledékeket a víz, és a szél hordja és rakja le új helyeken. Az üledékeket szemcseméretük alapján besorolhatjuk.

Vannak durva üledékek melyeknek szemcseátmérőjük nagyobb, mint 2 mm, ilyenek a kavicsok vagy a kötőrmelékek; homokos üledékek, melyek 2-0,02 mm átmérőűek; és az agyagos üledékek melyeknek nagysága kisebb 0,02 mm-nél.

Gyakran a törmelék részecskéket valamilyen kötőanyag, mint pl.: kalcium-karbonát, kovásv, vas-oxid és -hidroxid, stb. tapasztja össze, **cementálja**. Ha a homokos üledék cementálódik, **homokkő** képződik, ugyanakkor, ha a kavics áll össze, akkor **konglomerát** vagy ha szögletes – sarkos kődarabból áll, akkor **breccsa** keletkezik.

Hazánk talajtanilag legkedvezőbb és legfontosabb üledékes kőzete a **löss**. Ezt a meszes, durva kőzetlisztből álló üledéket még a jégkorszak ideje alatt a szél hordta és ülepítette le, melyet cementáló anyagok ragasztottak össze. A vegyi eredetű vagy oldatból kivált üledékek a vízben oldott anyagok kiválásával, valamint kristályosodás útján jöttek létre gipszből, kalcitból, dolomitból, kősóból illetőleg kálium sóból álló kőzetekből. Talajképződés

szempontjából a kalcit (mészkő) és a dolomit a legfontosabb szerepű. A mészkő egykor a tengerekben élő mészhéjas és mészvázú élőlények elhalása és felhalmozódása révén képződött. A dolomit azonban kalcium-karbonát és magnézium-karbonát együttes kicsapódásával, vagy a mészkő a magnéziumban való feldúsításával jött létre. Ezek a kőzetek tehát rokonságban vannak a szerves eredetű üledékekkel.

A szerves eredetű üledékes kőzetek közé tartozik a kőszén, a barnaszén, a lignit, a kovaföld, és a tőzeg. Ezek közül a tőzeg a legjelentősebb. Ezen csoportba sorolhatóak még a felhalmozódott állati üledékekből keletkezett guanó, és az állati csontok foszfortartalmát magába záró nyersfoszfát.

A **metamorf** kőzetek átkristályosodáson, azaz metamorfózison mennek keresztül, mely a kőzetek magas hőmérsékletű és nagy nyomás alatti szerkezet átalakulását jelenti.

Így képződik a mészkőből márvány vagy egyes kőzetekből az úgynevezett kristályos pala. Ide sorolhatjuk a gneiszt is, mely ugyanolyan ásványokból áll, mint a gránit, de a palához hasonló réteges szerkezetű, ebből adódóan könnyebben mállik, mint a gránit. Fontosak emellett még a csillámpalák, az agyagból létrejövő agyagpalák, és homokkőből keletkező kvarcitok. Magyarországon főként a kristályos palák lelhetők fel, jellemzően a nyugati határterületeken.

A talajképződés során fellépő kémiai, fizikai és biológiai folyamatokat és a folyamatok intenzitását az adott helyre jellemző természeti tényezők határozzák meg, melyeket talajképző tényezőknek nevezünk.

28.2. A kőzet mállása

A talajt képződése alapján is besorolhatjuk. Első lépése a **fizikai mállás**, a nagyobb kőzetdarabok felaprózódása különböző környezeti hatások által. A következő esemény a **kémiai mállás**, amikor a kőzet fontos, kémiai, molekuláris kötésbeli átalakulásokat megy át. Utolsó, harmadik része a talajképződés folyamatának a **biológiai fázis**, ahol felhalmozódik a talajra oly jellemző szerves anyag, a humusz.

28.2.1. Fizikai mállás

Fizikai mállás alatt azt a folyamatot értjük, mely során, a szilárd földkéreg felszínén, illetve a felszín közelében lévő kőzetek mechanikai erők hatására, felaprózódási folyamatokon mennek keresztül, úgy, hogy a kőzetek, ásványok anyagának kémiai összetétele nem változik. Ezt a jelenséget **kőzetpusztulásnak** nevezzük. A folyamat során **mállási maradék** keletkezik.

Mállás bekövetkezhet **inszoláció** által is. Ekkor a nap a besugárzása hőmérsékletingadozást okoz. Az egyenlítő környékén a nappali és az éjjeli hőmérsékletkülönbség eléri akár a 80 °C-ot is, de mérsékeltebb éghajlatú övezetben is előfordulhat 30-50 °C ingadozás is. A gyors klímaváltozás nem tesz jót a kőzeteknek. A kőzetalkotó ásványok hő tágulásának mértéke nem egyenlő, ezért nem egyszerre fognak tágulni, vagy összehúzódni. E miatt a közöttük lévő szilárd összefüggés megbomlik, hajsza-repedések alakulnak ki. Gyakran előfordul, hogy, a kőzetfelület felpattogzik, leválások keletkeznek, fokozott hőingadozás hatására törmelék is keletkezhet rajta.

Hasonló események fordulhatnak elő akkor is, ha hirtelen hűtőhatás ér egy kőzetet, pl.: zápor vagy zivatar. Ilyen esetben olyan gyors a lehűlés, hogy azt az adott ásványok nem bírják. Ezt a jelenséget a sivatagi zónákban tapasztalhatjuk leggyakrabban.

Az esővíz munkája mellett kell még említeni a folyóvizet is. Mélyítő munkája során V-alakú folyóvölgyeket hoz létre. Ha meredekebb falú szurdokvölgyről vagy hasadékvölgyről beszélünk, sok helyen láthatunk olyan folyómedreket melyek már majdnem vagy teljesen

kiszáradtak, erre megfelelő példa a Colorado folyó által kivájt, az Arizona államban megtalálható Grand Canyon, mely 6 millió év alatt keletkezett.

Morzsolódás felléphet fagyás következtében, ugyanis a víz tömege fagyáskor 1/9-ed részével növekszik. A hajszálrepedésekbe beszivárgó víz megfagyás után tágítja az anyagot. 0 °C körüli hőmérséklet ingadozáskor a jég, a feszítő erő olyan nagy hatást gyakorolnak a kőzetre hogy, azt még jobban szétrepesztheti, akár szét is törheti darabokra.

Meg kell említenünk a gleccserek folyamatos munkáját is. A gleccser egy hóból kialakult jégtömb, amely saját súlyának nyomása, az alacsony hőmérséklet és a terepviszonyoknak megfelelően folyamatos mozgást végez. A gleccsereket a hőmérsékletük különbözteti meg. Vannak ugyanis hideg, ugyanakkor meleg gleccserek. A különbség az, hogy míg a hideg gleccser évente csak pár méter utat tesz meg, addig egy meleg akár több százat is megtehet. Minél több utat tesznek meg, a jégtömb alatt lévő talajt és kőzetréteget annál jobban formálják. Általában medenceformájúvá vagy U-alakúvá alakulnak ki.

A gleccserekhez hasonlóak a jégtakarók munkája is jelentős. Az ilyen jégréteg nagyon lassú mozgást végez, miközben hatalmas súlya és nyomása hatására pusztítja le a felszínt. A jégkorszaki jégtakarók a puhább kőzeteket sokkal jobban rombolták, könnyebben kivájták, így sziklamedencéket hoztak létre. Ezekben nagyrészt tavak találhatóak, mint pl.: Finn-tóhátság. A keményebb kőzeteket kevésbé roncsolta szét, így vásott sziklák keletkeztek. Ahol nagyon nagy a sziklák közti magasság különbség ott meredek falú lépcsők alakultak ki, más néven **glintlépcső**.

A beszivárgó víz mindig tartalmaz, **sókat**, melyek a vízből kiválnak párolgás után és kristályosodnak. Kristályosodáskor az ásványi anyagok vizet vesznek fel, ami térfogat növekedést okoz, ami hasonlóan a jéghez tágítja a kőzetet. A só kiválás a meleg éghajlaton lévő tengerpartokon a legjelentősebb. A sókat a tengerek hullámai juttatják a kőzetek repedéseibe, ahol a gyors párolgás és az újabb sós víz bejutása a kőzetekbe gyorsabb felaprózódáshoz vezet.

A növények is nagy hatással vannak a kőzetekre. A kőzetek repedéseibe a szél segítségével oda jutó magvak és spórák kicsírázhatnak, miközben gyökereik folyamatosan megvastagodnak, melyek feszítő erőt fejtenek ki, hasonlóan a jéghez.

A szélnek is van talajpusztító munkája. A szél csak kisméretű szemcsék megmozgatására képes, a 3 mm-nél nagyobb szemcsékhez már 20-50 m/s szélsébség szükséges. A növénytelen területen a szél a felszínen lévő kőzetszemcséket, homokot, port az eredeti helyéről kifújja, ahol deflációs medencék, mélységek alakulnak ki, melyek elérhetik a talajvíz szintjét, amiből oázis alakulhat ki. A szél az általa hordozott kőzet- illetve homokszemcsékkel, a felszínt koptatja, csiszolja. Ennek eredménye a **kőgomba**. Ilyen található Erdélyben is, Maroshévíztől 10-km-re, melyeket Görgényi kőgombáknak hívnak.



78. ábra: Görgényi kőgombák - Erdély. (Fotó: trekkingklub – rejtekhely.ro)

28.2.2. Kémiai mállás

A talajképződés folyamatának második része a kémiai mállás. Ilyenkor a felaprózódott kőzetanyagok kémiai folyamatokon mennek át, melyben a víz fontos szerepet játszik.

Fontos hatást fejt ki a szén-dioxid (CO_2) és az oxigén (O_2), mert a csapadékvíz nagy felületen érintkezik a levegővel, oldatot képez ezekkel a vegyületekkel, ami fokozza az esővíz oldóképességét. A termőtalajban lévő szén-dioxid és humusz a talajvízbe bemosódva fokozza a csapadékvíz semlegestől eltérő kémhatását. Az egyszerű oldhatóság összetett fizikai és kémiai folyamat. A sókőzeteket a csapadékvíz kioldja, anélkül, hogy kémiai tulajdonságaikat megváltoztatná. Az így létrejött sóoldat bepárolással könnyű módon visszaalakítható sóvá. Ezen jelenségen alapul a Parajdon található sósziklák, melynek egyike kb. 2 milliárd tonna sót tartalmaz.



79. ábra: Parajdi sószikla - Erdély (Fotó: Kulcsár Zsuzsa)

A kőzetre ható savas oldatok elsavanyodása serkenti a mállás intenzitását, ezáltal gyorsítják a kémiai mállást. A szén-dioxid és a szénsav vízben könnyen oldódik, ezzel a víz oldóképessége növekszik. A szénsavas víz háromszor több mészkövet képes feloldani. A széndioxidot tartalmazó esővíz a dolomit és mészkő felületén jellegzetes karsztjelenségeket hagy maga után. A kovasavakat tartalmazó kőzetekben is mállást okoz, melynek során nem csupán aprózódás, hanem kémiai átalakulás is bekövetkezik. Az **oxidáció-redukció** szerepe azoknak az ásványoknak a mállásánál számottevő, melyek **vegyértékváltó elemeket** tartalmaznak. Ezek közül a vas- és magnézium tartalmú szilikátok a legjelentősebbek. Oxidációs körülmények között a **ferro-vas** három vegyértékűvé oxidálódik oldhatatlan

ferrioxid formájában kicsapódik. Ez a folyamat az ásvány további mállását segíti elő. Másrészt az oxidációs folyamat által érintett rétegek térfogata tetemesen megnő, s így a folyamat egyre jobban felgyorsul a fizikai behatás következtében. A **pirit** tartalmú kőzetekben is végbemehet hasonló kémiai folyamaton alapuló mállás, ugyanis eltérő mállás következtében kénsav keletkezhet, melynek savanyító hatása van és fokozza a folyamatot.

28.2.3. Biológiai mállás

A talajképződés folyamatának harmadik része a biológiai mállás. A talajon megtelepülő növények és a talajban élő szervezetek, legfontosabb szerepe a szerves maradványok lebontása, átalakítása. Ez abban nyilvánul meg, hogy az általuk legfontosabbnak vélt elemeket a mélyebb talajrétegből felhozzák, és szervezetükbe beépítik. Az organizmusok elhalása, majd bomlása következtében ezek a fontos elemek egy része visszakerül a talaj felsőbb rétegeibe, és újra a biológiai körforgásba kerül, illetve helyben maradva, fokozatosan felhalmozódik.

A talajok természetes termékenysége nagymértékben függ a talajképződéstől. A legtermékenyebb talajok ismérve a kalciummal telített jó minőségű humusz, valamint az ezzel együtttható morzsás, porózus szerkezet és a megfelelő tápanyag-ellátottság. A humuszanyagok kis mennyiségű jelenlétükhöz képest nagy szerepet játszanak a talajok szerkezetének kialakulásában, a talaj tápanyag-gazdálkodásában és a víz- és hőgazdálkodás irányításában. Igen fontos szerkezetkialakító tényező a szerves- és ásványi kolloidok összekapcsolódásával keletkezett agyag-humusz komplexum mennyisége és minősége. A humusz a stabil, porózus szerkezet biztosításával, megfelelőbbé teszi a talaj vízgazdálkodását, csökkenti a keményedési hajlamát és visszatartja a felület elporosodását.

28.3. Talajképző folyamatok

A talajt képző folyamatok közé tartozik a **kilúgozás**, ami az egyes anyagok kimosódását, vándorlását jelenti. Kedvező vízmozgási feltételeknél leggyakrabban az alkáli fémek sói lúgozódhatnak ki és juthatnak a talajba, illetve a talajvízbe. Az **alkáli földfémek** sóinak az anionoktól függően van oldhatósága. Egy vegyértékű anionokkal alkotott sóik, jól oldódnak vízben. Lényegesebben lassúbb tempóban mosódnak, ki avagy jutnak alsóbb rétegekbe a **karbonátok**. Nagyon erős kilúgozáskor az agyagásványok is lemosódnak, szélsőséges esetekben pedig az agyagfrakció szétesik **vas- és alumínium-hidroxiddá**, illetve **kovasavakra**. Az **agyagosodás** a kilúgozás mellett meghatározó folyamata az erdőtalajok képződésének. Előfeltétele az agyagosodás folyamatának az agyagásványok alapjait tartalmazó ásványi összetétel, és a klimatikus jelleg és biológiai folyamat. Következménye a jobb tápanyagmegkötés és vízgazdálkodás, mert az agyag ezeket az anyagokat jól tudja tárolni. Az ún. agyagvándorlás során az agyagos rész elmozdul, eredeti helyéről a mélység felé, anélkül, hogy összetétele gyökeresen megváltozna. Ennek előfeltétele, az elmozdulást előidéző szerves és szervetlen anyag képződése, legalább gyengén savanyú kémhatás és kilúgozási szintből, a felhalmozódási szint felé tartó állandó vízáramlás. Következménye a felső szintek elszegényedése, az alattuk lévő gazdagodása az agyagban, azaz a textúra differenciálódás.

A szélsőségesen savanyú és durva szemcséjű vagy köves erdőtalajoknál következhet be az ásványi anyagok alkotóelemeikre való felbomlása (kovavasra, alumíniumra, vásra), ez a **podzolosodás**, avagy az agyagszétesés. A szétesést követően a vas és az alumínium a helyéről a szerves anyagokkal együtt a mélyebb rétegekbe halmozódik fel. Következménye, hogy a feltalaj tápanyag hiány miatt elkezd kipusztulni és savanyodni.

Homokos talajképző kőzeten, a tagolódás után felhalmozódási szintek jönnek létre, a feltalaj alatt vöröses-barnás csíkok formájában mutatkozik meg. Előfeltétele ennek a jelenségnek a

gyengén- vagy közepesen savanyú közegben az agyagelmozdulás, valamint megfelelő oxidációs és diffúziósebesség viszonyok. A **glejesedés** (redukció) az időszakos és a helyi redukció oka, a talajréteg vízgazdálkodása közötti különbség hatására kialakuló levegőhiányos állapot. Kialakulásának előfeltétele a víztorlódás, amely nagyobb csapadék következménye. E folyamat hatására időszakos talajvízréteg alakul ki a nedves évszakokban, mely a nyári hónapokban eltűnik.

Tőzegesedéskor a lápok növényvilágának (láperdők fái, cserjék, sás, nád, moha, fű) pusztulásából humuszvegyületek, **humitok**, keletkeznek. Kezdetben oxigén jelenlétében, majd a rétegek süllyedése után, teljesen elzártan, gombák, baktériumok biokémiai hatásainak kitéve alakul. A tőzegesedés addig tart, amíg lépést tart a növényzet fejlődése a süllyedéssel.

28.4. Az élővilág szerepe a talajképződésben

Dokucsajev, (1846-1903) orosz természettudós. A talajtan, mint önálló tudományágnak a megalapítója. Elsőként adata meg a talaj tudományos értelmezését. Az élő és az élettelen természet valamennyi elemének a kölcsönhatásáról fogalmazta meg elméleteit. Megállapította a talajok sávós térbeli rendjét, és ezzel a természeti földrajzban az éghajlatövekből következő törvényszerűségeket (**zonaritás**) tanának megalkotója.

Öt **talajképző tényezőt** különböztetünk meg egymástól:

1. a növényzetet
2. az éghajlatot
3. a domborzati és hidrológiai viszonyokat
4. a talajképző kőzeteket
5. a talaj korát

A természetes növényzet talajra gyakorolt befolyásának megítélésénél a makroszervezetek, **makroflóra** és a **mikroflóra** (a növényvilág mikroszkopikus tagjainak, mint pl.: baktériumok, gombák, moszatok, összessége) együttesét szokták figyelembe venni.

Az összefüggő erdőségek csak csapadéokban gazdag vidékeken alakulnak ki. Mivel a fás növények hosszú életűek és gyökereik is csak hosszú idő után halnak el, a fák gyökérzete figyelemre méltóan nem gazdagítja a talaj szerves anyag tartalmát. A növénymaradványok, mint a levelek, a gallyak, vagy éppen a kéreg a talaj felszínén avartakarót alkot. Az avar bomlása a felszínen kezdődik meg. Ebben a folyamatban legfőképpen **aerob** (oxigént igénylő) mikroszervezetek vesznek részt. A szerves bomlástermékek jobbra a felszínről kerülnek be a talajba.

Az aljnövényzet nélküli **fenyvesek** gyantás talajtakarója **kationokban** (pozitív töltésű ion) szegény. A felhalmozódott szerves anyagot főként gombák bontják le, melynek következtében elsősorban savanyú bomlástermékek (**csersav**, **savanyú humuszanyagok**) keletkeznek. A túlelű erdőkkel borított talajterületeken intenzív savanyú kilúgozás a jellemző, s ennek következményeképp ún. **podzol** talajok képződnek.

A **bükkösök**, **tölgyesek** vagy más zárt szisztémájú **lombhullató erdők** alatt, az avar réteg elbontása máshogy zajlik, mint a fenyvesek esetében. A lombhullató gyökérzet mélyebbre hatol, mint a fenyőké, és némiképp több kalciumot és magnéziumot képes beépíteni évente megújuló lombállományába. Ezen anyagok jelenlétében nem képes kialakulni olyan savanyú kémhatás, mint a fenyvesek esetében. A szerves anyagok lebontásában viszont nemcsak a gombák, hanem az aerob baktériumok is jelen vannak. A lombhullatók alatt képződött **barna erdőtalajokban** a **humifikációs** (humuszképződés) termékek kevésbé savanyúak, s a kilúgozás is mérsékeltebb. Általánosan elmondható, hogy a podzolosodás mértéke, és

eshetősége a jegenyefenyők, lucfenyők, tölgyesek és bükkösök sorrendjében fokozottan csökken.

A szubtrópusi és trópusi erdők alatt alakulnak ki a **vörösföldek** valamint a **plintit** avagy trópusi talajok. A plintitek erősen mállott, vas- és alumíniumoxidban bővelkedő, vörös vagy vöröses színű talajok.

Az egyházi és az élő növények, évről-évre új gyökérzetet fejlesztenek, s így előnyös feltételeket nyújtanak a szerves anyag talajban való felhalmozódásához. Folytonosan, de legalább az év nagy részében sekély vízborítás alatt álló területek, a lápi növényi formációknak ad otthont. Az elhalt mocsári növényzet a víz alatt, **anaerob** (oxigénmentes) közegben, csak lassan bomlik, és idővel **tőzeg** formájában halmozódik fel. A csapadékbőség és a **kationszegény** környezet, a nedvességnövelő **mohafélék** (*Sphagnum* moha, stb.) megtelepedésének kedvez (**mohalápok**). Magyarországon főként a sekély tavak, öblök vagy vízzel telt mélyedések fokozatos feltöltésével, s az erre jellemző mocsári növényzet (sás, nád, gyékény, káka, stb.) megtelepedésével párosult ingoványképződés jellemző (rét- vagy síklápok). A réti növényi formációk mélyebb fekvésű, magas talajvízű és/vagy időszakosan vízzel borított területek vegetációja, melyekben nagyrészt élő gyepek jellemzők. A növényi maradványok lebontása jobbrészt anaerob folyamat során megy végbe. A növényzet nagy gyökértömegű gyökereit gyarapít, az elhalt szerves maradványok azonban a túl nedves talajban nem tudnak megfelelő tempóban bomlani. Emiatt a réti növényzet alatt aránylag nagy szervesanyag-tartalmú talajok létesülnek, a felhalmozódott humusz minősége ellenben gyenge.

A mérsékelt övi füves puszták (sztyeppek, prérók) jellegzetes növénytakasága a sztyeppi növényi formációk. Szárazságtűrő (**xerofita**) élő és egyházi füvekből, továbbá pillangósokból áll. A növényzet sűrű gyökérzete miatt minden évben jelentős mennyiségű szerves anyag kerül a talajrétegekbe. Ezen anyagok lebontását aerob baktériumok végzik, melyek jó minőségű humuszanyagokat állítanak elő. A sztyeppi formációk alatt kiváló minőségű, vastag humuszos rétegű **csernozjom** talaj, a szárazabb sztyeppeken pedig úgynevezett **gesztenyebarna** talaj jön létre. Jellemző a száraz klíma alatt megtelepedett **xerofita** és **halofita** (sótűrő) növények asszociációja, humuszban igen szegény, de ásványi sókban gazdag, valamint a barna és szürke félsivatagi talajok jellegzetes növényzetei (félsivatagi növényi formációk).

Fontos szerepe van a talajfaunának a talajképződésben. A férgek közül elsősorban a földigiliszták talajra gyakorolt befolyását kell kiemelni. Jó vízellátottságú, jól szellőző talajokban szaporodik, s a talaj szerves anyagainak aprításával, átalakításával, valamint a járataik létrehozásával jelentősen hozzájárul a jó minőségű talajszerkezetek kialakulásához. Az ízeltlábúak és a talajban élő csigák járatai a vízmozgási feltételeket elégítik ki, elpusztulásuk után pedig testük bomtható szervesanyagként szolgál. Az elpusztult csigák kalcium-karbonáttal is gazdagítják a talajt a mészvázák által. A gerincesek, leginkább a vakondok, a rácsálók (ürge, hörcsög, pocok, stb.) és a hullók (gyíkok) szerepe a talaj keverésében, azonkívül járataik vízvezető hatásában nyilvánul meg. A rácsálók a csernozjom talajokon szaporodnak el nagyobb mértékben, s kedvező talajlazító hatásuk mellett, nagy károkat okoznak a termésben.

Az éghajlat túlnyomóan közvetve, a növényzeten keresztül hat a talaj képződésére. A klíma elemei közül a talajképződés szempontjából legjelentősebb szerepe a hőmérsékletnek, a csapadéknak és a párolgásnak van. Ezek szabják meg, hogy milyen természetes növényzet alakulhat ki az egyes területeken, ill. befolyással vannak a fizikai és kémiai mállás erősségére is. A növényi zónákkal szoros összefüggésben vannak a talajzónák is. Északról dél felé

haladva törvényszerűségeket fedezhetünk fel a növényzet és a talaj típusai között. A klímazónákra jellemző növénytársulások alatt képződő talajokat **zonális talajoknak** nevezzük. Ezek a talajzónák azonban nem megszakítás nélküli összefüggő területek, ugyanis a tengerek közelsége vagy a magas hegységek megszakítják az egyenlítővel párhuzamos klíma- és növényövezeteket. Más helyeken az erős vízhatás, vagy egyedi talajképző kőzetek miatt megváltozik a növényzet és az éghajlat, ún. **hidromorf** (réti, láp, szikes) és kőzet talajok (**intrazonális** talajok) képződnek. Az **azonális** talajok azok, melyeknél a fő környezeti hatást nem lehet megállapítani. Ilyenek pl.: a nyers ártéri üledékek, valamint a futóhomok talajok.

A domborzat (relief) a felszín függőleges kategorizáltsága. Megkülönböztetünk makro-, mezo-, mikrodomborzatokat. A **makroreliefek** a felszín hegyekre, völgyekre és síkságokra való osztása, vagyis több száz, ill. több ezer méteres szintkülönbségek feltagolása. Dokucsajev és tanítványai mutattak rá arra, hogy a magas hegységek a szintvonalakkal párhuzamosan is növényi zónákra oszthatóak, s ennek megfelelően különböző talajzónákra is. A hegycsúcs felé haladván a hőmérséklet csökken, a csapadék pedig nő. Az egyenlítővel párhuzamos zónák rendszerét vízszintes (**horizontális**), a hegyvidékeken tapasztalható zónák egymásutániságát pedig függőleges (**vertikális**) **zonalitásnak** nevezték el.

A domborzatnak megfelelően alakul a felület vízrajza is. A talaj felszínére jutó csapadék, ha ritka növényzet fedi a hegyoldalt, jelentős talajpusztulást (eróziós károkat) okoz.

A **mezőrelief** a terület hullámosságát jelenti (néhány méteres, vagy néhány 10 méteres magasságkülönbségek). A hullámos felszín a talajképződés feltételeit úgy módosítja, hogy a talajvíz szintjének felszínhez viszonyított mélységét megváltoztatja. 5-6 méter mélyen elhelyezkedő talajvíz nem képes a növényzet gyökérzetét megnedvesíteni. Az ilyen területeken a csapadékvízből élő mezőségi fűvegetációk települnek meg. A négy méternél közelebb fekvő talajvíztükör viszont fontos szerepet játszik a talaj képződésében. Azokat a talajokat melyeknek kialakulása a víz hatásával szorosan összefügg, ill. a vízminőség fontos szerepet játszik kialakulásukban, **hidromorf** talajoknak nevezzük (pl.: láp talaj, csernozjom talajok, stb.)

A **mikrorelief** a felszínen előforduló néhány cm-es vagy dm-es magasságkülönbségek. Ezek a nem túl nagymértékű magasságeltérések. A csapadék felszínen való eloszlását befolyásolják, ami egyetlenné teszi a víz talajba való beszivárgását. Ilyen területeken könnyen létrejön az időszakos területi vízállás, ugyanis a magasabb területekről az alacsonyabbak felé folyik a víz, így a talajképződés a réties területek kialakulásához vezethet. Ha az összegyűlt területeken a vizek sósak, és nátriumionokat tartalmaznak, az ismétlődő bepárlódás, és az újabb vízösszefolyás következményeképp a talaj felülről szikesedhet. Ilyen esetekben patkásodás is előfordulhat, ami a víz és a szél, romboló munkájának az eredménye.

Az alapkőzet, amelyen a talaj kialakul, bizonyítottan befolyásolja a talajok tulajdonságait, de egyes szélsőséges kivételektől eltekintve, nem olyan arányban, hogy ez megszabná a sajátos fizikai és kémiai tulajdonságokat, illetve a talaj típusát. Általában elmondható, hogy ugyanolyan alapközeten egymástól eltérő, másrészt különböző minőségű talajképző kőzeteken azonos talajtípusok keletkezhetnek. Az első esethez említhető, hogy azonos minőségű kőzetmaradványokon (löss) csernozjom-, erdő-, vagy réti talajok keletkezhetnek, a helyi talajképző tényezők hatására. Az alapközetek általában nem akadályozzák meg az éghajlat és a növényi társulások által kialakított talajképződési folyamatokat, csak módosítja azok hatását. Vannak viszont olyan kőzetek, melyek jellemző módon alakítják a rajtuk lévő talajok jellegét. Ezek közé tartozik a mészkő, amelyen a fás növényzet alatt olyan fekete színű (ún. **redzina**) talajok alakulnak ki amelyek, CaCO_3 hatására, lényegesen eltérnek a más kőzeteken képződött erdőtalajoktól. Ilyen talajképző kőzet hazánkban a **riolittufa** is, mely Tokaj vidékén agyagos, vörös **nyiroktalajt** képez. Azokat a talajokat, melyek jellemzőit

erősen befolyásolja az alapkőzetük, - a mai genetikai osztályozási rendszer szerint - **litomorf** (közethatású) talajoknak nevezzük.

A talajok képződéséhez, az egyes talajtípusok keletkezéséhez idő szükséges. A talajképződés kezdete óta eltelt, években kifejezhető időt az adott talaj abszolút korának tekintjük. Az azonos abszolút korú talajoknak a fejlődési állapota eltérő lehet. Van ahol a talajokra jellemző tulajdonságok jobban megtalálhatóak, máshol bizonyos folyamatok csak korlátozottan érvényesülnek. Ennek oka az lehet, hogy a talajképző kőzetek eltérő kalcium-karbonát tartalmúak, illetve, a CaCO_3 hiánya, vagy a víz ellátottságbeli különbségek. A késleltető, vagy gyorsító folyamatok jelenléte miatt két hasonló talaj, azonos idő alatt, eltérő fejlődési állapotot mutathat, azaz különböző lehet a talajok relatív kora.

A talajképző tényezők tárgyalásakor nem hagyhatjuk figyelmen kívül az emberi tevékenységeket, melyek a talajt befolyásolják. Az emberiség, élete során mindig igyekezett környezetét megváltoztatni, saját igényeihez megfelelően formálni. A környezetre gyakorolt hatás annál nagyobb minél fejlettebb a társadalom, a technika. Napjainkban az emberi tevékenység a **talajfejlődés** irányának a megváltoztatására is képes. A vízszabályozások, a vízrendezések, a talajjavítások, a tereprendezések, a műtrágyázás, az öntözés útján igyekszünk a talajt (jobb esetben) a megfelelő irányba megváltoztatni. A hibás gazdálkodás viszont nagymértékben csökkenti a talaj termékenységét. A talajművelés elsősorban a talajpusztulás megelőzésére szolgál. A **talajművelés** a talaj gyakran művelt rétegének, esetleg mélyebb rétegeinek művelő-eszközzel végett fizikai állapotváltoztatása. Célja, hogy fenntartsa a rétegek közötti nedvességforgalmat; a levegőforgalmat kedvezően befolyásolja; megfelelő biológiai aktivitás elérése; és a talaj felszínének és szerkezetének védelme. **Talajjavítást** is végezhetünk, mely folyamatot gyakran szikes és savanyú talajokon szoktak alkalmazni. A talajjavításnak nevezhetjük az általában mezőgazdaságban alkalmazott agrotechnikai eljárásokat, mint a vetésforgót vagy a talajjavító növények alkalmazását is.

29. Növények és mikrobák kapcsolata (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

Arisztotelész úgy tartotta, bármely száraz anyag amely nedvessé válik, és bármely nedves anyag amely szárad, állatokat hoz létre. A XVII. század második és a XVIII. század első felében megszorodik a mikroszkopikus megfigyelések száma, nyilvánvalóvá vált a mikroorganizmusok létezése.

A mikroszervezetek fejlődését és tevékenységét legjobban biztosító élőhely (**biotop**) a talaj. Az emberi táplálkozást túlnyomó részben a mikroszervezetek talajbeli tevékenysége biztosítja. A talajlakó mikroszervezetek elterjedése főként a talaj típusától, annak nedvesség és hőmérsékleti jellemzőitől függ. Általában a talaj legfelsőbb rétegében találjuk a legtöbb mikroszervezetet, számuk a talaj vastagságának növelésével egyenes arányban csökken. A mikroorganizmusok ilyen jellegű alakulása a talajrétegekben összefüggésbe hozható az oxigéntartalom csökkenésével. Ebből a megállapításból az is következik, hogy az aerobok száma a mélyebb talajrétegekben csökken, ellentétben az anaerobok számával, amely viszonylagos növekvő tendenciát mutat. Tehát a mikroorganizmusok elhelyezkedését a földben elég sok tényező határozza meg: talajtípus, hőmérséklet, nedvességtartalom, fényviszonyok...stb. Az élettelen természetnek a mikroszervezetekre gyakorolt hatása és visszahatása, valamint a mikroszervezetek egymás közötti viszonyának megismerése és a mikro- és makroszervezetek közötti hatások ismerete elengedhetetlen az élővilág működésének megismerésében.

