

AGROÖKOLÓGIA SEGÉDLET

Mezőgazdasági mérnök hallgatók számára

Összeállította és szerkesztette:
Dr. Tóth Csilla

A tananyag elkészítését a „NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen, az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért” az EFOP-3.5.1-16-2017-00017 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

**Szerkesztő:
Dr. Tóth Csilla**

**Lektor:
Dr. Szabó Miklós**

Kézirat lezárva: 2018. szeptember 30.

ISBN

Kiadja

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ	8
1. Az ökológia, mint tudomány	9
1.1. Az ökológia helye a tudományok rendszerében	9
1.2. Az ökológia fogalma	10
1.3. Ökológiai alapelvek	12
1.4. Az ökológia tárgya	12
2. Környezet és tűrőképesség	14
3. Ökológiai indikáció	16
4. A populációk	21
4.1. A populációk jellemzői, szerkezete	21
4.2. Koreláció	23
4.3. A populációk szaporodása	26
4.4. Szaporodási stratégiák	31
4.4.1. K- és r-stratégisták	29
4.4.2. Grime-féle stratégiák	33
4.5. Niche	35
4.6. Csoportalkotás a populáción belül	36
4.7. A csoportképzés előnyei	39
4.8. A csoportképzés hátrányai	41
4.9. Hierarchia a társas kapcsolatokban	42
4.10. Territorialitás	44
5. Populációk kölcsönhatásai	47
5.1. Elemi populációs kölcsönhatások	47
5.1.1. Mutualizmus	48
5.1.2. Kommenzalizmus	51
5.1.3. Predáció	53
5.1.3.1. Ragadozó-zsákmány modell	54
5.1.4. Parazitizmus	55
5.1.5. Antibiózis	56
5.1.6. Kompetíció	57
5.1.7. Neutralizmus	59
5.2. A kompetitív kizárás elve és a niche szétválás	60

6. Társulás	63
6. 1. Anyag- és energiaáramlás a társulásokban	63
6.1.1. Táplálékláncok, táplálékhálózatok – anyagáramlás a társulásokban	63
6.1.1.1. A biológiai produkció	66
6.1.2. Energiaáramlás a társulásokban	69
6.1.2.1. Fogyasztási-, asszimilációs-, produkciós hatékonyságnak - trofikus energiaátviteli hatékonyság	70
7. Társulások időbeli változásai	72
7.1. Aszpektus	72
7.2. Szukcesszió	73
7.2.1. A szukcesszió stádiumfelosztása	75
7.2.2. Zárótársulás, klimax	76
7.2.3. A vég (záró) stádium három típusa	78
7.2.4. Életmenet stratégiák tömegességének változása biotikus szukcesszió során	78
7.2.5. A szukcesszió elemi lépései	80
7.3. Fluktuáció - Vegetációingadozás	81
7.4. Szinteztettség és mintázat	81
7.5. Diszturbancia	84
7.6. A társulások szerkezetét befolyásoló emberi hatások	85
8. Biodiverzitás	86
8.1. Genetikai diverzitás	86
8.1.1. A genetikai diverzitás mérése	87
8.2. Taxondiverzitás	88
8.2.1. A taxondiverzitás mérése	88
8.3. Ökológiai diverzitás	88
8.3.1. Az ökológiai diverzitás mérése	89
8.4. Biodiverzitás	89
8.4.1. Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer	89
8.4.2. Kulcsfajok	90
8.4.3. Esernyő fajok	90
8.4.4. Zászlóshajófajok	91
8.4.5. Kulcsforrások	91
8.4.6. A biodiverzitás megoszlása a Földön	91
8.4.6.1. Trópusok	91

8.4.7. A fajok száma a Földön.....	92
8.4.8. Biodiverzitás csökkenése	93
9. Életforma osztályozási rendszerek. A gyomokról általában	97
9.1 A gyomnövény fogalma	97
9.2. Raunkiaer-rendszer	97
9.3. Újvárosi-féle életforma rendszer	99
9.4. Különböző kultúrák gyomnövényei	102
10. Abiotikus környezeti tényezők.....	104
10.1. A fény	104
10.1.1. Fény forrása	104
10.1.2. A fény hatása a növényekre	107
10.1.3. A fény hatása az állatokra	108
10.1.3.1. Irányító hatás – fény orientáció	110
10.1.3.2. Irányító hatás – fény orientáció a következő esetekben érvényesül tehát	111
10.1.4. A fény fizikai hatása	111
10.1.5. A fény egyéb hatásai	111
10.1.6. Fényszennyezés	112
10.1.7. Vízi biotópok.....	112
10.1.7.1. Szintetiztség marin ökoszisztémákban	112
10.2. A hőmérséklet.....	114
10.2.1. Fotoszintézis	115
10.2.2. Hőmérséklet - állatok	115
10.2.3. Effektív hőösszeg.....	117
10.2.4. Hőmérséklet – testfelépítés, -méret	118
10.2.5. Hőmérséklet – szaporodás	120
10.3. A légkör	122
10.3.1. A légkör tagozódása.....	123
10.3.1.1. Alsó légkör	123
10.3.1.2. Középső légkör	124
10.3.1.3. Felső légkör	124
10.3.2. Ozonoszféra/Ózon.....	124
10.3.3. Oxigénigény	126
10.3.4. CO ₂ - fotoszintézis.....	127

10.3.5. Szennyező anyagok a levegőben	128
<i>10.3.5.1. Szálló por</i>	<i>131</i>
10.3.6. Légszennyező gázok.....	132
<i>10.3.6.1. Nitrogén-oxidok.....</i>	<i>132</i>
<i>10.3.6.2. Freonok.....</i>	<i>133</i>
<i>10.3.6.3. Kén-dioxid (SO₂)</i>	<i>134</i>
<i>10.3.6.4. Szén-dioxid (CO₂).....</i>	<i>135</i>
<i>10.3.6.5. Metán (CH₄).....</i>	<i>136</i>
10.3.7. Szmogképződés	137
10.3.8. A szél fizikai hatása	140
10.4. A víz.....	141
<i>10.4.1. A növények vízháztartása és vízigénye</i>	<i>142</i>
<i>10.4.2. A CO₂-megkötés hagyományos és alternatív útjai.....</i>	<i>143</i>
<i>10.4.3. A fotoszintézis intenzitását limitáló tényezők; az eutrofizáció</i>	<i>144</i>
10.5. A talaj	146
<i>10.5.1. A talaj tulajdonságai.....</i>	<i>146</i>
<i>10.5.2. Talaj tápelemeinek hatása az élővilágra</i>	<i>148</i>
<i>10.5.3. A talaj élővilága.....</i>	<i>148</i>
<i>10.5.4. Talajvédelmi megfontolások</i>	<i>151</i>
10.6. A domborzat	152
11. A szén, nitrogén, kén és a foszfor biogeokémiai ciklusai.....	153
<i>11.1. A biogeokémiai ciklusok általános jellemzői</i>	<i>153</i>
<i>11.2. A szén biogeokémiai ciklusa.....</i>	<i>153</i>
<i>11.3. A nitrogén biogeokémiai ciklusa</i>	<i>155</i>
<i>11.4. A kén biogeokémiai ciklusa.....</i>	<i>158</i>
<i>11.5. A foszfor biogeokémiai ciklusa</i>	<i>160</i>
12. Az emberi tevékenység ökológiai hatásai	162
<i>12.1. A mezőgazdaság ökológiai-környezeti hatásai</i>	<i>162</i>
<i>12.2. Az ipar és a bányászat ökológiai-környezeti hatásai.....</i>	<i>171</i>
<i>12.3. Az infrastruktúra ökológiai-környezeti hatásai</i>	<i>173</i>
<i>12.3.1. Az idegenforgalommal kapcsolatos ökológiai-környezeti hatások</i>	<i>175</i>
<i>12.3.2. A vízgazdálkodással összefüggő, felszíni vizeinket érintő ökológiai-környezeti hatások</i>	<i>175</i>
13. Az ökológiai lábnyom.....	177

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	182
ÁBRÁK JEGYZÉKE	183
FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM	186

ELŐSZÓ

A Környezet- és Természetvédelmi Lexikon (2002) meghatározása szerint az ökológia „a szünbiológia körébe tartozó tudomány, amelynek feladata azoknak a háttér-jelenségeknek és folyamatoknak a kutatása, amelyek az élőlényközösségek viselkedését (pl. tér- és időbeli eloszlását, ennek dinamikáját) behatárolják”. Célja feltárni és értelmezni az élőlényközösségekre hatást gyakorló ökológiai környezeti-, az ezeket felfogó, ezekre reagáló ökológiai toleranciai tényezők közvetlen összekapcsoltságát. Az ökoszisztéma „rendszerként értelmezett, rendszermodellel reprezentált ökológiai objektum. Élő egységei, amelyek különböző növények, állatok mikroorganizmusok populációi lehetnek, a közöttük lévő kapcsolatok révén önszabályozott működést valósítanak meg. A rendszer jellemző állapotait és állapotváltozásait külső tényezők (fény, hő, víz, tápanyagok) is befolyásolják. Az ökológiai rendszerekre meghatározott stabilitás és reziliencia jellemző”.

Az agroökológia is ökológia; az agroökoszisztémák is ökoszisztémák; a termesztett növények és azok környezete is élőlény-együttes (tehát tanulmányozásuk az ökológia része), csak azok szabályozottságának mértéke és módja különbözik. Így az agroökológia az ökológiai kutatásoknak azon területe, amely a mezőgazdasági területeken élő populációk, az ember által szabályozott ökoszisztémák és környezetük közötti okozati összefüggéseket vizsgálja. Az agroökoszisztéma pedig olyan ökoszisztéma, amely az ember által rendszeresen, mesterségesen befolyásolt. Az ökoszisztémákat ért emberi beavatkozások nemcsak a házasított fajok evolúciójára vannak hatással (domesztikáció), hanem az ökológiai, populáció-biológiai és genetikai változások sorát indítják el az agroökoszisztémák nem közvetlen emberi hatás alatt álló alrendszereiben (pl. konkurensok, kártevők).

Az Agroökológia segédlet ismeretanyaga az Intézményünk mezőgazdasági mérnök hallgatói számára lett összeállítva. Összeállítása során már meglévő, az oktatási gyakorlatban már bevált és bizonyított Ökológia-, Agroökológia jegyzetek, segédletek kerültek felhasználásra. Ezen forrásművek azon fejezetei, amelyek jól beilleszthetők a tantárgyi tematikánkba, egymásba fűzve alkotják a jelen segédletet.

1. Az ökológia, mint tudomány

1.2. Az ökológia helye a tudományok rendszerében

Az ökológia, mint elkülönült tudományterület, viszonylag fiatal. 150 évvel ezelőtt, **Ernst Haeckel** megalkotva az ökológia szót, vált az ökológia a biológiai tudományok résztudományává. Ezen időszakot megelőzve, az ökológia, és társtudományai azonban már, noha nem önállósodva, de hosszú évszázadokon át formálódtak. A tudomány ezen korszakát leginkább az *ösztönös ökológia korának* nevezhetjük, amelyet az évszázadokon át tartó emberi megfigyelések alapoztak meg. Ókori egyiptomi hieroglifák bizonyítják, hogy datolyafák megporzására emberi erővel segítettek rá. Kínai feljegyzések utalnak arra, hogy ezidőtájt már hangyákat használtak biológiai védekezésre. Az ókori filozófián már jelzik azon megfigyeléseket, miszerint összetett élőlényegyüttesek, mint részek összessége, óriási szervezetet alkotnak (szuperorganizmus elmélet). Az ókori görögök vetik fel a biológiai egyensúly elméletét is (**Hérodotosz**, **Theophrasztosz**). Egyes megfigyeléseik már a természetes szelekció megfigyelésének tényére utalnak (**Empedoklész**).

Az arab természettudósok hatalmas ismeretekre tettek szert a földrajzi, biogeográfiai megfigyelések terén. Erre utalnak a fent maradó természettudományos enciklopédiák, amelyek közül néhány a fajok terjedésével, az egyedszám korlátlan növekedésének kérdésével foglalkozik (pl. az Al Biruni India című).

A középkorban a természetrajz kutatói számos ökológiai szempontból is értékes megfigyelést tettek. Mind a természetrajz, és ehhez kapcsolatosan mind az ökológia fejlődésének aztán az újkori nagy földrajzi fejlődések adtak lendületet.

Néhány nevet kiemelve, az elsők között említhetjük meg **Linné** nevét, aki megalkotta a *binomenalis nomenclatura*-t (kettős nevezéktan), de személyében tisztelhetjük a növényföldrajz atyját, illetve az ökológia egyik előfutárát („természet ökonómiaja” elmélet kidolgozója). **Réaumur** a hőmérséklet rovarok fejlődésére gyakorolt hatását elemzi, rovar etológiai megfigyeléseket végez. **Humboldt** szintén, mint növényföldrajzzal foglalkozó tudós növényközösségeket (asszociációk) különít el, leírja a magashegységi övezetességet. **Graunt** demográfiai és populációdinamikai megfigyeléseket végez, **Malthus** az emberiség korlátozás nélküli exponenciális növekedését vizsgálva felismeri, hogy az hosszútávon élelmezési problémákhoz vezet.

Darwin munkássága az ökológia előtörténetének egyik legfontosabb mérföldköve, a fajok kihalásának és keletkezésének mechanizmusa, az evolúció léte az ökológia alapkövének tekinthető. Nagy hatással van az ökológia fejlődésére a természetes szelekció elmélete, a versengés evolúcióban betöltött szerepének hangsúlyozása.

Haeckel, mint Darwin követője felismeri, hogy a zoológia tudományt további tudományterületekre szükséges osztani, ennek az igyekezetének egyik „mellékterméke” magának az ökológia kifejezésnek a megalkotása (1866-ban megjelent „*Generelle Morphologie der Organismen*” című könyvében először használja az ökológia szót, a maihoz hasonló értelemben - „A létért folytatott küzdelem feltételeinek tana, a **természet háztartásának** tudománya”. Az oikos görögül házat, háztartást jelent, „logos” tudományt.). Célja az egyedek egymás közötti, és környezetükkel való kapcsolatával foglalkozó tudományok elkülönítése az egyedeken belül vizsgálódó biológiától.

A XIX. század végére a közösségek szerkezete kerül a vizsgálódás középpontjába. Kialakulnak az ökológiában ma is használt fogalmak, kifejezések. **Karl Möbius** osztrigatelepeket vizsgálva rámutat, hogy a növények és az állatok egy biotikus közösséget alkotnak, megalkotja a biocönózis (társulás)

kifejezést. Rámutat, hogy az emberi zavarás megváltoztathatja a közösségeket, ami akár a fajok kihalásához is vezethet. **Alfred Forbes** tavi közösségeket elemezve létrehozta a táplálékláncokon alapuló ökoszisztéma fogalmát. **Eugen Warming** dán botanikus az, aki a Haeckel-féle ökológia kifejezést először használja a „**Plantensamfund**” c. munkájában (1895).

A XIX. és a XX. század fordulóján német tudósoknak köszönhetően nagy eredmények születnek a növényfiziológia és a növényföldrajz területén, ami elvezet az autökológia kibontakozásához (egyedek, és populációk környeztükhez való viszonyát vizsgálja). Fejlődésnek indul a szünökológia (közösségek ökológiája). **Clements** a növényközösségeket vizsgálja, kidolgozza az első átfogó szukcesszió-elméletet. **Gleason** szintén növényközösségeket vizsgálva azok kialakulásában a véletlen folyamatok szerepét hangsúlyozza.

Alfred Lotka és **Vito Volterra** egymástól függetlenül leírják a ragadozó-zsákmány modellt (*Lotka-Volterra egyenlet*). A limnológia, állatökológia, növényökológia és a tengeri ökológia egymástól függetlenül fejlődik az 1950-es évek végéig.

Hutchinson finomítja a niche-koncepciót, és pontosítja magának a niche-nek a fogalmát. Felvetései hozzájárulnak az elméleti ökológia, és az evolúciós ökológia fejlődéséhez.

Az ökológia hazai fejlődéséhez nagyban hozzájárult **Soó Rezső** (növényökológia), és **Balogh János** (állatközösségek kutatása) munkássága. Az ökológia fogalomrendszerének tisztázásában **Juhász-Nagy Pál** szerepét kell kiemelni.

1.2. Az ökológia fogalma

Az ökológiának maga Haeckel is több meghatározást adott: az ökológia elhatárolódása a fiziológiától, az élőlények és az őket körülvevő külvilág viszonyával foglalkozó tudomány. Míg kezdetben az állatökológusok inkább az élőlények elterjedési mintázatait, a növényökológusok a közösségek szerkezetét és mechanizmusait hangsúlyozták a definícióikban.

Az ökológiai fogalmakat következetesen Juhász-nagy Pál definiálta. Megfogalmazta az élőlények véletlenszerű elhelyezkedését állító **centrális hipotézist**: „Bárhon, bármikor, bármilyen élőlény(csoport) bármilyen mennyiségben megtalálható.” Egyértelmű, hogy ez az állítás hamis, az azonban nem nyilvánvaló, hogy:

1. mikor, hol, milyen mértékben és
2. miért.

Ezek megválaszolásához jelölte meg a szünbiológia feladatát Juhász-Nagy Pál. A két kérdés elválasztásával pedig a szünbiológia két részterületét:

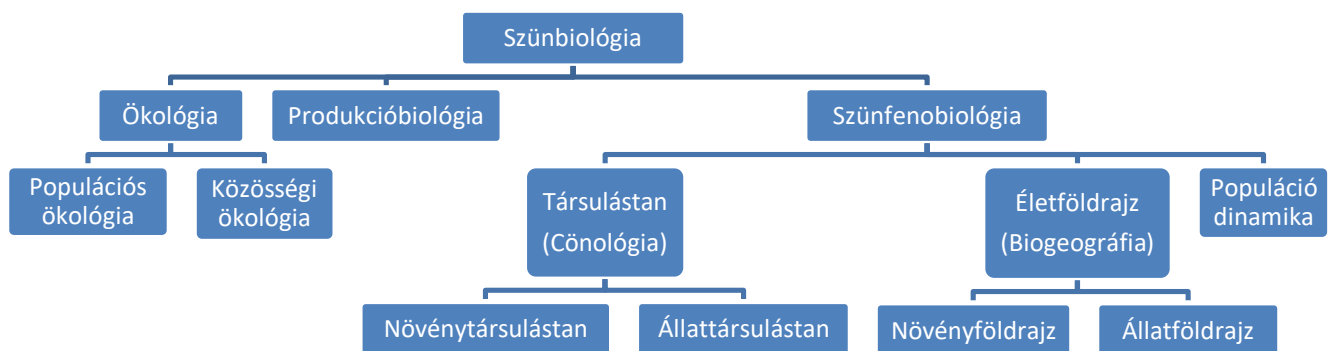
1. a szünfenobiológiát és
2. az ökológiát határolta le.

A **szünfenobiológia** a természetben megfigyelhető jelenségek leírásával foglalkozik: milyen élőlény, hol, mikor, milyen mennyiségben él (biogeográfia, cönológia, florisztika, faunisztika). Az **ökológia** a kényszerfeltételeket (miért? – mi, és hogyan határozza meg a térbeli eloszlást, viselkedést, működést) vizsgálja, egy tényfeltáró tudomány, támaszkodik a szünfenobiológia eredményeire.

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

Az ökológia fogalma az MTA Ökológiai Bizottsága szerint: „A biológiához, azon belül pedig az egyed feletti (szupraindividuális) szerveződési szintekkel foglalkozó szünbiológiához tartozó tudományág. Tárgya a populációkra és a populáció kollektívumokra hatást gyakoroló „ökológiai-környezeti” és az ezeket a hatásokat fogadó és ezekre reagáló „ökológiai-tűrőképességi” tényezők közvetlen összekapcsoltságának (komplementaritásának) vizsgálata. Feladata azoknak a limitálással irányított (szabályozott és vezérelt) jelenségeknek és folyamatoknak (pl. együttélés, sokféleség, mintázat, anyagforgalom, energiaáramlás, produktivitás, szukcesszió stb.) a kutatása, amelyek a populációk és közösségeik tér-időbeni mennyiségi eloszlását és viselkedését (egy adott minőségi állapothoz kapcsolható változásokat) ténylegesen okozzák.”

A **szünbiológia** a biológiának az az ága, amely a populációkat és az ezekből felépülő egyed fölötti (**szupraindividuális**) szerveződési szinteket - társulásokat, biomokat, bioszférát, együttesen: populációkollektívumokat -, valamint az ezek modellezésére felhasznált ökoszisztémákat vizsgálja. **Három fő területét különböztetjük meg: a szünfenobiológiát, az ökológiát és a produkcióbiológiát** (1. ábra). A **szünfenobiológia** a szupraindividuális szerveződési szintek **rendezettségének mértékét és módját** (az ún. fenetikai jelenségeket), az **ökológia** ezek **okát**, a **produkcióbiológia** pedig a **működését és termékenységét** (produktivitását) kutatja.



1. ábra. A szünbiológia felosztása

Az **ökológust** tehát az élőlények populációira ható és a koegzisztenciális mintázatok kialakulásáért felelős **kényszerfeltételek** - ún. korlátozó vagy limitáló tényezők, pl. a hő, a víz, a fény, a tápanyagellátás, a klimatikus viszonyok és az intra-, valamint interspecifikus kompetíció, predáció stb. -, a kényszerfeltételeket fogadó, populációkra jellemző **toleranciaviszonyok** (tűrőképesség, ún. korlátozott vagy limitált tényezők), illetve a **kényszerfeltételek és a toleranciaviszonyok közötti kölcsönhatások érdeklik** (ezért nevezzük a kényszerfeltételeket és a toleranciaviszonyokat együttesen ökológiai tényezőknek). A **produkcióbiológus** ezzel szemben a **biológiai termeléssel**, valamint a **biocönózisok anyag- és energiaforgalmával**, a **szünfenobiológus** pedig a koegzisztenciális mintázatokkal, vagyis az **egyes egyed feletti szerveződési szintek jelenlétével (vagy hiányával), létszámával, megoszlásával és viselkedésével foglalkozik**. Úgy is mondhatjuk, hogy a szünfenobiológia a szünbiológia felszíni (látható, tapasztalható), az ökológia pedig annak rejtett (látens) jelenségeit kutatja.

Az ökológia három területe az **aut-**, a **dem-** és a **szünökológia**. Az **autökológia** vizsgálati objektumát az egyedek (tehát nem az egyed feletti szerveződési szintek) képezik, de mindig abból a célból, hogy

az egyed fölötti szerveződési szintekre vonjon le következtetéseket. Autökológiai vizsgálat pl. az, amikor laboratóriumi körülmények között két populáció egyedeinek egymásrahatását /a közöttük kialakuló konkurencia- viszonyokat/ vizsgálják azért, hogy a populációk természetes társulásokban való viselkedését jobban megértsék. **Demökológia:** populáció és a környezet kapcsolatrendszerét vizsgálja (módszerek: terepkutatás, statisztikai módszerek, matematikai modellek, fajok feltérképezése, diverzitás). A **szünökológia** legkisebb vizsgált egysége a populáció, kutatási területe az ökoszisztéma mint rendszer (az ökoszisztéma része a biotóp és a társulás is).

A modern ökológiának három fő célja van (Krebs, 2006):

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

1.3. Ökológiai alapelvek

Általános indikáció elve: Az élőlények a rájuk ható tényleges környezeti tényezőkre választ adnak, ez a válasz az indikandum, maguk az élőlények az indikátorok.

Komplementációs elv: A külső és a belső környezet együttes kapcsolata: ható és hatást érzékelő exterior-interior komplexum, környék-élővilág. Ökológiai faktorok azok az ökológiai- környezeti és ökológiai-tűrőképességi (vagyis limitáló és limitált) tényezők, amelyek az adott helyzetben egymással összekapcsolódnak (azaz komplementációs relációjuk direkt). Ökológiai faktorokról általánosságban nem lehet beszélni, a két tényezőcsoport elemeiből a megfelelő faktorpárok összekapcsolódása mindig csak egy adott összefüggésben értelmezhető.

Multiplurális környezeti elv: Ökológiai környezetek sokasága egy adott topológiai és idő térben.

Limitációs elv: A populációk és populációkollektívumok válaszreakciója az olyan ökológiai-környezeti hatásra, vagy hatásokra, amelyek az ökológiai-tűrőképességi tartományuk határait minimum vagy maximum irányban megközelítik, vagy átlépik. Ezáltal befolyásolják tér-időbeni mennyiségi előfordulásukat és viselkedésüket. Az ökológiai faktoroknak a változását előidéző környezeti része a limitáló, a változást elszenvedő tűrőképességi része a limitált tényező. a populációknál és populációkollektívumoknál megfigyelt változásjelenség a limitáltság. Egymás nélkül nem értelmezhetőek. A környezeti tényezők együttesen hatnak, szinergikusak, amely eléri a tűrőképesség határát, limitálónak válik. (Liebig-féle minimum törvény (1840): A növények fejlődésének ütemét a rendelkezésre álló elemek közül mindig az szabja meg, amelyik a legkisebb mennyiségben van jelen.)

1.4. Az ökológia tárgya

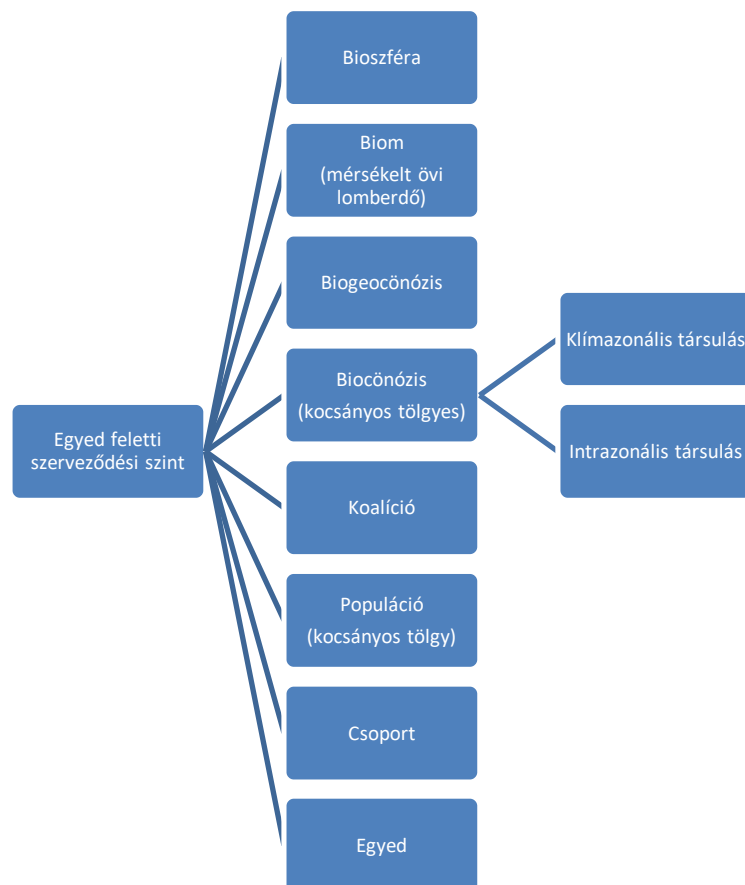
Az élőlények élőhelyeiken, a biotópokban élnek. Egy biotópban a környezeti tényezők közel megegyezők, biztosítják az ott élő élőlények létfeltételeit a fennmaradásukhoz és a szaporodásukhoz. Egy biotópban az ott előforduló fajok **egyedek** formájában léteznek. Az egyedek azon csoportját, amelyek egymással szaporodási közösséget alkotnak, **populációnak** nevezzük (egy adott térben, egy adott időben előforduló, egymással szaporodási közösséget alkotó fajok csoportja).

Egy biotópban egyszerre, egy időben több növény- és állatpopuláció él együtt (pl.: fenyőerdő – a lucfenyő populációi együtt élnek az aljnövényzet moha- és gombapopulációival, pázsitfű-populációkkal, valamint számtalan madárpopulációval, nagyvad-populációval). Az egy adott térben, egy adott időben együtt élő, egymással kapcsolatban lévő növény- és állatpopulációk **társulásokat** alkotnak.

A társulások a természetben életközösségeket, **biocönózisokat** alkotnak. A biocönózisok zonálisan elhelyezkedő, egész kontinensre kiterjedő egységei a **biomok** (pl.: a hideg tundra öv, vagy a trópusi őserdők biomjai).

A földfelszín alkotó összes földrajzi szférát – atmoszféra, hidroszféra, litoszféra – beépíti a Föld élővilága. Az élővilág szerveződésének ez az egész Földet átfogó szintjét bioszférának nevezzük.

Ezeket az egyre összetettebb szerveződéseket egyed feletti szerveződési szinteknek nevezzük. Az ökológia meghatározott szupraindividuális (egyed feletti szerveződési szinten értelmezhető) jelenségekkel foglalkozik. Ezek a szupraindividuális szintek a következők (2. ábra):



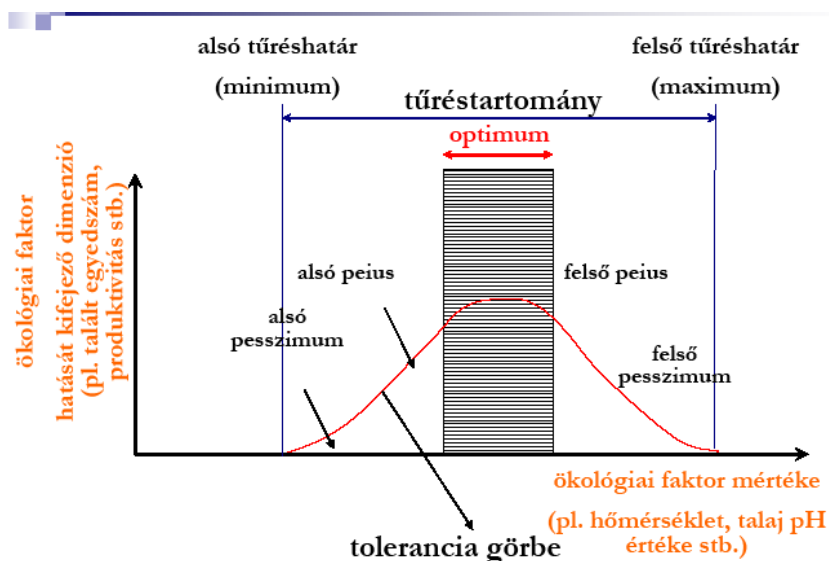
2. ábra. Egyed feletti szerveződési (szupraindividuális) szintek

2. Környezet és tűrőképesség

Azoknak a tényezőknek az összességét, amelyek egy adott helyen az ott élő populációkra, társulásokra, vagyis az egyed feletti szerveződési szintek jelenségeire ténylegesen hatnak, **ökológiai környezetnek** nevezzük. A környezeti tényezők tehát befolyásolják az egyedek életműködéseit, hatnak a populációk, biocönózisok „viselkedésére”, azaz azok a tényezők, amelyekre az élőlények valamilyen formában válaszolnak.

A környezeti tényezők nem állandóak, szüntelen változás jellemző rájuk. Változhatnak például a napszakok változásával (pl. reggel és délben más a hőmérséklet magassága, ill. a fény mennyisége), az évszakok ismétlődéseivel, de változhatnak az időjárás változásával, alkalomszerűen. A változások térben is megfigyelhetők – a magasság változásával változnak a hőmérsékleti értékek, változik a sugárzás erőssége, összetétele (pl. az egyenlítőtől délre és északra csökken a hőmérséklet).

Hogy egy adott faj populációja hogyan tud alkalmazkodni a változó környezethez, milyen mértékben reagál a környezet hatásaira, azt a **tűrőképesség** mutatja meg (*tolerancia*). A környezeti tényezők eltéréseiből adódóan nincs olyan élőlény, amely egyformán tudna alkalmazkodni. A tűrőképesség örökletesen meghatározott, a populációkra jellemző tulajdonság, környezetspecifikus. Az egyes ökológiai faktorok mértéke (erőssége) és hatása közötti összefüggést a **toleranciagörbe** segítségével értelmezhetjük (3. ábra), ahol a vízszintes tengelyen az ökológiai tényező változását, a függőleges tengelyen pedig az erre adott választ ábrázoljuk. A toleranciagörbe kardinális pontjai az **optimum**, **minimum** és a **maximum** pontok.



3. ábra. Az életfolyamatok és a környezeti tényezők változásának összefüggése

A környezeti tényezők hatására adott válasz maximumgörbével ábrázolható. A környezeti tényezők még elviselhető felső határa a maximum, alsó határa pedig a minimum. A két szélső érték közé esik a populáció számára legkedvezőbb optimum. Itt érzi csak jól magát a populáció. A még elviselhető, de kedvezőtlen tartomány, a **pesszimum**. A két szélső érték, a minimum és a maximum közötti intervallum a **tűrés**. Amennyiben a környezeti tényezők az adott élőlény számára a legmegfelelőbbek, az élőlény minden életfunkciója, egész élettevékenysége tökéletesen működik.

Természetesen a környezeti tényezők kismértékű elmozdulása pozitív vagy negatív irányba még nem befolyásolja döntően az élőlény élettevékenységeit, az optimum pontot két irányból övező tartományt tehát **optimum tartománynak** tekinthetjük. Amennyiben a környezeti tényezők változása bármely irányban meghaladja az élőlények számára optimális feltételeket, az élőlény **peiusz** állapotba kerül, amelyet *rosszabbléti szakaszként* is említhetünk. Ebben a tartományban már nem teljesedik ki valamennyi életfunkciója, bekövetkezhet például, hogy csökken a szaporodási ráta. A peiusz szakaszon túlmenően bármelyik irányban pesszimum tartományról beszélünk, melyet esetleg nyugalmi periódus (pl. téli álmot alvó emlősöknél a téli nyugalmi időszak, vagy a kételtűeknél a téli hibernáció állapota) beiktatásával vagy valamilyen túlélő képlet fejlesztésével (pl. lágyszárú növények áttelelése mag vagy talaj alatti szerv segítségével) képesek elviselni az élőlények. A **minimum pont** az a legkisebb érték, amely alatt, a **maximum pont** pedig az, amely felett az élőlény nem bírja tovább elviselni a környezeti tényezők megváltozását, ezért, amennyiben arra testfelépítése és életmódja lehetőséget teremt, elvándorol az adott ökörendszerből (pl. vándormadarak), egyéb esetben elpusztul.

A **tűrőképesség függ** a fajtól, az életkortól, a fejlettségi állapottól (pete, lárv), a környezeti tényezők együttes hatásától (pl.: a nitrogénszegény talajon a réti perje kevésbé szárazságtűrő), a biotikus tényezőktől (pl.: versengés). Alapvetően **tágtűrésű** (*euriök*) és **szűktűrésű** (*sztenök*) fajokat különböztetünk meg. A tágtűrésűek adott környezeti hatótényező szélesebb spektrumát, a szűktűrésűek viszont keskenyebb spektrumát képesek elviselni, azaz tolerálni. A tág tűrésű fajok a **generalisták** (*euriök* fajok), ezek a fajok valamely környezeti tényező értékhatár változásait tág határok közt viselik el. Közülük némely csak egy bizonyos tényezőre tágtűrésű (pl.: a talaj vízellátására a fehér nyár tág tűrésű, előfordul ártéri erdőkben éppúgy, mint száraz, futóhomokos területeken is), némely azonban több tényezőre nézve is tágtűrésű (pl.: vándorpatkány, veréb). A szűk tűrésű fajok, a **specialisták** (*sztenök* fajok) előfordulásukkal jelzik az adott környezeti tényezők értékét, ezért ezeket *indikátorszervezeteknek* nevezzük (pl. zuzmó a levegő kéndioxid tartalmára szűk tűrésű). Mind a két alaptípuson belül további csoportosítás lehetséges, beszélünk kis (**oligo**), közepes (**mezo**) és nagy (**poli**) *euriök* és *sztenök* fajokról. A három alkategória közötti különbség mindkét alaptípusban az, hogy alapvető tűrőképességi jellemzőik mellett az egyes fajok adott környezeti tényezőnek inkább az alacsonyabb, vagy magasabb értékeit képesek elviselni, esetleg éppen a szélsőségektől mentesen, a középső intervallumban érzik a legjobban magukat.

A környezet és a tűrőképesség két egymástól elválaszthatatlan, egymást feltételező fogalom. A környezeti, mindig valamilyen toleranciasajátosságot megszabó, korlátozó tényező. Az élőlények közösségei egy adott földrajzi térben, az élőhelyen élnek. Az élőhely a populációk előfordulási körülményeit jelöli.

3. Ökológiai indikáció

Az ökológiai indikáció a környezet tényleges hatásaira adott jelzés. Rendszerint valamely élettelen (abiotikus) tényező változik meg (pl.: talajösszetétel, hőmérséklet), ezt a populációk jelzik elterjedésükkel, viselkedésükkel. Valamennyi élőlényfaj jelzi, ha valamilyen számára jelentős környezeti változás következik be.

Azokat a szervezeteket, amelyek jelenlétükkel vagy hiányukkal, létszámukkal, megoszlásukkal és egyéb viselkedésükkel valamely környezeti tényezőt vagy annak változását jelzik, **indikátorszervezeteknek** nevezzük. Azok lehetnek jó indikátor szervezetek, amelyek a környezeti tényezők szűk intervallumához alkalmazkodtak, eltűnésükből, szaporodásukból, viselkedésük, vagy élettani jellemzőik megváltozásából következtethetünk a környezeti változásokra, emiatt az ökoszisztéma egyes tulajdonságainak (pl. pH, a talaj nehézfém-tartalma stb.) megbízható jelzői. Beszélhetünk **akkumulációs indikátorokról** (pl.: kagylók kopolyúja – ólom, káposzta – nehezen illó szerves vegyületek) és **detektorfajokról**. Ezek viselkedésük megváltozásával, vagy elpusztulásukkal jeleznek (pl: paradicsom – etilén, kardvirág – fluor, nagy csalán – nitrogén, zúzmó – kén-dioxid, dohány – ózon). Az ún. **őrző fajok** nagyon érzékenyek és korán figyelmeztetnek a szennyeződésre. A **kiaknázó fajok** igen ellenállóak, előnybe kerülhetnek a terület szennyeződése után.

Indikandum ezzel szemben az, amit az indikátor jelez. Az **indikáció** tehát az az alapvető viszony, amely a felszíni (fenetikus) és a rejtett (látens) jelenségek, vagyis az indikátor és az indikandum között fennáll. Indikációval ennek következtében az indikátor tulajdonságaiból az indikandumra - adott szupraindividuális organizációs rendszer környezetére, iránta megnyilvánuló toleranciájára, illetve ezek kölcsönös kapcsolatára - következtethetünk. Az indikátorszervezetek közül a szűktűrésűek (sztenők fajok) eltűnésükkel vagy éppen megjelenésükkel jelzik a környezet változását (*1. táblázat*). Eltűnésükkel negatív indikátorokként jelzik pl. a levegő kén-dioxid szennyezettségét a fák kérgén élő bokros telepű zúzmók és a juharfák levelén a Rhus typhina nevű gomba, míg megjelenésükkel pozitív indikátorokként jelzik a víz eutrofizálódását a "vízvirágzást" okozó algák és cianobaktériumok.

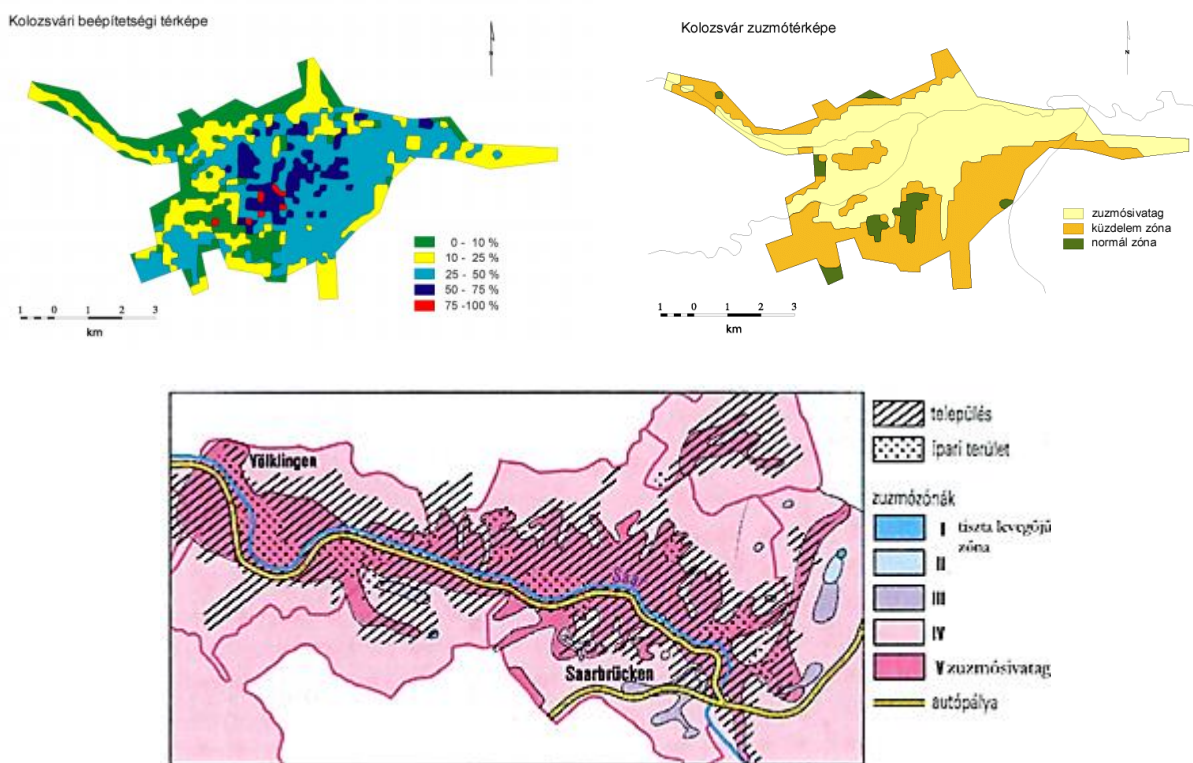
A tágtűrésű (euriók) fajok is képesek jelezni a környezet változását, ugyan csak szélesebb tartományban. Az előbbi csoportjukhoz tartozó, *sztenők fajokat reaktív-*, az utóbbihoz tartozó *euriók fajokat* pedig *akkumulatív indikátoroknak* nevezzük.

1. táblázat. Néhány indikátor élőlénycsoport

Élőlény	Érzékenység tárgya
Tengeri korallak	Vízhőmérséklet, fény, vízmennyiség, víztisztaság,
Kagylófajok	Nehézfémek, környezeti savasodás
Tőzeglápok növényei	Mikroklíma, pH
Barlangi élőlények	Mikroklíma, vízminőség, vízhőmérséklet, páratartalom
Zúzmók	Környezeti savasodás

Az ökológiai (vagy bio-) indikátorok olyan fajok egyedei, illetve társulások, melyek életfunkciói adott környezeti faktorokkal szoros korrelációban állnak, így ezek kimutatására alkalmazhatóak. Mivel a környezetet károsító anyagok hatására jól látható változással reagálnak, az ún. passzív vagy aktív monitoring vizsgálatokban a gyakorlatban alkalmazzák őket. A **passzív monitoring**nál egy adott terület élővilágából választják ki a teszt példányokat. Ennek előnye, hogy így a helyspecifikus flóra, illetve fauna vizsgálható, míg az **aktív monitoring** alkalmazásával bizonyos kritériumok alapján kiválasztott pontokra adott időtartamra indikátor élőlényeket helyeznek ki. Az aktív monitoringnál alkalmazott teszt élőlényeknél annak alapján, hogy azok az adott környezeti tényező szennyezésére külső, jól látható elváltozással (pl. levélfoltosodással), vagy bizonyos anyagoknak saját szervezetükben történő felhalmozásával reagálnak, beszélhetünk **reakciós-** vagy **hatásindikátorokról** és **akkumulációs indikátorokról**

Gyakorlatilag minden taxon egyedei alkalmasak lehetnek valamilyen indikációra. A gyakorlatban leginkább az algákat, a zuzmókat használják. Az algákat könnyű tenyésztetőségük és genetikai egyöntetőségük miatt elsősorban laboratóriumi tesztek során alkalmazzák, többek között vízminőség, gyomirtószer-maradványok, ivóvíz-vizsgálatok elvégzésére. A zuzmók előnye a bioindikáció szempontjából, hogy testüket nem borítja kutikula, így a különböző károsító anyagok könnyen behatolhatnak és kiválasztási lehetőség híján felhalmozódhatnak szervezetükben. A különböző zuzmófajok a környezeti savasodás megbízható jelzői, a magasabb rendű növényeknél érzékenyebben reagálnak a légköri SO₂ mennyiségének változásaira. A zuzmókat inkább a *passzív monitoring* során alkalmazzák. A levegőminőség-vizsgálatok történhetnek **zuzmótérkép** alapján, melynek készítése a zuzmóskála ismeretén alapszik (4. ábra).



4. ábra. Zuzmótérkép

A **zuzmóskála** az egyes fajokat SO_2 -érzékenyséjük alapján rangsorolja, és az egyes szintekhez megbízható SO_2 értékeket, pontosabban tartományokat rendel. Jelenlétük, vagy hiányuk jelzi a légkörbe bocsájtott SO_2 , és az abból keletkező kénessav/kénsav mennyiségét. Amennyiben egy adott területen nem fordulnak elő zuzmók, úgy ún. zuzmósivatagokról beszélünk. Az ilyen területeken olyan magas koncentrációt ér el a légköri SO_2 koncentráció nagysága, hogy a zuzmók gyakorlatilag teljesen eltűnnek az adott területről (**zuzmósivatag**: $170 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq \text{SO}_2$ - nincs zuzmóélet; $170 \mu\text{g}/\text{m}^3 \geq \text{SO}_2 \geq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$: **algák** még előfordulnak). Míg az ún. **küzdőzónában** csak *kéregzuzmók* fordulnak elő ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3 \geq \text{SO}_2 \geq 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$), addig a kevésbé szennyezett **szabadzónában** *leveles zuzmók* ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3 \geq \text{SO}_2 \geq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), illetve *bokros zuzmók* élnek ($50 (40) \mu\text{g}/\text{m}^3 \geq \text{SO}_2$) (5. ábra).

Kéregzuzmó – Küzdő zóna



Leveles zuzmó - Szabadzóna

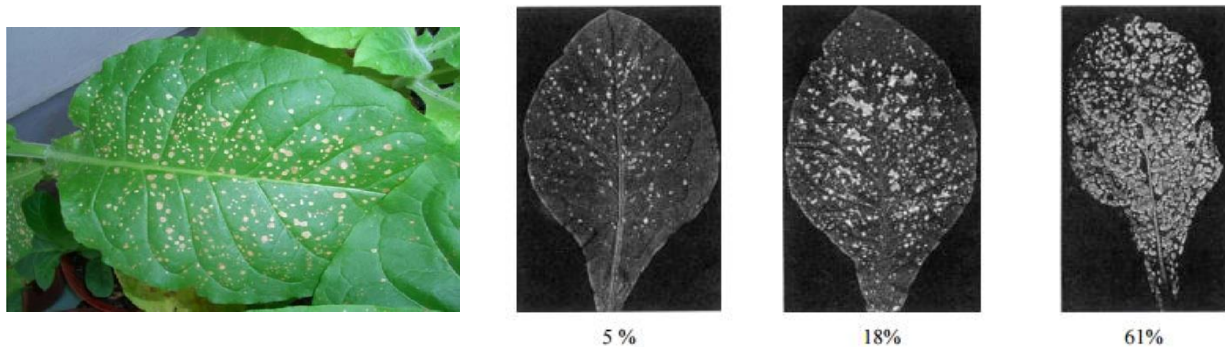


Bokros zuzmó - Szabadzóna



5. ábra. Indikáció – zuzmók

A magasabb rendű növények közül a **dohány** az alacsony légköri (troposzférikus) ózonterhelésre reagál igen érzékenyen, már alacsony ózonterhelésnél (40 ppb-s koncentráció esetén is) *klorózis tünetei* jelennek meg a növényen (világos színű foltok a leveleken), míg magas ózonterhelésnél a levélszövet elhal, amelyet sötét színű nekrosis jelez számunkra (6. ábra). A károsodás elsőként az idősebb leveleken jelenik meg, majd a felsőbb, fiatalabb levelekre is kiterjed.



6. ábra. Ózon okozta százalékos levélkárosodás dohánylevélen

Az indikátornövények közül több nem kizárólag egy szennyező anyagra érzékeny. A Pinto bab, vagy **bokorbab** akkor reagál érzékenyen az ózonra, ha az nitrogénoxidokkal keveredett. Érdekessége, hogy tisztán nitrogénoxidokra egyáltalán nem reagál és tisztán ózonra is jóval kevésbé, mint azok keverékére. A **kis csalán** ózonra és peroxiacetylitrátra, a vörös here pedig ózonra és kéndioxidra érzékeny. Ezen növények kombinációjával akár a teljes légszennyezettségi szituációra is következtetni lehet. Szabad szemmel is jól látható reakciójuk a dohányéhoz hasonló, a növényeken nekrotikus foltok jelennek meg.

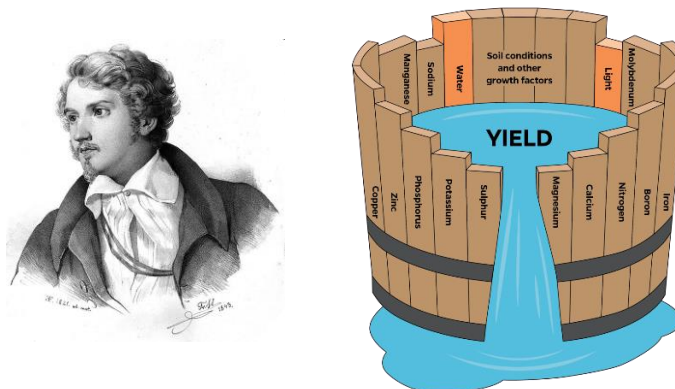
Az eddig említett növényi szervezetek kivétel nélkül a **hatásindikátorok** csoportjába sorolhatók, míg a lombos és tűlevelű fás szárú növények **akkumulációs indikátoroknak** tekinthetők. Leveleikben, ágaikban, évgyűrűikben halmozják fel a szennyező anyagokat. A tűlevelű fákat jobban éri a légszennyezés, mint a lomblevelűeket, mivel leveleik 3-7 évig élnek, ezért jobban felhalmozják a szennyező anyagokat. Amennyiben várható élettartamuknál hamarabb lehullnak, ez megbízható jelzés számunkra az élőhely környezeti viszonyainak megváltozásáról. A fa szövetének analízise ugyancsak megbízható eredményeket produkál a fás szárú növények törzsében felhalmozódott szerves anyagokról.

A növényeken kívül az **állatvilágban** is találunk indikátor fajokat. A *tengeri korallok*, mivel több tényezőre (pl. vízhőmérséklet, fény, vízmélység, víztisztaság) is érzékenyek, a legérzékenyebb tengeri élőlényeknek tekinthetőek. A *kagylók* a vizek nehézfém-szennyezésének, illetve a környezeti savasodásnak a jelzésére alkalmasak. A barlangi élőlények gyakran a megfelelő mikroklímára érzékenyek, de pl. a *barlangi vakgöte* érzékeny a mikroklímán túl a vízminőségre, vízhőmérsékletre, páratartalomra egyaránt. A *gyűrűsférges* és a *csigák* nehézfémek akkumulációs indikátorai, a *madarak* közül pedig a szarka, héja, vagy macskabagoly ismert *akkumulációs indikátorok*. E madárfajok csontjaikban, tollaikban, májukban és veséjükben nehézfémeket, zsírszövetükben pedig klórozott szénhidrogéneket halmoznak fel.

Az ökológiai tényezők egymás közötti hatásai is befolyásolják a fajok tűrőképességét. Pl.: a réti perje nitrogénszegény talajon élve kisebb szárazságtűrűsű lesz, mint nitrogénben gazdag talajon. Ahhoz, hogy az élőlények egy élőhelyen optimálisan fejlődjenek és szaporodjanak, a környezeti tényezők együttes összhangja szükséges.

A tűrőképesség tárgyalása során ki kell térnünk a az ember tűrőképesség fokozásában betöltött szerepére. A tűrőképesség ugyanis fokozható **nemesítéssel** (ivarsejt közvetít), vagy idegen gének bevitelével testi sejtbe (transzgenetikus növények, állatok). Nemesítéskor a fajazonos gének eltérő

formái a kromoszóma számukra meghatározott helyein jelennek meg. A transzgenetikus növény mindig tartalmaz fajidegen gént (transzgén), melynek nincs meg a helye az örökítő anyagban, hanem megfelelő technológiával kell bejuttatni.



7. ábra. Liebig-féle minimumelv

Bármely ökológiai tényező, amelyik eléri, vagy megközelíti egy populáció tűréshatárait, annak előfordulásával szemben korlátozó tényezővé válik. **Liebig** növényekkel végzett kísérletei után fogalmazta meg a **minimumelvet**, miszerint egy növény egyedfejlődését mindig az igényekhez képest legkisebb mennyiségben jelen lévő tápanyag szabja meg (7. ábra). Hiába van egy anyagból több, ha valamely anyag az igényekhez képest minimális mennyiségben nincs jelen, a palánta elpusztul. Ennek alapján az ökológia úgy általánosítja a minimumtörvényt, hogy a fajok populációi elterjedésének azok a környezeti hatások szabnak határt, amelyek értékei a pesszimum tartományba esnek (vagyis ez a **Shelford tolerancia törvénye** – egy élőlény elterjedését az a környezeti tényező határozza meg, amelyre nézve a legszűkebb a toleranciája az adott élőlénynek - a populáció elterjedését az a környezeti tényező korlátozza a legjobban , amely a legjobban megközelíti a minimumértéket).

4. A populációk

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. Az ökológiában egy adott faj tényleges szaporodási kapcsolatban álló egyedeinek összességét nevezhetjük populációnak. Ez a definíció azonban nem minden ökológia vizsgálódás esetén használható. Sok esetben szűkebb, máskor tágabb fogalomra van szükség.

4.1. A populációk jellemzői, szerkezete

A populáció méretét leggyakrabban **egyedszám**ban, vagy egyedsűrűségben (populációdensitás vagy abundancia) szokták megadni. Szárazföldi élőlények esetén a denzitást egyed/területegységben, míg vizekben élőkre térfogategységre vonatkoztatva mérik. Az egyedek száma ritkán határozható meg teljes pontossággal (számolással). Talán csak a nagyobb testű, nem rejtett életmódú állatoknál van erre esély, mint a fehér gólya esetében, bár bizonyos, hogy ez sem ad teljesen pontos egyedszámot. A fajok többségénél a populáció egyedszáma csak becsléssel határozható meg. 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 m x 20 m, cserjésekben 10 m x 10 m, gyepeken 2 m x 2 m nagyságú kvadrátokat használnak**. 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 mintavétel(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).

Bármennyire is pontosan meg tudjuk határozni a vizsgált populáció egyedszámát, az csakis az adott pillanatra jellemző szám, hiszen az *egyedszám egy folyamatosan változó érték*, melyet 4 tényező határoz meg: a **születések** és **halálozások**, valamint a **be-** és **kivándorlás**. A populáció egyedszámának változását (ΔN) a születések (B) és halálozások (D) számának, valamint a be- (I) és kivándorló (E) egyedek számának ismeretében egyszerűen meghatározhatjuk:

$$\Delta N = B - D + I - E$$

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 születések számát a **natalitással** fejezhetjük ki. A **natalitás**, vagyis a születési ráta az adott időegység alatt világra jött utódok számát jelöli, melyet egy adott egyedszámmra vonatkoztatunk, pl. 1 év alatt 1.000 egyedre eső utódok száma. A natalitás számos belső (endogén) és külső (környezeti) tényezőtől függ. Különböző fajok populációinak natalitása igen eltérő lehet. Mindenekelőtt meghatározza a fajra jellemző genetikailag kódolt utódszám. Ez fajtól függően 1-től több millióig is terjedhet. Ezt módosítja, hogy évente hányszor szaporodik az állat és hány utódot hoz a világra. Az éves generáció-szám és az egyszerre produkált peteszám adja meg a potenciális szaporodó képességet. Ez egy olyan populáció-jellemző, melyet egy átlag nőstény egyedre határozhatunk meg. Valójában ettől az egyedek jelentősen eltérhetnek, hiszen a fiatal és idős nőstényeknek még, illetve már kevesebb utódok van, míg a középkorú egyedek termékenyebbek. A születések számát közvetlenül, illetve közvetve a környezet erősen befolyásolja. Ennek hatására tapasztalható valós utódszámot jellemezhetjük az aktuális szaporodási rátával. Kedvezőtlen időjárási és táplálkozási körülmények között kisebb az élveszületések aránya: vetelés, halvaszületés, madaraknál kelésgyengeség fordulhat elő. Ezek a jelenségek a populáció túlszaporodásakor is felléphetnek, melyek visszacsatolásként működnek. (**Fekunditásnak** nevezik az egyedek fiziológiailag meghatározott maximális utódmennyiségét. Ezzel szemben a természetben ennél alacsonyabb átlagos utódmennyiséget tapasztalunk, ez a **fertilitás**.)

A populációban a halálozások arányát a **mortalitási ráta** fejezi ki. Ezt a natalitáshoz hasonlóan szintén adott időegységre és adott egyedszámmra vonatkoztatjuk. Valamennyi állatfaj esetében egy fiziológiai adottság, hogy egyedei mennyi ideig élnek. A halálozás valószínűsége fajra jellemző módon függ az egyed korától, vagy fejlődési stádiumától (pl. lárva, imágó vagy újszülött, fiatal, ivarérett, stb.). Egyes rovarok csak néhány hétig élnek (pl. fűrkészdarazsak), míg a nagytestű emlősök akár évtizedekig (pl. afrikai elefánt). A populáció mortalitási rátája alapvetően függ az egyedek koreloszlásától. Egyes fajoknál más-más korban nagyobb a veszélyeztetettség. Így a pontyok pete és ivadék korban halandóbbak, míg az ember inkább idős korban. A mortalitást a genetikai tényezőkön túl a környezet alapvetően meghatározza. Sok faj esetében fiatal korban rendkívül nagymértékű a halandóság. Különösen a petéssel szaporodó állatokra igaz ez, hiszen már pete korban a ragadozók vagy gombás fertőzések tizedelik az állományt. A legtöbb faj esetében, amint egy fiatal egyed elér egy kort, jelentősen csökken a halálozás, míg idős kor elérével hirtelen megugrik. Különösen az egy évnél rövidebb életet élő fajoknál kifejezett ez, hiszen a többségük szaporodás után elpusztul, a külső hatásoktól függetlenül. Egy populáció túlszaporodása esetén olyan sűrűségfüggő hatások jelennek meg, amelyek a mortalitás radikális emelkedését okozzák (pl. betegség, alultápláltság). A halálozás korfüggését szemlélteti a túlélési görbe: a kor függvényében ábrázolják a túlélés valószínűségét – általában 1000 egyedre vonatkoztatva – logaritmikus skálán. A túlélést és mortalitást korosztályonként elemezve **négy alaptípusba** sorolhatók a fajok populációi (8. ábra):

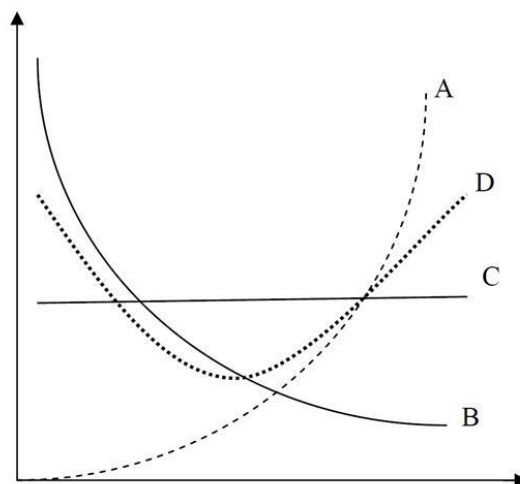
Korral exponenciálisan növekvő mortalitás (A) - az egyedek halálozási esélye kicsi egészen az öregkorig. Az egyedek többnyire időskorban pusztulnak el. Ez jellemző a házikedvencekre, az emberre, állatkerti állatokra és az egyéves növényekre.

Korral exponenciálisan csökkenő mortalitás (B) - igen nagy fiatalkori 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. (pl. halak, kételtűek)

Kortól független mortalitás (C) - az egyedeket kortól 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.

Fiatal és idős korban magas mortalitás (D) - pl. bogarak.



8. ábra. Populációk típusai az egyes korosztályokat jellemző túlélés és mortalitás alapján

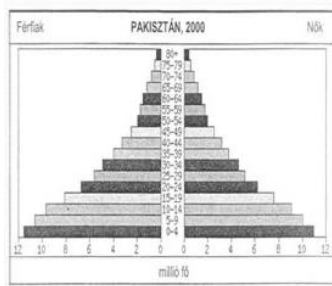
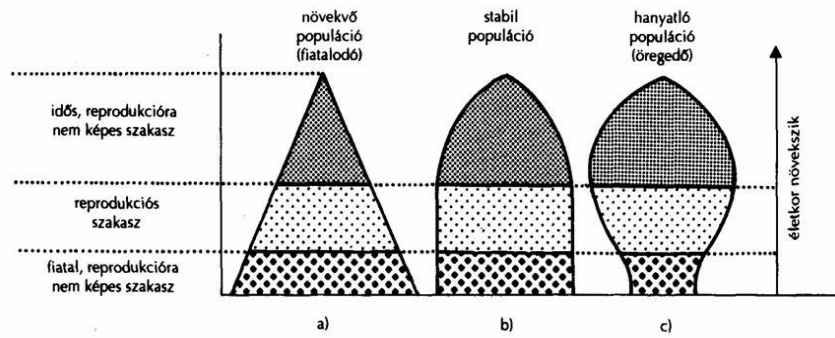
4.2. Koreloszlás

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. Ugyanakkor a koreloszlásnak is fontos hatása van a mortalitásra, illetve a natalitásra is. A populáció korosztályainak eloszlását az ún. **korfa** ábrázolja. A korfából megállapítható a különböző korosztályok, illetve a két nem aránya. Az egykorú, közel azonos időben született egyedek csoportját **kohorsznak** nevezzük. 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

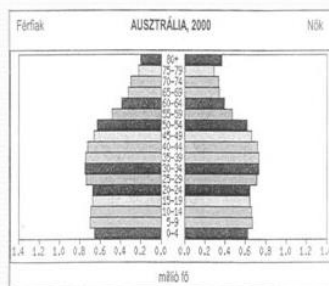
Ha egy populáció egyedei között a fiatalok aránya kimagaslóan magas, akkor „**fejlődő**” populációról (növekvő/szaporodó/progresszív) van szó, ha az idős egyedek aránya nagyobb, akkor „**hanyatló**” (fogyó/regresszív) populációról beszélünk, és ha szinte minden korosztály aránya hasonló, akkor „**stagnáló**” (stabil/stacioner) a populáció (9. ábra). Egy „egészséges” természetes populációban a fiatalok aránya mindig nagyobb, mint a többi korosztályé. Ha ez nem így van, akkor az általában valamilyen külső okra vezethető vissza.

A humán és emlős populációk korstruktúráját legtöbbször évek alapján szokták tekinteni, rovarok esetén a korcsoportok helyett általában célszerűbb fejlődési stádiumokat tekinteni. Növényeknél a

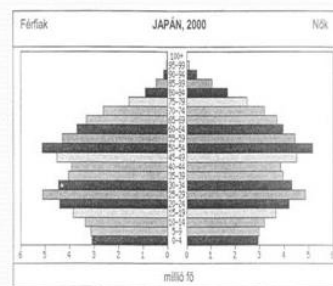
már kicsírázott növények életét nyomon követve szoktak idő szerinti korcsoportszerkezetet vizsgálni, azonban – különösen a növények terjedésének vizsgálatával kapcsolatban – szintén inkább fejlődési stádiumokat tekintenek. Ezek közül kiemelt a magbankban szunnyadó magok csoportja, amelyek akár évtizedekig (esetleg évszázadokig) megőrzik csíráképességüket. A kicsírázott magoncokat, a fiatal vegetatív és a fejlett vegetatív valamint a szaporodó egyedeket szokták még elkülöníteni.



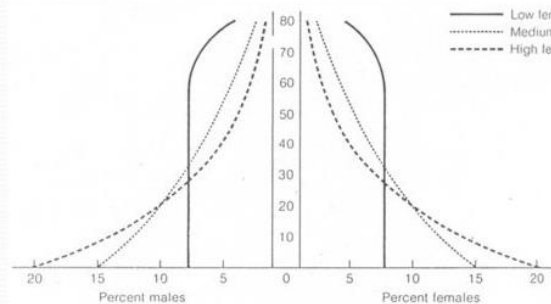
Szaporodó (progresszív)
típusú populáció



Stacioner
típusú populáció



Fogyó (regresszív)
típusú populáció



9. ábra. Korfa típusok

A be- és kivándorlás a populáció egyedszámára általában kisebb mértékben hat, mint a születési és a halálozási ráta. Minden populációra jellemző, hogy **nyílt rendszerként** működik, tehát a közeli populációkból új egyedek érkezhettek, de el is hagyhatják azt. Ez a génkicserélődés azonban egy alacsony szintet nem léphet át, hiszen ha nagyon jelentős mértékű lenne, akkor már egyetlen populációnak tekinthetnénk őket. A migrációnak tehát fontos szerepe van a többi populációval való kapcsolatban, azonban az egyedszámra csak kis mértékben hat.

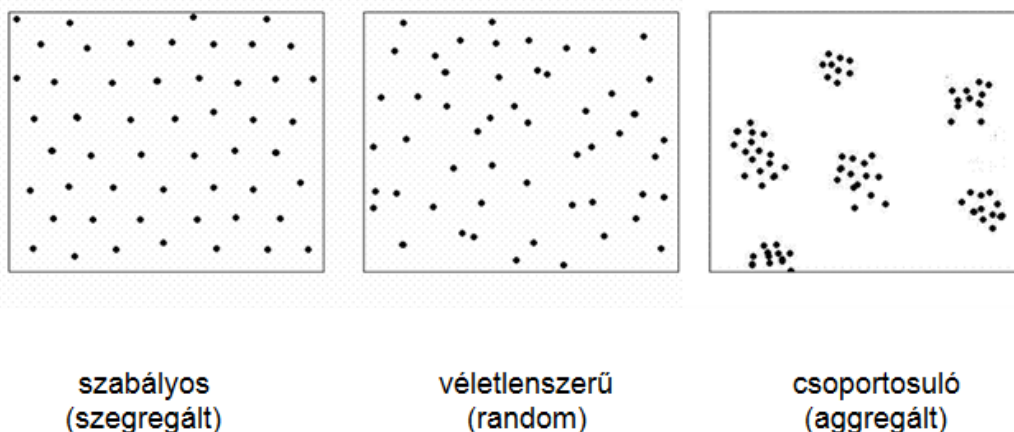
Egy populációt egyedszámánál sokkal jobban jellemez annak **egyedsűrűsége**, a *denzitás*. Az egyedsűrűség adott területegységre vagy térfogatra eső egyedek számát jelenti. Ez az érték jól összehasonlítható más populációk hasonló jellemzőjével.

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 (10. ábra).

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/szabályos** (*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.

Az élőlények leggyakrabban **csoportokba tömörülve**, *aggregáltan* fordulnak elő. 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...).



10. 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. 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.

4.3. A populációk szaporodása

Minden megfelelő körülmények között élő faj átlagegyedére jellemző, hogy élete során kettőnél több utódot hoz a világra, tehát az apa és anyaállat nem pusztán saját pótlásukra elegendő számú utóddal rendelkezik, hanem annál többel, esetenként több milliószor többel (pl. galandférgek). Ebből az következik, hogy egy képzeletbeli ideális populációban, ahol a környezet nem hat az egyedekre, az egyedszám ugrásszerűen, **exponenciálisan** növekedne (11. ábra).

A populáció szaporodási teljesítményét fejezi ki a **fekunditás**. Ez a megszületett egyedek, lerakott peték számát jelenti. (A formailag hozzá hasonló szó, a **fertilitás** ettől eltérő jelentésű, az utódok létrehozására való képességet jelenti, ellentéte a **sterilitás**.)

A peteszám (ez jelenthet petét, tojást, újszülöttet) és az egy év alatti generációk

Rovaroknál: $F = (f \times p)g$

F: egyedszám-növekedés

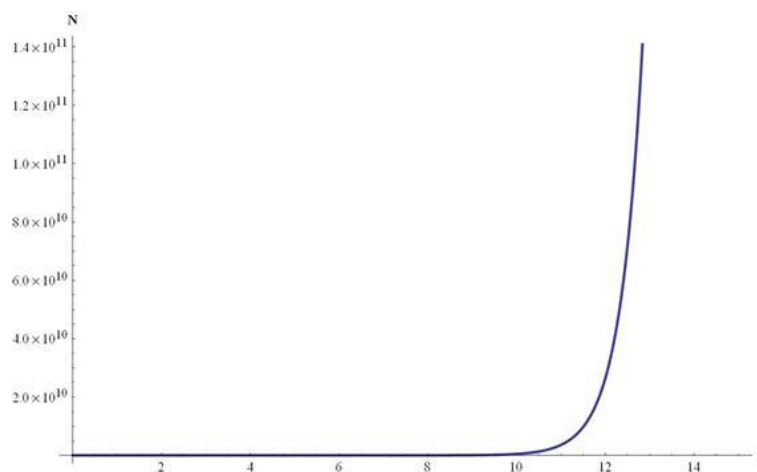
f: ♀ száma

p: peteszám

g: azon generációk száma, melyek még abban az évben maguk is szaporodnak

Pl. a szúnyogoknál, ha 3 generáció van, egyszerre 2000 petét rak egy nőstény, (melyek fele ♀ lesz), szaporodás után a szülők elpusztulnak, akkor egy év alatt egy nőstény leszármazottainak száma az egymilliárdot is elérheti:

$$F = (1 \times 1000)^3 = 1000 \times 1000 \times 1000 \rightarrow 1 \text{ Mrd}$$



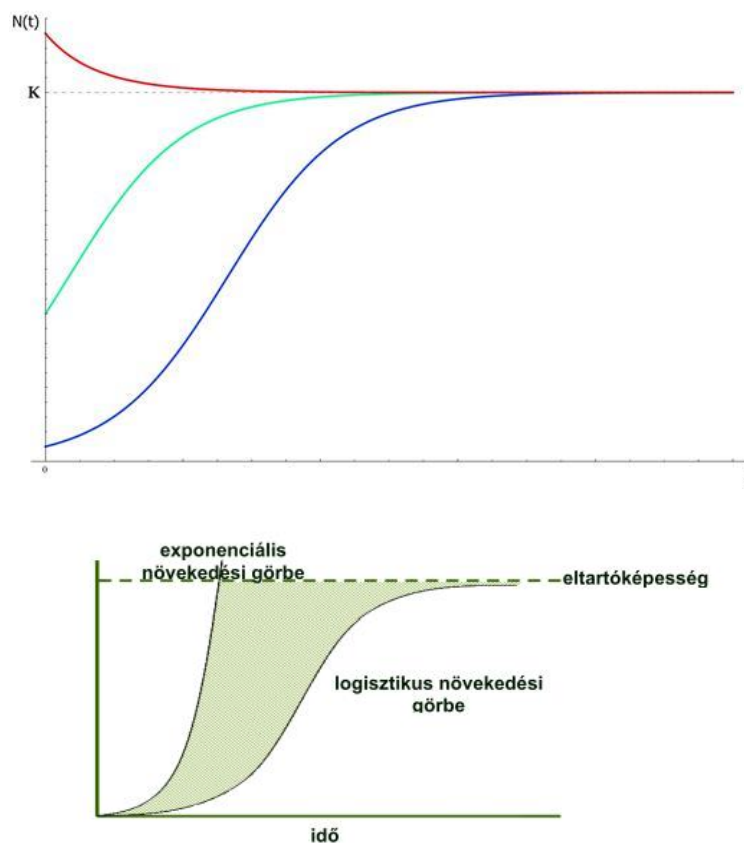
11. ábra. Egy képzeletbeli populáció egyedszámának exponenciális növekedése

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. Az emberiség népessége is közel exponenciálisan nő.

A természetben számos környezeti tényező *megakadályozza az exponenciális növekedést*. Ezek közül a legfontosabbak az időjárás, táplálék, ragadozók, betegségek, paraziták, bűvő- és fészkelőhelyek, interspecifikus versengés, stb. Természetes környezetben a *források végesek* (táplálék, fészkelőhely, territórium, stb.), így azok korlátozott volta miatt a populáció egyedsűrűségének növekedésével

megjelennek a *sűrűségfüggő korlátozó tényezők*. Az egyedsűrűség növekedésével például az egy egyedre jutó táplálék mennyisége csökken, ami csökkenti a natalitást, növeli a mortalitást. A denzitás növekedése esetén a fellépő betegségek és paraziták könnyebben, gyorsabban terjedhetnek. Ezek és további sűrűségfüggő tényezők lelassítják az egyedszám növekedését, míg az végül meg is áll. Azt az egyedsűrűségi értéket, melynél a populáció tartósan nem lehet magasabb, a **környezet eltartóképességének** nevezzük.

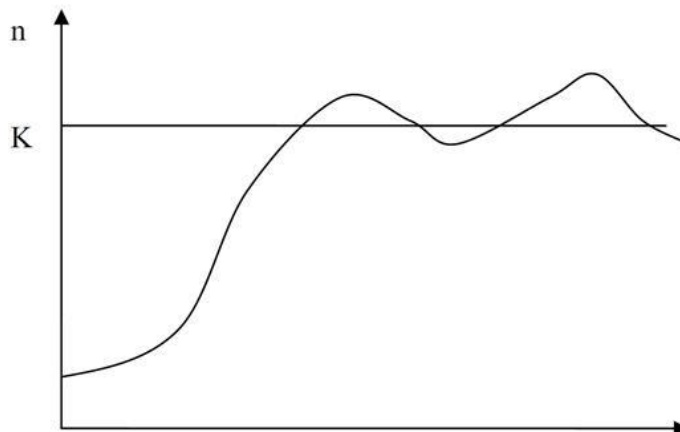
A korlátlan növekedés tehát nem tarthat hosszú ideig, mivel az élőlények tömegessége nem nőhet akármeddig. A rendelkezésre álló források egy idő után korlátozó tényezőként jelentkeznek. A populáció egyedei versengnek a rendelkezésre álló készletekért. A populáció egyedszámának növekedésével a demográfiai paraméterek megváltoznak, nem tekinthetők konstansnak: a születési ráta csökken, a halálozási ráta pedig növekszik, a **populáció egyedszáma logisztikus növekedést mutat** (12. ábra).



*12. ábra. Logisztikus populációnövekedés három különböző induló populációméret esetén
(K – környezet eltartóképessége)*

Egy élőhely eltartóképessége időről időre változik. Egy szántóföld tavasszal alig biztosítana élelmet egy vaddisznó kondának, ugyanakkor ősszel kukoricaérés idején ugrásszerűen megnő a terület eltartóképessége. Egy erdő télen alacsonyabb eltartóképességgel rendelkezik, mint nyáron. Többek

között ezért is, időről-időre megfigyelhető, hogy egy populáció egyedszáma túlnő az eltartóképesség határán. Tartósan azonban az egyedszám nem haladhatja meg az eltartóképességet (13. ábra).



13. ábra. A populáció egyedszámának (n) alakulása a környezet eltartóképességéhez (K) képest

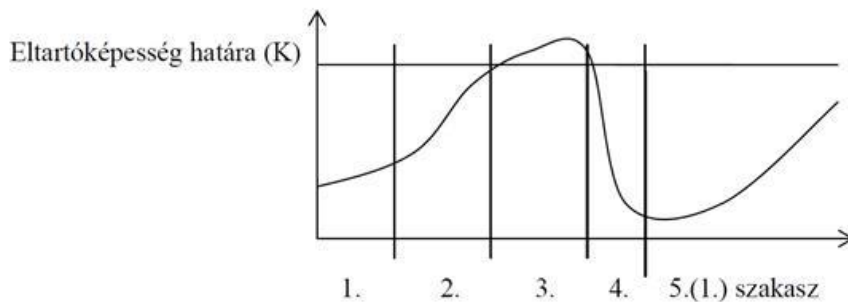
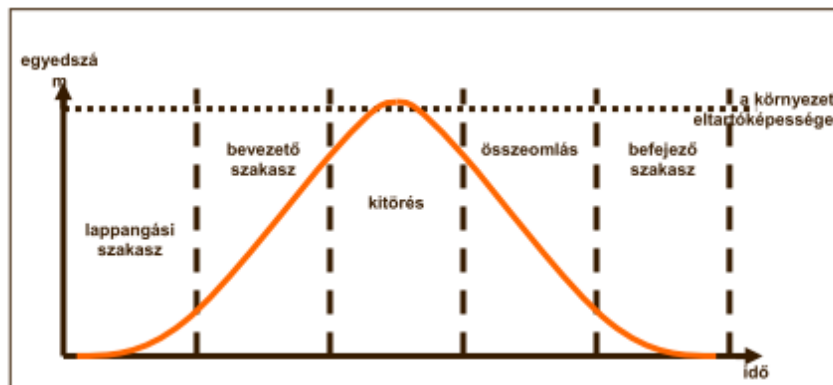
A gradációra hajlamos fajok esetében kedvező környezeti feltételek között rendszeresen előfordul, hogy az egyedszám jelentősen túlnő az eltartóképesség határán, majd hirtelen összeroppan az állomány. Ezt a jelenséget nevezzük **gradációnak**. A gyors, szinte korlátlanul tűnő egyedszám növekedés főként a rovarvilágban fordul elő, de az emlősök között is ismert. A gradációra hajlamos fajok (pl. hörcsög, mezei pocok, amerikai szövőlepke) populációdinamikája jellegzetes képet mutat, mely **5 ciklikusan ismétlődő szakaszból** áll (14. ábra).

Lappangási szakasznak (1. - *látencia*) nevezzük, amikor a populáció egyedszáma alacsony szinten mozog.

Második, **bevezető** (2. - *akkresszencia*) **szakaszban** a populáció egyedei erőteljes szaporodásba kezdenek. Sokszor ez a felszaporodás kisebb gócokban indul meg, és innen terjed át az egész populációra.

A **kitörési** (3. - *erupció*) **szakaszban** az egyedszám túllépi a környezeti eltartóképesség határát. Ekkor az egyedekre már hatni kezdenek a sűrűségfüggő faktorok. Csökken a rendelkezésre álló táplálék mennyisége, sokszor évszakos változás miatt, az egyedek hiányosan táplálkoznak.

A **tetőzés** (*kulmináció*) elérését követően az összeomlás szakaszában az utódok száma csökken, egyre rosszabb az állatok egészségi állapota, járványos betegségek lépnek fel, az utódok egyre gyengébb kondícióban születnek, életképességük csökken. Ezen jelenségek hatásaként a populáció összeomlik, akár 99 %-a is elpusztul az egyedeknek.



14. ábra. A gradációra hajlamos fajok populációdinamikájának szakaszai

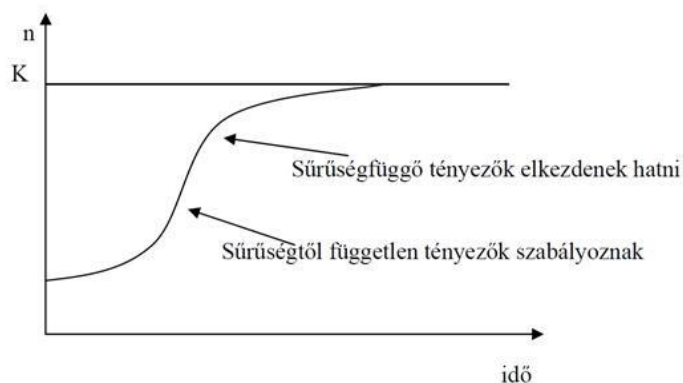
A **alácsengő** (4. - *dekreszcens*) **szakaszban** a populáció döntő része elpusztult, és a befejező szakaszra már a tetőzés egyedszámához képest csak töredékére csökken, végül helyreáll a lappangás szakaszában (**befejező szakasz** (5.)) megfigyelhető törzsszállomány.

A gradáció jellemző a kisemlősökre, növényevő rovarokra: tipikusan gradáló faj például a lemming (*Lemmus lemmus*), a sivatagi sáska (*Schistocerca gregaria*) és a hazánkban is súlyos gondokat okozó gyapjaslepke (*Lymantria dispar*).

A gradációkat sokan meghatározott évenkénti ciklusossággal jellemzik. Hosszútávon vizsgálva azonban egyetlen fajnál sem sikerült határozott ciklusosságot bizonyítani. A *cserebogár* gradációkat pl. 4 éves ciklusokhoz kötik, és bár ez a szabályosság néhányszor követheti egymást, de attól jelentős eltérések is vannak. A gradációk kialakulásai valójában a kedvező körülmények együttes meglétének köszönhetőek. A gradációknak fontos szerepe van a még *lakatlan területek benépesülési folyamatában*. A felszaporodás helyéről kirajzó egyedek szuboptimális élőhelyeken is megtelepednek, ahonnan ugyan később ismét kipusztulnak, de egy részük tovább is juthat egy kedvező, de korábban lakatlan élőhelyre, vagy itt találkozhatnak egymástól távolabb fekvő állományok egyedei, így génkicserélődés jöhet létre.

A populációk felszaporodásáért egyetlen tényezőt nem lehet felelőssé tenni. A ható tényezők közül egyszer az egyik, máskor a másik fejt ki hatását erőteljesebben. Alacsonyabb egyedsűrűségnél az egyedszámot módosító hatások, más szóval sűrűségtől független tényezők (hőmérséklet, csapadék,

szél, stb.) hatnak, majd bizonyos egyedsűrűséget elérve a sűrűségfüggő tényezők lesznek jelentősebbek, szabályozóként lépve fel (15. ábra). Megfigyelték, hogy azok a populációk, melyek diverz társulásban élnek, a populáció egyedszámát tekintve kevésbé hajlamosak szélsőséges ingadozásra. Fajszegény társulásban azonban (ilyen egy monokultúras szántóföld a mezei pocokkal) ezek a kilengések sokkal szélsőségebbek lehetnek.



15. ábra. A populáció egyedszámának, a sűrűségtől független, valamint a sűrűségtől függőtényezők hatáskapcsolata

A valóságban a K -értéknél, vagyis az eltartóképesség határán, nem áll meg élesen a populáció növekedése. A sűrűségfüggő hatások a K -érték elérése előtt már megmutatkoznak, és annak átlépésével különösen a mortalitás növekszik meg, illetve a natalitás csökken, mindezek eredményeként az egyedszám ismét a K -érték alá süllyed. Az eltartóképesség határa, mint korlátozó tényező, tehát csak késleltetve érezteti hatását. Ezért a populáció létszáma az eltartóképesség határa körül ingadozik.

Sűrűségfüggő jelenségek:

- betegségek fellépése, terjedése, élősködők számának növekedése,
- agresszió növekedése,
- kondíció romlása,
- termékenység csökkenése, vetélés, halvaszületések számának növekedése,
- halálozások számának növekedése,
- testméretek csökkenése,
- kannibalizmus növekedése (pl. pókoknál)

A felszaporodások háttérben genetikai összefüggések is fellelhetők. Ha az időjárás évekig hasonlóan meleg és száraz, akkor az ehhez legjobban alkalmazkodott egyedek szaporodnak el legnagyobb mértékben, és egy megváltozott időjárású évben ezek nagy arányban pusztulnak, ami akár a gradáció összeomlását is kiválthatja. Ellenben az évről évre változó klímájú körülmények közt a gradáció elmarad, hiszen egyik genetikai vonal sem tud felszaporodni.

A fajok többségénél a populációk nem mutatnak gradációs felszaporodást. Ezek egy része az előbb említett sűrűségfüggő tényezők miatt nem szaporodik egy határon túl, más részükénél azonban egy ún. „populációs homeosztázis” figyelhető meg. Ennek értelmében a fajok populációinak többsége belső

szabályozásokkal képes a saját populációit olyan alacsony egyedsűrűségen tartani, ami megakadályozza, hogy a sűrűségfüggő külső tényezőknek kelljen az egyedszámot szabályozni. A fajra jellemző viselkedések megakadályozzák a túlnépesedést. Ezek közül a legfontosabb a territorialitás, a rangsor kialakulása és az elvándorlás.

A sűrűségfüggő tényezők inkább a K-stratégisták esetében lépnek fel, míg az r-stratégisták esetében (pl. rovarkártevők) ezek kevésbé fontos hatással bírnak. A ragadozók szabályozó szerepe kis egyedsűrűségnél lehet jelentős, míg a gradációk idején a paraziták és kórokozók hatnak jelentősen.

A ragadozók hatását vizsgálva, nem hagyhatjuk figyelmen kívül a polifág ragadozókat és a társulásban élő prédafajokat. Ha egy prédafaj magas egyedszámának köszönhetően elszaporodik annak ragadozója, majd a prédafaj állománya hirtelen csökken, akkor a jelenlévő másik prédafajra hirtelen nagy nyomással fog nehezedni a felszaporodott ragadozóállomány. A ragadozó prédaválasztásakor megfigyelhető, hogy általában a legnagyobb egyedsűrűségben jelenlévő faj egyedeit fogja választani.

4.4. Szaporodási stratégiák

4.4.1. K- és r-stratégisták

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. Az életmenet tulajdonságok közötti összefüggések lehetővé teszik, az élőlények osztályozását életmenet stratégiájuk szerint.

Az állatfajokat szaporodási szempontból két nagy csoportba szokás sorolni: "r"- és "K"-stratégista fajokat ismerünk (*MacArthur-féle elmélet*).

Az **r-stratégista fajokra** a gyors szaporodás, sok utód jellemző, melynek eredménye a hirtelen megnövekedő egyedszám, de a környezeti tényezők kedvezőtlené válása esetén gyors egyedszámbeli összeomlás figyelhető meg a populáció szintjén. Így az r-szelekció a gyors populációnövekedést 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-stratégisták** ezzel szemben kevés utódot hoznak világra, azokat azonban hosszasan gondozzák. Kicsi a populációban a mortalitás és az egyedek általában hosszú életkort élhetnek meg. A K-szelekció a források minél jobb kihasználását jelenti. 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 (2. táblázat).

2. táblázat. Az r és K életmenet stratégiák összehasonlítása

Jellemzők	r-stratégisták	K-stratégisták
Egyedek általános jellemzőik		
Élettartam	rövid	hosszú
Testméret	kicsi	nagy
Ivarérettség	korán	későn
Egyed növekedése	gyors	lassú
Utódok száma	sok	kevés
Utódgondozás	fejletlen/alig	fejlett/jelentős
Utódok mérete	kicsi	nagy
Alturizmus	ritka	gyakori
Populációk jellemzői		
Mortalitás	magas	alacsony
Populáció méret	erősen változó	stabil
Natalitás	magas	alacsony
Kompetíciós képesség	gyenge	erős
Territorialitás	ritka	gyakori
Élőhely	előrejelezhetetlen	előrejelezhető

A végeredmény persze ugyanaz: vagyis, hogy a populáció hosszabb időtávlatban állandó méretű. Stabil ökoszisztémában a populációk egyedszáma lényegesen nem változik sok éves időtartam alatt, azonban éves szélsőséges fluktuációk előfordulhatnak. Összességében elmondható, hogy a felnövekvő utódok száma függ a nőstény megtermékenyülő petesejtjeinek számától, az utódok gondozásától és a környezeti hatásoktól. Ezen 3 tényező együttes hatásaként hosszútávon a populáció mérete állandó, azaz: 1.

peteszám x környezet x gondoskodás = 1

Magának a szaporodó egyednek sem érdeke, hogy a populáció a végtelenségig nőjön, hiszen elsősorban éppen a fajtársak jelentenek egymás számára konkurenciát. Ezért a *környezet eltartóképessége meghatározza, meddig növekedhet az egyedszám*. Néhány esetben bizonyítottan

olyan viselkedési forma lép fel, mely a szaporodás önkorlátozását célozza. Az egyedszám-növekedés hatására stresszes állapotba kerül az állat, ami a neurohormonális rendszeren keresztül viselkedésbeli és fiziológiai változásokat is okozhat. Túlszaporodáskor a lisztbogár megeszi a lerakott petéket, egyes madárfajok kidobják fiókáikat a fészekből. Rágcsálóknál spontán vetélés, illetve időszakos terméketlenség léphet fel. Sokszor előfordul az újszülöttek megevése is.

Az r- és K-stratégia valójában egy folytonos eloszlás két végpontja a természetes populációk tulajdonságait tekintve e két szélsőség között folyamatos átmenet van. 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).

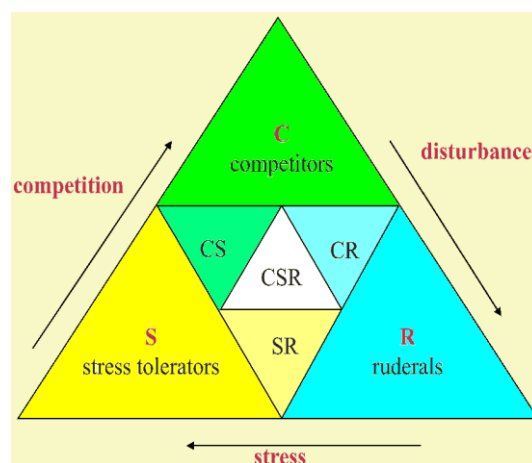
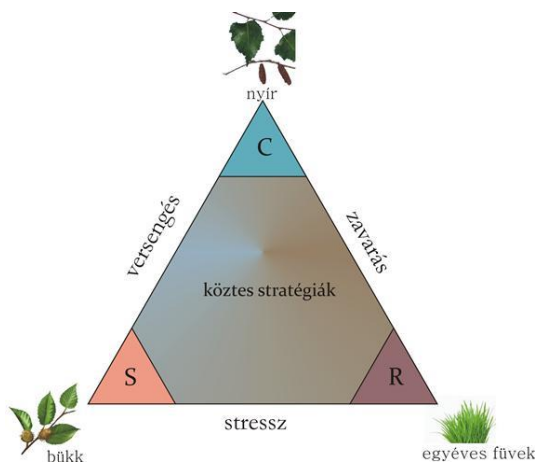
4.4.2. Grime-féle stratégiák

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 (3. táblázat, 16. ábra).

3. 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)



16. ábra. A C-S-R kontinuum (Grime 1979 nyomán)

EFOP-3.5.1-16-2017-00017
**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
 az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

4. táblázat. Grime-féle C-S-R stratégiák összehasonlítása

	C	S	R
Termőhely	Fajgazdag, zsúfolt társulások, nincs 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)
Morfológiai jellemzők	Magasra nő, hosszú életű, sűrű levélzettel, erős laterális kiterjedés, gyorsnövésűek, a levél, ill. virágprodukción is periódikus, kis reprodukció befektetés (évelő lágyszárúak, bokrok, fák)	A levél általában vékonyka, leveleik sokáig élnek, közel örökzöldek, a virágzás nincs évszakhoz kötve, kevés magot hoznak (zuzmók, bokrok, fák)	Viszonylag kisebb termetűek, változó levélalak, gyorsnövésűek, a levelek rövid életűek, a leveleket legnagyobb produktivitás esetén hozzák, hasonlóan a virágzás is a kedvező periódus végén következik be, sok magot hoznak
Morfogenetikai válasz	Gyors, a megszerzett hely, illetve energia megtartására törekednek	Lassú, és alig észrevehető, lassú növekedés, az adott élőhelyet, ha elfoglalták, azt nagyon sanyarú körülmények között is megtartják	Gyors magprodukción, periódikusan kedvező élőhelyekhez alkalmazkodott fajok, magok formájában élnek túl (egyéves lágyszárúak)
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, védőeszközök	Főleg a magbankban van a raktár, gyors indulás + a kedvezőtlen időszakok átvészelése a célja
Allokáció	Növekedésre	Védekezésre, fennmaradásra	Reprodukcióra

A **ruderalis (R - gyom)** növények erősen zavart területeken élnek, gyorsan szaporodnak, rövid idő alatt képesek magot hozni, ezáltal újranépesítik a zavarás hatására megüresedett foltokat. Sok magot termelnek, amelyek jól terjednek. A **stressz-toleráns (S)** növények képesek erősen korlátozó körülmények között megélni, de a zavarást nem viselik el. A Grime osztályozásában a harmadik a kompetitív stratégia. A **kompetitív (C)** növények sem a stresszt, sem a zavarást nem tűrik jól, viszont kedvező körülmények között sűrűbb társulásokban is jó versengési képességei révén megélnék (4. táblázat).

A ruderalis stratégia megfelel az r szelekciónak, míg a K szelekciónak a kompetitív stratégia feleltethető meg. Grime szerint az r-K skála lineáris megközelítésénél a CSR háromszög jobban reprezentálja a növények életmenet-stratégiáinak terét.

Grime felosztására épít **Borhidi Attila** a növények szociális magatartástípusai szerinti felosztása.

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.

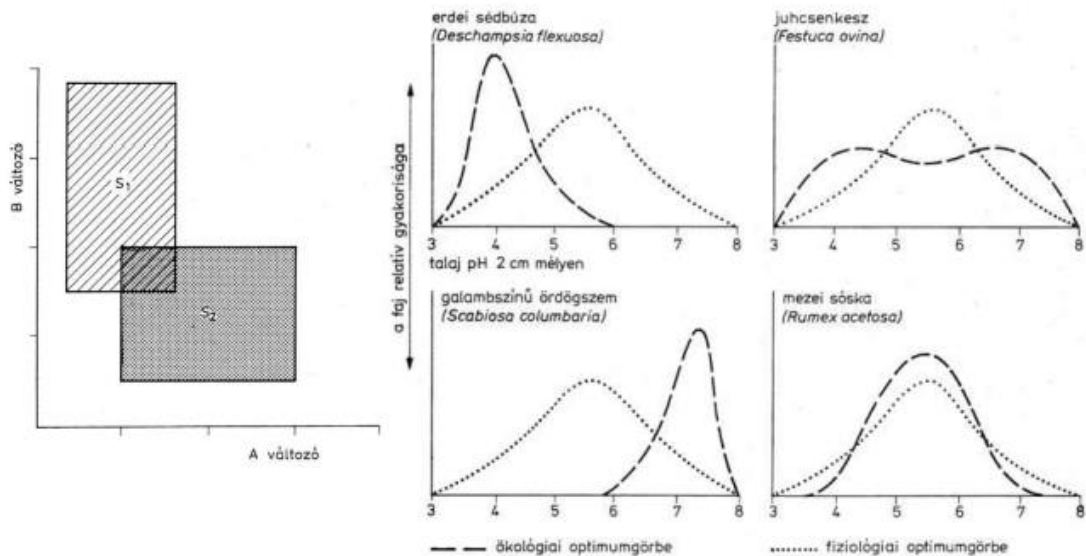
4.5. Niche

A **niche** (ökológiai fülke) egy adott faj egyedeinek társulásán belül betöltött szerepe, melyet a környezeti tényezők olyan összessége, melyet igényelnek, illetve képesek elviselni. **Hutchinson** nevéhez fűződik az ökológiai niche modern meghatározása. A niche egy „n” dimenziós absztrakt tér, amelynek tengelyein a vizsgált fajok életfeltételei szempontjából limitáló források és élőhelyi jellemzők értékei helyezkednek el, a környezeti tényezők olyan n-dimenziós hipertere (minden dimenzióját olyan környezeti tényező adja meg amely a populáció előfordulását meghatározza), ahol a populáció egyedei előfordulhatnak és szaporodni képesek, amelyet jelenlétükkel kitöltenek. Minden élőlénynek meg van a helye a társulásban, egy adott niche-t tölt be. Egy populáció ökológiai niche-ét meghatározza:

- az elfogyasztott táplálék típusa,
- a ragadozói,
- a környezeti (hőmérséklet, páratartalom stb.) toleranciája,
- a viselkedési szokásai.

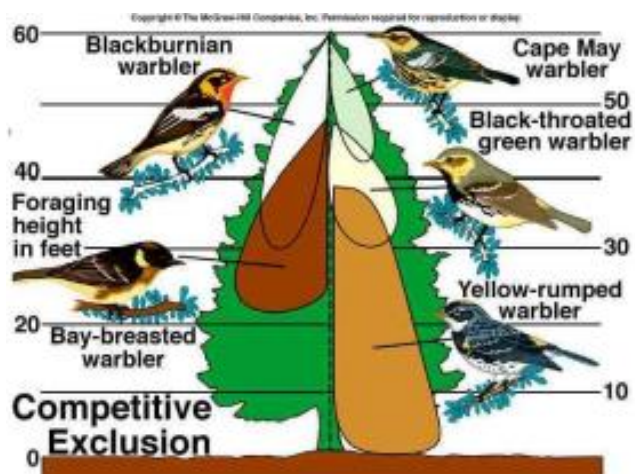
A niche értelmezése több formában lehetséges. A **fundamentális (élettani) niche** az az ökológiai tér, amelyet a populáció versenytársak, kompetítorok hiányában betölthet. Ez a populáció egyedeinek az élettani tűrőképességét mutatja az adott környezeti tényezővel szemben. A valóságban **realizált (ökológiai) niche**-ről beszélhetünk, amit ténylegesen betölt az élőlény, tehát versenytársak, ragadozók, élősködők jelenlétében, az adott tartományban számos hasonló tűrőképességű populáció lehet jelen. Így a populációk felosztják egymás között a hasonló környezeti tényezők által meghatározott teret, és az adott populáció a tűrőképesség által meghatározott térnek csupán kis hányadát foglalja el. Tehát az élettani (fundamentális) niche sokkal szélesebben határozza meg a populációk előfordulását, mint a ténylegesen megvalósuló ökológiai (realizált) niche (*17. ábra*). Az **élettani niche** a többi faj populációival való kölcsönhatás nélkül, az **ökológiai niche** e kölcsönhatások figyelembevételével mutatja meg a faj életlehetőségeit.

A Gause hipotézis szerint két teljesen hasonló ökológiai igényű faj tartósan nem létezhet együtt, mert az egyik kiszorul a társulásból a **kompetíció** miatt. A versengés hatására jön létre a **niche szegregáció** az élőlények *felosztják a forrásokat* egymás közt. Stabilitás, környezeti feltételek között az élőlények evolúciójuk során egyre tökéletesebben osztoznak a forrásokon, ezzel csökkentve a fajok közötti versengést (interspecifikus kompetíció). A forrásfelosztás szempontjából csoportosíthatjuk egyazon limitáló forrást hasznosító fajokat. Az egy csoportba tartozó élőlényeket **guild**-nek nevezzük. (pl. nektárral táplálkozó madarak) (*18. ábra*).



17. ábra. A fundamentális- és a realizált niche alakulása néhány növényfaj esetén

- Csúszkák az ágak alsó felszínén
- Fakúszok a fa vastagabb ágainak felső felszínén
- Fakopács a törzs mélyebb részeiből táplálkozva
- Harkályok az ágak mélyebb részeiből
- Széncinege a vékony ágakon
- Kékcinege az ágvégeken.



18. ábra. Forrásfelosztás madarak esetében

4.6. Csoportalkotás a populáción belül

Az állatok a legritkább esetben töltik egész életüket magányosan, legalább a párzási időszakban felkeresik az ellentétes nemű fajtársukat. A különböző csoportokat eredetük és céljuk alapján a következő módon rendszerezhetjük:

- a. Vérségi csoportok:
- telep

- rovarállam
- nagycsalád
- család

b. Párási csoportok:

- párok, hárlemek
- dürgő csoport
- ikrázó csoport

c. Kolóniák:

- háremcsoportok
- fészekkolóniák
- szülőkolóniák
- Társulás
- Alkalmi csoportosulás (aggregáció)

A **vérségi csoportok** közös jellemzője, hogy az egyedek között rokoni kapcsolat van.

A **telep** korlátozott mozgási képességű állatokra jellemző. A legjellemzőbb példa a korall állatok telepe. Az óceánok vizében élő apró csalánzók születésük után nem távolodnak el a szülő egyedektől, sőt azokon fejlődnek ki. Ennek köszönhető, hogy akár több száz méter vastagságú korall-zátonyok is kialakulhatnak, ahol természetesen csak a legfelső rétegben vannak élő egyedek. Telepet képeznek a fekete kagylók is a tengerparti sziklákon és a virágállatok a tenger mélyén.

Rovarállamot méhek, darazsak, hangyák és termeszek alkotnak. Jellemző rájuk a kasztrendszer, ahol a királynő, mint termékeny nőtény, rakja a petéket. A hímek -méheknél heréknek nevezzük őket- feladata a királynő megtermékenyítése. A dolgozók terméketlen nőtények. Feladatuk a peték és lárvák ápolása, a táplálékgyűjtés illetve a kolónia lakóinak etetése, védelme, valamint az építkezés. A rovarállam lakói közeli rokonságban vannak egymással: testvérek - fêltestvérek.

Nagycsaládos csoportokra az jellemző, hogy az utódok nem hagyják el szüleiket, sőt azok utódai is a csoporttal maradnak. A prérikutya nagycsaládjai akár több száz egyedből is állhatnak, de mindig valamilyen fokú rokonság van köztük. Szintén nagycsaládot alkotnak a vándorpatkányok, güzüegerek és a csimpánzok is.

A **családot** a szülő(k) és utódaik alkotják. Az utódok önállóvá válása után azok általában elhagyják szüleiket, vagy maga a szülő állat zavarja el őket. A családnak több formája is lehet, aszerint, hogy a két szülő milyen részt vállal az utódgondozásból. A **szülőpárcsaládban** mindkét szülő azonos mértékben vesz részt a fiatalok gondozásában. A szülők és az utódok közt is kötődés van egymás iránt. Ezen fajok egyedei nem mutatnak jelentős ivari kétalakúságot. Ilyen családban élnek a hattyúk, galambok és a balkáni gerle. **Apa-anyacsaládnak** nevezzük azt a családformát, mikor a hím és nőtény között munkamegosztás alakul ki. A sasok és ölyvek esetében csak a tojó és a fiókák közt alakul ki kötődés, a hímnek csak a fészek őrzésében és a táplálék szállításában van szerepe. A **tiszta anyacsaládban** a hím nem vesz részt az utódgondozásban, szerepe csak a megtermékenyítésre korlátozódik. A nemek között szemmel látható különbségek vannak, mint a pajzsos cankónál, vagy a höröcsögnél. Ritkán, de találkozhatunk **apacsaláddal** is. Az ilyen családformában a tojó miután lerakta

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

a tojásokat, magára hagyja a hímeket, amely kikölti azokat és felneveli az utódokat. Ilyen családot képez a havasi lile, az emu és a tüskés pikó is.

Szaporodási időszakban a hímek és nőtények keresik egymást, majd legalább a párzás idejére együtt maradnak. Ezek a **párási csoportok**, tehát rövid időre állnak csak össze

Párokat képez a legtöbb állatfaj. A párképzés lehet alkalmi, egy szezonra szóló és életre szóló. Alkalmi párokat képző fajok párzás után elhagyják egymást és sok esetben még a nőténynél sem beszélhetünk utódgondozásról. A kígyók párzás idejére állnak párba, majd különválnak. A nőtény lerakja a tojásait és magukra hagyja őket. Ha a kikelő utódokkal együtt maradna, akkor már újabb csoportról, a családról beszélhetnénk. Az alkalmi párképzés a hüllőkre tipikusan jellemző, de a kakukk is csak párosodásra áll párba és a tojásait nem maga költi ki. A sünök például párzáskor alkotnak párt, majd megszűnik ez a kicsiny „csoport” és ellés után a nőtény utódaival újabb csoportot fog alkotni, a családot. Egy szaporodási szezonra áll párba sok énekes madár, melyek az utódok felnevelése után szétválnak. Gyakran több költésre is együtt maradhat a pár, egészen nyár végéig. Életre szóló párkapcsolatot hosszú ideig élő fajok alkotnak, például a hatyúk, gibbonok és a ragadozó madarak.

A **hárem** már legalább három egyedből álló csoport. Egy hím és több nőtény alkotja, melyek párzási közösséget képeznek. Jellemző hazai példa a fácán háreme. Egy hímhez 4-7 tojó tartozik. A költésben, csibenevelésben a kakas nem vesz részt. Szintén háreme van a szarvasbikáknak, melyeknek léte csak a párzási időszakra korlátozódik.

Dürgő csoportokat alkotnak a fajdfélék és a tüzok is. A tüzoknál március végétől május közepéig tart a dürgési időszak. Az 5-6 éves kortól ivaréretté váló kakasok látványos tánccal csalogatják magukhoz a tyúkokat a dürgőhelyeiken. Itt csoportos párosodás történik, ahol a hímek gyakorlatilag csak a párzás idejére vannak együtt a tyúkokkal.

Ikrázó csoportot halak és békák képeznek. Leglátványosabb a lazacok szaporodása. Lazacok ezrei küzdik fel magukat a folyók forrásvidékére, ahol lerakják ikráikat, melyet a hímek megtermékenyítenek. Hazánkban a békák kora tavasszal állóvizeknél csoportosulnak, ahol számtalan hím és nőtény gyűlik össze. Peterakás után a csoportosulás megszűnik, ivadékgondozásról nem beszélhetünk.

Kolóniákat alkotó állatok a csoportképzés előnyeit használják ki, mikor több száz vagy ezres óriás csoportokban nevelik fel utódaikat. Csak utódnevelés céljára csoportosulnak és utána felbomlik a kolónia.

A **háremcsoport** egy speciális kolónia, ahol a hámek, melyek maguk is csoportok, egy párzásra és utódnevelésre alkalmas helyen tömörülnek. Különböző főfajokra jellemző, melyek tengerparti, nehezen megközelíthető sziklákat foglalnak el.

Ha kolóniáról beszélünk, akkor legtöbbször a madarak **fészekkolóniáira** gondolnak. Valóban ezek a leglátványosabb kolóniák, gondoljunk csak a pingvinek, sirályok, flamingók, kormoránok, partifecskek, gémekek vagy akár a varjak kolóniáira! Ezek a madarak csak a fészkelés idejére alkotnak ilyen csoportot, mely a fióka felneveléséig tart. Mindkét szülő részt vesz a költésben és a fiókák etetésében.

A denevérek **szülőkolóniákat** alkotnak. Májusban -fajtól függően- egy padláson, nagyobb faodúban, vagy barlangban több száz vagy ezer nőtény denevér gyűlik össze. Megszülnek kicsinyeiket, majd

azok röpképessé válása után, júliusban felbomlik a kolónia. Hazánk legnagyobb szülőkolóniája 4.000 denevérből áll.

A **társulás** az állatok olyan tömörülését jelenti, ahol a predáció elleni védelem, vagy valamely forrás megléte köti össze az egyedeket. A társulás egyedei között van vonzódás. Ilyen társulás lehet a hal-raj. A számtalan együtt mozgó állat sikeres védelmet nyújthat a ragadozók ellen. A szavannán legelésző, akár több fajból álló csorda, szintén biztonságot jelent az egyed számára. Ilyen csordát zebrák, antilopok, gazellák alkotnak például. A társulások közé sorolhatók télen a varjak, vonulás idején a darvak és ludak éjszakázó csapatai is.

Az **alkalmi csoportosulások** nagyon sok állatfajnál megfigyelhetők. Mindig valamilyen szűkösön rendelkezésre álló forrás körül történik a tömörülés, de az állatok nem vonzódnak egymáshoz. Az ivóhelyen nyáron madarak és emlősök is nagy számban összegyűlnek. Télen az etetők körül őzek, vaddisznók tömörülnek. A Boszporusz fölött minden évben tízezzel torlódnak össze a vonuló madarak, mivel itt a legkeskenyebb a tenger. Alkalmi csoportosulásnak nevezhetjük a tüzelő szuka kutya köré gyűlő kanokat is. Sajátos forrás, a tojásrakó hely körül gyűlnek össze a tengeri teknősök.

4.7. A csoportképzés előnyei

A csoportképzésnek számos előnyös, de hátrányos oldala is van. Az előnyök és hátrányok nem egyenlítik ki egymást, hanem összességében és evolúciós időskálán az előnyök nagyobb súlyúak. Erre egyértelmű bizonyíték a csoportok pusztája léte. Ha összességében nem lenne előnyös csoportokat képezni, akkor már régen eltűntek volna azok az állatfajok, melyek mégis megeszik.

A csoportképzés előnyei:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| a. predáció elleni védelem | 1. éberség |
| | 2. zavaróhatás |
| | 3. hígulási effektus |
| | 4. csoportos fellépés |
| b. táplálkozási hatékonyság növelése | 1. társas vadászat |
| | 2. csoportos keresés |
| | 3. információ centrum |
| c. szaporodási előnyök | 1. nőstények közelsége |

A csoport legfontosabb előnye, hogy az egyedek túlélési valószínűségét növeli azáltal, hogy több úton is csökkenti a predációs veszélyt. A legkézenfekvőbb jellemzője a csoportnak, amit úgy fogalmazhatnánk meg, hogy több szem többet lát! Nyilvánvaló, hogy ha több állat is figyel, akkor sokkal hamarabb és távolabbról észleli a csoport a ragadozó közeledését. Egy vadliba, amelyik egyedül eszeget, idejének nagyon jelentős részét figyellel tölti. Ha már ketten vannak, akkor megoszthatják a figyelmet egymás között, és ami nagyon lényeges, hogy a felszabaduló időt

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

táplálkozással töltheti az állat. Minél többen vannak, természetesen annál nagyobb a liba biztonságérzete, így lényegesen több időt tölthet táplálkozással, komfortmozgásokkal és pihenéssel.

Természetfilmekből jól ismerjük a gepárd vadászmodoszerét. Lopakodva megközelíti az antilopokat, ameddig tudja, majd rájuk rohan. Igyekszik úgy manőverezni, hogy a csordáról leszakítson egy állatot. Ha egy állatot sikerült elkülönítenie, akkor már könnyebb dolga van, hiszen csak arra koncentrálhat, nem zavarja a kavargó állatsereglet. A csoportnak tehát a ragadozóval szemben fontos előnye, a zavaró hatás. A nagy tömegben együtt mozgó csapatból a ragadozó nehezen kap el egy állatot, hiszen a hullámzó tömeg annyira zavarja őt, hogy csökken a támadás hatékonysága. Ugyanez figyelhető meg a csapatban úszó halak és ragadozóik esetében is.

Ha egy rénszarvas egyedül lejelészik, akkor a támadó farkasok egyetlen célpontja nyilvánvalóan csak ő lehet. Ha ketten vannak, akkor már felére csökken az esélye, hogy pont őt kapják el. Ha százan vannak, akkor 1/100-adnyi a valószínűsége, hogy őt választják ki a farkasok. Ezt nevezzük hígulási effektusnak. A csoport tehát csökkenti az egyedre leselkedő veszély nagyságát.

A préda nem mindig védtelen (szarva, agyara, patája, csőre, karma is lehet, amivel hatékonyan tud védekezni). A csoportos fellépés esetén ezek a védekező lehetőségek hatványozottan jelentkeznek. Szép példája ennek, hogy mikor a pézsmatulkokat farkasok támadják meg, a felnőtt állatok kört alkotnak a borjak körül és megvédik őket a ragadozóktól. A madarak is gyakorta támadnak rá csoportosan a ragadozójukra és legtöbbször sikerrel el is kergetik.

A csoportos táplálkozás, annak hatékonyságát is növelheti. Legegyértelműbben ezt a farkasok társas vadászatánál láthatjuk. A farkasok jól szervezetten, több irányból bekerítik áldozatukat. Az egyik lesben áll, míg a többiek felé terelik a szarvasokat. Az ilyen nagytestű állatokat nem is képesek egyedül legyűrni, többen is ráugranak.

A varjak kemény teleken nagy csapatban húznak ki a szántóföldekre, ahol táplálkoznak. A csapat szisztematikusan végigkutatja a területet, minden ehető elfogyasztanak. A következő nap egy másik területet szállnak meg. Ha az egyik varjú egyedül menne ki egy taláalomra kiválasztott szántóföldre, akkor szerencsés esetben sok táplálékot találna, amit ráadásul egyedül fogyaszthatna el. Abban az esetben viszont, ha nincs szerencséje és napról napra olyan területre menne, amit előzőleg egy csapat már átkutatott, akkor az állandó kereséssel elvesztegetett energia és a kevés táplálék miatt a madár legyengülne és el is pusztulhatna. Nagy kockázata van tehát táplálékszegény időszakban az egyedi táplálkozásnak. Nem véletlen, hogy ilyenkor a varjak csoportosan keresgélnek, és amint enyhül az idő, a csapatok felbomlanak.

Az információs centrum hipotézis a csoport sajátos előnyére hívja fel a figyelmet. A táplálék helyét ismerő állat átadhatja információit a csoport egy másik tagjának. A méheknél ez az információ átadás direkt módon történik. A visszatérő méh "eltáncolja" a nektár lelőhelyének távolságát és irányát. Náluk közös érdek, hogy minden egyed sikeres legyen, hiszen közeli rokonságban vannak.

A másik típusú információ átadást akár "információparazitizmus"-nak is nevezhetnénk. Ebben az esetben nem aktív információ átadásról beszélünk. A partifecskék esetében a gyakran etető, tehát bőséges táplálékforrást ismerő egyed a kevésbé sikeres egyed az etetés után követi és így ő is eljut a megfelelő táplálkozó területre. A kevésbé sikeres egyedek tehát "meglesik" a sikeres egyedeket, hogy merre mennek.

4.8. A csoportképzés hátrányai

A csoportos életnek az előnyei mellett számos negatívuma is van. Ezek a következők: parazitáltság, betegség, agresszió, forrás kompetíció, feltűnés, páron kívüli kopuláció, fajon belüli fészekparazitizmus, idegen fióka etetése.

A csoportképzés hátrányai abból adódnak, hogy az egyedek közvetlen közelében megnövekszik a fajtársak száma. A nagy egyedsűrűség és a testi kontaktusok számának növekedése jó feltételeket teremt a betegségek és a paraziták terjedése számára. A paraziták alatt az ekto- és endoparazitákat kell értenünk. Az ektoparaziták leggyakoribb képviselői a bolhák, tetvek, atkák, kullancsok. A szúnyogok, böglyök, légyfélék szintén élősködők, de mivel ezek jól tudnak repülni, nincs szükség a gazdaváltásukhoz, hogy a gazdaállatok közvetlenül érintkezzenek. Sok ektoparazita fajszerífikusan kötődik a gazdaállat fajához, vagy magasabb taxonhoz. Ezek az élősködők testről testre, vagy a közösen használt pihenőhely alományágának közvetítésével jutnak át egyik egyedről a másikra. Sok madár- és emlősfaj úgy védekezik a paraziták ellen, hogy rendszeresen vagy periódikusan váltja a pihenőhelyét. Nem használják fel többször a fészekanyagot.

Az endoparaziták közül a legjelentősebbek a laposférgek (métélyek, galandférgek) és fonálférgek közül kerülnek ki. Ezen fajok többsége gazdacserés fejlődésmenettel rendelkezik, így sikeres fejlődésükhöz több környezeti feltétel együttes megléte szükséges. Ezen endoparaziták szintén faj- vagy taxonszerífikusak.