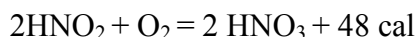
A mikroszervezetek számos faja nem él elkülönülve az őket körülvevő fajoktól. Csoportosíthatjuk az együttélési formákat:

1. **Metabiózis:** (egymást követő életműködés), amit az jellemez, hogy az egyik faj élettevékenysége elősegíti a másik fejlődését.
2. **Antagonizmus** vagy **antibiózis:** valamely mikroszervezet gátolja a másik mikroszervezetnek, vagy több más mikroszervezetnek a fejlődését, olyan anyagok termelésével, melyek más mikrobák egyes fajainak élettevékenységére kedvezőtlenek, vagy koncentráltan ölő hatásúak.
3. **Szimbiózis:** kölcsönösen egymást segítő szoros együttélés, melyben morfológiailag is szoros kapcsolat lehet (mikroszervezetek és magasabb rendűek között).
4. **Parazitizmus:** olyan együttélés, melyben az egyik résztvevő a másik rovására él, egészen a partner megsemmisüléséig.

29.1. Metabiózis

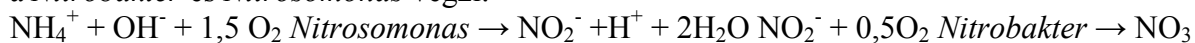
Nagyon fontos jelenség mely főként a talaj életében játszik igen fontos szerepet. Ezzel magyarázhatjuk a mineralizáció (szerves vegyületek szervetlenné való leépítése) folyamatát, amely gyakran igen gyors lefolyású. A talajban az aerob szervezetek hasznosítják az oxigént és teszik lehetővé az anaerobok élettevékenységét.

Vinogradszkij (1856-1940) rámutatott arra, hogy két különböző baktériumféleség közvetlenül egymást követő reakcióval oly hatékonyan alakítja át a talajban az ammóniát, hogy kimutatni már csak a nitrátot tudta. Az egyik baktériumféleség a *Nitrosomonas*, a nitritet rögtön nitráttá alakítja át (Vinogradszkij, 1892). Az ammóniának nitritté való átalakításakor sokkal több energia szabadul fel, mint nitritnek nitráttá való átalakításakor. A folyamat a következőképpen megy végbe:



Vinogradszkij az általa kidolgozott szilikagéles eljárással határozta meg a fajokat és azok ismertettét tevékenységét. Az eljárás lényegét képező szilikagélt ellátta tápsókkal és a tápsók változtatásával különítette el az egyes fajokat, ezután tisztázta a fajok tevékenységét.

Az ammóniát a nitrogénciklus első lépéseként fixálódott elemi nitrogén révén létrejött szerves nitrogén bomlása adja. Például a talajba kerülő növényi részek bomlása során az ammónia felszaporodik és ha van elegendő oxigén, akkor az nitríté és nitráttá oxidálódik. Az oxidációt a *Nitrobakter* és *Nitrosomonas* végzi.



Látható az egyenletekből, hogy a **nitrifikáció** a talajból jelentős oxigénmennyiséget fogyaszt el. 1g NH_4^+ oxidálásához 4,57 g O_2 szükséges. Ez a két baktérium szigorúan kemoautotrof szervezet, azaz szénforrásként kizárólag szerves szén használják, ha nagy mennyiségben található a szerves szén környezetükben, nem is szaporodnak. Ennél az oknál fogva a szerves szén tartalom, azaz a BOI csökken és a nitrifikációs folyamat csak később kezdődik. Az ammónia-nitrít és a nitrogén-nitrát átalakulás optimális körülményei eltérnek egymástól. Az ammónia-nitrát folyamat pH függő, az ammónia átalakulása 8-9,5 pH között megy végbe a leggyorsabban.

A két folyamat hőigénye is eltérő; a nitrifikáció nem szeretik a hideget, 10 °C alatt a *Nitrosomonas* működése lelassul. De a szerves-nitrogén bomlása ammóniáig (**ammonifikáció**) hidegben is megtörténik, ezáltal 10 °C alatt az ammónia "relatív feldúsul". Ez vezet ahhoz, hogy télen, ugyanolyan terhelés mellett mindig magasabb az ammóniatartalom, mint nyáron. A természetes vizekben szintén tetten érhető a jelenség. Az ammónia Dunában mért nyári átlagértéke 0,5 mg/l, míg a téli értékek elérik a 3 mg/l koncentrációt is.

Az ammónia-nitrát átalakulás pH és hőfok függésén túlmenően a reakciók időigénye is eltérő. Sokkal gyorsabban szaporodik el a *Nitrobakter*, mint a *Nitrosomonas*, az ammónia-nitrát átalakulás mindig lassabb folyamat, mint a nitrít-nitrát szakasz. A nitrít a vizes rendszerekben soha nem szaporodik fel, mert rögtön tovább bomlik nitráttá és így csak kis mennyiségben, átmenetileg mutatható ki.

Az **azotobakter** és a **cellulóz bontó baktériumok** között szintén metabiózis viszony áll fent. A talajban a cellulóz adja a leggazdagabb szénforrást. Az azotobakternek nitrogénmentes vegyületekre, közöttük cellulózbontási termékekre van szüksége, hogy képes legyen lebontani a cellulózt. A cellulóz bontó baktériumok szállítják az azotobakter számára a cellulózszármazékokat. Ha ezek a bontási termékek felhalmozódnának a talajban, akkor a cellulózbontók károsodnának tőle. Szerves savak okoznák a károsodást, melyek akadályozzák a cellulózbontók anyagcseréjét, azonban az azotobakter ezeket a szerves savakat lebontja széndioxidra és vízre.

Tehát a cellulózbontási termékek az azotobakter számára szénforrásként igen fontosak, de már bizonyos fokban a szimbiózis jellegét adja az a körülmény hogy a szerves savak felhasználása előnyt jelent a cellulózbontóknak, mérgezésmentes környezetet biztosítva nekik a további cellulózbontáshoz.

29.2. Antagonizmus, Antibiózis

Gale 1887-ben leírta, hogy a *Micrococcus pyrogenes* tenyésztés közben akadályozza a *Bakterium putidumot*. Pasteur a *Bacillus brevis*-ről állapította meg, hogy akadályozza a lépfene

bacilusát. Egyes baktériumok tenyésztésük közben akadályozzák a velük együtt tenyésztett más baktériumok szaporodását. Ezek a megfigyelések arra engednek következtetni, hogy az akadályozási tényező valamilyen anyag és nem táplálkozási konkurencia eredménye. Az első ilyen anyagot a *Pseudomonas pyocyanea* tenyészetéből nyerték és a **pyocianáz** nevet adták neki. Enzim természetű anyag, tekintve, hogy **lizáló** tulajdonságát állapították meg. Felhasználása főként az első világháborúban bizonyult hasznosnak, a gennyes sebek fertőtlenítésére használták. Belsőleg, toxikus tulajdonsága miatt gyakorlatilag nem volt felhasználható, vagy csak igen kis mértékben. A szovjet Nahivovszkaja több *Actinomyces*-nél figyelte meg ugyan ezt a jelenséget. Számos kutató több penészfajnál állapított meg hasonló gátló tulajdonságot. Egy véletlen során új lendületet kapott e terület kutatása. 1929-ben egy angol mikrobiológusnak, Flemingnek véletlenül befertőződött egy szilárd táptalajon tenyésztett *Staphylococcus* kultúrája *Penicillium notatum*-mal. A kifejlődött gombatelepek mellett kipusztultak a *Staphylococcus aureus* telepek. A *Penicillium notatum* valamilyen baktériumölő anyagot juttatott a tenyészetbe. Bebizonyosodott, hogy a baktériumölő anyagot a gomba termelte. A gombának a vegyület termeléséhez megfelelő tenyész körülményekre van szüksége. Sajnos az anyag meglehetősen hőmérsékletfüggőnek (**termolabilisnak**) bizonyult, így több mint 10 évig nem sikerült izolálni. 1940-ben négy oxfordi kutató közös munkájának eredményeként áthidalták a nehézségeket és feltárták a szerkezetét. Fermentléből szerves oldószerrel extrahálták a hatóanyagot és átvitték vízbe, azután 40 °C hőmérsékleten bepárolták. A kapott anyag sárga színű volt, mely száraz hűvös helyen pár hónapig eltartható volt. Az anyagnak a penicillin nevet adták. Kezdetben főleg csak háborúban sérült katonáknak adták, de olyan kevés állt rendelkezésre belőle, hogy a vizeletből visszafogták új extrakcióra. A penicillin főként **Gram-pozitív** baktériumok ellen használható, de **coccusoknál Gram-negatívok** ellen is eredményes. Nagyon érdekes hogy az igazán jól használható antibiotikumok nem a penészgombák közül kerülnek ki, hanem a *Streptomyces*-ek közül. A legjobban ismert ezek közül a *streptomycin*, amit Waksman a híres talajmikrobiológus és társai izoláltak. 1944-ben a Waksman és Henrici által *Streptomyces griseus* sugárgomba egyik törzséből. A *Streptomyces griseus* cukrokat, keményítőt bont, a zselatint folyósítja. Oldékony pigmentet képez. Aerob. Streptomycint növényi fehérje, vagy fehérjeszármazék jelenlétében 25-28 °C-nál képez a termelésre alkalmas törzs. Tőzegben, talajban, sekély vizek parti részén, valamint porban egyaránt előfordul. Az antibiotikumok felfedezése az orvostudomány egyik hatalmas lépése a mikrobák elleni védekezésben. Azonban figyelembe kell venni, hogy a korábban 7-8 éve bevezetett antibiotikumokkal szemben is veszélyes mértékben kialakult egyes baktériumok rezisztenciája. Meg kell említeni, hogy a rezisztensé vált baktériumok elleni védekezés az újabb és újabb antibiotikumok felkutatását követeli meg; azonban az is igaz, hogy a rezisztensé vált törzseknek más antibiotikumokkal szemben fokozódik az érzékenységük. Az antibiotikumok több területen is elterjedtek, gondoljunk pl.: a gyógyászatban alkalmazott készítményekre, vagy az állattakarmányozásra, ahol szintén kezd egyre elterjedtebb lenni, vagy akár a legújabb növényi kutatásokra, amelyekkel lehetséges a növényi kórokozók, a növényi kártevők ellen is sikeresen fellépni. Egyes génkutatásokkal akár maguk a növények állíthatják elő maguknak a fertőzések és kártevők ellen a védekezéshez szükséges anyagokat, antibiotikumokat. Azonban felmerül néhány igen fontos kérdés: a felhasználható antibiotikumok megfelelő koncentrációban ártalmasak-e a növényre, a másik fontos kérdés az, hogy a növénybe jutott antibiotikumnak milyen következményei vannak, elraktározódik-e, valamint ha elraktározódott, akkor a növény fogyasztásának milyen következményei vannak az élő szervezetekre? Ezek az ún. génmódosított fajok (GMO : Genetically Modified Organism) használata számos, indokolt vitát vált ki a szakemberek és laikusok között egyaránt.

29.3. Szimbiózis

A szimbiózis a kölcsönös hasznosságon alapuló együttélés. Különböző csoportokra osztható fel:

1. Baktériumok és baktériumok között, valamint baktériumok és egyéb mikroorganizmusok között.
2. Gombák és algák között.
3. Baktériumok és növények gyökerei között.
4. *Actinomycesek* és növények gyökerei között.
5. Gombák és növények gyökerei között.
6. Állatok (belsőszervek) és mikroorganizmusok között.

Az első pontban feltüntetett szimbiózisra példa a cellulóz-bontó baktériumoknak más baktériumokkal való együttélése. A cellulóz-bontást ilyen típusú szimbiózisban egyidejű denitrifikációval anaerob körülmények között két fajta baktérium hajtja végre, az aerob **cellulóz-bontó** és az anaerob **denitrifikáló** baktérium. A cellulóz fontos szénforrás, a cellulóz-bontó a cellulóz bontási termékeiből biztosítja a denitrifikáns számára organikus szénforrást, a denitrifikáló baktérium cserébe az aerobnak szükséges oxigént kap (N_2O : „kélgáz” formában). Az említett *Azotobacter* és cellulóz-bontók közötti kapcsolatot is több mikrobiológus ilyen vonatkozású szimbiózisnak tekinti. Az együttélés egy fajtája a fák széttroncsolását végző gombák és egyes baktériumok között fennálló szimbiózis, melyben a baktériumok biztosítják a gomba fejlődéséhez szükséges organikus anyagot, a gomba pedig lebontó tevékenysége révén szénforráshoz juttatja a baktériumokat.

A gombák és algák közötti szimbiózisra a legmegfelelőbb példa a moszatok és gombák között kialakult igen szoros együttélés. A zuzmók egysejtű vagy fonalas kék- vagy zöldmoszatok és főként tömlősgombák együttéléséből kialakult szervezetek. A fotoszintézisre képes moszatsejtek autotróf, a gombafonalak heterotróf anyagcserét tesznek lehetővé. Ismerünk olyan zuzmókat, amelyekben a moszatsejtek és a gombafonalak szabadon élnek egymás mellett. Például a kocsonyás zuzmófajok. Léteznek olyan fajok is, amelyekben a moszatot szorosan közrefogó **hifafonalak** mélyen behatolnak a sejtek belsejébe. Más típusukban a moszatsejteket a gombafonalak lazán közrefogják, például számos kéregzuzmó esetében. A zuzmók teleptestét kívülről tömören rendeződött micéliumból álló gombakéreg védi. Főleg ivartalanul, leváló teleprészletekkel, **izidiumokkal**, **szorédiumokkal** szaporodnak. A zuzmó heterotróf részei a gombafonalak, autotróf részei pedig a kékbaktériumok vagy a zöld moszatok.

A legismertebb szimbionták a *Rhizobiumok* (*Bacillus radicola*, *Bacterium radicola*, gyökérgumó baktérium), melyet először Beyerinck izolálta tiszta kultúrában 1888-ban. A *Bacillus radicola* egy nitrogénkötő baktérium, mely a **pillangósok** gyökerein él. Hellriegelnek sikerült bebizonyosítania, hogy a hüvelyesek gyökérzetén képződött gumócskák az előidézői a talaj termékenyebbé válásának, mivel a népi hagyomány is úgy tartotta, hogy a hüvelyesek termesztése után a talaj termékenyebb. Ezek a gumócskák a talajból behatoló baktériumokkal vannak tele. A baktériumok a sejthártyákat helyileg feloldják, ennek következtében a környező szövetek gyors burjánzásba kezdenek. Így képződik a növény gyökerein a gumó, amelynek növényi sejtjei továbbra is élnek. A gumót alkotó baktériumok eleinte parazita módon élnek együtt a növényvel, azonban később a levegő szabad nitrogénjét oly mértékben kötik meg, hogy a növény számára is bőségesen biztosítják azt. A hüvelyes

növények a szimbiózisnak, tehát a magas nitrogénfelvételnek köszönhetik magas tápértéküket.

A gyökérszimbiózis egyik következő lehetséges kialakulása a mykorrhiza gomba és a növény gyökere között létrejövő együttélés. A **mykorrhiza** elnevezést Frank 1885-ben írta le először, német erdőkkel kapcsolatos munkájában. A mikorrhizák főbb típusai az **arbuszkuláris, ekto- és ektendo-mikorrhizák**, valamint elkülönítették a gazdanövények alapján az **arbutoid-, erikoid- és orchid-mikorrhizákat**. Az egyes típusokra jellemző, hogy milyen gomba taxon és növénycsoport képi őket. A mykorrhiza fő funkciója a növény szempontjából a humusz ammonifikálása. Sok növényről vannak mikorrhizáltságukra vonatkozó adatok, de annak a tulajdonságnak, hogy egy növény képez-e mikorrhizát, és ha igen, milyen típusút, mind az egyed, mind az egyed feletti szinteken megnyilvánuló magas variabilitása miatt sok információra lenne még szükség, hogy alaposabban megismerjük különböző típusainak gyakoriságát. Erre a típusú szimbiózisra jó példa a bükk mykorrhizája, melynek jellegzetessége a korall alakú gyökércsúcs, valamint a gyökércsúcsot körülölvő gomba.

Az égerfák (*Alnus sp.*) és ezüsfák (*Elaeagnus sp.*) gyökerein bizonyos *Actinomycesek* élnek szimbiózisban (pl.: *Actinomyces alni*). Ezek nitrogénkötő sugárgombákhoz tartozó baktériumok. Az általuk létrehozott gumókat rhizothamiumoknak, gyökérdaganatoknak vagy gombalakásoknak nevezik. A gyökérgumóknál nagyobb, ökölnyi nagyságú képződmények. A szimbiózisnak számos típusa ismert főleg a cellulózbontó baktériumok között, a cellulózt fogyasztó rovarok bélfalában. Az *Azotobakter*hez hasonló szervezetek alkotják ezt az igen jelentős szimbiózist. Ennél is fontosabb azoknak a mikroorganizmusoknak a szerepe, amelyek bizonyos állatok **bélflóráját** alkotják. Az állatok egyes béltraktus-szakaszainak lumenjében élő mikroszervezetek egészséges bélműködés esetén létfontosságú feladatot látnak el. Az emlősök esetén ezek a baktériumok főként az első táplálkozás során jutnak a béltraktus megfelelő szakaszaiba, a bélbe, vagy a gyomorba. A bélbaktériumok közül kiemelendő az *E. coli* bélbaktérium, amely a meleg és hidegvérű állatok, valamint az ember bélrendszerében is jelen van. A bélbaktériumok szabályozzák a lebontási folyamatokat, valamint a K-, B₆-, B₁₂-vitaminok szintetizálását. Ezen vitaminok fontossága megkérdőjelezhetetlen, de sem az állatok, sem az ember önmaga nem képes szintetizálni. Az *E. coli* ezen kívül gátolja a rothasztó baktériumok tevékenységét, ezzel egyensúlyt alakítva ki a gyomor illetve bélrendszerben. Egyes esetekben parazitaként van jelen a szervezetben. A bélben és húgyutakban jelen lévő *E. coli* krónikus hasmenést és magas lázas állapotot vált ki. A cellulózbontó baktériumok jelentőségét a kérődző állatok táplálkozásának hatékonyabbá tétele is bizonyítja. A szimbiózis e típusában az anaerob cellulózbontók a kérődzők bendőjében, a lovak, valamint a sertések vakbelében vannak jelen. Ezeknek az emlősöknek nincsen külön a cellulózbontásra specializálódott enzimük, tehát a baktériumok jelenléte elengedhetetlen. A cellulózbontáson túl a baktériumok hozzájárulnak a kérődzők fehérjeszükségletének kielégítéséhez is, hiszen nagy tömegük és állandó szaporodás jellemzi őket.

29.4. Mikroszervezetek parazitizmusa

A mikrobák parazita tevékenységének egyes formái mind az állatokon, mind a növényeken lényegesen különböző. Az orvosi mikrobiológia határozott fokozati különbséget tesz az élősködő (**parazita**) és kórokozó (**patogén**) fajok között, tehát lehet parazita egy mikroorganizmus, de nem vált ki kóros elváltozást. A növényvilág sokszínűségét bizonyítja, hogy a baktériumok, vírusok és a gombák között is találunk növényi parazitákat (pantogéneket). Legnagyobb jelentőségük a gombáknak van, tekintve változatos fejlődésüket

és számukat. Kevésbé jelentősek a baktériumok és a vírusok. A vírusos növényi megbetegedések száma nagyobb, mint a bakteriális megbetegedéseké. A baktériumos megbetegedéseket a kiváltott hatás szempontjából négy csoportra osztjuk fel:

1. Nedves rothadás
2. Vezető edénnyalábok megbetegedése
3. Tumoros megbetegedés
4. Lokális léziók, foltosság

Nedves rothadás következtében a kiváltó baktériumok extracelluláris enzimjeikkel kioldják a megtámadott növény sejtjeit összetartó pektinállományt, ennek következtében szeparált növényi sejthalmaz keletkezik. A felbomló sejtekben megtelepednek a szaprofita baktériumok és gombák is. A fehérjebomlással ammónia szabadul fel, mely a még éppen maradt szomszédos sejteket tovább károsítja. A rothadó növényt jellemzi a kellemetlen szag. A szag azonban nem a kór folyamatot kiváltó tevékenység következtében jön létre. Ezt úgy derítették ki, hogy a kór folyamatot kiváltó baktériumokkal izoláltan fertőztek, és ekkor a szag nem volt észlelhető. A szag másodlagos fertőzésből ered, azonban mivel a természetben nincsen izolált állapot, így hozzá tartozik a kór folyamathoz.

A vezető edénnyalábok megbetegedése úgy következik be, hogy bizonyos kórokozó baktériumfajok behatolnak, ott elszaporodnak, és a szaporodásuk következtében elzárják a nedvkeringést. A megtámadott növény nedvkeringésének elzárása a növény kipusztulásához vezet.

A növény merisztéma-szövetébe behatolt baktériumok tumoros megbetegedést okoznak. Sejtnövekedési anyagot termelnek, aminek hatására képződik a daganatos vagy tumoros elváltozás. Az elváltozás mérete a növény fogékonyságától illetve a kórokozótól függ. Számos kísérletet végeztek annak kiderítésére, hogy a növényi illetve állati tumor között van-e bármiféle kapcsolat, azonban az állati, emberi tumor létrejöttét sokkal bonyolultabb körülmények eredményezik.

A növényen a baktérium behatolási helyén bizonyos lokális lézió, foltosság alakul ki, pl. a levélen keletkező foltok is baktérium okozta növényi elváltozások.

A bakteriális és vírusos növényi megbetegedésekért a leggyakrabban a rovarok tehetők felelőssé. Általában mechanikailag terjesztik a fertőző baktériumot és vírust azáltal, hogy rágószerveikkel roncsolják a növényt. Épp növények is fertőződhetnek, a talajvíz által. A talajban lévő fertőzött víz a növény gyökerein szívódik fel. A víz mellett egy másik gyakori hordozó a szél, amely főleg bakteriális fertőzések terjesztésében jelentős, vírusok terjesztőjeként kevésbé gyakori. A vírusok akár a pollennel is terjedhetnek.

A növény megromcsolt felületén megjelenhetnek gombás fertőzések. A gombás megbetegedések előfordulásának lehetősége a növény legyengülésével, előregedésével egyenes arányban megnövekedhetnek. A parazita jellegű gombák sok esetben az egészséges növényt támadják meg. A támadás a sztómán, epidermiszen, virágzaton, és gyökérzetén egyaránt előfordul, gyakori jelenség.

Két fő típust különböztethetünk meg: **ekto- és endoparazitákat**. A két fő típus között sok átmenetet ismerünk. A lisztharmat-félék tipikus endoparaziták, melyek a növényeken élnek és a kutikulán keresztül bocsátják be a növénybe a hausztóriumait. Az endoparaziták a növények intercelluláris járataiban élnek, és innen bocsátják hausztóriumait a sejtekbe. Az élősködő gombák legnagyobb része endoparazita. A gombák parazitizmusának két szélsőséges fokozatát ismerjük. Megkülönböztetünk alkalmi parazitákat, valamint a szigorú, vagy obligát élősködőket. **Pleofág** parazitának nevezzük, azokat az élősködőket, melyek nem válogatnak a növények között. Variációs statisztikával lehet kiértékelni, hogy egy gombafaj a pleofág parazitáktól eltérően differenciáltságot mutat-e a különböző növények

megtámadásában. A mikrobák spontán mutációja miatt gyakran olyan újabb változatok alakulnak ki, amelyek az addig rezisztens fajokat is megtámadják.

További fokozatot jelent a gazdanövény változásával, vagy **gazdacserével járó parazitizmus**. A legismertebb a rozsdagombák közé tartozó fekete rozsdá (*Puccinia graminis*) parazitizmusa. A fekete rozsdagombának a talajban áttelelt spórája tavasszal a diploid teleutospórából kicsírázva redukciós osztódás után létrehozza a bazidiospórákat, amelyek a szél útján a sóska borbolya levelei felső részére jutva kicsíráznak. A fertőzés után piknidium-forma keletkezik, és létrehozza a piknokodiumokat. A piknokodiumok ellentétes jellegű (negatív) hifákkal egyesülnek. Az ezekből létrejött aecidium az egysejtű, de kétmagú dikarionta aecidiospórát hozza létre. A fekete rozsdagomba ebben az életsiklusban gazdacserét hajt végre. Az aecidiospórák már nem a sóska borbolyát támadják meg, hanem a búzát. A búzán kifejlődő uredotelep és az általa létrehozott spóra ismételt fertőzi a gabonaféléket. Az uredotelepek a mérsékelt övben ősszel tartós, ellenálló teleutospórát hoznak létre. A feketerozsda strukturális átalakulása lehet az ok, amiért gazdacserét hajt végre.

A **ciklusos parazitizmus** képezi a parazitizmus legmagasabb fokát. Ezek a gombatípusok télen a növény áttelelő részén fennmaradnak, tavasszal elszaporodnak, aztán spórát termelve fertőzik a növény más részeit. Ilyen fertőzési menete van például a *Phytophthora infestans*-nak, a burgonyavész előidéző parazita gombának. A fertőzést a sporangiumok, illetve zoospórák viszik át a beteg lombrészekről az egészséges gumókra. A gumók megfertőzésével képes átvészelni a téli időszakot. Tavasszal az áttelelt micélium a gumó felületén sporidiumot termel, ahonnan a szél vagy a víz segítségével jut a levélzetre és kezdi meg újbóli ciklusos fertőzését.

A növények fejlődésük során képesek voltak kialakítani a sajátos védekezési rendszerüket. Például a burgonya úgy védekezik a burgonyavarasodást kiváltó sugárgomba (*Streptomyces scabies*) ellen, hogy paraszövetet fejleszt. Ezen felül a növények képesek fungicid vagy baktericid növényi mérgeket előállítani. Ezek a vegyi anyagok gátolják a mikroszervezetek behatolását a növényi szervezetbe. Azonban nem ismerünk a növényvilágban a növényeknél magasabb rendű élő szervezetnél ismert immunizálási mechanizmus. Patogén gombák illetve baktériumok ellen nem csak természetes védekezési mechanizmusokkal léphet fel sikeresen a növény. Ellenálló fajokat keresztezéssel is létre lehet hozni.

Habár nem mikroba, jelentősége miatt említést kell tenni a parazita, filoxéra rovarról (*Viteus vitifoliae*), amely egy talajban lakó törpetetű. 1875 – 1897 –ig hazánk nagy múltú szőlőkultúrájának több mint a fele kipusztult járványszerű elterjedése miatt (filoxéra vész). Ezután terjedt el az amerikai rezisztens alanyfajtákra történő oltás.

30. A növényi gyökér és a mikrobák kapcsolata (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A növényi gyökér úgy fejlődik ki, hogy a gyököcske kilép a magból, behatol a talajba, majd átalakul gyökérré. A gyökérre jellemző a gravitropizmus, azaz igyekszik a föld gravitációs központja felé nőni, illetve hiányoznak róla a szárcsomók és nincsenek rajta levelek. Ezt nevezzük a növény valódi gyökerének. A nem valódi gyökereknek általában támasztó szerepük van. Ilyenek a léggyökerek, támasztógyökerek. Ezek azonban a hajtásból fejlődnek ki és nem a csírából.

A gyökér felépítése:

Hosszmetszetben:

- gyökérsüveg (a tenyészőcsúcs védelmét látja el)
- tenyészőcsúcs (osztódó sejtekből épül fel)
- megnyúlási zóna (itt a legerőteljesebb a sejtek hosszirányú növekedése)
- felszívódási zóna (gyökérszőrök megjelenése)
- szállítási zóna (a felszívott anyagok innen jutnak a szár szállítónyalábjaiba)
- elágazási zóna

Keresztmetszetben:

- bőrszövet
- alapszövet
- központi henger

Szerepe:

- rögzítés
- víz - és tápanyagfelvétel
- víz - és tápanyag raktározás
- vegetatív szaporodás (gyökérsarjak)
- levegőztetés
- rizoszféra életközösségének szabályozása

30.1. A rhizoszféra

A **rizoszféra** a növényi gyökerekhez közel található talaj, melyet a gyökérzet befolyásol. Ezt a részt tekinthetjük a talaj legaktívabb részének mikrobiológiai szempontból. A gyökér környezetében a mikrobák felszaporodnak, aktivitásuk növekszik. A gyökérexudátumok befolyásolják a mikroorganizmusok számát, aktivitását valamint összetételét, ugyanakkor a mikrobák is visszahatnak a gyökérre, az összetételét befolyásolva. Számuk a gyökércsúcs alatti részen, a hajszálgyökereknél, és a gyökérelágazásoknál számottevő.

A **rhizoplán** a gyökér közvetlen felületén kialakult nyálkaréteg. A nyálkaréteg 1-10 mikrométer vastag, a megnyúlási zónában a legvastagabb. Feladata a kapcsolatteremtés a tápanyagáramlás számára, illetve védelem a szárazság és a mikroorganizmusok ellen. A nyálkaréteg főként szénhidrátokból, aminosavakból, szerves savakból áll. Ezek a vegyületek tápanyagforrást jelentenek számos mikroorganizmus számára, melyek ezért a nyálkaréteget kolonizálják, de lebonthatják az élő vagy elhalt gyökérsejteket is. Azokat a mikroorganizmusokat, amelyek kolonizálják a gyökér belső terét **endofitáknak** nevezzük.

Emiatt a gyökér környékén a csíraszám mindig magasabb, mint a talaj más részein. Ezt nevezzük pozitív **rhizoszféra-effektusnak**. Egyes mikrobák számára azonban a gyökér kémiai környezetként negatív hatású, a csíraszám kevesebb, ez a negatív rhizoszféra-effektus. Ezek a kapcsolatok nem csak károsak vagy közömbösek lehetnek, hanem hasznosak is. Számos mikrobafaj él a növényi gyökérrel kölcsönösen előnyös szimbiózisban. Ezen belül megkülönböztetünk obligát szimbionta mikrobákat, (pl endomikorhiza gombák), „segítő” baktériumokat, melyeknek szaporodási helyet nyújtanak a gyökerek egyes részei, illetve vannak olyan mikrobaközösségek, amelyek lazábban kapcsolódnak a gyökerekhez.

30.2. A mikroorganizmusok szerepe a gyökérrendszerben

30.2.1. Tápanyagellátás

A rhizoszférában kiválasztott szerves anyagok nem csak tápanyag forrást jelentenek, hanem kémiai ingert is. Sok esetben a **flavonoidok** a gyökérexudátumok aktív komponensei. A flavonoidok más csoportja pedig gátolja a patogén gombák megtelepedését a gyökérzet közelében. A tápanyagfelvétel két hatásra vezethető vissza. Egyrészt serkentik a tápanyagok feltáródását, mobilitását, másrészt közvetlenül növelik a tápanyagfelvételt. 1948-ban Gerretsen, 1959-ben Katznelson és Bose mutattak rá, hogy az inokulált baktériumok segítették a foszfor felvehetőségét. A nem oldódó foszfátot oldhatóvá tették és serkentették a szerves foszfátok mineralizációját. A búzát inokulálva figyelték meg, hogy a gyökércsúcs mögötti rész nagyobb mértékben növekedett, a gyökérszőrök felülete megnőtt, ami a tápanyagok erőteljesebb felvételét segítette. Egy újabb kísérlet eredményei szerint a *Pseudomonas putida* törzs által indukált talajon nőtt a foszfor felvétele és számottevően emelkedett a hajtás és a gyökér foszfor tartalma is. Szántóföldi körülmények között azt állapították meg, hogy az erőteljesebb gyökérnövekedés fokozottabb tápanyagfelvételt okozott.

30.2.2. A sziderofor termelés

A **szideroforok** mikrobák által termelt kis molekulájú szerves vegyületek, amelyek vasat kötnek meg úgy, hogy más szervezetek nem képesek hozzájutni. A vas fontos szerepet játszik a mikroorganizmusok anyagcseréjében. Ennek ellenére nagyon kis mennyiségben fordul elő a környezetben. A talajban található meg a ferri-oxihidrox polimerek oldhatóságának következményeként. Ezeknek a vegyületeknek az oldhatósági együtthatója nagyon alacsony ($K_{old}=10^{-38}$). Ennek következtében semleges pH-nál a vas koncentráció 10^{-17} M, holott az a koncentráció, amely még lehetővé teszi a normális növekedést a 10^{-16} M. Emiatt a vas az egyik legfontosabb tényező a mikrobaközösségek élőhelyének meghatározásában. Így az ilyen közegben azok a fajok képesek fennmaradni, amelyek a legjobban tudták kifejleszteni vas-szerzési mechanizmusukat.

A mikroorganizmusok háromféleképpen tudják az oldhatatlan vas(III) -t oldhatóvá tenni: protonációval, redukcióval és kelátképzéssel. A protonáció az egyensúlyi állandó eltolásával a $Fe(OH)_3$ komplexek disszociációjának növekedését eredményezi. A vas(III) vas(II)-vé alakítása egy adott pH-n a kétértékű vas jelentősebb oldhatóságát jelenti. A kelátképzésen a szideroforok termelését értjük, amelyeket leginkább a mikroorganizmusok folytatnak. Ez az egyik legjobban elterjedt stratégia a tápanyagszerzésben.

Majdnem minden aerob és fakultatívan aerob baktérium termel sziderofort, a különbség csak az előállítás intenzitásában van. A mikrobák által kiválasztott sziderofor nagy intenzitással köti meg a vasionokat, ezáltal megakadályozzák más mikroorganizmusok szaporodását,

ugyanis ezek a mikrobák vereséget szenvednek a vasért folytatott küzdelemben. Ez a folyamat kiemelten fontos a rhizoszférában.

A sziderofor termelés hatékonysága függ a talaj pH értékétől. Ha a talaj pH-ja csökken, a vas jobban fog oldódni, hozzáférhetőbb lesz, illetve nő a mobilitása. Ez a sziderofor termelést csökkentő tényező.

Az egyszerű növények tápanyagfelvételében fontosak a gyökerek által kiválasztott fitoszideroforok. Ezek a rhizoszféra mikrobái számára is kedvező szervesanyagok. Ezért néhány esetben a rhizoszférában élő mikroorganizmusok csökkentik a fitoszideroforok hatékonyságát.

A legjobban elterjedt mikroorganizmusok a fluorescens-putida típusú *Pseudomonas*ok. Ezek két hasonló sziderofort termelnek, a pszeudobaktint és a pioverdint, amelyek UV fényben fluoreszkálnak. Felveszik a vasat, és gátolják más mikroorganizmusok növekedését alacsony vastartalmú táptalajon. A sziderofor termelésének következtében serkentik a növény növekedését.

30.2.3. Növekedést szabályozó anyagok

A növekedést szabályozó anyagokat PGR (plant growth regulator) anyagoknak nevezzük. A rhizoszférában élő mikroorganizmusok nagy része növényi növekedést szabályozó anyagokat termel. Ilyen például az auxin, a gibberellinek, a citokininek és az abszcizinsav. Ezek a növényi hormonok rendszert alkotnak, működésük összefügg; serkentik, vagy gátolják egymás hatását. A kedvező hatás egyik lehetséges módja, hogy a baktériumok által termelt hormonok serkentik a növény növekedését, anyagcseréjét, ezáltal a biológiai produkciót is. Fallik 1994-ben kimutatta, hogy *Azospirillum* indukálást követően csökkent a gyökerek kötött az auxin tartalom, míg emelkedett a szabad auxin szint. Az egyik pozitív hatás tehát a serkentő hormonok termelése. Ugyanakkor azt is felfedezték, hogy bizonyos *Pseudomonas* fajok gátolják az etilén képződését az amino-ciklopropán-karbonsavból. A növényi hormonok termelése fajspecifikus, mely függ a környezet és a tápoldat feltételeitől.

Auxin

A *Pseudomonas*ok jelentős törzse képes indolecetsavat (auxint) termelni. Általában a hajtás tenyészőcsúcsokban képződik és innen a megvilágítással ellentétes oldalon halad lefelé a szárban. A gyökerek hosszanti növekedésének és a gyökérszőrök növekedésének serkentésével segíti elő a növények fejlődését.

Gibberellin

A gibberellinek (gibberellinsav, GS) tertaciklikus diterpénsavak, melyeknek egy ent-helyzetű gibberellán gyűrűrendszerük van. A leggyakoribb gibberellin a GS₃, amely egy gomba, a *Gibberella fujikuroi* terméke. A növényekben előforduló legtevékenyebb gibberellin a GS₁, amely a hajtás és a tönk megnyúlásáért felelős. Számos gibberellin a hajszálgyökerek növekedését is stimulálja. Ma már több mint 89 gibberellin ismert, melyeket felfedezésük sorrendjében számozták meg GS₁-től GS₈₉-ig. A gibberellinek nem csak a növekedést serkentik, hanem gyorsítják a virág kifejlődését és növelik a méretét. Magas szintjük megzavarja a virágok ivarának kialakulását, és gyorsítja a magvak csírázását.

Citokininek

A citokininek purinvázis vegyületek, melyek serkentik a sejtmegnyúlást, szabályozzák az organogenezist, serkentik a kloroplasztizok érését, jelzik a növény N-ellátottságát és szabályozzák az öregedést. A gyökérből szállítódnak a levelekbe.

Abszcizinsav

Az abszcizinsav minden növényi részben előfordul, szeszkviterpén szerkezetű molekula. Szerepet játszik a mag és a rügyek nyugalmi állapotának kialakításában, befolyásolja a mag érését, gátolja az idő előtti csírázást. Elősegíti a kiszáradás elleni tolerancia kialakulását, vezérli a fejlődő magvak tápanyag-felhalmozását, akadályozza a GS-indukált enzimtermelődést, zárja a sztómákat a víz-stresszre adott reakcióban, gyökérnövekedést vált ki és szármegnyúlást akadályoz alacsony vízpotenciál esetén. Fokozza a járulékos gyökérképzést, hozzájárul a levélöregedéshez, előidézi a szervek leválását, és virágzást okoz néhány RN növénynél nem induktív feltételek között.

30.2.4. Antibiotikum termelés

Az antibiotikumok mikroorganizmusok által termelt másodlagos metabolitok, melyek képesek más mikroorganizmusokat elpusztítani, vagy fejlődésüket akadályozni. Természetes antibiotikumok termelését a baktériumok között leginkább a különböző *Bacillus* és *Pseudomonas* fajoknál figyeltek meg. A *Bacillus* nemzetség által termelt antibiotikumok száma ma közel 700. E nemzetség fajai közül a *B. subtilis* a legtermelékenyebb. Több mint hetvenféle antibiotikumot állít elő ez a faj. Számottevő antibiotikumot termel a *B. brevis*, a *B. licheniformis*, a *B. pumilus*, a *B. polymyxa*, a *B. circulans*, a *B. cereus*, és a *B. laterosporus* is. A *Bacillus* fajok által termelt antibiotikumokat széles körben használják fel az orvostudományban, az élelmiszeriparban valamint a mezőgazdaságban. Ezeknek az antibiotikumoknak a többsége polipeptid, főleg Gram-pozitív fajokkal szemben hatékonyak, bár egyesek kizárólag a Gram-negatív fajoknál eredményesek.

30.2.5. Gyökérgümő képződése a Rhizobiumok jelenlétében

A gyökérgümőképző Rhizobium fajok a pillangósvirágú (például: bab, borsó, lóhere) növényekkel szimbiózisban élnek. A Rhizobium fajok elszaporodnak a rizoszférában a pillangósvirágúak által előállított specifikus másodlagos anyagtermékeket (flavonoidok, betaine) tartalmazó gyökérváladékok hatására. A növényi szekunder metabolitokat a Rhizobiumok receptor molekulaként észlelik, amelyek a nodulációt (gümőképzést) megindító NodD transzkripció aktivátort indítják be. A transzkripció faktor hatására a gümőképzésért felelős Nod gének átíródnak és a nodulációt indukáló Nod-faktorok szintetizálódnak. A Nod-faktorok jelenlétében a baktériumok a gyökérszőrközkhöz kötődnek. Ebben jelentős szerepe van a receptorként működő glikoprotein természetű növényi lektinnek és a bakteriális rikadhezinnek. A növények a talajba triptofánt juttatnak, a Rhizobiumok ebből auxint képeznek, amely miatt a hajszálgyökerek deformálódnak, elhajlanak. Ezután a baktériumok endocitózissal bejutnak a hajszálgyökerekbe, majd ott a növény által létrehozott infekciós fonálba kerülnek és a kéregsejtek sejtmagjaig hatolnak. Az infekciós fonálból kijutott baktériumok megnőnek és membránnal övezett bakteroidokká fejlődnek. A bakteroidokat tartalmazó növényi sejtekben növényi hormonok indukálódnak, a sejtek osztódni kezdenek és így alakulnak ki a gümők, amelyek szabad szemmel is észrevehetőek a növényi gyökereken.

A növényi sejtekben osztódó obligát aerob bakteroidok, amelyek a nitrogénkötést hatékonyan végzik, morfológiailag is eltérnek az eredeti baktériumsejtektől, ugyanakkor azoknak a többszörösére is megnőhetnek. A gümőkben a nitrogenáz enzim hatására, a leghemoglobin jelenlétében megindul a nitrogénkötés. A funkcionális gyökérgümők mindig pirosak a hemoglobinhoz hasonló leghemoglobin miatt. A leghemoglobinnak az a feladata, hogy oxigént szolgáltat az energiaigényes nitrogénkötés folyamatához, valamint a gümőkben a nitrogenáz működéséhez szükséges redukzív körülmények is biztosítottak, hiszen az oxigén parciális nyomása mélyen alatta marad az aerob elvárásoknak. A szimbiózis bizonyítéka,

hogy a leghemoglobin szintéziséhez mindkét szervezet hozzájárul, a bakteroidok a protohem részt szintetizálják, és a növény citoplazmájában fűződik rá a növény által szintetizált globuláris apoprotein.

Gümőképzést tapasztalhatunk egyes kétszikű fás növényeknél is, amelyek nitrogénkötő aktinobaktériumokkal alakítanak ki kölcsönös együttélést. A Frankia nemzetségbe tartozó aktinobaktériumok megtalálhatók az *Alnus*, *Eleagnus*, *Hippophäe*, *Rhamnus* és a *Casuarina* gyökérgümőiben. Szimbiózis kialakulhat levélgümőket képező baktériumok (*Klebsiella*) és egyes trópusi növények (*Psychotria*) között, illetve gyökérgümőképző cianobaktériumok (*Anabaena*, *Nostoc*) és nyitvatermők (*Cycas*, *Macrozamia*, *Encephalarctos*) között is.

30.3. Biotrágyák

A biotrágya olyan készítmény, amely olyan mikroorganizmusokat tartalmaz, melyek fontosak a talajéletben és a növények tápanyagellátásában. Alkalmazásukkal, olyan mikroorganizmusokat juttatnak a talajba, amelyek egyébként is ott élnek, csak számuk nagymértékben lecsökkent a mezőgazdaság kedvezőtlen hatásai miatt. Ezek a baktériumok szerves anyagokat választanak ki, ugyanúgy, mint a talajban élő többi élőlény. Aktív talajélet esetén a baktériumok által kiválasztott szerves anyagok oldhatóvá teszik az egyébként oldhatatlan anyagokat, amit a növény is képes felvenni. Így a növényeknek kevesebb szerves anyagot kell kiválasztaniuk, több marad a növényben, ami fokozza a növény növekedését. A biotrágyáknak is szükségük van utánpótlásra, amiből a baktériumok pótolhatják tápanyagforrásukat. A biotrágyák egy kisebb csoportja azzal a tulajdonsággal is bír, hogy hatékonyan bontják a talómaradványokat, vagyis a növények számára is felvehetővé alakítják az elhalt növényi részekben felgyülemlett tápanyagokat.

A Magyarországon forgalmazott biotrágyák több baktérium törzset tartalmaznak. Valamennyiben megtalálható az *Azotobacter* faj, amely képes megkötni a levegőben lévő nitrogént, és a baktérium későbbi mineralizálódásával a megkötött nitrogént a növény számára felvehetővé tenni. A nitrogén megkötéséhez a baktériumnak oxigénre és energiára van szüksége, azaz elengedhetetlenek a talajviszonyok. A nitrogén-kötőket ebben a folyamatban az élőhelyük szerint kategorizálhatjuk, így megkülönböztetünk szabadon-élőket és a szimbiontákat.

„A talajba juttatott baktériumoknak meg kell küzdeniük a talaj természetes (vad), a körülményekhez sokkal jobban alkalmazkodott mikroorganizmusaival. A tápanyagért folytatott versenyben a vasnak van kiemelkedő szerepe. A biotrágyák mikroszervezetei rendszeresen alulmaradnak a vasért vívott versenyben, aminek következményeként a számuk csökken, és készítménytől függően 3 hónap alatt a töredékére redukálódik. Ez nem baj, hiszen képzelje el a Tisztelt Olvasó, milyen következményekkel járna a nitrogén bőség a vegetációs periódus végén pl. a kukoricánál, a napraforgónál, vagy éppen a dohánynál, de a nitrogén bőség akár a búzát is betakaríthatatlanná teheti. A fentiekből az is következik, hogy a biotrágya akkor juttat tápanyagokat a növényeknek, amikor azok leginkább igénylik, az intenzív vegetatív fejlődés szakaszában, és mindezt úgy teszi, hogy nem kell tartani a tápanyagok kimosódásától sem, tehát a tápanyagellátás folyamatossá és harmonikussá tehető” (Lévai, 2010).

30.4. Mikorrhizák

1885-ben Frank írta le először a gombák és gyökerek együttélését. Ezt a jelenséget elnevezte mikorrhizának („gomba-gyökér”). Megfigyelte, hogy néhány fa gyökerein egy sajátos gombabevonat keletkezik, és ezek a gyökerek eltérnek a többitől, ugyanis deformálódott oldalgyökereket képeznek. Az ilyen mikorrhizás növények viszont gyorsabban fejlődnek,

mint a gomba nélküliek, vagyis a gomba kedvezően hat a növényre. Ekkor már azt is sejtették, hogy ez kölcsönösen előnyös mindkét fél számára, ugyanis a gombák termőtest képzése a növényhez kötődik.

1980-ban bizonyosodott be, hogy a Földön élő összes hajtásos növényfajnak legalább 90%-a valamilyen gomba fajjal mikorrhizás kapcsolatban él. Radioaktív vizsgálatokkal bizonyították, hogy a mikorrhizaképző gomba a növény gyökerébe juttatja a talajból felszívott oldatokat, ezzel pótolva a gyökérszőrök feladatát. Mivel az elágazó gombamicélium jóval nagyobb felületű és hosszabb, mint a gyökérszőrök, ezért nagyobb mennyiségű tápanyagot tud felvenni. Ehhez még hozzájárul az is, hogy a gombasejtek képesek olyan anyagokat is lebontani, feloldani és továbbszállítani, amelyeket a növényi szőrök nem tudnak felszívni. A gomba elsősorban a növény vízellátását biztosítja és nehezen felvehető szervesanyagok és ásványi anyagok felszívását segíti. Azt is mondhatjuk, hogy a növények vízfelvételi szerve nem a gyökér, hanem a mikorrhiza.

Azt is kimutatták, hogy az erdőkben a gombafonalak több szomszédos fa gyökerét is összekapcsolják, és ez által egy hálózatot hoznak létre a talajban, amelyen keresztül a növényről növényre történő anyagátadás is megvalósul.

A szimbiózis a gomba részéről azért kedvező, mert a növénytől szerves anyagokat, vitaminokat, növekedésserkentőket kap. A növény és a gomba együtt olyan fehérjék szintézisére is képesek, amelyeket külön-külön egyikük sem termel.

A gomba-gyökér szimbiózisnak morfológiailag és funkcionális szempontból, valamint a résztvevők rendszertani besorolásukat tekintve több típusba sorolhatók. Alapvetően két csoportra osztjuk őket: **endomikorrhizákra** és **ektomikorrhizákra**. A további csoportosítás alapját a gombapartner által képzett morfológiai képletek (osztatlan vagy osztott hifák, vezikulák, arbuszkulumok, köpeny), valamint a szimbiózisban részt vevő gomba- és növénypartner rendszertani hovatartozása képezi.

30.4.1. A vezikuláris-arbuszkuláris mikorrhiza (VAM)

Ez a mikorrhiza típus a legelterjedtebb szimbiózis a gombák és a növények között, ami annak köszönhető, hogy az endomikorrhiza gomba gazdaspecifitása csekély. A szimbiózis létrejöttének esélyét az is növeli, hogy növénypartner híján a hifák akár két évig is élhetnek a gyökérmentes talajban. A szimbiózis kialakulásakor a gombamicéliumok átfonják a gyökér szöveteit, az extraradikális fonalak pedig a gyökér 7 cm-es területében átszövik a talajt. Így fokozzák a gazdanövény felszívó felületét, és a növényi gyökérszövet által befolyásolt rhizoszférát egy összetettebb rendszerré szélesítik.

A mikorrhizagombák hatással vannak a mikroorganizmus közösségek mennyiségére és a minőségére a gyökérfelületen és a gyökér közvetlen közelében is. Ezáltal a gyökér hatása alatt álló rizoszféra kiszélesedik, és a növény-gomba szimbiózis hatása alatt álló mikorrhizoszféráról beszélhetünk. Ez a hatás kölcsönös és sokféle lehet. Régóta ismert, hogy a VAM kolonizáció növeli azoknak a növényeknek a nitrogénfelvételét is, amelyeknek gyökerei nitrogénkötő prokariótákkal élnek szimbiózisban. A legfontosabb ilyen rendszerek a pillangósvirágúak, a Rhizobium baktériumok, az égerfák és a nitrogénkötő Frankia sugárgombák közötti együttélések.

A gyökerek, a nitrogénkötő baktériumok és a gombák között létrejövő hármass (tripartit) szimbiózisban a pillangósvirágúak gyökérgümői fejlettebbek, több nitrogént kötnek meg és juttatnak el a gazdanövénynek, mint a gombapartner nélküliek. Ennek az oka az, hogy a VAM gombák nem csak a gyökér, hanem egyenesen a gümőképző baktérium foszfor- és mikroelem-ellátását is fokozzák. Ez a hatás a foszforstressznek kitett talajokban jobban érvényesül. A tripartit szimbiózisok nem csak az ökoszisztémák növényeinek, hanem a termesztett növények számára is nagy jelentőségűek.

Paulitz és Lindermann 1989-ben leírták, hogy a *Pseudomonas* törzsek akadályozhatják az arbuszkuláris mikorrhiza gombák spóráinak csírázását és csökkenthetik növekedésserkentő hatásukat.

Vázquez számottevő mikroorganizmus csoport hatását tanulmányozta a mikorrhizációs kolonizációra. Sok esetben észlelt pozitív hatást, míg a mikorrhizációs kolonizációra negatívan, még a gombákkal szembeni biokontrollt biztosító mikroorganizmusok sem voltak hatással.

Baktériumoknak táplálékforrást is biztosíthat az extraradikális micéliumtömeg, illetve az elhalt és széteső micéliumok anyaga, ami egy kezdeti csíraszám növekedést okoz a kolonizált gyökér környezetében. Meyer és Linderman felfedezte, hogy a gyökérfelszín össz csíraszama és a rhizoszférában a fakultatív anaerobok abundanciája mikorrhizagomba jelenlétében gyarapszik, míg a *Pseudomonas*ok száma a rhizoszférában fogy.

Amora-Lazcano és Azcón azt kereste, hogy a mikorrhizáció milyen hatással van a nitrogén-transzformáló populációkra, valamint a kén-körforgalomban résztvevő mikroorganizmus közösségekre. Vizsgálataival az ammónium-oxidáló baktériumok számának növekedését mutatta ki.

Christensen és Jakobsen 1993-ban a DNS-szintézis, valamint a bakteriális biomassza csökkenését jegyezték fel, ami összhangban van azzal a megállapítással, hogy a mikorrhizációs kolonizáció csökkenti a gyökérexudátumok termelését.

30.5. Biológiai aktivitás fokozásának módjai

A talajok biológiai aktivitását számos mikrobiológiai talajjellemző együttesen határozza meg, illetve több mikrobiológiai talajvizsgálat alapján tudunk rá következtetni. A talajban élő mikroorganizmusok számát, összetételét, élettevékenységét, vagyis a talajok aktivitását, termékenységet nagymértékben befolyásolja az emberi beavatkozás, így a különböző gazdálkodási módok, az eltérő agrotechnikai faktorok, mint például a monokultúrás növénytermesztés vagy a vetésforgó, a talaj megművelése, a műtrágyázás, a kemikáliák használata vagy a talajjavítás.

Fliessbach egy kísérletében összehasonlította az organikus és a hagyományos gazdálkodás mikrobiológiai talajjellemzőkre gyakorolt hatását. Az organikus gazdálkodás során a mikrobák aktivitása nagyobb volt, ezáltal a tápanyag-átalakulási folyamatok is gyorsabbak voltak. Ez pozitívan befolyásolta a talajszerkezetét, és csökkentette az erózió veszélyét.

A talajművelési módok hatását egy 20 évig tartó kísérlet alapján állapították meg. Eszerint a sekély szántás (10-12 cm-es) és lazítás megfelelőbb a talaj szerkezetének nedvességi állapotának megőrzése szempontjából, valamint nagyobb mértékben fokozták a mikroorganizmusok számát és a hidrolitikus enzimek aktivitását, mint a hagyományos (22-25cm-es) szántás. A mélyszántás (30-35 cm-es) pedig a talaj pH értékének csökkenését okozta, ami negatívan befolyásolta a talajban élő mikroorganizmusok összetételét. A mikroszkopikus gombák száma megnőtt a baktériumok és az *aktinomycetese*k számához képest, ez pedig lassabb C és N transzformációhoz vezetett.

A kultúrnövényeket vetésforgóval vagy monokultúrában termesztik. Az intenzív növénytermesztés időszakában a monokultúrás módszer vált népszerűvé a vetésforgóval szemben. A monokultúrás termesztés azonban különféle eredetű mikrobiológiailag aktív, ún. fitotoxikus anyagok akkumulációját eredményezte. Ennek következménye a talajuntság, amely a mikrobák mennyiségében, összetételében és aktivitásában bekövetkezett negatív hatásokkal és a talaj termékenységének csökkenésével jelentkezik együtt. Számos kutató szerint a vetésforgó előnyösebb a talaj aktivitására. Vizsgálatok alapján az évelő füvek vetésváltásba bevonása kedvezett a szerves anyag felhalmozódásának, valamint növelte a mikroorganizmusok számát és fokozta az enzimaktivitásokat.

Az irányított tápanyag visszapótlás módosíthatja a talajok aktivitását. A talajban élő mikrobák számát és a talajban lejátszódó mikrobiális folyamatokat a szerves és műtrágya együttes kijuttatása stimulálja leginkább, míg önmagában való műtrágyázással alacsonyabb értékek mutathatók ki. Kis és közepes mértékű műtrágya talajba juttatása rendszerint fokozza a talaj mikroflórájának mennyiségi növekedését és aktivitását. Nagyobb dózisok viszont már gátló hatást is eredményezhetnek. A szerves és a zöldtrágyázás két-háromszorosára növeli a talajban élő nitrogénkötő baktériumok számát, valamint jelentősen serkenti számos enzim működését. Szervestrágyaként használt növényi maradványok, istállótrágya, komposzt és szennyvíziszap pozitívan hat leromlott lösztalajokban a cellulózbontó baktériumok számára, a talaj biológiai aktivitására, és a terméseredményre. A műtrágyázás, elsősorban az egyoldalú N-műtrágyák alkalmazása káros hatással van talajokra, azok savanyodását eredményezi. Ez negatívan befolyásolja a talajok biológiai aktivitását, termékenységét és a várható termés mennyiségét.

Az európai talajokat fenyegető nyolc legjelentősebb talajdegradációs folyamat: az erózió, a talaj szerves anyag csökkenése, (pontoszerű és diffúz) talajszennyezés, szikesedés, talajtömörödés és szerkezet leromlás, a biodiverzitás csökkenése, talaj-fedés, valamint a különböző hidrológiai kockázatok (árvíz, belvíz, csuszamlás). Ezek feltérképezésével, kontrollálásával megelőzhető a talaj veszélyeztetettsége.

Biológiai aktivitás fokozásának módjai még a talajbiológiai paramétereket is bevonó környezeti monitorig, a talajvízkészlet szennyeződésének csökkentése valamint az országos kutatóhálózat eredményeinek figyelembevétele.

30.6. A talajminőség indikálása

30.6.1. Talajbiológiai módszerek

A talajban élő mikroorganizmus fajoknak az egymáshoz viszonyított aránya (a fajeloszlás) függ a körülményektől (oxigénellátottság, nedvességtartalom, hőmérséklet, stb.), a talaj tápanyag tartalmától, a talajban lévő szennyezőanyagoktól. Ezeket a változásokat a **Biolog**-rendszerrel követhetjük. A Biolog mikrolemezek mind a 31 cellájába különböző mikrobiális tápanyagot (*szubsztrát*) helyeznek el a lemez készítésekor. A lemezeket a környezetből származó talaj- vagy vízminták cellákba bemérése után termosztátba rakják, hogy a talajban vagy a vízben lévő mikroorganizmusok szaporodni tudjanak. A cellákban működő mikroorganizmusok a szaporodás során vagy fel tudják használni a cellába tett tápanyagot, vagy nem, amit színváltozás mutat. Ezzel különböző anyagcsere mintázatok jönnek létre, melyekkel a mikroba közösségek gyorsan jellemezhetőek. A tesztben mérhető színváltozást a **tetrazólium vörös indikátor** redukciója szolgáltatja. Ezt az elszíneződést a mikrobák légzése következtében keletkezett NADH idézi elő. Az elszíneződés mértékét és annak időbeli változását mérve minden egyes tápanyagra (szubsztrátra) egy **szubsztrát hasznosítási görbét** kapunk.

A dehidrogenáz aktivitás rendkívül érzékeny, a szennyezésen kívül más tényezőkre is nagyon érzékenyen reagál. Ezeket a körülményeket is alaposan figyelembe véve, ez egy hatásos módszer a talaj C és N forrásainak hasznosítási képességet figyelembe venni.

Az inkubációs talajtesztek szintén érzékenyek, és jelentőségük, hogy közvetlenül a talaj funkcionális helyzetére adnak információt.

Talajvizsgálati módszerek az alaprespiráció, specifikus respirációs aktivitás, a mikrobiális biomassza, a nitrogén mineralizáció, nitrifikáció és N₂-fixáció (acetilénredukciós aktivitás) mérésének szélesebb körű bevezetése a talajok biomonitoringjának kidolgozása során. A humuszsztézis (humin- és fulvósav) bonyolultabb és költségesebb módszer.

30.6.2. Rhizobiológiai módszerek

A nitrogénkötés a talajok termékenysége szempontjából nagyon fontos, érzékeny a rövid-idejű és a tartós környezeti stressz körülményekre. Alkalmas a talajok működőképességének a biodetektálására. A *Rhizobium* baktériumok nitrogénkötése az ún. fenntartható, környezetbarát mezőgazdasági termesztés során is nélkülözhetetlen. A pillangósok gyökerén található gyökérgümők száma vagy nitrogénkötő képességük a talaj tulajdonságok rosszabbodásával vagy túlzott trágyázás miatt csökkenhet. Könnyen számolhatók és értékelhetők.

Egy másik módszer a szimbionták fajgazdagságát megfigyelő vizsgálat.

31. Anyag -és energiaforgalom a talajban (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A talaj szilárd, folyékony és gáz fázisból álló heterogén rendszer, mely lehetővé teszi a növényi-állati és mikrobiális életet a talajban és annak felszínén. A szervetlen és szerves részekből álló szilárd fázis főként tápanyagtároló. A folyadékfázist jelentő talajoldat a tápanyagok szállítója és a fizikokémiai, biológiai átalakulások közege. A gázcsere főként az O_2 és N_2 beáramlását és a CO_2 távozását jelenti. (Mengel, 1976).

Növényi tápelemnek nevezünk minden olyan kémiai elemet, melyek a növényi élethez (növekedéshez, fejlődéshez) szükségesek, és más kémiai elemmel nem helyettesíthetők. A tápelemek nagy részét a talajból képesek felvenni a növények.

Nélkülözhetetlen (esszenciális) elemek:

Biogén elemek: C, H, O, N

Makro elemek: Na, P, K

Mezo elemek: Ca, Mg, S

Mikroelemek: Zn, B, Se, Mg, Mo, Cu, Se, Fe

A talajban lévő tápelemek közül, amelyek nélkülözhetetlenek az élő szervezetek számára, 30-40 elem a geokémiai ciklusban áramlik (a legfontosabbak: C, N, H, O, S, P). A ciklusban részt vesz a lito-, hidro-, és atmoszféra. A körfolyamat végbemehet az élettelen környezettől az élő szervezet irányába, de fordított irányban is megvalósul. Másik mód a kémiai kötések felbontása során felszabaduló elemek szervezetekbe való beépülése. Ennek a folyamatnak az ellentéte is érvényes. Azt az irányt, amikor a tápanyagok a növények számára felvehetővé válnak, **mobilizációs** folyamatnak nevezzük (pl.: mállás, oldódás, humifikáció). Amikor a felvehető elemek a növények számára felvehetetlenné válnak, az **immobilizáció** jelensége (pl.: kémiai kötések jönnek létre elemek között, biológiai felhalmozódás). Az anyag mennyisége egyes szinteken változhat, de az össz mennyiség állandó, ez a **tápanyag tőke**. Az anyagforgalommal együtt járó jelenség az **energiaáramlás**. A nagyobbik hányada az energiának a szervezet élettevékenységének energiaszükségletét fedezi, ami az anyagcsere folyamatok során 90%-ban hővé alakul át. Fontos, hogy az energiaáramlás nem körfolyamat, hanem egy irányú.

A talajban az elemek mennyisége változhat a körfolyamat során. Csökken a tápanyagfelvétel, kimosódás, denitrifikáció, erózió, defláció által. A veszteség pótolható tápanyag utánpótlással, trágyázással, mikroszervezetek N-kötése során, a csapadékkal a talajba jutó vagy a talajvízből kapilláris emeléssel feljutó tápanyaggal.

31.1. A szén körforgása

A földön szén alapú élet alakult ki, az élőlények molekuláinak jelentős része szénvegyület. Ennek okai:

- A szén a legegyszerűbb olyan atom, ami négy kovalens kötés kialakítására képes. Stabil és semleges molekulák jönnek létre.
- A négy másik atom tetraéderesen helyezkedik el, ennek következtében nagyon stabilak, ellenállók a vegyületei.

- Korlátlan számban tudnak összekapcsolódni a szén alapú vegyületek. Változatos nyílt láncú és gyűrűs molekulák. Képesek egyszeres, kétszeres, háromszoros kötések kialakítására, úgy hogy a stabilitás változatlan marad.

Minden élőlénynek a földön szüksége van a szénre. Vagy a felépítéséhez vagy energiaforrásként, vagy mindkét okból.

A szén földünkön különböző rétegeiben van jelen és raktározódik. Megtalálható a bioszférában szerves molekulák formájában, ami származhat élő vagy már elpusztult szervezetekből. Gázként (CO_2) az atmoszférában. Szerves elemekként a talajban, és a litoszférában, mint fosszilis energiahordozók vagy üledékes kőzetekben (pl.: mészkő, dolomit). A hidroszférában a légkörből oldott CO_2 ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$) vagy a CaCO_3 formájában a tengeri élőlények vázalkotójaként.

31.1.1. Geológiai ciklus

A szén ciklus geológiai összetevője az, ahol kölcsönhatásba lép a „szikla ciklus” folyamataival: a mállás, kioldás, ásványi anyagok kioldása, betemetődés, szubdukció, vulkanizmus jelenségeivel. A légkörben a víz és a szén-dioxid reakciójából létrejövő szénsav enyhe savas kémhatásából adódóan, reakcióba lép a föld felszínével és ennek ásványi anyag tartalmával, amikor eső formájában eléri a felszínt. Kémiai mállás folyamata során lassan kioldja az ásványokat alkotó ionokat. Ezek az ionok a felszíni vizekbe kerülnek, patakok, folyók és végül az óceánokba, ásványok formájában kiválnak, például mint a kalcit (CaCO_3). További lerakódás és betemetődés során a kalcit átférmálódik kőzetté, amit mészkőnek hívnak. A tengerfenéken lerakódott szén, egyre mélyebbre nyomódik a piroshféra irányába a tektonikus erőknek köszönhetően. A mélyben felmelegszik, majd megolvad és felemelkedik a felszínre, ahol szén-dioxid formájában felszabadul és visszajut az atmoszférába. A visszatérés módja lehet heves vulkán kitörés, vagy lassú szivárgás, illetve széndioxidban gazdag források. Tektonikus erők is kiemelhetik a már korábban eltemetett mészkőréteget. A mállás, a szubdukció és a vulkanizáció jelensége évmilliók óta periódusosan szabályozzák az atmoszféra CO_2 koncentrációját. Ezáltal pedig az ökológiai körforgásban jelenlévő széntömeget.