A betegségek gyors terjedését elősegíti a testi kontaktus és a zsúfoltság. A gradációra hajlamos állatok (hőrcsög, mezei pocok) túlszaporodását gyakorta a hirtelen fellépő járványok akadályozzák meg. A betegségek és a paraziták fontos állományszabályozó szereppel bírnak a társas életet élő állatok körében. A hazai rókák elszaporodása feltehetően kapcsolatban van az utóbbi években végzett veszettség elleni immunizálással. Mivel ez a súlyos betegség nem tizedeli őket, megnövekedhetett az egyedszámuk.

A csoportképzés lényeges hátránya az agresszió megnövekedése. Ez gyakorta a forrás kompetíciónak köszönhető. Több, azonos fajú egyed együttélése során, versenytársat jelentenek egymás számára, hiszen igényeik megegyeznek. Azonos táplálékot fogyasztanak, ugyanolyan búvóhelyigényük van, hasonló fészekanyagot gyűjtenek, stb. Ez folytonosan konfliktusok kialakulását eredményezi, melyet a társas együttélés tompító mechanizmusainak kell szabályozni (rangsor, territoriális viselkedés).

Esetenként fontos hátránya a csoportnak, hogy feltűnő lehet a nagyszámú állat. Erre természetesen a ragadozók is felfigyelnek és rendszeresen rájárnak a táplálékforrásra. A menyét nagy pusztítást végezhet a gyurgyalag és a partifecske telepeken, ahol lyukról-lyukra járva kirabolja a fészkeket. A szavannán élő ragadozók és dögevők a nagy csordákat követve jutnak biztos táplálékhoz.

A fészektelepeken élő madarak esetében megfigyelték, hogy az együttélés hátránya lehet a páron kívüli kopuláció, a "félrelépés". Ez a hím egyed részéről lehet hátrányos, hiszen ilyenkor nem a saját utódainak felnevelésére fordítja az energiáját, hanem idegen hím fiókáit neveli a párjával. Hasonló hatása van a fészektelepen belüli fészekparazitizmusnak is. Egyes tojók a közeli idegen fészkekbe is elhelyeznek 1-1 tojást, így mentesülve a fiókanevelés költségei alól, ami a pótszülők számára természetesen hátrányos.

A koloniális állatok esetében előfordul, hogy idegen fiókát etet a madár vagy emlős, mivel adott esetben nem képes felismerni a szülő a saját utódát. Ez a hátrány azonban csak az egyed szempontjából jelentkezik, hiszen csoportszinten akár előnyös is lehet.

4.9. Hierarchia a társas kapcsolatokban

Az erőforrások szűkössége esetén az állatok állandó konfliktusba kerülnek egymással azok megszerzéséért. A költséges harc és az erőforrások stabil elosztása miatt különböző stratégiák alakultak ki. A terület védelme, a teritorialitás az egyik stratégia, míg a másik a szabályozott társas kapcsolatok. Lehetnek. A csoportosan élő állatoknál alakult ki a hierarchikus rendszer, a rangsor. A rangsor biztosítja, hogy az egyedek folytonos harc nélkül juthassanak a szükséges és elégséges forrásokhoz, ugyanakkor megmaradhassanak a csoportban. Rangsor csak az egyedi felismerésre képes állatok körében figyelhető meg, melynek három típusát ismerjük: **despotizmus, lineáris rangsor, piramidális rangsor.**

Despotizmus: A despotizmusban nincs igazán rangsor, hanem egy uralkodó van és számos egyenrangú dolgozó. Az államalkotó rovarok körében ismert. A poszméhek nőstényei, melyek tulajdonképpen egymásnak testvérei, együttes munkával építik fel a költőkamrákat. Amint a munka befejeződik és peterakásra kerül sor, az egyik egyed feltűnően agresszívvá válik és megakadályozza nővéreit a peterakásban. Minden méhsejtben a saját petéit helyezi el, és ha egy másik egyed mégis petézne, megeszti annak petéit. A peték lerakásával megszűnnek a konfliktusok, és királynőnek ismerik el a petéző egyedet, miközben teljes odaadással gondozzák annak kikelő lárváit.

A háziméheknél, természetknél ez a rendszer már olyan méretre specializálódott, hogy a méhanya külsőre is megkülönböztethető a terméketlen dolgozóktól.

A **lineáris rangsort** szokás csípésrendnek is nevezni, mivel legtisztább formájában a házityúk körében figyelhető meg, melyeknél a harc csípésekben nyilvánul meg. Ez a csoportszerkezet maximum 10 fős csoportban érvényesül igazán. A lényege, hogy minden állat alá-fölé rendeltségi viszonyban van, nincsenek egyenrangúak. A domináns állatot alfával, a rangsor végén álló állatot omegával jelöljük. Az alfa az összes többi tyúkot csípkedheti. A béta az alfa kivételével a többi, a gamma az alfa és béta kivételével a többi csípheti, és így tovább. A rangsorban leghátul álló egyedet minden csoporttag csípkeddi. Lineáris rangsorral találkozhatunk a gímszarvasnál is.

Piramidális rangsor főleg az emlősökre jellemző. Ez is több szintű rangsort jelent, de azonos szinten több egyed is lehet. Itt is találhatunk egy abszolút rangelsőt, melyet 1-2 trónkövetelő követ. Konfliktusok csak az egymást követő szintek egyedei között alakulnak ki, tehát az 1.-2.; 2.-3.; 3.-4. rangú állatok tűznek össze alkalmanként és a rangsorban távol állók (pl. 2.-4. szint) nem. A rangsorban alól álló állat elismeri a több szinttel felette álló uralmát. A magasabbrendű állat azonban csak a pozíciójára veszélyt jelentő, közvetlen alatta álló egyeddel érezteti rendszeresen fölérendeltségét. Ilyen rendszerben élnek például a majmok családjai és hordái.

A rangsor a gerincesek körében elterjedt szociális kapcsolatrendszer, melynek számos előnye van. A csoport-szintű előnyöket 3 pontban lehetne összegezni: **kevesebb konfrontáció, legkiválóbb genetikai adottságok érvényesülése, összetartó erő.**

A farkasok hordájában valóban „farkastörvények” uralkodnak. A leterített szarvasból a legerősebb, egyben a rangsorban is elől álló egyedek fogyasztanak először. Folyamatos mozgások és vicsorítások tartják távol az alacsonyabb rangú társakat, amelyeknek csak elcsent cafatok jutnak, amíg a farkavezér(ek) jól nem laktak. A rangsorban hátrébb állók nem veszik fel a harcot, hanem kényszeredetten várnak a sorukra. Pontosan érzékelik, hogy korábban már megküzdöttek, és eldőlt, kié az elsőbbség. Innétől kezdve nem kifizetődő újabb és újabb harcot vállalni. Összességében tehát csökkent a konfliktusok száma! Mindenki tudja, hol a helye a farkában. A továbbiakban a rangsorban előrébb állók már csak erődemonstrációt végeznek, ha meg akarják erősíteni pozíciójukat. Az

***„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”***

alacsonyabb rangúak ez alapján is meg tudják állapítani az erőviszonyokat és csak abban az esetben kerül harcra sor, ha a feltörekvő egyed elég erősnek érzi magát, hogy felvegye a harcot az előrelépés érdekében.

A rangsor első pozíciója számos kiváltságot biztosít. A rangelső sokkal több nőtényt fedez be, mint az alacsonyabb rangú hímek. Páviánoknál megfigyelték, hogy peteérés idején a nőtény a vezérrel párizik, annak ellenére, hogy azon kívül más hímekkel is kapcsolatot létesíthet. Így az utódok többsége a vezérhímtől származik.

A dāmavad bikák a barcogó helyen gyűlnek össze és barcogóteknőt kaparnak. A barcogóhely központi helyén a legerősebb bika helyezkedik el. A szélén lévő hímekkel egyszerűbb lenne a párzás, mégis a tehenek a legerősebb állatot választják. Ugyanígy tesznek a siketfajdok is a dürgőhelyen: a legerősebb kakast választják. A viselkedés jelentősége, hogy a domináns hím által hordozott kiváló tulajdonságokat kódoló gének öröklődnek át az utódokba. A populáció szempontjából nagy jelentőséggel bír, hogy mindig a legalkalmasabb génszekvenciaterjedjen el.

A csoport az összetartását nem közvetlenül a rangsornak köszönheti, de annak közvetett hatásai mindenképpen segítik azt. A csoport szétesne, ha állandó konfliktusok hiúsítanák meg az együttélést. A rangsor csökkenti a konfliktusok számát. A csoport az idegenekkel szemben agresszívan lép fel. Az alacsonyabb rangú állatoknak a csoport elhagyása sem jelenthet alternatívát, hiszen más csoportok rendkívül agresszívan viselkednek velük szemben, nem fogadják be őket. Ezért a legadaptívabb viselkedés mégis a maradás, és idővel a tapasztalatok birtokában, a magas rangú egyedek gyengülésével, előre lépni kedvezőbb pozícióba.

A rangsor kedvező pozíciójú helyeiért meg kell küzdeni. A küzdelem azonban a lehető legkisebb kockázattal kell, hogy járjon. A győztesnek nem célja, hogy megsemmisítse a másikat, csak az elsőbbséget akarja elismertetni, így a vesztes, amennyiben módjában áll távozni, sértetlenül megleheti. A komolyabb következmények elkerülésére alakult ki a behódoló magatartás.

A behódolás fontos mozzanata az agresszivitást kifejező testrészek elfedése. A róka befejezi a vicsorgást, elfordítja a fejét. A szarvasok lehorgasztják agancsukat és elfordulnak. Minden legyőzött állat kerül a szemkontaktust. A felborzolt tollat, szőrt, úszókat lesimítják. Gyakori a kölykökre jellemző viselkedés megjelenése. Vékony, magas behódoló hangokat hallathat az állat, mint pl. a kutya nyüsztése. A kutya a nyakát is odatartja legyőzőjének, amely nem harap belé, hanem érzékelve a megadást, győztesként elvonul.

Néhány fajnál, mint pl. a vaddisznóknál is, már néhány napos korban elkezdődik a versengés például az első pár csecsekért, melyek több tejet adnak, mint a hátsóbbak. A fészekben a madárfiókák közül is a legerősebbek jutnak több táplálékhoz. A csoportban történő folyamatos versengés alakítja ki a hierarchiát. Az egymást követő győzelmek "önbizalmat" adnak az állatnak. Kísérletben megfigyelték, hogy az az állat, melyet eleinte gyengébb vetélytársakkal párbajoztatnak, az magasabb pozícióig jut el, mint az, amelyik már az elején vereséget szenvedett.

A csoportban a rangot a státuszt jelző bélyegek is közvetítik a tagok felé. Ha ez a bélyeg elveszlik, sérül, akkor hirtelen visszaesik a rangsorban az állat. Jól látható ez a gímszarvasoknál az agancsváltás időszakában, mikor a domináns hímek hirtelen lecsúsznak a rangsorban, ha lehullatják agancsukat.

A kedvező pozíció eléréseért szövetségek is alakulhatnak a csoportban. Ez főleg közel rokoni alapon történhet. A páviánoknál, oroszlánoknál például a testvérek együtt léphetnek fel a vetélytársak ellen.

A nőtények rangsorát is meghatározhatja az, hogy a párjuk milyen rangban van. Domináns hím nőténye szintén domináns a csoportban.

4.10. Territorialitás

Számos állat életének döntő részét egy általa megszokott és jól ismert területen tölti el. Amennyiben ez a terület biztosítja számára a szükséges forrásokat, nincs oka, hogy elvándoroljon onnan. Sokszor azonban a források végesek és csak bizonyos számú állat eltartását biztosítják. A forrásokért történő versengés legjellemzőbben a fajtársak között zajlik, hiszen az ő igényeik megegyeznek. A szűkös források (pl. táplálék, fészkelőhely, stb.) megszerzéséért és megtartásáért állandó harc alakul ki, melynek során az egyik stratégia, hogy az állat egy jól védhető területet foglal el, a territóriumot. A territórium olyan terület, melyet az adott egyed vagy csoport a fajtársakkal szemben védelmez, és kizárólagosan használ. Territórium csak ott alakul ki, ahol valamilyen természeti erőforrásból korlátozott mennyiség van, illetve ha az egyáltalán fizikailag védhető. Jellemzően az állatvilágban a következő forrásokat szokták védeni a territóriális állatok: táplálék, ivóhely, fészkelőhely, búvóhely (alvóhely, pihenőhely), nemi partner.

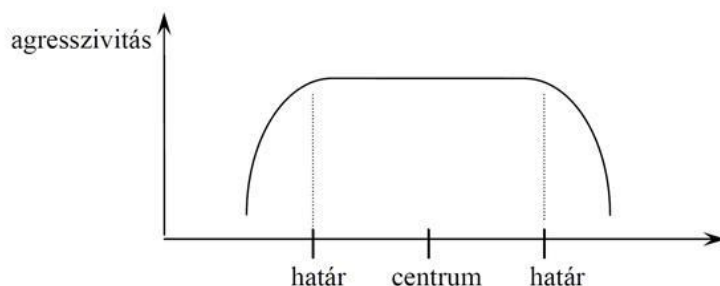
Általánosságban azt mondhatjuk, hogy legalább akkora területet kell védenie a tulajdonosnak, ahol a szükségleteit kielégítheti. Ez logikus, hiszen lehet a territórium bármekkora, ha ott nem talál például elegendő táplálékot az állat. A territórium felső mérete is korlátozott! Nem lehet nagyobb, mint amit hatékonyan meg tud védeni.

A territórium tartásnak költsége és haszna is van. A haszon egyértelmű, hiszen forrásokhoz jut az állat, a költség pedig szintén jól látható: meg kell jelölni a határokat, azokat őrizni kell, a betolakodót el kell zavarni, sőt néha véres küzdelmet is kell folytatni. Csak akkor alakulhat ki territórium, ha a haszon nagyobb mint a költségek. Az elefántfókák szaporodási időszakban a tengerparti sziklákon akkora helyet védenek, ahol a harem éppen elfér. Nagyon kemény, véres harcok folynak a picinyke territóriumért. Azok a partszakaszok a kelendőek, ahol több nőtény elfér és biztonságos a sziklák felülete. Az a hím, amelyik ilyen partszakasz birtokosa, biztos lehet benne, hogy számos nőtényt megkaphat. A területvédelem költségei óriásiak, hiszen súlyos sebesülések is előfordulnak, és ráadásul táplálkozni sincs lehetőségük a hímeknek, mert ha beúsznának a tengerbe, azonnal elveszítenék territóriumukat. Ekkora költség mellett a haszonnak is óriásinak kell lenni, különben nem érné meg ez az áldozat! Valóban így is van, hiszen a territórium tulajdonosa megtermékenyítheti a nőtényeket, így utódai lehetnek. A vesztes hímek azonban kiesnek a szaporodásból, tehát mindent elveszítenek!

A territórium megvédelme ritkán vezet közvetlen összecsapáshoz. Ezt elkerülendő, a határokat pontosan ki kell jelölni. Ez sokféle módon történhet. Vizuális területjelzés lehet a tulajdonos pusztá jelenléte. A fiatal őzbak elmenekül, ha meglátja a terület tulajdonosát. A vadkan fákhoz szokott dörgölődni. Ilyenkor jól kihúzza magát, a hátát púposítja, hogy a dörgölődés nyomai minél magasabban legyenek. A tigris a karmát koptatja úgy, hogy minél magasabbra nyújtózik. A dörgölődés és a karom élesítés nyomait meglátva, az idegen hím képet alkothat mekkora termetű, milyen erős lehet a terület őrzője.

Az énekes madarak énekelnek, tehát akusztikus jeleket használnak. A sűrű erőben ez a legcélravezetőbb, hiszen a vizuális jeleket nem venné észre a betolakodó, míg a jól terjedő hang óvatosságra inti. A vadmacskák kémiai jelzéseket alkalmaznak, mikor erős szagú vizeletüket ráfecskendezik a fatörzsre, növényzetre. Az üreginyúl az álla alatt lévő illatmirigyek váladékával jelzi fajtársai számára a terület foglaltságát.

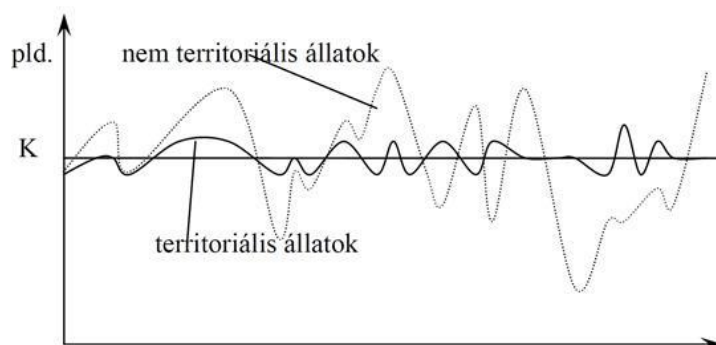
Azok a territoriális állatok, melyek ürülékükkel, vizeletükkel, illatmirigyeik váladékával jelölik territóriumaik határát, rendszeresen körbejárják azt, és megújítják jelzéseiket. Rádiótelemetriás vizsgálatok szerint az állat a territórium centrumában, valamint a határok mentén tartózkodik a legtöbbet. Ha egy idegen fajtárs vetődik a határra, az azonnal érzékeli a terület foglaltságát. Az esetek többségében nem történik behatolás, de ha mégis, akkor a tulajdonos megjelenésekor elmenekül a határsértő. Ritka eset, hogy összecsapásra kerüljön sor. A tulajdonos a hazai pálya előnyeit kihasználva bátran megtámadja a betolakodót. Az jellemzően menekülésre fogja a dolgot, még akkor is, ha erősebb a támadónál. A tulajdonos gyakran üldözi ellenfelét, amint azonban átlépi a határvonalat, hirtelen lecsökken az agresszivitása (19. ábra).



19. ábra. Az territoriális viselkedésű állatok agressziójának alakulása a territóriumuk területén

A territórium mérete részben egyedsűrűség-függő, másrészt a terület értékétől is függ. Egy táplálékban (és más adottságokban) gazdag territórium kisebb, mint a kevésbé értékes. Egy értékes területet több támadás ér, de méreténél fogva könnyebb is megvédeni.

A territoriális viselkedés előnyökkel jár. A territóriumok szorosan egymás mellett helyezkednek el. A szomszédok kölcsönösen ismerik egymás jelzéseit, elfogadják egymást és tiszteletben tartják a határvonalakat. Éppen ezért csak jelzés szintjén vannak közöttük konfliktusok. Éppen annyi territórium van egy területen, ahány állatot az eltartani képes. Ezek számára "megélhetést" biztosítanak a territóriumok és szaporodási lehetőséget. A terület nélküli kóbor egyedek azonban ki vannak szorítva a szaporodásból. Ez a rendszer ezért fontos állományszabályzó szereppel bír. Megakadályozza az időről-időre fellépő túlszaporodást (20. ábra).



20. ábra. A territoriális, valamint a nem territoriális állatok túlszaporodásának alakulása

A vizsgálatok ugyanakkor azt is kimutatták, hogy egy adott területen több egyed élhet territoriális rendszerben, ha valamelyik forrás korlátozottan van jelen, mintha nem lenne területium kialakítás.

A területium nagyobb biztonságot jelent a ragadozókkal szemben, hiszen a préda állatnak a jól ismert területen nagyobb esélye van elbújni.

Olyan területen, ahol nincs területium, az egyedek állandó konfliktus helyzetben találják magukat, aránytalanul sok energiát fordítanak agresszív viselkedésformákra. Ezzel szemben a már kialakult területiumok csökkentik az összetűzések számát.

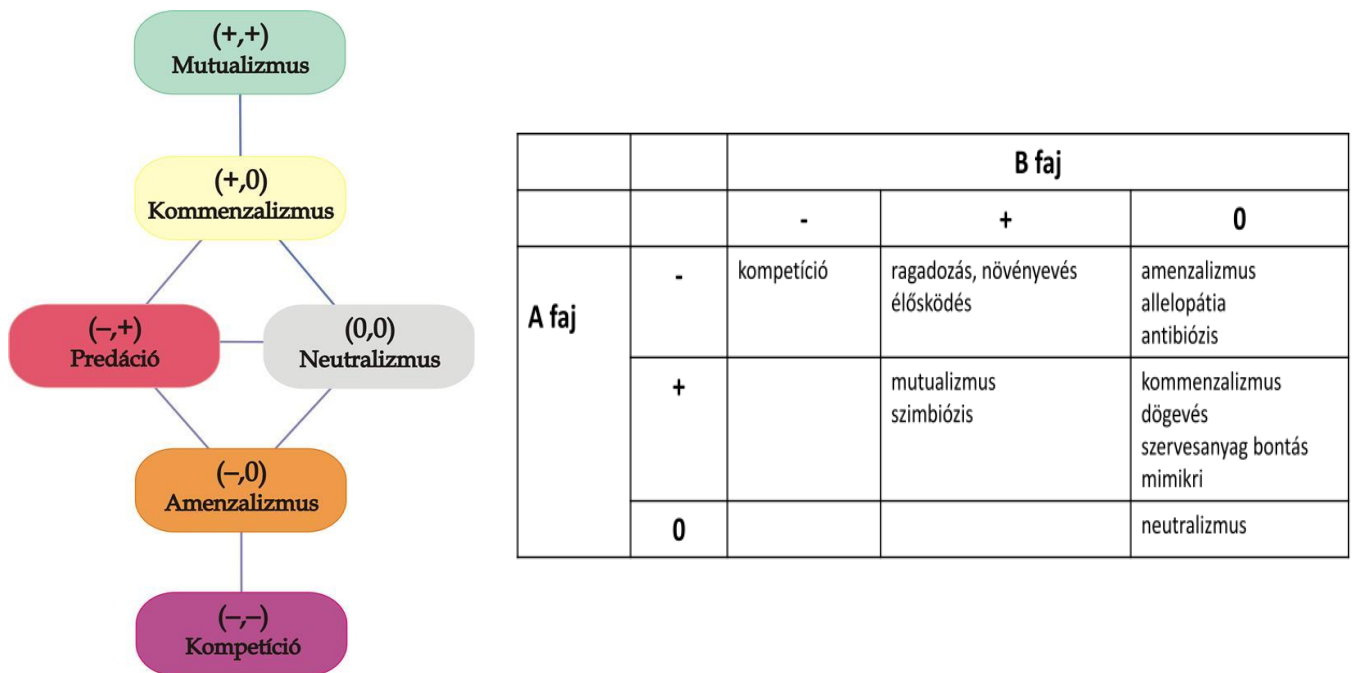
Ahol a források szűkössége és a jelentkezők nagy száma miatt erős a versengés a területiumért, azt csak a legerősebb, legjobb adottságú egyedek képesek elfoglalni. Mivel csak a területium tulajdonosok szaporodhatnak, fontos szerepe van a természetes kiválasztásban.

Összességében tehát a territoriális viselkedésnek a következő előnyei vannak: csökkenti az agressziót, állományszabályzó szerepű, biztosítja a lehető legtöbb állat megélhetését, növeli a biztonságot a ragadozókkal szemben, legjobb adottságú egyedek szaporodását biztosítja.

Ugyanakkor több esetben azonban felesleges a területium tartás. Sáskáknak például nincs területiumuk, hiszen mindenütt találunk zöld táplálékot maguknak. A szitakötők néhány faja azonban véd egy kisebb területet, ahol folyamatosan járőrözik. Számára a táplálkozó terület fontos forrás, ami nem áll korlátlanul rendelkezésre. Akkor is felesleges területiumot védeni, ha túl sok a behatoló. Ekkor képtelenség őrködni a területium felett, hiszen minden energiát felőrölne a védelem. Harmadik oka a territorialitás hiányának, ha valamely forrásból (pl. táplálék) nagyon kevés van és csak óriási területen szerezhető meg. Télen a cinegék nem tartanak területiumot, hanem kóborolnak, hogy egyáltalán életben maradhassanak.

5. Populációk kölcsönhatásai

A populációk nagyon ritkán élnek elszigetelten. Az egy területen élő populációk különféle hatással vannak egymásra. Ezek a (kölsön) hatások meghatározóak mind az egyes populációk életére, mind pedig a belőlük szerveződő közösségre nézve (21. ábra). 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.



21. ábra. A populációk közötti kölcsönhatások típusai és a közöttük lehetséges evolúciós átmenetek

5.1. Elemi populációs kölcsönhatások

Az egy élőhelyen együtt élő populációk kölcsönhatásban vannak egymással, közvetlenül vagy közvetve hatnak egymásra. Közvetlen hatás például, ha egy populáció egy másik populációval táplálkozik, közvetett, ha például elfogja a másik elől a fényt stb. Ugyanakkor ezekben a példákban is jól tükröződik a kölcsönhatás jelleg: például, ha egy zsákmánypopuláció egyedszáma lecsökken, az hatással van a zsákmányoló populációra is, hiszen nehezebben tudja megszerezni a táplálékát, a fényszegény gyepszintben élő faj elszívhatja az őt árnyékoló populáció elől a vizet stb. Az is

nyilvánvaló, hogy a zsákmányoló populáció számára előnyös a másik populáció elfogyasztása, az elfogyasztott populáció számára viszont a viszony egyértelműen hátrányos.

A populációs kölcsönhatások jelentik az egyedek biológiai környezetének biotikus faktorait.

A populációs kölcsönhatások előnyösek is és hátrányosak is lehetnek az egyik, a másik, vagy akár mind a két vizsgált populáció számára is. Ezek figyelembevételével szoktuk a kapcsolatokat csoportosítani. Az előnyös hatást +, a hátrányos hatást - jellel jelöljük. Ha a kapcsolat az egyik fél számára teljesen közömbös, a viszony jele 0.

5.1.1. Mutualizmus

Mutualizmus (kölcsönösség) (++): A mindkét populáció számára előnyös kapcsolatok gyűjtőneve mutualizmus, kölcsönösség. A mutualizmus a legkülönbözőbb élőlénycsoportok között létrejöhet. Kialakulhat mikroorganizmusok, gombák, növények és állatok között, a talajban, a szárazföldön, a vízben egyaránt. Jellegében, tartalmában és mélységében igen árnyalt és nagyon sokféle lehet.

Egyik ilyen kapcsolat az **alliancia**, amely két populáció közötti laza, alkalmoszerű mutualizmus. Tipikus példája az együtt legelő struccok és zebrák vagy antilopok kapcsolata. A zebrák és a struccok is őrszemet állítanak. A zebrák kiválóan hallanak, a struccoknak viszont a szemük jobb. Akár a zebrák, akár a struccok őrszeme riaszt, mind a két csapat azonnal menekül. Hasonló viszony van az orrszarvúak és a vízilovak valamint az őket a külső élősködőktől megszabadító pásztorgémek között. „**Tisztogató mutualizmus**” hazai viszonyok közepette is megfigyelhető, gyakran kutatnak élősködők után a legelő szarvasmarhákon seregélyek. Ugyancsak alliancia a „**rejtegető mutualizmus**” is, számos tengeri rák kültakaróján telepsznek meg zöldmoszatok, amelyekről a rák nem is akar megszabadulni, mert az algabevonat miatt a sekély parti vízben felismerhetetlenné válik.

Hasonlóan alkalmoszerű, de az egyik populáció számára nélkülözhetetlen mutualista kapcsolat az **állatok általi virágmegporzás** valamennyi formája. A megporzást általában rovarok, főleg méhek és poszméhek végzik, ám ismerünk legyek (például a kontyvirágok esetében), csigák (például nálunk a kapotnyak), madarak (például a golgotavirágok, kolibrik), sőt denevérek általi megporzást is. Az evolúció során ez a viszony akkor vált szorossá, amikor egy-egy fajra szűkült le a megporzó állatok köre. A honi növények közül ilyenek a lucernák, amelyeket csak néhány poszméh faj képes megporozni, vagy az orchideák közül a bangók.

Gombafonalak és magasabb rendű növények tartós viszonya, a **mikorrhiza**, amelyet magyarul gombagyökérnek is szoktak nevezni. A gomba általában vizet vesz fel és ionokat juttat a növényeknek, cserébe pedig kész szerves anyagot kap. Olykor a gombák növényi hormonokat vagy hormonhatású anyagokat is termelnek. Két formája ismeretes, az **ektotróf**- és az **endotróf mikorrhiza**. Az előbbi a fenyőfélékre és a lombos fákra jellemző (22. ábra). A gombafonalakkal kapcsolatba kerülő gyökerek rövidebbek és vastagabbak lesznek, sok rövid oldalgyökeret fejlesztenek. A gombafonalak sűrű tömegben borítják be a gyökereket, helyenként a sejt közötti járatokba is behatolnak, de a sejtekbe nem nőnek bele. Kalapos gombáink többségére ez jellemző. Némely gomba esetében fajspecifikus a kapcsolat, például a barna gyűrűstinorú csak az európai vörösfenyővel él együtt. Az **endotróf mikorrhiza** esetén a gombafonalak a növények gyökereinek a sejtjeibe is belenőnek, és ott hólýagszerűen kiszélesedve nagy felületet hoznak létre a gombafonal és a növényi sejt között. Orchideáink nagy többségére az jellemző, hogy a járomspórás gombák vagy a fejespenészek gombafonálzata nélkül a kicsírázott növény nem tud továbbfejlődni, ugyanis a

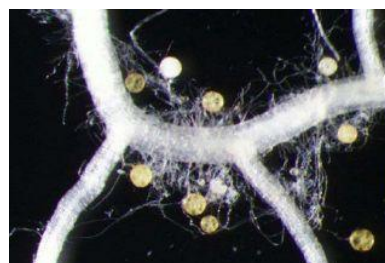
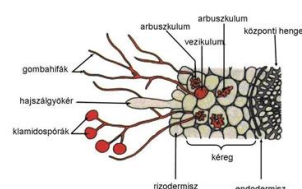
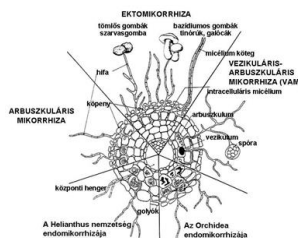
**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

csíraszervezet önmagában nem képes vizet és tápanyagot felvenni, ezért ezeket a gombafonalak bocsájtják rendelkezésre.

Ektotróf mikorrhiza



Endotróf mikorrhiza



22. ábra. Ektotróf- és az endotróf mikorrhiza

Állatpopulációk között kialakuló szimbiotikus kapcsolat a **szimfilia**. Például, amikor az egyik populáció a másik testváladékát fogyasztja és cserébe menedéket, sőt ellátást is nyújt. Jól ismert, hogy a hangyák rendszeresen felkeresik a tápnövényükön táplálkozó, édes váladékot termelő levéltetveket, vagy a bolyukba hurcolják azokat és gondoskodnak róluk. A hangyák vendégei között azonban sok bogárfaj is akad, például holyvák (az *Atemeles* nemzetség fajai) és hangyabogarak. Hasonlójellegű, de szorosabb növény-állat közötti kapcsolat a **mirmekofitizmus**: közép-amerikai tüskés akácia (*Acacia cornigera*) és a rajta élő *Pseudomyrmex ferruginea* hangyák között. A fa nemcsak fészkelőhelyet növeszt a hangyáknak, de levelein fehérvájában gazdag testecskéket termel táplálékul, és ráadásul nektáriumából cukros szirupot választ ki. A hangyák a fiatal növény versenytársainak ágait megcsonkítják, és a növényevők – köztük a nagytestű gerincesek – ellen is hatékony védelmet biztosítanak (23. ábra).

Szimfília

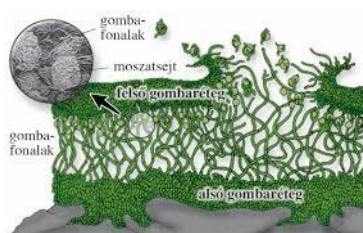


Mirmekofitizmus



23. ábra. A szimfília és a mirmekofitizmus

Zúzmók: gomba + alga



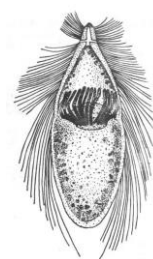
Pillangós virágúak és Rhizóbium-fajok



Kérődzők gyomor- és bélbaktériumai



Termeszek cellulózbontó bélbaktériumai



24. ábra. A szimbiózis néhány jellemző megnyilvánulása

A **szimbiózis** (24. ábra) meglehetősen szoros mutualizmus két populáció között. A több ezer méter mély tengeri árkok mentén kén-hidrogénben gazdag forró források törnek fel. Ezek mentén kénbaktériumok és mélytengeri kagylók élnek szimbiózisban. A baktériumok a kagylók kopolyúiban élnek és a kénvegyületek oxidációjával nyert energiájukat megosztják a gazdasejtekkel, amelyekből oxigénhez jutnak. 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. A pillangós virágúak gyökérzetében *Rhizobium* baktériumfajok élnek a növényi sejtekkel szoros együttélésben. Az ilyen típusú együttélés klasszikus példái a zuzmók.

5.1.2. Kommenzalizmus

Kommenzalizmus (+0): gyűjtőnéven kommenzalizmusnak nevezzük a +,0 kölcsönhatásokat. A kommenzalizmus magyarul *asztalközösséget* jelent. Az elnevezés arra utal, hogy a +,0 kapcsolatok legtipikusabb példáit a táplálékszerzésben találni. Ugyanakkor hiba lenne csupán erre a területre leszűkíteni, mert az élettevékenységek szinte minden körében megfigyelhetők az ilyen jellegű kölcsönhatások.

Tipikus kommenzalista kapcsolat a nagyobb ragadozók és a körülöttük élő, azok táplálkozási maradványait fogyasztó populációk. Afrikában például az oroszlánok zsákmánymaradványait különböző keselyű- és sakálfajok, a foltos hiéna, marabu stb. fogyasztják el. A növényevőknek is meglehetnek a maguk kommenzalista kísérői. Például a taráncszarvasok egyik fő táplálékát a tundrán a különböző zuzmófajok jelentik, amelyek fontos táplálékul szolgálnak a hófajdok számára is. A hófajdok azonban nagy hó alól a zuzmók kikaparására nem képesek, ezért csapatostul kísérik a taráncszarvasokat és az ott hagyott maradványok jelentenek táplálékot számukra.

Sajátos kommenzalista kapcsolat a beköltözés, **szünókia**. Ebben az esetben egy populáció lakó-, költő-, peterakó stb. helyül más fajok által készített építményeket használ. A kékvércsék például nem építenek fészket, hanem költésre a vetési varjak elhagyott fészkeit használják. A kék galamb faodvakba fészkel, ám odú készítésére a csőre alkalmatlan. Ezért üresen álló odvakat foglal el és azokban neveli fel a fiókáit. Ide sorolható a gólyafészkek oldalában költő verebek példája is (25. ábra).

A kommenzalizmus egy másik formája az együttlakás, **parokia**. Az együttlakó populáció úgy húzódik egy másik populáció közvetlen közelébe, hogy közben a másikat a legkisebb mértékben sem károsítja, az rendszerint tudomást sem vesz róla. A nagyobb madárfészkek például szinte nyüzsgönek a különböző rovaroktól. A tollal, bormaradványokkal, száradó csontok inas maradványaival táplálkozó *Trox-bogarak* csak madárfészkekből kerülnek elő. A magányosan költő helyrécék fészkeiket rendszerint a csértelepek közvetlen közelébe rakják, mert védelmet remélnék az éber és harcos madaraktól. A tengerekben számos apró rák és halfaj keresi szívesen a helytülő csalánozók védelmet nyújtó közelségét.

Előfordul, hogy egy egyed egy másik faj testének belsejében talál menedéket. Ez az **entokia**. Egyes rákok, sőt kisebb halak, például a bujkálóhalak (Fierasfer-fajok) stb. tengeri uborkák belsejében tartózkodnak, vagy oda menekülnek veszély esetén.

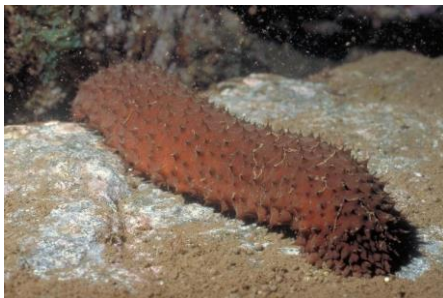
Szünókia



Parokia



Entokia



Epokia

Epifiton fajok



Kortikol fajok



Forézis



25. ábra. A kommenzalizmus néhány megnyilvánulási formája

A kommenzalizmus növényvilágban és állatvilágban egyaránt elterjedt formája a rátelepedés, **epokia**. A trópusi esőerdőkben önálló szintet képeznek a rátelepedett életmódot folytató *epifiton* fajok. Közülük legismertebbek a broméliák és a különböző páfrányfajok. A mi éghajlati körülményeink között különböző kéreglakó (*kortikol*) moha- és zuzmófajok állnak hasonló viszonyban az aljzatul szolgáló szervezetekkel. A tengerek életközösségeiben a helytülő életmódot folytató állatok gyakran

használják aljzatul egyes - rendszerint lényegesen nagyobb testű állatok kültakaróját vagy külső vázát. A rátelepedés sajátos formája a vitetés, a **forézis** is. Gyakori, hogy például a tengerek gályatartó halai más, lényegesen gyorsabb mozgású fajokra kapaszkodva vitetik magukat. Tágabban értelmezve vitetés minden olyan kapcsolat, amelyben egy populáció egy másikat valamilyen formában szállít. Ebben az értelemben forézis az emlősök szőrzetébe beleakadó termés, a malária kórokozójának, a lázállatkának terjedése a foltos maláriaszúnyog által stb.

A kommenzalista viszony legtágabban értelmezett kapcsolata, ha egy populáció pusztá létével egy másik populáció számára biztosítja az életfeltételeket. Például a szagos mügés bükkösökben a bükk árnyékoló hatása teremti meg a szagos müge számára a **létezés feltételeit**. A kommenzalizmus ezen típusát nevezzük serkentésnek, vagy **facilitációnak**.

A **mimikri**, vagy álcázás során a ragadozóját elkerülendő egy élőlény evolúciósan olyan alakot ölt, amely nagyon hasonlít egy olyan másik fajra, amelyet a ragadozó nem fogyaszt. Példaként említhető a zengőlegyek esete, melyek darázs küllemet imitálva távol tudják tartani természetes ellenségeiket. A nyaktekeres megjelenésével, kígyó-szerű szíszegésével tartja távol ellenségeit. Az alkirály pillangó külsejében nagy hasonlóságot mutat a mérgező díszes királylepkéhez, így a ragadozók elkerülik.

Metabiózis: az egyik populáció úgy feltételezi a másik jelenlétét, hogy időben akár nem is találkoznak egymással: remeterák – csiga üres vázára van szüksége; odúlakó madarak – harkály által készített odút használnak.

Dögevés és lebontás: Szaprotróf táplálkozás esetén az egyedek a tőlük függetlenül elpusztult organizmusokat fogyasztják. A szaprotrófok 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 szaprotróf populációk a táplálékukkal általában (+,0) viszonyban vannak, azonban ez a kapcsolat gyakran mutualisztikus, a növényi lebontóknál például határozottan kölcsönösen pozitív.

A +- **kölcsönhatások** a populációk közötti alapvető viszony, számos típusa ismert:

5.1.3. Predáció

Predáció (+-): Valamilyen formában szinte minden populációt érint a predáció. Tágabban értelmezve ez olyan populációs kapcsolat, amely során egy populáció - a *predátor* - részben vagy egészben egy másik populációt - a *prédát* - fogyasztja, azzal táplálkozik. Ha a préda növény, növényevésről, ha állat, ragadozásról beszélünk. A ragadozás prédája a zsákmány. A növényevés és a ragadozás között lényeges különbség, hogy a növényevés során a préda rendszerint nem pusztul el, csupán károsodik.

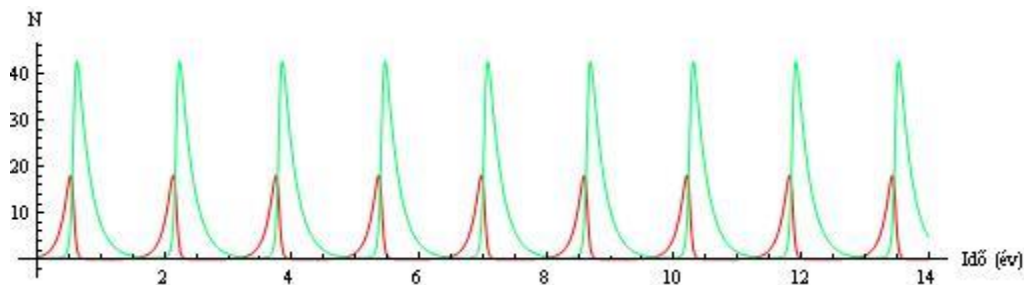
A táplálkozási kapcsolatokban az egyik populáció jelenléte növeli a másik túlélési és szaporodási teljesítményét. Ha ez a növekedés az első populáció kárára valósul meg kölcsönhatás áll fenn, predációról beszélünk. A predáció során az egy élőlény (ragadozó) egy másikat (zsákmányt) fogyaszt úgy, hogy 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 planktonévő 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 rovarfogó növényeket ragadozónak tekintjük. Egy ragadozó populáció saját fajtársainak fogyasztása a kannibalizmus. A zsákmányul szolgáló populáció és a ragadozó populáció egyedszámának alakulása között összefüggés mutatható ki.

5.1.3.1. Ragadozó-zsákmány modell

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. Ez után 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 (26. ábra).



26. ábra. Ragadozó (piros) és a zsákmány (zöld) egyedszámának időbeli alakulása.

Az amerikai nyérc néhány területen főleg pézsmapocokkal táplálkozik. Kézenfekvő lenne azt gondolni, hogy nyérc nélkül több lenne a pézsmák száma. 20 éves vizsgálat azonban azt mutatta, hogy az egyedszámukat a táplálék és az időjárás befolyásolja alapvetően. A ragadozók által megölt pézsmák száma a főlegben lévő állatok számában benne van. A pézsmapopuláció szempontjából mindegy, hogy ragadozó fölözi le a fölös létszámot, vagy időjárás végez velük. A pézsmapocok elsődleges elterjedési területén valójában nem hat a populációra a ragadozó, az area peremterületein azonban limitálhatja egyedszámukat. A ragadozó néha pozitív irányban is változtathatja a prédapopuláció egyedszámát. Példaként említhető a farkas, mely az északi országokban a jávorszarvast fogyasztja. Ha télen csökkenti a jávor populáció egyedszámát, az növeli a többiek túlélési esélyeit, melynek következtében több lesz tavasszal az életerősen születő borjak száma. A borz becslések szerint az éves gilisztaszaporulat 5 %-át fogyasztja el. Azonban a teljes populációra nincs hatással, mert a mélyebb rétegekben óriási hozzáférhetetlen tartalékok vannak. A róka azonban már komoly hatással van

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

a földön fészkelő fogolyra, mivel a fogoly a szegélysávban fészkel, ahol a róka mindegyikhez hozzáfér, nincsenek „rejtett” tartalékok. A fogoly egyedszám-csökkenése azonban nem hat a generalista rókára, mert annak tápláléklistáján csak egy apró komponens a fogoly.

5.1.4. Parazitizmus

Parazitizmus (+-): Hasonló populációs kölcsönhatás az élősködés, a parazitizmus is. Mikroroganizmusok között, állat- és növénypopulációk között egyaránt előfordul. Az élősködő szervezet egy másik szervezet - a gazdaszervezet - testanyagaival táplálkozik. 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. *Ektoparazitizmus* esetén a parazita külső testfelületen él, *endoparazitizmus* esetén a gazdaszervezet belsejében él. *Ektoparazita* a gerincesek vérével táplálkozó marhabögöly, a gyötrőszúnyog vagy a közönséges kullancs. Közös sajátosságuk, hogy táplálkozás után elhagyják a gazdaszervezetet, hosszabb ideig is képesek a gazdaszervezet nélkül élni, ezért fakultatív parazitáknak tekintjük őket. A madarak tollazatában élő rágótetvek, a denevérek élősködői, a denevérlegyek a gazdaszervezetet nem hagyják el, hosszabb ideig nélkülük életképtelenek. Ezek az **obligát paraziták**. Ilyenek az élősködők taplógombák, a fürkészdarazsak lárvái, a vajvirág fajok stb. is. A élősködés egy sajátos formája a növényvilágban előforduló **félp parazitizmus**, csak bizonyos forrásokat vagy bizonyos fejlődési stádiumban használnak más élőlényekéből. A félp parazita szervezetek, például a sárga fagyöngy, szívógyökereiket a gazdaszervezet faelemeibe növesztik és a vizet valamint a szerves anyagokat szívják el. Fotoszintetizálnak, az elszívott nyersanyagokat már maguk alakítják át szerves vegyületekké.



27. ábra. A hiperparazitizmus egyértelmű esete: fémfűrészekhez sorolt *Mesochorus* olyan hernyót keres, amiben más paraziták lárvái élősködnek, így a fémfűrész lárvái élősködhetnek a már ott lévő más paraziták petéin.

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.

Az élősködés különleges esete a *hiperparazitizmus* (27. ábra). A parazitoidok olyan – főleg hártýásszárnyú 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.

5.1.5. Antibiózis

Antibiózis (0-): A 0- kölcsönhatások olyan populációs kapcsolatok, amelyek az egyik fél számára hátrányos, a másik populációnak ebből azonban semmiféle előnye nem származik. Ilyen az *antibiózis*, amely bizonyos mikroorganizmus populációk, baktériumok és gombák között lép fel, melynek során a gombapopuláció anyagcsereterméke a baktériumok szaporodását meggátolja, vagy a baktériumokat elpusztítja.

Például az ecsetpenészekhez tartozó *Penicillium*- és *Aspergillus* fajok olyan anyagcseretermékeket - antibiotikumokat - adnak le, amelyek a baktériumok nagy többsége számára mérgezőek.

Magasabbrendű növényekre jellemző kölcsönhatás az *allelopátia*. Az egyik növénytípus populáció lehullott leveleinek, maradványainak bomlástermékei között olyan vegyületek vannak, vagy a növény olyan vegyületeket ad le a környezetébe, amely más populációk szaporodására, életműködéseire stb. kedvezőtlen hatású. Régóta megfigyelt tapasztalati tény, hogy bizonyos növények más növényekkel együtt ültetve nem fejlődnek megfelelően, sőt el is pusztulhatnak. Például a dió komposztálódó lombjából felszabaduló *juglin* nevű anyag sok növény magja számára csírázásgátló hatású. A zeller által a talajba leadott anyagok gátolják a karalábé és a dohány fejlődését stb.

A növények egymásra gyakorolt káros hatásaira már az ókorban is felfigyeltek, közismert példája ennek a közönséges dió (*Juglans regia*), amelynek árnyéka PILNIUS SECUNDUS (i. sz. I. sz.) egyaránt káros az emberre és növényre. LIPPAI JÁNOS, az 1664-ben írt „Pozsoni kert” című munkájában már tanácsokat is ad, mely növényeket nem szabad egymás közelébe ültetni. A dió árnyékáról ő is Pilniushoz hasonlóan ír: „a Dió fának nehéz, s ártalmas az ember fejének, és mind azoknak a fának, a melyek alatta, vagy közel vannak hozzá. Azért jobb ötet magánossan ültetni, és közönségesen az út-félen, a hol nem sok kárt tehet; mert árnyéka is olly mérges annak, hogy semmi vetemény, vagy fa, nem nőhet-alatta, meg mellette is. De kivált-képpen, természet-szerént-való ellensége néki a Tölgy-fa; azért nem kel ezt hozzá ültetni...”

Az allelopatikus hatások közül legismertebb a csírázást gátló hatás, de csírázást késleltető, vagy akár a gyökérnövekedést késleltető hatás is ugyanilyen előnyös lehet az allelopatikus hatású növények számára, hiszen a másik növényfaj növekedésének késleltetésével olyan jelentős magassági növekedést, vagy kiterjedt gyökérzetet érhet el, amellyel nagyobb előnyhöz juttatja a „vetélytársaival” szemben. Az allelopatikus vegyületek (allelopatikum, allelokemikália) befolyásolhatják a talaj mikroorganizmusainak működését, ezáltal közvetve hatnak a másik növényfajra, például megakadályozhatják annak nitrogénkötését. Az allelopátia megnyilvánulásának komplexitását tapasztalhatjuk a duglászfenő (*Pseudotsuga menziesii*) esetén, amelynek újratelepítését a talajban lévő allelopatikus hatású baktériumok megakadályozhatják azáltal, hogy gátolják a fenő gyökérkapcsolt gombáinak, a húsbarna pénzecskegombának (*Laccaria laccata*) és a zsemleszínű fakógombának (*Hebeloma crustuliniforme*) a szaporodását. Szintén indirekt hatásra utal

a balzsamos nyár (*Populus balsamifera*) és a fekete dió mellett ültetett enyves éger (*Alnus glutinosa*) néhány éven belüli pusztulása, ugyanis az előbbi két fajtából származó vegyületek negatívan befolyásolják az éger nitrogénkötő sugárgombáját (*Frankia* sp.), emellett a fekete dió juglonya közvetlenül is hátráltatja az enyves éger növekedését és fejlődését. Az allelopatikus hatás akadályozhatja az újraerdősülést és a természetes felújulást is. Sok esetben az aljnövényzetben előforduló lágyszárúak fejtenek ki csírázást gátló, vagy késleltető hatást a fás szárú fajokkal szemben, sőt moha- és zúzmófajok allelopatikus hatását is megfigyelték fás fajok csíranövényeire nézve. Beigazolódott, hogy a magas aranyvessző (*Solidago gigantea*) toxinjai megakadályozzák a madárcseresznye (*Cerasus avium*) csíranövényeinek megteleledését, a saspáfrány (*Pteridium aquilinum*) pedig gátolja az erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) és a közönséges luc (*Picea abies*) csírázását és növekedését.

A legtöbb allelopátiával kapcsolatos észrevétel természetesen a mezőgazdasággal kapcsolatos megfigyelésekből ered. A gyomnövények és a haszonnövények közötti allelopatikus kapcsolat régóta kutatott téma, a gyomokkal szemben allelopatikus hatású kultúrnövények a biológiai védekezés szelektív és környezetkímélő módját biztosítják. A paprika (*Capsicum annuum*) vegyületei gátolják a fehér libatop (*Chenopodium album*), a szőrös disznóparéj (*Amaranthus retroflexus*), a fekete csucsor (*Solanum nigrum*) és a lándzsás útifű (*Plantago lanceolata*) fejlődését.

Az antibiózis és az allelopátia nem választható el élesen egymástól. Ismerünk olyan mikroorganizmusok által termelt anyagokat is, ezek a *marazminok*, amelyek a magasabbrendű növényekre hatnak gátlólag. Ugyanakkor a növények között is számos olyan akad, például a fokhagyma, amely baktériumölő hatású kémiai anyagokat, úgynevezett *fitoncidokat* tartalmaz.

Antimikózis: egyes baktériumok (pl. *Pseudomonas*) gombaölő vegyületeket (fungicid) juttatnak a talajba, kevésbé ismert kölcsönhatás.

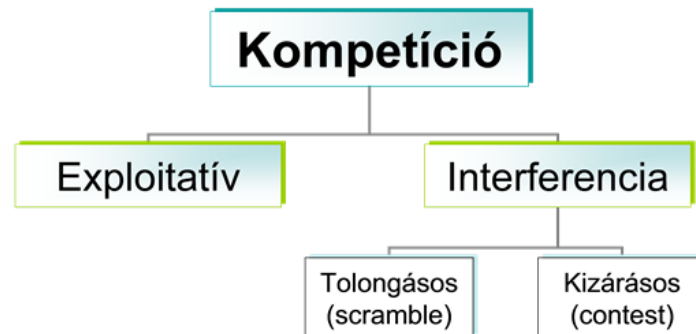
5.1.6. Kompetíció

Élőhelyeiken a populációk szüntelen harcot folytatnak egymással a korlátozott mértékben rendelkezésükre álló erőforrásokért, növények esetében a fényért, vízért, tápanyagokért stb.; állatok esetében a táplálékért, a vadászterületért, az ivari partneréért stb. Ez a versengés, a **kompetíció** valamennyi populációra nézve hátrányos (–,–) és kompromisszumra kényszeríti őket. 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.

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 populációik közötti *interspecifikus kompetíció* áll fent.

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 (28. ábra). Az interferencia kompetíciónak két formáját

különböztetjük 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 eldől a verseny és az egyik fél a forrás kimerülése előtt elesik a kihasználás lehetőségétől. Ilyen a például a területiális viselkedés.



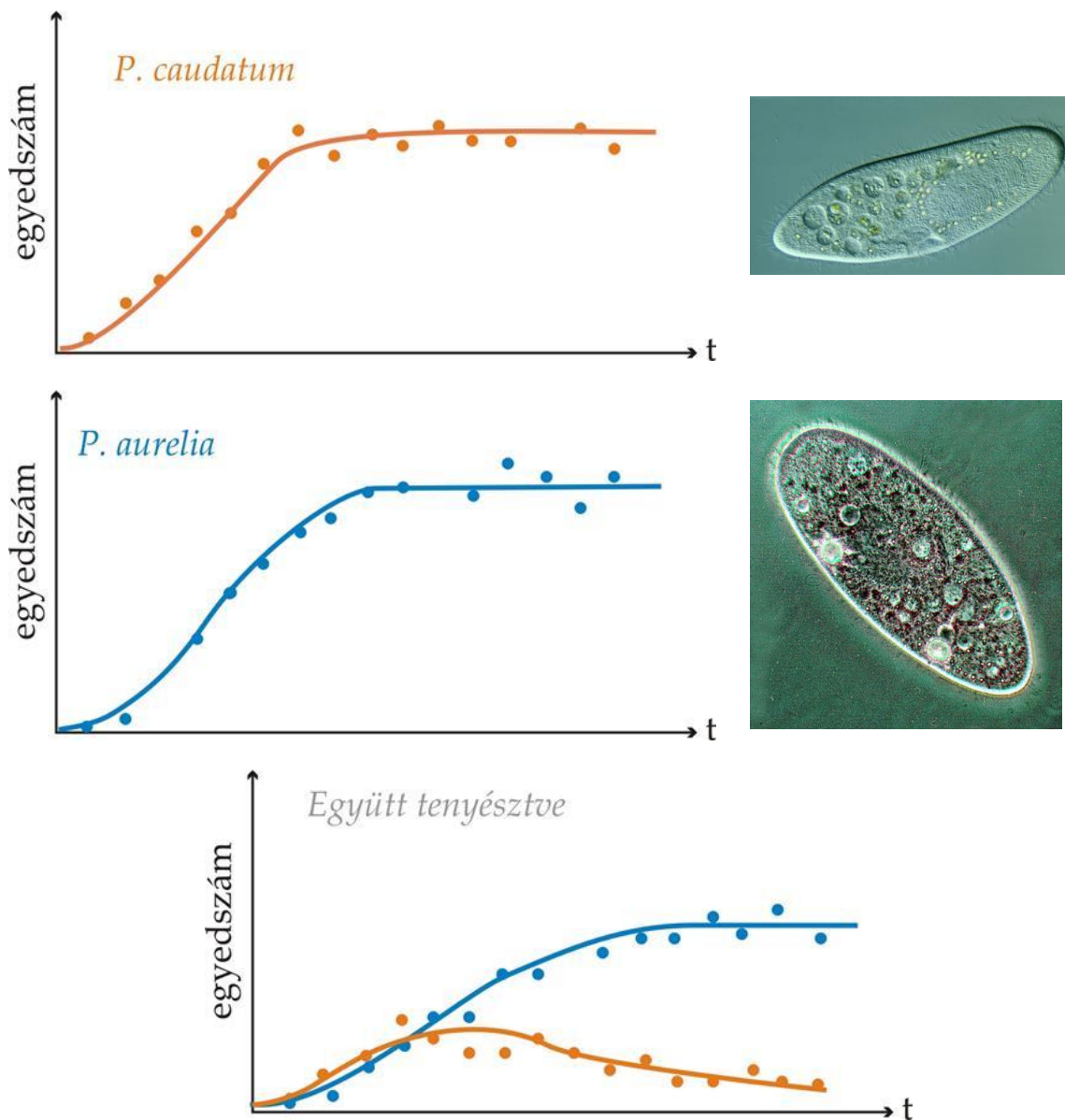
28. ábra. A kompetíció típusai

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.

A versengés gyakran megfigyelhető a természetben, és laboratóriumi körülmények között is széles körben tanulmányozták. Az egyik leghíresebb **Gauze** papucsállatkákkal végzett klasszikus kísérletsorozata. 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 (29. ábra).

Ezzel szemben *P. caudatum* és *P. bursaria* tenyészetet együtt nevelve Gauze a két faj együttélését tapasztalta: az előbbi inkább a diffúz módon elhelyezkedő baktériumokkal, míg az utóbbi jellemzően az aljzaton élő élesztőkkel táplálkozott.

David Tilman és munkatársai 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 tenyészei. A kevert tenyészetekben mindig csak egyetlen faj maradt meg hosszabb távon. Nem csak 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 kovartartalmát.



29. ábra. Gauze papucsállatkákkal végzett kísérletének eredményei

Sivatagos, félsivatagos területeken a korlátozott vízkészlet következtében helyezkednek el egymástól meghatározott távolságra a szárazságtűrő cserjék, mert csak így tudnak elég nagy gyökérzetet fejleszteni ahhoz, hogy vízszükségletüket biztosítsák. Kompetítorok a ragadozó madarak is, ezért “osztják fel” egymás között a rendelkezésre álló teret.