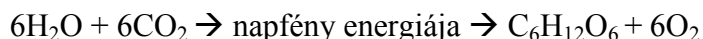
31.1.2. Biológiai szén körforgás

A biológia nagy szerepet tölt be a szén mozgásában a szárazföld, az óceánok és a légkör között, a légzés és a fotoszintézis folyamatával. Gyakorlatilag az összes többsejtű élőlény függ, a fotoszintézis során széndioxidból a napsugárzás energiájával előállított cukortól. Amit a szervezetek a lebontó metabolikus folyamatok (katabolizmus) során nyernek ki és használnak fel az életszükségleteikhez és a biológiai reprodukciójukhoz. A növények a fotoszintézishez szükséges CO_2 -t a légkörből veszik fel, míg a heterotróf szervezetek a légzés során széndioxidot bocsájtanak ki az atmoszférába.

Légzés:



Fotoszintézis:



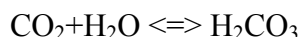
A szénhidrátokban tárolt energia a kémiai kötések bontásával szabadul fel, oxidációs folyamatok során. Így, a felvett O_2 -ből CO_2 redukálódik, ami kilégzéssel jut vissza a légkörbe.

Az élő szervezetek évente ezerszer több szén mozgatnak meg ilyen formán, mint a geológiai ciklus.

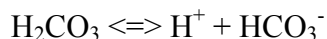
A növények növekedési időszakában, napközben a levélzet abszorbeálja a nap energiáját (fotonokat) és a légkörből felveszi a széndioxidot. Ugyanakkor, a növények, állatok és a talajban élő mikrobák felhasználják a szén szerves alakban és szén-dioxidot juttatnak vissza. A fotoszintézis este nem megy végbe, mert a nap nem tudja biztosítani a folyamathoz szükséges energiát, ugyanakkor a légzés mechanizmusa folytatódik ekkor is. Ez az egyenlőtlenség a két folyamat között, tükrözi a szén-dioxid koncentráció váltakozását a napszakok függvényében. A földgömb északi féltekén, télen a fotoszintézis szünetel, mivel sok növény lehullajtja a levélzetét, de az élő szervezetek légzése nem áll le. Ez vezet oda, hogy a téli időszakban a légkör CO₂ tartalma megnövekszik. A tavasz beköszöntével a fotoszintézis folyamata újra beindul és a széndioxid tartalom csökkenni kezd. Ezt a körfolyamatot az évszakok váltakozása eredményezi.

31.1.3. Az óceánok szén tartalma

A szén-dioxid diffúzióval kerül az óceánok vízébe. Az oldott CO₂ eredeti formájában megmarad vagy átalakulhat karbonát ionná (CO₃²⁻) vagy bikarbonát ionná (HCO₃⁻). Amikor a szén-dioxid belép a vízbe szénsav is keletkezik:



Ez a folyamat oda-vissza lejátszódik, így beállítva a kémiai egyensúlyt. Egy másik, igen fontos folyamat az óceánok pH szintjének szabályozásában, a **hidrogén ion** és a **bikarbonát ion** felszabadulása. Ez a reakció nagyban befolyásolja a pH szintet:



A tengeri élőlények bizonyos típusai biológiailag fix bikarbonátból és kalcium ionból képesek kalcium-karbonátot (CaCO₃) termelni. Ezt az összetevőt a váz és egyéb testrészek szintézisére fordítják. Ilyen élőlények például a korallok, kagylók, csigák és néhány alga faj. Amikor ezek az élőlények elpusztulnak, a vázuk és testrészeik az óceán mélyére süllyednek, ahol raktározódnak, felgyülemlelenek szénben gazdag üledékként. Hosszú idő elteltével ezek az üledékek fizikailag és kémiaiilag megváltoznak, részben a nagy nyomás hatására üledékes kőzetek képződnek. Az óceánok üledékei messze a legnagyobb széntározók a földön.

31.1.4. Szén a talajban

A szén körforgásában a talaj egyben szénforrás és felhasználó is. Kémiai és biológiai reakciókban jelentős szerepe van. A növények a szárazföldről és a légkörből 110x10¹² kg szén vesznek fel CO₂ formájában. Körülbelül ugyanennyi szén keletkezik, amelyből 50x10¹² kg kerül vissza az élőlények légzése során a légkörbe, ami a keletkezett mennyiségnek majdnem a fele. A maradék 60x10¹² kg az elhalt növények szerves anyagának mikrobiális lebontása során keletkezik. A lebontást, a talajban és a talaj felszínén élő mikro- és makroszkopikus élőlények jelentősen befolyásolják. A földfelszín és az atmoszféra között körülbelül a szénmennyiségnek 15%-a cserélődik ki évente.

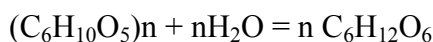
A humifikáció a legfontosabb szintetizáló reakciók összessége. A könnyen bontható szerves anyagok mineralizálódnak, míg a nehezebben bontható anyagok polimerizálódnak és N-tartalmú vegyületekkel kapcsolódva nagy molekula méretű, sötét színű stabil anyagokat hoznak létre, ezek a humuszanyagok. A talajba a szén a növényi maradványok révén kerül be,

amelyek szén tartalmát az előzőleges megkötés biztosítja. A talajba került növényi maradványok lebontása több tényezőtől függ (talaj adottságai, növény milyensége, talajban lakó lebontó szervezetek csoportjai, klíma), így akár évszázadokig is megmaradhatnak a szerves anyagok. A talaj és a klimatikus adottságok meghatározzák a talajra jellemző nedvességtartalmat, hőmérsékletet, kémhatást, levegőzöttségét valamint a felvehető tápanyagok mennyiségét és milyenségét. A növény típusát a méretével, a korával, lignintartalmával és a C/N arányával jellemezhetjük.

31.1.5. A szén mineralizációja

A szerves kötésű szén szén-dioxiddá történő oxidálását jelenti. A növényi maradványoknak a széntartalma, amik a talajba kerültek, biológiai folyamatok során (disszimiláció vagy katabolizmus, biológiai oxidáció, erjedés) lebomlanak és CO₂ formájában kerülnek vissza a szén körforgásba. A **talajlégzést** főként a mikrobiológiai folyamatok eredményezik, de részt vesznek benne a talajban lakó élőlények is a légcserefolyamataikkal, melynek eredménye képen CO₂-t bocsátanak ki.

A **cellulóz** a legnagyobb mennyiségben keletkező szén alapú szerves anyag. A szén mineralizációjának az alapja. A cellulózt glükózanhidridek építik fel, amik összekapcsolódnak és poliszacharidot képeznek. A cellulóz igen jól ellenáll mind a savaknak, mind a lúgoknak. A lebontást erre specializálódott mikroorganizmusok végzik, amik képesek úgynevezett celluláz enzimet termelni, ami a bontást végzi. Először a kötéseket bontva hidrolizálódik majd glükóz keletkezik belőle.



A lebontás lejátszódhat anaerob vagy aerob körülmények között. Baktériumok, sugárgombák és mikroszkopikus gombák végzik el.

Aerob cellulózbontók:

- Legnagyobb részben anaerob pálcikák (*Clostridium*)
- Termofil csoport, 60-65°C-on tenyészthetők (*Clostridium thermocellum*)
- Mezofil csoport, 30-35°C-on tenyészthetők (*Clostridium omelianskii*)
- Gram pozitív baktériumok, vajsavat, ecetsavat, etilalkoholt és gázokat termelnek

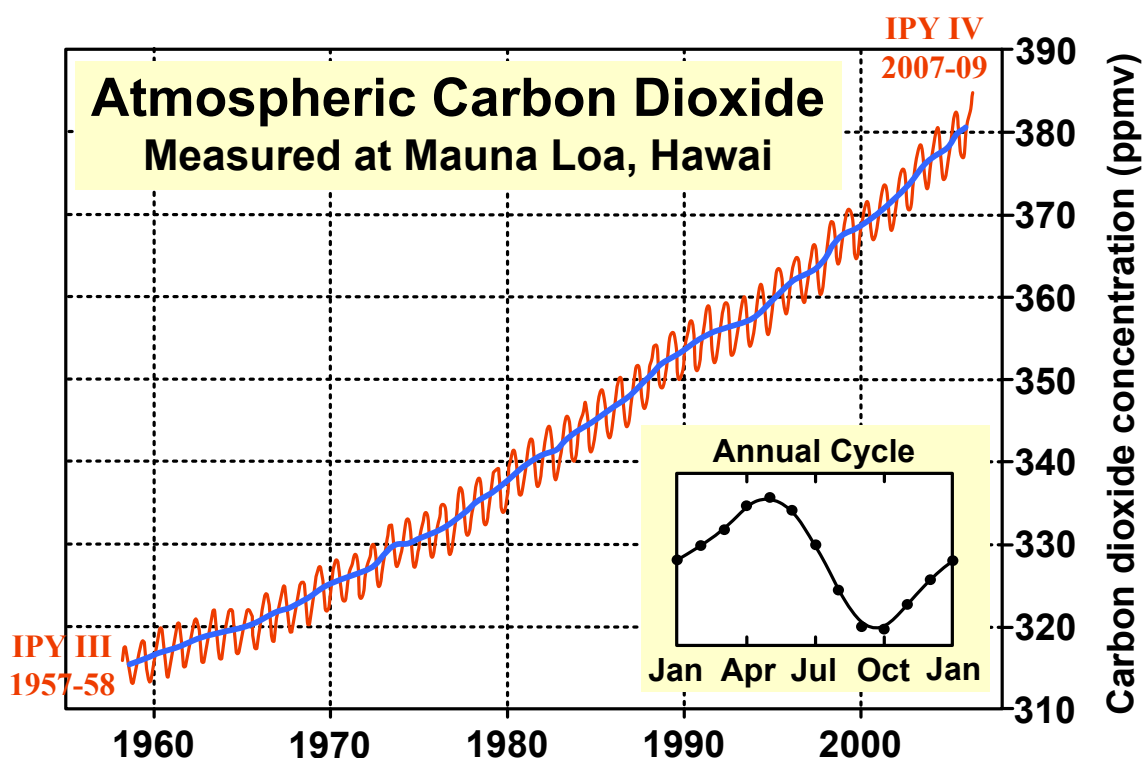
Anaerob cellulózbontók:

- Sporocytophaga fajok
- Bacillus, Cellulomonas, Nocardia, Pseudomonas, Streptomyces fajok
- Cellvibrio, Cellfalcicula nemzetség tagjai
- Kevésbé savas közegben az Actinomiceták és a Cytophaga nemzetség tagjai bontják

31.1.6. Az atmoszférikus széndioxid felhalmozódása

A légkör széndioxid koncentrációjának mérésére 1957-ben tett javaslatot Charles David Keeling óceánográfus, a Scripps Oceanográfiai Intézet kutatója. Ez a leghosszabb folyamatos CO₂ koncentráció nyilvántartás. Azóta folyamatos adatokkal rendelkezünk, amelyek ijesztő tendenciát mutatnak. A dokumentációt a Mauna Loa obszervatóriumban végzi Hawaii-szigetén. Az adatai (most már "Keeling görbeként" ismerik) kimutatták, hogy az emberi tevékenységek jelentős mértékben megváltoztatják a természetes szén-ciklust. Az ipari forradalom kezdete óta, körülbelül 150 éve, az emberi tevékenységek, mint a fosszilis

energiahordozók elégetése és az erdőirtás, mind felgyorsultak és hozzájárultak ahhoz, hogy hosszú távon növekedjen a légkör széndioxid koncentrációja. Az olaj és a szén elégetése által szén szabadul ki az atmoszférába, sokkal gyorsabban, mint ahogy eltávolítható onnan. Ez az egyenlőtlenség okozza a légköri széndioxid taralom növekedését. Továbbá, az erdők irtásával csökkentjük a fotoszintézis lehetőségét, amelynek során a növények meg tudnák kötni a légkör CO_2 tartalmát, így további koncentrációemelkedést eredményez. Az ember ténykedéseinek révén a légkör CO_2 tartalma ma már magasabb, mint az elmúlt félmillió évben volt.



80. ábra: A "Keeling görbe" a légköri CO_2 -koncentráció hosszú távú mérésének eredménye Mauna Loa Obszervatórium (Keeling et al.)

Az éven belüli rezgések természetes, szezonális ingadozás következményei. A hosszú távú vizsgálat azonban folyamatos emelkedő tendenciát mutat. Az elmúlt 400.000 évben nem volt még ilyen magas az atmoszféra széndioxid koncentrációja és a megfelelő szintre történő csökkenésre is tízezer éveket kellene várnunk, feltéve ha az ipari szennyezést azonnal beszüntetnénk. A jelenség globális ökológiai katasztrófához fog vezetni!

Mivel a CO_2 növeli a légkör azon képességét, hogy megtartsa a hőt, ezért üvegházhatású gáznak nevezik. A kutatók úgy vélik, hogy a megnövekedett CO_2 már jelentős változásokat okoz a globális klímában. Az elmúlt században megfigyelt $0,6^\circ\text{C}$ -os átlagos globális hőmérséklet növekedés főként a szén-dioxid koncentráció növekedésének tudható be. Lényegi változtatások nélkül a fosszilis energiaforrások felhasználásában és az erdőirtások mértékében, a felmelegedési tendencia valószínűleg folytatódni fog. A legjobb tudományos becslések szerint a Föld átlaghőmérséklete $1,4\text{--}5,8^\circ\text{C}$ -kal fog növekedni az elkövetkezendő században, a szén-dioxid és egyéb üvegházhatású gázoknak köszönhetően (metán, dinitrogén-oxid, fluorozott szénhidrogének). Ez a fajta hőmérséklet növekedés a tengerek vízszintjének jelentős növekedését okozhatja ($0,09\text{--}0,88\text{ m}$), kitéve ezzel a mélyebben fekvő part menti városokat és az árapály folyók mentén található településeket az elöntés veszélyének (Véence, New Orleans, Washington). A sarkkörti jégsapkák olvadása és a fajok kiterjedésének eltolódása is a globális felmelegedés eredménye.



81. ábra: Bizonyíték a globális felmelegedésre ☺

A klímaváltozás nélkül azonban, a megnövekedett CO₂ koncentráció, jelentős hatással lenne a növények növekedésére világszerte. Bizonyos fajok kedvezőbben reagálnak a megemelkedett szén-dioxid tartalomra, mint mások. Egyes kutatók szerint kifejezett változást láthatnánk a növényfajokon, a hőmérséklet változása nélkül. Például a megemelkedett szén-dioxid tartalmat a bokrok jobban képesek tolerálni, mint bizonyos fűfélék. Ez az eltérés, abból adódik, hogy a fotoszintézisük lefolyása kissé különböző (C3 és C4 –es növények). Ezért a füves területekre betörnének a szén-dioxidra érzékenyebb fajok vagy a cserje fajok.

Vajon a közelmúltban megfigyelt változások a globális szén-ciklusban új jelenségek vagy már megtörtént geológiai történések? A kutatók jelentős energiát fordítanak arra, hogy módszereket fejlesszenek ki, azért hogy megértsék, megismerjék a Föld légkörének és klímájának a múltját. Ezen technikák közé tartozik a jégbe zárt buborékok, fa gyűrűk és tavak, óceánok fenekén felgyülemlett üledékek vizsgálata. Együtt ezek a technikák arra utalnak, hogy az elmúlt 20 millió évben a Föld klímája a viszonylag meleg és hideg között ingadozik. Ezek az interglaciális (jégkorszakok közötti) és glaciális (jégkorszak) időszakok. Az interglaciális időszak során az atmoszféra CO₂ koncentrációja viszonylag magas, míg a glaciális időszakban viszonylag alacsony. Jelenleg egy meleg interglaciális szakaszban vagyunk, és az emberi tevékenység még jobban fokozza a szén-dioxid mennyiséget a légkörben, ahhoz képest, mint amilyen volt több százezer éven keresztül.

A légköri CO₂ feldúsulásának megértése és a negatív hatásainak mérséklése szempontjából a legnagyobb kihívást az jelenti, hogy szembe kell nézni a gazdasági élet óriásaival és a politikai döntéshozókkal. Annak érdekében, hogy ezeket a kérdéseket kellő súllyal képviselni tudja, a tudományos közösség létrehozta az Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) szervezetet. Ez egy nemzetközi, interdiszciplinális konzorcium, ahol több ezer klímaváltozási szakértő együttműködésével készítenek jelentést az klímaváltozásról. Sok ország megállapodott abban, hogy csatlakozik a Kiotói Szerződéshez, amely egy többoldalú egyezmény arról, hogy az ember által előidézett éghajlat változás negatív hatását mérsékelni kell. Az Egyesült Államok, amely jelenleg felelős a szén-dioxid kibocsátás mintegy egy negyed részéért, eddig elutasította, hogy részt vegyen a Kiotói Egyezményben.

31.2. A foszfor körforgása

A foszfor a legtöbb anyagcsere folyamat elengedhetetlen eleme. Nélkülözhetetlen a szintézis folyamatokban. A P a növényeknél a generatív szervek fejlődését segíti elő, azt gyorsítja. Ugyanakkor a legismertebb az élővilágban az energiaraktározásban betöltött szerepe és a

nukleinsavak alkotó elemeként (ATP, ADP, DNS, RNS), valamint a sejtmembránokat alkotó foszfolipidek is tartalmaznak foszfort. Nagyobb részt foszfátmolekula formájában található meg a szervezetekben, a maradék egyéb szerves vagy szervetlen vegyületekben fordul elő. Szervetlen sója a trikálcium-foszfát, ami a csontok egyik alkotó eleme. A foszfor endogén, így a körforgása az élőlényekben kimondottan gyors.

A foszfor ionos formája alapvető tápanyag a növények és az állatok számára. A foszfor egyes formái részei a létfenntartó molekulák csoportjának, de nem túl gyakoriak a bioszférában. A foszfor nem eleme az atmoszférának, nagyrészt a szárazföldön, szikláknak és a talaj ásványokban található meg. A foszfor 80 %-át műtrágya előállítására használják és a foszfor egy típusát, mint híg foszfor savat üdítőitalokban alkalmazzák. A zsíroló mosogató és mosószeres jelentős mennyiségű foszfort tartalmaznak, amely végül bekerül a szennyvízbe. A foszfor, hatásos lehet ily módon, de, ezzel együtt szennyezi a tavakat és a folyókat. A P feldúsulása algásodáshoz vezethet, a többlet tápanyag miatt. Ez még több alga növekedést okoz, a baktériumok elfogyasztják az algát és egyre nagyobb számban lesznek jelen a baktériumok. Ezek felhasználják a vízben oldott oxigént, és az a folyamat a halak kipusztulásához vezet (eutrofizáció).

A növények a foszfort a szervetlen vegyületek vizes oldataiból veszik fel, az állatok pedig a növények elfogyasztásával szerves formában jutnak hozzá. Az elpusztult élőlényekből a baktériumok képesek felszabadítani a foszfort, szervetlen vegyületek formájában.

Az ökoszisztémában rendelkezésre álló foszfor mennyisége korlátozva van az ásványok mállása során keletkező foszfor tartalom által. Fő ásványa az **apatit** $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$, amelyben a fluort részben helyettesítheti klór vagy hidroxil. Az apatit oldódásakor felszabaduló P-nak kulcsfontosságú szerepe van az ökoszisztéma termékenységében. Az apatit karbonátos mállásakor különböző foszfor tartalmú vegyületek keletkeznek. Ez a folyamat csökkenti a körfolyamatban levő foszfor mennyiségét, a kimosódáskor keletkező veszteségek által. Az így felszabaduló foszfor egy része a biotába kerül, míg nagyobb hányada reakcióba lép egyéb talaj ásványokkal és oldhatatlan formában kicsapódik. A mállás és a talajképződés későbbi szakaszában az összes elérhető P a **biogeokémiai** ciklusban található, a felső talaj szelvényekben. Az alsóbb rétegekben található foszfor főként a másodlagos ásványokkal történő geokémiai reakciókban résztvevő foszfor tartalmat jelenti. A növények növekedése függ attól, hogy milyen gyorsan tudja a növény gyökérzete adszorbeálni, a biokémiai körforgás során, a szerves alkotók lebomlásából keletkező foszfort. A növények növekedése szempontjából a foszfor mennyiség korlátozott, bizonyos mennyiség felett nem befolyásolja a növekedés sebességét. A foszfor gyorsan keresztüláramlik a növényeken és az állatokon, azonban az a folyamat, ami a P-t mozgatja a talajban és az óceánokban, nagyon lassú. Ez teszi a foszfor ciklust az egyik leglassabb biogeokémiai ciklussá.

A talajban találhatóak kis tömegű szerves savak. Ezek a talajban élő különböző mikroorganizmusok tevékenységeiből származnak, vagy kiszivároghat az élő növények gyökereiből. Ezen szerves savak közül számos képes szerves fém komplexet képezni fém ionokkal, amelyek a talajban oldott formában találhatóak. Ennek eredményeként, ezek a folyamatok talajásványokban levő alumíniummal (Al), vassal (Fe) és kalciummal (Ca) kapcsolatban álló szervetlen foszfor kibocsátáshoz vezethetnek. Mikorrhiza gombák az oxálsav termelésük és kibocsátásuk által, fontos szerepet játszanak a növények foszforral való ellátásában és fenntartásában. Az, hogy a rendelkezésre álló szerves foszfor milyen mértékben támogatja a mikrobiológiai, növényi és állati növekedést, függ attól, hogy milyen gyorsan bomlanak le és keletkezik belőlük szabad foszfát. A bomlás során több enzim is részt vesz, mint például a **foszfátázok**, **nukleázok** és a **fitázok**. A természetben tanulmányozott élettelen folyamatok, a hidrolitikus és a fotolitikus reakciók. A szerves foszfor enzimatisz hidrolízise rendkívül fontos lépés a biogeokémiai foszfor ciklusban. Beleértve a növények és

a mikroorganizmusok P felvételét és a szerves foszfor szállítását a talajból a víztömegekbe. Sok organizmus a talajban lévő foszfort használja fel a szükségleteik kielégítésére.

Ideális esetben a foszfor, foszfácion formájában fordul elő a természetben, ami P atomból és néhány oxigénből áll. Az **ortofoszfát** ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, vagy PO_4^{3-} mg/l) a foszforsavak sói, vizes oldataiban előforduló formái: **ortofoszfát-ion** – PO_4^{3-} , a **polifoszfát**, és a **szerves foszfát**. A bioszférában legnagyobb részt oxidált ortofoszfát ionok vannak jelen. A természetes vizekben a koncentrációja 0,1 mg/l nagyságrendű. Ezt meghaladó foszfáttartalom a házi és ipari szennyvizekben, vagy a mezőgazdasági vízhasznosítás után fordul elő.

A foszfát legnagyobb része sóként fordul elő tengeri üledékekben és kőzetekben. Idővel, a geológiai folyamatok során ezek az üledékek a szárazföld részévé válnak, és a mállás következtében eljutnak a szárazföldi élőhelyekre.

A foszfor gyorsan keresztüláramlik a növényeken és az állatokon, azonban az a folyamat, ami a P-t mozgatja a talajban és az óceánokban nagyon lassú. Ellentétben más vegyületek ciklusaival, a foszfor nem található meg a levegőben, gáz formájában. Ennek oka, hogy normál hőmérsékleten és körülmények között szilárd halmazállapotban van jelen. Vörös, sárga és extrém körülmények között (200°C felett, magas nyomáson) fekete foszfor formájában. Általában víz, talaj, üledék között áramlik. A P tipikusan korlátozott tápanyagok közé tartozik a tavakban, folyókban és a friss vízü környezetekben. A sziklák és üledékek fokozatos kopásával, foszfát szabadul fel. Az atmoszférában a foszfor elsősorban kis por szemcsékként van jelen. Eleinte a foszfát a kőzetből mállott le. Az esővíz által okozott kimosódási veszteséget a szárazföldi rendszerben kiegyensúlyozta a kőzetek bomlásának gyarapodása. A talajban a foszfát abszorbeálódik az anyagok felszínén és a szerves vegyületek részeként, és elkezdenek egyesülni (megkötődnek). A növények a foszfát ionos formáját veszik fel. A növények a foszfátokat a talajból abszorbeálják, és szerves vegyületek formájában megkötik ezeket. A növényevő állatok úgy jutnak foszforhoz, hogy elfogyasztják a növényeket, a ragadozók pedig a növényevők elfogyasztásával. A növényevő és a ragadozó állatok a foszfort a vizeletükben és az ürülékükben választják ki. A P a növényi és az állati részek lebomlásával visszakérül a talajba, és a ciklus újra kezdődik.

31.2.1. Foszfor a talajban

A talajban levő foszfor szerves és szervetlen (ásványi) kötésben van jelen. A talajban található foszfor tartalmú vegyületek csoportjai:

- Fe-, Ca-, Al foszfátok
- Vas és alumínium hidroxidok, a humuszanyagok az agyagásványos és a CaCO_3 felületén kötött foszfát ionok.
- Szerves foszfor vegyületek

A műtrágyák hatóanyagát P_2O_5 %-ban fejezik ki. Gyártáskor arra törekszenek, hogy a nehezen feloldható foszfor vegyületeket vízben vagy gyenge savakban oldható vegyületekké alakítsák át. Foszforsav keletkezik, ha nyers foszfátokat savval vagy hőkezeléssel tárnak fel. A foszfor műtrágyák erősen savanyúak, így túlzott használatuk a talaj elsavasodásához vezethet. Serkenti a generatív szervek növekedését a termésképeséget növeli. Trágyázás hatására a talaj tápanyag forgalma felgyorsul.

31.2.2. Emberi tényező

A tápanyagok nélkülözhetetlenek a növekedéshez és az életfeltételek fenntartásához az élő organizmusok számára. Ezért alapvető fontosságú az egészséges ökoszisztéma kialakítása és

fenntartása. Azonban a túlzott mennyiségű tápanyag, különösen a foszfor és a nitrogén káros hatással van a környezetre. A természetes eutrofizáció, olyan folyamat, mely során a tavak előregszenek és nő a termékenységük. Több ezer évig is eltarthat a folyamat. A kulturális vagy antropogén eutrofizáció, azonban a víz szennyezése által bejutó túlzott mennyiségű növényi tápanyag miatt bekövetkező burjánzás főként az alga populációban. A magas foszfortartalmú talajok felszíni, felszín alatti kimosódása és eróziója lehet elsősorban felelős a friss vizek eutrofizációjáért. Ezek a folyamatok befolyásolják a talaj foszfortartalmának csökkenését. Közöttük, és a P típusa, a talaj milyensége és kezelése, valamint a hidrológiai viszonyoktól függő transzport folyamatok között komplex kölcsönhatás van.

Szervestrágyázás során, ha a termés számára már túlzott a kijuttatott mennyiség, akkor az káros hatással van a talaj P tartalmára. A rosszul csatornázott talajokon vagy az olyan területeken, ahol a hó olvadék időszakos átnedvesedést okoz, a Fe tartalom csökkenés feltételei 7-10 napon belül megvalósulnak. Ez a foszfor koncentráció hirtelen növekedését okozza a talajoldatban, és a P kimosódhat. A talaj további redukciója, a foszfor vegyületek elmozdulását okozza, a reakcióképestől a még labilisabbig. Ezeken a területeken már problémát jelent megszabadulni az agrokulturális hulladékoktól. A hulladékgazdálkodási szabályok elkészítésekor figyelembe kell venni a talaj vízrendszereit, amelyeket szerves hulladék lerakónak használnak.

Az ember a foszfortartalmú **műtrágyák** túlzott alkalmazásával bele tud avatkozni a foszfor ciklus menetébe. Ennek eredménye, hogy a megnövekedett foszfor koncentráció a víztömegekben szennyeződésként van jelen és ez eutrofizációhoz vezet. Az eutrofizáció elpusztíthatja a vízi ökoszisztémát.

Az eutrofizáció feltehetőleg hatással lesz a globális szén ciklusra, talán ellensúlyozza kissé az antropogén szén kibocsájtást. Tekintettel arra, hogy a tengeri környezetben egy egységnyi foszforra 106-170 egységnyi szén jut, megjósolható hogy, a többlet foszfor 76.000-126.000 Tg (millió tonna) C-t köthet le. Lényegében, ez a beépítés eltávolítja a szenet az atmoszférából, a szén-dioxid fotoszintézisen keresztül történő biológiai megkötésével. A jelenlegi éves antropogén szén kibocsájtás 7.900 Tg C, így a foszfor eutrofizációs hatása csak 10-15 évnnyi antropogén szén kibocsájtással érne fel, az elkövetkezendő 2.000 évre előre nézve. (Ez csak 0,6%-a a becsült teljes szénkibocsájtásnak, ha a kibocsájtás változatlan marad.) A foszfor műtrágyák óceánokra gyakorolt ökológiai hatása igen jelentős. Újabb fenyegetést jelentve a tengeri ökoszisztémákra, beleértve az óceánok felső vízrétegének elsavasodását és felmelegedését a CO₂ koncentráció növekedésének köszönhetően.

31.3. A kálium körforgása

A növények számára, fontos a szénhidrát anyagcsere, a keményítő képzés, lebontás, az ozmotikus potenciál, valamint a fotoszintetizációs folyamatok szempontjából. A levél szárazanyagának 1.6 % és 2.5 % közötti részét teszi ki, egészséges levelekben. Az állati szervezetben a káliumnak az idegek ingerületvezetésében van igen fontos szerepe. Nélkülözhetetlen az izommozgások végrehajtásában, de kálium szükséges a vízháztartás, a vércukorszint és az ozmotikus egyensúly szabályozásához is. A kálium felvétele, felhasználása a szervezeten belül, valamint a kiválasztása ionos formában zajlik (K⁺).

A kálium megtalálható az agyag ásványokban (rácsos K), könnyen megkötődik a talajban, annál jobban, minél nagyobb a talaj agyagtartalma. Felszabadulását a talaj savassága teszi lehetővé. A talajból felvehető kálium mennyisége relatív kevés, de közel egyensúlyban van a sokkal nagyobb mennyiségben rendelkezésre álló kicserélhető káliummal, amiből a hiány pótolható. A talaj is tartalmaz káliumot, sokkal lassabban kicserélhető formában, amelyek a növényeknek szolgálnak forrásul. A talaj K-szolgáltató képessége nem csak a kicserélhető kálium mennyiségétől függ, hanem befolyásolja az is, hogy milyen ütemben tudja pótolni a

nem kicserélhető frakcióból a veszteségeket. **Kálium-pufferoló képességnek** nevezzük, a talajnak azt a tulajdonságát, hogy képes a gyökerek által a talajoldatból felvett káliumot kationcsere folyamatokban pótolni, és az agyagásványok felületéről káliumot a talajoldatba leadni. Így képes a kálium koncentrációját állandó értéken tartani. A talajban előforduló kálium tartalmú vegyületek rendkívül különböző formájúak lehetnek. Ezek kálium-szolgáltató képessége különböző. A növények számára legkönnyebben felvehető a talajoldatban lévő kálium, valamint a talajkolloidok felületén kicserélhetően megkötött káliumion. Az agyagásványok közé bezárt ionok nehezebben felvehetőek. A kálium lekötődése és felszabadulása között egyensúly áll fenn. Ezen ásványok bomlásával válik elérhetővé a K, ez azonban hosszú távú folyamat. Minden évben rendelkezésre áll a kálium, mennyisége attól függ, hogy milyen a talajban levő agyag aránya és típusa.

31.3.1. A kálium főbb útvonalai

A kálium alapvető forrása a trágya vagy a klorid és szulfát sók. Az állati trágyában a kálium biológiailag nem kötött egyéb vegyületekhez, ellentétben a nitrogénnel és a foszforral, amelyek könnyedén a növények rendelkezésére állnak. A műtrágyákban kálium-kloridot és kálium-foszfátot használnak. A trágya és a műtrágya kálium tartalma hozzájárul a talaj kálium tartalmához.

Talajban oldott kálium: a kálium oldott formában közvetlen felhasználható a növények számára. Az oldatban levő kálium mennyisége a felhasznált műtrágya mennyiségével, a mállás mértékével és a megművelés minőségével, milyenségével változik. A mennyisége legtöbbször nem elegendő a termény igényeinek kielégítéséhez. A talajban oldott kálium egyszerű mérése nem nyújt megfelelő információt a növények számára felhasználható kálium mennyiségének vagy a talajban más formában rendelkezésre álló káliumból való feltöltődési sebességének.

Kicserélhető kálium: a kálium negatív töltésű cserével való megtartása a szervesanyag tartalom és a talajban levő agyag ásványokon alapul. A kálium ezen, formája könnyen felhasználható, és a talajban oldott káliummal együtt szokás analitikus laborokban vizsgálni. A kálium oda-vissza áramlik a cserélhető formák és az oldat között.