5.1.7. Neutralizmus

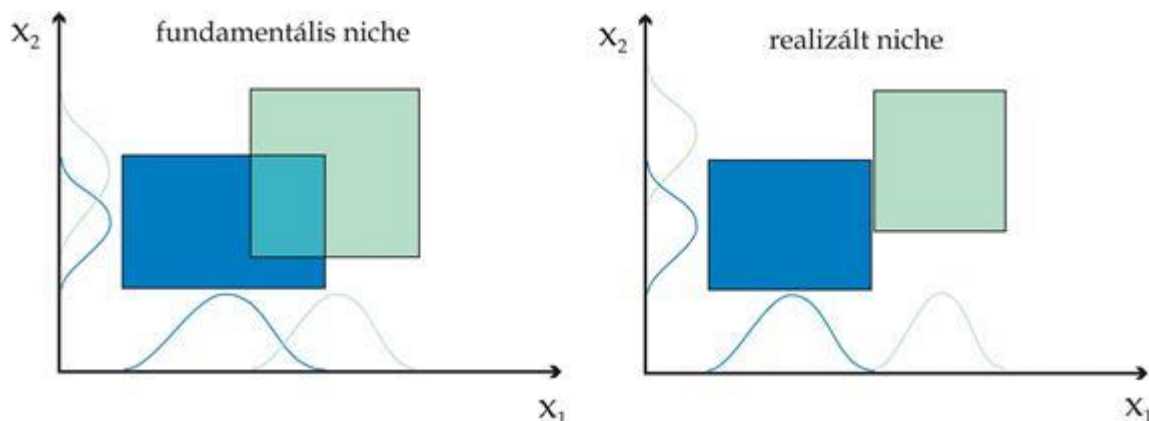
Neutralizmus (00): A természetben - igaz nagyon ritkán -, de az is előfordulhat, hogy két együtt élő populáció semmiféle hatással nincs egymásra. Ez a neutralizmus. Ilyen viszonyoknak tekinthető például

egy nyíres talajszintjén élő erdei ganéjtúró bogár, és a lombkoronaszintben repkedő tarkaszövő lepke populációs kapcsolata.

5.2. 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. 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. 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 (30. ábra).

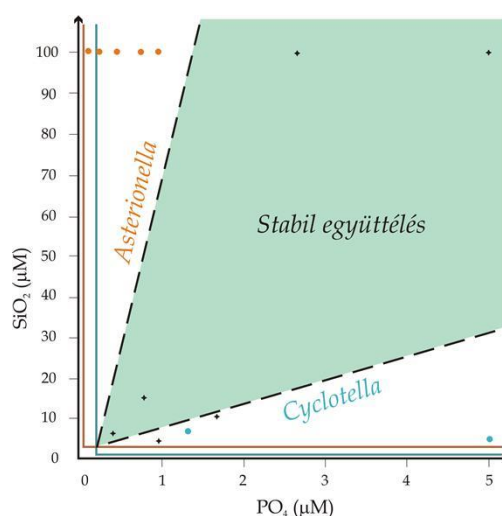


30. ábra. Két faj kétdimenziós niche-ének viszonya: az egymástól függetlenül élve tapasztalható fundamentális niche-ük nagyobb, mint a közös élőhelyen felvett realizált niche-ük

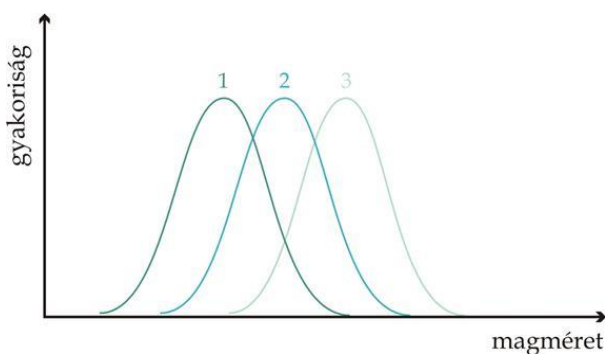
Kompetitív kizárás tétele véges sok forrásra is megfogalmazható: a stabilan együttélő populációk száma nem haladhatja meg a szabályozó tényezők számát.

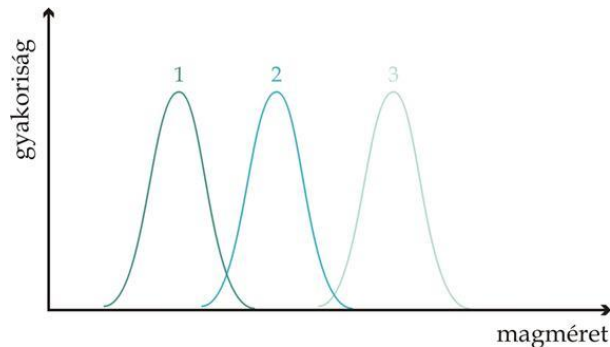
Két szabályozó tényező esetén együttélő két fajra klasszikus példa **Gauze** már említett papucsállatkákkal végzett kísérletei között a baktériumokkal táplálkozó *P. caudatum* és az élesztőket fogyasztó *P. bursaria* együttélése. Hasonlóan híres **Tilman** édesvízi kovamoszatokkal végzett, fentebb már szintén említett vizsgálataiban az *Asterionella formosa* és a *Cyclotella meneghiniana* versengése foszfát és szilikátforrásokért.

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) (31. ábra).



31. ábra. Két kovamosztafaj versengése szilikát és forrásokért





32. 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

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 (32. 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.

A Galapagos szigeteken élő Darwin pinty fajok esetén például 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.

6. Társulás

A **társulás** (biocönózis) olyan szupraindividuális szerveződési egység, amelyet egy adott élőhelyen azonos időben élő és egymással kapcsolatban lévő populációk alkotnak. Növények (*fitocönózis*) és állatok (*zoocönózis*) közössége, amelyek sajátos strukturális és funkcionális tulajdonságokkal rendelkeznek.

6. 1. Anyag- és energiaáramlás a társulásokban

Amint az előbbiekben láttuk, az életközösségeket alkotó populációk között változatos kapcsolatok alakulnak ki. Produkcióbíológiai 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 **tercier konzumensek**), s így tovább egészen a **csúcsragadozóig**. 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 lebontóik). Mivel a szerves anyagokat szervetlenekké lebontva azokat újra hozzáférhetővé teszik a rendszer alapját alkotó termelők számára, a lebontó szervezeteket gyakran **visszaforगतóknak (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 produkcióbíológia az e táplálékhálózat trofikus szintjei vagy populációi között végbemenő anyag- és energiaforgalmat tanulmányozza.

A társulásokat jól jellemzi azok anyag- és energiaforgalma. Anyagkörforgalom a bioszférában ciklikus, az anyag állandó körforgást végez, miközben változásokon megy át, és különböző formát vesz fel. A bioszféra élő és élettelen alkotói így egymással kapcsolatban vannak. Az energiaáramlás ezzel szemben egyirányú folyamat.

6.1.1. Táplálékláncok, táplálékhálózatok – anyagáramlás a társulásokban

A társulásokban az anyag- és energiaforgalom a táplálékláncok révén valósul meg. A tápláléklánc a populációk között kialakult táplálkozási kapcsolat. A táplálékláncban a társulás minden egyes populációja a táplálékláncok egy-egy láncszemét alkotja. Az egyes populációknak a biocönózis táplálékláncában betöltött szerepe alapján három csoportja különíthető el, megkülönböztetünk termelő (**producens**), fogyasztó (**konzumens**), illetve lebontó vagy dekomponáló (**reducens**) szervezeteket.

A **producensek** jellemzően a fotoszintézis segítségével a levegőben található CO₂-ból és a talajvízben oldódó szervetlen anyagokból (pl. N, P, K) a Nap sugárzó fényenergiájának segítségével szerves anyagokat állítanak elő (léteznek kemoszintézissel rendelkező mikrobák is, mint termelők). E szerves anyagokat saját testükbe építik be, amely így az állati szervezetek számára is

felhasználhatóvá válik. A producens növények által előállított szerves anyagot növényi **biomasszának** nevezzük, melynek mennyisége befolyásolja az adott társulásban eltartható további trofikus szintek minőségi és mennyiségi tulajdonságait, azaz meghatározza, hogy az adott élőhelyen milyen és mennyi állat fordulhat elő.

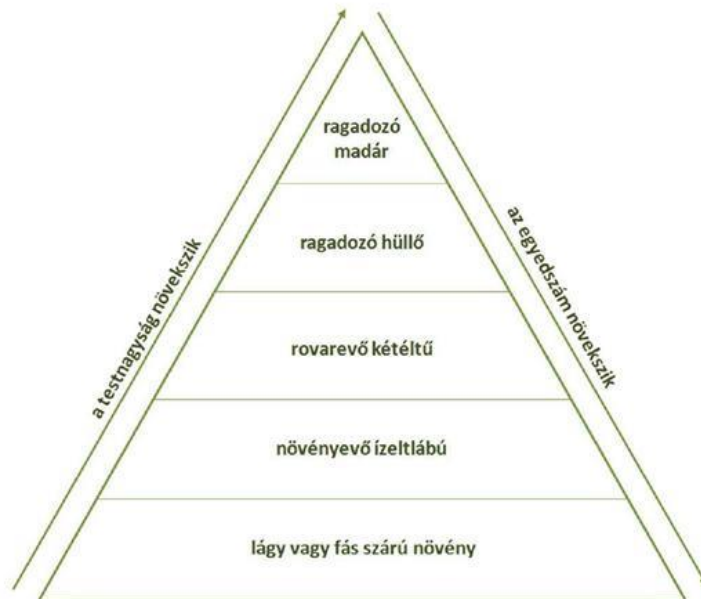
A **konzumensek**, azaz fogyasztó szervezetek más élőlények (növények vagy állatok) szerves anyagaiból táplálkoznak. Azok a fogyasztók, amelyek növényevő életmódot folytatnak, és a fotoszintetizáló növények által megtermelt szerves anyagot fogyasztják, **elsődleges (primer) konzumenseknek** nevezzük. A növényevő állatokat fogyasztják a **másodlagos (szekunder) konzumensek**, és az állatevő állatokkal táplálkoznak a **harmadlagos (tercier) konzumensek**. Az állatvilágban, a fogyasztók között megkülönböztethetjük az ún. **csúcsragadozókat**, melyek általában a legnagyobb testű ragadozók a társulásban.

Fontos szerepe van a lebontó (**reducens, vagy dekomponáló**) szervezeteknek. Ezek azok a szervezetek (pl. a talaj mikroszervezetei), amelyek az egyébként elvesző szerves anyag energiáját újra bekapcsolják a forgalomba. A reducensek, azaz a lebontó (dekomponáló) szervezetek az elpusztult növények és állatok szerves anyagait használják fel, és azokat komponenseikre bontják, ezzel az ökoszisztémában lezajló anyagáramlást anyagkörforgásként zárják le. A lebontás folyamata két részfolyamatból tevődik össze. Az első részfolyamatban a **szerves anyagok aprózása** történik meg, amelyet elsősorban a talajban élő, a makro- és mezofaunába tartozó állatok végeznek. A második részfolyamatban történik meg a **humifikáció**, majd a mineralizáció következik, amely az immáron növények számára felvehető szerves anyagok feltárását jelenti. Ez utóbbi részfolyamatban döntően mikroorganizmusok (baktériumok, gombák) vesznek részt. Bármely trofikus szint elpusztult egyedeinek ürülékét illetve elpusztult testét fogyasztják a **koprofágok** (ürülékevők) és a **nekrofágok** (dögevők). Ez utóbbi csoportra említhetjük példaként a dögevő keselyűket, hiénákat, sakálokat, vagy a dögevő rovarokat.

Leegyszerűsítve a táplálékláncoknak **háromféle alaptípusát** különböztetjük meg, ezek a **herbivora**, a **parazita**, és a **szaprofita tápláléklánc**. A **herbivora**, azaz **növényevő tápláléklánc** minden esetben fotoszintézisre képes növényre épül, melyet egy elsődleges fogyasztó, egy növényevő állat fogyaszt. A következő trofikus szinten az elsődleges konzumens (ragadozó) áll, melyet a ragadozót fogyasztó ragadozó, mint csúcsragadozó követhet. A **parazita**, azaz **élősködő táplálékláncban** az élő vagy elhalt növényre alapozódva, az azt fogyasztó növényevő állat következik, amelyet parazita támad meg, és használja testének szerves anyagait. Előfordulhat hiperparazitizmus is, amikor egy élősködőnek további élősködője is van. A **szaprofita tápláléklánc** korhadékevő táplálkozási kapcsolat fennállását jelenti. Itt a folyamat elhalt növényi részekkel kezdődik, amelyeket korhadékevő állat tud táplálékként hasznosítani. A sort folytathatja a korhadékevő állattal táplálkozó másodlagos fogyasztó, melyet követhet egy ragadozót fogyasztó csúcsragadozó. A táplálékláncoknak bármelyik alaptípusáról beszélünk, a lebontó szervezetek sehonnan nem felejtethők ki, amelyek a láncolatokat körforgássá alakítják. A valóságban ilyen tisztán csak kivételesen fajszegény környezetben (sarkvidék, mélytenger) épül fel a tápláléklánc, döntően ezek kombinációja fordul elő, amit táplálkozási hálózatként nevezünk.

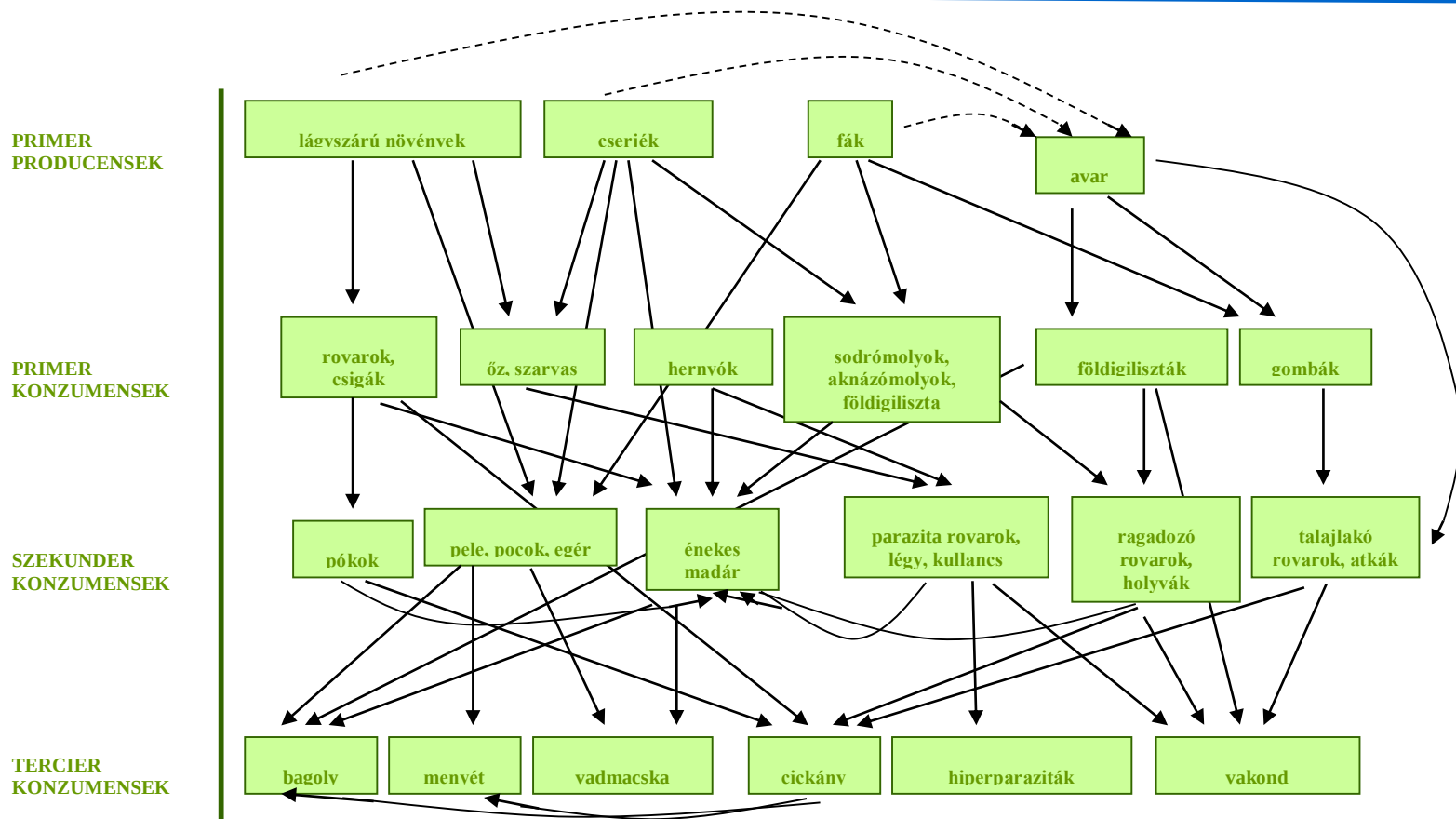
A táplálékláncok tárgyalásánál meg kell említenünk az **Elton-féle táplálékpiramis** (33. ábra) fogalmát is, ami nem magát a táplálékláncot jelenti, e két kifejezést tehát nem szabad egymás szinonimáiként kezelni. A **táplálékpiramis a tápláléklánc mennyiségi és minőségi tulajdonságait (méretbeli jellegét) fejezi ki**. Jól érzékelteti a biocönózisbeli tömegviszonyok azon törvényszerűségét, miszerint a táplálékláncok első tagjától az utolsóig a tagok egyedszáma és testnagyságára

vonatkozó szabályszerűség figyelhető meg. A táplálékpiramisban érvényesül a *relatív nagyság elve*, mely szerint a producensek általában mindig kisebbek, mint az őket fogyasztó konzumensek, bár a természetben számtalan kivétel is akad, ilyen kivétel lehet például a planktonikus szervezetekkel táplálkozó ábráscetek jelenléte a tengeri ökoszisztémában, de a kivételekre szolgáltatnak példát a parazita táplálékláncok is, ahol a parazita élőlény lényegesen kisebb lehet a számára táplálékul szolgáló állattól. A táplálékpiramisokra a relatív nagyság törvényén kívül igaz az, hogy a *producensek egyedszáma nagyobb, mint az őket fogyasztóké*.



33. ábra. Elton-féle táplálékpiramis

A biocönózisokban igen sok, jól elkülöníthető tápláléklánc fordul elő, amelyek egymás mellett, olykor egymással átfedésben működnek. Ezeknek a táplálékláncoknak a tagjai ugyanis többnyire nemcsak egy-egy fogyasztó számára szolgálnak táplálékul, hanem többnek is. Ezen átfedések miatt a biocönózis sok-sok tápláléklánca egy bonyolult **táplálékhálózatot** alkot (34. ábra).



34. ábra. A biocönózis sok-sok tápláléklánca bonyolult táplálékhálózatot alkot

6.1.1.1. A biológiai produkció

A zöld növények a napenergia felhasználásával szerves 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 kemoszintetizáló az egyetlen termelő, 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).

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.

A növényevő elsődleges fogyasztók – az elmondottak értelmében – a termelők szerves anyagainak tekintélyes részét szerves anyagokká (CO₂-dá és vízzé) alakítják vissza. Ez tehát nem csak a lebontók privilégiuma. A reducensek 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.

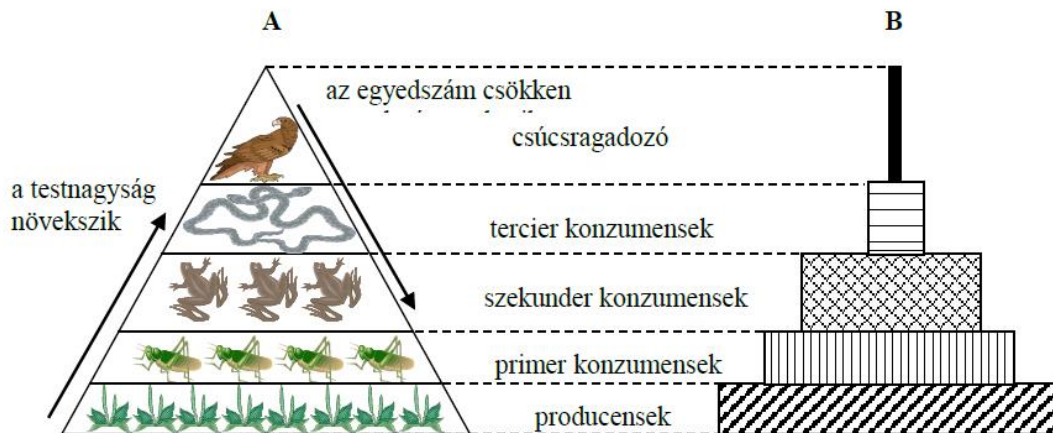
Az elsődleges fogyasztókat fogyasztják a ragadozó vagy élősködő másodlagos fogyasztók. Ők is hasonló anyagvesztéssel dolgoznak, így össztömegük szintén egy nagyságrenddel kisebb a növényevő állatok össztömegénél. Ugyanez igaz valamennyi következő trofikus szintre is, minden lépcsőfok hozzávetőlegesen 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:

- 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 felhasználhatnák, hiszen csak élő állatból táplálkozhatnak;
- 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 (35. ábra).



35. ábra. Egy láprét biocönózisának táplálékpiramisa (A) és biomassza-piramisa

Mivel az élőlények víztartalma nagyon különböző lehet, a biomassza mennyiségét nem az élőlények összes testtömegével fejezzük ki, hanem az 1 m² felületen található élőlények összes szárazanyag-tartalmát adjuk meg (g szárazanyag/m²). Az is gyakran előfordul, hogy szárazanyag helyett csak a szénttartalmat adjuk meg g szén / m² mértékegységben. A kettőt könnyű átszámolni egymásba, mert a biomassza szárazanyagra vonatkoztatott szénttartalmát 45%-nak szokták tekinteni.

A trofikus szintek közötti jelentős anyagvesztéséből 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.

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 nekromassza még gyorsabban gyarapodik, ami a P/B hányados csökkenéséhez vezet. A klimaxtársulás (általában erdő) tehát jóval több szén-dioxidot nyel el egy év alatt nettó, mint egy pionír társulás, de nem annyiszor többet, ahányszor nagyobb tömegű a biomasszája.

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 kisméretű planktonikus szervezet, alga vagy baktérium, amelyek össztömege kicsi, de anyagcseréjük viszont nagyon gyors. 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 biomassza-piramis 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). 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 a szárazföldi sivatagokéra emlékeztet. Az óceánokban a kis nettó primer produkció 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 szervesanyagot 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 nettó primer produkció és biomassa 40%-át. Az egyéb erdők biomasszája további 30%-ot képvisel (a trópusi esőerdőkkel együtt tehát 70%-ot), éves nettó primer produkciójuk pedig a globális összérték 20%-át adja. A fátlan társulások biomasszája (20%) viszonylag kicsi, de nettó primer produkciójuk így is igen jelentős (40%) (5. táblázat).

5. táblázat. Élőhelyek és vegetációtípusok részesedése a globális biomasszából és a globális nettó primer produkcióból (NPP)

	A globális biomassa	A globális NPP
Trópusi esőerdők	40%-a	40%-a
Egyéb erdők	30%-a	20%-a
Fátlan szárazföldi társulások	20%-a	40%-a
Óceánok	10%-a	töredéke

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.

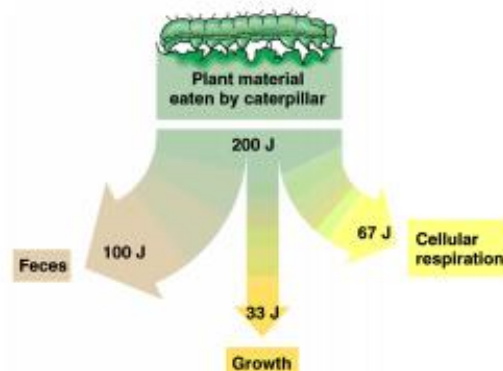
6.1.2. Energiaáramlás a társulásokban

A társulásokban végbemenő energiaforgalom során energiaveszteség lép fel. A fotoszintetizáló növények a földfelszínre érkező nagy mennyiségű napsugárzásnak csak hozzávetőleg 0,2-0,5 %-át képesek kémiai energiává alakítani. Ezt az energiahányadot fotoszintetikusán aktív sugárzásnak nevezzük, melynek egy részét a növények saját anyagcsere-folyamataikra fordítják, a többit pedig

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

szervesanyagként saját testükbe beépítik. Ez utóbbi, fényenergia formájában a táplálékláncba bekerült és kémiai energiaként raktározott energia ezután a növények elfogyasztásával kerül át az állati szervezetekbe. *Az egyes trofikus szintek között átadott energia mennyisége minden láncszemmel hozzávetőleg 1/10-ére csökken*, hiszen az egyes trofikus szinteket alkotó élőlények szervezetéből a bekerült energia részben az **ürüléssel**, vagy **hulladékhőként** távozik, más része **mozgási energiaként** használdik fel (36. ábra).

1. Beépül a fogyasztó testébe, testtömeget gyarapít(~15%)
2. Rögtön "elhasználódik,, - a légzés során eloxidálódik, az energia részben munkavégzésre fordítódik, ill. hő formájában a környezetbe jut (~35%)
3. Ürülékkel szerves vegyületként, kötött kémiai energia formájában távozik a szervezetből (~50%)



36. ábra. A felvett energia három útja

6.1.2.1. Fogyasztási-, asszimilációs-, produkciós hatékonyságnak - trofikus energiaátviteli hatékonyság

A Nap földfelszínre érő sugárzásának mintegy a 45%-a hasznosítható a növények számára (PAR: fotoszintetikus 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 mértek 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 előbbieken 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 lombdöbben 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 trofítási szint teljes produkciójának azt a hányadát, amit a felette levő trofítási 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 energiataralmának 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, ürülékévőknél 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 (6. táblázat).

6. 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 trofítási szint energiájának mindössze 10%-a épül be a felette levő trofítási szint élőlényeinek testébe. Mivel ennek következtében a felsőbb szinteken egyre kevesebb energia áll rendelkezésre, a felsőbb szintek biomasszája is egyre kisebb tömegű. Ebből az is következik továbbá, hogy a táplálékláncok véges hosszúságúak.

7. Társulások időbeli változásai

A társulások időbeli változásainak leírásával a **vegetációdinamika foglalkozik** (vegetációdinamika: a növénytakaró minden időbeli változása, amely meghatározott helyen játszódik le).

A változások módja, tartóssága, iránya és időléptéke szerint több típus különíthető el:

- | | |
|--|-----------------------------|
| • évszakai ritmus (periodicitás) | <i>egy társuláson belül</i> |
| • vegetációingadozás (fluktuáció) | <i>egy társuláson belül</i> |
| • vegetációfejlődés (szukcesszió) | <i>új társuláshoz vezet</i> |
| • vegetációtörténet (szekuláris szukcesszió) | <i>új társuláshoz vezet</i> |

Alapvetően a társulások időbeni változása lehet *periódikusan ismétlődő (aszpektus)* és *egyirányú* folyamat (*szukcesszió*).

7.1. Aszpektus

Az **évszakai ritmus** (periodicitás) nem más, mint rövid idejű, évről-évre törvényszerűen ismétlődő változások, melyet az éghajlat ritmikus jelenségei és a növények alkalmazkodottsága együttesen vált ki. Közép-Európában a növények évszakai ritmusát, különösen a vegetációs időszak kezdetét és végét elsősorban a **hőmennyiség (hőösszeg)**, másodsorban a **nappalok hossza** határozza meg.

Közép-Európában az alábbi aszpektusokat lehet megkülönböztetni:

1. koratavaszi aszpektus
2. tavaszi aszpektus
3. nyár eleji aszpektus
4. nyár végi aszpektus
5. őszi aszpektus
6. téli aszpektus

Az **aszpektus** tehát a társulás időbeni, ritmikus változása, jellemzően az évszakai változást jelenti, a növénytársulásoknak az az időbeli összetétele és szerkezete, amely minden évben periodikusan ismétlődik, azaz egy állomány megjelenési képe egy adott időszakban. Az aszpektusok az évszakok időjárása szerint változnak és bennük az egyes növények különböző fenológiai fázisban találhatók meg. **Fenológiai fázis:** a növények egyedfejlődésében bekövetkező különböző szakaszok, a növényfajok (populációk, társulások) fenológiai jellemzői által meghatározott időszak, melyek minőségileg különböznek egy-mástól. Az évelők esetében ezek periodikusan változnak. Leggyakrabban használt fenofázisok: a csírázás, szárba szökés, kifejtett vegetatív növény, bimbózás, virágzás, terméshezérés, elszáradt állapot; illetve rügyfakadás, lomblevelek megjelenése, lombhullás. Egy-egy aszpektusban a növények jellemző fenofázisban vannak jelen.

Egy erdőben például tavasszal elsőként jelennek meg az aljnövényzetben a fényigényes, korai virágzó lágyszárú növényfajok, majd megkezdődik a rügyfakadás, a fás szárú növények is virágokat, leveleket fejlesztenek. A **kora tavaszi** geofitonaszpektus a nyáron sűrűn záródó lombosított erdőink

(pl. bükkösök, gyertyános tölgyesek, keményfaligetek) jellemzője. Tömeges alkotója lehet pl. a hóvirág, a csillagvirág, a galambvirág, a medvehagyma, a különböző keltikék, a bogláros szellőrózsa stb.

A **lombfakadást követően** az árnyéktűrők jelennek meg. A növények ivaros és ivartalan szaporodásának ideje egy ilyen jellegű élőhelyen elsősorban a nyári hónapokra tehető. Az **őszi időszak** a termésérlelés ideje és ilyenkor megy végbe az őszi lombhullás is. Az egyynyári és több éves lágyszárú növények felkészülnek az áttelelésre, lombozatukat elvesztik, inaktív állapotba kerülnek. A téli nyugalmi időszak, habár látszólag eltűnik ilyenkor az élet az erdőből, nagyon fontos a növénytársulás tagjainak, enélkül képtelenek volnának a következő tavasszal újra hajtásokat, szaporítószerveket fejleszteni.

Az erdő évszakos változásához hasonlóan aszpektus jellegű időbeni változás az **állattársulásoknál** is megfigyelhető. Szemléletes példa erre a vándorló madarak élete. A tavaszi időszakban megérkeznek vándormadaraink telelőterületeikről, hamarosan megkezdődik a párba állás, majd megtörténik a szaporodás. A nyár a fiókanevelés időszaka. Költöző madaraink életének talán egyik leglátványosabb része az őszi madárvonulás, amikor már az azévi fiatalok is telelni vonulnak szüleikkel, idősebb társaikkal együtt.

Napi ritmus: a társulás élőlényeinek a környezeti tényezők mindennapi, ciklikus változásaihoz való alkalmazkodása. Jellemzően napi ritmust mutató változások: virágok nyílása, csukódása; nektártermelés, állatok aktivitása.

7.2. Szukcesszió

A **szukcesszió** egy adott élőhelyen található közösség átalakulási folyamata egy másik közösséggé. A szukcesszió folyamatos, de nehezen megfigyelhető, mert hosszabb léptékű időskálán történik. Egy-egy növénytársulás hosszan tartó megfigyelésekor azt tapasztalhatjuk, hogy néhány év alatt a vegetáció kicserélődik, elveszti eredeti jellegét, és helyette fokozatosan más összetételű társulás jön létre. A talajt először évelő növények, majd cserjék borítják be. Hosszú idő alatt fák telepednek meg rajta. A társulások időben egymást követő változásainak sorát szukcesszióknak nevezzük. A **szukcesszió** tehát a biocönózisban végbemenő egyirányú változások sorozata, nem megfordítható folyamat, melynek során a társulást alkotó populációk részben vagy teljes egészében kicserélődnek. A változó élőhelyi feltételekhez igazodva egyes fajok eltűnnek, mások viszont megjelennek és benépesítik a rendelkezésre álló élőhelyet. A szukcesszió során elsőként a **pionír**, azaz a **kezdő társulás** jelenik meg, ami az új termőhelyi feltételekhez könnyebben alkalmazkodó tágtűrészű fajokból áll. A szukcessziós folyamat addig tart, amíg az adott éghajlati viszonyok mellett a lehető legbonyolultabb, legnagyobb produktivitású társulás, az ún. **klimax**-, vagyis a **zárótársulás** ki nem alakul, amelyben már megjelennek szűktűrészű fajok is.

A szukcesszió vagy emberi beavatkozás nélkül történik (**természetes**), vagy emberi beavatkozásra (**másodlagos**). A **természetes szukcesszió** két típusát ismerjük (ez gyakorlatilag a szukcessziós folyamatok **időtartam szerinti csoportosításának (1.)** felel meg): a **szekuláris szukcesszió** igen hosszú idő alatt (például a jégkorszakok) hatalmas változások történnek klimatikus hatásra, a **biotikus szukcesszió** viszont megközelítőleg azonos makroklimatikus viszonyok között megy végbe, általában külső ökológiai tényezők hatására.

A **szekuláris szukcesszió** geológiai időléptékekben értelmezhető, így makroklimatikus és evolúciós változásokkal is együtt jár (fajok kihalnak és keletkeznek). Utóbbi néhány tíztől néhány ezer év léptékben zajlik, ideális esetben lényeges makroklimatikus és evolúciós változások nélkül. A szekuláris szukcesszió tehát földtörténeti léptékű, hosszabb időskálán mérhető, így több ezer évet átfogó időintervallumban történő szukcesszió. Egyirányú, nem ismétlődő folyamat, az éghajlat megváltozása következtében játszódik le. Nagy területet érint, pl. Kárpát-medence a jégkorszak alatt, amikor is az utolsó jégkorszakot követően Magyarországon pl. tundrai növénytakaságok alakultak ki.

A **biotikus szukcesszió** egy frissen keletkezett felszínen lezajló vegetációfejlődést jelent, két fő típusát, az **elsődleges (primer)** és a **másodlagos (szekunder)** szukcessziót különböztetjük meg. **Primer szukcesszió** esetén adott területen nem volt korábban semmilyen élet (pl. új vulkáni sziget, felhagyott autópálya, stb.) és semmiből alakul ki egy pionír takaság, míg a **szekunder szukcesszió** esetén egy hosszú időn át nem változó takaság indul meg a további szukcesszió útján (pl. a szukcesszió folyamatában megakasztott hegyi kaszálórét felhagynak a kaszálással, így az beerdősödik).

Szekunder szukcesszió viszont a korábban már vegetációt hordozó felszíneken, valamilyen katasztrófa után beinduló szukcessziót nevezzük. A két típus között döntő különbség a kiindulási feltételekben van. A *szekunder szukcesszió* megindulásakor van talaj, a talajban sok faj magja, rhizómája, stb. jelen van (a szekunder szukcesszió nagy gyakorisággal lép fel antropogén hatásra bolygatottá váló talajfelszíneken, pl. legeltetés (túllegeltetés), erdők tarvágása után), míg a *primer szukcesszió* csak a kívülről odajutó fajok megtelepedésével tud csak megindulni, és a talajképződés is csak a szukcesszióval párhuzamosan zajlik.

Ennek megfelelően általában hosszabb ideig is tart egy primer szukcessziós változás. Primer szukcesszióra példa lehet egy gleccser visszahúzódása révén keletkezett legyalult felszínen végbemenő, míg a szekunder szukcesszióra egy tűzvész, vagy tarvágás utáni szukcesszió.

A **biotikus szukcesszió** tehát rövidebb (száz években számolható), azonos éghajlati körülmények között zajló folyamat. Első lépése egy növényzet nélküli, kopár terület benépesítése. Az első betelepülő élőlények alkotják az ún. **nyitó-, vagy pionír takaságot**. A pionír takaságok fajban szegények, alkotó populációik pedig egyedszámban viszonylag gazdag r-stratégista fajok. Az első betelepülő növények a termőtalaj fokozatos kialakulásának, valamint újabb fajok megjelenésének teremtik meg a lehetőséget. A takaság diverzitása aztán az idő előrehaladtával folyamatosan nő. A folyamat addig tart, amíg az adott éghajlati viszonyok mellett lehetséges, legbonyolultabb, legnagyobb produktivitású, egyensúlyban lévő takaság, az ún. **záró(klímax)takaság** ki nem alakul.

Bugacon a futóhomokon például így néz ki egy primer szukcessziósor: A homoki szukcesszió során a talajt borító *moha- és zuzmófajok* mellett kezdetben *nyílt homoki gyeptakaság* jelenik meg. A szukcesszió folyamatában a gyeptakaság folyamatosan záródik és felmagasodik. A *zárt homoki gyeptakaságot* követően *cserjés állományok, borókások*, majd *nyáras-borókások* jelennek meg. A homoki gyepek szukcessziójának utolsó fázisa a *zárt homoki tölgyesek*, mint klímaks takaságok megjelenése.

A primer szukcesszióra egy bányászati tevékenység során létrehozott meddőhányó természetes benépesülését is említhetjük példaként.

Szekunder szukcessziós folyamat egy állóvíz feltöltődése. A tavak feltöltődésének kezdetén mikroszkopikus egysejtűek, *zoo- és fitoplanktonok* alkotják a takaságot a nyílt vízben. Extra tápanyag vízbe jutása esetén *lebegő hínárnövények és moszatok* jelennek meg, melyek üledékének felhalmozódása teremti meg a *gyökerező hínárnövények* életfeltételeit. A gyökerező hínárnövények

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

szerves anyagainak további kiülepedése a *nádasok* megjelenését vonja maga után. A szabad vízfelület fokozatosan eltűnik, a nádasokat a *zsombékos, parti sásos társulások* váltják fel. A további feltöltődés során *mocsárrétek* jönnek létre, ezeket a *bokorfüzesek*, majd a *puhafás fűz-nyár ligeterdők* követik. Jelen példában a *keményfás tölgy-kőris-szil ligeterdők* tekinthetők klimax társulásnak.

Hasonlóan szekunder szukcessziós folyamatok lévén jön létre a biotikus szukcesszió kötetlen futóhomokon:

- Pionír szukcesszió: moha, zuzmók (kis tápigényű fajok)
- Egynyári homoki gyepek (rozsokos pusztagyep)
- Évelő homoki gyepek (magyar csenkesz)
- Cserjék (rozmaringlevelű fűz)
- Fák (fehér nyár)
- Nyílt homoki tölgyes (kocsánytalan tölgy)
- Klimax: Zárt homoki tölgyes (kocsányos tölgy)

7.2.1. A szukcesszió stádiumfelosztása

A szukcesszió három stádiumát különítjük el (7. táblázat):

- **kezdeti** (iniciális) stádium
- **átmeneti** (köztes) stádium
- **vég** (záró) stádium

7. táblázat. A szukcesszió stádiumbeosztása

Jellemző	Kezdeti (iniciális) stádium	Átmeneti (köztes) stádium	Vég (záró) stádium
<i>Folyamatrész</i>	a folyamat kezdete	a folyamat közbülső része	a folyamat lezárása
<i>Fajösszetétel</i>	± esetleges	± szabályszerű	szabályszerű
<i>Fajok stratégia-típusa</i>	többnyire r-stratégista fajokból áll	r-, K- és rK-stratégista fajok egyaránt jellemzők	többnyire K-stratégista fajokból áll
<i>Állományszerkezet</i>	gyakran egyszintes	± színtezett	a lehetőségeket maximálisan kihasználóan színtezett
<i>Produktum</i>	kicsi	nagy	maximális
<i>Változások mértéke</i>	gyorsan változó	lassan változó	alig változó (dinamikusan állandó)
<i>Anyag- és energia-forgalmi rendszer</i>	nyílt	zárt	zárt, környezetével "egyensúlyban" van

A szukcesszió együtt jár a külső környezet megváltozásával, ezért csoportosíthatjuk a **kiváltó és szabályozó faktor (2.)** szerint. Így megkülönböztetünk:

- **endogén szukcessziót** (humuszosodás, talajkötés, mikroklíma változás – rendszerint együttes – hatására),

- **exogén szukcessziót** (emberi beavatkozások hatására, vulkánkitörés után), valamint
- **endo-exogén szukcessziót.**

Az **autogének (endogén)** szukcesszió során, a szukcesszió jelenségéhez szorosan hozzátartozók, a társulásoknak a fizikai környezetre gyakorolt hatásaiból eredőek a kiváltó faktorok (populációdinamikai folyamatok, az ökoszisztéma fejlődése, talajképzés, humuszfelhalmozás, a tápelemek szelektív felhalmozása a talajban, a talaj kémhatásának megváltoztatása, a növényállomány sajátos belső mikroklímája). **Exogén**, vagy **allogén** változások esetén valamilyen külső (a társuláson kívüli) erő hatására jön létre a fizikai környezet átalakulása, ami viszont visszahat magára a szukcesszióra. Ezek az **exogén tényezők** a következők: fényváltozás (világosabb ↔ sötétebb), a szubsztrát változása (el- és hozzáhordás, átforgatás), a laza szerkezet megszilárdulása (kavics-, törmelék-, homokkötés) a felszín közelében, víztelenítés, ill. elárasztás, szikesedés, ill. kiédesedés, tápanyag feldúsulás, ill. elszegényedés (külső okok miatt), legeltetés, kaszálás, égetés, feltörés, ill. ezek elhagyása, bekerítés (pl. vadkizárás), ill. kerítés-lebontás, imisszió terhelés, ill. annak megszűnése, klímaváltozás). Előbbire példa a primer szukcessziót kísérő humuszképződés, utóbbira egy folyóhordalékkal feltöltődő felszínen zajló szukcessziót gyorsító térszín változás. A fenti csoportosító szempontok nem mindig tisztán érvényesülnek, nem mindig mondható meg egyértelműen, hogy pl. egy szukcessziót kísérő környezeti változás endogén, vagy exogén. Ugyanakkor általánosságban elmondható, hogy egy-egy területen az *exogén*, illetve az *endogén* tényezők általában nem külön-külön, hanem együttesen váltják ki a szukcessziót.

7.2.2. Zárótársulás, klimax

A szukcesszió folyamatos stádiumokon keresztül megy végbe, amelynek van kezdeti, kifejlődött és hanyatlási szakasza.

A kezdeti szakaszában a kopár területeken először pionír társulás alakul ki. A növénytársulás változásának lassú folyamatában egyre nő az egyedszám, majd később a fajok száma is, végül kialakul a szukcesszió végső stádiuma: a terület klímájával összhangban álló, stabil növénytársulás a klimax (zárótársulás).

E folyamat lassú, akár száz évig is eltarthat. Európa mérsékelt éghajlati öveiben a zárótársulás általában lombdó, de például meszes talajokon pázsitfűfélékből álló növénytársulás is lehet. Ennek az oka, hogy az ott uralkodó szárazság nem teszi lehetővé fák megtelepedését. A klimax tehát függ mind az éghajlattól, mind a talajtól. Ha a szukcesszió a klimax felé halad, akkor **progresszív irányú**. A progresszív szukcesszió során az egyszerűbb életközösséget bonyolultabb váltja, a társulás fajszáma és diverzitása nő, térszervezete és belső kapcsolatrendszere összetettebbé válik (pl. puszta talajfelszín - gyepek - cserjések - erdők sorozat).

A **progresszív szukcesszió** a szociológiai progresszió irányába mutat. A progresszív szukcesszióon belül megkülönböztetjük :

- a *primer progresszív szukcessziót*, amely a természeti katasztrófák, erők hatására megy végbe (pl. vulkánkitörés, szigetkeletkezés, sziklás felszín kialakulása, lejtőtörmelék elmozdulása, visszahúzódó gleccser, homokdűne mozgása, állóvizek feltöltődése, folyók mederváltozása)

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

- valamint a *szekunder progresszív szukcessziót*, amely az ember által elpusztított vagy átalakított területeken megy végbe.

Ám nem minden szukcesszió fejeződik be egyensúlyi állapottal, azaz zárótársulással. A **regresszív szukcesszió** során a környezetbe bekövetkező romboló változások (például gyomosodás) végül az ökoszisztémát elpusztítják). A *regresszív szukcesszió* a szociológiai progresszióval ellentétes irányba mutató, valójában degradációt jelző folyamat (pl. katasztrófák hatására). Regresszív változást okozhatnak a kontinensek természetes ökoszisztéáiban a különböző földtörténeti korokban bekövetkezett éghajlati katasztrófák is, illetve a vulkánkitörések, futóhomok, stb. A regresszív szukcessziós változások során így egyszerűbb és fajszegényebb élőlényközösség váltja fel a bonyolultabbat, rendszerint valamilyen bolygatás eredményeként jelentkezik (pl. mérsékeltövi gyepek talajának N-ben feldúsulása (légköri ülepedésből vagy megtrágyázásra) és/vagy a gyakori (akár évente) leégése fajszegény fűtengert eredményez

Az egyes stádiumokban fejlődésük folyamán először nő, később csökken a saját létfeltételük optimalitása, s ezzel fokozódik egy másik stádium bekövetkezésének valószínűsége. Ha egy mérsékelt övben fekvő terület élővilágát tűzvész pusztítja el, az újonnan betelepülő vegetáció első képviselője a nyírfa. A sok fényt igénylő fák hamar elterjednek a területen. Évek múlva a kevesebb fényt igénylő erdeifenyő telepszik meg, amely pár évtizedes gyors növekedés után kezdi kiszorítani a nyírfaerdőt, amely aztán a fény hiány miatt teljesen vissza is szorul. Ezután az uralkodó fenyőerdőhöz társul a tölgy, majd a szukcesszió folyamatát az árnyékkedvelő bükk betelepülése fejezi be, így alakul ki a zárótársulás.

A szukcesszió folyamán a pionír stádiumtól távolodva fokozatosan nő a biomassza mennyisége, és egyre gazdagabb a fajállomány. E progresszív folyamat akkor tetőzik, ha a fajok mérete, életkoruk hossza és termékenyséjük eléri a maximumot. A specializálódott fajok most már olyan helyeket foglalnak el a társulásban, amelyek eddig nem is léteztek. Az öreg erdő fáin sok olyan állat él, amelyek egyáltalán találhatók meg a fiatal erdőkben.

A folyamat következő fázisa a hanyatló (**degradációs**) fázis, ekkor a fajok és egyedek száma fokozatosan a nullára csökken, a társulás kipusztul vagy helyét egy másik ökoszisztéma veszi át.

Valójában elmondható, hogy a szukcesszió három irányba történhet, így a **szukcesszió iránya szerint (3.)** megkülönböztetjük a fent említett

- **progresszív**, és
- **regresszív irányú szukcessziót**, illetve az ún.
- **ciklikus szukcessziót** is, amely gyakorlatilag a regresszív és a szekunder progresszív szukcesszió ötvözetének tekinthető (pl. tűz, széltörés, tarvágás, károsítók tömeges fellépte, idős állományok összeomlása).

A szukcessziót érintő **terület nagysága alapján (4.)** elkülönítünk:

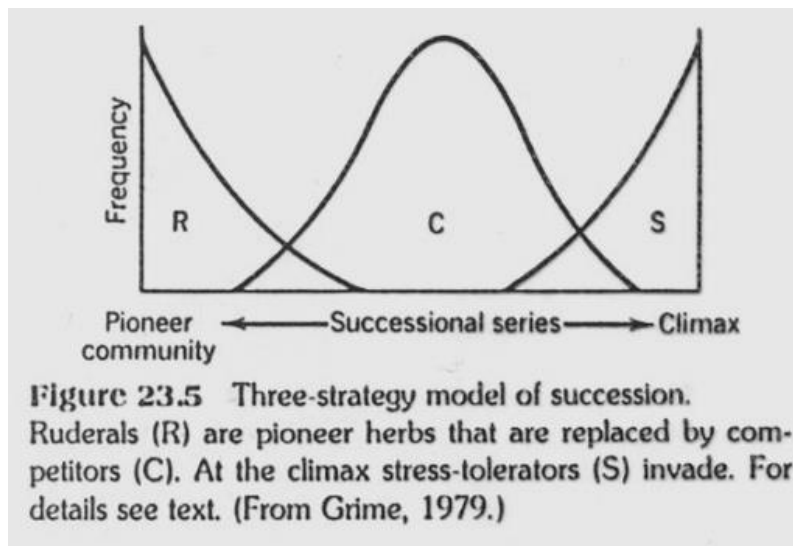
- **mikro szukcessziót** (pl. néhány fa kidőlése)
- **lokális szukcessziót** (egy állományra vonatkozik)
- **regionális szukcessziót** (egy nagyobb területre vonatkozik)

7.2.3. A vég (záró) stádium három típusa

- **Klimax állapot** – a makroklimával van "egyensúlyban". (A klíma-zonális és a klímaregionális vegetációtípusok tartoznak ide.)
- **Szubklimax állapot** – edafikus természetes tényezők (pl. tápanyag-szegénység, sófelhalmozódás, vízhiány vagy víztöbblet, elöntés, természetes tüzek) hosszabb időn keresztül megakadályozzák a klimaxhoz való eljutást (pl. ligeterdők, láperdők, homoki gyepek, sziklagyepek)
- **Paraklimax (diszklimax) állapot** – emberi hatás tartósan akadályozza meg a klimaxhoz, illetve szubklimaxhoz való eljutást (pl. fenyőelegyes – tölgyesek, sovány gyepek, üde rétek)

7.2.4. Életmenet stratégiák tömegességének változása biotikus szukcesszió során

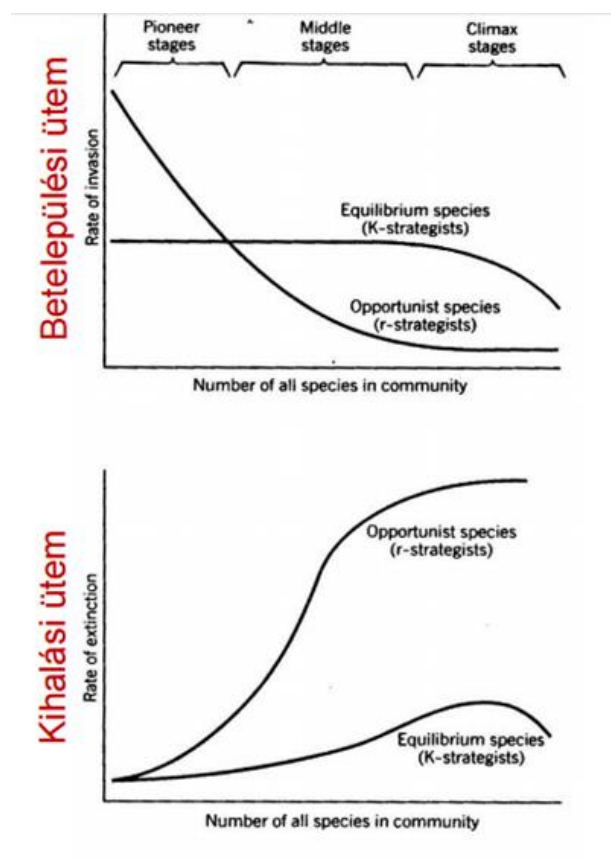
A növényzet előrehaladó szukcessziója során a kezdeti gyomjellegű (*ruderalis*, *R*) fajokat hatékony versengők (*kompetitorok*, *C*) váltják, majd a klimax zárótársulásban a *stressz tűrők* (*S*) lesznek legtöbben (37., 38. ábra; 8. táblázat).



37. ábra. Életmenet stratégiák tömegességének változása biotikus szukcesszió során

8. táblázat. Életmenet stratégiák jellemző paramétereinek alakulása a biotikus szukcesszió során

Jellemző	Kompetitív	Stressz-tolerátor	Ruderális
Életforma	-	-	lágyszárú
Hajtás-morfológia	sűrű lombozat	-	Kis termet
Élettartam	-	nagyon hosszú	nagyon rövid
Virágzás	évente	időnként	évente
Reproduktív érettség	későn	későn	korán
Reproduktív képesség	kicsi	kicsi	nagy
Áttelelő szerv	rügy, mag	levél, gyökér	mag
Növekedés	gyors	lassú	gyors
Avar	sok, megmaradó	kevés, megmaradó	kevés, elbomló
Herbivória mértéke	változó	kicsi	gyakran nagy



38. ábra. Életmenet stratégiák (r-startégisták, K-stratégisták) tömegességének alakulása a betelepülési, valamint a kihalási ütemben

7.2.5. A szukcesszió elemi lépései (9. táblázat):

1. **Üresedés (nudáció):** benépesítetlen, csupasz talajfelszín megjelenése (pl. vulkáni láva, homokdűne, stb.)
2. **Területre érkezés (migráció):** élő szervezetek érkezése az új felszínre (kolonizáció). Nem minden érkező szervezet marad életben!
3. **Alkalmazkodás (öközís):** idomulás az új termőhelyhez. Az érkező szervezetk közül a megmaradók egyrészt alkalmazkodottságuk révén képesek megtelepedni, részben viszont helyben módosulásuk eredményeként.
4. **Visszahatás (reakció):** a megtelepülő szervezetek saját működésükkel visszahatnak az élőhely egyes sajátosságaira (pl. kőzetek mállasztása, növényi tápelemek szelektív felhalmozása, humuszképződés, talaj pH megváltoztatása, stb.), ami által az élőhely még alkalmasabbá válik a benépesítésre.
5. **Versengés (kompetíció):** versengés a megtelepedett és alkalmazkodott szervezetek között a korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló forrásokért. (Kompetitív kizáródás, vagy niche differenciálódás.)
6. **Egyensúly (stabilizáció):** az élőlényközösség kellően hosszú idő eltelte után egyensúlyba kerül a környezetével, kialakul a klímax társulás (háborítatlan esetben, egyensúlyi elképzelés).

9. táblázat. A korai és a kései szukcessziós állapotok összehasonlítása

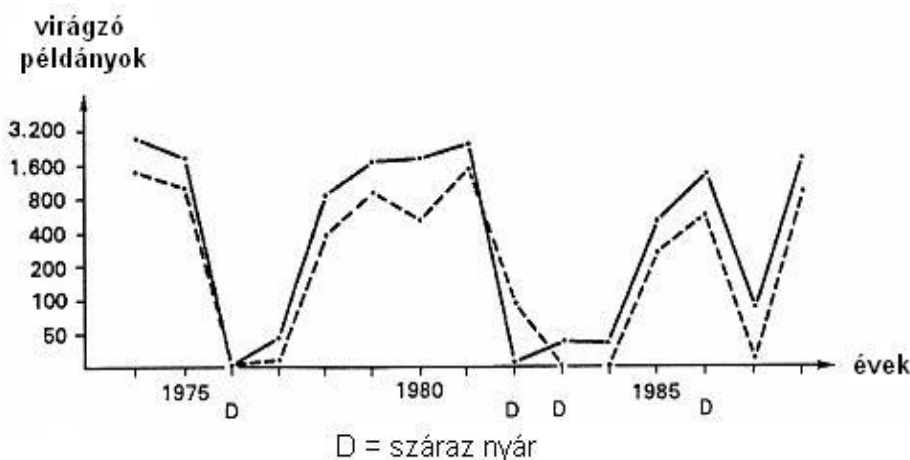
SAJÁTSÁG	KORAI FÁZIS	KÉSEI FÁZIS
Társulás szintű tulajdonságok		
Fajszám, diverzitás	kicsi	nagy
Meghatározó környezeti tényezők	abiotikus	biotikus
Társulás térszerkezete	egyszerű	összetett
Társulás kapcsolatrendszere (pl. tápl. háló)	egyszerű	bonyolult
Biomassza (meglévő)	kevés	sok
Új biomassza termelése (produktivitás)	intenzív	mérsékelt
Az ásványi tápanyagok raktározódása	talajban	biomasszában
A lebontó folyamatok részesedése	kicsi	nagy
Alkotó fajok toleranciasajátosságai		
Életmenet stratégia	r	K
Egyedi növekedési ütem	gyors	lassú
Fényigény (erdei szukcessziós sor)	fénynövények	árnyéknövények
Magvak csírázása	fényigényes	sötétben is
Magnyugalom	alig	jellemző
Magok (szaporító képletek) élettartama	rövid	hosszú
Magterjesztés fő módja	szél, (víz)	állatok
Niche szélesség szerint	generalisták	specialisták

7.3. Fluktuáció - Vegetációingadozás

A néhány éven át tartó, általában ritmikus változásokat értjük **fluktuáción**, amelyek egy középállapot körül mozognak, miközben a fajkészlet nem változik, csak az egyedszám (ezzel együtt a borítás-viszonyok), illetve a produktum (ingadozás, évek eltérő időjárásának, a populációk belső sajátságainak (pl. öregedés, ugrásszerű szaporulat), vagy egyes biotikus kölcsönhatásoknak (pl. kártevők elszaporodása) tulajdoníthatóan egyes időszakban a társulást alkotó egyes populáció(k) tömegviszonyai módosulnak) (39. ábra). Mivel a külső körülmények változékonyak, az egyedszám is folyamatosan változik. Az ilyen típusú változás a rövid életciklusú lágyszárúak esetében sokkal szembetűnőbb, mint a fákéban. A különböző fajok reakciója eltérő, így a társulást jellemző fajtextúra évről évre kicsit változhat. Erre a jelenségre példaként az üde bükkösök útjain, illetve patakmedrek közelében megfigyelhető *nagy csalán–erdei nyenyéljáhozám* fluktuáció említhető. Bizonyos években az egyik, más években a másik faj válik dominánssá

A vegetációingadozást kiváltó okok:

- csapadékviszonyok (mennyiség és eloszlás) változása évről–évre
- a vegetációs időszak elején a fölmelegedés kezdete
- talajvízszint-ingadozás
- az elöntések gyakoriságának és intenzitásának változása
- emberi ill. állati beavatkozások



39. ábra. Egy orchideafaj két populációjában a virágzó egyedek számának változása 1974-1988 között (**Fluktuáció**: az egyes populációk egyedszámában beálló változásokból eredő dinamikája)

7.4. Szintezettség és mintázat

A társulások időbeni változása mellett azok térbeli kiterjedése is fontos jellemző, melynek két típusát, a **szintezettséget** és a **mintázatot** különböztetjük meg.