Lassan kicserélhető K: a kálium beépüléséhez, az adszorpció során szükségesek az agyagásványok. Ez a típusú kálium lassan felhasználható. A sav kivonatok átfogó számítási módot biztosítanak arról, hogy milyen mennyiségű fixált kálium van a talajban.

Rácsos kálium: A kálium a rácsos szerkezetű agyagásványokon belül található. Az agyagásványok bomlásakor lassan szabadul fel.

Kioldódási kálium: Ahol a trágyák és műtrágyák által hozzáadott kálium mennyiség meghaladja a talaj kicserélő képességét, a kálium kimosódhat a talajból. Ez a veszély áll fenn a durva szerkezetű homoktalajok esetében is.

31.4. Nitrogén körforgalom

A nitrogén körforgalom egy gáz fázisú **biogeokémiai** ciklus (az elemek körforgása az élő, az élettelen szervezetek és a környezetük között) mely során az elemi nitrogén a növények számára is felvehető nitrátokká, nitritekké alakul. Majd a bomlási folyamatok következtében ammónia és ismét elemi nitrogén lesz belőlük. A szervesetlen tartalékot a levegő

nitrogéntartalma adja, azonban az élőlények többsége nem képes az elemi nitrogént hasznosítani a szervezetében. A nitrogénmolekulában ugyanis nagyenergiájú hármas kötés található, emiatt a nitrogén kevéssé reakcióképes gáz. Ezért a nitrogént csak egyes mikroorganizmusok képesek átalakítani ammónia sókká és nitritekké. Ez a folyamat elsősorban az élőlények és a litoszféra között zajlik.

Az állatok ürülékét és egyéb szerves hulladékot (el nem fogyasztott táplálék) a vízben, és a talajban élő gombák és baktériumok alakítják át **ammóniavegyületekké**. Ezeket az élővilágra veszélyes vegyületeket az **ammonifikáló** baktériumok konvertálják át **nitritvegyületekké**. Ezek a vegyületek szintén ártalmasak lehetnek az élő szervezetek számára. További lépésként a **nitrifikáló** baktériumok használják fel és alakítják át őket a növények számára elengedhetetlen **nitritekké** és **nitrátokká**. Ahogy a növények nőnek, és az állatok megeszik őket, a ciklus előről kezdődik. Kevésbé jelentős a hiroszférában és az atmoszférában lejátszódó nitrogén ciklus. Az **antropogén hatás** (emberi hatás) számos módon befolyásolja a nitrogén körforgalmat. Az erdőirtásokkal, a mocsarak és a lápok lecsapolásával igen jelentős mennyiségű nitrogén szabadul fel. Ezeken a területeken jelentős a denitrifikáció, ennek megszüntetésével csökken a levegőbe visszajutó és nő a hidroszférába jutó nitrogén mennyisége. Másrészt tüzelőanyagok elégetésével évi 20 Mt nitrogén jut a levegőbe, a műtrágyázásokkal pedig 60 Mt nitrogén kerül a talajba. Egy év alatt összesen 240 Mt nitrogén fixálódik újra, és ennek közel a 60%-a ipari eredetű.

31.4.1. A nitrogén fixálás

A nitrogén a talajba, kémiai vagy biológiai nitrogénkötés illetve elektromos kisülés folytán juthat be. A fotokémiai úton történő átalakulás nem jelentős (kevesebb mint $3 \cdot 10^{12}$ g N_2 /év). Nagy hőmérsékleten a nitrogén és az oxigén egyesülnek és nitrogén monoxid vagy nitrogén dioxid keletkezik, pl.: villámláskor. $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$, $N_2 + 2O_2 \rightarrow 2NO_2$. A nitrogén monoxid ha oxigénnel vagy ózonnal reagál nitrogéndioxid keletkezik ($NO_2 \xrightarrow{h\nu} NO + O$, $NO + O_3 \rightarrow NO_2$), ami ha vízzel reakcióba lép salétromsav keletkezik, amely az esővel jut le a talajba



A biológiai nitrogénkötést **nitrogén fixációnak** nevezzük. Ez a folyamat az egyetlen szakasza a nitrogén ciklusnak amit a mikroorganizmusok nem energiaszerzés céljából hajtanak végre. Az ezen az úton megkötött nitrogén mennyiség sokkal jelentősebb. A nitrogén fixáló baktériumok a szerves vegyületek lebontásával nyert energia segítségével képesek a légkör nitrogénjét ammóniává alakítani.



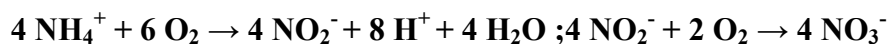
1 mol N_2 átalakításához annyi energia szükséges, mint amennyi 3 mól glükóz oxidációjakor keletkezik. Ez igen nagy energia befektetést jelent. A megkötött nitrogén a baktériumok sejtjeibe, főleg a fehérjékbe épülnek be. Ezeket a mikroorganizmusokat életmódjuk szerint két csoportba sorolhatjuk, **szabadon élő** és **szimbióta** baktériumok. A szabadon élő baktériumok egy hektáron átlagosan 50 kg nitrogént képesek megkötni ezzel szemben a szimbiózisban élő fajok 200-300 kg is megkötnék feltéve ha jó minőségű a talaj. A szabadon élő baktériumok általában olyan területen fordulnak elő ahol sok, számukra közvetlenül hasznosítható szerves anyag van jelen. Ezen belül is megkülönböztetünk aerob és anareob fajokat amik lehetnek kemolitotrófok (*Methanosarcina*, *Methanococcus*, *Methanobacterium*), kemoorganotróf (*Clostridium pasteurianum*, *Desulfovibrio*, *Desulfomaculum*) és fototróf (*Chromatium*, *Thiocapsa*, *Chlorobium*, *Rhodospirillum*) organizmusok. A legfontosabb anaerob

nitrogénkötő a *Clostridium pasteurianum*. Ez a baktérium levegőigényes mivel csak így fér hozzá a nitrogénhez viszont oxigén jelenlétében elpusztul. Ezért általában olyan más baktériumokkal él együtt amelyek a levegő oxigénjét hasznosítják de a nitrogénre nincs szükségük. A nitrogénfixációhoz szükséges energiát a glükóz erjesztésével szerzi mivel anaerob körülmények között nincs lehetőség a terminális oxidáció működtetésére. Így ezekből a szervezetekből hiányzik is a mitokondriumokból ismert elektrontranszport apparátus. A szinbióta baktériumok magasabb rendű növények, általában hüvelyesek gyökerén fordulnak elő de megtalálhatók például az égerfa vagy a keskenylevelű ezüstfa gyökerén is. A legjelentősebb nitrogén megkötő baktérium a *Rhizobium sp.* Nem csak szinbióta, hanem szabadon élő formában is megtalálható nagyszámban ott, ahol korábban hüvelyeseket termesztettek. A szabadon élő *Rhizobium* azonban nem köti meg a nitrogént. Ezek a mikroorganizmusok fajspecifikusan telepednek meg a növények gyökerén, de az általuk megkötött nitrogén mennyisége kimagaslik a többi nitrogénfixáló által megkötött mennyiséghez képest. Gazdasági jelentősége igen nagy, hiszen az ezek a baktériumok által megkötött nitrogén már felvehetőek a növények számára. A *Rhizobium* **lektint** tartalmaz melynek segítségével tud kapcsolatot teremteni a gazdanövénnel. Úgy vélik, hogy a pillangósvirágúakban a lektinek (fehérjék egy csoportja) valami módon részt vesznek a bakteriális partnerek felismerésében a *Rhizobium* baktériumokkal való **Hiba! A hiperhivatkozás érvénytelen.** szinbiózis kialakításakor.

A ciklus ezen folyamatához szükséges a megfelelő hőmérséklet (25-30 °C), valamint a semleges kémhatás. Befolyásolja még a szinbióta partner jelenléte és a talajban lévő anyagok. Az ammónia gátolja a nitrogén megkötést a Mo, Fe, Co, Ca azonban segítik. A nitrogén megkötő baktériumok aktivitását az acetilén redukció közben keletkezett etilén mennyiségének gázkromatográfiás mérésével tudjuk meghatározni. Ugyanaz a baktériumokban lévő **nitrogenáz** enzim az acetilént is elfogadja szubsztrátként. A vizekben élő leggyakoribb nitrogén fixáló baktérium a kékbaktérium amely a vízben oldott nitrogént ammóniává alakítja. A levegő 78% nitrogénjével szemben a vízben oldott gázok 65% -a nitrogén, amely még mindig jelentős mennyiség.

31.4.2. Nitrifikáció

A ciklus következő folyamata a **nitrifikáció** mely csak aerob körülmények között játszódik le. Két szakaszából az első, amikor az ammóniát nitritté alakítja majd a második mikor az előállított nitritet tovább alakítja a növények számára felvehető nitráttá. A reakció egyszerűsített egyenlete a következő



Viszonylag kevés, de nagy aktivitású faj végzi ezt a folyamatot ezért a környezeti hatásokra, szennyezésre nagyon érzékenyek. A folyamatot befolyásolja a talaj hőmérséklete (optimális a 30-35 fok), a víz telítettsége (max 70%), a kémhatása (ideális a semleges talaj). A toxikus anyagok kis mértékű jelenléte is megzavarja a folyamatot. **A nitrifikáló baktériumok anaerob, Gram negatív, kemoliotróf élőlények.** A nitrifikáció energia nyerő folyamat melynek hatására nő a talaj hőmérséklete is. A folyamat intenzitása szabályozza, hogy a talajban a nitrogén NH_4^+ vagy NO_3^- formájában van nagyobb arányban jelen. A mikrobák érzékenysége miatt különböző területeken más lehet a két vegyület aránya. Így például az is előfordulhat hogy a tundra talajában a nitrogén tartalom majdnem 100%-a ammóniumion míg máshol szinte egyáltalán nem található.

Az egyik legjelentősebb **nitritképző** baktérium a *Nitrosomonas europea* ami az energiát az ammónia nitráttá való redukálásából szerzi. Gram-negatív és obligát kemolitoautotróf. Ez a

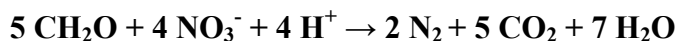
baktérium számos helyen megtalálható talajban, vizekben sőt még a házak falán is feltéve ha a levegő nagy koncentrációban tartalmaz ammóniát. Képes számos halogénezett szerves vegyület, többek között a triklór-etilén, benzol és vinil-klorid lebontására is. Anyagcseréje során salétromsavat is termel.

A **nitrátképzésért** a *Nitrobacter* nemzetség a felelős gyakorlati jelentősége pedig csak a *Nitrobacter winogradsky* fajnak van. Ez a folyamat az előbbihez képest kevésbé érzékeny a hőmérséklet változására. Azonban az oldható szerves anyagok kis mennyiségben is (glükóz 0,025% -nál) gátolják vagy teljesen le is állítják a nitrát képzést. A baktériumok megfelelő működéséhez a semleges vagy a lúgos kémhatás az optimális. 6 pH alatt a folyamat jelentősen lelassul. A nitrifikáció mérésére alkalmas módszer a talaj inkubálása ammóniával három hétig majd a keletkező nitrát quantitativ meghatározása. Vizekben fontos hogy a nitrifikációhoz megfelelő legyen a mészmennyiség. Túl alacsony szinten a nitrifikáció lelassul, felesleges mennyiség jelenlétében pedig a vízben felhalmozódó nitrátok és nitritek a halak és a növények pusztulásához vezethetnek. Az ívóvízben a nitrátszintet szabvány határozza meg (max 40 mg/L), ugyanis a magas nitráttartalom a csecsemőknél halált okoz. Leggyakrabban kútvíztől történik a mérgezés. A bejutó nitrát a baktériumok hatására nitritté alakul a csecsemő gyomrában és patkóbelében. A vérbe jutva a vörösvérsejtek haemoglobinját ún. methaemoglobinná alakítja át, így képtelenné teszi azt az oxigén szállítására. A mérgezett baba cianotikus, kék színű lesz ezért hívják a betegséget kékvérűségnek.

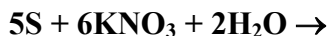
A nitrifikációkor keletkező termékeket a növények és a mikrobák az asszimilációs nitrátredukció folyamatában veszik fel. A sejtekbe történő beépítés előtt át kell alakítaniuk ammóniává. Ezt a folyamatot élesen el kell különíteni a denitrifikációtól, amelyet légzési (disszimilációs) nitrátredukciónak is nevezünk és ebben a folyamatban a felvett nitrát nitrogénné alakul. A nitrogén fixáció ellentétes folyamata a denitrifikáció mely során a nitrogén elemi formájában visszakerül a légkörbe. Ez a két folyamat egyensúlyban van, ez biztosítja a légkör viszonylag állandó nitrógentartalmát.

31.4.3. denitrifikáció

A **denitrifikáció** elsősorban energiaszerző folyamat ami növeli a talaj hőmérsékletét is, olyan anaerob légzés mely során a baktérium a nitritet elektron akceptorként használja fel és amelyre számos baktérium képes. A ciklus leegyszerűsített egyenlete a következő:



Több lépésben megy végbe, a végtermék minden esetben az elemi nitrogén, a köztes termék azonban a fajtól függően változhat. Általában nitrit, nitrogén-monoxid és néhány esetben dinitrogén-oxid. A denitrifikációt befolyásolja az oxigén jelenléte, a talaj szervesanyag tartalma, a víz telítettsége (60% alatt nem megy végbe a folyamat), a pH (3,9-9 között zajlik, de a pH növekedésével gyorsul a folyamat), és a hőmérséklet (30-35 °C között de a hőmérséklet csökkenésével lassul). Néhány denitrifikációra képes faj (például a *Paracoccus denitrificans*) képes oxigén jelenlétében is elvégezni a folyamatot tehát egyszerre tudja az oxigént és a nitrogént is redukálni. A folyamatot korespirációnak nevezzük. A denitrifikáció végbemehet több lépésben is. Ekkor a nitrátból nitrit és a nitritből ammónia képződik, vagy egy lépésben nitrátból ammónia lesz. A legtöbb denitrifikációra képes faj a *Pseudomonas* és *Alcaligenes* nemzetségbe tartozik. Előfordulnak olyan fajok is amelyek a nitrát oxigénjével szerves anyagokat is oxidálnak például ként és tioszulfátot



Ez a folyamat végbemehet kémiai reakciók során is de jelentősége a biotikus folyamatokhoz képest elhanyagolható. A denitrifikáció tehát csökkenti a talaj nitrogén tartalmát ami a műtrágyázott termőföldeken meglehetősen negatív hatású. A természetes talaj-ökoszisztémákban a denitrifikáció folyamata se nem káros se nem hasznos, hanem a körfolyamat része. E-nélkül a nitrogén nem kerülne vissza a légkörbe, a föld nitrogéntartalma kőzetekbe lenne raktározva és mivel a fehérjék felépítéséhez elengedhetetlen a nitrogén, megszűnne minden élet.

Az előbb említett példa már az emberi tevékenység következménye, viszont ez további problémákat vet fel. A talaj túlzott műtrágyázása és a denitrifikáció következményeként nitrogén-oxidok kerülnek a levegőbe melyek hozzájárulnak az ózonréteg bomlásához. A megoldás a kevesebb, ésszerű műtrágyahasználat és a részletesebb ökológiai ismeretek alkalmazása lenne a mezőgazdaságban. A denitrifikáció főleg az óceánok azon területén jellemző ahol az oxigéntartalom 0,25 ml/l alá esik. Gyakorlati jelentősége leginkább a szennyvíztisztításban van. A magas nitrogéntartalmú vizek nitrogénvegyületei a körfolyamatban szereplő baktériumok által nitrogéngázzá alakulnak ami távozik a rendszerből. A denitrifikáció mértékének meghatározásához a ^{15}N izotópot használják. Helyszíni mérésekor gázcsapdákat alkalmaznak laboratóriumban pedig a keletkező gáz összetételét vizsgálják.

31.4.4. Ammonifikáció

A nitrogén ciklus következő folyamata az **ammonifikáció** mely során a természetben keletkező szerves hulladék nitrogénje ammóniává alakul át. A legfontosabb ilyen szerves vegyületek az elpusztult élőlények fehérjéi és nukleinsavai, az állati ürülék és a gombák vagy rovarok által termelt kitin. Az ammonifikáló baktériumok ezeket az anyagokat hasznosítják energiaszerzés vagy táplálék céljából. Mivel tisztán szerves nitrogén tartalmú vegyületek nem léteznek, ezért az ammonifikációval párhuzamosan a szerves anyag szén, kén és hidrogén tartalma mineralizálódik (ásványosodik) különböző mikroorganizmusok hatására. Ezen anyagoknak csak az a része szabadul fel amelyik nem épül be közvetlenül a baktérium szervezetébe. A beépülés is csak ideiglenesen hiszen a baktériumok pusztulását követően ismét bekerülnek az ökológiai anyagforgalomba.

Viszonylag sok mikroorganizmus képes az ammonifikációra. Ezek között vannak olyanok amelyek többféle, mások csak specifikusan, egyféle szerves anyag lebontására képesek. Aerob ammonifikálási mód az elhalt élőlények aminosavjainak dezaminálása vagyis az aminoscsoport eltávolítása a szerves nitrogénvegyületek molekuláiból.

Fehérje erjesztésekor, anaerob körülmények között végbemenő aminosav dehidrogénezési, oxidatív dekarboxilezési és az aminosavak redukzív dezaminálási folyamatait összekapcsolva (Stickland-reakció 1934) a megfelelő savakon kívül ammónia is képződik.



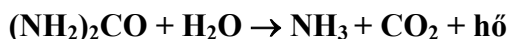
A fehérjék ammonifikációja tehát aerob és anaerob körülmények között is lejátszódhat és az ammónia mellett más termékek is keletkeznek például hidrogén, vagy szén-dioxid. A fehérjék aerob körülmények között jól mineralizálódnak, a lebomlásban keletkezett gázok mennyisége a fehérje összetételével arányos. A fehérjék a legnagyobb tömegű nitrogén tartalmú szerves vegyületek amik tartalmaznak még szénhidrogént, oxigént és kén is. A legfontosabb fehérje ammonifikáló baktériumok a *Pseudomonas* és *Bacillus* nemzetségbe tartozó mikrobák. A gombák közül főleg a *Trichoderma* és az *Aspergillus* fajok a fehérje ammonifikálók. Anaerob viszonyok között ez a folyamat nem teljes, szerves savak vagy alkoholok képződhetnek melyek más mikroorganizmusok segítségével bomlanak tovább.

A **kitin** olyan nitrogén tartalmú szerves vegyület melyet a gombák sejtfala és egyes állatok kitinpáncélja tartalmaz. Ez egy kémiaiag nehezen bontható anyag ezért a lebontását csak egyes baktériumok, a **kitináz** enzim segítségével tudják elvégezni. Ez a folyamat több lépésben játszódik le. Először a kitin hidrolízise során glükózamin és ecetsav keletkezik:



Majd az ecetsavból víz és széndioxid, a glükózaminból pedig újabb hidrolízissel glükóz és ammónia lesz.

A **humusz** ammonifikációja a növényeknek szükséges tápanyag ellátásának a szempontjából nagyon jelentős. Ez egy rendkívül ellenálló anyag melynek a pontos kémiai összetétele még ma sem ismert. A lebontása meglehetősen lassú folyamat évente mindössze 1%-a mineralizálódik. Azt a kevés fajt, amely képes megoldani, a *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Aspergillus* és *Trichoderma* genuszok között találjuk. A karbamid bontó baktériumok nagyrészt aerobok, a folyamat véghezviteléhez lúgos pH-ra van szükségük (8 feletti pH az ideális). Ilyen faj például a *Sarcina ureae*. Az urea bontó baktériumok a keletkező állati és emberi végterméket bontják le energiaszerzés céljából. Nagy gyakorlati jelentőségük a szennyvíztisztításban van. Ez egy viszonylag egyszerű folyamat melyet a baktériumban lévő ureáz enzim katalizál:



Az ammonifikációs folyamat az elemek körforgásának nélkülözhetetlen lépése. A mezőgazdaságban és a szennyvíztisztításban a szerepe jelentős, és a nitrogén fixálással együtt ez a folyamat biztosítja az ökoszisztéma nitrogénellátását. Az ammonifikáció mérése a helyszínen történhet liziméterrel, laboratóriumi körülmények között pedig inkubálással, kimosódással, proteáz vagy ureáz aktivitás méréssel vagy arginin ammonifikációjával.

31.5. A kén körforgalma

A kén a földkéreg 14. az élővilágban a 6. leggyakoribb eleme. Vitaminok fehérjék komponense, különböző mikroorganizmusok energiaszerző folyamataiban elengedhetetlen szerepet játszik. A kén csak kis mennyiségben található meg az atmoszférában, tartalékok az üledékes kén tartalmú kőzetekben vannak. A baktériumok több formában is képesek felvenni a kén. A növények csak szulfátok formájában, a növények és az állatok csak szerves kén tartalmú tápanyagban tudják hasznosítani. A talajban megtalálható kén legnagyobb mennyiségben szervesen kötött állapotban van. A talajtípustól függően lehet 0,8-100% is. Szervetlen formában más elemekkel alkotott oldható (Na,Mg,K) vagy oldhatatlan (Ba,Fe,Al) szulfátok, szulfitok formájában, vagy az agyagásványok felületén megkötötten fordulhatnak

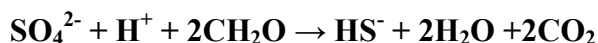
elő. Elemi állapotban megfelelően szellőzött talajban gyakorlatilag nincsen. A talajban előforduló legnagyobb jelentőséggel rendelkező szulfidja a gipsz, szulfátja a vas-3-szulfát.

Az atmoszférába vulkánkitörések illetve fosszilis energiahordozók elégetésével kerülhetnek SO_2 és SO_3 formában amelyek a vízzel reakcióba lépve savas esőként visszakerülnek a lito- és hidroszférába. A bomlási folyamatok következtében H_2S szabadul fel, ami szintén a levegőbe kerül és ott oxidálódik. Az óceánokban élő fitoplanktonok pusztulásakor keletkező dimetil-szulfid gáz kerül a legnagyobb mennyiségben a légkörbe, becslések szerint évi 20-50 millió tonna. A kőzetek mállásakor keletkező szulfátot a növények felveszik és beépítik a sejtjeikbe, a táplálékláncon keresztül bejut az állatok és az emberek szervezetébe. Az elpusztult élőlényekből a szulfátredukáló baktériumok alakítják át a ként H_2S formába ami a légkörbe jut. A különböző baktériumok elemi kénné alakítják tovább és beépítik a kőzetekbe vagy a szulfidoxidáló baktériumok szulfáttá alakítják és a ciklus kezdődik előről.

Az emberi tevékenység legjelentősebben a fosszilis energiahordozók elégetésével valamint a kén tartalmú ásványok feldolgozásával befolyásolja. A barnaköszén átlagosan 0,7% a feketeköszén 1% körüli értékű teljes ként tartalmaz. A Föld mai napig ismert szénkészletét körülbelül 7,5 billió tonnára becsülik ami ha az energiafogyasztás és a népesség ugyan ebben az ütemben növekszik nagyjából ezer évig elegendő. Ez azt jelenti hogy egy év alatt az emberi tevékenység hatására 67.5 millió tonna kén kerül a levegőbe (csak a szén feldolgozásával) ami körülbelül megegyezik a természetes folyamatok által a levegőbe jutó összes kén mennyiségével.

31.5.1. Asszimilációs szulfátredukció

Asszimilációs-szulfátredukció a kén körforgalom első lépése. Ebben a folyamatban a növények és egyes baktérium fajok a szerves szulfátokat a talajból felveszik és szulfhidril (-SH) csoporttá redukálva beépítik az aminosavakba. A mikroorganizmusok a redukcióhoz szükséges energiát szénhidrátok lebontásával szerzik.



Kisebb mértékben, nagyobb fokú légszennyezés esetén a kén SO_2 és H_2S formájában is bejuthat a növényekbe. A kén ciklus ezen része hasonló a nirtogén körforgalom asszimilációs nitrátredukciós szakaszával. A talajban a kén hiánya a növények károsodásához vezet növekedés és anyagcsere zavart okoz.

31.5.2. deszulfurizáció

A kén ciklus következő szakasza a deszulfurizáció mely során az elhalt szervezetekben lévő ként a baktériumok mineralizálják H_2S formában. A baktériumok a folyamat során energiát nyernek. Ilyen mikroorganizmusok például az *Escherichia*, *Proteus* és a *Clostridium* nemzetségebe tartozók. Szigorúan anaerob baktériumok, általában csak a talajban találhatók meg, élő szervezetekben kis mennyiségben a bélrendszerben. Nagyobb elszaporodásuk betegségeket okoz, pl.: húgyuti fertőzések. A deszulfurizáció az ammonifikáció folyamatával analóg.

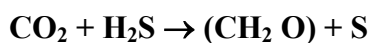
31.5.3. disszimilációs szulfátredukció

A disszimilációs szulfátredukcióban a baktériumok a szulfátok oxigéntartalmát arra használják hogy más szerves vegyületeket oxidáljanak, a kénből pedig kénhidrogént állítanak elő. Ez a folyamat a denitrifikációs folyamatra hasonlít, a különbség hogy a szulfátredukció

kizárólag anaerob körülmények között játszódik le főként mocsaras talajokban. A folyamatban résztvevő baktériumok többsége kemoorganotróf (szerves vegyületeket használnak fel), vannak viszont kemoautotrófok is amik széndioxid redukciójában is részt vesznek. Számos csoportosításukat alkalmazzák: halofilek és termofilek (só tűrő és hő tűrők) vagy spóráképző és spórá nem képzők. A **spórá nem képző** fajok a *Desulfovibrio* nemzetségbe tartozó baktériumok. A szulfát oxidációjához egyszerű szerves anyagokra (tejsavra vagy piroszőlősavra) van szüksége amit más baktériumok állítanak elő. A tejsav felhasználásakor ecetsav keletkezik, amit a szén körforgásban résztvevő metánképző baktériumok hasznosítanak, tavi üledékekben élő Gram-negatív baktériumok. A **spóra képző** fajok a *Desulfotomaculum* nemzetségébe tartoznak. Ezek a mikroorganizmusok a szulfátredukáló mellet, acetátot is oxidálnak. A szulfátredukáló baktériumok főként iszapokban, talajokban élnek. A vízpartok azon részeit ahol a körülmények megfelelőek a szulfátredukáló baktériumok számára „**szulfuretum**”-nak nevezik. Nagy szerepet játszottak a kéntelepek kialakulásában, a keletkező fém-szulfidok sötét színe okozhatja az iszapok hasonló színét. Ha kénhidrogén lebontása nem megfelelő vagy túl sok keletkezik belőle akkor a vizekben felhalmozódva az ottani élővilág pusztulásához vezethet. A szulfátredukálók csökkenthetik a vizek szulfáttartalmát ezáltal a savanyúbb vizek javulását segítik elő. Káros hatása hogy a fémekkel oldhatatlan vegyületeket képez, ezáltal elkorrodálja őket. Vannak olyan mikroorganizmusok melyek a tioszulfát vagy az elemi kén redukálására is képesek. Ilyen baktérium a *Desulfuromonas acetoxidans*, ami kén felhasználásával oxidálja az acetátot:



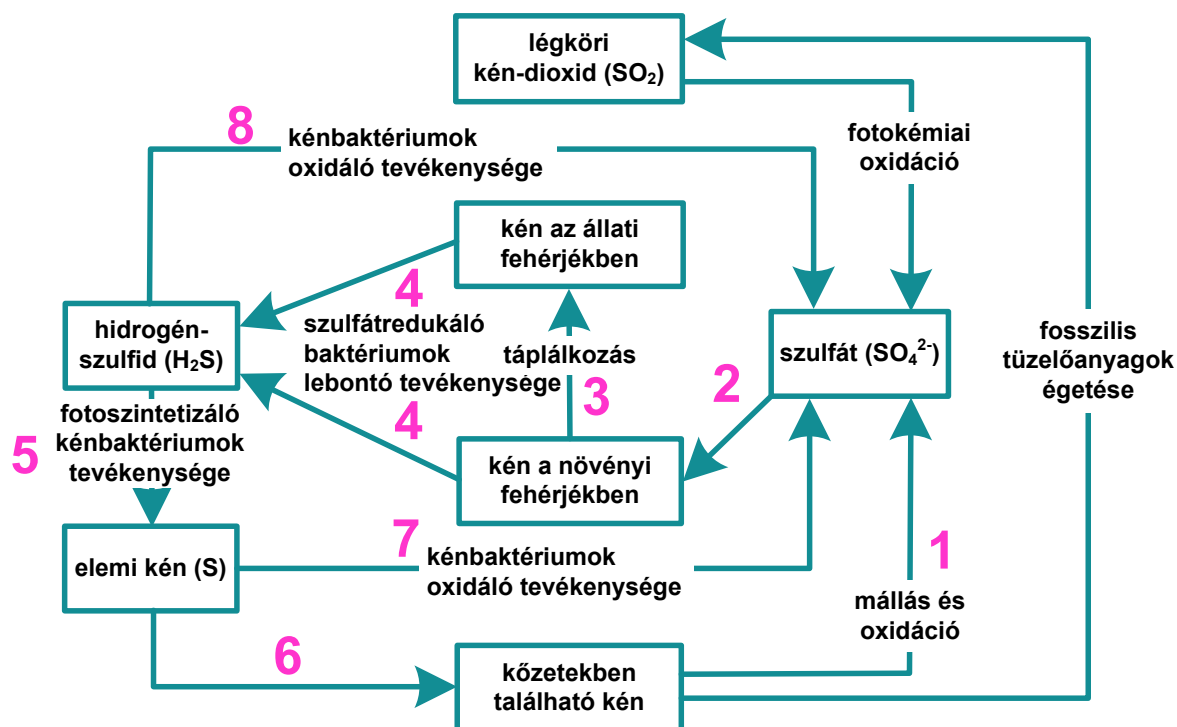
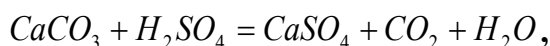
A kén körforgalom következő szakasz a kén mikrobiológiai oxidációja melyet a kénoxidáló baktériumok végeznek. Energia igényük kielégítésére kénhidrogént, ként vagy tioszulfátot oxidálnak szulfátokká. Két fő csoportja van, a fotoszintetizáló vagy színes baktériumok és a szintelen vagy nem fotoszintetizáló baktériumok. A **színtelen kénbaktériumok** által végzett folyamatok aerob körülmények között zajlanak le. A kénvegyületeket szulfáttig oxidáló fajok közé tartoznak a *Beggiatoa*, *Thiotrix* és *Thiobacillus* nemzetség tagjai. A talajban a legnagyobb jelentősége a *Thiobacillus* genus tagjainak van. Gram-negatív szervezetek melyek egyedül párban vagy láncban fordulnak elő. Környezetüket elsavanyítják, mivel a kénvegyületeket **kénsavvá** oxidálják. A sejtjeiken belül általában kénceppeket halmoznak fel. Az egyik leginkább savtűrő mikroorganizmus a *Thiobacillus thiooxidans*, ami általában elsavanyodott bányavizekben található. A számára kedvező pH 2 és 3,5 között van, de 0 pH-t megközelítve sem pusztul el! Energiaszerzés céljából az ércek kéntartalmát oxidálja. A szintelen kénbaktériumok oxidálása végbemehet anaerob körülmények között is, nitrát jelenlétében a *Thiobacillus denitrificans* baktérium képes a folyamat végrehajtására. A **színes fotoszintetizáló baktériumok** anaerob körülmények között oxidálnak. A folyamathoz csak a kénhidrogént használják fel. Két fő csoportjuk van a bíbor baktériumok és a zöld kénbaktériumok. Az első csoport tovább osztva két csoportra, a bíbor kénbaktériumokra és a nem bíbor kénbaktériumokra. A bennük lejátszódó bakteriális fotoszintézis fényreakció során megy végbe és nincs jelen két fotorendszer mint a növények fotoszintetizációja esetén. Ebben a folyamatban nem víz tölti be a hidrogéndonor szerepét, hanem kénhidrogén. Így a reakció végeredménye nem oxigén, hanem kén lesz:



A tengeri üledékekben megtalált *Thiobacillus denitrificans* képes a tioszulfát oxidációjára is nitrát redukció mellett. A zöld kénbaktériumok képesek az óceánok és a tengerek olyan mély rétegeiben is megélni ahol más hasonló szervezetek már képtelenek a fotoszintetizációra.

Ezért ezek a mikroorganizmusok a legalsóbb vízrétegekben élnek, felettük helyezkednek el a többi fotoszintetizáló szervezetek.