A **szintezettség** a társulásokat alkotó populációk függőleges (vertikális) irányú megjelentését jelenti. Példaként említhető egy mérsékeltövi hegyvidéki lomberdőben élő növénytársulások szintezettsége, aminek a kialakulása döntően a fényért való versengés eredménye. Az egyes szinteken a fényen kívül

egyéb élettelen környezeti tényezők értékei is jelentősen különbözhetnek. Egy ilyen élőhelyen talajszint (ezen belül gyökérszint), mohaszint, avarszint, gyepszint, cserjeszint, valamint a lombkoronaszint különíthető el. Az utóbbi a fák magasságától függően még további szintekre tagolódhat, hazánkban egy vagy két lombkoronaszintet lehet megkülönböztetni, de egy fajokban és egyedekben is gazdagabb trópusi esőerdőben akár több lombkoronaszint is kialakulhat.

A mérsékelt övi lomberdő szintjei (10. táblázat):

- **talajszint:** a társulások legalsó szintje, ahol a talajélet folyik. Mikroorganizmusokban gazdag. A növények lehatolási mélységéig a talajban el lehet különíteni a gyökérszintet.
- **gyökérszint:** a legalsó szint, amely a termőtalaj felszíni rétegétől a legmélyebbre lehatoló gyökerekig tart. Termelői kemotróf nitrifikáló baktériumok, lebontói a felaprózást végzők (talajlakó ízeltlábúak, férgek, stb.). Fogyasztói pl. vakond és különféle bogarak.
- **avarszint:** a lehullott és bomlásnak indult levelek szintje. Termelő szervezetek nem jellemzők rá, szaprofita szervezetei a gombák és a baktériumok, fogyasztói a gerinctelen fauna tagjai (csigák és ízeltlábúak). Így gazdag ízeltlábú fauna jellemzi és sok gombafaj található meg benne.
- **mohaszint:** a erdőtársulások egyik lehetséges szintje. A mohák nagy jelentőségűek lehetnek a víz megőrzésében és a talajfelszíni mikroklíma kialakításában. Magyarországon, mint télen is fotoszintetizáló szint jelentős.
- **gyepszint:** Lágyszárú növények által alkotott szint a társulásokban. A gyepek képző növények magassága szerint megkülönböztethetünk aljfüveket és szálfüveket. Fontos termelői szint, termelői a lágyszárúak, fogyasztói főleg ízeltlábúak.
- **cserjeszint:** A cserjék által képezett, változó fejlettségű szint, a bokrok lombzatát jelenti, gazdag ízeltlábú faunával. A bokrok lombzatában sok madár fészkel.
- **lombkoronaszint(ek):** A társulások legfelsőbb szintje, általában a fák magasságától függően még további szintekre tagolódik. Magyarországon egy vagy két szintet lehet megkülönböztetni (pl. gyertyános tölgyes, ahol az alsó lombkorona szintet a gyertyán, a felsőt a kocsánytalan tölgy lombzata jelenti), egy trópusi esőerdőben 5-7 is kialakulhat. Fejlettsége jelentősen befolyásolja a többi szint fejlettségét.

10. táblázat. Mérsékelt övi lomberdő szintjeinek, azok összetételének alakulása

Állományszintek	Magasság	Összetétel		
		Erdők	Cserjések	Gyepek
Faszint	> 5 m	fák	-	-
Cserjeszint	5 – 0,5 m	cserjék, fiatal fák	cserjék, (fiatal fák)	-
Gyepszint	1,5 – 0 m	fák és cserjék újulata + törpe- és félcserjék, lágyszárú növények	(fák és) cserjék újulata +	
Mohaszint	10 cm – 0 cm	mohák, zúzmók, gombák és algák		
Alomszint	átmenet	gombák micéliumai és baktériumok, talajállatok, elhalt szervesanyag		
Gyökérszint	< 0 m	gyökerek és hajtásrészek (rhizóma, hagyma, gumó, stb.)		

A növénytársulások ilyen jellegű térbeli kiterjedéséhez általában az állatok, gombák, mikroorganizmusok is alkalmazkodnak. Szemléletes példát szolgáltatnak erre az erdőlakó fészkelő madarak, megkülönböztethetünk **arborikol** (koronaszintben költő), **dendrikol** (fatörzsszintben költő), **fruticikol** (cserjeszintben költő) és **terrikol** (talajszinten költő) fajokat.

A **mintázat**, a színtezettség szemben, a társulás tagjainak vízszintes (horizontális) irányú megjelenését jelenti, amely növény- és állattársulásokra egyaránt jellemző lehet. A vízszintes elrendeződés oka a kedvező környezeti tényezőkért vívott küzdelem, aminek következménye a társulás mintázata. Példaként említhető a növények fényért folytatott versengése, ami a mintázat esetén nem az egymást magasságukban túlnőni igyekvő fák versenyét, hanem az erdő belsejétől az erdőszélek felé haladva, az eltérő fényigényű növények megjelenését jelenti. Ugyanilyen módon képzelhető el a megfelelő talajtulajdonságokhoz, így a nedvesség mennyiségéhez, a kedvező kémhatáshoz, a tápanyagok eloszlásához való alkalmazkodás következtében kialakuló vízszintes irányú struktúra is.

A **horizontális struktúra** (mintázat) alapegysége: a **folt**. A **folt** egy-egy szintben a többé-kevésbé homogén, viszont a szomszédos területektől (foltoktól) elütő szerkezeti elemeket (területi egységek) jelenti. A mintázat esetén kevesebb törvényszerűség figyelhető meg, mint a vertikális struktúrájánál. A foltok létrejötte különböző terjedési módokra, stratégiákra, tűrőképességekre, szelekciós mechanizmusokra, dinamikai folyamatokra, valamint az egyedek kölcsönhatásaira és a termőhelyi mozaikra vezethető vissza. A foltok összessége egy-egy szint mintázatát hozza létre, tehát a mintázat szintenként is értelmezhető.

Mintázatot befolyásoló tényezők:

- A talaj tápanyagtartalma: pl. indikátor fajok jelenléte
- A vízellátottság különbségei: pl. források körüli fajgazdagság
- A talajban feldúsuló szennyező anyagok eloszlása
- A populációk szaporodási erélye, módja (ivartalanul; állatok közreműködésével, stb.) : pl. gombák boszorkánykörei
- Emberi beavatkozások: pl. légi régészet

Az élőlények az említett főbb törvényszerűségeken kívül egyéb hatásoknak is engedelmessé válnak térbeli elrendeződésük során. Fontos jelenség a **szegélyhatás**, mellyel az eltérő társulások találkozásánál találkozhatunk. A szegélyhatás következtében a két társulás találkozási sávjában megnövekedett biodiverzitást figyelhetünk meg, ahol mindkét társulásra jellemző fajok fellelhetők. A szegélyterületek sugárzási, légáramlási, lég- és talajhőmérsékleti, relatív páratartalmi viszonyai mindkét határoló területétől eltérnek. A szegélyhatás szerepe különösen a kisebb élőhelyfragmentumok esetében hangsúlyos, hiszen fragmentálódott élőhelyen a szegélyek kiterjedése arányaiban meglehetősen nagy lehet, ami miatt a szegélyek egy-egy tájrészletben uralhatják a tájat.

7.5. Diszturbancia

A **diszturbancia** (zavarás) a természetes folyamatokat hirtelen, általában drasztikusan megszakító esemény. A megbolygatott életközösség szerkezetében, működésében a helyreállításra törekszik. A *zavarás forrása* lehet pl. tűz, szél, villámcsapás, vulkánkitörés, gleccser, túllegeltetés, parazita járványszerű pusztítása, ember tájhasználat, illetve talajlakó állatok földépítményei, „ökológiai mérnök” nagytű állatok (pl. bölény, hód, elefánt, stb.) okozta élőhelyi bolygatás. *Hatása* rendszerint nem szelektív (hasonlóan hat a közösség populációira) és sűrűségtől független (a populációmérettel nem arányos a következménye). Térbeli kiterjedése befolyásolja a regenerálódás sebességét és mechanizmusát:

- **apró foltok** helyreállítása a szomszédos egyedek által
- **közepes foltokon** a helyben lévő magbank vagy rügybank felcseperedésével
- **nagy foltok** benövésében a távoli területekről a kolonizációnak nagy szerepe

A zavarást jellemzi:

- **Gyakoriság:** az élőlényközösséget alkotó élőlényfélések élettartamához, illetve az azzal arányos regenerációs szukcessziós folyamatok időskálájához mért ismétlődés gyakorisága (túl gyakori bolygatás: fajszegény, korai szukcesszionális társulások maradnak csak meg).
- **Kiszámíthatóság:** a rendszertelen ismétlődés közösséget szegényítő hatása nagyobb, mint a rendszeresé
- **Hatása a társulásszerveződésre:** közepes bolygatás hipotézise – diverzitás maximális egy mérsékelt bolygatásnál
- **Leromlás (degradáció):** a közösség elszegényedik, szerkezete és működése leegyszerűsödik, mert nem képes regenerálódni a gyakori bolygatás hatásától.
- **Szukcesszionálisan köztes állapotot állandósíthat:** a gyakran ismétlődő bolygatás megakadályozza a klimax társulás elérését. Pl. mediterrán tájak – a tűz a tövicszerű makkját stabilizálja a kiirtott keménylombú erdők helyén
- Ha a **bolygatások időben nem szinkron történnek**, több szukcessziós állapot is mozaikszerűen együtt élhet térben.

A társulásokat jellemzi a **zavarással szembeni ellenállás**, vagyis az élőlényközösségeket jellemezhetjük annak *stabilitásával*. A **rezisztencia** a kimozdulással szembeni ellenállást jelenti. A klimax társulások általában rezisztensek - pl. a pleisztocén – holocén határán (1600-1300 éve) bekövetkezett felmelegedés mögött 1000 évvel elmaradtak a vegetációs változások. A **reziliencia** a társulás kimozdítás utáni visszatérés képességét jelenti. A *K-stratégiájúak dominálta társulás* rezisztenciája általában magas, de rezilienciája mérsékelt, míg a zömmel *r-stratégiájúakból álló* a rezisztenciája kisebb, rezilienciája magasabb.

A **devasztáció** a degradáció leg súlyosabb esete, egy adott rendszer teljes kipusztulása többnyire antropogén behatásra. Devasztáció az erdőkben a tarvágások után beinduló kopárosodás, a helytelen talajművelés, túlzott öntözés hatására bekövetkező talaj leromlása. Természetes okaként az eróziós vagy deflációs pusztulás említhető meg. A meg nem akadályozott devasztáció, illetve annak tartós fennállása végül elsivatagosodást idézhet elő.

7.6. A társulások szerkezetét befolyásoló emberi hatások:

- **A növénytakaró megváltoztatása:** nagykiterjedésű erdőirtások, helyükön mezőgazdasági kultúrák (esetleg sivatagok) kialakulása.
- **Mesterséges élőhelyek kialakulása:** emberkedvelő, illetve emberhez kötődő (szünantróp) állatfajok/fauna kialakulása.
- **Állatfajok betelepítése és behurcolása:** pl. haszon és szünantróp állatok, egzotikus állatok, kártevők.
- **Környezetszennyezés:** a talaj, a víz és a levegő szennyezése káros (toxikus) szervetlen, szerves, szintetikus és sugárzó anyagokkal.
- **Élőhelyek feldarabolódása** (metapopulációk kialakulása).

8. Biodiverzitás

A biológiai sokféleség kifejezéssel az élet megjelenési formáinak gazdagságát, az élővilág változatosságát és változékonyságát fejezzük ki, ami összetettségénél fogva a biológiai szerveződés valamennyi szintjén értelmezhető. Az élet sokféleségének teljességét írja le, hiszen egyrészt az élet minden megjelenési formájának (állat növény, gomba, mikroorganizmus, stb.), másrészt a hierarchikusbiológiai szerveződés minden egyed feletti és alatti szintjének sokféleségét lefedi. A biodiverzitás definíciójának döntő többsége 3 szintet különít el: genetikai diverzitás, taxondiverzitás, ökológiai diverzitás. Nem létezik olyan mérési módszer, amellyel a biodiverzitás teljessége számszerűsíthető lenne, ehelyett egyes komponenseit mérjük. Sok esetben nincs lehetőség az alábbiakban leírt mérések kivitelezésére. Ilyenkor biodiverzitás-indikátorok alkalmazásához lehet folyamodni.

8.1. Genetikai diverzitás

A fajon vagy populáción belüli genetikai változatosságot jelenti. E változatosság a mutáció, a rekombináció, és a bevándorlás révén keletkezik. A genetikai variabilitás és a rátermettség között pozitív kapcsolat van, hiszen egy nagyobb genetikai változatossággal rendelkező faj, az egyedek génjeiben kódolt változatos tulajdonsághalmaz következtében nagyobb eséllyel képes alkalmazkodni a változó környezeti, élőhelyi viszonyokhoz. Ezáltal a genetikai variabilitás feltétele a természetes szelekciónak és megteremti az új fajok keletkezését eredményező evolúciós változások alapjait. A genetikai változatosság elvesztése napjainkban alapprobléma, mely nem határolható el az emberi tevékenység negatív hatásaitól, éppen ezért megőrzése a természetvédelem nagyon fontos célkitűzése.

A genetikai sokféleségről 4 szinten gondolkozhatunk:

- **egyes fajok közötti genetikai távolság:** Külső megjelenésükben rendkívül hasonló, sőt anatómiai bélyegek alapján gyakorlatilag megkülönböztethetetlen, de genetikailag elkülönült ún. sibling fajok, pl. egyes *Drosophila*-fajok.
- **fajon belüli/egy faj több populációja közötti genetikai távolság:** az eltérő környezeti viszonyok közötti szelekció eltérő irányával magyarázható. Pl. eltérő hőmérséklethez vagy vízellátáshoz való alkalmazkodás eredményeképp, de különösen a mesterséges szelekciónak kitett fajok esetében szembetűnő (pl. a brokkoli a karfiol a fejes- és a kelkáposzta ugyanannak a fajnak a különböző nemesített formája). Vadon élő fajok esetében jó példa erre az eltérő hőmérsékleti viszonyokhoz való alkalmazkodás eredményeképp létrejött változatosság (pl. róka-fajok). Az egy populációhoz tartozó egyedek közötti genetikai diverzitás apróbb morfológiai, illetve funkcionális, viselkedésbeli eltérésekben nyilvánul meg, és hosszabb távon lehetővé teszi az egyedek révén a populáció egésze számára a változó környezeti körülményekhez való alkalmazkodást. A populáción belüli változatosság azt jelenti, hogy a természetes populáció egyedei hasonló megjelenési formájuk ellenére számos genetikai tulajdonságban eltérnek egymástól. Az egyedeken belüli genetikai változatosság az azonos lókuszon megjelenő két eltérő allél, vagyis a heterozigótaság formájában, illetve a heterozigóta lókuszok teljes genomon belüli arányban jelentkezik. A heterozigótaság változatosabb tulajdonságokat eredményez az egyeden belül, aminek következtében több tulajdonságkombináció jöhet létre, ezzel növelve az egyed alkalmazkodási, fennmaradási esélyeit

- **egy populációhoz tartozó egyedek közötti genetikai diverzitás:** pl. apróbb morfológiai eltérések (méret, szín), funkcionális eltérések (rügyfakadás időzítésében változatosság).
- **egy egyed genetikai állományán belüli genetikai diverzitás:** Az azonos lókuszon megjelenő két eltérő allél, vagyis a heterozigótaság formájában, ill. a heretozigóta lókuszok teljes genomon belüli arányában jelentkezik.

A genetikai sokféleség döntő része a fajok milliói között meglévő genetikai különbségekben ölt testet. Ugyanakkor a fajokon, populációkon belüli genetikai változatosságnak is rendkívül fontos szerepe van. Ez teremti meg a **természetes szelekció**, az alkalmazkodás, az evolúció lehetőségét. A *nagyobb genetikai diverzitással rendelkező populációk nagyobb eséllyel alkalmazkodnak az állandóan változó környezethez*. Több evolúciós tankönyv a természetes szelekció lényegét a nyírfaaraszó lepke (*Biston betularia*) példáján keresztül szemlélteti. Ennek a lepkének világos és sötét színváltozata ismert. A 18. század első felében a lepkének szinte csak világos színű példányai fordultak elő Manchester környékén, a sötét fenotípus gyakorisága nagyon alacsony volt. A sötét mintázatú rovarokat ugyanis a nyírfák kérgén és a világos zuzmóval borított felületeken a madarak könnyen észrevették és elfogyasztották. Azaz a sötét színű egyedek gyakoriságát a szelekció alacsonyan tartotta. Az ipari forradalom idején egyrészt szennyezés borította be a fák kérgét, másrészt a légszennyeződés hatására a zuzmók eltűntek. A sötét felszínen a világos lepke vált feltűnővé: néhány évtized alatt a környék nyírfaaraszó populációiban a sötét és világos fenotípusok aránya megfordult. Noha, a jelenség már régóta ismert, az eltérő színváltozatok genetikai magyarázata eddig ismeretlen volt. Most a Liverpooli Egyetem kutatói azonosították a színváltozásért felelős gént, és megállapították, hogy a sötét színváltozat kialakulásáért felelős gént változat a 17-es kromoszómán helyezkedik el. Összehasonlító vizsgálatokból az is kiderült, hogy éppen ez a genomikus régió felelős más lepkefajokban is a szárnymintázat kialakításáért.

A nagyobb genetikai változatossággal rendelkező fajok nagyobb valószínűséggel szélesebb elterjedésűek, változatosabb élőhelyek meghódítására képesek, ugyanakkor a heterogén élőhelyet benépesítő faj nagyobb valószínűséggel válik genetikailag változatossá.

8.1.1. A genetikai diverzitás mérése

Az allélok vagy allélkombinációk számosságával és arányával mérhetjük.

- **Polimorfizmus:** A polimorfizmus az adott populáción belül a polimorf gének arányát adja meg. Azt a gént tekintjük polimorfnek, amelynél a leggyakoribb allél gyakorisága kisebb egy önkényesen megadott küszöbnél, pl. 95%-nál. A polimorfizmus az allélok eloszlásán, nem a genomtípusok eloszlásán alapul, tehát egy csupa homozigóta egyedből álló populáció is lehet polimorf.
- **Heterozigócia:** A genetikai diverzitás kifejezhető a lókuszonkénti és az egész genomra átlagos heterozigóciával. Két alkalmazási módja:
 - Azt vizsgálják, hogy a tapasztalt heterozigócia hogyan viszonyul az adott allélgyakorságok Hardy-Weinberg-szabály szerinti, vagyis teljesen szabad párosodás által létrehozott megoszlása esetén várt heterozigócia mértékéhez
 - Azt vizsgálják, hogy a fajon belüli teljes genetikai diverzitás mekkora hányada származik az egyes populációkon belüli, ill. az egyes populációk közötti genetikai változatosságból.

8.2. Taxondiverzitás

Egyes életközösségek fajokban vagy más taxonómiai egységekben való gazdagságát jelenti. Arra reflektál, hogy egy objektumcsoportból két objektumot véletlenszerűen kiválasztva, mekkora valószínűséggel jósolhatjuk meg, hogy kettő azonos. Ez függ a fészeségek-legegyszerűbb esetben fajok-számától és tömegességi arányaiktól. Így leggyakrabban a fajszámmal jellemezhetjük. Itt azonban nem csupán a fajok száma, de a fajösszetétel minősége (pl. az őshonos, és tájidegen fajok aránya, jelenléte) és a jelenlévő fajok tömegessége (egy-egy fajt képviselő egyedek száma) is fontos. Minél több faj alkotja a társulást, és minél kiegyenlítettebb az alkotó fajok egyedszáma, annál magasabb a társulást jellemző diverzitásérték. Annak ellenére, hogy a faji változatosság a biológiai sokféleségnek, és így a társulások diverzitásának is a leggyakoribb értelmezése, előfordulhat, hogy más, faj alatti vagy faj feletti rendszertani egységek diverzitásának a vizsgálata is szükségessé válhat. Ezért nem szabad leszűkíteni a kérdéskört csupán a fajgazdagság szintjére, hiszen lehetőség van, és adott esetben szükséges lehet más rendszertani egységek, így a nemzetségek, családok sokféleségének a vizsgálata, mérése is.

8.2.1. A taxondiverzitás mérése:

- Shannon-függvény - a ritka fajokra érzékeny

$$H = -\sum p_i \log p_i$$

($i=1$, p_i : az i faj előfordulási valószínűsége)

- Simpson-függvény – a domináns fajok egyedszámára érzékeny

$$D = 1 / \sum p_i^2$$

Egyenletesség $J = H / \log S$
(H : Shannon-diverzitás, S : fajszám, $\log S$: a diverzitás értéke maximális egyenletesség esetén)

A diverzitásfüggvények közös tulajdonsága, hogy a fajszámmal és az egyenletességgel is növekednek. Az egyenletesség az a mérték, ami kifejezi, hogy a társulás összegyedszáma (borítás, biomassza) mennyire egyenletesen oszlik meg a felépítő fajok között. Annál sokfélőbb a társulás, minél egyenletesebb ez a megoszlás, hiszen annál kevésbé valószínű, hogy két véletlenszerűen kiválasztott egyed azonos fajhoz fog tartozni.

$$E = H / H_{\max} = H / \ln S$$

(E : egyenletesség, H : aktuális diverzitás, $H_{\max}$: adott fajszám mellett maximális diverzitás, S : fajszám)

Tehát azonos fajszámú társulások közül az a diverzebb, amelyiknek nagyobb az egyenletessége.

8.3. Ökológiai diverzitás

A közösségeket felépítő populációk számát és tömegarányát, a komponensek tér- és időbeli mintázataiban, funkcionális kapcsolataiban (pl. predáció, parazitizmus) megjelenő sokféleséget jelenti. Ennek egyik fontos eleme a **funkcionális diverzitás**, ami tulajdonképpen a fajkombinációk, vagyis a lokális együttélési módok sokfélesége, és ide tartozik a táplálkozási szintek, vagy a guildék számában és gazdagságában megjelenő sokféleség is, ami növeli a társulások

alkalmazkodóképességét, stabilitását. Az ökológiai diverzitás fontos megnyilvánulása a **szerkezeti diverzitás** is. Ez a sokféleség a fajok, növekedésformák, korcsoportok és mindezek térbeli elrendeződéséből adódó fizikai szerkezetet jellemzi.

Az ökoszisztéma vagy táji szintű diverzitást is az ökológiai diverzitásba soroljuk. Ez az alkalmazott térbeli skálától függően jelentheti egyetlen társulásféleség különböző szukcesszionális állapotainak sokféleségét ugyanúgy, mint egy nagyobb térségben az előforduló társulástípusok számából és mintázataiból adódó sokféleséget.

8.3.1. Az ökológiai diverzitás mérése

- **kompozíciós v. florális diverzitás:** A térbeli mozaikosságból eredő sokféleséget jellemzi oly módon, hogy az állományba véletlenszerűen kihelyezett mintavételi egységekben a megvalósult fajkombinációk diverzitását méri. Értéke függ a térléptéktől.
- **élőhely-diverzitás:** Egy társulás vagy táj fajgazdagsága nagyban függ a benne előforduló élőhelyek (habitatok) sokféleségétől. Megfelelő élőhely osztályozási rendszerrel az élőhely-diverzitás is kifejezhető a taxondiverzitás méréséhez használt függvényekkel.
- **funkcionális ökológiai diverzitás:** A közösségeken belül értelmezhető kölcsönhatások sokféleségével jellemezhetjük. Ez legegyszerűbb esetben a táplálékhálózat sajátosságainak jellemzésével tehető meg (pl. trofikus szintek száma, guildek száma).

8.4. Biodiverzitás

A taxondiverzitás mértékei (fajszám, diverzitásindex) csak a komponensek számára és gyakoriságára érzékenyek. Ezzel szemben a biodiverzitás fogalma természetesség és ritkaság szempontjából is különbséget tesz a fajok között. Pl. egy kiskunsági homoki erdő diverzitás szempontú értékelésekor az őshonos kocsányos tölgy egyenértékű az észak-Amerikából származó akáccal, míg a biodiverzitás szempontú értékelésben a tölgy védendő fontos érték, az akác viszont nem. Így két társulás természetvédelmi szempontú összehasonlítása pusztán a diverzitási index alapján nem értelmes, a diverzitás és biodiverzitás fogalmak szinonimaként való használata nem feltétlenül helyes.

8.4.1. Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer

A Riói Egyezményben vállalt kötelezettségek teljesítésére a biológusok és természetvédelmi szakemberek összefogtak, hogy feltárják a hazai élővilág sokfélesége csökkenésének okait. A Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer kialakítását a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium Természetvédelmi Hivatala kezdeményezte és szervezte. A Magyar Tudományos Akadémia Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete kidolgozta a biodiverzitás-monitorozó tevékenység elméleti alapjait, a Magyar Természettudományi Múzeum kutatói összegyűjtötték a monitorozás hazai előzményeit.

A hazai monitorozó tevékenység kijelölését a következő fő szempontok befolyásolják:

- védett, veszélyeztetett természeti értékek állapotának nyomon követése,
- Magyarország élővilágának, életközösségeinek általános állapotát jelző elemek megfigyelése; valamilyen emberi tevékenység vagy környezeti tényező közvetlen vagy közvetett hatásának vizsgálata.

8.4.2. Kulcsfajok

A fajok különböző mértékben fontosak a közösség túlélése szempontjából. A kulcsfaj a mennyiségéhez képest aránytalanul nagy hatású tagja az életközösségnek. Eltűnésekor a közösség erősen átalakul, ők „az evolúciós színjáték főszereplői”. A kulcsfajok felderítése alapvető fontosságú lenne a természetvédelem számára, azonban sokszor csak utólag derül ki, hogy a közösség összeomlása összefüggött egyik tagjának előzetes kihalásával, így az egy kulcsfaj lehetett. Tehát a teljes életközösség biomasszájának csak kis hányadát adják, de az egész társulás fennmaradása szempontjából jelentős szerepet töltenek be, jelenlétükkel, tevékenységükkel sok más faj előfordulási feltételeit teremtik meg. Ennél fogva védelmük a természetvédelmi tevékenység kiemelt prioritása kell legyen, hiszen egy kulcsfaj kipusztulása valószínűleg sok más faj eltűnését vonja maga után.

Ilyen kulcsfaj szerepet tölt be például az Észak-Amerika Csendes-óceáni partvidékén élő tengeri vidra is. Itt a sekély vizeket hatalmas termetű barnamoszatok népesítik be, valóságos víz alatti erdőket alkotva. Az algaerdő sok hal, puhatestű és számtalan gerinctelen állatfaj számára kiváló élőhelyet jelent, sőt a partot is védi a hullámok eróziójától. Az algák kitermelése és ipari felhasználása az alga erdő kihalását elősegítette, azonban ott is észlelték a pusztulását, ahol nem volt kitermelés. Feltűnt, hogy az algaerdő eltűnése szoros összefüggésben van a tengeri vidrák számának drasztikus csökkenésével. Ezeket az állatokat a bundájukért vadászták, de néhol a halászok is irtották, mert halakkal is táplálkozik. Végül kiderült, hogy a vidra fő tápláléka egy tengeri sün, amely a barnamoszatokat fogyasztja.

A vidrák eltűnésével drasztikusan megnőtt a tengeri sünök mennyisége, amelyek csaknem teljesen lelegették az algaerdőt, elpusztítva ezzel sok más faj élőhelyét, köztük sok halét is. A tengeri vidrát több helyre sikerült visszatelepíteni, ezeken a helyeken az algaerdők szépen regenerálódtak. Kulcsfajok pl. a csúcsragadozók, mert kiemelt szerepük van a növényevő-populációk szabályozásában; repülő kutyák, melyek elsődleges megporzói egyes fafajoknak; ökoszisztéma-mérnök fajok (hód) stb.

A közösségek szerkezetének meghatározó elemei a funkcionális fajcsoportok, vagy **koalíciók**. Koalíciót alkothatnak például egy gyeptársulásban a szálfüvek, egy másikat a pillangósok.

8.4.3. Esernyő fajok

Azokat a fajokat, amelyek megóvása, illetve élőhelyük védelme által más fajok védelme is megvalósul, **esernyő fajoknak** (umbrella species) nevezzük. Az esernyő fajnak kiválasztott állat minimális területigénye akkora kell legyen, hogy a közösség többi tagját is magába foglalja. Jól ismert biológiával és könnyen vizsgálhatósággal kell, hogy rendelkezzenek (egyszerűen megfigyelhetőnek, vagy könnyen mintavételezhetőnek kell lenniük).

A jó esernyő faj jellemzői:

- nagy testméret,
- lassú szaporodási ráta,
- nagy területigény,
- vándorló életmód,

- nagy populációméret,
- nagy földrajzi elterjedés,
- legyen élőhelyspecialista,
- az antropogén behatásokra nem kell feltétlenül érzékenynek lennie, de fontos, hogy tartós fennmaradási idővel rendelkezzen. Pl.: Kaliforniai tarkalepke (*Euphydryas edithas bayensis*): Kaliforniában őshonos faj, védelmével a tavasszal virágzó endemikus virágfajok mintegy 98%-a védelem alá kerül.

8.4.4. Zászlóshajófajok

A zászlóshajófajok veszélyeztetett, az emberek számára figyelemreméltó, közvéleménynek tetsző fajok. Természetvédelmet népszerűsítő propagandára alkalmasak. Védelmi programjaikhoz sok más élőlénycsoport védelme kapcsolható. A nagytestű ragadozók például hatalmas területeket járnak be élelemszerzés céljából, amennyiben a faj vagy élettere védelmet élvez, számos olyan egyéb faj védelme biztosítható. Pl.: óriás panda (*Ailuropoda melanoleuca*), barna medve (*Ursus arctos*), szürke farkas (*Canis lupus*).

8.4.5. Kulcsforrások

A védett területeket gyakran méretük alapján értékelik, mert általában nagyobb területen több faj lehet megtartani. Bizonyos élőhelytípusok azonban kiterjedésüktől függetlenül kulcsfontosságú forrásokat szolgáltathatnak. Ilyen kis kiterjedésű, de sok faj számára kritikus források pl. az odvas, vastag fák; természetes szók és ásványianyag-lelőhelyek olyan erősen csapadékos élőhelyeken, ahol kimosódnak az ásványos anyagok; vízfolyások mélyvízű üregei.

8.4.6. A biodiverzitás megoszlása a Földön

A Földön a leginkább fajgazdag élőhelyek a trópusi esőerdők, a nagy trópusi tavak, a korallzátonyok, a mélytengerek és a mediterrán bozótosok. Szinte minden élőlénycsoporton belül növekszik a fajszaám a sarkoktól a trópusok felé.

A szárazföldi élőhelyek közül a fajgazdagság általában nagyobb az alacsony tengerszint feletti magasság, a növekvő besugárzás és a növekvő csapadék hatására. Az emlősök fajgazdagsága általában nem a legcsapadékosabb, hanem a közepesen nedves régiókra esik. Az idős geológiai képződmények szintén kedveznek a fajgazdag közösségek kialakulásának, mivel több idő állt rendelkezésre a helyi fajfejlődésre, a fajbevándorlásra ugyanúgy, mint a társulásszerveződésre és a koevolúcióra. Változatos élőhely esetén nagyobb lehetőség van az izolációra, így a változatos felszínek is növelik a fajgazdagságot.

8.4.6.1. Trópusok

A Föld fajainak több mint a fele a szárazföld mindössze 7%-át borító trópusi esőerdőkben él. E fajok döntő többsége szűk elterjedésű, specialista rovar, jórésztük még ma is ismeretlen a tudomány számára. A trópusi esőerdők tengeri megfelelői

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

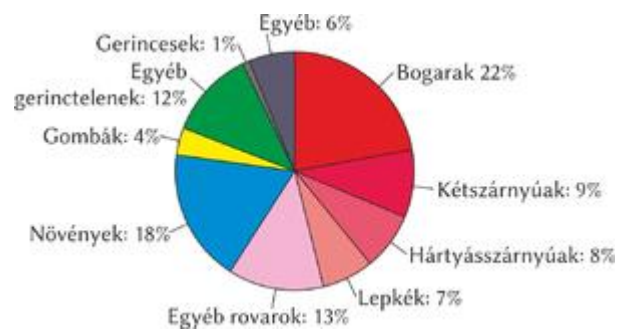
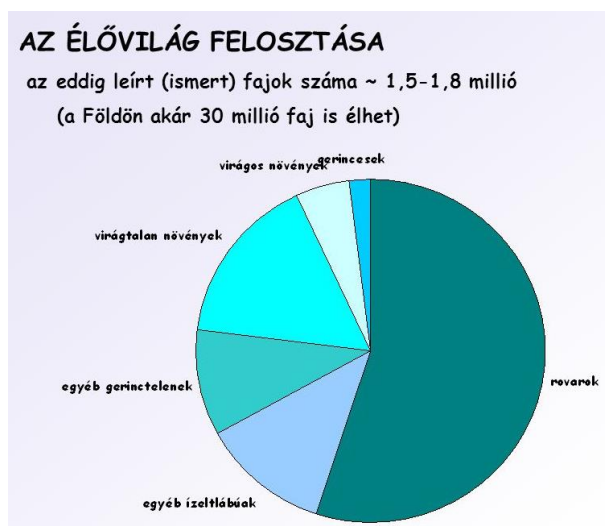
a korallzátonyok. A legtöbb esőerdei fajtól eltérően, a korallzátonyok fajai széles földrajzi elterjedésűek, mert szabadon úszó lárváik segítségével könnyen szétterjednek a tengerekben.

Hipotézisek a trópusok fajgazdagságának magyarázatára:

- A hozzáférhető tápanyag-és energiamennyiség meghatározza az egy területen együtt élő fajok számát.
- A mérsékelt égövi területeken az eljegesedések miatt a társulásoknak többször vándorolniuk kellett. Ezzel szemben a trópusokon hosszú időn keresztül közel hasonló viszonyok uralkodtak, így hosszabb idő volt a fák rendszertani diverzifikációjára, ami azután kiválthatta a kapcsolódó állatcsoportok diverzifikációját is.
- A trópusi területek nagy fajgazdagsága a trópusi területek nagy kiterjedéséből adódik.
- Rapport-szabály: az egyenlítőhöz közelebb előforduló fajok áréája földrajzi szélesség szempontjából kevésbé kiterjedt, vagyis több faj „fér el” a trópusokon. (Tengeri halak esetében nem sikerült igazolni az érvényességét.)
- Az egyenletesen magas páratartalom és a hőmérséklet sok faj túléléséhez és szaporodásához teremt megfelelő feltételeket. Ezzel szemben a mérsékelt öv viszonyai között csak olyan fajok képesek a fennmaradásra, amelyek valamilyen speciális fiziológiai mechanizmussal vagy stresszkerülő képességgel rendelkeznek a szárazság és a fagy hatásainak kiküszöbölésére.
- A folyamatosan kedvező feltételek a paraziták elszaporodásának is kedveznek, ami viszont megakadályozza, hogy egyes gazdapopulációk mások rovására túlzottan elszaporodhassanak.
- A trópusi növényekben az önmegetermékenyítés aránya kisebb, mint a mérsékelt égövben.

8.4.7. A fajok száma a Földön

Napjainkban körülbelül 1,5 millió fajt ismerünk (1,08 millió állatfaj és 248 ezer magasabb rendű növényfaj) és mértékadó becslések szerint is legalább még kétszer ennyi a még le nem írt fajok száma. A becslések 5 és 120 millió közé teszik a Föld összes fajának számát. Földön min. 5 millió növény- és állatfaj él. (3-30 millió becslések szerint). A fajok eloszlása nem egyenletes. A fajok 50%-a a trópusi öserdőkben él. A madarak és emlősök az ismert fajok 1%-át adják, 60%-át a rovarok teszik ki. Kb. 10 millióra becsülik az ismeretlen rovarok számát (40. ábra).



40. ábra. Wilson (1992) adatai szerint a kutatók összesen 1 413 000 fajt írtak le; a fajok legtöbbje a rovarok közé tartozik

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

A tudományos szempontból jól feltártnak tekinthető néhány élőlénycsoportot (virágos növények, madarak emlősök) leszámítva, mai tudásunk rendkívül szegényes. Olyan kevésbé feltárt csoportokban, mint amilyenek pl. a rovarok, atkák, fonalférgek és gombák, évente 1-2%-kal növekszik az ismert fajok száma (11., 12. táblázat).

11. táblázat. A különböző élőlénycsoportok fajszaa a Földön, illetve Magyarországon (kerekített értékek

Élőlénycsoport	Földön leírt fajok száma	Magyarországon élő fajok száma
Algák	41.000	4.000
Gombák	69.000	10.000
Zuzmók	13.500	700
Májmohák	10.000	150
Lombosmohák	15.000	500
Harasztok	11.000	60
Virágos növények	250.000	2.200
Gerinctelen állatfajok összesen	1.100.000	43.00
Gerinces állatfajok összesen	45.000	570

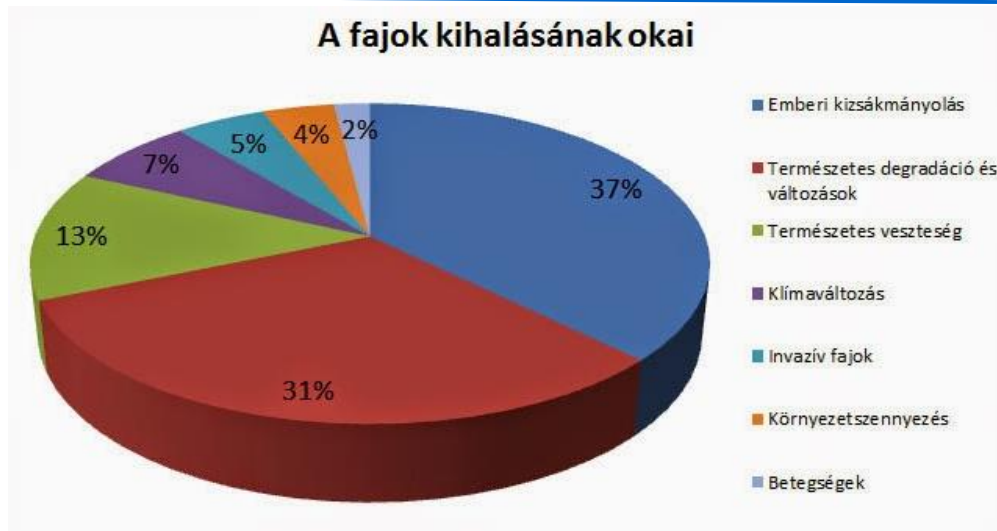
12. táblázat. A Földön előforduló fajok becsült száma (Az eddig le nem írt fajok számának becslése különösen a mikroorganizmusok esetében erősen spekulatív)

	Ismert fajok száma (x1000)	Becsült fajok száma (x1000)	% ismert fajok
Mikroorganizmusok			
Prokarióták	5	>1000	<0,5
Gombák	72	1500	4,8
Protozoák	40	200	20
Algák	40	400	10
Növények	270	320	84
Állatok			
Puhatestűek	25	400	6
Rákok	40	150	26
Rovarok	950	8000	12
Gerincesek	45	45	90

8.4.8. Biodiverzitás csökkenése

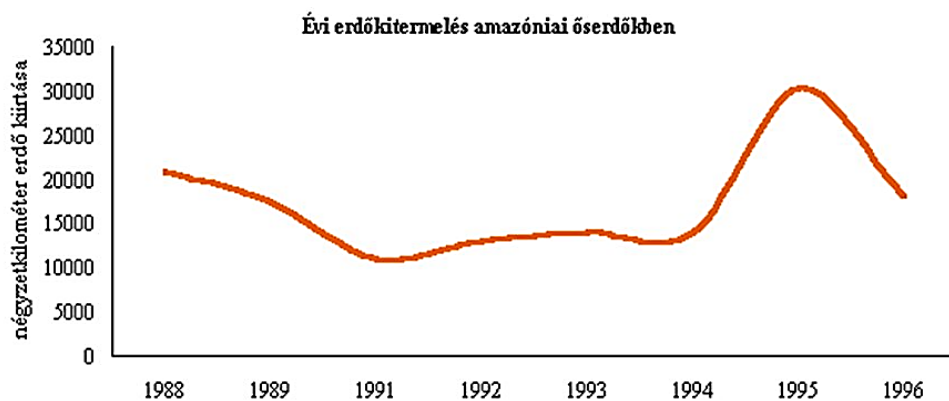
Fajok kihalása természetes jelenség, az emberi tevékenység az utóbbi évszázadokban felgyorsította a fajok kihalását: 400 év alatt kb. 400 faj tűnt el.

A biodiverzitás csökkenésének okait a 41. ábra szemlélteti.



41. ábra. A fajok kihalásának okai

- **Élőhelyvesztés/Élőhelyek megszűnése:** az emberi tevékenység (népességnövekedés közvetlen és közvetett hatásai, természeti erőforrások nem fenntartható kiaknázása) hatásaként a természetes élőhelyek lerombolása, területcsökkenés, elszigetelődés. Legalább 140 növény-és állatfaj tűnik el naponta. Az erdők évi 17 M hektáros sebességgel fogynak, ez nagyjából Finnországnyi terület. Ha a trópusi erdők kivágása a jelen ütemben folytatódik, a XXI. sz. közepére a Föld teljes fajállományának 25%-a kipusztul (42. ábra). 1960 – 1990 periódusban a trópusi erdők 20 százaléka kipusztult.



42. ábra. Erdőirtás ütemének alakulása Amazóniában

1990 – 1998 periódusban, mindössze 8 év alatt, kiszáritották a mocsarak 50 százalékát, és tönkre lett téve a korallzátonyok 35 százaléka. Ilyen ütemű pusztulás esetén az összes korallzátony 30 év múlva teljesen tönkremegy. A nagyméretű ipari fejlődés, az útépítés vezető szerepet játszik a fajok kipusztulásában, az élőhelyek csökkenésében, a populációk szétválasztásában.

- **Monokultúra:** egyre szűkebb, homogénebb genetikai állomány, monokultúrák terjedése. Emberi táplálék 75%-át 7 faj adja: búza, rizs, kukorica, burgonya, árpa, édesburgonya,

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

manióka. A monokultúrás termesztés genetikailag homogén, ezért a betegségekre érzékenyebbek fajokat hasznosít. (Lehetséges megoldások: a fogyasztásra szánt fajok körének szélesítése, fajok ellenállóképességének növelése keresztezéssel, termőképesség növelése vad fajokkal (világ mezőgazdasági termőterülete 2 évtized alatt 4 %-kal növekszik, a népességnövekedés 60%-os tápláléktermelési növekedést igényel).

- **Környezetszennyezés:** ipari és mezőgazdasági szennyezés és a települési hulladékok veszélyeztetik az ökoszisztémákat. Savas esők, globális éghajlatváltozás, ózonréteg vékonyodása megváltoztatják az életkörülményeket.
- **Nem fenntartható halászat és vadászat** miatt egyes fajok megfogyatkoztak, kihaltak. Élőlényekkel vagy azokból készült termékekkel folytatott nemzetközi kereskedelem.
- Szigeteken élő fajok veszélyeztetése házasított, **behurcolt fajokkal**, idegen fajok bevezetése/introdukciója. Minden élőhelyen bizonyos idő után kialakul az együtt élő fajok száma és a közöttük működő kapcsolatrendszer. Egy idegen, nem oda való faj bevezetése megbonthatja ezt a harmóniát, aminek következtében egyes fajok kipusztulnak, ami más fajok életciklusára is kihat, mindez a fajsám csökkenéséhez, vagy végleges fajkipusztulásához is vezethet. Az idegen fajok, természetes ellenségeik hiányában sokszor nagyon gyorsan alkalmazkodnak az új környezethez, felhasználják az ott élő fajok tápanyagain, vízforrásait, és növények esetében elfoglalják az élőhelyet is. Példaként lehet említeni a parlagfűvet (*Ambrosia artemisifolia*), amit az ember hozott be Európa területére. Ez a növény elfoglalja más növények élőhelyét, az embereknel pedig virágporával allergiát okoz. Megdőböntőbb példa a *barna fakígyó* véletlen behurcolása Guam szigetére. Ez valamikor 1950 táján történt és valószínűleg egyetlen megtermékenyített nőtény került valamilyen szállítmány potyautasaként a szigetre. Mára négyzetkilométerenként 5000-nél több kígyó él az erdőkben. Korábban nem volt a fákon vadászó ragadozó a szigeten, ezért a kígyó a sziget 11 madárfaja közül 9-t kipusztított. (Példa a házi patkány, házi macska betelepítése Új-Zélandon).

1859-ben 24 nyulat engedett szabadon egy angliai származású ausztrál telepes, Thomas Austin, aki vadászszenvédelmét próbálta ilyen módon kiélni. A szapora nyulak hamar adaptálódtak a körülményekhez, és 1950-re számuk elérte a 600 milliót (!). Ekkor döntöttek úgy, hogy megálljt kell parancsolni a jelenségnek, és a már jó pár éve zajló kísérletek után szabadon engedték a myxoma vírust az ausztrál kontinensen. Az eredmény drámai volt: a nyúl létszám két éven belül 600 millióról 100 millióra csökkent.

A túlélő nyulak azonban már rezisztensebben voltak, és 1991-re számuk ismét emelkedett, ekkor már 2-300 millió volt, ráadásul a myxomatózis már “nem fogott rajtuk”. Ekkor az Ausztrál kormány egy 1984-ben Kínában megjelent, szintén csak nyulakra veszélyes vírussal (calicivírus okozta nyulak vérzéses betegsége, RHDV) kísérletezett szigorúan zárt körülmények között. 1995-ben azonban a laboratóriumban baleset történt, és a kiszabadult vírus 8 hét alatt 10 millió nyúllal végzett a kontinensen, majd a nyúlállomány 90%-át elpusztította. Ezzel párhuzamosan számos, mára súlyosan veszélyeztetett növény- és állatfaj az újjáéledés biztató jeleit mutatja. Az RHDV terjedését követően a biológusok mind gyakrabban észlelték a korábban tarra rágott területeken az őshonos növényzet ismételt terjedését, és vele a megfogyatkozott számú különleges helyi állatok is újra szaporodni kezdtek. Nagy kérdés volt, hogy vajon minden őshonos faj képes-e profitálni a nyúlmentes új helyzetből.

A mérhetetlen nyúlzsaporulat a kipusztulás szélére sodorta az apró rágcsálókat. Valaha egész Dél-Ausztráliában és az Északi terület déli, sivatagos területein elterjedt volt a füstös kabócaegér (*Notomys fuscus*), amelyet összesen alig 2000 négyzetkilométeres területre szorítottak vissza a nyulak. Az éjszaka aktív kabócaegér elszigetelt populációkban, rossz minőségű területeken él, és sebezhető státuszban van a Természetvédelmi Világszövetség (IUCN) Vörös listája szerint. Hasonlóan meggyérült, szintén sebezhetőnek minősített a keleti ausztrálegér (*Pseudomys australis*) állománya. A kolóniákban élő apró rágcsáló egyike azon emlősfajoknak, amelyek még az ember megjelenése előtt hódították meg az ötödik kontinenst. Manapság a Vörös listán a nem fenyegetett kategóriába átkerült kabócaegér kétszer, az ausztrálegér háromszor gyakoribbá vált, köszönhetően annak is, hogy a regenerálódó növénytakaró elegendő táplálékkal és búvóhellyel látja el őket.

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

A nagy testű állatoknak is kedvez az új helyzet. Érdekes megfigyelés, hogy azokon a területeken, ahonnan eltűntek a nyulak, megjelentek a kenguruk és a vombatok, vagyis az RHDV nemcsak a kis, hanem a nagy testű őshonos emlősök számára is kedvező fordulatot hozott. A nyulak mellett ugyanis hasonlóan óriási terhet jelent Ausztrália élővilágára a szintén a britek által betelepített vörös róka és házimacska is. A nyulak fogyatkozásával azonban ezek állománya is visszaesett, mivel fő táplálékukat veszítették el. Ezt a jelenséget trofikus kaszkádnak nevezi a tudomány: olyan ökológiai folyamat, amely a tápláléklánc egyik végén kezdődik, és végighalad a láncon.

- **Kihalások:** Tengeri állatok fosszilis maradványainak tanulmányozása során azt tapasztalták, hogy eddig az élővilág történetében öt alkalommal 500, 345, 250, 180 és 65 millió évvel ezelőtt a biodiverzitás viszonylag rövid ideig (néhány millió évig) rohamosan csökkent, majd a csökkenés megállt, és ugyancsak „rövid” pár millió év alatt elérte a kihalási hullám előtti szintet. A nagymértékű kihalási periódusok közül egyedül a legutóbbi okairól van elképzelésünk: meteor becsapódás miatti hirtelen klímaváltozás, ekkor pusztultak ki a dinoszauruszok is.

9. Életforma osztályozási rendszerek. A gyomokról általában

9.1 A gyomnövény fogalma

UJVÁROSI Miklós (1957): „Általános értelemben azokat a növényeket, amelyek az ősi természetes növényzetben nem fordulnak elő csak kultúrterületeken, vagy az ősi vegetáció tagjai, de kultúrterületeken alkalmazkodásuk következtében teret hódítottak, gyomoknak szoktuk nevezni.

HUNYADI Károly meghatározását használja LEHOCZKY Éva (2004) is, miszerint: „Gyomnövénynek nevezünk minden olyan növényt és reprodukcióra képes növényi részt, amely ott fordul elő, ahol nem kívánatos.”

A gyomnövény NÉMETH (2007) szerint szántóföldön minden olyan növény, melyet nem vetettünk, hasznát nem hoz, s jelenléte káros legalább azzal, hogy a vetett növény elől elfoglalja a helyet, vagy felhasználja a talaj tápanyag és vízkészletét.

Más meghatározások szerint a gyomnövény fogalmkörébe tartozik minden olyan növény, vagy növényi rész, mag, tarack szegmentum, melyet nem mi vetettünk, s melynek jelenléte nem kívánatos az adott helyen.

Ökológiai szempontból nézve a gyomnövények a másodlagos szukcesszió pionír növényei.

A kultúrnövény is lehet gyomnövény, mint az árvakelésű napraforgó a gabonában. Réten és legelőkön csak az a gyomnövény, melyet a jószágok nem esznek meg, vagy mérgezőek, vagy szúrósak, ill. a hasznos növényeket kipusztítják. A gyomnövény az ősi vegetációban nem fordul elő, vagy előfordul, de a művelt területen nyer nagyobb teret. Világszerte elterjedtek, gyakran már az eredetük sem határozható meg.

A gyomnövény lehet egyúttal gyógynövény is, pl. *Cynodon*, *Capsella*, *Urtica*, *Cannabis*, *Galium*, *Viola*, *Consolida*, de szinte mindegyik növénynek van több, kevesebb gyógyhatása.

A gyomnövények erősíthetik a taposott gyepet, a rézsűk növényeiként megakadályozhatják az eróziót, ugyanígy élőhelyenként más-más megítélés alá esik pl. nád, mely a tóparti helyeken nem csak hasznos, de védendő is, míg a szántóföldeken egy igen terhes, nem kívánatos, nehezen irtható növény.

A gyomok esetében az életformának, illetve a csírázási időnek van nagy szerepe ezt felismerve UJVÁROSI (1952, 1973) RAUNKIAER (1934) rendszere alapján kissé átalakítva azt és az egyévesek esetében külön alkategóriákat létrehozva megalkotta a hazai gyomos szakemberek által mind a mai napig használt rendszert.

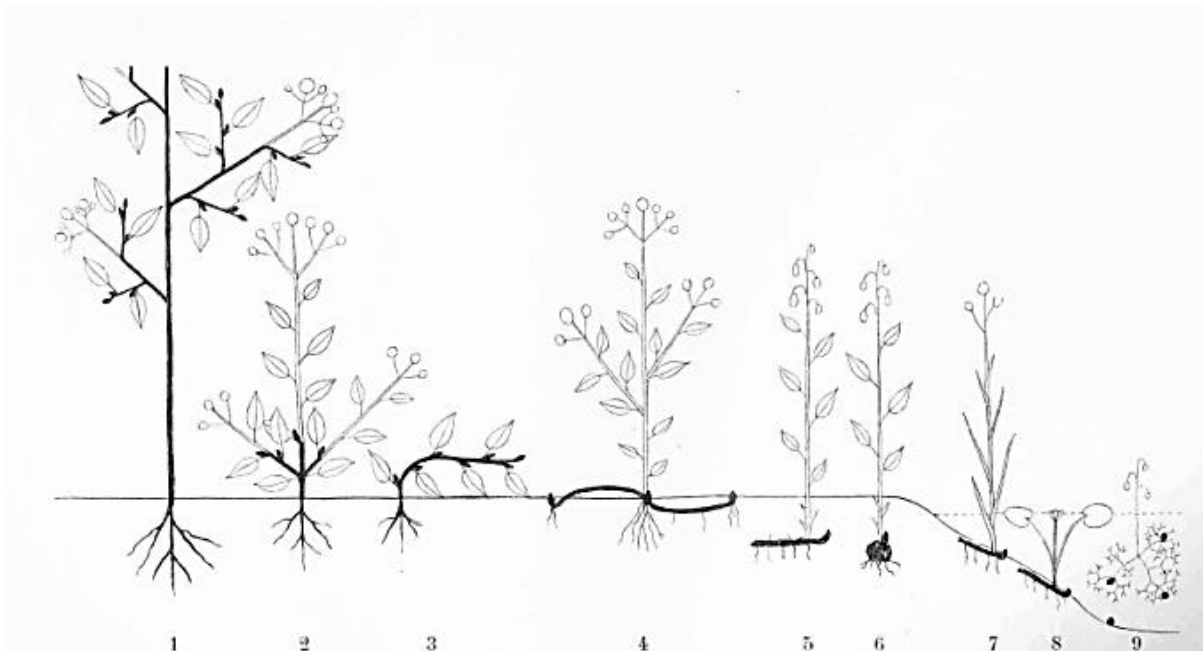
9.2. Raunkiaer-rendszer

A Raunkiaer-rendszer osztályozásának (43. ábra) alapja a növény növekedési pontjának (**rügyének**) **elhelyezkedése** a számára ellenséges időszakokban (hideg évszak, száraz évszak):

- **Phanerophyta** (fanerofita, fanerofiton) – fás szárú növények. Áttelelő szerveik magasan, legalább 25 cm-rel a talaj szintje felett vannak (fák és cserjék). A rendszer korábbi változataiban az epifita (fán élő) növények is ide tartoztak, ezeket később Raunkiaer saját kategóriába helyezte. A növény magassága szerint tovább oszthatók megaphanerophyta, mesophanerophyta vagy nanophanerophyta növényekre, vagy más bontások is

alkalmazhatók, a levelek élettartama (örökzöld vagy lombhullató), pozsgásság szerint, illetve hogy van-e a rügynek fedőpikkelye az áttelelést megkönnyítendő.

- **Chamaephyta** – Áttelelő szerveik a föld felszínéhez közel (25 cm-nél közelebb) helyezkednek el. Fásszerű törpecserjék, kúszócserjék tartoznak ide.
- **Hemikryptophyta** (hemikriptofita, hemikriptofiton) – Áttelelő szerveik a talaj felszínén, vagy közvetlenül az alatt vannak. Ezek lehetnek törzsa, tősarj vagy földbeli hajtás. Lágyszárúak, évelők.
 - **Kryptophyta** (kriptofita, kriptofiton) – Áttelelő szerveik a föld vagy a víz alatt nőnek (hagymás, gumós, gyöktörzses növények):
 - **Geophyta** (geofita, geofiton) – áttelelő szerveik száraz talajban rejtőznek.
 - **Hemigeophyta** (hemigeofita, hemigeofiton) – Az előző csoport Priszter Szaniszló által bevezetett alcsoportja. Ezek a növények ősszel kihajtanak, és vegetatív állapotban telelnek át.



43. ábra. A Raunkiaer-féle életformák

1. Phanerophyta 2-3. Chamaephyta (passzív, aktív) 4. Hemikryptophyta 5-9. Kryptophyta - 5-6. Geophyta (rizómával, hagymával) - 7. Helophyta - 8-9. Hydrophyta (rhizómán, téli rügyekkel áttelelő). A képen a therophyta, az epifita és a lágyszárú phanerophyta (ide tartoznak a törzsszukkulens phanerophyták és a liánok) életforma nem szerepel. Az ábrázolt életformák balról jobbra egyre nagyobb védelmet nyújtanak a kedvezőtlen időszakban életben maradó növényi részeknek, amelyek **vastagítva** láthatók.

- **Hydatophyta** (hydrophyta, hidrofita, hidrofiton) – Áttelelő szerveik vízben vannak.
- **Helophyta** (helenofita, helenofiton) – Az áttelelő szervek mocsaras talajban vannak.
- **Hemitherophyta** (hemiterofita, hemiterofiton; kétévesek, kétnyáriak) – Az évelőkhöz hasonlóan áttelelnek, de csak egyszer (ekkor még általában nem is virágoznak), a második év végén azonban elhálnak, és csak magjaik maradnak meg.

- **Therophyta** (terofita, terofiton; egyévesek, egynyáriak) – Egy éven belül csíráznak, növekednek és virágoznak, majd ősszel el is pusztulnak, csak magvaik maradnak meg.
- **Epiphyta** (epifita, epifiton) – Fákon élő, a talajban nem gyökerező növények – ilyen a hazánkban is előforduló fagyöngy, vagy a trópusok sok páfrány-, orchidea- és broméliaféléje.

9.3. Újvárosi-féle életforma rendszer

Raunkier rendszere az alap, Újvárosi által átdolgozva és részletezve. Az életforma a kedvezőtlen körülményekhez való alkalmazkodást jelzi.

I. Egyévesek (planta annua, THEROPHYTA) jelük: **T** vagy **Th**. A kedvezőtlen időszakot mag alakban vészeli át, ez lehet a téli hideg, vagy a nyári szárazság. A felosztás további alapja, mikor csíráznak, kelnek, és mikor érlelnek magot (44. ábra).