A biológiai úton az atmoszférába kerülő kénvegyületek kéndioxiddá oxidálódnak hidroxil gyökök segítségével. A kéndioxid közvetlenül levegőbe kerülésére nagyrészt az ember a felelős. A kéndioxid és a kéntrioxid nagyon jól elegyednek vízzel így az atmoszférában lévő vízpárával keveredve savas esőt okoz. A normál eső legalacsonyabb pH-ja 5 körüli értékű lehet (szénsavképződés következtében), csak az ennél alacsonyabb pH-jú esőt nevezzük savas esőnek (savas ülepedés). A savas esők rengeteg kárt okoznak a természetben és az emberi környezetben egyaránt. A fekete erdő körülbelül egyharmada, Magyarország tölgyerdőinek az 50%-a pusztult el ennek következtében. Hazánkban volt az egyik legnagyobb lombos fa pusztulás az 1980-as évek végén mintegy 1,5 millió m³ fa száradt ki. A sav a növények leveleivel érintkezve károsítja a klorofilt és emiatt elhullatják leveleiket. Erre a legérzékenyebb fafajta a lucfenyő, ezen már pár hónap után megjelennek az elszáradás nyomai. Savas esők következménye képen a bolygónk erdősségeinek és termőterületeinek csaknem 10% a vált sivatagossá. A savas esők következménye a felszíni vizeink elsavanyosodása és ez által egyes fajok számának csökkenése, esetleges kipusztulása. **A talaj savanyodásának** következményeként a fémvegyületek könnyebben oldódnak amely bekerülve a növények szervezetébe mérgező hatású. Az oldott nehézfém-ionok bekerülhetnek az ivóvízbe is. Nem csak a természetben okoznak problémát a savas esők, hanem a városokban is. Ugyanis a sav ilyen kis koncentrációban is oldja a mészkövet és a márványt, ezáltal károsítja az épületeket, szobrokat, utakat.



82. ábra: A kén körforgása a környezet biotikus és abiotikus összetevői között

1. A szulfátot (SO_4^{2-}) amelyek a kőzetek mállásából származik, felveszik a növények a talajból. Főleg gipsz (CaSO_4) és keserűsó (MgSO_4) valamint fém-szulfidok oxidációjából származó szulfát (SO_4^{2-}) található a talajban.
2. A növények a szulfátot redukálják, majd szulfidkötések segítségével kéntartalmú aminosavakba építik be (L-cisztein, L-metionin) szulfhidril-csoportként ($-\text{SH}$). A kénhidrogén erős sejtméreg, ezért ebben a formában nem tolerálják a növények.
3. A táplálékláncon keresztül jut az állatok szervezetébe.
4. Az elhalt szerves anyagokból és az ürületekből a kén a szulfátredukáló *Escherichia* és *Proteus* nemzetségbe tartozó baktériumok tevékenysége révén H_2S formájában jut vissza az élettelen környezetbe. Anaerob körülmények között redukálják szulfidokká vagy kénhidrogénné.
5. Egyes fotoszintetizáló baktériumok a H_2S -t elemi kénné redukálják.
6. A kőzetekbe épül az elemi kén.
7. A kénoxidáló baktériumok visszajuttatják a ként a körforgásba.
8. A szulfidoxidáló baktériumok a H_2S -t szulfáttá alakítják át.

32. Talaj funkciók (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

„A termőföld megbecsülése, ésszerű és fenntartható használata, megóvása az életminőség javításának egyik feltétele, ami alapvető társadalmi érdek mind a nemzetgazdaság mind a környezet-védelem szempontjából” (Várallyay, 1997).

A talaj az állandóan ható dinamikus hatások tere, és a Földkérget alkotó legfelső termékeny és laza rétege. A talajt, a talaj funkcióit, és a benne élő élőlényeket számos tényező alakíthatja, melyek lehetnek biotikus, abiotikus és antropogén eredetű hatások.

Biotikus tényező: élő környezet hatása a talajra. Ezek a tényezők lehetnek nélkülözhetetlenek (pl.: talaj mikrofaunák) és károsak (pl.: kártevők, kórokozók).

Abiotikus tényező: az élethez szükséges fizikai és kémiai jellegű élettelen tényezők. Pl.: fény, hőmérséklet, levegő.

Antropogén hatás: biotikus tényezőkhez tartozó hatás, az ember természetátalakító tevékenységének a következménye.

Manapság hazánkban és a világon egyaránt a talaj eddigi funkciói az idő múlásával kibővültek, és nem csupán a növények termőközege, biomassza előállítás bölcsője hanem a talaj sokoldalú funkcióinak kihasználása, megőrzése lett a fő cél.

32.1. A talaj jelentősége

A talaj a legfontosabb megújuló, megújítható energiaforrásunk. Ésszerű használata során, a növényi hozamok előállítása árán sem kell megsemmisülnie, változása nem csak egyirányú, minősége nem csökken. Ezzel ellentétben a nem megújuló energiaforrások, a szén és kőolaj megváltozhatatlanul átalakulnak. Ezen erőforrások megújulása nem megy végbe automatikusan, hanem állandó és aktív tevékenységet követel. A mezőgazdasági fejlődésben ennek a megújuló-képességnek a maximális kihasználása, fenntartása és megőrzése a cél.

A talaj a földi lét legmeghatározóbb eleme, és biológiai reaktora hiszen több természeti erőforrás együttes hatását ötvözi és közvetíti, ezzel adva életteret a mikroorganizmusoknak, az állatoknak, termőhelyet a rajta és benne élő növényeknek és az évszázadok során kialakult mezőgazdasági kultúráknak.

A talaj a biomassza-termelés alapvető közege, és a bioszféra legfontosabb tápanyagforrása. A talaj meghatározó és egyedi tulajdonsága, valamint különleges jellemzője a termékenység. A talaj háromfázisú rendszerében egyidejűleg fordul elő a víz és az oxigén, mely a növényeknek alapvető tápanyagforrás, másrészt ezzel biztosít a talaj a mikroorganizmusoknak feltételt a létezésre.

A talajlakó szervezetek és növények alapvető életfeltétele a levegő, valamint felvehető formában lévő víz és tápanyagok egyidejű jelenléte a talajban. Ez úgy lehetséges, hogy a talaj egy háromfázisú, **polidiszperz** rendszer. A talaj szilárd fázisát egyrészt különböző méretű és alakú térbeni elrendezésű aggregátumok (ásványi részek) és szerves anyagok alkotják. A szilárd fázis elemei között kialakuló pórusok egy része talajlevegőből (gázfázis), más része talajoldatból áll, lehetővé téve levegő és víz egyidejű jelenlétét. Ez nemcsak a légzésben, szervesanyag-lebontásban és vízfelvételben segíti a szervezeteket, hanem lehetővé teszi azt is, hogy a talajban lévő vagy oda juttatott növényi tápanyagok oxidált és oldott formában legyenek jelen.

A talaj hő-, víz-, növényi tápanyagok, de káros anyagok **raktározója** is egyaránt. Képes kiegyenlíteni a földfelszínhez közeli hőmérsékletváltozásokat, és a növények és mikroorganizmusok kialakulásához és fennmaradásához szükséges víz-, tápanyagokat is képes elraktározni.

Hő raktározás: A talaj képes a nyarak és telek szélsőséges hőmérsékleti ingadozásának káros ökológiai hatását mérsékelni.

Vízraktározás: a növényeknek biztosítja a vízigényét a hosszabb vagy rövidebb csapadéktalan időszakokban is. Továbbá a talaj határozza meg és befolyásolja a mesterséges vízpótlást, öntözés hatékonyságát. Ennek a globális klímaváltozás következtében egyre nagyobb a jelentősége. A klímaváltozás másik hozadéka a túlzott csapadékmennyiség az év egyes szakaszaiban, mely a talaj minőségét nagy mértékben rontja.

A növények tápanyagellátását és tápanyagfelvételét egyértelműen a talaj biztosítja. Az ellátás történhet a talaj természetes tápanyagaiból, ám gyengébb talajokon mesterséges pótlással egészítik ki a tápanyaghiányt.

A talaj a **bioszféra génbankja**, ami jelentős szerepet játszik a **sokféleség fenntartásában**, hiszen az élő szervezetek jelentős része él a talajban, vagy szorosan kötődik ahhoz. Az élőhelyek kialakulásának, változásának meghatározó feltétele a talaj, így ha abban bármilyen változás bekövetkezik az hatással van a talaj életközösségeire.

A fenti funkciók mindig más és más módon hasznosulnak. Függenek továbbá a politikai döntésektől, és hogy az adott gazdaságban milyen célok elérése a fontos. Napjainkban a területhasználati célok is nagyon sokfélék: biomassa termelése, élelmiszer, takarmány, nyersanyag vagy energia célra; népesség-foglalkoztatás, nyersanyag-kitermelés; építési terület, üdülés, sport, rekreáció; esztétikus táj; biodiverzitás megőrzése. Ezek a célok különböző módon veszik igénybe a talajt, egy részük hasznossá teszi, másik részük globális szempontból rombolja ezt. Viszont ez szükségessé teszi az odafigyelést a talajvédelemre.

32.2. Biomassa-termelés

A biomassa a vízben és szárazföldön rövid ideje elhullt, és élő szervezetek szerves anyag tömege, mely biológiai eredetű. A legfontosabb szerepet játssza a megújuló energiaforrások között. A nem túl jó helyzetben lévő agrárium kitörési pontja talán a biomassa-termelésben testesülhet meg úgy vélik a szakemberek. A mező-és erdőgazdaságok évente hatalmas mennyiségű végterméket produkálnak, aminek a felhasználását lehetne tudatosítani, és hasznosítani a növény, és állattenyésztésben, valamint az energiaellátásban. Ráfordításokkal meg lehetne valósítani hazánkban az ún. „energiaültetvények” létrehozását, hiszen Magyarország alkalmas lenne rá, mind a mezőgazdasági területek, mind a létesítmények megalkotásában. Összességében csak pozitív hatásokkal lenne a mezőgazdaságra, úgy az energia-termelésre ha komolyabb figyelmet kapna a biomassa, mint energiaforrás. Jótékony hatással lehetne a bioüzemanyag piacára is. A takarmánybúza és kukorica negyede is elég a mai bioetanol előállításához, nem beszélve a feleslegről ami a jelenlegi gabonapiacon megtalálható, ennek felhasználása segítené a szélsőségek egyensúlyba hozását, és az árak stabilizálását.

32.3. A talaj biológiai alkotói

A talaj biológiai tulajdonsággal is rendelkezik az alkotói miatt. Sokféle mikroorganizmusnak és kisebb - nagyobb állatnak ad életteret, melyek elhullásuk után a talaj szerves tápanyagát dúsítják. A talaj térfogatának mintegy 50-60%-át a szilárd részek, 40-50%-át a légnemű és folyékony fázisok alkotják. Az alkotórészek nagyobb részét élettelen, vagy abiotikus, kisebb részét pedig biotikus faktorok alkotják.

Élettelen komponensek: A szilárd alkotórészek szemcse mérete a több mm-től a mikrométer alatti tartományig is terjedhet.

A folyékony fázis, vagy talajoldat: a talajnedvességben szerves és szervetlen anyagok és gázok vannak feloldva.

A talajlevegő: mennyisége a mikrobiológiai tevékenység, egyes kémiai és biokémiai reakciók szabályozása szempontjából jelentős.

Élő szervezetek: a makro -és mikroszkopikus élőlények, melyek a talajalkotórészek keverésében, a szerves anyagok átalakításában játszanak döntő szerepet, majd elpusztulásuk után a talaj szerves anyagát gazdagítják.

33. Élőhelyek biodiverzitása (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

A Biodiverzitás jelentése sokféleség. "Sokféleség az élő szervezetek között, amely élőlények különböző - szárazföldi, tengeri, vagy más vízi - ökoszisztémákban élnek. A biodiverzitás magába foglalja a fajokon belüli, a fajok közötti, valamint az ökoszisztémák sokféleségét is". (Convention of Biological Diversity of EU)

A biológiai diverzitás jelentősége, megőrzése világszerte fontossá vált. Talán ez lehet az emberiség fennmaradásának kulcsa. A 90-es évek elején került a figyelem középpontjába, hogy a diverzitás talán segítséget nyújthat újabb fajok és gének megismerésében, fenntartásában, amikre eddig nem volt de a jövőben talán szükség lehet. Ha hagyjuk, hogy ezek a meg nem ismert fajok elvesszenek, talán az ismert gyógyíthatatlan betegségek gyógyszereit veszítjük egyben el. Az ember szerepe jelentős a biodiverzitás csökkenésében.

Élőhelyek pusztulása. A nagyobb biomokat (pl. esőerdőket, szavannákat, fenyőerdőket) már 20-50%-ban mezőgazdasági és lakóterületté alakítottuk át, illetve ipari célra formáltuk. Szűkebb környezetben pedig gondoljunk városaink folyamatos lakópark-inváziójára, ezzel pusztítva az így is kevés megmaradt zöld részeket.

Szennyezés. Folyókák, tengerek, a levegő, a talaj szennyezése. Gondoljunk a tiszai ciánszennyezés, hogy folyamatos híreket kapunk a különböző tartályhajók, és olajfűtőtornyok katasztrófáiról, mely az egész partmenti növény- és állatvilágot károsítja, a talajok szennyezésére mezőgazdasági kemikáliákkal, az iszapkatasztrófára. Az ipari szennyezésre.

Evolúciós szemlélettel ellentétes viselkedés. Az evolúció évmilliárdjai során kialakult egy egyensúly az élőlények között. Az élőlények annyit vesznek el a környezetükből amennyire szükségük van és vissza is juttatják azt. Ha túlszaporodik egy faj, a limitáló tényezők visszaszorítják az egyedszámot. Ha nem tud adaptálódni és beilleszkedni akkor kihal. Az ember azonban olyan természetellenes működési elveket alkalmaz, mint a fogyasztói társadalom, a fogyasztás és a termelés vég nélküli fokozása, a szabad kereskedelem, a globalizmus, a kozmopolitizmus. Sosem volt vegyi anyagokat állít elő és szabadít rá a bioszférára. És teszi mindezt a földdel egy szűk érdekcsoport, a saját hatalma és gazdagodása érdekében. A természet élőlényei közül egyik sem viselkedik így módon. Ha így tett volna nem maradhatott volna fenn...

Kizsákmányolás. Az őserdők kipusztítása mezőgazdasági területszerzés érdekében. A luxusételek és a kaviár miatt veszélybe került sok tokfaj, Japánban pedig elterjedt a bálnavadászat. A túlhalászat felborítja az ökológiai egyensúlyt az óceánokban. A mezőgazdaság a globális piacgazdaság szorítása miatt csúcsra van járva, évmilliárdos evolúciós szabályokat felrúgva.

Hobbi: Számos fajt túlvadásztak, főleg a vadászati kultúrával nem rendelkező népek kapzsiságból vagy éhező országok táplálékszerzés céljából. A magas kultúrájú természeti népek tradicionálisan ismerték mennyit vehetnek el a természetből, többet nem. Szerencsére hazánkban a hagyományokra és modern tudományos ismeretekre épülő tervszerű és gondos vadgazdálkodás jellemző.

Egyes tájidegen fajok agresszívan szorítják ki az **őshonos fajokat** például: akác, parlagfű. Óriási károkat okoznak az elvadult domesztikált fajok a természetben, mint a kutya vagy a

macska, amelyet az állatvédők nyomására immár gyéríteni sem lehet. Új-Zélandon vagy Ausztráliában a macskák és a patkányok okoznak mérhetetlen károkat az erszényesekben. Globális felmelegedés és **klímaváltozás**. 4°C -os átlag évi hőmérsékletváltozás is lehet, ami miatt jelentősen eltolódnának az éghajlati övek. Emiatt az állatok élőhelyeiket megváltoztatják. Hazánkban jó példa a 2010. június 8.-ai Királyhegyes és Mezőhegyes térségében kialakult jégvihar, mely hurrikánként pusztította el a kék vércse élőhelyének 70%-át.



83. ábra: Jégvihar Királyhegyes és Mezőhegyes térségében 2010 Fotó: Engi László, www.falconprojekt.hu

Következmények

Energia elvesztése. Az energia 50%-át a fejlődő országokban még fából nyerik, kiirtják az esőerdőket, így a nélkülöző országok még rosszabb helyzetbe kerülnek Afrikában vagy Ázsiában. A szegényebb és nomádabb népek még jobban ki vannak szolgáltatva a természetnek, ezzel együtt a környezetük diverzitáscsökkenésének is, azáltal, hogy kultúrájuk, életvitelük és megélhetésük is szorosabban kötődik a természethez. Pl.: növénytermesztés-állattenyésztés, piac, export.

Élelemkészletek. Körülbelül 7000 növényt és 100 állatfajt használunk a mindennapokban étkezési célokra és a gyógyszerek fele is növényi eredetű.

Biogeokémiai folyamatok. Víz-, oxigén-, szénkörforgás és talajfolyamatok. A növényeknek, állatoknak fontos szerepe van a víz, a levegő és a talaj termékenységében, tisztításában, megújulásában.

Klímaszabályozás. Az éghajlatváltozáshoz erősen hozzájárul az erdők pusztulása. A széndioxid megkötésével és oxigén termelésével fékezik a folyamatot.

Kultúra és szabadidő. Szabadidős programokban rengetegen megyünk ki a természetbe a családdal, a környezetünk sokfélesége teszi lehetővé, hogy minden táj, élőhely, erdő stb. más és más legyen, változatos növények és állatok lakják a közvetlen környezetünket és a világot mindenfelé.

Talajszennyezés

A talajszennyezés elsősorban a környezetvédelmi előírások be nem tartásából fakad, gondolhatunk itt az illegális szemét- és hulladéklerakókra, melyek egyre több és egyre

jelentősebb problémákat okoznak. Ennek következtében különböző vegyi és szervetlen anyagok kerülnek a talajba. A szennyezés ökológiai körforgásba kerül, majd az emberbe mint csúcsgyógyászta jut és az ökológia szabályszerűsége szerint felhalmozódik.

Az életminőség javulásával és a luxus- és felesleg cikkek megjelenésével egyre több és több hulladék keletkezik, melyek raktározása egyre nagyobb gondot okoz, főleg a nagyobb városokban. Az esetleges leadás is pénzbe kerül, ha olyan szemétről van szó, ezért törekednek egyre többen hasznát húzni az illegálisan tárolt hulladékokból. Ám az így tárolt felesleget feltételezhetjük, hogy az előírtaknak nem megfelelően tartják, és tárolják. Aki szeretné is elszállítani és megfelelő körülmények közé elhelyezni a speciális (veszélyes) hulladékot, sokszor nincs rá lehetősége, mivel az ilyen hulladék feldolgozó elég ritka és nagyon kevesek számára elérhető. A szabványos szeméttároló azonban nem rossz beruházás, mivel munkahelyek születnek, valamint jelentős adóbevételt is jelenthet azoknak a kis településeknek, akik anyagi gondokkal küzdenek.

E probléma felismerésével együtt jött létre a talajtisztítás és a kármentesítés, ám a probléma duzzadásával egyre nehezebb ezeket a feladatokat teljesíteni, egyrészt a ráfordítható összeg és a szennyezés mérete ellentétes arányban van. Sajnos az előbbi csökken, az utóbbi pedig növekszik. Néhol a szakmai tudás hiánya szüli a problémát, ugyanis a felismert és javításra váró talajproblémák megoldására megteremtett költség nem jó helyre koncentrálódik, ezért nem hasznosul hatékonyan.

33.1. Talaj biodiverzitás

A talaj biodiverzitását a benne lévő összes élő szervezetek alkotják, ezzel ellátva a természetes körforgását és megújulását a talajnak, mely az egyik legfontosabb eleme Földünknek. A talaj fejlődése többféle módon jöhet létre.

- közvetlen hatás (talajlazítás, elhalt szerves anyag lebontás)
- közvetett hatás (táplálkozási lánc révén)

A biodiverzitásnak több összetevője van, tartalmazza az előforduló fajok számát és gazdagságát, a fajokon belüli genetikai változatosságot, az ökoszisztémák sokféleségét és az egyedek más fajok közötti előfordulását.

A talajban élő állatok méretük szerint tartozhatnak a mikro-, mezo-, makro- és megafaunához. Léteznek úgynevezett állandó talajlakó, időlegesen előforduló és periódikusan megjelenő szervezetek. Tekintsük át az alábbiakban a talajlakó fauna néhány jelentős elemét a biodiverzitás szemszögéből is.

33.1.1. A protozoák

Jellemzően kistestű lények, valódi sejtfallal nem rendelkeznek. Rendkívül jól alkalmazkodnak a talaj minőségéhez és állapotához. Némelyik faj a talaj kiszáradásakor betokozódik, vagy külső burkát megszilárdítja és így vészeli túl a szárazságot. Nagy hatással van rá továbbá a talaj pH-értéke is. Általában a talaj legfelső 5 cm-es rétegében élnek kizárólag nedves talajban, viszont némelyik akár 1m-es mélységig is „lélhat”. A talaj termékenységében is fontos szerepet játszanak, mivel gyakorlatilag ennek egész szén- és nitrogén körforgalma rajtuk keresztül megy át. Baktériumokkal és gombákkal is táplálkoznak, ezzel gondosan karbantartva a talajban élősködő mikroszervezetek számát. Egy talajban minél több protozoát találunk, annál jobb a talaj minősége, állapota.

Osztályozásuk

- Egyféle magvúak törzse: spórások, gyökérlábúak, ostorosok, galléros ostorosok
- Kétféle magvúak törzse: csillósok

Fajtái

- baktériumfalók
- ragadozók
- kannibalisták
- szaprofágok

Ezek az egysejtűek a bonyolultabb szerves anyagokat egyszerűvé alakítják, ezzel kiszolgálva a talaj felszínén élő magasabb rendű növényeket.

33.1.2. A nematodák

Közel 20 ezer ismert fajuk van, melyek főként a talajban élnek. Alkalmazkodóképességük talán a legnagyobb a faunák közt. Sós tengerekben, édesvizekben, fél sós vizekben, szikes talajokban sőt sivatagokban is megtalálhatók. A nagyobb pórusokban és vízhártyákban élnek, leginkább a nedves talajban.

Osztályozásuk táplálkozás szerint:

- Mindenevők: ezek a legáltalánosabbak, bomló szerves anyagokon élnek
- Ragadozók: más fonálférgekkel táplálkoznak
- Paraziták: megfertőzik a növényi gyökereket, cisztákat képeznek rajtuk. Ha bejutnak a növénybe, akkor utat nyitnak más kórokozók számára is.
- Növényevők
- Gombákat fogyasztók
- Baktériumokkal táplálkozók

A fonálférgek táplálékul szolgálnak az atkák, ugróvillások, hangyák és különböző gombák számára. Ha a körülmények kedvezőtlenek, akkor összezsugorodik, teste víztartalmának akár a felét is képes kipréselni magából, majd akár egy évig szünetelteti az életműködéseit, amíg a körülmények megfelelővé nem válnak.

33.1.3. gyűrűs férgek

Testük féregszerű, látszólag azonos szelvényekből épül fel, azonban mikroszkópos nagyításban ez nem mindre igaz. Ide tartoznak a talán legismertebb talajlakó állatok, a giliszták. Végtag nélküli bőrizomtömlőik segítségével mély járatokat ásnak a földbe.

Táplálékaik főleg mikroorganizmusok, de bélcsatornájukat kb. azonos arányban töltik ki a növényi maradványok, gombafonalak és az ásványi talajkeverék. Az avarszintben élő állatok elsősorban az ugróvillásokat, atkák ürülékét és a különböző gombákat fogyasztják.

A giliszták nagyon érzékenyek a szárazságra. Előle egész mélyre ásnak, majd kis csomókba összegömbölyödnek és így élik túl a kedvezőtlen időszakot. Átlagos testhőmérsékletük 10 °C körül mozog hazánkban, viszont országonként és földrészenként változhat. A nedves talajt kedvelik, viszont a hőmérsékletre rendkívül érzékenyek és 25 °C-os meleget nem viselik el

semmilyen körülmények között, azonban 0 °C vagy alá megy a hőmérséklet, akkor teljesen inaktívvá válnak.

33.1.4. Atkák

Csáprágós ízeltlábú, melynek több mint 15ezer fajtát ismertük meg napjainkig. 90%-uk az erdők talajában él. Testméretük 0,2-2 mm közötti, egyedtől függően. Szemük nincs, mégis bebizonyított tény, hogy érzékelik a fényt, így tájékozódnak.

Fejlődésük négy stádiumon keresztül megy végbe, amiket vedlések választanak el egymástól. A négy szakaszt egy lárva és három úgynevezett „nympha” alak alkotja. Az utóbbinál 4-4 pár láb alakul ki, a lárva szakasszal ellentétben, ahol csak 3-3 pár láb található. A talajfauna számára az atkák családjai közül a jelentősebbek a páncélos atkák és a ragadozó atkák. A páncélos atkáknak nagy a talajbiológiai jelentőségük. Külseje sötétbarna, szinte páncélos, nevüket erős lemezeiről kapták. Fontos tulajdonságuk, hogy végtagjaikat szorosan be tudják húzni testük mellé, ezzel egy „tömböt” alakítva ki mely megvédi őket a ragadozóktól és a kiszáradástól. Ez teszi lehetővé a páncélos atkák számára, hogy a talaj különböző szintjeiben egyaránt megtelepedhessenek. A lebontásban is nagy szerepet kapnak, mivel mindenevők.

33.1.5. Baktériumok és gombák

A baktériumok (Bacteriophyta) klorofill nélküli prokarióták. Egyenként és laza telepeket alkotva is megtalálhatjuk őket a talajba. A gombafonalszerű telepeket sugárgombáknak hívjuk.

A baktériumok és gombák ezredmilliméternyi sejtmag nélküli kis szervezetek, hétköznapiabb nevén mikroorganizmusok. Sejtfaluk hermicellulózsból vagy pektinszerű anyagból áll. Vannak mozdulatlan formák és emellett több fajnak finom plazmafonalakból álló ostora is van.

Osztályozásuk

- ostorok száma és eloszlása szerint lehetnek: mototrich, politrich
- festődésük alapján: Gramm-pozitív, Gramm-negatív
- DNS vizsgálattal tovább csoportosíthatóak

A baktériumok közül a legtöbb faj heterotróf táplálkozású. Sok szaprofita is van köztük, melyek a szerves anyagokat az enzimjeikkel lebontják vagy megerjesztik. Ivartalanul szaporodnak, emiatt az utódaiknak genetikai állománya megegyezik. Így a baktériumok evolúciója a genetikai változásokban létrejövő mutáció révén valósul meg. A kórokozó baktériumok csak károsítják a gazdatestet, így ezek okozzák a legtöbb állat, növény és ember számára a betegségeket.

Tudományos adatok mutatják, hogy a mélységgel csökken a mikroorganizmusok száma, kivétel a száraz homoktalajokban, ahol a gyorsan kiszáradó felső rétegben kevesebb mikroszervezet van, mint a kissé nedvesebb, mélyebb szinteken. A baktériumok biológiai aktivitása a talajlégzéssel mérhető, tehát a szén-dioxid felszabadításával és az oxigén fogyasztásával járó folyamattal. A talaj élővilágának körülbelül a felét a baktériumok teszik ki a sugárgombákkal együtt. A másik fele gombák és állati szervezetekből tevődik össze.

Gombák

Eukarióta, telepes testfelépítésű, klorofillt nem tartalmazó csoport. Az algáktól és a moháktól elkülöníti őket, hogy nincs zöld színtestük, a baktériumoktól pedig a valódi sejtmagjuk megléte. Heterotróf táplálkozásúak, azaz szénszükségletüket szerves anyagokból,

energiaszükségletüket pedig kémiai anyagokból állítják elő. Többségük főleg szaprofita és parazita. A valódi gombák szaporodása lehet ivaros és ivartalan, sejtfaluk leginkább kitint, de ritkán tartalmazhat cellulózt is. Nagy részük aerob, tehát az anyagcseréjükhöz szükségük van az oxigénre, viszont hiányát nem sok gombafaj bírja, és ha bírja is, leáll a sejtek szaporodása. A gombák legfontosabb és leghatékonyabban felhasználható tápanyaga kis molekulású cukrokból és más, vízben oldható, széntartalmú vegyületekből áll, azonban legtöbbjük rendelkezik a poliszaharidok lebontására is alkalmas enzimapparátussal.

Nagy szerepük a lebontásban van, amiket a szaprofita gombák végeznek. Elsősorban szerves növényi anyagokat bontanak, de nem mindet. A teljes lebontást csak baktériumok végzik, a gombák úgymond „besegítenek”, felgyorsítva ezzel a folyamatot.

33.2. A talaj biodiverzitás szerepe

A biológia diverzitás és annak megismerése rendkívül fontos a fenntartható fejlődés érdekében. A talaj maximális kapacitásának kihasználását napjainkban a diverzitásnál nincs nagyobb tényező, ami befolyásolni tudja. Az emberi lét szorosan összefügg a biodiverzitás megőrzésével és fejlődésével. Azonban a 21. századi civilizáció életvitele ezt éppen lerombolja. Ezért nyújt a talaj biodiverzitás megőrzése a kutatók számára óriási kihívást, hogy hogyan műveljék a földjeiket az emberek, hogy az abban élő szervezetek minél jobban kihasználhassák azt.

A talajban élő szervezetek számos fontos folyamathoz hozzájárulnak.

- A talaj ökoszisztéma kialakulásához, és annak fejlődéséhez
- A talajban lévő szerves anyagok lebontásához és átalakításához, s ezáltal a növényi tápanyagok felvehetőségéhez (humifikáció, mineralizáció)
- A szén megkötéséhez, melyet asszimilálnak és felhasználják a saját szerves vegyületeinek a felépítéséhez, ezáltal megakadályozzák a CO₂ képződést, ami csökkenti az üvegházhatást
- Nitrogénkötéshez és más növényi tápanyag felvételéhez
- A növényi kórokozók és állati kártevők visszaszorításához
- A leromlott és szennyezett talaj javításához
- A talaj szerkezet képzéséhez, mivel a kisebb- nagyobb állatok átrágják magukat a talajon, ezáltal hozzájárulnak a talaj kedvezőbb víz- és levegő háztartásához

Az egyes taxonokhoz tartozó egyedszámok:

Csoportok	Ismert	Feltehető
baktériumok és vírusok	5.800	10.000
protozoák és algák	100.000	250.000
gombák	80.000	1.500.000
gerinctelenek	1.500.000	7 - 50 millió
kétéltűek és hüllők	12.000	13.000
halak	20.000	23.000
madarak	9.100	9.200
emlősök	4.200	4.300
Edényes növények	250.000	300.000
Egyéb növények	150.000	200.000
Összes	2.125.300	9 -52 millió

33.3. A diverzitás formái

A talaj biodiverzitását többféleképpen lehet megközelíteni.

Biológiai diverzitáshoz tartozik egy fajon belül a genetikai összetétel és a fajok feletti szinteken a társulások, az életközösségek, a tájak sokfélesége is. A talajban lakó életközösségek tekintetében a genetikai, faji, életközösségi szintű diverzitást is befolyásolja, pontosabban ennek három komponensét, az összetételt, struktúrát és funkciót.

A **kompozicionális diverzitás** a genetikai, faji (taxonómiai) és életközösségi (ökoszisztéma-) diverzitást is magába foglalja. A genetikai diverzitás fenntartása fontos a fajok fennmaradásához és megismeréséhez, míg a faji diverzitás fenntartása a különböző társulások, élőhely típusok megőrzésének feltétele.

A **térbeli (architekturális) diverzitás** az alkotóelemek térbeli rendezettségét jelenti. A talaj vonatkoztatásában pl. a megfelelő talajszintek és rétegek elhelyezkedése.

A **funkcionális diverzitás** a trofikus kapcsolatokat, az anyag- és energiaáramlási folyamatokat jellemzi. Ez az összetevő a legnehezebben megismerhető és mérhető, például a talaj hogyan járul hozzá a diverzitás fenntartásához. Az előbb felsorolt formák szorosan összefüggnek, és meghatározzák az élővilág milyenségét, és hatással vannak az ökológiai folyamatokra is.