T1 - Ősszel csíráznak- tavasszal magot érlelnek, a tölevélrózsa telet át. Kora tavaszi, áttelelő egyéveseknek is nevezzük a csoportot, sekélyen gyökereznek, a szárazsághoz alkalmazkodtak. Fényigényesek, a csírázási hőmérsékleti optimum 10-12, 14 °C. Mediterrán területekről és Ázsia forró pusztáiról származnak.

Valódi T1 csoport: *Holosteum umbellatum, Thlaspi perfoliatum, Veronica polita, Veronica hederifolia, Veronica triphyllus, Lamium purpureum, Arabidopsis thaliana*. Év közben még kellő csapadék hullása esetén sem kelnek, egy csírázási periódusuk van évenként.

Több csírázási periódusuk van a lehulló csapadék után tömegesen kelnek:

Stellaria media, Capsella bursa pastoris, Veronica persica, Lamium amplexicaule, Anthriscus cerefolium, Poa annua, Senecio vulgaris Cohen, *Holliady Jensen*. Solymosi szerint a rezisztens biotípusoknak nem egy, hanem 2-3 csírázási maximumuk van, pl. *Senecio vulgaris*. Ez a megállapításuk a más életforma csoport tagjaira is vonatkozik.

Fagymentes téli napokon is fejlődnek. A talaj herbicidekre érzékenyek, a felső rétegből gyorsan felveszik a vegyszereket. Lebomláskor elsőnek kelnek. De! Kelhetnek a felső rétegből akkor is, ha abból a herbicid csak kimosódott az alsóbb rétegekbe, ezért jelzőnövényekként is tekinthetjük őket. Előfordulásuk: őszi gabonavetéseken, repce, szőlő, gyümölcs, lucerna, főleg újtelepítésű, táblaszéleken, ahol jobb a fényviszonyok.

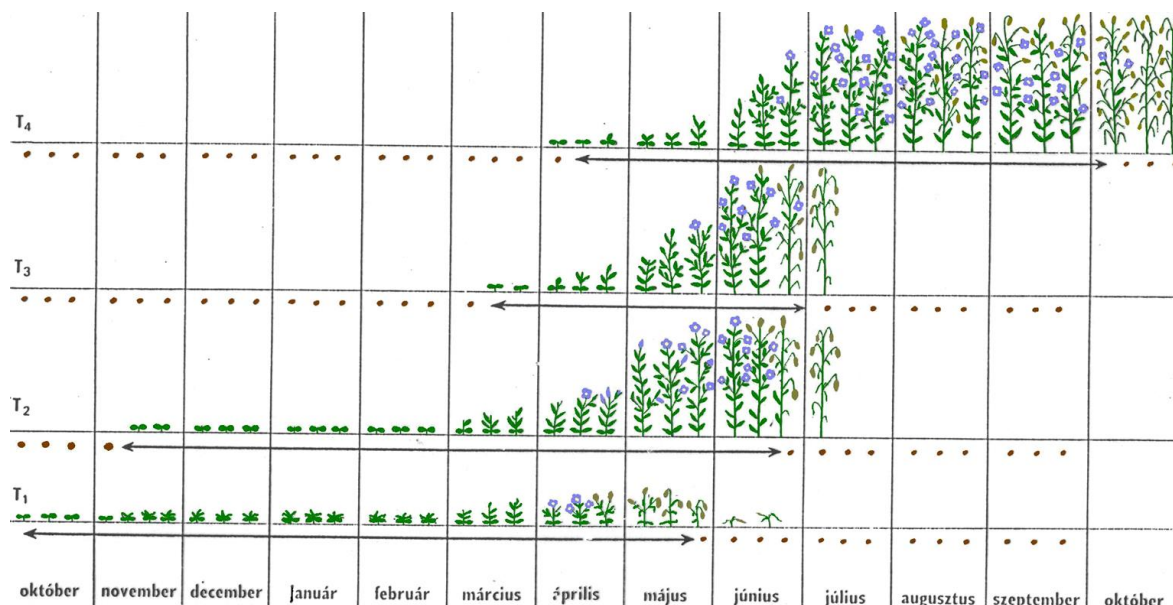
T2 - Ősszel kelő nyár eleji egyévesek. Ősszel vagy tavasszal csíráznak, nyár elején érlelnek magot, tipikus ún. gabona gyomok. Optimális csírázási hőmérsékletük igen alacsony, 4-8 °C. Kettős alkalmazkodásúak, hosszabb életűek, gyökérzetük erősebb, így nagyobb szárazságot is elviselnek. A telet csíranövény és mag alakban egyaránt átvészeli. *Papaver rhoeas, Centaurea cyanus, Consolida orientalis, Consolida regalis, Bromus* fajok, *Scleranthus annuus, Agrostemma githago, Matricaria chamomilla, Anthemis austriaca, Anthemis arvensis, Galium aparine, Bifora radians, Adonis aestivalis, Ranunculus arvensis, Alopecurus myosuroides, vicia fajok, Apera spica venti*.

T3 - Tavasz végén csíráznak és nyár elején vagy ősszel érlelnek magot. Optimális csírázási hőmérsékletük 8-14°C. Egyformán védekeznek a téli hideg és a nyári szárazság ellen. Tavaszi

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

gabonagyomok, közel állnak a T4-hez, de a kapásokban, így a kukoricában is tömegesek. *Sinapis arvensis*, *Raphanus raphanistrum*, *Avena fatua*, *Sisymbrium (Descurainia) sophia*, *Viola arvensis*

Gyökér herbicidek hatására a T2 és T3 csoport szinte teljesen eltűnhet, a levélen át felvehető készítményekkel szemben több toleráns, rezisztens faj is van. A dinitro anilin csoporttal szemben pl. a keresztes virágú gyomnövények toleránsak.



44. ábra. Therophyta (Th) fajok csírázási, magérlelési ideje, a mag formájában átvészelt kedvezőtlen időszak hossza

T4 - Tavasszal kelnek, nyár utolján érlelnek magot, un. nyárutói egyévesek. Optimális csírázási hőmérséklet: 18-30 °C. A T1 csoport ellentéte, a nyári szárazságot jól elviselik, sőt igénylik, de a legkisebb hidegre is elfagynak, a 0 °C-ot sem viselik el. A tél ellen mag állapottal védekeznek.

Hibiscus trionum, *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus chlorostachys*, *Trifolium arvense*, *Chenopodium album*, *Chenopodium hybridum*, *Stachys annua*, *Polygonum lapathifolium*, *Polygonum persicaria*, *Bilderdykia convolvulus*, *Ambrosia elatior*, *Solanum nigrum*, *Datura stramonium*, *Erigeron canadensis*, *Matricaria inodora*, *Echinochloa crus galli*, *Setaria glauca*, *Setaria viridis*, *Xanthium italicum*, *Galinsoga purviflora*, *Sonchus oleraceus*, *Sonchus asper*, *Lactuca serriola*, *Portulaca oleracea*, *Salsola kali*, *Panicum miliaceum*.

II. HT - HEMITHEROPHYTA (kétévesek, planta biennis). Az első évben csak tölevélrózsát fejlesztenek, a generatív szervek csak a második évben fejlődnek ki. Van egyéves alakjuk is. Tavasszal későn kelnek, nyáron még felerősödnek, nagy tölevélrózsát és erős, raktározó gyökereket fejlesztenek. A magérleléshez szükséges erőt hosszabb ideig gyűjtik, s még a nagy nyári szárazság előtt érlelnek magot. Az egyik telet mag, a másikat levélrózsás alakban élik át. Életükben egyszer virágoznak és teremnek, majd elpusztulnak. Pl. *Carduus nutans*, *Arctium lappa*, *Daucus carota*, *Melilotus officinalis*. Előfordulásuk: főleg parlagokon, legelőkön.

III.Évelő növény (planta perennis): Áttelelő szervek a talajban vagy a vízben.

GEOPHYTA. Az áttelelő szár vízszintes, tarack vagy rhizoma, rajta rügyek vannak, melyek a növény terjedését szolgálják. A legnehezebben irtható növények.

G1 - Rhizómás vagy tarackos fajok, de nevezték szártarackos fajoknak is. Feladata a raktározás is, a tarackon csomók vannak, pikkelylevelek, mely alatt rügyek találhatók. Követik a nedves talajt, a tarackok emeletes elhelyezkedésűek.

Equisetum arvense, Achillea millefolium, Tussilago farfara, Sonchus arvensis, Sorghum halepense, Polygonum amphibium, Urtica dioica, Agropyron repens, Cynodon dactylon, Phragmites communis, Calamagrostis epigeios, Lathyrus tuberosus.

G2 - Gumós fajok, a földbeli szár a raktározásra módosult, helyenként megvastagszik, s a közbülső részek évenként elpusztulnak (orsó alakú gumó). Irtásuk nehéz.

Pl. Cyperus esculentus (mandulapalka), Stachys palustris (mocsári tisztesfű), Mentha arvensis (mezei menta), Mentha aquatica (vízi menta), Helianthus tuberosus (csicsóka).

G3 - Több elnevezést is találunk, pl. szaporítógyökeres fajok, gyökértarackosak vagy tarackszerű gyökerű fajok. A főgyökéren és a gyökérágakon is találhatók járulékos és rejtett rügyek, s a gyökér minden részéből képes új növényt fejleszteni, a hajtás 50-60 cm-ről is kihajt. A rügyek elhelyezkedése rendszertelen, vagy mindenütt található, vagy csak a talaj felső rétegében. A gyökerek mindig lehatolnak a nedves talajrétegekig. Gyors elszaporodásuk miatt jelentősek, kevés faj ér el gyakran nagy borítást. Föld alatti részeik raktároznak is. *Convolvulus arvensis, Lepidium draba, Rubus caesius, Cirsium arvense, Calystegia sepium.*

G4 - Hagymás fajok, melyek hagymával vagy sarjhagymákkal terjednek. Jelentőségük kicsi, megjelenésük általában a rossz talajművelésre, a talajmunkák elmaradására utal. *Pl. Ornithogalum, Gagea, Muscari comosum*

HEMIKRYPTOPHYTA. Az áttelelő szerveik függőlegesek, a talaj felszínén tölevélrózsa van, vagy a talajban nem mélyen helyezkednek el. Általában vegetatív úton, önállóan szaporodni nem képesek. Az egész csoport jelentéktelen a szántókon, megjelenésük általában a mérsékelt talajmunkára, vagy elmaradására utal.

H1 - Bojtos gyökerűek. Sem a föld feletti, sem a föld alatti rész nem képes szaporodni, a gyökéren nincsenek járulékos rügyek. *Pl. Caltha palustris, Lolium perenne, Ranunculus acer.*

Nedves réteken fordulnak elő, az angolperje pillangósokban, szőlőben is.

H2 - Indás évelők. Ez a föld feletti szaporodó képesség kisebb a Geophyta csoport tagjaihoz képest. A földön fekvő szár a csomókon legyökerezik és levélrózsát fejleszt. *Trifolium repens*, *Rununculus repens*, *Poa trivialis*, *Potentilla anserina*

H3 - Karógyökerűek, melyek feldarabolva szaporodásra képesek. Rügyeket ill. rejtett rügyeket viselnek, némelyik csak a feldarabolás után fejleszt rügyet. A talajmunkát mégis rosszul tűrik. *Coronilla varia*, *Falcaria vulgaris*, *Symphytum officinale*, *Taraxacum officinale*, *Cichorium intybus*, *Rumex crispus*, *Melandrium album*.

H4 - Karógyökerűek, melyek feldarabolva sem képesek szaporodásra. A karógyökéren nincs rügy. A szántóföldön nem életképesek, megjelenésük a rossz talajművelés jelzője. *Ononis spinosa*, *Eryngium campestre*, *Reseda lutea*.

H5 - Ferde rhizomások, melyek feldarabolva szaporodnak, de gyakran elpusztulnak. A gyökértörzs rövid, a rügy a csúcson található. *Althaea officinalis*, *Plantago lanceolata*, *Plantago maior*, *Artemisia vulgaris*, *Chrysanthemum vulgare*, *Chelidonium maius*.

Ch - Chamaephyta - félcserjék, törpecserjék, a szár 10-30 cm, pl. *Thymus* fajok

Ph - Phanerophyta - fák, *Rosa gallica*.

9.4. Különböző kultúrák gyomnövényei

Az asszociáció állandó, egyedeiben ismétlődő társulás, melynek időbeli szintjei az aszpektusok, általában három, a tavaszi, nyári és nyár végi-őszi aszpektus, de gyakran csak kettő alakul ki, illetve a nyári és őszi aszpektus összemosódik.

Az I. a **hibernális vagy vernális** - tavaszi aszpektus, amely alapvetően fajszegény, emellett fény- és térigénye nagy, gyakorlatilag automatikusan eltűnik. Igen rövid életű növények: *planta ephemera*. Főleg T1, de lehet jelentős a T2 is.

II. **Aestivalis** - nyár eleji aszpektus, amely igen fajgazdag, főleg T2, T3, de G1, G3 is jelentős.

A III. az **autumnális** - őszi, vagy tarló aszpektus. Itt találkozhatunk a legtöbb fajjal és a legnagyobb borítással is. Messzemenően dominál a T4 és jelentős a G1, G3 is.

Az aszpektusok kifejlődésének lehetőségei:

T1: főleg az őszi vetésekben (gabonafélék, repce), szőlőben, gyümölcsösben fejlődik ki

T2-T3: gabonafélék, len, új telepítésű lucerna, szőlő jellemző gyomnövényei.

T4: a kapások, a tarló, a szőlő és a gyümölcsös a fő előfordulási helyük.

G1-G3: mindenütt felléphetnek, gyorsan elszaporodnak, ha a talajművelés nem megfelelő, vagy elmarad (pl. szőlő, gyümölcsös, évelő pillangósok), vagy a magról kelő gyomnövények ellen sikeres

volt a vegyszeres védekezés, és kikapcsoltuk azokat a versenyből (gyomkonkurencia, kompetíció) illetve a leegyszerűsödött vetésforgó és ezzel együtt a tarlókezelések elmaradása is ugyanehhez vezet. Szőlőben gyakran csak T4, G3 és G1 csoportba tartozó fajok fordulnak elő.

10. Abiotikus környezeti tényezők

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 (biotikus) 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 erőssége, áramlási sebesség stb., a talaj esetében pedig a foszfortartalom, kötöttség stb. Az élőlények elterjedését az egyes környezeti elemekben (közegekben: levegő, víz, talaj) a környezeti tényezők értékei határozzák meg.

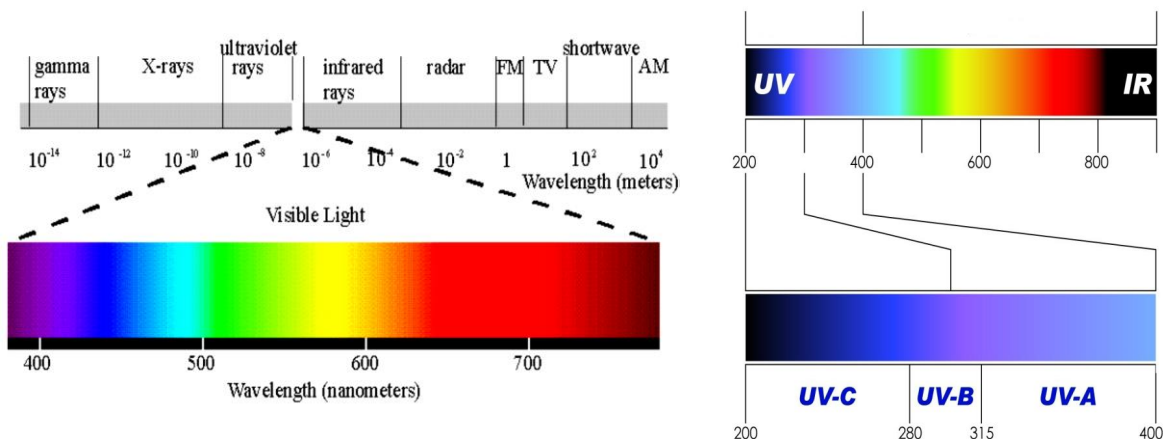
10.1. A fény

A fény 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.

10.1.1. Fény forrása

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 (45. ábra).

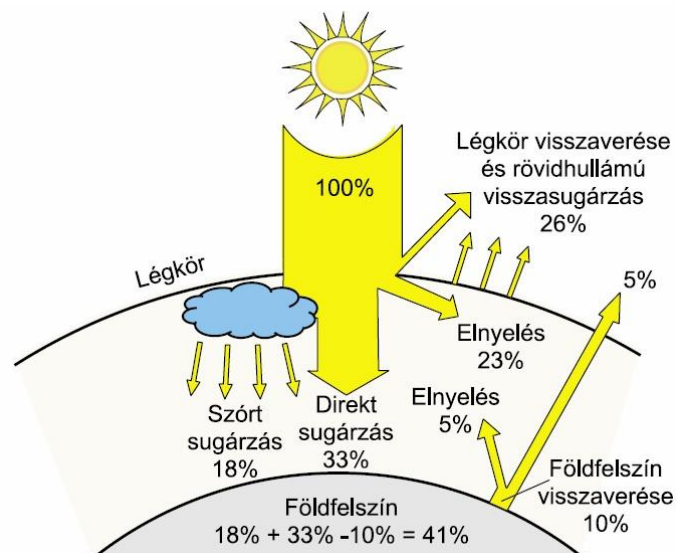
Nappal a napsugarakra merőleges földfelszín 1 cm²-ére percenként átlagosan 5 J energia jut napsugárzás formájában, ami a Föld durván $r^2 \cdot \pi \approx (6000 \text{ km})^2 \cdot 3,14 = (6\,000\,000\,00 \text{ cm})^2 \cdot 3,14 \approx 1,9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^2$ -es keresztmetszetével és 1 év = $365 \cdot 24 \cdot 60 = 525\,600$ perc időtartammal számolva nagyságrendileg $1,9 \cdot 10^{17} \cdot 525\,600 \approx 1023 \text{ J}$ energiát jelent évente. Ez az óriási energiamennyiség tartja működésben a bioszférát a Földön.



45. ábra. A napsugárzás spektrumai

Fénynek nevezzük az elektromágneses sugárzásnak egy bizonyos tartományát, amelyből a 400–800 nm hullámhosszúságú az ember számára látható a következő színekben: 400–420 nm – ibolya; 420–490 nm – kék; 490–540 nm – zöld; 540–640 nm – sárga; 640–800 nm – vörös; Felette "hősugárzás": 0,29-0,4 μm : ibolyántúli sugárzás, részaránya 9%; 0,4-0,75 μm : látható fény tartománya, részaránya 49%; 0,75 μm -tól: nem látható infravörös (hő-) sugárzás, részaránya 42%.

A Napból érkező energiát tekintjük 100%-nak. A Föld légkörét elérve a napsugárzás 23%-át a légköri gázok és a vendéganyagok elnyelik és hővé alakítják át, majd a másik 26%-át a légkör visszaveri. Tehát csak a földfelszínt összesen 51%-nyi napsugárzás éri, de ebből csak 33%-a direkt (közvetlen) sugárzás és 18% szórt sugárzás. A földfelszínt elérve a napsugárzás 10%-a visszaverődik, de itt is csak 5% elnyelődik és a megmaradó 5% a világűrbe távozik. A Napból érkező napsugárzás a földfelszínt elérve csak 49%-a lesz hasznos, ami a szórt és a direkt sugárzásból áll. Tehát a felszínt elért napsugarak 10%-a (a légkör külső rétegeit elértnek 5%-a) a felszínről visszaverődik, de 90%-a elnyelődik, és a talajt felmelegíti (46. ábra).



46. ábra. A napsugárzás eloszlása

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

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 (47. ábra, 13. táblázat).

NAP		
ultraviola 400 nm>	látható fény 400-800 nm	hősugárzás 800nm<
	közvetlen fény	szórt fény
	erős melegítő hatás	kevésbé melegít
	fokozza a párologtatást	a fotoszintézist segíti
	hosszabb hullámhossz	vörös, narancssárga sugarak túlsúlya

47. ábra. A napsugárzás tartományai

13. táblázat. A direkt és a diffúz fény élettani hatása növényekre

Közvetlen/Direkt fény	Szórt/diffúz fény
- Kedvezőtlen a növényekre – nő a szervek hőmérséklete - Ezt elkerülendő – helyzetváltoztató mozgás 30-40 % a narancsvörös és vörös hullámhosszú sugarak aránya	- Kedvezőbb a növényekre 50-60 % narancsvörös és vörös hullámhosszú sugarak aránya, - alacsony napmagasságnál 70 %

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 visszatükröztetheti, 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.

Ezek szerint a **biotópok** lehetnek:

- Fotikus élőhelyek:**
 - valamennyi fény jelen van,
 - fotoszintézis folyik,
 - jellemzőek a termelő folyamatok
- Afotikus élőhelyek:**
 - *nincs fény és fotoszintézis*
 - *jellemzőek a lebontó folyamatok*
 - *barlang, talaj, vízi biotóp*

10.1.2. A fény hatása a növényekre

A növények fényigény szerint egyrészt 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 ugyan ehhez 8-12 óra is elég. Ilyenek a trópusok növényei, pl. a nálunk is termesztett kukorica
- közömbös növények:** pásztortáska, tyúkhúr, napraforgó (jellemzői: induktív jellegű, hőmérséklettől, spektrumtól függő)

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 klorofill-molekulák 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 klorofilok 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 fénykompenzációs 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 nenyúlhozám vagy pl. az őszi kikerics.
- Az **árnyékkedvelő (szkiofil)** növények nem viselik el a közvetlen napsugárzást, szórt fényt igényelnek. Az erdők gyepszintjének fajai általában e csoportba tartoznak (odvas keltike, orvosi tüdőfű, farkasboroszlán stb.).
- A **sötétségkedvelő (szkotofil)** növények általában barlangokban vagy vizek mélyén élnek. Számos fajukban klorofill helyett más színanyagok dominálnak, vagy egyáltalán nem is fotoszintetizálnak.

10.1.3. 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 (fényerősség – burgonyabogár (*Leptinotarsa*

decemlineata) csak erős fényben repül). 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 bából kikelő imágók (kifejlett egyedek) színét is meghatározza (pókhálós lepke (*Araschnia levana*) szezonális dimorfizmusa: tavasz - világos alak téli bából (6 hónapos bábállapot), nyár - sötét forma (hosszúnappalos, 1 hónapos bábállapot), szarvasok aggangcsképzése, rovarok fejlődési szünetei (dipauzák), madarak tojásrakása (48. ábra).



48. ábra. Pókhálós lepke (*Araschnia levana*) szezonális dimorfizmusa

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-as alkotó két kör érintkező vonalának) a függőlegessel bezárt szöge akkora legyen, mint amekkora szöget a Nap iránya zár be a rét irányával (49. ábra). Mivel a tánclépések sebessége a kaptár-rét távolsággal arányosan csökken, a méhtársak azt is tudni fogják, milyen messze repüljenek. De a közölt távolság csak méhléptékekkel 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.)



49. ábra. A házi méh nyolcas alakú tánca

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 méhírnök 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.

10.1.3.1. Irányító hatás – fény orientáció

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 égtestekhez 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.

10.1.3.2. Irányító hatás – fény orientáció a következő esetekben érvényesül tehát:

- fototropizmus v. heliotropizmus - a fényforrás (nap) által befolyásolt helyzetváltozás
- fototaxis - a fényforrás által indukált helyváltoztatás, ami lehet menekülés is (a giliszta már a 0,3 lux erősségű fényre is reagál)
- menotaxis - a mozgás (haladási irány), amikor a rovar a fényforrás felé igyekszik
- skototaxis - amikor pl. a cserebogár a fák (erdőfolt) sötét foltja irányába repül

10.1.4. A fény fizikai hatása

- **monokromatikus**, színeket megkülönböztetni nem képes, általában éjjel aktív (nokturnális) állatok,
- **dikromatikus**, korlátozott színérzékelő-képességű szürkületkor és éjjel aktív állatok,
- **trikromatikus**, jó színlátó, többnyire nappal aktív un. diurnális állatokat (számos madárcsoport és az emberszabású főemlősök).

10.1.5. A fény egyéb hatásai

Testalakulás (alak, színezet, mintázat) változása (50. ábra) – szem-méret alakulása/mélytengeri halak

Fényszegény időszakban,
illetve körülmények
között a szem méretének
változása, esetleg eltűnése
következik be. Pl. *Proteus
anguinus*



Egyes fajoknál a
megszokottnál jóval
nagyobb méretű szem
alakul ki.



50. ábra. Testalakulás (alak, színezet, mintázat) fényszegény viszonyok között

10.1.6. Fényszennyezés

A földfelszínre érő természetes fény mennyisége régióként változik. A nappalok és éjszakák változása az élőlények számára természetes feltételeket jelent. Az urbanizáció jelentősen növeli a fénykibocsátást. A fényszennyezés különösen nagyobb települések, agglomerációk térségében jelentős.

A fényszennyezés következményei:

- az egyes élőlények biológiai órája változik
- navigációs nehézségek (pl.: madárvonulás)
- vegetáció kitolódása
- jelentős pusztulás (pl.: rovarok) – világítótestek (hő- és fény)

10.1.7. Vízi biotópok

A víz mellett az oldott és szuszpendált anyagok, a pH is befolyásolja az elnyelt fény spektrális összetételét:

- 750 nm hullámhosszú fény (vörös) 90%-át már 1 m mély víz abszorbeálja,
- 470 nm hullámhosszú fény (kék) abszorpciója minimális,
- az oldott anyagok többnyire a kék és lila fényt abszorbeálják leginkább.

Ha az áttetszőség egyre csökken, akkor a még mérhető fény egyre hosszabb hullámú. A tengervíz felső rétegében a *vörös fényt* hasznosító **zöldalgák** élnek (20 m). Alatta a *kék fényt* hasznosító **barnamoszatok** (20-70 m). Legnagyobb mélységben a *zöld fényt* a **vörösmoszatok** hasznosítják (70-150 m). Ezt nevezzük **kromatikus adaptációnak**.

10.1.7.1. Szintezetség marin ökoszisztémákban

A mélységgel növekvő fényhiány, növekvő nyomás, és csökkenő tápanyagmennyiség alakul ki. Ehhez a különleges élőhelyi feltételekhez történik specializálódás– nyomást elviselő testalkat, dögevés, vakság stb.

A bejutó fénymennyiség alapján a vízi élőhelyek két típusát különítjük el:

a. Eufotikus zóna

- legfelsőbb vízrétege, ahol elegendő a fénymennyiség a nettó elsődleges szervesanyag-termeléshez.
- mélysége változhat olyan tényezők függvényében, mint a zavarosság, a táplálékellátás a vízben, az árapály turbulenciája és a hőmérséklet.
- tavakban és a tengerparti vizekben ezen övezet mélysége típusosan 1 méter és 30 méter között változik, csak ritkán éri el a 200 méternél nagyobb mélységet a nyílt óceánban.
- 200 és 1000 méter mélység között a kékes fény még eléggé lehatol ahhoz, hogy korlátozott fotoszintézist lehetővé tegyen.

b. Afotikus zóna

- a fény már nem hatol le;
- az eufotikus zóna alatt helyezkedik el.

- E fényhiányos réteg már nem tartalmaz moszatokat vagy fitoplanktont, a lakói kizárólag olyan ragadozó szervezetek, amelyek az üledéken vagy a törmeléken (detritusz) táplálkoznak, és mindannyian csak az eufotikus zónából származó energiabevitelre hagyatkozhatnak

A mélytengeri régiót a **troglobiont fajok** jellemzik, ezek:

- Állandóan sötétben élő fajok
- Pl.: mélytengeri fajok, talajlakó-és barlangban élők
- Adaptációs jellemzőik:
 - pigmentátlanság
 - látószervek redukáltak vagy teljesen eltűntek
 - esetlegesen a látószervek aránytalanul megnagyobbodottak
 - lumineszcencia: fénykibocsátás, baktériumokkal való együttélés eredményeként

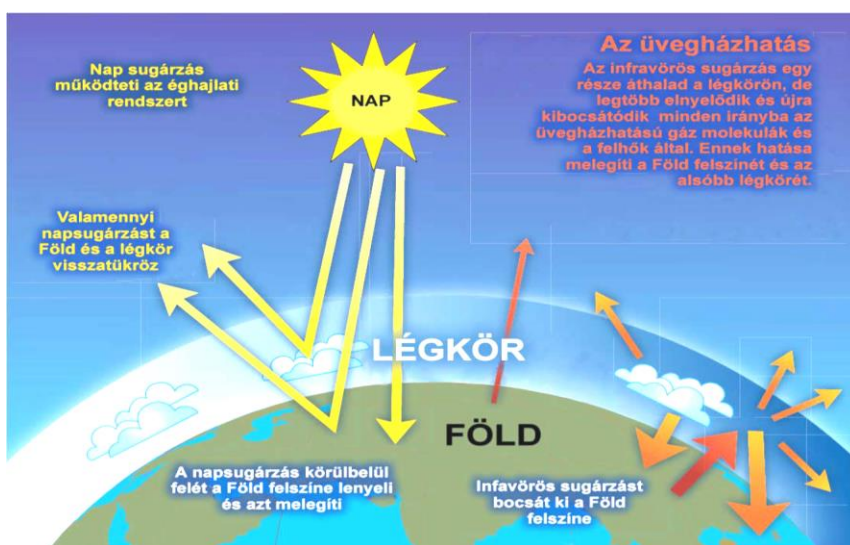
10.2. A hőmérséklet

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 (51. ábra):

- **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
- **hősugárzással**, 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 fokos hőmérsékleten megy át látható fénybe.



51. ábra. A felmelegedett talaj hőátadása

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 hősugárzás 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.

10.2.1. Fotoszintézis

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 oxálecetsavba (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 **C₄-es növényeknek** nevezzük. Közülük nagy mezőgazdasági jelentőséggel bír pl. a kukorica, kisebb mértékben a köles. A C₄-esek jobban alkalmazkodtak a meleg és száraz klímához, mint a C₃-asok, fotoszintézisük 40 °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 6-7 °C–kal mutatja a legintenzívebb fotoszintézist, a +15 °C már jóval kedvezőtlenebb számára.

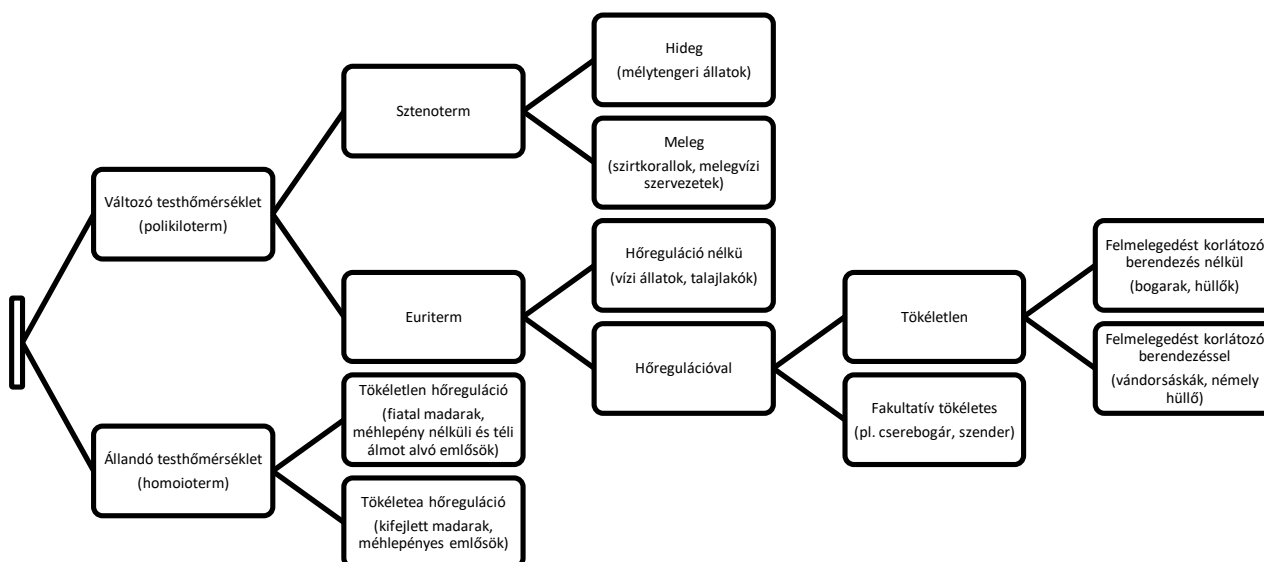
10.2.2. Hőmérséklet - állatok

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. Ezek **homoiotherm**nek is nevezett fajok jellemzője, hogy testhőmérsékletüket a környezet hőmérsékletének meglehetősen széles tartományában többé-kevésbé állandó szinten tudják tartani

(14. táblázat, 52. ábra). 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).

14. táblázat. Az állatok testhőmérséklete

Változó (poikilotherm)	Állandó (homoiotherm)
- hőmérsékleti minimumkor nyugalmi állapot - testhőmérsékletük bizonyos intervallum követéssel igazodik a környezethez: melegedéskor az aktivitás nő - valamilyen határon belül azért képesek a saját hőmérsékletüket aktívan befolyásolni - pl. poszméhek, vagy bagoylepkék, méhek önmelegítéssel (repülőizmaik segítségével akár 30°C különbséget is elérhetnek) - kisebb költség, kisebb haszon (a hosszú napozás már a ragadozóknak való kitettség esélyét növeli)	- külső környezettől függetlenített testhőmérséklet - fejlett hőszabályozás (oxigénellátás) - hőtermelés a testtömeggel, hőleadás a testfelülettel nő (sarki róka, sivatagi róka test,fülméret;pingvinfajok) - nagyobb költség, nagyobb haszon - pl. őzek párzása – július, augusztus – ellés: május



52. ábra. Az állatok hőreguláció szerinti felosztása

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 igényeltől csak kicsivel is melegebb vagy hidegebb viszonyok között. Ezeket a hőmérséklet szempontjából **szűk tűrésű** (stenoterm) fajoknak nevezzük.

10.2.3. Effektív hőösszeg

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 lárvá 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 akkora 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 hőösszeg**nek. 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 $t_1 (T_{\text{körny}1} - T_0) + t_2 (T_{\text{körny}2} - T_0) = 64 * 10 + 32 * 20 = 640 + 640 = 1280\text{ }^{\circ}\text{C}$.

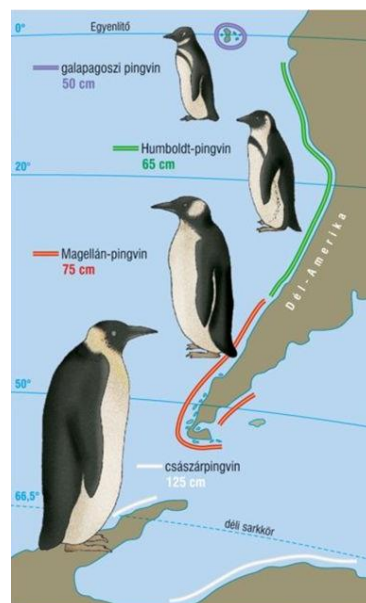
Minden, a mezőgazdaságban jelentőséggel bíró rovarfajról ismert, hogy telelő fejlődési alakjából a teljes kifejlődéshez (vagy éppen a következő tömeges rajzás elkövetkezéséhez) mekkora effektív hőösszegre van szükség, és az is, hogy mekkora a fejlődési küszöbhőmérsékletük. Ha a hőmérséklet e szint alá 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 °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.

10.2.4. Hőmérséklet – testfelépítés, -méret

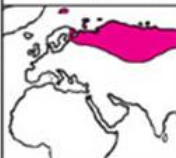
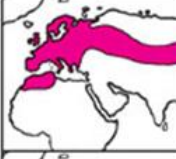
A **homioitherm gerincesek** testfelépítése és -mérete úgy alakult, hogy aktív hőmérsékletszabályozásra minél kevésbé legyen szükségük. Nyilvánvaló, hogy egy állat annál több hővel rendelkezik, minél több hőt termel, és minél kevesebbet ad le. **A hőtermelés a testtömeggel (ill. térfogattal) arányos, 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) (53. ábra). 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.



53. ábra. Bergmann-szabály: A hidegebb területen élő fajok mérete nagyobb a melegebb területen élő rokon fajokénál (a sarki pingvinek nagyobbak, mint az egyenlítőiek).

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 (54. ábra). Természetesen ez a szabály is csak egy-egy kisebb taxonon belül, **közelrokon fajok között** érvényes.

Elterjedés	Faj		Tömeg	Szín
		Sarki róka	6-10	fehér barna
		Vörös-róka	4,5-8	vörös- barna
		Sivatagi róka	3-6	sárga

54. ábra. Allen-szabály: a testfüggelék (fül, farok, végtagok) egy faj hűvösebb vidéken élő képviselőinél vagy egy rokonsági körbe tartozó fajok esetében a hűvösebb éghajlat alatt élőkénél a testhez viszonyítva kisebbek

Gloger-szabály: az állandó testhőmérsékletű állatok színe összefügg a környezeti páratartalommal. Az összefüggés úgy érvényesül, hogy a sarkok felé haladva *közelrokon fajok* esetében az állatok színe egyre világosabb és fordítva, a trópusok felé haladva egyre sötétebbek. Feltehetően az ultraibolya sugárzás elleni védekezés magyarázza ezt: a sötétebb színű bőr eredményesebb ott, ahol nagyobb mennyiségű sugárzásnak vannak kitéve. A sarkokhoz közel viszont a világosabb bőrszín biztosítja, hogy az egyed elegendő UV sugárzáshoz jut a szükséges vitaminok előállítására érdekében. A madarak esetében a Gloger-szabály egyik lehetséges magyarázata, hogy a sötétebb színű tollak jobban ellenállnak a tollakon élősködő baktériumoknak, mint pl. a *Bacillus licheniformis*. A párásabb környezetben több baktérium telepedhet meg a tollakon és elősegíti azok szaporodását, de a sötét tollak jobban ellenállnak ennek.

10.2.5. Hőmérséklet – szaporodás

Egyes élőlény csoportoknál a környezeti hőmérséklet az embrionikus fejlődés alatt befolyásolja, hogy a születendő utód milyen nemű lesz. Gyakran a hőmérséklet még nagyobb befolyással van a kromoszómákra; halaknál és kételtűeknél gyakran megfigyelhető, hogy az alacsony és magas hőmérséklet egyaránt kihat az utódok nemére.

Gerinctelenek:

nemzedékváltozás - szűznemzés, vagy ivaros szaporodás: a jelenséget, amikor az ivarsejtek megtermékenyítés nélkül indulnak fejlődésnek, szűznemzésnek (parthenogenesis) nevezik. Előfordulhat, hogy hirtelen megváltozik a petesejt környezetének hőmérséklete (pH-ja, sókoncentrációja vagy a petét mechanikus inger éri). Ilyen esetekben elkezdődhet a barázdálódás anélkül, hogy megtermékenyítés történt volna. A levéltetvek haploid nőtényei a parthenogenezis során haploid utódokat hoznak létre. Ezek egy részéből (szintén egyes környezeti tényezők változásainak hatására) hímek alakulnak ki. Így a megtermékenyített pete már diploid lesz.



Gerincesek: hőmérséklet befolyásolhatja a leendő utódnemzedék ivararányát, vagy esetenként az ivarérettséghez szükséges életkort

- *Chelidra serpentina* teknősnél alacsony és magas fészkehőmérsékletnél nőtények, míg közepesnél főleg hím utódok születnek.
- A mocsári teknősnél pl. 25 fokon minden tojásból hímek, 30 fokon pedig nőtény utódok kelnek ki. A köztes hőmérsékleteken vegyesek az almok
- Alligátoroknál melegebb hőmérsékleten több hím kel ki



- A kalászhalak nőtényei annál nagyobb arányban fialnak hím utódot, minél melegebb a víz (akár a laborban is). Valószínűleg a hideg vízből arra következtethetnek, hogy a szezon még korai szakaszban van, a kikelő utódnak még sok ideje van fejlődni. Mivel a nagyobb testméret a nőténynek kedvez (nagy test, sok ikra, nagy szaporodási siker), hidegben több nőtény kel ki.

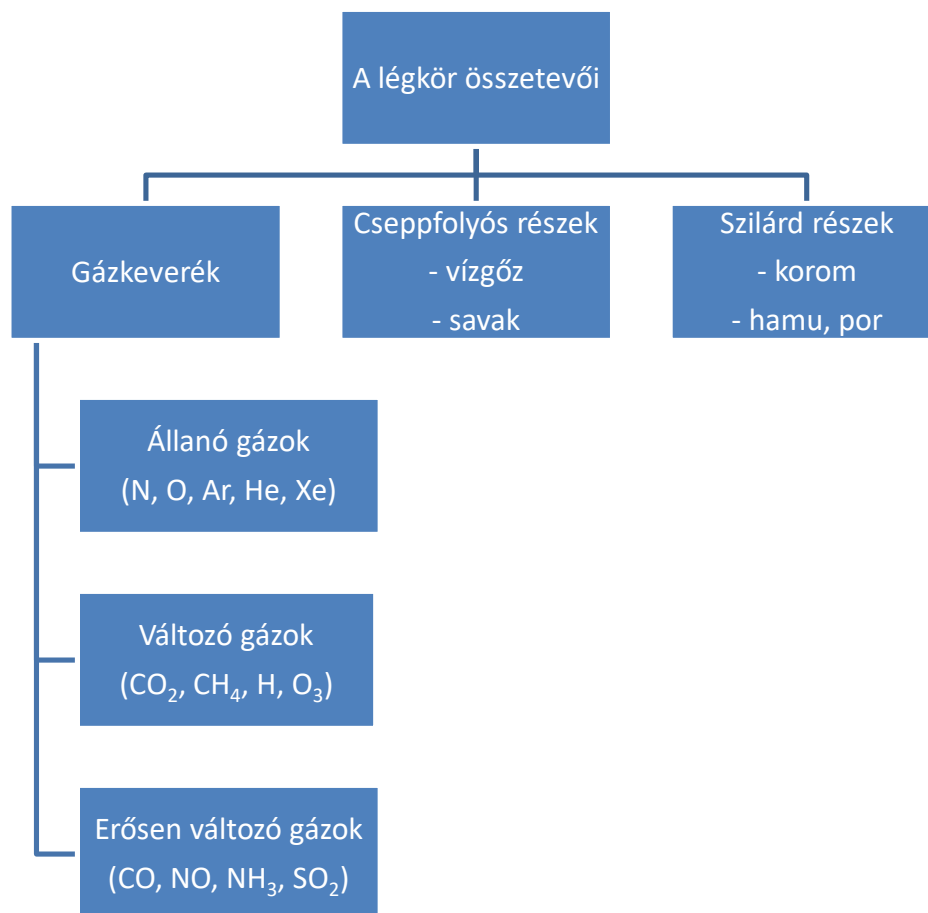


10.3. A légkör

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 $4r^2\pi = 4 \times (6 \times 10^6)^2 \times \pi \approx 4 \times 36 \times 3,14 \times 10^{12} \approx 4,52 \times 10^{14} \text{ m}^2$, 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) (55. ábra).



55. ábra. A légkör összetevői (a légkörben tartózkodás alapján)

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, NH₃, S, H₂S, vízgőz alkotta. Az első fotoszintetizáló szervezetek azonban (mintegy 2 milliárd évvel ezelőttől 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 lélegző élőlények megjelenését).

10.3.1. A légkör tagozódása

A légkört 3 nagy részre tagolhatjuk: alsó-, középső- és felső légkör (56. ábra).

10.3.1.1. Alsó légkör

2 részre osztjuk: troposzféra és sztratoszféra.

Troposzféra: a légkör alsó, legsűrűbb, az élet számára legfontosabb része. A Föld felszínétől 10-12 km-es magasságig tart. A légkör tömegének 4/5 részét, vízgőzkészletének 90%-át tartalmazza. A troposzférában a hőmérséklet függőleges irányban csökken: 100 méterenként 0,5^oC-ot.

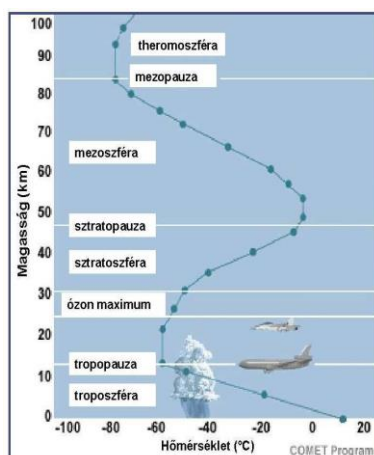
A troposzférában függőleges és vízszintes irányú légmozgások vannak.

A függőleges légmozgásokat a Föld felszíne és a troposzféra magasabb rétegei között fennálló hőmérséklet különbség indítja meg és tartja mozgásban. A felszálló légmozgás a felhőképződéshez szükséges vízgőzt és szennyező anyagokat juttat fel a magasabb rétegekbe.

A vízszintes irányú légmozgás a szél. A Föld felszínén uralkodó légnyomáskülönbségek idézik elő.

Sztratoszféra: a troposzférától a tropopauza választja el. 10-12 km-től 60 km-ig tart. A sztratoszféra alsó 10 km-ében a hőmérséklet nem csökkent tovább, hanem 15-20 km-en keresztül –50 - -80^oC között váltakozik. Itt nincsenek felszálló légmozgások az egyenletes hőmérséklet miatt. Vízszintes mozgások annál inkább: NY-K irányú, a Földet a 25-30. szélességi körök felett cirkumpolárisan körüljáró szelek, az ún. futó áramok (jet stream). Sebessége: 300-350 km/h.

25-30 km-től kb. 60 km-ig a hőmérséklet újra emelkedni kezd, és megközelíti a 0^oC - +10^oC-os értéket. Itt van az ózonréteg.



- Troposzféra: 10-12 km
- Sztratoszféra: 50 km - Ozonoszféra
- Mezoszféra: 80-90 km
- Termoszféra: 800-1000 km
- Exoszféra: 2000 km
- Magnetoszféra

56. ábra. A légkör tagozódása

10.3.1.2. Középső légkör

A sztratoszférától a sztratopauza választja el. A légkör 60-105km közötti szakasza. Itt a hőmérséklet újból erőteljesen csökken. Viszonylag szélcsendes öv. A felső légkörtől a mezopauza választja el.

10.3.1.3. Felső légkör

105 km-től felfelé. Két része van:

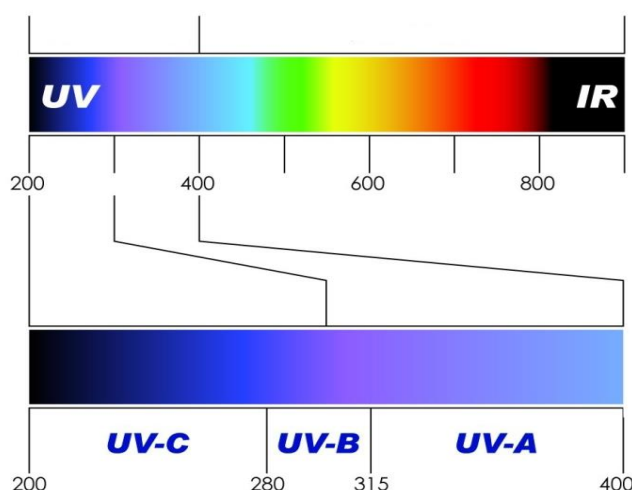
Termoszféra: 1000 km-ig. Itt a hőmérséklet rohamosan emelkedik. 110 km-en $+70^{\circ}\text{C}$, e felett pedig 2000-30000C. A termoszférában több ionizált réteg van. Ezekről verődnek vissza a rádióhullámok. Itt keletkezik a sarki fény is.

Exoszféra: a termoszférától a termopauza választja el. Hőmérséklete kb. megegyezik a termoszféráéval. Anyaga fokozatosan megy át a bolygóközi tér anyagába.

10.3.2. Ozonoszféra/Ózon:

A Nap sugárzása elektromágneses sugarakat is tartalmaz, így UV sugarakat. Az UV (ibolyántúli) sugárzás hullámhossz alapján 3 részből áll (57. ábra):

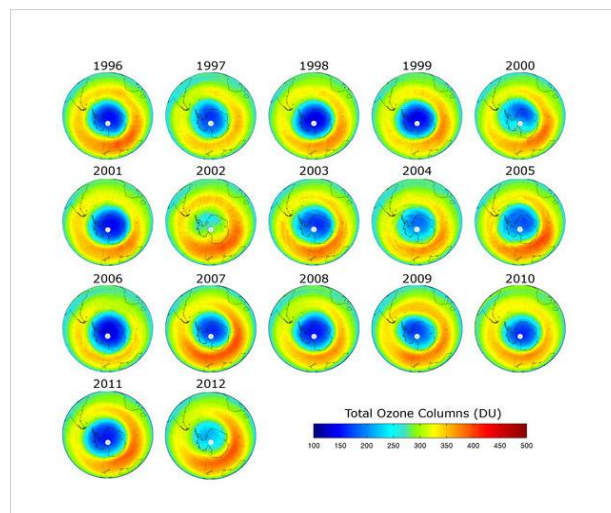
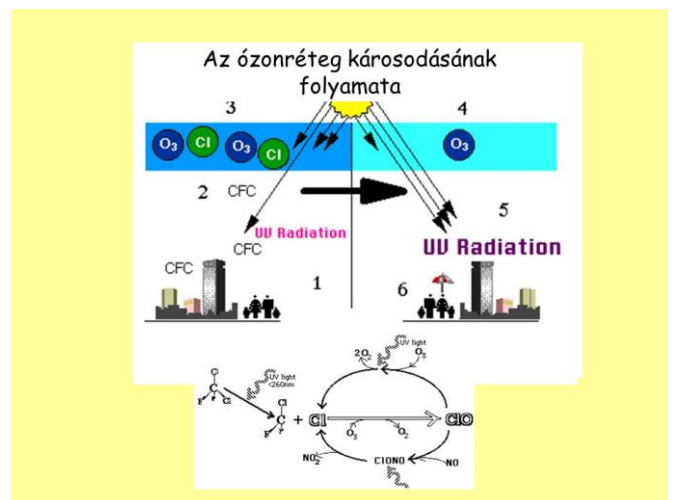
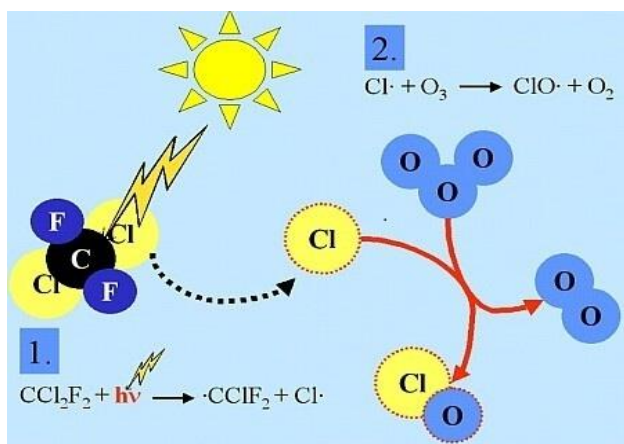
- **UV-A (315-400 nm):** károsítja a kollagénrostokat, hozzájárulva így a bőr öregedéséhez, közvetve képes károsítani a DNS-t
- **UV-B (280-315 nm):** normális esetben elnyeli a Föld ózonrétege. A DNS molekulát gerjeszti, melynek hatására a molekula kémiai kötése átrendeződnek, a szomszédos citozin bázisok dimerizálódnak
- **UV-C (200- 280 nm):** teljesen elnyeli az atmoszféra



57. ábra. Az UV sugárzás hullámhossz alapján történő felosztása

Az ózon a sztratoszférában, 20-30 km-es magasságban néhány méter vastagságban ernyőszerűen védi a földi életet. Az ózon, így az ózonréteg képes bizonyos frekvenciájú ultraibolya sugárzást elnyelni. Az ózonréteg sűrűsége igen alacsony: normál légköri nyomáson csak néhány mm vastag lenne.

Az ózon a Föld légkörében az ultraibolya sugárzás hatására keletkezik. A 200 nanométernél rövidebb hullámhosszú UV-sugarak a légköri oxigén molekuláit (O_2) különálló oxigén atomokra bontják. Ezek az atomok más oxigénmolekulákkal egyesülve ózont (O_3) hoznak létre. Az ózonmolekula instabil, 200-300 nanométer hullámhosszú ultraibolya sugárzás hatására szétbomlik egy oxigénmolekulára és egy oxigénatomra. Az oxigénatom reakcióba lép az ózonnal, és két oxigénmolekula jön létre. Ez a folytonos ciklus hozza létre az ózonréteget, biztosítva az ózommennyiség viszonylagos állandóságát. A sértetlen sztratoszférában ez az érték 10 ppm, vagyis minden százezer molekulából egy ózon.



58. ábra. Az ózonréteg károsodása

Az ózonréteg vastagságának mértékegysége a **Dobson-egység**: 1 Dobson egység annak az ózonrétegnek a vastagsága, amely a földfelszíni nyomáson 0,01 mm lenne. A természetes ózonvastagság **300 Dobson** (földfelszínen kb. 3 mm lenne).

Az élővilág szempontjából az ózonréteg fontos szerepet tölt be, azáltal, hogy a szervezetekre káros Napból érkező ultraibolya sugárzást elnyeli. Míg az oxigén csak a 0,28 mikronnál rövidebb hullámhosszú UV-sugarakat képes blokkolni, addig az ózon hatékonyan fogja fel a 0,28-0,32 mikron tartományban érkező sugárzást. A légkört elérő 0,4 mikronnál rövidebb hullámhosszú sugárzás 95%-át képes elnyelni az ózon. Ez komponensekre bontva a következőket adja: UVC-sugárzást teljes mértékben, a kevésbé káros UVB intenzitását nagymértékben, az UVA-sugarak intenzitását pedig kisebb mértékben abszorbeálja az ózonréteg.

Az ózonréteget a különféle termelő tevékenységek melléktermékei pusztítják (58. ábra). Ilyeneket bocsátanak ki a gépjárművek belső égésű motorjai, eregetnek ki kéményeikből a különféle gyárak (kiváltképp a nehézipar). Az ózon legfőbb lebontói azonban nem ezek voltak, hanem a kiváltképp szórópalackok vivőgázainak gyártott halogénezett szénhidrogének, az ún. CFC-gázok. A magaslégkörbe jutó halogénezett szénhidrogének molekulái a nagy energiájú ibolyántúli sugárzás hatására felbomlanak, és belőlük klór-, illetve fluor-atomok szabadulnak fel. Ezeket a gázokat hűtőberendezésekben, kozmetikai és háztartási spray-k hajtógázaként, neoncsövekben használták.

10.3.3. Oxigénigény

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 a 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 °C-os édesvizek oxigéntartalma 14 mg/l. Hasonlítsuk ezt össze a levegő átlagos oxigéntartalmával! 24,5 liter standard állapotú levegő tömege 29 g, anyagmennyisége pedig 1 mol. Ennek 21 %-a oxigén, azaz 0,21 mol, ami 32 g/mol x 0,21 mol = 6,72 g-ot jelent. Vagyis a szárazföldi élőlények közegük 1 literéből kerekén 480-szor (6720 mg / 14 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 tömegegységenként 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 átlag-szövetdarabjának anyagcseréje. Ez

nem meglepő, hiszen a nagytestű állatok sejtjeinek 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%).

10.3.4. CO₂ - fotoszintézis

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 északon 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 mindenestre a légkörinél magasabb CO₂-koncentráció mellett valósul meg (néhányak 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.

10.3.5. Szennyező anyagok a levegőben

Természetes körülmények között a levegő igen kevés szennyező anyagot tartalmaz (pl. por, vulkánkitörésekből származó anyagok). A levegőszennyezők túlnyomórészt **antropogén eredetűek** (59. ábra).

Mesterséges szennyező források:

- A légszennyező anyagok kb. 50%-ért a **géperejű közlekedés** a felelős, ezen belül is a szárazföldi (a vízi, vasúti, országúti közlekedés káros anyag kibocsátása 1: 12: 80)
- Az **ipari folyamatok** az összes légszennyeződés 20-30 %-ért felelősek, a legszennyezőbb iparágak: az energetika, a kohászat és fémfeldolgozás, a vegy- és építőanyagipar, papírgyártás.
- A **háztartások** légszennyezése becslések szerint világszinten nagyobb, mint az összes ipari szennyezés, oka: korszerűtlen tüzelőberendezés - rossz hatásfokkal, sok szennyező anyag kibocsátásával működnek.

A szennyező anyagok levegőbe való kibocsátását **emisszió**nak nevezzük. Ez lehet:

- helyhez kötött (pl. gyárkémény)
- mozgó (pl. gépjárművek),
- pontszerű (egyetlen kémény)
- diffúz (egy település összes kéménye).

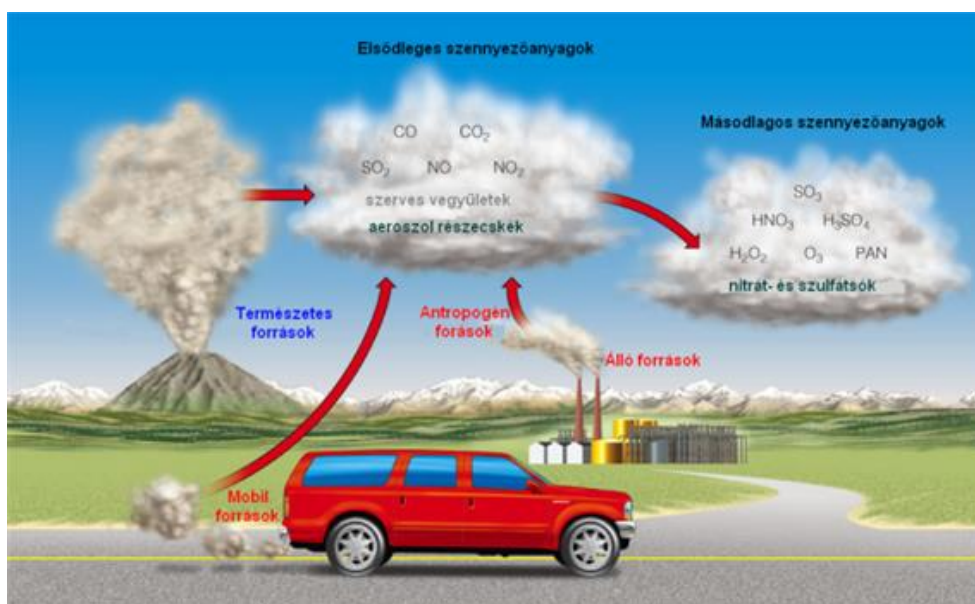
A levegőt szennyező anyagok légköri mozgását, keveredését **transzmisszió**nak, ezek elnyelődését - vagyis amikor pl. az emberek belélegzik ezeket – **imisszió**nak nevezzük.

Elsődleges légszennyezők

- közvetlenül kerülnek a levegőkörnyezetbe
- forrásuk lehet természetes vagy antropogén
- pl.: SO₂, CO, NO, korom

Másodlagos légszennyezők

- légkörben keletkező, kémiai reakciók termékeként létrejövő anyagok
- elővegyületeik forrása természetes, vagy antropogén
- Pl.: O₃, szulfát-aeroszol



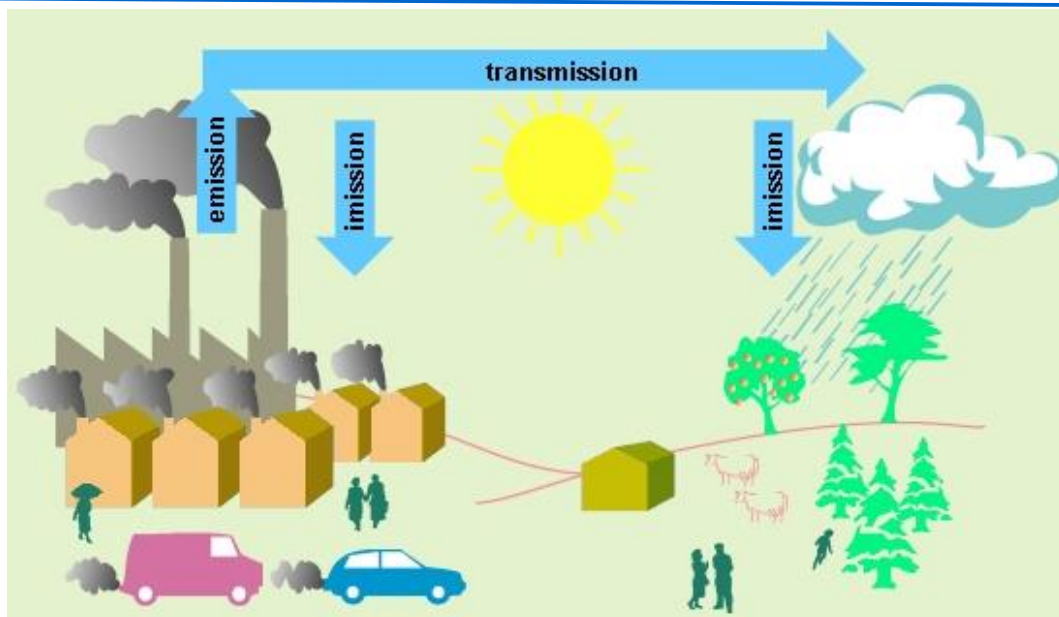
59. ábra. Szennyező anyagok légkörbe kerülésének lehetséges forrásai

Természetes szennyező források

- a Föld légkörébe jutó kozmikus por,
- a szélről felkavart talaj pora,
- a vulkáni kitörések gázai,
- az erdő- és szavannatüzek égéstermékei,
- az élő és elhalt, bomló szervezetek gáz alakú termékei
- Ezek okozzák a légkör un. globális háttérszennyezettségét.

Mesterséges szennyező források

- a közlekedés, az ipar, a mezőgazdaság és a háztartás által termelt szennyező anyagok
- ezek ráakódnak a természetes szennyezettségre.
- Antropogén légszennyezés a természetesnél jóval nagyobb, tehát a „szennyezett levegő” tipikusan emberi tevékenység következménye.



60. ábra. A szennyező anyagok légkörbe kerülése, mozgása, elnyelődése

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 kártékonynak 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 nitrogén ciklus 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 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 füstgázai közül 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. A vízfelszínnek párolgását vizsgáló kutatók azt állapították meg, hogy adott terület 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

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

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 lehülése, 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 megtevesztően talált vagy meghamisított) megfigyelések, amelyek szerint a Föld melegedése bizonyos szempontból szorosabb összefüggést mutat a Nap ciklusainak változásával, mint a CO₂koncentrációjával, 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.

10.3.5.1. Szálló por

A szálló por a levegőben lebegő szilárd és folyékony részecskék elegye. A szálló port két nagy csoportra lehet bontani szemcseméret alapján: a 2-10 mikrométer átmérőjű szemcséket (PM 10-2,0) durva részecskéknek nevezik, ezek a szemcsék lejutnak az alsó légutakba. A 2,0 mikrométernél kisebb átmérőjű, „finom” porszemcsék (PM 2,0) azért különösen veszélyesek, mert belélegezve a tüdő mélyébe jutnak, innen pedig felszívódnak és a keringésbe kerülnek. A PM 2,0 porfrakció másodlagosan keletkezett aeroszollokból, égési termékekből, és kondenzálódott szerves vagy fém részecskékből áll, és a szálló por mutagén hatásaért, valamint savasságáért felelős.

A szálló por forrása a közlekedés, az ipari tevékenység, a háztartási szén és fatüzelés, stb. A szél fújta inert por – nagyobb szemcsemérete miatt - kevésbé károsítja az egészséget.

A PM 10/PM 2,0 arány függ az egyes területeken az ipari tevékenység típusától, a fűtőanyagtól, a földrajzi és időjárási viszonyoktól. Európában a szulfát és a szervesanyag a két fő szálló por komponens, ami végül is meghatározza az évi átlagos PM 10 és PM 2,0 tömegkoncentrációját.

PM10-2,0

mechanikai folyamatokból származnak:

- a talaj eróziójából,
- az utak kopásából és ipari tevékenységből
- kőzetalkotó elemeket tartalmaznak (Si, Ca, Fe, Al, Mg, K)
- egészségügyi hatásuk nagy koncentrációban jelentős - szilikózis

PM2,0

- másodlagosan keletkezik aeroszollokból, gázfázisú kémiai reakciók termékei
- égési termékekből, kondenzálódott szerves vagy fém részecskékből áll,
- kémiai összetétele változatos: ammónium-szulfát, ammónium-nitrát, szerves vegyületek

10.3.6. Légszennyező gázok

- Nitrogén-oxidok: N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_5 ,
- Freonok,
- Kén-dioxid (SO_2),
- **Szén-dioxid (CO_2)**,
- **Metán (CH_4)**

10.3.6.1. Nitrogén-oxidok

A nitrogén-oxid (pl. N_2O) természetes úton szabadul fel az óceánokból és az esőerdőkből, és a talajban lévő baktériumok hatására. Az ember által befolyásolt források közé tartoznak a nitrogén alapú műtrágyák, a fosszilis fűtőanyagok égetése és az ipari vegyi anyagok előállítása nitrogén felhasználásával, például a szennyvízkezelés. Az iparilag fejlett országokban a nitrogén-oxid felel az üvegházhatású gázok kibocsátásának kb. 6%-áért. A széndioxidhoz és a metánhoz hasonlóan a nitrogén-oxid üvegházhatású gáz, melynek molekulái elnyelik az űrbe kiszökni próbáló hőt. A nitrogén-oxid 310-szer hatékonyabb a hő elnyelésében, mint a széndioxid. Az ipari forradalom kezdete óta a légköri nitrogén-oxid koncentráció körülbelül 16%-kal nőtt, és 4–6%-kal járult hozzá az üvegházhatás fokozódásához.

Természetes eredetű nitrogén-oxidok forrásai:

- a villámláskor létrejövő elektromos kisülés hőmérsékletén a levegő nitrogénje és oxigénje nitrogén-monoxidot képez
- a talajba kerülő elhalt élő szervezetek nitrogéntartalma baktériumok segítségével átalakul nitrogén-oxidokká
- folyómedrek fenekén kialakult oxigénhiányos környezetben mikrobiológiai tevékenység során nitrogén-oxidok képződhetnek (pl. torkolatoknál)

Emberi tevékenységekből származó nitrogén-oxidok:

- közlekedés, benzin és dízelüzemű motorok
- energiatermelés fosszilis tüzelőanyaggal
- talajerő utánpótlás nitrogéntartalmú anyagokkal

Dinitrogén-oxid (N_2O)

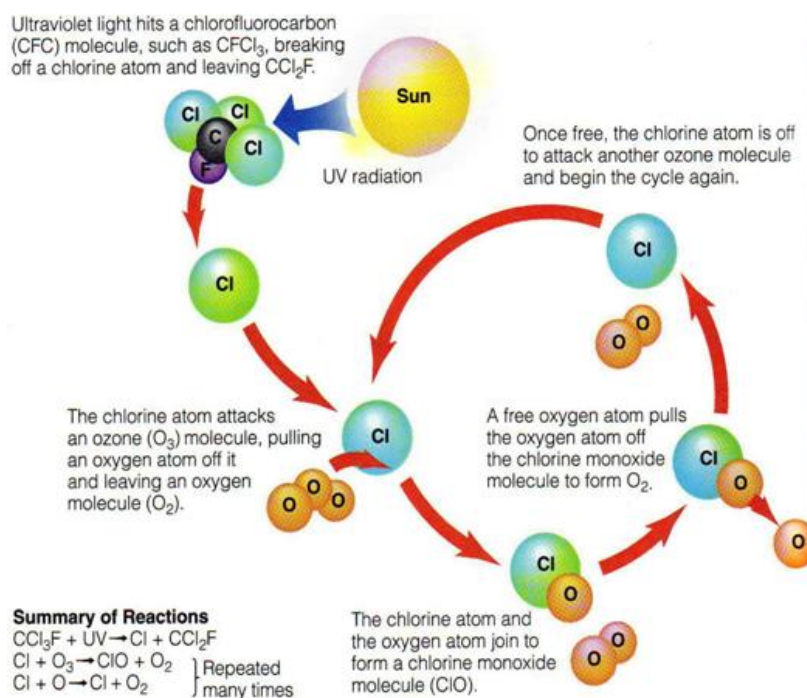
- Talajban élő denitrifikáló baktériumok tevékenysége során kerülnek a levegőbe
- Üvegház-gáz
- Tartózkodási ideje a troposzférában nagy (kb. 150 év) – így bekerülhet a sztratoszférába
- Ott NO keletkezik – katalitikus reakcióban bontja az ozon!!!

NO , NO_2 , NO_x

- Természetes forrása: talaj kibocsátása, villámlások
- Antropogén forrása: fosszilis tüzelőanyagok égetése, gépjárművek, vegyi- és cementgyárak, mezőgazdasági silók, koksizolók
- Szerep: fotokémiai szmog
- A NO_2 fotokémiai bomlás révén oxidáló reakciót indít el a levegőben
- Üvegház gáz!

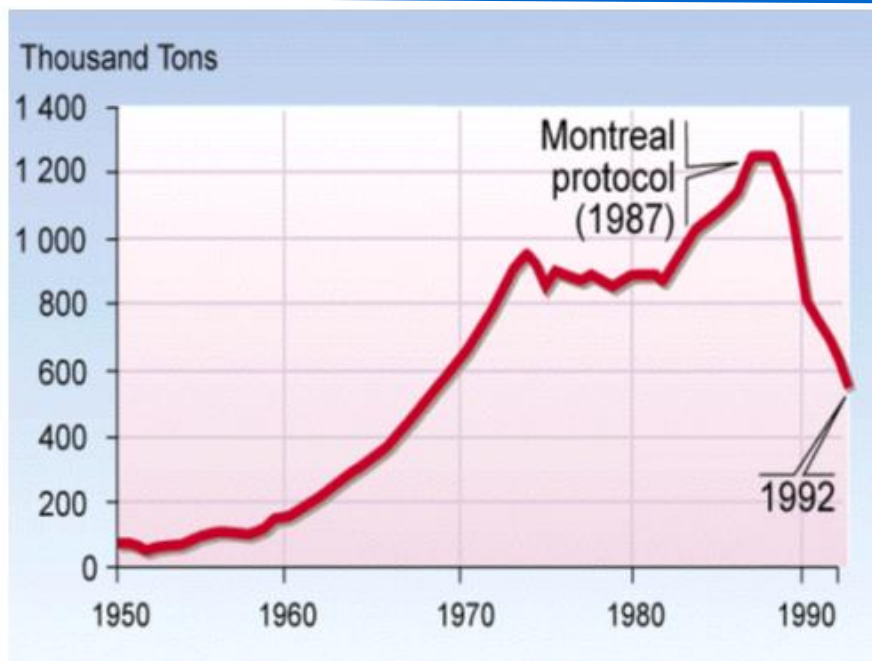
10.3.6.2. Freonok

Klór-fluorkarbon gázok (CFC gázok), teljesen halogénezett szénvegyületek, más néven freonok (egy FREON nevű cég munkatársai fejlesztették ki, és sokáig egyedül ez a cég gyártotta ezeket a gázokat). Ezen vegyületek teljesen halogénezett szénvegyületek, mint a CFCl_3 vagy a CF_2Cl_2 . A CFC-k kifejlesztésére a hűtőiparban korábban használt súlyos egészségkárosító, tűzveszélyes gázok kiváltására volt szükség. A freont a hűtőiparban kívül más területeken is alkalmazzák. Kiváló tűzoltó anyag, elektromos szigetelőképesége miatt elektromos tüzek oltásához is alkalmas. Később vegyi oldószerként, habosító és fűző anyagként, aeroszol hajtóanyagként, oldószerként az elektromos iparban, zsírtalanító anyagként, a háztartások, házak számára készült szilárd habszerű szigetelőanyagok alapvető összetevőjeként és az anyagok csomagolásakor szigetelő habként is alkalmazták. A freonok hosszú élettartamúak - ha a gyártást és a felhasználást azonnal leállítanák, akkor is még 30 évig folytatódna az ózon bomlása (61. ábra). Az ózonon kívül azonban teljesen ártalmatlanok mind az élő, mind az élettelen környezetre nézve.



61. ábra. A CFC-k ózonkárosító hatása

Felismerve a CFC vegyületek rendkívül jelentős ózonlyuk-károsító hatását, 1987-ben létrejött a Montreali Jegyzőkönyv, melyben az ózont károsító anyagok gyártását, kibocsátását szabályozzák (62. ábra). Magyarország 1989-ben csatlakozott a Montreali Jegyzőkönyvhöz, a Környezetvédelmi Minisztérium 22/1993. (VII. 20.) KTM-rendeletével és módosításaival mindenben eleget tesz a jegyzőkönyv előírásainak.



1987 – Montreál: Ózon jegyzőkönyv (47 ország)

2010 – Minden CFC gyártás megszűnik

62. ábra. A CFC-k gyártásának megszüntetése

A CFC vegyületek forgalomból való kivonása fokozatos, a rendelet átmeneti anyagként engedélyezi az úgynevezett „lágyméreganyagok” alkalmazását, melyek kevésbé károsítják az ózonréteget, mint például a fentebb említett FREON-11, vagy FREON-12 vegyületek. 2010-ig az összes freon vegyületet, így a lágyméreganyagokat is ki kellett vonni a forgalomból.

10.3.6.3. Kén-dioxid (SO₂)

A kén-dioxid színtelen, mérgező gáz. Az egyik legveszélyesebb légszennyező anyag. Légzőszervi megbetegedéseket okozhat és a savas ülepedés, közismertebb nevén savas esők fő okozója. Jellemző szaga van, és vízzel érintkezve kénsavvá alakul. A levegőben szulfáttá alakulva ún. másodlagos részecskéket alkot, amelyek az aeroszol részecskék meghatározó eleme.

A kén-dioxidok természetes forrása a vulkánok, óceánok, erdőtüzek. Az emberi kibocsátásban legjelentősebb szerepet a szén és olaj elégetése játszik (erőművekben, háztartásokban), de jelentős a kén-savgyártás, kohászat, elemi kén feldolgozásának szerepe is.

A kén-dioxid légzőszervi megbetegedéseket okozhat, mint amilyen például a hörghurut. Irritálja az orr nyálkahártyáját, a légcsövet, a tüdőt a szemet. Súlyos esetben okozhat asztma-szerű reakciót, reflexes gégegörcsöt és légzésbénulást.

A kén-dioxid vízzel érintkezve kénsavvá alakul, és a savas „esők” kialakulásáért felelős. Ez nagyban kihat az ökoszisztémára, és a jelentős erdőpusztulást eredményezett. A tavak savasodása jelentős halpusztulásokat és több helyütt a puhatestűek szinte teljes pusztulását okozta. A lénsav szerepet játszik az épületek korrozójában, műemlékeket veszélyeztet.

10.3.6.4. Szén-dioxid (CO_2)

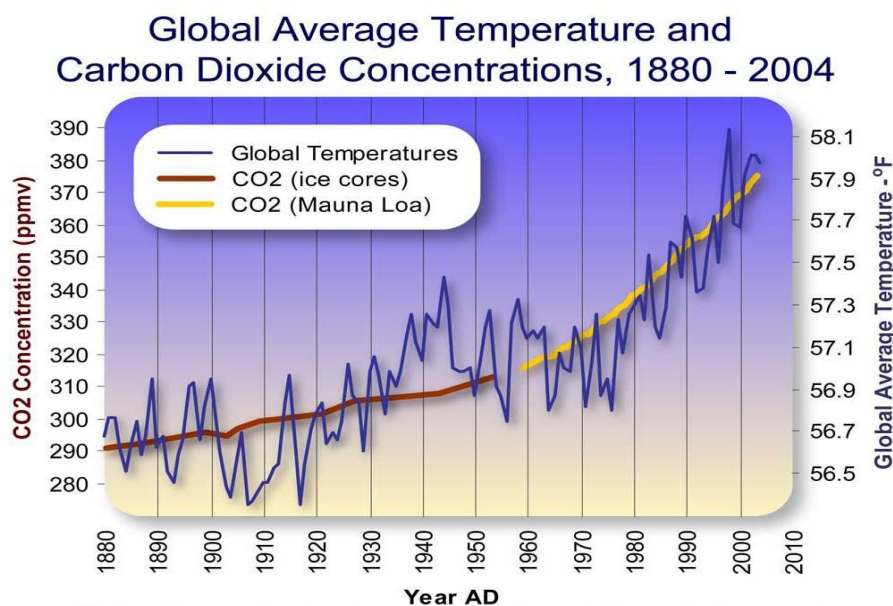
A megnövekedett (ember okozta) üvegházhatás fő eleme a széndioxid (CO_2). Általában a megnövekedett üvegházhatás több mint 60%-áért felel. Az iparilag fejlett országokban a széndioxid az üvegházhatású gázkibocsátások több mint 80 %-át teszi ki.

A Földön lévő szén mennyisége véges, a vízhez hasonlóan ez is ciklusnak, a szén ciklusnak a része. Ez egy nagyon bonyolult rendszer, amelyben a szén kikerül a légkörbe, a földi bioszférába és az óceánokba. A növények a fotoszintézis révén megkötik a légköri széndioxidot. A szenet a szövetek építésére használják, és visszabocsátják a légkörbe, amikor elpusztulnak és lebomlanak. Az állatok (és az emberek) teste is tartalmaz szenet, mivel a megevett növényekből vagy a növényevő állatokból származó szénből épültek fel. Ez a szén széndioxid formájában távozik, amikor lélegeznek (a kilégzés útján), vagy amikor elpusztulnak és lebomlanak.

A fosszilis fűtőanyagok bizonyos feltételek között évmilliók alatt kialakult elhalt növények és állatok fosszilizálódott maradványai, és ezért sok szenet tartalmaznak. Általában a szén az eltemetett erdők maradványa, míg az olaj az átalakult óceáni növényi élet maradványa. (Az óceánok elnyelik a széndioxidot, amely oldott formában a tengeri élet révén kerül felhasználásra fotoszintézis útján.)

Minden évben többmilliárd tonna szén természetes cseréje valósul meg a légkör, az óceánok és a földi növényzet között. A légköri széndioxid szintek alig 10%-ban változtak az ipari forradalom előtti 10.000 évben. 1800 óta azonban a koncentráció körülbelül 30 %-kal emelkedett, mivel nagy tömegben égetnek el fosszilis fűtőanyagot energiatermelés céljából – zömmel az iparilag fejlett országokban. Jelenleg több mint 25 milliárd tonna széndioxid kerül ki a légkörbe minden évben.

A légkörben a jelenlegi széndioxid koncentráció most magasabb, mint bármikor korábban az elmúlt 650.000 évben. Az Antarktisz-i jégben több mint 3 km mélységből hoztak fel mintákat a több százezer évvel ez előtt kialakult jégből. A jégben lévő légbuborékok bizonyítékkal szolgálnak a légkör korábbi összetételéről, megállapítható, hogy a Föld történetének különböző koraiban milyen volt a levegő összetétele (63. ábra).



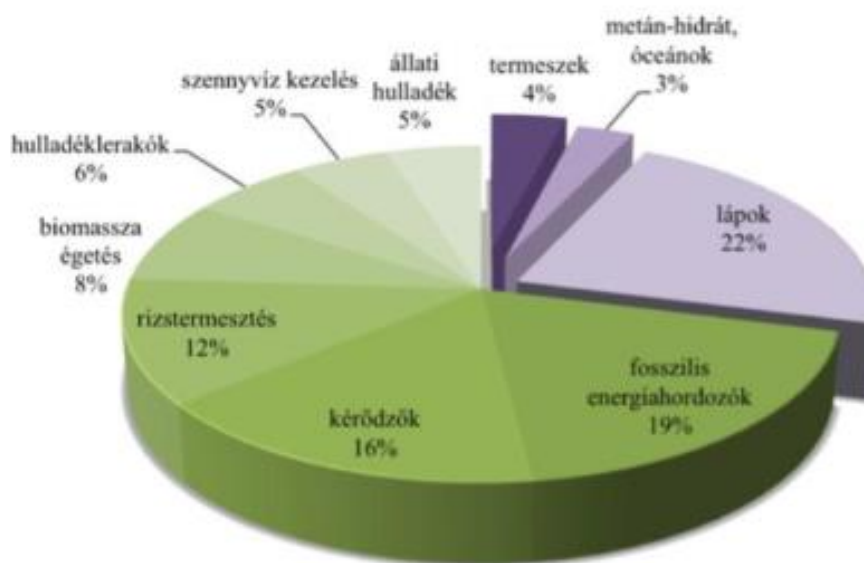
63. ábra. A légköri CO_2 koncentráció alakulása 1880-2010 között

A kibocsátás mennyisége dominál - ezt bizonyítják a régóta mért CO₂ –szintek is - 1850: 0,0029%; 1925: 0,03; 1968: 0,0315; 1975: 0,033; 2020: 0,06 (várható). A növekedés oka a szén-, kőolaj- és földgáztüzelés (fűtés, hőerőművek, közlekedés) rohamos növekedése, másik oldalról a növényzet – főleg a trópusi erdők – pusztítása. Évente *hétmilliárd tonna* szén-dioxid jut levegőbe. Üvegház gáz!

10.3.6.5. Metán (CH₄)

A fokozott üvegházhatásért felelős második legfontosabb üvegházhatású gáz a metán (CH₄). Az ipari forradalom kezdete óta a légköri metán koncentráció megduplázódott, és körülbelül 20 %-kal járult hozzá az üvegházhatás növekedéséhez. Az iparilag fejlett országokban a metán általában az üvegházhatású gázok kibocsátásának 15 %-át teszi ki.

A metánt alapvetően baktériumok termelik, amelyek a szerves anyagon oxigén hiányában elszaporodnak. Ezért különféle természeti és az ember által befolyásolt forrásokból keletkezik metán, de az ember által okozott kibocsátások teszik ki a többséget. A természeti források közé tartoznak a mocsarak, a természetangyák és az óceánok. Az ember okozta források (64. ábra) közé tartozik a bányászat és a fosszilis fűtőanyagok égetése, az állattenyésztés (az állatok növényekkel táplálkoznak, amelyek fermentálódnak a gyomrukban, így metánt lélegeznek ki, és metántartalmú a trágyájuk is), a rizstermesztés (az elárasztott rizsföldek metánt termelnek, mivel a talajban lévő szerves anyag elegendő oxigén nélkül bomlik le) és a szeméttelpek (ismét arról van szó, hogy elegendő oxigén nélkül bomlik le a szerves hulladék).



64. ábra. A globális metán emisszió forrásai

15. táblázat. Az üvegházhatású gázok légtérben való tartózkodási ideje, légköri felmelegítő képessége (GWP)

Üvegházhatású gáz	Tartózkodási idő (év)	GWP Különböző időskálán		
		20 éves	100 éves	500 éves
éves CO ₂	változó	1	1	1
CH ₄	10,8	67	23	6,9
N ₂ O	114	291	298	153
HFC – 134a Fluorozott szénhidrogén	14	3830	1430	435
HFC – 23 Perfluor-karbonok	270	12000	14800	12200
SF ₆ Kén-hexafluorid	3200	16300	22800	32600

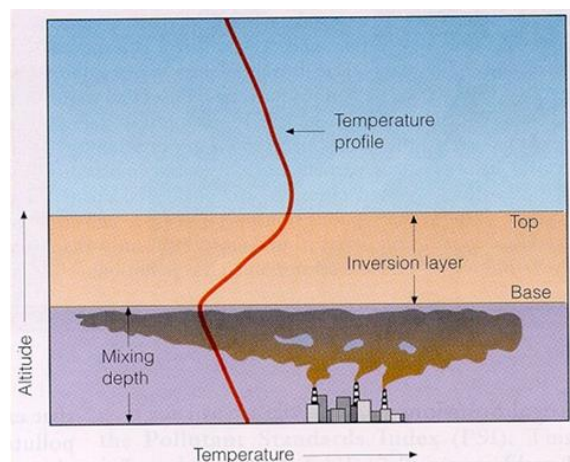
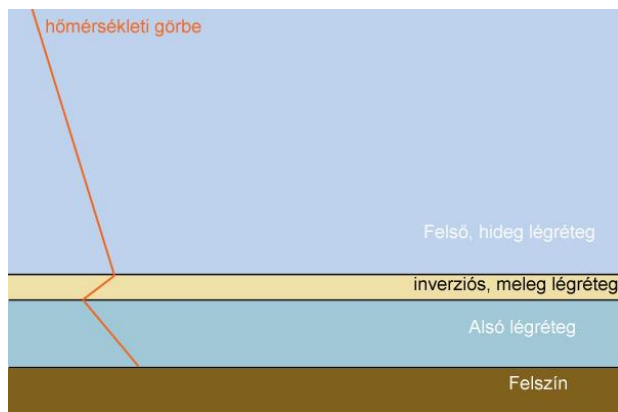
10.3.7. Szmogképződés

Először az 1950-es években figyeltek fel néhány angliai nagyvárosban arra, hogy borult, felhős időben alkalmanként drámai mértékben megnő a levegő szennyezőanyag tartalma. Szmogos napokon hirtelen megnőtt a légúti megbetegedések, és halálozások száma is. A szmog, tehát speciális légállapotokhoz kapcsolódóan kialakuló, extrémén magas szennyezettségű városi levegő. A szmogot kialakulás alapján két fő típusba soroljuk. A kétféle szmog típus elkülönítését indokolja, hogy eltérő szennyező forrásokból származnak, eltérő kémiai összetételűek, és eltérő földrajzi folyamatok szükségesek a kialakulásukhoz. Mindezen jellemzők alapján megkülönböztetünk London típusú, vagy más néven redukzív, és Los Angeles típusú, azaz oxidatív, vagy más néven fotokémiai típusú szmogot.

A London típusú, (redukatív) szmog kialakulásának földrajzi feltételei:

1950-es években több angliai iparvárosban néhány nap alatt több ezer ember hunyt el a szmog következtében fellépő súlyos légúti betegségek következtében. 1952 december első napjaiban Londonban a látótávolság néhány tíz méterre csökkent. A városban öt nap alatt több mint négyezer lakos hunyt el a szmog okozta felső légúti betegségekben. A Temze parti városban és környékén található nehézipari üzemek, illetve az ekkoriban még elterjedt széntüzelésű kályhák voltak a hírhedté vált londoni szmogkatasztrófa legfontosabb emisszióforrásai. A feketeszen ként is tartalmaz, mely égetése során kéndioxidá alakul.

A kéndioxid mellett a szén égéstermékei (főként szénmonoxid) és más mérgező gázok, és por jutnak ekkor a légkörbe. A mérgező gázok azonban csak speciális légköri helyzetben dúsulnak fel egészségre ártalmas mennyiségben a városok felett. A London típusú szmog kialakulásához kedvez a tartósan szélcsendes, anticiklonális idő. Főként télen alakul ki, amikor a hideg, magas páratartalmú levegő a felszín közelében egy helyben marad, míg felette melegebb légtömegek helyezkednek el. Az ilyenkor létrejövő stabilis, vagy inverz légállapot esetében a felszínközeli hideg levegő nem képes felemelkedni, a levegő hőmérsékleti viszonyai nem teszik lehetővé konvekciós feláramlások kialakulását (65. ábra).



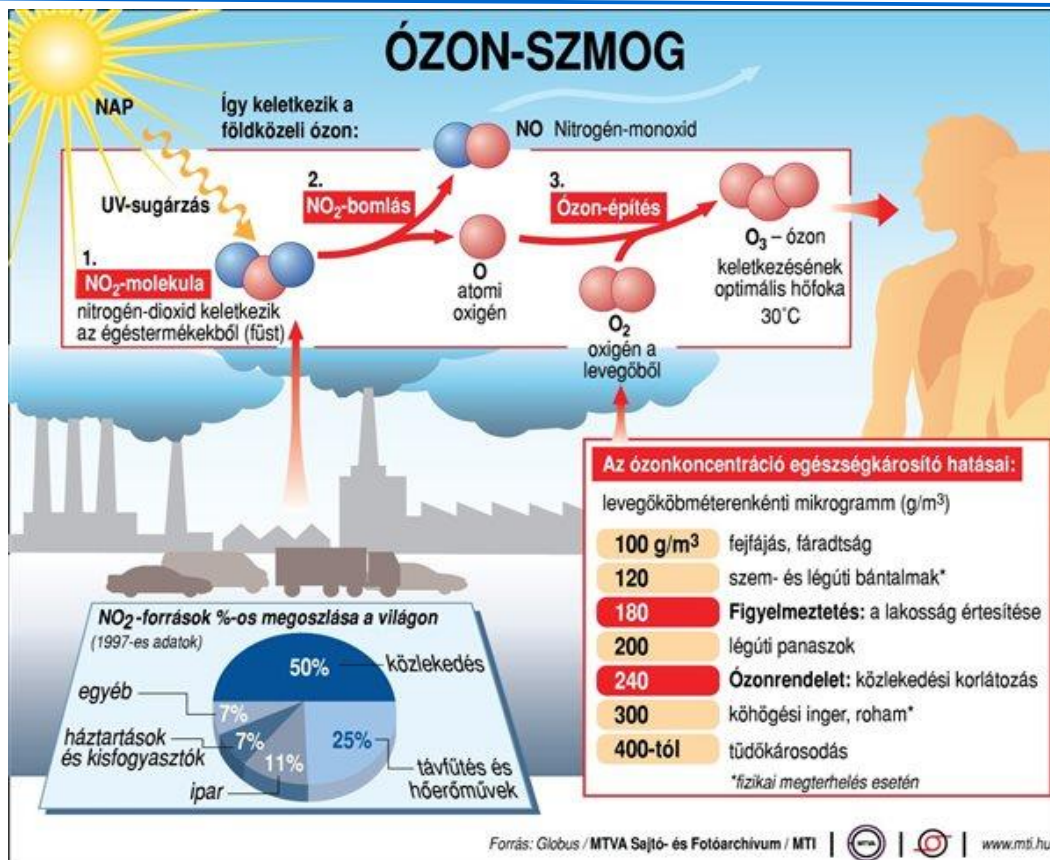
65. ábra. Az inverziós réteg kialakulása és hatása

A London típusú szmog kialakulásának másik fontos feltétele a magas páratartalmú levegő. A kén-dioxid, és egyéb kénvegyületek ugyanis kémiai reakcióba lépve a levegő vízgőztartalmával savas vegyületekké alakulnak. A kénsav, és egyéb savak erősen károsítják a felső légutakat. Az asztmatikus betegségekben, és a tüdőödémában szenvedők száma hirtelen megnövekszik.

A Los Angeles típusú, (oxidatív, vagy fotokémiai) szmog kialakulásának földrajzi feltételei:

Los Angeles városában az 1940-es évektől kezdődően többször is kialakult olyan szmog, mely kémiai összetételében, és kialakulásának menetében is nagyban eltért a londonitól. Los Angelesben a fő szennyezőforrás nem a nehézipar (hiszen itt nincsenek is ilyen üzemek) és a lakosság sem széntüzelésű kályhakkal fűt. A közlekedés viszont rendkívül jelentős Los Angeles, életében, hiszen naponta több millióan ingáznak gépjárművel több sávú autópályákon a városkörnyéki kertvárosias területek és a városközponti munkahelyeik között. A szmog emisszióforrása tehát a közlekedés. Főként a nitrogén-oxidok, a szén-monoxid, szénhidrogének koncentrációja növekszik a légkörben a közlekedés hatására. Ellentétben a Londonival a Los Angeles típusú szmog derült, napfényes időben alakul ki, sőt a kialakulásához kifejezetten segíti, az UV sugárzás.

A Los Angeles típusú szmog tehát legfőképpen a nyári hónapokra jellemző. Ekkor a nitrogénvegyületek (főként a nitrogén-oxidjai) a levegő oxigén-molekuláit atomos oxigénné bontják. Az oxigén-atomok fotokémiai reakciók révén ózonná, valamint hidrogén-peroxiddá, szabadgyökökké és PAN-ná (peroxi-acetil-nitráttá) alakulnak. A troposzférában felhalmozódó ózon mérgező gáz, mely nyálkahártya-irritációt, könnyezést, nehéz légzést, fejfájást okoz. Mivel az ózonképződést a napsugárzás katalizálja, a troposzférikus ózonkoncentrációja a városokban jól követhető napi ritmust mutat (66. ábra). A délelőtti órákban növekszik az ózonkoncentráció, majd a koradélutáni órákban éri el maximumát.



66. ábra. Oxidáló típusú v. fotokémiai szmog

A SZMOG TÍPUSAI

a redukáló vagy oxidáló jellegű anyagok túlsúlya alapján

redukáló v. londoni szmog

- fő szennyező anyagai : kéntartalmú vegyületek, elsősorban SO₂ (fosszilis tüzelőanyagok felhasználása!);
- szilárd részecskék: por, korom;
- leggyakrabban november és január között fordul elő;
- mennyisége reggel és este a legnagyobb;
- szélcsendes időjárás, magas légnyomás, magas relatív páratartalom esetén, -3 - +5 °C esetén
- főként légúti megbetegedéseket okoz;

oxidáló típusú v. fotokémiai szmog

- 1943 nyarán, Los Angelesben észlelték először, erős napsugárzás mellett;
- később a közlekedés és iparosodás terjedésével Európában is megismerték;
- legjelentősebb összetevője az ózon, de nitrogén-oxidok, szénhidrogének is megtalálhatók benne;
- leggyakrabban július és október között fordul elő;
- erős napsugárzás (UV sugárzás), alacsony páratartalom, 25-35 °C, 2 m/s szélsébség esetén
- csúcspontját a déli órákban éri el;
- leginkább a szem kötőhártyáját ingerli;

Annak, hogy az ózonkoncentráció az egészségügyi határértéket meghaladja, légkördinamikai feltételei is vannak. A Los Angeles típusú szmog esetében is az anticiklonális időjáráshoz kapcsolódó inverz és stabilis légállapot típusok azok, melyek a leginkább elősegítik a szmog kialakulását.

Emellett Los Angelesben a Csendes-óceán partmenti áramlása, a hideg vizű Kaliforniai-áramlás lehűti az felszín közeli levegőt, és emiatt is gyakran előfordul hőmérsékleti inverzió.

Napjainkra Los Angelesben jelentősen csökkent a szmogos napok száma, mivel az üzemanyagok kémiai összetétele jelentősen változott, illetve a közlekedést oly módon szervezik, hogy ez által is minimalizálják a szmog kialakulásának lehetőségét.

10.3.8. A szél fizikai hatása

A levegő természetesen fizikai hatásokkal is bír. A levegő földfelszínnel párhuzamos áramlása, a **szél**, valamint az egyéb irányú légmozgások sokrétű hatással vannak az élőlényekre:

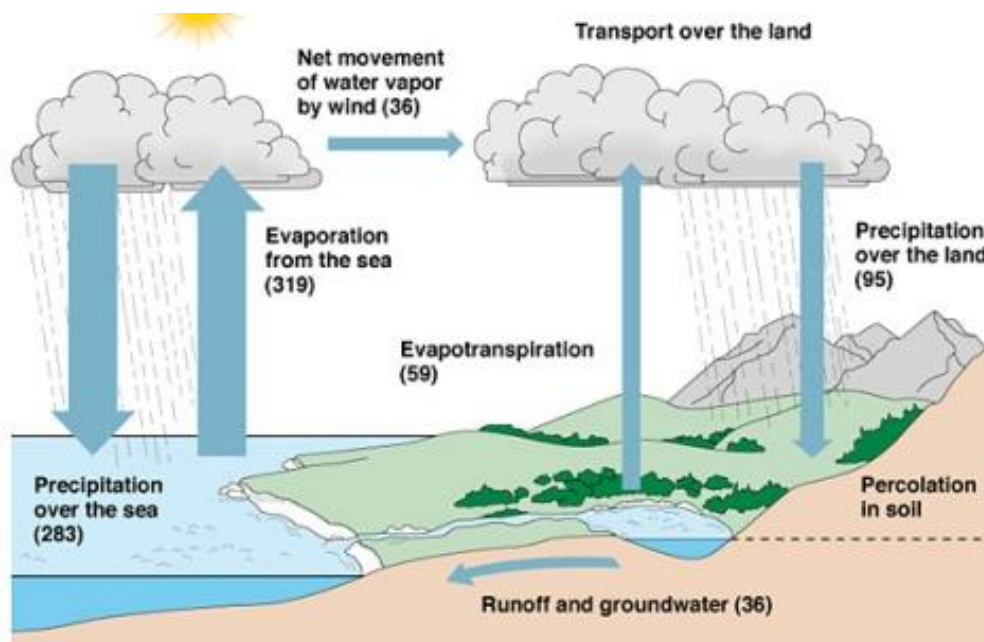
- a szél a **párologtatást fokozza**, ami egyrészt hőelvonó hatású (ez melegben kedvező lehet), másrészt vízvesztést okoz. (Magas relatív páratartalom – **guttáció**; **Euryhigr**: néhány rovarfaj; **Stenohigr**: xerotoleráns (alacsony páratartalmat kedvelők): teve, sivatagi róka; **atmofil** (fülledségkedvelő))
- a szél **nyíró hatású** a növényzetre, sérüléseket, féloldalas növekedést eredményezhet.
- **segítheti** a termések (**anemochoria**), virágporszemek (szélmegporzású, **anemofil növények**), madarak, rovarok és egyéb állatok **terjedését** (vagy éppen akadályozhatja azt).

10.4. 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.

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.



67.ábra. A víz körforgása

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.

10.4.1. A növények vízháztartása és vízigénye

A növények vízháztartásuk szerint lehetnek:

- változó vízállapotúak (**poikilohidratúras növények**); ezek kiszáradás-toleránsak, 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 (**homoiohidratúras 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:

- 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.
- Mocsári növények (helofiton): vízzel borított talajon élnek, sok vizet vesznek fel, igen erőteljesen párologtatnak. Nincsenek szilárdító szöveteik, testük tartását a sejtek víztelítettsége biztosítja (ezért is hervadnak el olyan gyorsan).
- Közepes vízigényű növények (mezofiton): állandó közepes szintű vízellátottságot igényelnek, élénkzöld szín és nagy párologtató felület jellemzi őket. Több-kevesebb szilárdító szövettel rendelkeznek; pl.: a réti és erdei növények jelentős része.
- 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:

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

- **Efemer növények:** Rövid tenyészidejű növények, életciklusuk legfeljebb néhány hétig tart. Gyors virágzás és termésérlelés után teljesen eltűnnek, és mag formájában vészlik 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).

10.4.2. 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 termék 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 mikrostesteknek (microbody) nevezett sejt szervecskébe 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-ciklusnak* 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 oxálcetsav (oxálacetát). 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 elkapcsolnak a folyamatnak. Először is, a foszfoenolpiroszölősav-karboxiláz (PEP-karboxiláz) nevű enzim segítségével a három szénatomos foszfoenol-piroszölősavból (PEP) és CO₂-ból négy szénatomos oxálcetsavat (ez még továbbalakulhat szintén négy szénatomos almasavvá) állítanak elő a levél alapszövetének fő tömegét alkotó mezofillumsejtek zöld színtestjeiben. A keletkezett oxálcetsav (vagy almasav) ezt követően átdiffundál a levélerek szállítószöveit 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.

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

Akkor mi értelme van a C_4 -esek elékapcsolt reakciójának ($PEP + CO_2 \rightarrow$ oxálacetát), 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 CO_2 - és magas O_2 -koncentrációnál sem vezet fényléghzéshez. Mikor fordulnak elő ilyen viszonyok? Ha kevés a víz a talajban, és nagy a forróság, a növény az elhervadás elkerülésére igyekszik bezárni gázcsere nyílásait. Ezzel ugyan megelőzheti a túlzott vízvesztést, de a zárt légrések a CO_2 -felvételt is megakadályozzák, és az eredmény alacsony CO_2 -koncentráció lesz. Ez a C_3 -as növényeknél fényléghzéshez, következésképpen szervesanyag-vesztéshez vezetne. Ám a C_4 -es növények $PEP + CO_2 \rightarrow$ oxálacetát $\rightarrow PEP + CO_2$ körfolyamata futószalag módjára szállítja a CO_2 -molekulákat a mezofillumsejtekből (ahol a fényszakasz is zajlik) a nyalábhüvelysejtekbe (ahol a sötétszakaszé a fő szerep). Így a nyalábhüvelysejtekben jelentősen megnő a CO_2 -koncentráció, fényléghzés pedig nem következik be se a mezofillumban (az oxigénre érzékeny enzim hiánya miatt), se a nyalábhüvelyben (a sok CO_2 miatt). A C_4 -es növények ennek következtében a száraz, meleg élőhelyek meghódítására alkalmasabbak C_3 -as társaiknál. Ez az anyagcsereút kizárólag zárvatermőkben fordul elő, hasznnövényeink közül pl. a kukoricában. Ennek tükrében érthető a korábban említett különbség: a C_4 -es növények ugyanolyan fényintenzitásnál több szerves anyagot állítanak elő, a fény és a fotoszintetikus intenzitás kapcsolatát leíró görbájuk 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 anyagcsereút. A varjúhájfélékre (Crassulaceae) és számos más szukkulens növényre, kaktuszra jellemző, olyan fajokra, amelyek különösen száraz és forró éghajlaton honosak. Ezek a növények gázcsere nyílásait 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 oxálcetsavvá alakítás a mezofillumban, az elbontás a nyalábhüvelyben történik). Jellemző CAM növény például az ananász (*Ananas comosus*).

10.4.3. 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, mosószerek formájában) a vízi élőhelyek eutróffá válhatnak: a korlátozás alól kikerült algák elszaporodnak, először rendszerint a zöldmoszatok, amelyeket a folyamat előrehaladtával felváltanak a fonalas 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 anyagcsere termékeikkel, hiszen azok – ellentétben az aerobok végtermékével, a szagtalan CO_2 -dal – sokszor mérgezők vagy bűzösek.

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 szúnyogfajok telepedtek be vagy szaporodtak el, amelyek képesek voltak az anaerobbbá 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.

10.5. 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 feszítő hatása, a rétegyomlás 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 részecskékkel 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 legfelső réteg; gazdag talajélet jellemzi, sok szerves anyagot tartalmaz
- **„C” szint:** a legalsó réteg; maga az anyakőzet, vagy annak nagyobb darabjai tartalmazza, közöttük a fizikai és kémiai mállás különböző fokozataiban levő agyagos kőzettörmelékekkel.

10.5.1. 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 részecskékkel; tömegükhöz képest óriási felületükön nagyon sok anyag, különböző ionok és vízmolekulák megkötésére képesek, ami a talaj

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

termőképesége 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 cm³ 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 termőképeség szempontjából a **morzsás talajszerkezet** a legkedvezőbb. Talajmorzsákon néhány mm-es rögöskéket értünk, amelyek között sok szabad tér van, azaz összpórustérfogatuk nagy. Ennek egy részét víz (elsősorban **kapillárisvíz**), másik részét levegő tölti ki. A megfelelő talajülethez 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 CO₂-tartalom akár százszoros is lehet, míg az O₂-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 éjszakai kisugárzás mellett kisebb hőingást szenvednek el. A kevés kolloidot tartalmazó, ezért kis vízmegkötő képességű homoktalajok ezzel szemben gyorsan felmelegsznek, de hamar le is hűlnék. 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 termés 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.

10.5.2. Talaj tápelemeinek hatása az élővilágra

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 **sótűrő növények** pedig a talaj magas sótartalmát jelzik: sziki mézpázsit (*Puccinellia limosa*), bárányparéj (*Camphorosma annua*), sziki sóbolla (*Suaeda maritima*), sziki útifű (*Plantago maritima*), sziki csenkesz (*Festuca pseudovina*), sziki szittyó (*Juncus gerardi*), sziki őszirózsa (*Aster tripolium* ssp. *pannonicum*), magyar sóvirág (*Limonium gmelini* subsp. *hungaricum*).

10.5.3. A talaj élővilága

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, kerekessz férgek, fonalférgek és medveállatkák tartoznak az edafon fogalmába, de később a fogalom

értelmezése kiterjedt a talajt, mint élőhelyet benépesítő életközösség minden tagjára, a talaj-biocönózis egészére.

Egyesek (eukarióta egysejtűek, kerekesszék, fonálféreg) a talajoldatban élnek, mások szárazföldiek, de nedvességigényesek (pl. ugróvillások, egyéb fonálféreg), megint mások kifejezetten szárazságtűrők (ászkák, hangyák). A legfontosabb talajlények 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 **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 detrituszszemcséktől a ragadozóig találunk köztük fajokat. Sok faj fogyaszt állati egysejtűeket és baktériumokat. Más fajok gombákkal táplálkoznak, így pl. a *Dictylenchus* nemzetség fajai 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 **televényféreg** (*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 bélsatornájukat kb. azonos arányban töltik ki a növényi maradványok, gombafonalak és az ásványi talajkeverék. Az avarszintben élő állatok előnyben részesítik az ugróvillások, atkák ürülékét és a gombákat.

A **földgiliszták** három ökológiai típusba foglalhatók össze: *avarlakók*, *járatások* és *ásványitalajlakók*. Ez egyben vertikális eloszlást is jelent. Nagyon érzékenyen reagálnak a szárazságra. A kezdődő szárazság elől mélyebbre ásnak, majd kis csomóba összegöngyölödve vészlik 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 tűlalom 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 **pókszabásúak** 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 pórússzerű 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 (16. táblázat). 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
Fonálférgek	0-0,2	0,002
Gyűrűsférgek	0-2,5	0,056
Egyéb állatok	0-0,5	0,0006

10.5.4. Talajvédelmi megfontolások

A talajvédelem a talajszennyezéseket, a talaj kémhatásának kedvezőtlen változásait és a talajerózió folyamatait igyekszik mérsékelni.

Talajszennyezést nemcsak a növényvédőszeres (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 talajélőlények 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).

10.6. A domborzat

A domborzat nem önmagában, hanem a többi abiotikus (és biotikus) tényező megváltoztatásával fejti 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 illusztrálja 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 magasban 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 *ökotípusoknak* nevezünk.

11. A szén, nitrogén, kén és a foszfor biogeokémiai ciklusai

11.1. A biogeokémiai ciklusok általános jellemzői

Élőlényekhez kötött biológiai folyamatok (enzimreakciók hálózata, cellulózbontás, nitrifikáció, fémek bioakkumulációja), geológiai történések (elsősorban fizikai erők érvényesülése révén, pl.: vulkánkitörés, erózió) és kémiai reakciók (ásványok oldódása, megoszlási folyamatok, fotokémiai jelenségek) sokasága folyamatos körforgásban tartja az elemeket a litoszféra, a pedoszféra, a hidroszféra, az atmoszféra és a bioszféra között. Az anyagforgalommal párhuzamosan zajló energiaáramlást a Föld belső erői, energiatartalékai és mindenek előtt a Nap sugárzó energiája tartja fenn. Annak ellenére, hogy emberi nézőpontból a geológiai események nagyon drámaiak és olykor felmérhetetlen tömegű anyag mozgásával járnak, a mindennapokban a bioszférában, az élőlények közvetítésével zajló folyamatokkal szembesülünk leggyakrabban. Az anyagforgalmi mérések szerint a biogeokémiai ciklusok leggyorsabb reakciói ténylegesen itt zajlanak, még ha globális méretekkel nézve az anyagforgalom értéke szerénynek is tűnik. Például a CO₂-fixáció a globális szénkészlet kevesebb, mint 1%-át érinti évente, mégis az atmoszféra tömegének viszonylatában vizsgálva ez az érték már mintegy 25%, ami egyáltalában nem elhanyagolható.

Nyilvánvaló, hogy az egyes kémiai elemek biogeokémiai ciklusai szorosan összefüggenek egymással és változatos időskálán, valamint különböző habitatok tömkelegében zajlanak. Bonyolultságukat, szövevényességüket befolyásolja, hogy az egyes elemek hány különböző oxidációs fokban alkothatnak vegyületeket (például a vas +2 és +3, a kén -2-től +6 oxidációs fokú lehet) és azok miféle halmazállapotúak. Oxidált és redukált formák alakulnak egymásba, a szerves és szervetlen kötések átalakulásával párhuzamosan az élő anyag élettelen környezeti tényezővé válik.

A könnyebb vizsgálhatóság érdekében azonban külön-külön tekintjük át az elemciklusokat. Sorrendjüket általában az elemek biológiai fontossága határozza meg. Az élő szervezet normális működéséhez legalább 40 elemet igényel. A szén, hidrogén, nitrogén, oxigén, kén és foszfor körforgalmában különösen erőteljes a biológiai befolyás, lévén ezek az élőlények legfontosabb alkotóelemei. A hidrogén és az oxigén ciklusát legtöbbször a vízkörforgalom keretében elemzik. A fémek, félfémek és nemfémes elemek között azok biológiai fontossága és hatása vagy a természetbeni előfordulási gyakorisága, újabban a környezetszennyező tulajdonsága alapján válogatnak, hiszen mikrobák akár még olyan ritka fémek ionjait is redukálhatják, mint a tellúr vagy az eurórium.

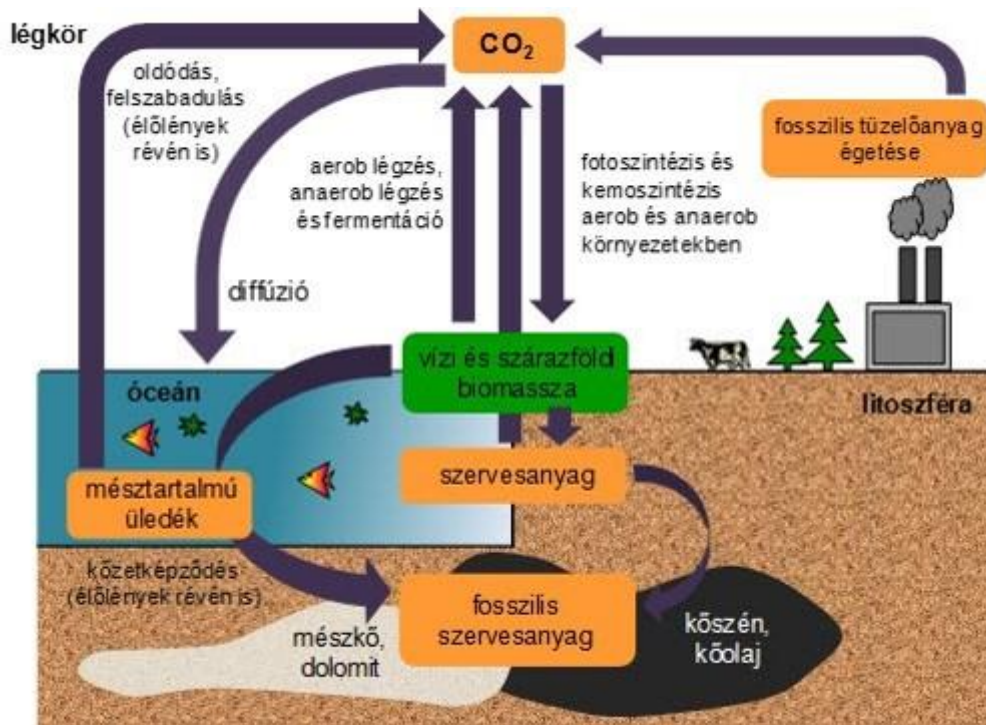
Az elemek a földi szférákban nem egyenletesen fordulnak elő. Ennek alapján atmoszférikus ciklusokat (N, C, O) és üledék fázisú körforgalmakat (Fe, Mn) lehet megkülönböztetni. Ez utóbbiakban a kérdéses elem a légkörben nem mutatható ki. Általában körforgásuk is lassúbb.

11.2. A szén biogeokémiai ciklusa

A 12-es tömegszámú szén a Föld tömegének csak mintegy 0,034%-át teszi ki, a 12. leggyakoribb elem. A természetben a szerves anyagokon kívül a légkörben és a szerves eredetű, biogén kőzetekben fordul elő. Mindezen előfordulások elsődleges forrása azonban a magmás kőzetekből álló földkéreg és földköpeny lehetett. A földkéreg magmás kőzeteiben ugyan a szén átlagos mennyisége kicsi - 0,03% körül mozog (elsősorban fémkarbidok és ásványosan kötött karbonát formájában) - de hosszú geológiai idő alatt ez a szén kerül ki vulkáni gázok formájában az atmoszférába. A vulkánok ma is mintegy évi 0,003-0,006 mg/cm² szén-dioxidot szállítanak az atmoszférába a Föld egész területére vetítve. A Föld korát 4,6 milliárd évre számítva, már kb. 0,0015 mg/cm² vulkáni széndioxid-

kibocsátás biztosítaná az üledékes kőzetekben, a bioszférában és az atmoszférában fellelhető szén-dioxid mennyiséget.

A Föld légkörének jelenlegi szén-dioxid tartalma alacsonyabb, mint a többi Föld típusú bolygóé, mivel csak a földi rendszerek voltak képesek a szén-dioxidot megkötni (hidroszféra, bioszféra). A szén-dioxid vizes közegben a földfelszíni és a víz alatti **mállás egyik legfontosabb tényezője**, így az üledék málladékokkal együtt, hosszú tartózkodási idővel, az üledékes medencékben deponálódik. A bioszféra autotróf része által a levegőből kivont szén-dioxid egy része utóbb szintén az **óceánokban gyűlemlik fel biogén üledékek (mész, kőszén, szénhidrogének) formájában** (68. ábra).



68. ábra. A szén körforgása

A bioszféra élő anyagában (az oxigénnel együtt) a szén már a második leggyakoribb kémiai elem. Körforgalma a termelő szervezetek szén-dioxid fixációja és szerves-anyag előállítása, valamint a lebontó élőlények szervesanyag-fogyasztása és szén-dioxid kibocsátása köré szerveződik. Évente durván **137 Gt légköri szén kötődik meg szén-dioxid formájában a foto- és kemoautotróf szervezetek** (anaerob fotoszintetizáló baktériumok, cianobaktériumok, algák, zöld növények és kemolitotróf, autotróf baktériumok) **tevékenysége révén. Bruttó 100 Gt szenet nyelnek el továbbá az óceánok** vizében oldott szén-dioxid és az ebből kivált karbonátok formájában.

Lévén, hogy az elsődleges termelés túlnyomó többségét a fototróf szervezetek adják és mivel a szerves anyag több, mint 80%-a a szárazföldön termelődik, valamint a szárazföldek területének több mint 2/3-án évszakosság észlelhető, a légköri széndioxid-szintek jellegzetes éves ciklust mutatnak. **Májustól októberig csökken, míg az év további részében nő a szén-dioxid koncentrációja az atmoszférában.** A kemolitotrófok termelése globális szinten elhanyagolható (kv. forró pontok). Ugyanakkor a globális biotéma kevesebb, mint 1%-át adó fotoszintetikus vízi szervezetek a megkötött szén 20-30%-át termelik.

Az **elsődleges produkció** a becslések szerint **meghaladja a légzés, lebontás mértékét**, így évente mintegy **5 Gt szerves anyag vonódhat ki a körforgalomból** és fosszilizálódhat, nem esik a lebontó szervezetek áldozatául. Így például lápokban a savas közeg akadályozza a lebontást (tőzegképződés), a Fekete-tenger mélységi vizeiben az anaerobitás, kénhidrogén és a mélység együttesen teszi lehetővé a szerves anyag és a metán csapdázódását. A talajok humuszanyagai - bár biológiai folyamatok termékei - agyagásványokkal komplexeket képezve kémiai kötésrendszerük következtében bomlanak nagyon lassan. Természetesen geológiai történések is szükségesek, hogy geológiai időkre szerves anyag vonódjék ki a szén körforgalmából.