33.4. Vadászat, vadgazdálkodás és a biodiverzitás

A nagy tradíciókkal rendelkező hazai vadgazdálkodás nemhogy csökkentené, hanem aktívan hozzájárul a biodiverzitás fenntartásához. Azokon a természetes területeken, ahol intenzív vadgazdálkodás folyik fontos fenntartani a természetes ökoszisztémát. A vadnak ugyanis szüksége van a természetes élőhelyre, táplálkozási, búvó- és szaporodási helyre. Ezért csak ott lehet eredményes a vadgazdálkodás ahol ezeket a feltételeket biztosítják a vadállomány számára. Ez azt jelenti, hogy ehhez nagy kiterjedésű erdőségeket, változatos élőhelyet biztosító természetes, háborgatástól minél inkább mentes, vízzel és búvóhellyel rendelkező területeket kell fenntartani erre a célra, ahol a szabadon mozgó vadállományt helyben tudják tartani. Nagy energiatartalmú növénykultúrákkal fedett, mezőgazdasági vegyszerektől mentes vadföldeket tartanak fenn a vadgazdálkodók, amely bőséges táplálékforrást nyújt az állatok számára. Ezeken a területeken természetesen nem csak a hasznosítandó vadállomány tud optimálisabb életfeltételeket találni, hanem minden, az ökoszisztémát alkotó élőlény. Az ilyen, gondosan kezelt vadászterületeken jóval nagyobb a biodiverzitás. Megnő a fajok száma és az egyedszám. Ezzel párhuzamosan **gazdagodik a talajélet** is ami dúsabb vegetációt eredményez. Ez pedig újabb élőhelyet teremt az egész ökoszisztéma számára. Az élőhelyek fejlesztését pedig a vadászok -épp az előbbieik miatt- aktívan végzik.

A magyar vadgazdálkodók szakértelmét és gondosságát dicséri az a tény, hogy a jelenlegi (2010) világranglistán az első 50 gimnófaa 32%-át teszik ki a hazánkban elejtett gímszarvas agancsok. Az első 30 helyen pedig 13 gímszarvasagancsral büszkélkedhetünk. Ez egy jelentős nemzeti kincs, amelynek megőrzését mintegy 400 ezer hektárnyi génmegőrzési, elsődleges rendeltetésű vadászterület is segíti.

A vadászterületek fenntartásának anyagi költségeit azok a természetszerető és a vadállomány fenntartásáért elhivatott, időt és energiát feláldozó elkötelezett magánszemélyek hordozzák,

akik a vadásztársaságok tagjaiként vadásznak. Így hibás az a társadalmi negatív attitűd ami manapság a vadászatot és a vadászokat körülveszi.

Annál is inkább, mert a vadászható fajok köre gondosan meg van határozva. A hanyatló egyedszámú, védett vagy védendő fajok semmiképpen sem kerülhetnek bele. Csak a bőséges létszámú, biztos megújulási potenciállal rendelkező fajok vadászhatók. Azoknak a hasznosítása (kilövése) is időszakhoz (utódnevelési időszakon kívül) és gondos létszámbecslés utáni egyedszám korlátozáshoz van kötve. Így nemhogy túlvadászással, de sokkal inkább egyes fajok túlszaporodásával kell megküzdeni (vaddisznó, őz, muflon).

A laikus társadalom negatív megítélésének inkább azokat a túlbuzgó állatvédőket kellene sújtania, akik például jogszabályokkal és a közhangulat befolyásolásával sikeresen tiltatták be a kóbor macskák és kutyák gyérítését a természetben. Ezek a teljesen tájidegen, sőt domesztikált (házasított) fajoknak semmi keresnivalójuk sincs a hazai ökoszisztémákban. Mérhetetlen kárt okoznak a természetes populációkban. Az éhes kóbormacskák válogatás nélkül fosztogatják a védett madarak fészkeit, a kóbor kutyák pedig falkákba verődve gyakran nagyvadakat is szétmarcangolnak, de a természetjáró emberekre is veszélyesek. Betegségeket hordozhatnak. A domesztifikációval elvesztett ősi etológiájuk (viselkedésük) miatt pedig utólag sem tudnának beilleszkedni, a visszanyert szabadság mámorában féktelenül pusztítanak minden fajt amihez hozzáférnek. Nos, jelenleg minden józan érvelés ellenére sokan ezeket a fajokat védik, a természetes egyensúly fenntartásáért küzdő vadgazdálkodókkal szemben.

Üdvös lenne a biodiverzitás fenntarthatósága érdekében, ha a külföldiek földvásárlásának lehetőségével szemben inkább a hazai vadásztársaságoknak biztosítanák a saját földtulajdon megszerzésének jogi lehetőségét. Ezek a területek akkor már biztosan természetes vagy természet közeli állapotban, intenzív mezőgazdasági művelés vagy beépítés mentesek maradnának! Nemzeti érdek lenne minél több ilyen terület. Továbbá hasznos lenne olyan jogi szabályozás, amely a vadásztársaságok jelenlegi, nehéz anyagi helyzetbe hozását szüntetné meg. Például a vadgazdálkodással kapcsolatos adók mérséklése, a sokszor túl szigorú - betarthatatlan szabályozások egyszerűsítése és ésszerűsítése, a vadkárok társaságra terhelésének megszüntetése, stb. Így több forrás maradna a vadásztársaságoknak az élőhelyek megőrzésére és fejlesztésére, amely mindannyiunk érdeke.

33.5. Biodiverzitás napjainkban

A biodiverzitás a sokféleségen alapuló géneket, fajokat és ökoszisztémákat takarja. A biológiai diverzitás az **ökológiai rendszerek sokféleségét is jelenti**, gondoljunk csak az erdőkre, mocsarakra, sivatagokra, tavakra, folyókra, hegyekre, a mezőgazdasági területekre stb.... Az egyes ökoszisztémák, élőlények és az ember is maga, közösséget alkotnak, igen nagy hatást gyakorolnak egymásra és környezetükre. Az életformák együttműködése és azok kölcsönhatása teszi a Földet lakhatóvá az emberiség számára. Ezáltal a biológiai sokféleség, ezzel együtt a természet számos terméket és szolgáltatást ad számunkra, ami az emberi élet fennmaradásához elengedhetetlen. Napjainkban a biodiverzitás hanyatlását éljük meg, hiszen legtöbb cselekedtünk és életvitelünk ezt a negatív folyamatot erősíti. Hosszú távon rendkívül súlyos következményekkel járhat, ami a mindennapi jólétre, és a természet elszegényedésére is hatással van. Rengeteg kiváltó oka van, amit sajnos nagyon nehéz megállítani, hiszen két egymással szemben álló dolog a vagyon és hatalom megszerzése és a természeti értékek megőrzése. Mivel gazdasági érdekek és az azok által mozgatott politikai döntések sokasága irányítja az emberiség viselkedését a természettel szemben.

2010 a biodiverzitás éve

Naponta körülbelül 50 faj pusztul ki a világon, míg egy új születése több ezer évben mérhető. Az állat- és növényfajok bármennyire legyenek is alkalmazkodóak, képtelenek felvenni az őket és élőhelyüket érő változások ütemét. Az Európai Unió 2010-et választotta a biodiverzitás évének. Ezzel azt a nemes célt tűzte ki, hogy megállítja a folyamatos hanyatlást 2010-ben. Feltehetjük a kérdést, hogy amit a mai civilizáció lerombolt több évtizedek, évszázadok alatt, azt most egyetlen évben vissza lehet-e fordítani vagy akár megállítani. A válasz nem, vagy szinte lehetetlen. Mint tudjuk fajok mindig is pusztultak ki régen is, viszont a mértéke sosem érte el ezt a szintet. A pusztulás és megújulás fordított arányban van egymással, ha a matematikát vesszük alapul, mindez a világ kettészakadását erősíti. A tudósok ezt a kihalási hullámot a hatodiknak számolják, viszont a többivel ellentétben ezt nem a természet idézte elő, hanem mi magunk, az ember. Az eddigi hullámok gyors lefolyásával ellentétben a mostani egy lassú, több évtized-század lefolyású, ami folyamatosan morzsolja fel ökoszisztémánkat. A biodiverzitás megőrzésének éve, ha arra nem is megoldás, hogy ezt a globális méretű pusztulást megállítsa, vagy akár lassítsa, de abban reménykedhetünk, hogy talán ráébreszti az embereket az odafigyelésre.

34. A mezőgazdaság hatása a talaj élővilágára (Dr. Godó Zoltán Attila Ph.D)

Debreceni Egyetem, Debrecen

Kétségtelen, hogy a mezőgazdasági művelésnek van a legjelentősebb antropogén hatása a talajra és a talajéletre, ezért külön fejezetet érdemel ennek tárgyalása. A mezőgazdaság az emberek legfontosabb tevékenysége. Élelmiszert állít elő, aktív keresőket foglalkoztat, a földfelszín nagy részét a mezőgazdaság hasznosítja. Ellenben ezek értékei az iparosodás miatt folyamatosan csökkenek. A talajban lakó mikroorganizmusokra, a növényekre, a rovarokra, a magas szintű állatvilággal bezárólag az élővilág minden egyedére szükség van a jó minőségű mezőgazdasági termelésnek. Az ember mindezt különböző eszközökkel, művelési módokkal és módszerekkel igyekszik hatásosabbá tenni önmaga számára. Ezek az agrotechnikai tényezők jelentősen képesek befolyásolni a talaj élővilágát is, hol kedvező, hol káros irányba. A talaj növényeinek és állatainak hatása megmutatkozik több szempontból is. Az egyik ilyen a fizikai hatás, hogy a gyökerek ereje alakítja a talaj szerkezetét, az állatok járataikkal lazítják és keverik a talajt, illetve segítik a víz bejutását a különböző rétegekbe. Kémiai és biológiai hatásuk abban mutatkozik meg, hogy a növények felveszik a tápanyagokat, azokat feldolgozzák, elbontják, és értékes anyagokat halmoznak fel, majd a mikroorganizmusok segítségével elbomlásukkal is a talajképződésben játszanak szerepet, segítve a mezőgazdaság számára megfelelő, termékeny talaj létrejöttét. Minden talajban lakó szervezet együttes közreműködéssel, egymásra hatást gyakorolva és együttműködve befolyásolja a környezetét. A következőkben a mezőgazdasági technikák és módszerek hatásait fogjuk vizsgálni, miképp működnek és milyen hatást fejtenek ki a talajlakó növényekre és állatokra.

34.1. Agrotechnikai tényezők

1. talajművelés
2. trágyázás
3. öntözés
4. talajjavítás
5. peszticidek alkalmazása
6. herbicidek alkalmazása
7. monokultúra- vetésváltás és ezek hatásai

Mindezek jelentősen befolyásolják a talaj és élővilágának fejlődését, életét. Az egyre inkább gépesített mezőgazdaság, az egyre több mesterségesen bevitt vegyszer, tápanyag vagy az önfenntartó gazdálkodás irányába hajló gondolkodás, mind- mind másképp hatnak környezetünkre, mindezek által ránk is.

34.2. Talajművelés

A talaj fizikai állapotának mezőgazdasági géppel/ technológiával történő kedvező megváltoztatása.

Célja:

- a talaj védelme,
- a termesztett növények megfelelő életfeltételeinek kialakítása,
- a talómaradványok helyes talajba forgatása,
- a biológiai folyamatok befolyásolása,

- a talajlakó élőlények tevékenységeinek befolyásolása.

Feladata:

- megfelelő talajszerkezetet kialakítani,
- víz-, levegő és hő forgalmon változtatni,
- kémiai és biológiai folyamatokat befolyásolni,
- öntözés hatékonyságát növelni,
- az eróziót és deflációt csökkenteni,
- a talaj degradálódását csökkenteni.

A művelés lépései:

- forgatás,
- lazítás,
- keverés,
- tömörítés,
- felszínalakítás.

A mezőgazdasági gépek már az üzemanyag felhasználásuk révén is káros anyagokat juttatnak a levegőbe, olajszennyeződéseket a földekre, amik természetesen méregként hatnak az egészséges talajéletre. Maga a közlekedésük, a talajtaposás is tömöríti a talajt, éppen ezért szakszerű és átgondolt használatra van szükség. Ezeket figyelembe véve minél inkább törekedni kell a kevesebb lépésből álló, de hatékony talajművelésre. Fontos, hogy jól válasszuk meg a művelés mélységét és módját.

A betakarítás utáni, őszi munkák első lépése a tárcsázás, ezzel aprítják össze a földeken a növényi maradványokat, a gyomokat, amelyek addig védték a felszínt az aratás után, és természetesen tápanyagként szolgálhatnak a később termelt növényeknek vagy a talajlakó élőlényeknek, amiket a különböző mikroorganizmusok alakítanak át felvehető tápanyagforrássá.

A szántással forgatják a talajt. Ennek van több fajtája, a termesztett növényektől függően. Van, amikor mélyszántást alkalmaznak, mely 28-30 cm- en forgat és van a középszántás, mely kb. fele akkora mélységben dolgozik csak. Ez utóbbit például a búzaföldeken szokták végezni. Ezen folyamatokban kicserélődik az alsó- és felső réteg. Hozzájárul a szerkezetképződéshez, a kolloidok, tápanyagok a mélyebb rétegekbe is lejutnak. A forgatás a talajjavítás eszköze is lehet. Nagyobb üregek lesznek a mélyebb rétegekben, jobb lesz a talaj vízbefogadása, szellőzőtsége. A talaj gyakori forgatása, szellőztetése azonban hozzájárul a szerves anyagok pusztulásához, a talajszerkezet romlásához. Ezen a talajon pedig erózió, defláció jelenik meg.

A tavaszi munkákat boronálással kezdik, mellyel elegyengetik a talajt, porhanyítják és lezárják a felső réteget, ezzel óvják meg a további kiszáradástól. A porhanyítás feladata, hogy aprózza a talaj szerkezetét, összetörje a rögöket, segítse megőrizni a természetes aggregátumokat, de mindenképpen fontos, hogy nem porosításról van szó.

A magágy előkészítésnek a folyamata a kombinátorozás, mely már a porhanyítás mellett egyes esetekben tömörít is, közelíti a szerkezeti elemeket, csökkenti a pórustérfogatot, ezzel szabályozva a talaj hő- és vízforgalmát. A művelési hibák, hiányosságok miatt káros tömörödés, túl sok nedvességvesztés történik.

Ezután már csak a vetés következik és az idő közbeni kultivátorozás, amelynek során a kapagép kivágja a gyomokat a sorok közül és lazítja a talajt.

A talajművelés segíti a műtrágyák, herbicidek, peszticidek talajba jutását. Viszont a túlzott talajművelés a talaj pusztulását is okozhatja.

A talaj élővilága nagyon gazdag. Algák, gombák, baktériumok, rovarok, giliszták, hematódák, protozoák, illetve ide sorolhatjuk a nemkívánatos gyomok, gombák, rágcsálók és más kártevők csoportjait is. A mikroorganizmusok a talaj egészségének megőrzésében van szerepe. Hozzájárulnak a növények által felhasznált tápanyagok és a növényi maradványok lebontásához, a humuszképződéshez.

A talajműveléssel a talaj biodiverzitása csökken. A talajlakó élőlények elengedhetetlen szerepet játszanak a talaj megőrzésében és annak „szolgáltatásainak” fenntartásában. Legtöbbjük már évszázadok, évezredek óta honos, számunkra ingyen munkaerő, melyek életben tartása a mezőgazdaság érdeke is.

A növényeknek, mikroorganizmusoknak fontos a talajban a levegő- víz aránya. **A megművelt talaj az aerob élőlényeknek kedvez, a művelés hiánya az anaerob folyamatoknak.** De az egyensúly megtalálása nehéz feladat.

A talaj szerves anyaga táplálékforrása a talaj állat- és növényvilágának és hozzájárul a biológiai sokféleséghez, a talaj termékenységéhez. A művelés során több oxigén jut a talajba, megemelkedik annak átlaghőmérséklete, ami által gyorsabb lesz a szerves anyagok bomlása és csökken a talaj szervesanyag-tartalma. Ezért kell a talajmaradványokat is megfelelően hasznosítani, bedolgozni, hisz nagymértékben növelik a tápanyagtartalmat és jelenlétükkel csökkentik a szükségtelen műtrágyahasználatot.

A földigilisztáknak szerepe van a talaj lazításában, a növényi anyag felaprításában, a talajszerkezet morzsalékossá tételében. Intenzív művelésű területekhez képest, a kímélő művelésű területeken szignifikánsan több giliszta fordul elő.

34.3. Trágyázás

A növények tápanyagellátását a magasabb termékenység elérésének érdekében a mezőgazdaság trágyázással pótolja, illetve a bejuttatott tápanyagokkal igyekszik befolyással lenni az egészséges talajélet fenntartására. Így a trágyák, műtrágyák a talaj életére, az abban lévő tevékenységekre, folyamatokra, a termésmennyiségre, a termésmínőségre is egyaránt hatnak. A mezőgazdasági növénytermesztés elvesz a talajból – a trágyázás pedig visszajuttat. Ha a két folyamat aránya kiegyenlített, nem borul fel az egyensúly a kizsákmányolás irányába. Fontos a trágyák megfelelő bedolgozása a talajba, mindez fizikai, biológiai, kémiai módszerekkel. Természetesen a megfelelő összetétel és mennyiség is döntő szerepet játszik a legjobb terméshozam elérésében, hogy még ne károsítsuk, hanem előnyösen befolyásoljuk a termények számára a talaj tápanyagtartalmát úgy, hogy a természetet közben ne sérüljön. Emellett más talajerő-gazdálkodási módszerek alkalmazása is szükséges.

A tápanyag utánpótlás miatt nagyobb számban növekedhetnek olyan fajok is, melyek az erőteljes növekedés miatt más növényfajokat **kiszorítanak** élőhelyükről. Ez persze minden élőlényre, a talajlakó növényekre és állatokra is igaz. Hazánkban az egyik legnagyobb nitrát szennyezést a műtrágyák és a szerves trágyák okozzák. A foszforműtrágyák **eutrofizációt** okoznak a vizekben, szennyvizekben, talajvizekben. A megnövekedett tápanyagkészlet miatt az elsődleges termelő szervezetek száma megnő. A baktériumok bekebelezik az elpusztult fitoplanktonokat, csökken az oxigéntartalom a vizekben, átalakul az élővilág. Vannak olyan fitoplanktonok, melyek méreganyagot termelnek, mely innen bekerül a táplálékláncba, s a talajlakó élőlények pusztulásához is vezet. A trágyázás megfelelő mennyiségben tápanyagfeltöltést, a túlzott használat viszont a talaj **elsavanyodását, szerkezetromlását** okozza. A rosszul alkalmazott hígtrágya hatására elszaporodnak a rovarok és rágcsálók, megnőnek az aerob és anaerob trágyaerjedési folyamatok, ennek következménye a szaghatás, valamint elszaporodnak a fertőző mikroorganizmusok.

A különböző mikroelemek és tápanyagok folyamatos kontroll melletti talajba juttatása elengedhetetlen a mezőgazdasági növénytermesztés számára. Az agrotechnika a trágyázással

könnyen emészthető szénforrást és körülményeket biztosít a hasznos talajlakó baktériumoknak, melyek szaporodásukkal gyorsítják a tarlómaradványok lebomlását, könnyen felvehető tápanyagokat biztosítva a növényeknek. A növények gyökérzete erősebbé válik, a gyökér szőrözöttsége növekszik, a környezeti hatásokkal, az úgynevezett stresszhelyzetekkel szemben sokkal ellenállóbbá válnak, egyenletesebb lesz a fejlődésük, jobb lesz a termésátlaguk.

Minden kultúrnövény, takarmánynövény más- más tápanyagokat kíván.

A legalapvetőbb a nitrogén, foszfor és kálium tartalmú műtrágyák használata, amik a termesztett növények tápanyagforrásaként szolgálnak. Meg kell találni az optimális **NPK** arányt. Mindezek mellé szükségesek kiegészítő összetevők, mint pl. olyan anyag, amely megköti az ammóniát, hogy a NH_4^+ párologtatás minimális legyen, mert az leperzseli a hajszálgökökerek. A foszfor serkenti a gyökérfejlődést, a nitrogén a vegetatív növekedést biztosítja. Az elemi kénszükségletet is biztosítani kell, illetve a kén jelenléte enyhén savas pH-t alakít ki, mely hozzájárul egyéb tápelemek feltáródásához, felvehetőségéhez is.

Magyarországon a szántóföldek nagy része elég **cinkhiányos**, mely a kukoricának szükséges egyik legfontosabb mikroelem. A megnövekedett foszfor-ellátottsággal azonban cinkhiány lép fel, ezért ezt is adagolni kell az ilyen területeken.

A kalászos gabonák számára fontos mikroelem a **réz** is. A réz fontossága abban rejlik, hogy védi az idő előtti lebomlástól a növényben a klorofillt, így a fotoszintézisben fontos szerepet játszik.

Mikroelemek közül még említésre méltó az egyetlen nem fém elem, a **bór**, mely elősegíti a virágzást, termésképzést. Ehhez elsősorban a talajból kellene hozzájutni a növényeknek, mert rájuk permetezve nem tudja felvenni. Így azt trágyázáskor célszerű bejuttatni.

A szerves trágya gazdag **mikroelemekben**, így nem szükséges azokat egyéb módon pótolni, mint műtrágya esetében. A műtrágya is fokozatosan drágul, ezért meggondoltan kell bánni ezekkel az anyagokkal és ezek felhasználásával, hatékonyságának megválasztásával.

Másik lehetőség és alkalmazott módszer a **zöldtrágyázás**. Az e képen alkalmazott növények talajba jutásának tápanyag utánpótlásként van szerepük. Ahol zöldtrágyázást alkalmaznak, azokon a területeken jobban fenntartható a **humusztartalom** és az **ásványi anyag** tartalom továbbá az erózió ellen is talajvédő hatással bírnak a zöldtrágya növények. Ebben a technológiában elterjedtebb a takarmányrepce, olajretek, fehérmustár és a csillagfürt növények.

Trágyázás esetén fontos az egyenletes szétosztás, azonnali bedolgozás. Megfelelő trágyázás esetén a talajborítottság gyorsabban kialakul, kevesebb élettér jut a gyomnövényeknek, csökken a talaj párologtatása.

Mindezekből jól látszik, hogy rendkívüli szakértelmet kíván ez a terület is.

34.4. Öntözés

A talaj víztartalmát, a növények vízigényét, a talaj termékenységének megőrzése érdekében öntözéssel próbálja a mezőgazdaság pótolni.

Figyelembe kell venni:

- a talajadottságokat,
- az öntözővíz mennyiségét,
- az öntözővíz minőségét,
- az öntözési technikát,
- az öntözés gyakoriságát és idejét.

A rendszeres öntözésnek hatása van:

- a talaj vízforgalmára,
- a talaj fizikai- és kémiai tulajdonságaira,
- a különböző anyagok talajban való mozgására, bemosódására,
- a hő- és levegőforgalomra,
- a talajképződés folyamataira.

Az öntözés veszélyforrása lehet a másodlagos **szikesedésnek**, a **láposodásnak**. Az ötvenes években kiépülő Tisza- I. (Tiszalök) öntözőrendszer hatásterületén mintegy 100 ezer hektáron következett be másodlagos szikesedés, 5 ezer hektáron másodlagos láposodás, 20 ezer hektáron a két folyamat együttesen.

Amikor a talajszerkezet változik, repedezetté válik, mélyebb rétegekben kiszárad. Öntözéskor a repedéseken keresztül nagyobb mennyiségű víz folyik le a talaj mélyére, míg a felsőbb rétegek nem nedvesednek át kellőképpen, nem érik el hatásukat. Ellenben a fokozott víztáplálás miatt a talajvízszint megemelkedik és a művelt réteg egy idő után túlnedvesedik. Nagyobb sótartalmú talajvizek esetén következik be a másodlagos szikesedés. Ekkor a növények vízfelvétele van akadályoztatva. A túlóntözés kedvezőtlenül befolyásolja a mikroorganizmusok tevékenységét, a mikrobiális folyamatokat. Változik a talaj szervesanyag-forgalma, a tápanyagforgalma, kimosódnak az értékes, oldható tápanyagok. Túl nedves talajban előtérbe kerülnek az anaerob körülmények, kedvezőtlen redukciós folyamatok indulnak be.

Öntözéskor figyelembe kell venni azt is, hogy a talajra kijutatott herbicidek is lemosódhatnak, vagy felferődhetnek esetleg a fiatal növényekre, azokon fitotoxicitást okozva. Emiatt fontos az öntözés idejének körültekintő megválasztása.

Ugyanakkor az öntözéskor figyelembe kell venni a lehulló és várható csapadék mennyiségét is. Gyakran a kiegyenlítetlen csapadék miatt nem tudja a talaj befogadni az összes vizet, melynek következtében ismételten csak megnőnek a vízkárok, tömör vízzáró réteg alakul ki, ezért nem tud áramolni a víz. Ezeket kell később talajjavító eljárásokkal megváltoztatni. Az öntözés mennyiségét tehát ezekhez a tényezőkhöz is igazítani kell.

34.5. Talajjavítás

Talajjavításkor a talaj fizikai-, kémiai- és biológiai tulajdonságainak kedvező irányú befolyására törekszenek. Cél a víz és levegő megfelelő arányának megteremtése, a megfelelő kémhatás biztosítása, mindez annak érdekében, hogy a termékenység növekedjen, csökkenjen a talaj degradáció, növekedjen az erózióval, deflációval szembeni ellenállás.

Fizikai talajjavításra elsősorban azért van szükség, hogy helyreállítsák a talaj vízgazdálkodását, a levegő- és hő forgalmát, illetve megfelelő legyen a tápanyagfelvétel.

Javítandó tulajdonságok:

- a magas homoktartalom,
- az agyagos talaj, tömött talajszerkezet,
- a rossz vízgazdálkodás.

Mindez javítható:

- talajlazítással, mélyforgatással,
- felesleges víz elvezetésével,
- csatornarendszer kiépítésével,
- a homokterületek kiegyengetésével,
- a homokterületek altalaj-trágyázással történő javításával.

A talaj **kémhatása** erősen befolyásolja a tápanyagfelvételt, a mikroorganizmusok tevékenységét. A talaj élővilágának legkedvezőbb a semleges körüli kémhatás.

Kémiailag javítandó tulajdonságok:

- talaj savanyodása,
- szikesség.

A talaj savanyodása esetén csökken az élővilág számára felvehető tápanyagok mennyisége, de felvehetővé válnak a korábban oldhatatlan **nehézfémek**, például nő az alumínium oldhatósága, ami mérgezi a talaj élőlényeit és növényeit. A savanyodás fokozza az **agyagosodást**, ami ismét csak **szerkezetromláshoz** vezet. A talaj savanyúságát a penészgombák jól viselik, de a baktériumok fejlődése megáll, illetve rájuk károsan hat. Lassul és csökken a szervesanyag-mineralizáció és a nitrifikáció, a nitrogén megkötése, ami a növények fejlődését kedvezőtlenül befolyásolja.

A savanyodás meszezéssel, gipszezéssel és komplex eljárásokkal javítható.

Meszezés során kalcium tartalmú ásványokat juttatnak a földbe. Mindez kedvezően hat a fizikai-, kémiai-, biológiai tulajdonságokra is. Javul a talajszerkezet, kevésbé lesz tömörödött, emelkedik a pH, lecsökken vagy megszűnik a toxikus hatású fémionok jelenléte, javul a szerves anyagok minősége. Mindezek hatására megindul a baktériumok tevékenysége, nő a nitrogénfelvétel, a cellulózbontás megélénkül, az élő szervezetek tápanyag és műtrágya hasznosítása javul.

Természetesen ezzel is vigyázni kell, mert könnyen mikroelem-hiány léphet fel. A meszezéssel ugyanis a mikroelemek felvehetősége is csökken.

Szikesedés esetén, megnő a talaj nátrium-ion koncentrációja. A talaj keményebbé, agyagosabbá válik. Ekkor kombináltabb talajjavításra van szükség. Ahhoz, hogy a kalcium- (gipsz, lignitpor) és mésztartalmú anyagok alkalmazása hatásos legyen, előbb rendezni kell a talaj fizikai állapotát is, pl. mélylazítással és a kiváltó tényezőket is meg kell keresni és megállítani. Ez többnyire a vízrendezéssel kezdődik. Szikes talajok javításának következményeképp jobb lesz a levegő és hő forgalom, gyorsabban távoznak a káros sók, a tápanyag- és a vízgazdálkodás javul. A talajlakó élőlények életfeltételei jobbak lesznek. A biológiai aktivitás és az anyagforgalom is fokozódik. A termesztendő növények száma is megnő.

Biológia talajjavítást két esetben alkalmazunk. Egyik, ha valamilyen növény termesztése már önmagában javítja a talaj minőségét. Pl. erős gyökérzet, ami lazítja a talajt vagy ilyen a zöldtrágyázás. Másik eset, amikor valamilyen szennyeződés kerül a talajba, pl. olaj. Ilyenkor olyan mikroorganizmusokat, olyan baktériumokat, szervezeteket juttatnak a talajba, melyek képesek megtisztítani a földet. Természetesen, mint minden talajjavítás, céljából kifolyólag is javítja a talaj élővilága számára a feltételeket, fokozza a biológiai aktivitást.

34.6. Peszticidek alkalmazása

Hazánkban nem túl régen használnak vegyszeres növényvédő szereket. Ezek manapság már nélkülözhetetlenek az intenzív növénytermesztésben. A korszerű szerekkel az egyes növények esetében a tulajdonságaik, pl. télállóság, szárszilárdság javítására is törekednek. Sokféle hatóanyagú peszticid van forgalomban, természetesen más-más összetétellel és koncentrációval. Hirtelen feltűnt használatuk után folyamatosan stagnálni, bizonyos esetekben csökken kezdett használatuk, ami azt mutatja, hogy egyre jobb hatóanyagú, hatású szereket használnak.

A növényvédő szerek egy csoportja úgy működik, hogy könnyen felhasználható szénforrást biztosít a hasznos mikroorganizmusok számára. Hatásukra gyorsan szaporodni kezd a szükséges bontási folyamatokat gyorsító, segítő baktériumflóra. Ezzel párhuzamosan csökken a növény számára káros hatásokat kedvelő és káros folyamatokat végző mikroorganizmusok és kártevő talajlakó állatok száma is. A szerves anyag bomlása beindul, szerves kolloidok képződnek, a talaj melegezni kezd, mely a növények gyorsabb fejlődésére jó hatással lesz.

Minél inkább sikerül lebontani a növényi maradványokat, annál jobb életfeltételeket teremt a jelenlegi és a következő vetés számára is, annál kisebb az esélye a gyomok és kártevő élőlények túlélésének, áttelelésének.

Peszticidek által kiváltott folyamatok része lehet a nagyobb mennyiségű szén-dioxid keletkezés is, mely lazítja a talajszerkezetet, hozzájárul a szénsav kialakulásával, hogy a talajban a kalcium könnyebben felvehető legyen.

A fokozott kolloidképződés által a por részecskék összeállnak és morzsalékosabbá válik a talajszerkezet, javul a hőháztartás, vízelvezetés, mely szintén csak pozitív hatással lesz a termelt növények és a talajlakó élőlények számára, a jobb talajélet révén a földigiliszták is megjelennek, a talajszerkezet pedig önmagától, ingyen javul.

Más növényvédő szerek hatására a gyökér szőrözöttsége sokszorozódik meg, aminek következményeképp nem fázik, nem betegszik meg olyan könnyen a növény és ellenállóbb lesz környezeti hatásokkal szemben, jobban tűri a gyomirtók okozta stresszt.

Sok pozitív hatása van a peszticidek használatának, természetesen ezeknél is fontos a megfelelő mennyiségben történő, egyenletes talajba juttatás. Van, amikor a növényvédő szerek csak szubsztrátok, a mikrobák használják, átalakítják azokat, de nem dolgozzák fel szervezetükben. A talajmikrobákba beépülnek vagy felhalmozódnak ezek az összetevők. Egyes esetekben a kemikáliákat közvetlenül használják fel az egyes szervezetek. Jelenleg már egyre gyorsabban elbomló szereket használnak, de az évekkel ezelőtt használt szerek maradványainak nem kívánt hatásai még a mai napig is visszaköszönnek.

34.7. Herbicidek és inszekticidek alkalmazása

Gyomirtó szerekkel gyomnövények, gombák, rovarok ellen védekeznek. A gazdaságban sok **herbicidet** (gyomirtó szereket) és **inszekticidet** (rovarölő szereket) használnak. Ezek elpusztítanak egyes (jó esetben célzott) szervezeteket és azok szerves maradványait a túlélő szervezetek felhasználják.

A különböző gyomirtók rendszerint, vagy a hajtásokon, leveleken keresztül jutnak be a gyomnövényekbe és onnan a gyökerek illetve más növényi részekbe, vagy a talajra jutva kerülnek kapcsolatba velük. Zavart okoznak a fehérjeszintézisben, felborítják a növény anyagcseréjét.

A száraz időszakokban a gyomok levelein vastag viaszréteg képződik, mely akadályozza a herbicidek felszívódását, ezért adalékanyagokat és hatásfokozókat kell alkalmazni. Fontos a gyomirtás idejének megválasztása, hogy ne rontsuk a termelt növények életfeltételeit és ne károsítsuk azokat.

Egyes rovarölő szerek hatása abban mutatkozik, hogy a kártevők ideg-izom szinapszisaiban okoznak zavart, folyamatos túlfokozott ingerületet kiváltva, vagy a légzésüket gátolják.

Rágcsálók ellen a járatokba, a földfelületre csalétketeket tesznek ki, melyeket elfogyasztva, belélegezve az állat elpusztul.

A herbicidek talajba jutásuk után befolyásolják a talaj mikrobiológiai aktivitását, a mikroorganizmusok működését, a talajlakó élőlények szaporulatát is. Mindez attól is függ, mennyi idő alatt bomlanak el ezek a szerek. Túlzott mennyiségben történő alkalmazásuk miatt az egészséges, hasznos szervezetek is károsodhatnak, néhány kártevő pedig rezisztencia kialakulása miatt elszaporodhat.

Minden baktériumra másképp hatnak a herbicidek, inszekticidek. Ezek viselkedését sok kísérletben vizsgálták már. A baktériumok eléggé ellenállóak a megengedett mennyiségű herbicidek többszörösével szemben is. Ellenben bizonyos nitrifikáló, nitrogénkötő baktériumok különösen érzékenyek ezekre. Az ammonifikáló baktériumok, gombák, sugárgombák elég ellenállóak a növényvédő szerekkel szemben.

A lassú lebomlású készítményekkel szemben indokolt a nagyfokú óvatosság. Példának okáért nem véletlenül tiltották be hazánkban a DDT-t is, mely használata után 3-5 évig található meg a talajban, de bomlástermékei 15-25 évig is előfordulnak és rendkívül mérgezőek.

A herbicidek maradványai felhalmozódnak a talajban, emiatt fontos a folyamatos talajvizsgálat, hisz ennek komoly következményei lehetnek a talaj mikrobiológiai folyamataira. Erősen befolyásolhatják a környezetet, illetve a következő termelt növények fejlődését. Vigyázni kell arra, hogy az előzőleg termelt növényeknél ne alkalmazzanak olyan gyomirtó szereket, amelyek ugyanabban az évben vetett későbbi termésre károsan hatnak.

34.8. GMO

Genetikailag módosított élőlény, (angolul Genetically Modified Organisms vagy röviden GMO) olyan élőlény, amelynek genomját (génállományát) mesterségesen, molekuláris genetikai eszközökkel hozták létre.

Elterjedésével szemben jelentős ellenállás alakult ki számos társadalmi csoport nyomására. Nem véletlenül, hiszen alkalmazásuk jelentős ismert és még feltehetően ismeretlen kockázatot jelent a természetre és az emberre. A veszélyek tárgyalásának széleskörű irodalma van, említsünk azonban meg néhány megfigyelést a GMO növények talajra gyakorolt hatásáról.

Ismert, hogy a Bt-toxin (melyet egy GM-növény termel) egész évben jelen van a talajban, a tarlómaradvánnyal bejutott toxin pedig minimum 3 évig kimutatható a talajból. A módosított gének megváltoztatják a talajállatok bélflóráját. A GM növényekből az állatokban élő baktériumokba kerülhetnek új gének és ma még ismeretlen hatásokat okoznak. Bakonyi Gábor és Kiss István a Gödöllői Szent István Egyetem, Állattani és Ökológiai Tanszékén, két évben a betakarítás után közvetlenül (2001. szeptember, 2002. augusztus) majd több mint fél évvel a betakarítás után (2003. április) végeztek talajvizsgálatokat. Mindhárom alkalommal statisztikailag szignifikánsan alacsonyabb aktivitási értékeket mértek a Cry1Ab-toxint termelő kukorica talajában, mint az izogénes kukorica talajában.

A Magyar orvos, 2010 februári számában megjelent cikk (26-27 o.) foglalkozik a GMO növények bizonytalan egészségügyi hatásáról. Rámutatott arra, hogy a GMO növények szabadföldi termesztésével a transzgének bekerülnek a talajba, a talajvízbe, és így a lakosság széles rétegeihez is eljuthatnak.

34.9. Monokultúra- vetésváltás

Monokultúra: ugyanazon a területen évekig ugyanannak a növénynek a termesztése.

Vetésváltás: bizonyos területen, különböző ciklusokban, felváltva más-más növények termesztése.

A vetésváltásnak nagyon fontos szerepe van a mezőgazdaságban. Elsősorban a gyomok és kártevők szaporodásának megakadályozása, a talaj termékenységeinek megőrzése, a biológiai diverzitás fenntartása, a következő növény számára kedvező feltételek megteremtése miatt lényeges az alkalmazása.

Fontos, hogy ugyanazon vagy két szomszédos területen két egymást követő évben ne termeljék ugyanazt a növényt. Így a kártevő gyomok és állatok elpusztulnak, nem tudnak fennmaradni, sem vándorolni anyanövényükkel.

Úgy kell a sok- sok éves tapasztalatok alapján megválasztani az egymást követő növényeket, hogy egyik a másik számára kedvező feltételeket teremtsen. Váltogatni kell a mélyebb és sekélyebb gyökérzetű, ellenállóbb és érzékenyebb, igényesebb és kevésbé igényes növényeket. Így lehet nagyjából elkerülni a talajuntságot, azt, hogy a növények egymás és önmaguk életfolyamatát esetleg károsan befolyásolhassák és, hogy nagyjából fenntartsuk a talaj állapotát, termékenységet, a legkevesebb mesterséges beavatkozás nélkül. A termesztett növényekre így kedvezően hat, a kártevőkre pedig károsan, s megmarad a biológiai sokszínűség is. A vetésváltás pozitív hatását nagymértékben befolyásolja az öntözés és a trágyázás mennyisége is. Ezeket is megfelelően mértékben kombinálva kell megválasztani.

Természetesen mindezen tényezők egymással is, mint látjuk, szoros összefüggésben vannak. Mindezeket együtt kell alkalmazni, figyelembe véve minden talaj sajátosságát, minden növény szükségét. Úgy kell gazdálkodni, hogy környezetünket a lehető legkisebb mértékben károsítsuk, legkisebb módon avatkozzunk be a természet hasznos folyamataiba, tevékenységébe.

Napjaink mezőgazdasága egyre inkább figyelmet fordít a fenntarthatóságra és a meglévő ismeretekkel és technikákkal igyekszik legkevesebb károsítani a talajt és annak kedvező tulajdonságait megtartani és használni.

34.10. Tradicionális földművelés

A földművelés és állattenyésztés évezredek tradícióit szinte felrúgta a globális piacgazdaság és a fogyasztói társadalom szemlélete által vezérelt intenzív mezőgazdaság. Az a szemlélet, hogy minél kevesebb befektetéssel a legnagyobb hozamot kell elérni és csak a profit adja a siker mérőszámát, teljesen ellentétes egy négy milliárd éves evolúciós trenddel. Minden harmonikus összhanggal szembe helyezkedik, direkt, mesterséges és durva beavatkozás a természettel szemben. Már az ipar területén is jól tetten érhető katasztrófát hozott ez a szemlélet, lásd környezetszennyezés, ökológiai katasztrófák, fajok kihalása – biodiverzitás csökkenése, globális felmelegedés és magának a vég nélküli termelés fokozásnak nemcsak a feleslegessége, hanem tarthatatlansága is. A természet erőforrásait közvetlenül felhasználó mezőgazdaságban ezek a hatások éppúgy szembetűnőek.

Meg kell értenie a modern társadalomnak, hogy minden vegyszer felesleges kockázatot jelent! A mesterséges anyagokat nem a természet hozta létre. Nem mentek át az evolúció próbáján nem szelektálta meg ezeket az anyagokat hosszú-hosszú időn keresztül az evolúció. Nem volt ideje a fajoknak hogy kialakuljanak az új idegen vegyületek lebontására, méregtelenítésére a biokémiai apparátusuk. Az ember előállította majd kikerülve a természet szűrőjét, ráereszti egy több milliárd éve kialakult és felfoghatatlanul bonyolult, harmonikus rendszerre. Még a gondolata is ijesztő, a következményei pedig rendre igazolják minden jóérzésű, természetszerető-ismerő ember aggályát.

Ideális lenne a teljes vegyszermentesség. Legfeljebb a szigorú biotermesztési előírások által is engedélyezett kemikáliák használata. És ez így is volt az ősközösségi társadalomtól kezdve egészen a múlt századig. Azután „valaki” kitalálta, hogy a vegyszert –amely eddig az alkimisták majd vegyészek lombikjaiban rotyogott– megetesse másokkal, növényekre szórja, talajra juttassa stb... A globális piacgazdaság pedig olyan helyzetet teremtett, ahol a mezőgazdaságnak éppúgy versenyeznie kell, mint bármelyik iparág termékeinek. Ha egy gazdaság nem használja ki végletekig a földet, felhasználva minden hozzáférhető technológiát, nem lesz gazdaságos, piacot veszít és tönkre megy.

A természet törvénye nem ez. A földben annyit szabad csak termelni amennyit ésszerű. A földet pihentetni, vetésforgót alkalmazni, ésszerűen szerves trágyázni, legeltetni, kis parcellákban termesztani szabad csak. Kémiai anyagokat használni, génmódosított fajokat alkalmazni stb. merényletet a természet ellen!



84. ábra: Delelő gulya (*Magyar Néprajzi Lexikon*)

Mindezt persze csak teljes paradigma váltással lehetne elérni. Visszalépni egy olyan fenntartható, nem a folytonos növekedésre épülő gazdasági egyensúlyba amit csak nemrégiben veszítettünk el. A szabad kereskedelem, a fogyasztás mesterséges növelése, a gazdasági növekedés kényszere, a hagyományok megtagadása, az egész globalista gondolkodás nem alkalmas erre.

De reményre ad okot, hogy nagyon sokan felismerték ezt. Visszakanyarodtak a hagyományokhoz és a tradíciók szerint termelnek. Őket tartják életben azok, akik egyre többen vannak és keresik a hagyományos módon, helyben termelt, egészséges Magyar bioterméket. „A föld szeretete a haza szeretete”

35. Ajánlott irodalom

- Alföldi Zoltán, Nász István: Mikrobiológia
Bakonyi G.(szerk.): Állattan
Bakonyi G.: A mikro- és mezofauna regulációs hatásának vizsgálata a talaj-mikorrhiza-növény rendszerek nitrogén áramlására
Bakonyi- Kiss-Veres: A talaj élővilága
Balázs Sándor és munkatársai : Zöldségtermesztők kézikönyve. Mezőgazda Kiadó, 2004.
Begon et al. (2006): Ecology: From Individuals to Ecosystems. 4th Edition, Oxford.
Begon, M., Townsend C. R., Harper, J. L. (2006): Ecology : from individuals to ecosystems 4th ed. Blackwell Publishing.
Berend Mihály - Szerényi Gábor: Biológia I.
Borhidi, A., 1993: A Magyar Flóra Szociális Magatartás Típusai, Természetességi és Relatív Ökológiai Értékszámai. Janus Pannonius Tudományegyetem Kiadványai, Pécs.
Brehm: Az állatok világa
Chagnon, N. A. (2009): Yanomamö. Case Studies in Cultural Anthropology. Fifth Edition. Wadsworth, Cengage Learning, Belmont
Cheminova Magyarország Kft kiadványa: A totális gyomirtás gyakorlata.
Cheminova Magyarország Kft kiadványa: Növényvédelmi technológiák 2008.
Cheminova Magyarország Kft kiadványa: Startertrágyázás mikrogranulátumokkal.
Csányi V. (1994): Etológia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
Csikszentmihályi M. (1991): Flow. The Psychology of Optimal Experience. Harper Perennial (magyarul: Flow. Az áramlat. A tökéletes élmény pszichológiája. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2010)
Csitári G.: Mikrobiológia. Veszprémi Egyetem, Keszthely, 2003.
Darab K.: Talajgenetikai elvek alkalmazása az Alföld öntözésénél OMMI Genetikus Talajtérképek Kiadvány, Ser. 1. No. 4. Budapest, 1962.
Dawkins, R. (2004): The Ancestor's Tale. A Pilgrimage to the Dawn of Life. Weidenfeld & Nicholson, The Orion Publishing Group, London (magyarul: Zarándoklat az élet hajnalához. Az ős meséje. Partvonal Könyvkiadó, Budapest, 2006)
Diamond, J. (1992): The Rise and Fall of the Third Chimpanzee: How our animal heritage affects the way we live (magyarul: A harmadik csimpánz felemelkedése és bukása. Typotex kiadó, Budapest, 2002)
Diamond, J. (1997): Guns, Germs, and Steel: the fates of human societies (magyarul: Háborúk, járványok, technikák. A társadalmak fátumai. Typotex Kiadó, Budapest, 2000)
Dunn, F. L. (1968): Epidemiological Factors: Health and Disease in Hunters-Gatherers. In: Lee, R. B. — Devore, I. (editors): Man the Hunter. Aldine Transaction, New Brunswick and London
Eaton, S. B. — Shostak, M. — Konner, M. (1988): The Paleolithic Prescription. A Program of Diet & Exercise and a Design for Living. Harper & Row, New York
Egerton F. N. (2001): A History of the Ecological Sciences: Early Greek Origins. Bulletin of the Ecological Society of America. 82(1) 93-97
Egerton F. N. (2001-2011): A History of the Ecological Sciences. Cikksorozat Bulletin of the Ecological Society of America. http://www.esapubs.org/bulletin/current/history_links_list.htm
Egerton F. N. (2008): History of Ecology. In Jørgensen S. E. (ed.) Encyclopedia of Ecology. Elsevier Vol. 3. pp. 1864-1878
Ellenberg (1973): Ziele der ökosystem forschung . Berlin
Elton C. (1927): Animal Ecology. Sidgwick & Jackson, London
Fazekas Gy. — Szerényi G. (2002): Biológia. II. kötet: ember, bioszféra, evolúció. Scolar Kiadó, Budapest
Fekete G. (2000): II. Növénytársulástan. In. Hortobágyi T. és Simon T. (szerk.) Növényföldrajz, társulástan és ökológia. Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest, p. 373–377
Filep Gy.: Talajtani alapismeretek I-II. DATE, egyetemi jegyzet, 1999.
Gálhidy L. — Jordán F. (2010): Őserdők Európában. Természet Világa 141 (8), p. 356-360
Gallé L. (2008): Ökológiai alapok In. Gallé (szerk.): Természet- és tájvédelem. HEFOP 3.3.1-P.-

- 2004-0900152/1.0 jegyzet
- Gallé L. (2010) Ökológia. Egyetemi jegyzet. Kézirat
- Gause, G. E. (1934): The Struggle for Existence. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Glasenapp, H. (1963): Die fünf Weltreligionen. Eugen Diederichs Verlag, München (magyarul: Az öt világvallás. Akkord Kiadó, Budapest, 2005)
- Gribbins, J. (2002): Science. A history. 1543-2001. Penguin Books, London (magyarul: A tudomány története. Akkord Kiadó, 2004)
- Grinnell, J. (1917): The niche-relations of the California Thrasher. Auk 34:427-433.
- Gyurkó Pál: Néhány adat az akác rizoszférájáról. Az erdő. Az erdészeti tudományos folyóirata. Magyar Tudományos Akadémia Talajbiológiai Kutató Laboratóriuma, Sopron 1955
- Haeckel E. (1866a): Generelle Morphologie der Organismen, vol I. Berlin, p. 8
- Haeckel E. (1870): Über Entwicklungsgang und Aufgabe der Zoologie. Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft, pp. 353-70 p. 365
- Haeckel, E. (1866b): Allgemeine Entwicklungsgeschichte der Organismen. p. 286
- Helmecki B.: Mezőgazdasági mikrobiológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1994.
- Horváth B. (2010): A regionális környezethasználatok ökológiai hatásai. X. Környezettudományi Tanácskozás, Széchenyi István Egyetem, Győr, 2008. nov. 12.
- Hutchinson, G. E. (1961): The paradox of the plankton. American Naturalist 95, 137-145.
- IKR Magazin, 2010. nyár. Szerk.: Sári Enikő, Forgács Tibor. Bábolna, Magyar Mezőgazdaság Kft.
- Jakucs E.: A mikológia alapjai
- Jakucs Erzsébet - Vajna László: Mikológia
- Juhász-Nagy P. (1984): Beszélgetések az ökológiáról. Mezőgazdasági Kiadó, Bp.
- Juhász-Nagy P. (1986): Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai. Akadémiai Kiadó Bp.
- Kalapos T. (2007): Anyag- és energiaáramlások, az ökológiai rendszer szerveződése. In: Pásztor E. — Oborny B.: Ökológia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- Karin Montag: Gombák
- Kaszab Z. (1962): Levélbogarak — Chrysomelidae (Fauna Hungariae sorozat). Akadémiai Kiadó, Budapest
- Káta J. (szerk.): Talajtan - talajökológia
- Keller D. R. & Golley F. B. ed.(2000): The philosophy of ecology: from science to synthesis. University of Georgia Press, Athens, Georgia, USA
- Kiss Keve Tihámér: Bevezetés az algológiába
- Koltai Attila: Baktériumtrágyázással a Fusarium-fertőzés ellen. Agrárium. 2010. május, 9. o.
- Kovács M.(szerk.): A környezetvédelem biológiai alapjai. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, 1977.
- Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban. Szerk.: Thyll Szilárd. Budapest, Mezőgazda Kiadó, 1996.
- Körösi Á. (2006): A jelölés-visszafogás módszer alapelvei és alkalmazása az ökológiában. Segédanyag.
http://www.univet.hu/users/jkis/Education/Okologiai_terepmodszerek/mrr_jegyzet.pdf
- Krebs C. J. (2006): Ecology after 100 years: Progress and pseudo-progress. New Zealand Journal of Ecology 30(1):3-11
- Krebs, C. J.(2008): The ecological world view. CIRO PUBLISHING, Australia
- KSH Interaktív korfa <http://www.ksh.hu/interaktiv/korfa/>
- Küng, H — Stietencron, H. (1984): Christentum und Weltreligionen. Hinduismus. R. Piper GmbH and Co. KG, München (magyarul: Párbeszéd a hinduizmusról. Palatinus Kiadó, 1999)
- Larousse – A Természet Enciklopédiája – Földünk, az élő bolygó Glória Kiadó Bp., 1993
- Lawton J. H., Hassell M.P. (1981) Asymmetrical competition in insects. Nature 289: 793-795.
- Lee, R — Devore, I. (1968): Problems in the Study of Hunters and Gatherers. In: Lee, R. B. — Devore, I. (editors): Man the Hunter. Aldine Transaction, New Brunswick and London
- Lee, R. B. (1979): The !Kung San. Men, Women, and Work in a Foraging Society. Cambridge University Press, Cambridge, London, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney
- Lévai László: A talajélet és a növények tápanyagellátása. Magyar mezőgazdaság. 2010., 38. o.
- Lévai László: A tarlómaradvány környezetbarát lebontása Agrárágazat. 9. évf. 8. sz. / 2008. szeptember, 32. o.

- Lévai László: Tavaszi tápanyag utánpótlás (műtrágyázás, baktériumtrágyázás). Agrárágazat. 11. évf. 2. sz. / 2010. február, 66-67. o.
- Lorenz, K. (1973): Dia acht Todsünden der zivilisierten Menschheit. Piper und Co. Verlag, München (magyarul: Az emberiség nyolc halálos bűne. Cartaphilus Kiadó, Budapest, 2002)
- Magyar Tudománytár I. Föld, Víz, Levegő Szerk.: Mészáros E. & Schweitzer F. Kossuth kiadó Bp., 2002
- Majer J. (2004): Bevezetés az ökológiába. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs
- Marlowe, F. W. (2010): The Hadza. Hunter-Gatherers of Tanzania. University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London
- McDaniel C. N. — Gowdy, J. M. (?): Paradise for Sale. A Parable of Nature. (magyarul: Az édenkert kiárúsítása. Példázat a természet tönkretételéről. Typotex Kiadó, Budapest, 2002)
- McIntosh R. P. (1985) The background of ecology: concept and theory. Cambridge University Press, Cambridge
- Molles, M. C. (2008): Ecology: concepts and applications. 4th. ed. McGraw-Hill, New York.
- Moss, Stephen (2001): The fall of a sparrow. BBC Wildlife Magazine, Bristol, November Issue
- Neal, D. (2004): Introduction to Population Biology. Cambridge University Press.
- Némethné Katona Judit: A környezetvédelem biológia alapjai, BMF jegyzet 2005., pp. 78-83.
- Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács (2010): Jövőkereső. Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács jelentése a magyar társadalomnak
- Niklas K. J. (2008): Life Forms, Plants In Jørgensen S. E. (ed.) Encyclopedia of Ecology. Elsevier Vol. 2. pp. 1088-1097
- Novák Béla: Mikrobiális fiziológia
- Papp Judit: Általános mikrobiológia
- Pásztor E. & Oborny B. (szerk.) (2007): Ökológia. Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp.
- Pesti M. (szerk.): Általános mikrobiológia. Dialóg-Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 2001.
- Péterfi István: Az algák
- Pianka, E. R. (1970): On r- and K-selection. American Naturalist, 104, 592-597.
- Pianka, E. R. (1972). r and K selection or b and d selection? American Naturalist 106: 581-588.
- Ploechová J. & Storch D. (2008): Ecological Niche In Jørgensen S. E. (ed.) Encyclopedia of Ecology. Elsevier Vol. 2. pp. 1088-1097
- Pokorný, J. — Rejšková A. (2008): Water Cycle Management. In: Jørgensen, S. E. - Fath, B. (szerk.): Encyclopedia of Ecology, [Volume 5](#)
- Purves, W. K. — Orians, G. H. — Heller, H. C. (1995): Life. The Science of Biology. Fourth Edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts, USA
- Sándor Zsolt: Kukorica kultúrában alkalmazott herbicidek hatása a talaj mikrobiológiai aktivitására, egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei. Debrecen, 2010.
- Sáringer Gy. (1990): Levélbogarak — Chrysomelidae. In: Jermy T. — Balázs K. (szerk.): A növényvédelmi állattan kézikönyve 3/A. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Scott, Michael: Ökológia (Oxford)
- Sedlag, U. (1979): Wunderbare Welt der Insekten. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Wien (magyarul: A csodálatos rovarvilág, Natura Kiadó, 1982)
- Sharov, A. A. (2008): Death. In Jørgensen S. E. (ed.) Encyclopedia of Ecology. Elsevier Vol. 1. pp. 831-838
- Simon T. (1992): A magyarországi edényes flóra határozója. Harasztok — virágos növények. Tankönyvkiadó, Budapest
- Stefanovits Pál- Filep György- Fülek György: Talajtan. Budapest, Mezőgazda Kiadó, 1999.
- Storch, V. — Welsch, U. (1973): Evolution. Tatsachen und Probleme der Abstammungslehre. Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München (magyarul: Evolúció. A származástan eredményei és mai problémái. Springer Hungarica Kiadó Kft., Budapest, 1995)
- Straub F. Brunó: Biológiai lexikon 1. kötet A-F (Bp. Akadémiai Kiadó)
- Szabó I. M.: Az általános talajtan biológiai alapjai. Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, 1986.
- Szabó I.M. (1980):Általános mikrobiológia IV. A nitrogén, foszfor, és kén körforgalma. A fémek biogeokémiája. Vízmikrobiológia
- Szabolcs I.: A vízrendezések és öntözések hatása a tiszántúli talajképződési folyamatokra. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1961.

- Széky P. : Ökológia. A természet erői a mezőgazdaság szolgálatában. Budapest, Natura, 1979.
- Szemerey Tamásné: Erdőtalaj meszezésének hatása egy bükkös faállomány páncélosatka faunájára. Doktori (Ph.D.) értekezés. Sopron, 2004.
- Szilágyi Ferenc, Orbán Vera (szerk.): Alkalmazott hidrobiológia, Magyar Víziközmű Szövetség, 2007., pp. 122-125.
- Szlávik János szerk. (2008): Környezetgazdaságtan. Typotex Kiadó, 2008.
- Szondy, M. (2010): A boldogság tudománya. Fejezetek a pozitív pszichológiából. Jaffa Kiadó, Budapest
- Takács-Sánta A. (2008): Bioszféra-átalakításunk nagy ugrásai. L'Harmattan Kiadó, Budapest
- Talajképző kőzet és talajtermékenység /Magyar Állami Földtani Intézet, Keszthely, 2007.
- Thyll Szilárd: Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban, 1996, Mezőgazda Kiadó,
- Tilman, D. (1977) Resource competition between planktonic algae: an experimental and theoretical approach. *Ecology*, 58, 338–348.
- Tilman, D. 1980. Resources: a graphical-mechanistic approach to competition and predation. *American Naturalist* 116:362-393.
- Tilman, D., Mattson, M. & Langer, S. (1981) Competition and nutrient kinetics along a temperature gradient: an experimental test of a mechanistic approach to niche theory. *Limnology and Oceanography*, 26, 1020–1033.
- Townsend, H. M., Huyvaert K. P., Hodum P. J., Anderson D. J.(2002): Nesting distributions of Galápagos boobies (Aves: Sulidae): an apparent case of amensalism. *Oecologia* 132:419–427.
- Török Katalin (2004): Bevezetés a restaurációs ökológiába (egyetemi jegyzet)
- Truswell, A. — Hansen, J. D. L. (1972): Medical Research among the !Kung. In: Lee, R. B. — DeVore, I. (editors): *Kalahari Hunter-Gatherers. Studies of the !Kung San and Their Neighbors.* Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London
- Új Magyar Lexikon II, IV, V. Akadémiai Kiadó, Budapest 1962
- Urania állatvilág- Alsóbbrendű állatok (eredeti címe-Urania tirreich) Fordította: Farkas Henrik
- Várallyay Gy.: A Duna- völgyi talajok sófelhalmozódási folyamatai. *Agrokémia és Talajtan*, 16. 38-356. 1967.
- Várallyay Gy.: Hydrophysical Aspects of Salinization from the Groundwater. *Agrokémia és Talajtan*, 3. Suppl. 29-44. 1974.
- Végh L. — Szám D. — Hetesi Zs. (2008): Utolsó kísérlet. Híradás a Föld állapotáról. Kairosz Kiadó, Budapest
- Verhulst, P. F. (1838): Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. *Correspondance mathématique et physique*, 10, 113–121.
- Verhulst, P. F. (1845): Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population. *Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles*, 18, 1–42.
- Vida G. (2001): Helyünk a bioszférában. Typotex Kiadó, Budapest
- Vida Gábor: Helyünk a bioszférában, Bp. Neumann Kht., 2004 Magyar Elektronikus Könyvtár <http://mek.niif.hu/05000/05033/>
- Wackernagel, M — Rees, W. E. (1996): Ecological Footprint Reducing Human Impact on the Earth (New Catalyst Bioregional Series). New Society Publishers (magyarul: Ökológiai lábnyomunk. Hogyan mérsékeljük az ember hatását a Földön? Föld Napja Alapítvány, 2001)
- Wilson, E. O. (1975): *Sociobiology: The New Synthesis.* Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Internetes források

<http://www.agraroldal.hu>
<http://www.alga.lap.hu>
<http://www.ecology.science.unideb.hu>
<http://www.gomba.b74.hu>
<http://www.greenfo.hu>
<http://www.kfg.hu/~csaba/biologia/7-evfolyam/gombak-01.doc>
<http://www.kvvm.hu>
<http://www.messzelato.hu>

<http://www.nyme.hu>
<http://www.tankonyvtar.hu>
<http://www.tankonyvtar.hu/konyvek/novenytan>
<http://www.vitaminklub.hu/ismertetok.php>
<http://www.zeus.nyf.hu>
<http://www.zoldtech.hu>
<http://anubis.kee.hu/pdf/fmt/talajm.pdf>
<http://fauna-mecsek.shp.hu/hpc/web.php?a=fauna-mecsek&o=1151914466>
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Gleccser>
http://hu.wikipedia.org/wiki/Grand_Canyon
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Plankton>
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Talaj>
http://ilex.efe.hu/PhD/emk/szemereyne/tz_eredeti1466.pdf
http://library.thinkquest.org/09jan-oracle-n-001/02242/files/102_4.jpg
<http://magyargazdaforum.hu/>
<http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/mezgaz/kornybio/labor/tljakt.doc>
<http://organiclifestyles.tamu.edu/soilbasics/>
<http://peterlaci.blogspot.com/2009/05/erdekes-konyvek-bezarulo-kor.html>
http://phd.okm.gov.hu/disszertaciok/ertekezesek/2007/de_3642.pdf
<http://saccer-ptipti.blogspot.com/2010/05/talaj-noveny-es-allatvilaga.html>
<http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/HUFactSheet-03.pdf>
<http://soilquality.org/functions/biodiversity.html>
<http://soils.tfrec.wsu.edu/mg/physical.htm>
http://w3.mkk.szie.hu/dep/talt/fj/talajvedelem/Talajvedelem_KM%207%20ea.pdf
http://work.discovernet.hu/phylazonit.hu/anyagok/kutatas/ertekallo_aranykorona.pdf
http://www.agraroldal.hu/agrotechnikai-elemek_cikk.html
<http://www.bhm.hu/%C9rdekess%E9gek/tavak.php>
<http://www.biokultura.org/szaktanacsadas/publikaciok/gyepgazdalkodas2.htm>
http://www.ceeweb.org/publications/magyar/kavicsbanya/2_fejezet.pdf
<http://www.date.hu/~csubak/>
http://www.ecolinst.hu/letoltok/kiadvanyok/mikrobialis_okologia.pdf
http://www.ecolinst.hu/letoltok/kiadvanyok/talajtan_talajvedelem.pdf
<http://www.freeweb.hu/hmika/Lexikon/Html/Mallas.htm>
<http://www.gazdabolt.hu/>
http://www.hsc.csu.edu.au/agriculture/production/phys_chem_soil/soil.html
<http://www.ktg.gau.hu/~podma/birtok/alkalmazkodo.html>
<http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmkezikk2/2-02.htm>
<http://www.mtakpa.hu/kpa/download/1299004.pdf>
<http://www.nagyfok.com/rolunkresz8.php>
<http://www.novenelettan.elte.hu/files/07novel2gyoker.pdf>
<http://www.nyme.hu/uploads/media/Talajmuvelo.pdf>
<http://www.omafr.gov.on.ca/english/environment/soil/physical.htm>
<http://www.science.unideb.hu/index.php?pageid=dokumentumok&id=358>
<http://www.sulinet.hu/tart/fcikk/Kiaa/0/32627/1>
<http://www.szervestragya.hu/hortiservice/hirek.php?id=1268739888>
http://www.szie.hu/file/tti/archivum/Fuzy_A_phd.pdf
<http://www.talaj.hu/vgy2008/2-17vgy2008.pdf>
<http://www.talaj.hu/vgy2008/4-9vgy2008.pdf>
<http://www.trekkingklub.com/>
<http://www.tuja.hu/kerteszeti-lexikon/talajjavitas.html>
<http://www.uni-miskolc.hu/~ecodobos/>
http://www.vkki.hu/cigand/downloads/cigand_tajekoztato_kiegeszitevekenyseg_A5.pdf
http://www.zoldbolt.hu/cikk/okologia_negy_torvenye
<http://xenon.bibl.u-szeged.hu/~vidaa/holi/03/biokert/biokert.pdf>
<http://zeus.nyf.hu/~tkgt/okse/memita08/memi0810.pdf>

<http://zeus.nyf.hu/~tkgt/okse/tatata08/tata0811.pdf>

¹ <http://co2now.org/> (9. o.)

² http://en.wikipedia.org/wiki/Global_dimming (10. o.)

³ <http://video.google.com/videoplay?docid=-2058273530743771382#> (10. o.)

⁴ <http://www.guardian.co.uk/science/2010/sep/29/earth-like-planet-gliese-581g> (12. o.)

⁵ <http://www.jstor.org/pss/2395776> (33. o.)

⁶ <http://www.springerlink.com/content/r3522103k4764867/> (33. o.)

⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Alfred_Wegener (34. o.)

⁸

http://books.google.hu/books?id=IFqxBJNuET8C&pg=PA6&lpg=PA6&dq=how+can+we+measure+the+distance+of+continents+with+laser&source=bl&ots=xsOjRo7Wzq&sig=3IyQrFyyZUIVFnu3pmTxHJxsic&hl=hu&ei=ws2DTbrMOc2VswaA-LGJAw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=0CCoQ6AEwBA#v=onepage&q=how%20can%20we%20measure%20the%20distance%20of%20continents%20with%20laser&f=false
(35. o.)

⁹ <http://www.worldometers.info/> (63. o.)