A megtermelt biomassza durván fele a táplálkozási láncolatokba jut, majd végül a szerves kötésekben tárolódott napenergia kimerülésével a lebontás eredményeként **szén-dioxid jut vissza a légkörbe**. A redukált szénvegyületek elsősorban elektronodonorként vesznek részt az élőlények energiatermelő redoxi rendszereiben. A lebontó folyamatok általános elektronakceptora az oxigén. Azonos szubsztrát esetében az aerob légzés jár a legnagyobb energia-felszabadulással. Oxigén hiányában ez a dekompozíció elsősorban baktériumok közreműködésével anaerob légzési folyamatokban zajlik, az elektronakceptorok oxidált N-vegyületek (pl.: NO_3^- , NO_2^-), oxidált fémek (pl.: Fe^{3+} , Mn^{4+}), oxidált kénformák (pl.: SO_4^{2-} , SO_3^{2-}) és szén-dioxid. A légzés mellett fermentációk is történnek, amelyekben szerves vegyületek közötti megoszlási reakciók szabadenergia-változását hasznosítják az élőlények.

Az **emberi tevékenység** az egyre növekvő humán populáció ellátására és fenntartására a mezőgazdasági és az ipari termelés fokozásával megfordította a szénkörforgalom egyenlegét. A mezőgazdaság céljaira erdőket irtanak, nedves területeket (lápokat) csapolnak le, de egyre csekélyebb a művelésbe vont talajok szervesanyag-utánpótlása is. Az ipar anyag- és energiaéhségét a fosszilis tüzelőanyagok égetésével elégítik ki. **Mára így az atmoszféra szénkészlete évente 2-3 Gt-val növekedik szén-dioxid formájában, ami a globális felmelegedés révén egy újabb üvegházkorszak rémképét vetíti elénk.** Annak ellenére, hogy a szén-dioxid koncentráció növekedése némiképp fokozza a fotoszintetikus aktivitást, valamint hogy a környezetvédők figyelmeztetése nyomán erdőket telepítenek, és csökkenteni próbálják az ipari, közlekedési stb. kibocsátást, a szénkörforgalom egyenlege rövidtávon aligha fog változni.

11.3. A nitrogén biogeokémiai ciklusa

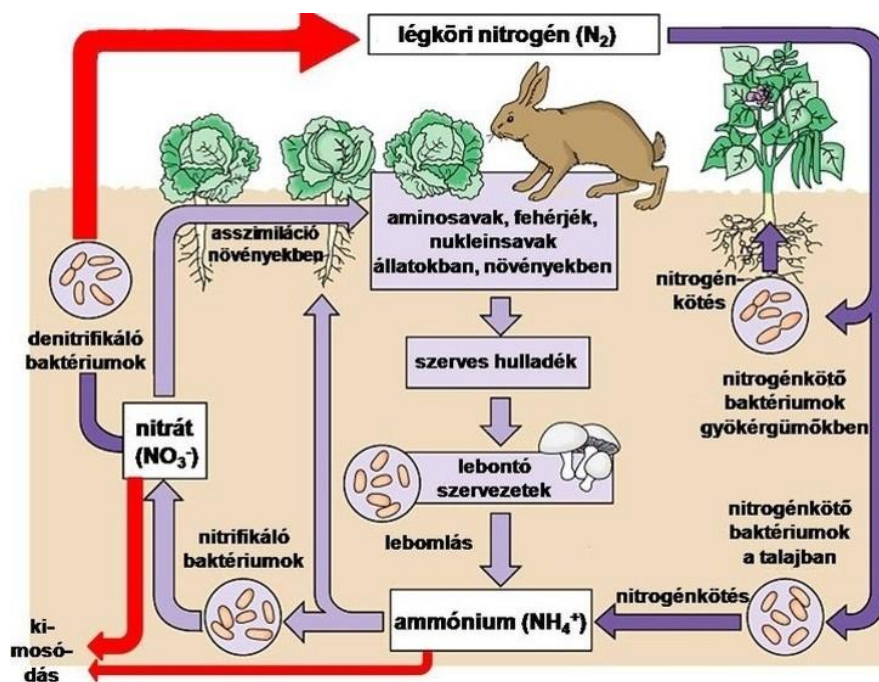
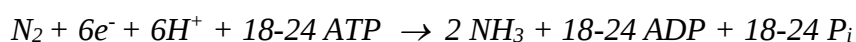
A 14-es tömegszámú nitrogén a bioszféra élő anyagában a szénhez és az oxigénhez viszonyítva csupán századrésznyi mennyiségben található. Bár az atmoszférának **78,1 mólszázaléknyi** részét adja, a földkéreg elemeinek alig 0,005 súlyszázalékát teszi ki. **leggyakoribb vegyületeiben -3 (NH_3), +1 (N_2O), +3 (NO_2), +5 (NO_3) oxidációs fokkal fordul elő**, szerves és szervetlen kötésekben egyaránt gyakran részt vesz. A nitrogén földi készleteinek legnagyobb tömege becslések szerint a litoszféra magmás kőzeteiben rögzítve fordul elő (4 millió Gt), elsősorban ammóniumgyökök formájában. A vulkáni gázok meglepően magas, 4-6%-os nitrogéntartalmát részben a légkörből származtatják, míg az ugyanitt észlelt 1% alatti ammónia valószínűleg köpeny eredetű.

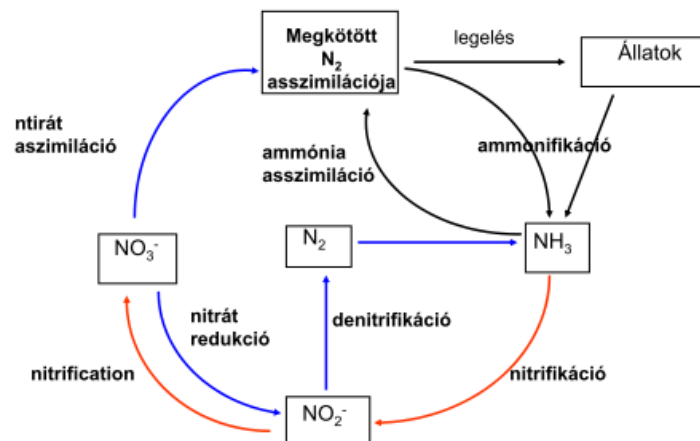
A folyóvizekben és a felszín alatti **vizekben** a nitrogén főként **nitrátok** alakjában szállítódik, átlagos mennyisége 0,9% az oldott szilárd anyagra vetítve. A tengervízben ez az érték 0,1%-ra csökken a tengeri élő szervezetek nagy nitrogén-felhasználása miatt.

Jelentősebb az üledékes kőzetek nitrogéntartalma: itt a nitrogén szervesanyag-akkumulációkban, valamint salétrom és szalmiáksó vegyületeiben dúsul fel.

Az **atmoszférában** gyakorlatilag **molekuláris nitrogén formájában** található a nitrogén ugyanakkora rezervoárja, mint a litoszférában. Itt a molekuláris nitrogén mellett elenyésző arányban fordulnak elő különböző nitrogén-oxidok és nyomnyi mennyiségben ammónia és szerves vegyületek. A **hidroszférában** a vízben oldott nitrogéngáz mellett a legváltozatosabb **szerves és szervesetlen nitrogénvegyületek** tömegét kb. 1000 Gt-ra tehetjük. A szárazföldök **pedoszférája** durván 300 Gt **szerves és szervesetlen nitrogénvegyületet** tárol. A bioszféra nitrogénkészletét becsülik a legcsekélyebbnek. Az egyes nitrogéndepók közötti anyagforgalmak közül legjelentősebbnek a már kötött nitrogén és a bioszféra közötti asszimilációs-mineralizációs utakat tartják, gigatonnányi nagyságrendű nitrogénáramokat becsülve éves szintre. A bioszféra és az atmoszféra közötti **fixáció**, illetve a **denitrifikáció** folyamataiban 90 millió tonna éves nitrogénforgalom történik.

A nitrogén körforgalmát a **fixáció, asszimiláció, ammonifikáció, nitrifikáció és denitrifikáció** biológiai folyamataiban közvetve, vagyis szerves anyagok szolgáltatásával a **Nap sugárzó energiája** tartja fenn (69. ábra). A **dinitrogén fixációt** kizárólag a **prokarióta szervezetek** közül azok végzik, amelyek aktív nitrogénáz enzimrendszer termelésére képesek. E folyamatban a **dinitrogén ammóniává** redukálódik:





69. ábra. A nitrogén körforgása

A redukció igen nagy energiaigényű, csupán hozzáférhető, kötött nitrogén hiányában zajlik. Talajok és vizek különböző élettereiben szabadon élő baktériumok (*Azobacter* ssp., cianobaktérium fajok) vagy pedig magasabb rendűekkel szimbiotikus kapcsolatra lépett mikrobák (pl.: pillangósvirágúak gyökérgumóiban *Rhizobium* fajok, zuzmók, páfrányok, nyitva- és zárva-termőkhöz társultan cianobaktériumok) termelnek kötött nitrogént. Az a **biológiai nitrogénfixáció légköri elektromos tevékenység hatására NO-NO₂ képződéssel jár**, bár a biológiai kötéshez viszonyítva mennyisége elhanyagolható. Nitrogénfixáció zajlik az ammóniagyártás során is, amelyre a szerves vegyipar, műtrágyaipar alapul. Bár globális mércével mérve ez utóbbi mennyisége sem túl jelentős, a termelt nitrogén-műtrágyát viszonylag csekély földterületen, koncentráltan szórták ki a fejlett országokban.

A nitrogénfixációban a képződött ammónia α -keto-glutánsavhoz kötődve a glutamin-glutamát rendszeren keresztül jut aminosavakra, fehérjékre és más nitrogént tartalmazó vegyületekre. A növények vagy közvetlenül szimbiótáiktól jutnak nitrogénhez, vagy a talajból veszik fel, akárcsak a nem nitrogénfixáló mikrobák. Az ammóniát közvetlenül beépítik, míg a talajokból, vizekből ugyancsak felvehető nitrát-ionokat úgynevezett asszimilatorikus nitrát-reduktáz enzimek nitriten keresztül ammóniává alakítják. A növényekben, mikrobákban asszimilált nitrogén a táplálkozási láncolatokon keresztül az egész élővilágban elterjed.

A holt szerves anyagból, illetőleg állati végtermékekből az **ammonifikációnak** nevezett folyamatban a legkülönbözőbb szervezetekből enzimek hatására (ureázok, liázok, nukleázok) **ammónia** szabadul fel. Ez ammónium-ionnal egyensúlyt tartva talajok humuszanyagaihoz, agyagásvány-frakciójához kötődve tárolódhat, illetve újból asszimilálódhat. Megfelelő szerves anyag hiányában az ammónia aerob körülmények között nitrifikáció révén két lépcsőben nitráttá oxidálódik. Lúgos környezetben az ammónia elillanhat, a légkörben pedig fotooxidációval dinitrogénné alakul, vagy a csapadékkal visszajut a talajba, vízbe.

A **kemolitotróf nitrifikálók ammóniát oxidálnak nitritté** (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*), **illetve nitritet nitráttá** (*Nitrobacter*, *Nitrospina*) oxigén segítségével. Az így nyert energiát széndioxid-fixációra és sejtanyagaik előállítására fordítják. Az ammónia-oxidálók nem kívánt melléktermékeként **dinitrogén-oxid** juthat a légkörbe, nitrit ugyanakkor nem tud felhalmozódni a talajokban, vizekben a nitrit-oxidálók gyors tevékenysége következtében. A nitrát meglehetősen mobilis, a talajvízzel mozog, kimosódik, vizeinket súlyosan szennyezi, az eutrofizációban részt vesz.

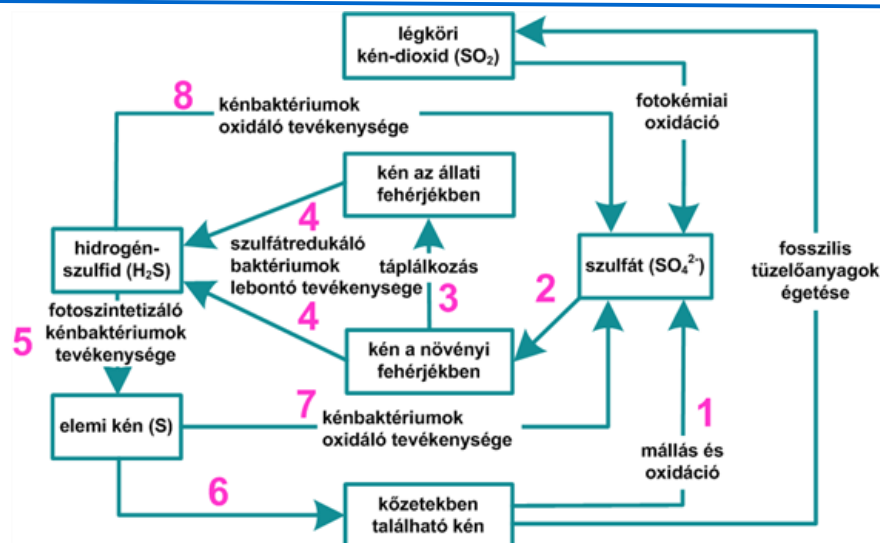
A **nitrát** mikrobák illetve növények számára nitrogénforrásként hasznosulhat, vagy pedig terminális légzési akceptorként **denitrifikálódik**. A **denitrifikáció** folyamatában a **nitrát nitrogénje dinitrogénné vagy dinitrogén-oxiddá redukálódva visszajut a légkör nitrogénkészletébe**. E szigorúan anaerob körülményeket igénylő folyamatot baktériumok sokasága végzi, hatásukra jelentősen csökkenhet környezetünk nitrogénterhelése. Tény ugyanakkor, hogy tevékenységük révén nitrit halmozódhat fel, mely toxikus koncentrációkat is elérhet. Így ivóvizekben előfordulva, állati, emberi szervezetben methemiglobinémiát előidézve akár halált is okozhat. A dinitrogén-oxid a magas légkörben ózonnal lép reakcióba. A **dinitrogén-oxid az ózonréteg hatásos rombolója**, szerepe az ózonlyuk kialakításával, illetve az ózonpajzs vékonyításával nagyon káros.

11.4. A kén biogeokémiai ciklusa

A 32. tömegszámú kén a földkéreg 14. leggyakoribb eleme. Az élővilágban relatív mennyiségét tekintve a 10. Tápelemként a fehérjék, vitaminok stb. esszenciális komponense, de foto- és kemotróf mikrobák sora energetikai anyagcseréjét alapozza különböző kénformákra. Szerves vagy szervetlen kötésekben, gáz, folyékony vagy szilárd halmazállapotú vegyületeiben -2 és +6 közötti oxidációs fokokkal vehet részt (-2: H_2S , 0: S_8 , +2: $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, +4: SO_3^{2-} , +6: SO_4^{2-}). A kén legnagyobb földi készleteit a litoszféra tartalmazza, mintegy 25 millió Gt mennyiségben, szerves és szervetlen formában egyaránt. A földkéreg és a földköpeny magmás kőzeteiben a kalkofil és a sziderofil elemek alkotnak a kénnel elsősorban szulfidásványokat. Az üledékes kőzetek közül az evaporitok, valamint a szénhidrogének és a kőszenek a kén legfontosabb tárolói. Egy átlagos barnakőszén 0,7%, átlagos feketekőszén 1,0% körüli teljes ként tartalmaz. Az utóbbiak magasabb kéntartalmának oka, hogy a fosszilis szerves anyagokban kötött kén viszonylag nehezen mobilizálódik és hosszabb földtani idő alatt a szénkőzetekben és a szénhidrogénekben relatíve feldúsul.

A kőzetek mállása, vulkanikus aktivitás és a hidroszféra vízkészletével kölcsönhatva **oldódás révén indul a kén körforgalma (70. ábra)**. Az emberi tevékenység elsősorban a fosszilis energiahordozókban foglalt kén felszabadításával, de a kéntartalmú ércek feldolgozásával egyaránt jelentősen befolyásolja a körforgalmat. A hidroszféra millió Gt-ás készleteinek legnagyobb hányada **szulfátok formájában az óceánokban** található. **Ide kimosódással jut** a pedoszférából és a bioszférából, de a becslések azt mutatják, hogy a tengervízben oldott kén több (800g/t), mint amennyit a folyóvizek behordanak. A különbség valószínűleg a víz alatti vulkanizmusból származik.

A talajok már négy nagyságrenddel csekélyebb, elsősorban szerves kötésű készletei is elhanyagolhatók az előbbi depók mellett, akárcsak a bioszféra vagy a légkör kéntartalma. Mégis ez utóbbiak közötti éves anyagforgalom - elsősorban az élőlények hatására - dinamikusabb. Az atmoszférában a kén oxidjai, kénhidrogén és illó szerves kénvegyületek egyaránt megtalálhatóak, akárcsak szulfátos aeroszolk. E vegyületek vulkáni tevékenység, fizikai hatások (por, aeroszol) révén, biogén forrásokból és emberi tevékenység (33%) során kerülnek a légkörbe.



1. A szulfátot (SO₄²⁻), amelyek a kőzetek mállásából származnak, felveszik a növények a talajból. Főleg gipsz (CaSO₄) és keserűs (MgSO₄) valamint fém-szulfidok oxidációjából származó szulfát (SO₄²⁻) található a talajban.; 2. A növények a szulfátot redukálják, majd szulfidkötések segítségével kén tartalmú aminosavakba építik be (L-cisztein, L-metionin) szulfhidril-csoportként (-SH). A kénhidrogén erős sejtmérge, ezért ebben a formában nem tolerálják a növények.; 3. A táplálékláncan keresztül jut az állatok szervezetébe; 4. Az elhalt szerves anyagokból és az ürülékből a kén a szulfátredukáló *Escherichia* és *Proteus* nemzetségbe tartozó baktériumok tevékenysége révén H₂S formájában jut vissza az élettelen környezetbe. Anaerob körülmények között redukálják szulfidokká vagy kénhidrogénné.; 5. Egyes fotoszintetizáló baktériumok a H₂S-t elemi kénre redukálják.; 6. A kőzetekbe épül az elemi kén.; 7. A kénoxidáló baktériumok visszajuttatják a kén a körforgásba.; 8. A szulfidoxidáló baktériumok a H₂S-t szulfáttá alakítják át.

70. ábra. A kén körforgása

A kén körforgalma oxidációs, redukációs lépések, ásványosítás, immobilizáció és volatilizáció folyamatában zajlik. A -2 oxidációs fokú szulfid fémek elemek tömegével alkot meg lehetőségen stabil érceket. A szulfidok víz és oxigén jelenlétében kemolitotróf, és fotolitotróf baktériumok energetikai anyagcseréjében lehetnek elektrondonorok vagy heterotrófok is oxidálhatják azt. *Thiobacillus* fajok (szüntelen kénbaktériumok) a szulfidok szulfáttá oxidálása során savat termelnek, ami egyúttal a fémek oldódásához vezet (pl.: savanyú bányavizeknél). A fototróf szulfidoxidálók anaerob vizek, üledékek jellegzetes mikrobái: a zöld és a bíbor kénbaktériumok (pl.: *Chlorobium*, *Chromatium* fajok) folyamatos kénhidrogén ellátás esetén S₀ kenet termelnek. Kéntelepek jó részének kialakulása így működésükre vezethető vissza. A bíbor nem kénbaktériumok (pl.: *Rhodospirillum* fajok) a kénhidrogént tioszulfáttá, szulfáttá oxidálják a 0 oxidációfok megkerülésével. Természetesen a kénbaktériumok kénhidrogén hiányában a sejtjeik körül vagy a sejtjeikben felhalmozott kenet tovább oxidálják. Említést érdemel a lápi növényzet gyökérzetében szaporodó szulfidoxidálók fontos szerepe, hiszen ezek megvédik a növényt a kénhidrogén mérgező hatásától. Cserében a növények oxigént biztosítanak a baktériumnak (pl.: *Beggiatoa* a rizs gyökerén).

Mivel a biomasszában a kén jórészt redukált formában található, a talajból, vizekből felvett szulfátot redukálni kell. A növények és a legtöbb baktérium rendelkezik az asszimilatorikus szulfátredukció képességével. A mikrobák egy jellegzetes csoportja anaerob környezetben szulfátot és más oxidált kénvegyületeket, illetve elemi kén terminális elektronakceptorként hasznosít, miközben egyszerű szerves anyagokat (tejsav, piroszölősav, acetát) vagy hidrogént oxidál. Ezeket a *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* stb. nemzetségbe tartozó fajokat szulfátredukálóknak nevezzük. A

szulfátredukálók és a (fototróf és/vagy kemotróf) kénbaktériumok közösségei együttesen ún. szulfurétumokat alkothatnak, amelyekben az energia kénvegyületek oxidációjából, illetve az így termelt szerves anyag kénvegyület terminális elektronakceptorral folyó égetéséből származik.

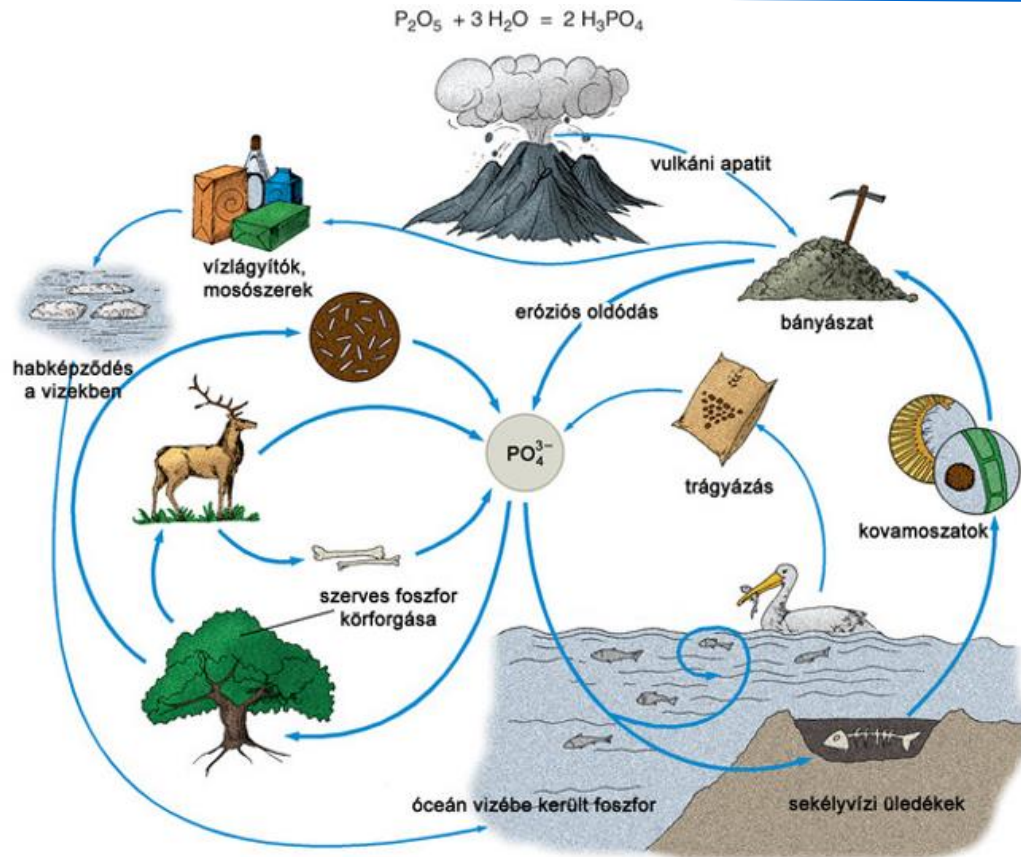
Láthatjuk, hogy a kén folyamatosan szerves és szervetlen kötések között vándorol az ásványosítás és az immobilizáció ellentétes folyamataiban. A folyamat egyensúlya a C:S arány függvényében változik: $C/S < 200$ esetében ásványosítás, $C/S > 400$ esetében immobilizáció zajlik. A kettő közötti értékeknél a két folyamat egyensúlyban van. a szerves kénvegyületek bomlásakor kénhidrogén és más illó komponensek is juthatnak a levegőbe. Aerob, fakultatív és obligát anaerob mikrobák ciszteintről kénhidrogént, metionintről metilmerkaptánt vagy dimetil-szulfidot szabadíthatnak fel, amelyek az időjárási feltételek függvényében néhány nap vagy hét alatt kén-dioxidá oxidálódnak.

A kénkörforgalom ezer szálon kapcsolódik a fémek biogeokémiai ciklusaihoz, így korróziós folyamatokhoz. Az ipari stb. eredetű SO_x kibocsátás, illetve porszennyezés savas ülepedést, illetve savas esőket okoz, amely katasztrofális mértékű talajsavasodáshoz, erdőpusztuláshoz, városi környezetben műemlékek pusztulásához vezet.

Bár az ipari eredetű kén-dioxid kibocsátás mértéke még mindig jóval alatta marad a vulkáni tevékenység által produkált atmoszférikus kén-dioxid mennyiségének, elgondolkodtató az, hogy míg a vulkánok kén-dioxidja viszonylag hosszú idő alatt egyenletesen oszlik meg, addig az emberi tevékenység által produkált kén-dioxid földtanilag mérhetetlenül rövid idő alatt képződik és ehhez mérten rendkívül intenzíven lép reakcióba a bioszférával és az emberi létesítményekkel.

11.5. A foszfor biogeokémiai ciklusa

A 31-es tömegszámú foszfor az élőlények nélkülözhetetlen alkotóeleme, a nukleinsavak, foszfolipidek stb. és az energetikai anyagsere központi molekulásának, az ATP-nek elengedhetetlen alkotóeleme. A természetben szinte kizárólag **foszfátok** formájában, elsősorban kalcium- és vasvegyületekben vagy talajokban szerves foszfátokban fordul elő. A leggyakoribb foszfátásvány, az apatit szén-dioxid jelenlétében, elsősorban magas szervesanyag-tartalmú vizekben jó oldódik. A sekély tengerekben mennyiségét az élővilág felhasználása jelentősen csökkenti, míg a mélytengerek üledékeiben nagyobb koncentrációban fordul elő. Mállás és oldódás révén foszfát- és hidrogén-foszfát-, dihidrogén-foszfát-ionok alakjában kerül oldatba és jut az élőlényekbe, elsősorban növényekbe és mikrobákba, majd a táplálkozási láncon végighalad (71. ábra). Az élőlények foszfátáz enzimeik segítségével veszik fel. baktériumokban akár hatalmas foszfátkészletek is felhalmozódhatnak. Az állati szervezetek a feleslegtől ürülékükkel szabadulnak meg.



71. ábra. A foszfor körforgása

A madár- vagy denevérguano jelentős készleteket alkothat, amelyet a mezőgazdaságban már régóta a talajok foszforutánpótlására is használnak, mivel az oldott, hozzáférhető foszfátok mennyisége általában korlátozott. A túlzott mezőgazdasági foszfor-műtrágyázás, valamint a szennyvizekkel élővizekbe kerülő oldott foszfátok az **eutrofizáció fő okozói**.

12. Az emberi tevékenység ökológiai hatásai

12.1. A mezőgazdaság ökológiai-környezeti hatásai

Az ember táplálékért és nyersanyagokért fordul a természethez, célzottan kihasználva az állat- és növényállományok biológiai termőképességét. Kb. 8.000 év óta folyik rendszeres növénytermesztés és az állatok házasítása. A mezőgazdasági módszerek fejlesztése kezdetben véletlenszerűen, tapasztalati alapon folyt, a 19. sz. közepe óta tudományos kutatások eredményei alapján történik. Ekkorra kialakult a háromnyomásos gazdálkodás rendszere: téli gabona, nyári gabona, parlag. Trágyázásra szerves hulladékokat használtak, előnyös módon összekapcsolva az állattenyésztést a növénytermesztéssel. Az erdő évszázadokon át biztosított táplálékot. A közösségi erdőként nem gondozott közlegelők legeltetése degradálta azok növényzetét, félig természetes ökoszisztémák jöttek létre: fenyérek, legelők, sarjerdők.

A tervszerű humuszgazdálkodás a 18. században kezdődött. Különböző területeken szalma- ill. gyepféla-trágyázás alakult ki. A harmadik évben parlag helyett leveles terményt (lóhere-fű keverék, takarmányrépa, burgonya) vetését iktatták közbe. A talaj javítását a pillangósvirágú növények sűrű hajszálgöyökér-rendszerének humuszképzése és nitrogénkötése biztosította. Az erdei legeltetést megtiltották, az állati takarmányt szántóföldön vagy kaszálón kellett megtermelni. 1840-ben fektették le a szerves trágyázás tudományos alapelveit. Ennek nyomán mezőgazdasági szerkezetváltás indult meg, melyet a jobb trágyázás és vetésforgórendszer, mechanizálás, állat- és növény-nemesítés jellemzett - mindez a magasabb terméseredmények érdekében. 1880 és 1980 között a téli búza, rozs és késői burgonya hektáronkénti terméseredményei megkétszereződtek. A mezőgazdaságban dolgozók aránya 40%-ról 5% alá csökkent. Csökkent a művelt terület és a gazdaságok száma is.

1930-50 között az intenzifikálás új technikák és mind több növényvédőszer és műtrágya használatával folytatódott. Korábban a gyomokat célzott termesztési sorrenddel és boronálással irtották; most a kétszikű gyomokat növekedési hormon-herbicid (3-indolecetsav) segítségével az eddigi időráfordítás töredékével el lehetett tüntetni. A gyomnövények, pl. mezei aszat, piros kenderkefű, repcsényretek, keserűfű, búzavirág, pipacs, mustár szinte teljesen eltűntek. Az erre nem érzékeny gyomok (kamilla, tyúkhúr, valamint egyszikű gyomok, pl. ecsetpázsit, hélazab, széltippan, tarackbúza) nagymértékben elszaporodtak, problémás növényekké váltak. Az utóbbi évtized nagy eredményeket hozó termőterületei intenzív trágyázást igényeltek. Ez korlátozta a vetésforgó fajainak számát, esetenként egyetlen növényre. A túlzott N-kínálat a szár lehajlását eredményezi; következtésképpen CCC-t (klórkolinklorid) adagolnak a szár rövidítése és vastagítása céljából. Gyakoribbá válnak a szár és a kalász gombás megbetegedései. A levélfungicidek alkalmazása alapjárássá vált. A hasznos rovarok gazdanövényeinek (gyomok) megsemmisítésével nő a levelek károsítása (levéltetvek).

A termésmennyiséget növelő és biztonságát fokozó termesztési eljárások magukkal hozták a termőterületek csökkenését. A gazdaságok és táblák átlagos mérete növekszik, a szántóföldi művelés és az állattenyésztés elkülönül, mivel egyre több gazdaság specializálódik. 1971 és 1979 között a többféle ágazattal foglalkozó gazdaságok száma 65%-kal csökkent, a specializáltak száma 41,4%-kal nőtt. A vetésforgókban a növények száma tovább csökkent, a termények skálája szűkült (szántóföldek hasznosítása).

Az állattenyésztés két ágra vált: a szarvasmarha tartás területfüggő, alapját állandó zöldterületek és kiegészítő szántóföldi takarmánytermesztés képezi; a sertés- és baromfitartás területtől független, mivel importált vagy nem a gazdasághoz tartozó területeken termelt takarmányon alapszik. Az

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

állandó zöldterületek takarmánytermelő területekké (kukoricaföld, szántóföld) alakultak. Gondot okoz a nagyüzemi állattartás ürüléktömege, melynek felhasználásához kevés a saját terület.

A specializáció tovább fokozza az agrár ökoszisztémák terhelését a termelést biztosító tényezők növekedése miatt (növényvédő szerek, takarmányok, energia, műtrágyák: 1960-ban a termelt érték 38%-a, 1982-ben 51%-a).

Az a gazdálkodás, amelynek számára még elegendő az a természetes csapadék, az öntözés nélküli mezőgazdaság. Határa az agronómiai szárazsághatár. A trópusokon a száraz és a bozotos szavanna között húzódik (8,5 száraz hónap), míg a szubtrópusokon a keménylombú erdők és a tüskés sztyepppek között (8 száraz hónap). Évi 300-400 mm csapadék csak kedvező eloszlás mellett alkalmas a trópusokon köles vagy földimogyoró, a szubtrópusokon búza vagy árpa termesztéséhez. Biztos gabonaterméshez homoktalajon évi 500 mm, a vizet nehezebben felvevő agyagos talajokon évi 600 mm csapadék szükséges. A növekedési időszakot a csapadék hozzáférhetősége határozza meg. India szemiárid területein legalább két egymás utáni esős nap (min. 20 mm csapadékkal) szükséges ahhoz, hogy a vetéshez hozzáfoghassanak. A növekedési időszak addig tart, míg legalább ~3 annak a valószínűsége, hogy hetente min. 10 mm csapadék hullik. Öntözéses és öntözés nélküli mezőgazdaságot egyaránt folytatnak.

A vetésforgóba fekete ugart iktatnak, így a N egy része a talajban raktározódhat; a talajt mélyen felszántják és elboronálják, hogy a kapillárisvíz felszínre kerülését megakadályozzák. Az Egyesült Államok száraz gazdálkodási rendszere (dry-farming-system; minden 2-4. év fekete ugar): a fekete ugar itt nem annyira a tápanyagok felhalmozását, mint a víz raktározását szolgálja, mivel a növénytakaró nélküli talaj kevesebbet párologtat.

Ha az előre nem látható N-ingadozások túl magasak, csak legeltetés lehetséges, mivel a száraz éveket könnyebb átvészelni (az állatok elterelése, eladása, takarmányvásárlás), mint a kimaradó termés veszteségét állni. Évi 350-400 mm csapadék esetén még borjazztatás is lehetséges, 250-300 mm mellett csak ridegmarhatartás.

100-200 mm csapadékot kapó területek gyér növényzetén már csak az igénytelen birka él meg, mely képes a rostokban gazdag táplálékot megemészteni, a tápanyagban gazdag részeket pedig célzottan lelegelni. A táplálék- és vízszegény időszakokat csak a különösen ellenálló fajok, ill. fajták vészelik át (teve, zebu, zsírfarkú juh).

A nomádok (vándorló pásztornépek) növénytermesztés nélkül is megélnek. Egy 6-8 személyből álló nomád családnak 30-40 marhára (a növendéállatokat is beleértve) vagy 16 tevére van szüksége, hogy táplálékát biztosítsa (önellátó nomadizmus). A szükségesnél rendszerint 2-3-szor nagyobb csordákat tartanak, így az állatállomány jelentős mértékben meghaladja a szavannák és füves puszták eltartó képességét (túllegeltetés).

A hagyományos öntözést gyakran túlzásba viszik. A túl magas vízállás és a nyílt öntöző létesítmények (csatornák, árkok) fokozzák a párologást, ill. a víz haszontalan elszivárgását. 10000 m³ víz/ha mértékű öntözés (ivóvízminőség) 2000-3000 kg/ha sót juttat a talajba, melynek nagy része a párologás és a termés betakarítása után visszamarad. A só felhalmozódás elkerülése érdekében, a felesleges sók kimosása céljából hatékony alagsövezéses rendszert kell kiépíteni. A csepegtetési öntözés (trickle irrigation) vakon végződő csőrendszerének lyukain a víz a növényállományon belül csepeg ki. 2-41 víz elegendő 1 ha talaj átnedvesítéséhez; a vízbe tápanyagok is adagolhatók. A só felhalmozódás elkerülése érdekében itt is alagsövezni kell.

A nedves trópusok mezőgazdaságát az éghajlat és a népgazdaság fejlettségi szintje határozza meg. A 30-as évek elején a legtermékenyebbnek és potenciálisan legtűrőképesebbnek tekintett övnek 200 fő/km² népsűrűséget kellene eltartania, szemben a nem trópusi területek 100 fő/km² népsűrűségével.

A nedves trópusok legfontosabb földhasználati rendszere az irtásos földművelés: vándorló, váltakozó szántóföld- erdőművelés: változó földterületek rövid termesztésbe vonása (rotáció), majd hosszabb időtartamú erdős ugar. A települések helyének változtatása 10-15 évenként szükséges. Az új területet égetéssel tisztítják meg (égetéses földművelés). A legnagyobb fákat állva hagyják, a többi nagyjából eltávolítják. A hamut trágyaként a földön hagyják, a növények telepítése további trágyázás és talajmunka nélkül történik. A fő eszközök a kapa és az ültetőbot, ma már a kézfűrés is (kapás kultúrák). Az irtásos földművelés sok emberi munkát igényel (égetés, gyomlálás). Az első rövid tenyészidejű termés után rendszerint többéves növényeket ültetnek (kasszava, banán) ugyanarra a területre (kevert kultúra). A legközelebbi betakarításkor csak a terület egy részéről takarítanak be, a többi max. 4 évig a helyén marad. Ekkorra a kultúrnövények termés hozama erősen visszaesik, a természetes növényzet benyomul a művelt területre. Időben eltolódva a folyamat még 2-3 további táblán folyik. Az irtásos földművelés a 2-3. menetben már olyan kevés termést ad, hogy elkerülhetetlen a helyváltoztatás.

A terméshozamok gyors csökkenése alapvető okának a szűkös tápanyagtartalékokat és a talaj csekély adszorpciós képességét (ioncsere-kapacitás) tartják. A szén-dioxid-tartalmú csapadék és az állandóan magas hőmérséklet miatt intenzív a kémiai mállás, az ásványi altalaj mély rétegekben pusztul; a magas szilíciumvesztés hatására az agyagásványok alumínium- és vasoxidokká, ill. -hidroxidokká alakulnak. Emellett csekély az állati és növényi maradványokból keletkező huminsavak mennyisége - ezek adnák az agyag-humusz komplex ioncserélő képességét. A lebomló faanyagból származó tápanyagokat rendszerint endotróf mikorrhiza juttatja el egyenesen a fejlődő növényekhez. A szavanna felgyújtásakor a kén és nitrogén nagy része a légkörbe kerül; az egyéb tápanyagok mennyisége rövid időre emelkedik (hamutrágyázás). A felégetés és a beültetés közötti időben a heves esők sok tápanyagot kimosnak. A tápanyaghiány trágyázással való ellensúlyozásának gátat szab a nedves trópusi talajok csekély kation cserélő kapacitása.

A termesztett növények nem alkalmasak a talaj gombaflórájának újratermelésére. A felszínhez közeli humuszrétegek és mikorrhiza nagy részét az égetés elpusztítja. Fajokban szegényebb, alacsonyabb produktív másodlagos erdő jön létre. Az irtásos gazdálkodás a nedves trópusok viszonyaihoz alkalmazkodott földhasználati módnak tűnik. Előnyei:

- a fény és a tápanyagok maximális kihasználása, az időben és térben megfelelően eloszló gyökér- és levélnövekedés;
- a talaj szinte folyamatos fedettsége és gyökerekkel való alapos átszövöttsége (eróziócsökkentés);
- a kevert kultúrák csökkentik a betegségek fellépését, terjedését és az időjárási károkat.

Másrészről a vegyes kultúrák akadályozzák a gépesítést; emellett az irtásos gazdálkodás gazdaságként nagyobb területet igényel, mint az állandóan művelt területek rendszere. Problémát okoz a növekvő népesség és a rendelkezésre álló földek szűkössége. Rövidebb parlagperiódus, az erdőszántó-gazdálkodásról erdőbozót-gazdálkodásra való áttérés ill. terméshozam-növelés szükséges. Az irtásos gazdálkodás által eltartható népelessűrűségekre vonatkozó adatok nem általánosíthatók; az érték rendszerint igen alacsony (2-40 fő/km²). Kivételt képeznek a fiatal, bázikus vulkanikus kőzetek (Jáva: 200 fő/km²).

Az irtásos gazdálkodás mellett intenzív és félintenzív esős földművelési rendszerek is kialakultak. Jellemzőek a vegyes kultúrák, melyek lehetővé teszik a fény és a csapadék jobb kihasználását, csökkentik a talajeróziót (mely kb. nyolcszor akkora, mint a mérsékelt övben, B), könnyebbé teszik a kártevők elleni védekezést, csökken a gyomok betelepődése. Az intenzív gazdálkodás meghatározott telepítési és betakarítási rendszert igényel, pl. 2 sor durrha és egy sor csicseriborsó váltakozása. Az egy időben, egy területen található termények száma rendszerint csökken; egyes növényeket később telepítenek be, pl. kasszavát a rizs és kukorica közé. Ha az első betakarítás után második is következik, többszörös betakarítási rendszerről beszélünk.

Tartós kultúrák esetében az egyéves termesztett növényeket csakis évelő cserje- vagy faültetvényekkel társítják. Az ültetvények piac- vagy exportorientált nagyüzemek, melyek termékeik feldolgozására alkalmas gyárakkal is rendelkeznek (tea-, cukor-, szizálgárak, olajmalmok, kávéfeldolgozó üzemek). Ha a termény sok ballasztot tartalmaz (a kitermelési arány cukornál 7,5-13,4%, szizálostrnál 3-4%), fontos, hogy a feldolgozóüzem közel legyen az ültetvényhez. Az ipari országok minőségi igényei szükségessé teszik az ipari feldolgozást.

Olaj- és kókuszpálmákat, valamint kakaófákat parasztgazdaságok is sikerrel termesztenek. A hazai termesztoők számára a legnagyobb gondot a magas befektetésigény, a hosszú termés nélküli szakasz (az olajpálma 4, a kacsuk 6, a kakaó 8 év alatt fizeti vissza a befektetett pénzt), valamint a magas munkaigény jelenti; mely csak megfelelő bruttó bevétel, ill. alacsony bérszint mellett lehetséges. Az irtásos gazdálkodással szemben a fa- és cserjekultúrák éveken át biztos termést jelentenek, és megakadályozzák a talajeróziót. A trópusi mezőgazdaság új útjait képviselik az eredeti ökológiai állapotot a termesztett növények erdőszerű telepítésével közelíteni próbáló ökofarm irányzatok.

A mezőgazdaság ökológiai-környezeti hatásai

Erdőirtások, talajerózió: Az erdőirtásból származó környezeti problémák már az emberiség fejlődésének korai szakaszában megfigyelhetők voltak. A mezőgazdasági területek növelése erdőirtások révén, a faanyagok felhasználásának fokozódása már több ezer évvel ezelőtt is bizonyítható tájformáló erőként jelentkezett, egyelőre kisebb térségekre vonatkozóan. Később a folyamat eszkalálódott, és drasztikusan megváltoztatta a Föld arculatát. Az erdőirtásoknak és az ezzel párhuzamos növénytermesztésnek, vagy túllegeltetésnek esett áldozatul a Kaukázus, vagy Európa erdőinek zöme. Jelenleg a folyamat Amazóniában a legkifejezettebb, és veszélyezteteti a Föld légkörének oxigén utánpótlását.

Az erdőirtásokkal a talaj eróziója is együtt jár, mivel a csapadék lefolyásának kisebb gátja van. A hektáronkénti talajvesztés elérheti az 50 tonnát évente. Ilyen mennyiségű talaj csak 50-100 év alatt tud képződni. Az erózió azután gátolhatja a terület mezőgazdasági hasznosítását, a lemosott talaj pedig feltöltődési és eutrofizálódási problémákat okozhat az állóvizekben.

Szikesedés: A könnyen mozgó ionok (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) a kapilláris vízzel felfelé haladva a párolgás következtében a felszínen kicsapódnak (sókéreg). A kationok az agyagásványok rendszerint negatív töltésű felszínére kötődnek. A kis mennyiségű Ca^{2+} pozitív hatással van a talaj finomszerkezetére; nagyobb koncentráció esetén gipsz (CaSO_4) vagy mész (CaCO_3) csapódik ki. A Na^+ különösen káros: nedvesen erős duzzadást idéz elő, mely tönkreteszi a talaj morzsalékos szerkezetét és szellőzését. Kiszáradáskor az erős zsugorodás révén kökemény rögök és tenyérnyi hasadékok jönnek létre. Az ilyen talajok alkálikusak ($\text{pH} = 11$), mivel víz hatására az agyagásványokhoz kötött Na^+ -ionok H^+ -ionokra cserélődnek ki. Mezőgazdasági hasznosítás, vagy regeneráció szinte lehetetlen.

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

Elsivatagosodás: A Száhel-övezetben a földhasználat (legeltetés és eróziókeltő szántóföldi művelés) az orvosi-állatorvosi feltételek javulásának eredményeképpen bekövetkezett a népességnövekedés. A legjobb legelőket szántókká alakították át. A szántóföldi művelés tényleges határa a csapadékosabb években (1958-1960) az afrikai Száhel-övezetben 300 km-rel átlépte az ökológiai alkalmasságot jelző agronómiai szárazsághatárt.

A Száhel

A dezertifikáció azaz az elsivatagosodás által leginkább érintett és veszélyeztetett terület az ún. Száhel övezet. A Száhel Észak-Afrikának az a sávja, ahol a savanna éghajlat átmegy a sivatagi klímába. Ez persze már önmagában is egy instabil zónát sejtet, hiszen a sivatagokkal szomszédos területek klímája, ami, még ha olyan állandóan működő éghajlati "motorok", mint a passzát szél irányítják, pusztán természetes okokból is változhat. A természetes klímamódosulás hatásait azonban sokszorosan felerősítik az emberi hatások.

A Száhel övezet alapvető problémája a hetvenes években tetőzött, amikor a Szahara déli pereme több száz kilométert tolódott délre, azaz a savanna öv irányába. Ennek fő oka a területen időtlen idők óta itt élő nomád állattartó törzsek lélekszámának hirtelen emelkedése. A népességnövekedést nem követte a gazdálkodás alkalmazkodása a megváltozott viszonyokhoz. A vándorló állatok kitaposták azt a maradék növényzetet is, amit legeletlenül maguk után hagytak. Mivel az itt élő törzsek szemében mai napig az állat a legfőbb érték, a megnövekedett népességgel együtt abnormális méretűre duzzadt az állatállomány, annak minden környezetromboló hatásával együtt. Ebbe beletartozik a növényzet teljes leirtása.

Az elsivatagosodáshoz hozzájárult a szokatlan mértékű aszályok sorozata, azonban a nyolcvanas években az időjárás nedvesebbre fordulása sem hozott alapvető javulást a környezet állapotában. Az életmód, gazdálkodás és természeti környezet közötti bonyolult kölcsönhatások következtében egy ökológiai csapdahelyzet alakult ki a Száhel övezetben, melyből csak alapvető szemléletváltozással lehet mindenki számára kielégítő kiutat találni. A megoldás nem csak a helybéliek feladata.

A Szahara évente közel egy négyzetkilométernyi területet hódít el a Száhel-övezet lakóitól, akik kénytelenek folyamatosan délebbre költözni, menekülve a sivatagi forróság és szárazság elől. A klímaváltozás miatt délre terjeszkedő Szahara megállítására már a nyolcvanas években felmerült egy érdekes ötlet: a **Nagy Zöld Fal**. A Nagy Zöld Fal egy 15 kilométer széles, 7000 kilométer hosszú erdősáv lenne, amely nyugatról keletre Dakartól Dzsubutiig nyúlna (72. ábra). A fal építésének ötletét először a burkina fasoi államfő, Thomas Sankara vetette föl a nyolcvanas években, az elsivatagosodás visszaszorítása céljából. Majd pedig 2005-ben a nigériai elnök, Olusegun Obasanjo kezdeményezte a Nagy Zöld Fal létrehozását, amelyet két évvel később – 2007-ben – az Afrikai Unió is jóváhagyott. A tizenegy érintett ország közül mindegyik szorgalmazta a terv megvalósítását. A legeltökéltőbb állam Szenegál volt: 2010-re 525 kilométer hosszú faültetvényt sikerült léterhozniuk Szenegál határain belül. A 12 millió fából álló ültetvényt sor főként a Szenegálban őshonos akáciából áll. Az akácia jól bírja a szárazságot, emellett un. gumiarábikumot termel, mely különböző fogyasztási cikkek összetevője is (pl. üdítőitalok), ezzel a helyi bevételt is növeli. 2010 júniusában a Nagy Zöld Fal kezdeményezésben résztvevő tizenegy ország aláírásával létrejött a Nagy Zöld Fal Ügynökség.

Jelentősebb előrelépésről a tizenegy ország közül csak kettőben beszélhetünk. Niger Zinder régiójában rengeteg fát ültettek a Szahara déli peremére, és ötmillió hektárnyi földterületet sikerült visszaszerezni a mezőgazdasági termelés számára. Szenegálban 27.000 hektárnyi terület vált újra művelhetővé, miután tizenkétféle fát ültettek. A 2008-ban ültetett és életben maradt fák (nyolcvan százalék) akár a három méteres magasságot is elérhetik.

Az előzetes tudományos eredmények azt mutatják, hogy már akár 4-8 fából álló kisebb telep is mérhető változást okoz a terep mikroklímájában. A fák transzpirációja olyan mikroklímát hoz létre, amely mérsékli a napi hőmérsékleti kilengéseket. A talajerózió is csökken, így kevesebb a falvakba áramló por mennyisége. A vékony, fákkal borított övezet „úgy viselkedik, mint egy jó kis lábtörlő, és megállítja a homokot hozó szaharai szeleket”.- Mondja Boetsch, a Szenegálban dolgozó francia kutatócsoport vezetője. Még a vándormadarak is kezdenek visszatérni.



72. ábra. A Száhel-övezet országai és a Nagy Zöld Fal sárgával jelezve a térképen

Agrár ökoszisztémák létrejötte: Minden terménővelő eljárás - talajművelés, trágyázás, gyom- és kártevőirtás - zavarokat okoz az ökoszisztémában. 50 évvel ezelőtt a kultúrtáj még meglehetősen kis egységekre tagolódott, az állatok számos helyre visszahúzódhattak (mezsgyék, sövények, kis vizek). A tagosítással megszűnt a kis termőterületek sokfélesége. Ezzel egy időben történtek a talajjavító (meliorációs) munkálatok, pl. talajvíz levezetése, alagsövezés, nedves területek kiszáritása. A nagy táblák kialakítása kitakarította a tájat. A kultúrtájja válással pedig a fajdiverzitás csökkent a területen, mivel számos korábban ott vadon élő faj számára az életfeltételek kedvezőtlené váltak.

Ezek a fajok vagy elvándoroltak, vagy kipusztultak a területről. Különleges társulások jöttek létre, melyekben a dominancia viszonyokat mesterségesen tartották fent a termesztett fajoknak. Ez azzal járt együtt, hogy a termesztett fajok szelekciós előnyre tettek szert, dominánsak lehettek a területen, jóllehet az ember segítsége nélkül talán el is tűntek volna a területről. Ez a folyamat vezetett a kultúrtájja váláshoz. A mezőgazdaság intenzifikálása együtt járt a trágyázás mértékének növekedésével, ennek következtében a nitrogénkedvelő növényfajok jutottak előnyhöz (csalán, bodza, stb.). A környezeti feltételek átalakulása a kozmopolita fajoknak kedvezett, mert azok tudtak a megváltozott feltételek között is szaporodni. A szűk tűrésű és a diverzitást növelő fajok pedig eltűntek, vagy kipusztultak a területről. Az erdőirtások, a mezőgazdasági tevékenység megváltoztatta a társulások szabályos egymásra következését térben és időben, vagyis megzavarta a természetes zonációt és a szukcessziós folyamatokat.

Növényvédő-szerek: Még ebben az évszázadban is – miként korábban sokszor - a termést sok esetben elpusztították a gradációra hajlamos sáskák. Ellenük rovarirtó szerekkel védekeztek. A DDT és a többi rovarirtó olcsó volt és hatásos. A rovarok elpusztításával növekedett a terméshozam, javult a minőség. Ezek a rovarirtó szerek azonban mindenféle rovar elpusztítottak, nemcsak a sáskákat:

Válogatás nélkül képesek minden rovat kiirtani, a károsakat és a hasznosakat is. Pusztító réteggel vonják be a leveleket és tovább működnek a talajban.

Eutrofizálódás: Egyik legfontosabb világszerte jelentkező vízminőségi probléma a tavak és tározók mesterséges eutrofizációja, melynek főbb okai:

- A népesség gyors növekedése, urbanizáció, és az ezzel járó szennyvíz mennyiségének növekedése;
- A népesség növekedéséhez kapcsolódó gyors iparosodás, melynek során nőtt a növényi tápanyagot is tartalmazó szennyvíz mennyisége;
- A mezőgazdaság intenzifikálása (műtrágyahasználat, hígtrágya mennyiség növekedése);
- A polifoszfat tartalmú mosószerek elterjedése a II. Világháborútól kezdődően.

A tápanyagterhelés növekedésének eredményeképpen a befogadók növényi produkciója (algák és/vagy makrofiták) nőtt, ami a vízhasználatnál gondokat okozott (fürdőzés, ivóvíz és ipari víz kivétel, stb.).

A vízigények növekedése és az eutrofizációs folyamat felgyorsulása azt eredményezte, hogy az eutrofizálódás csökkentése sok éve az egyik legfontosabb feladat.

A tápanyagterhelés növekedése következtében fellépő biológiai produkció növekedés (elsősorban algásodás, úszó és gyökerező makrofiták terjedése) a vízhasználat szempontjából kedvezőtlen az alábbi okok miatt:

- íz- és szagproblémákat okozhat az ivóvízben;
- oxigénhiány miatt halpusztulás történhet;
- a vízterület rekreációs értéke csökkenhet;
- algatoxinok jelenhetnek meg a vízben, ami a vizet fogyasztó állatok pusztulását okozhatja.

Ennél fogva a nagy biológiai produkciók (vízvirágzás, stb.) kialakulását meg kell akadályozni. Erre vonatkozóan számos módszert dolgoztak ki az elmúlt évtizedekben. A szabályozás alapja a limitációs elv.

A növények tápanyagaikat a Liebig-féle minimumtörvény szerint bizonyos tartományban mozgó arányok szerint veszik fel környezetükből. Figyelembe véve a tápanyagok igény/ellátottság arányát is fenti elemek közül a foszfor és a nitrogén válhat limitálónak a tavakban és tározókban. Néhány esetben azonban mikroelemek is limitálhatják a szaporodást (molibdén, szilícium, vas).

Az atomarányokat nézve világosan látszik, hogy a foszforterhelés szabályozásával oldható meg legkönnyebben a trofitás csökkentése: 1 kg foszforból 76 kg, 1 kg nitrogénből pedig csak 12 kg algabiomassza képződhet. Figyelembe kell venni azt is, hogy a nitrogén hiányt egyes szervezetek a levegőből nitrogénkötéssel pótolni tudják, míg ilyen lehetőség a foszfor esetében nincs.

Nitrátosodás: A vizek nitrát szennyezésének kérdése a második világháború után került az érdeklődés középpontjába, mivel a háború alatti gazdasági recessziót erőteljes fejlődés váltotta fel, melynek egyik hatása a környezet szennyezés volt. A nitrát szennyezés mind a felszíni, mind pedig a felszín alatti vizekben megjelenik.

A vizek nitrát-koncentrációjának megnövekedése hatással van a vízi ökoszisztémára, és a víz emberi felhasználhatóságot csökkenti. Az ivóvízforrások magas nitrát-koncentrációja esetleges közegészségügyi kockázatot jelent, mivel az emberi

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

és állati szervezetnek a magas nitrát-koncentráció méreg. A mérgező hatás azzal kezdődik, hogy a bélrendszerben élő *Escherichia coli* baktériumok nitrát-reduktáz enzime a nitrát-iont nitrit-ionná redukálja. A nitrit-ion képes a hemoglobin molekulához hozzákötődni, és ez azért veszélyes, mert sokkal stabilabban kötődik a hemoglobinhoz, mint akár az oxigén, akár a szén-dioxid. Ezáltal megakadályozza a természetes gázcserét a tüdő, a vér és a szöveti sejtek között, minek következtében fellép a hypoxia, mely a dózistól függően halálos is lehet. A methemoglobin színe kék, ellentétben az oxigénnel telített hemoglobin vörös színével, ezért a mérgezés a bőr elszíneződése miatt jól látható kívülről is. A betegséget methemoglobinémiának, népies nevén kékhalálnak nevezik. Az egészséges egyének vörösvérsejtjeiben is található methemoglobin, de a methemoglobin folyamatos építése és bontása miatt annak átlagos szintje a teljes hemoglobin 2 %-a. A legveszélyeztetettebb korosztály a csecsemők, illetve újszülöttek; a felnőttek szervezetéből a felesleges nitrát gyorsan kiürül a vesén át.

A nitrát szennyezés másik nagyon fontos hatása a felszíni vizek eutrofizációja, ami ma az egyik legsúlyosabb környezetvédelmi probléma.

A nitrátosodás okai:

- A felszíni és a felszín alatti vizek nitrátosodása az alábbi fő okokra vezethető vissza:
- Állattartó telepekről származó trágya
- Műtrágyázás
- Szennyvíz környezetbe jutása
- Levegőszennyezés nitrogén tartalma
- Korszerűtlen hulladék elhelyezés

Állati trágya: Állattartó telepek környékén a magas állatállomány, illetve a hígtrágya koncentrált területen való felhasználásának hatására a vizekben végeredményben a nitrát dúsul fel. A szerves anyagokban lévő fehérje rothadási és lebomlási termékeként karbamid, majd ennek elbomlása után ammónia keletkezik. Aerob körülmények között a talaj felszínén vagy a talaj felszínéhez közel az ammónia átalakul nitráttá a nitrifikáló baktérium segítségével. Ez a nitrát oldható és könnyen eléri a talajvizet.

A felszín alatti vizekbe történő nitrát szállítás és a talajon lévő trágyahasználat közötti kapcsolatot már szintén felfedték. A felszín közeli talajvízben kimutatható a nitrát koncentráció megnövekedése a felszíni trágyahasználatot követően. A kutakban a csapadékosabb időszakokban megfigyelhető a vízfelszín emelkedése, és a nitrát koncentráció emelkedése. Általánosan, a nitrát koncentráció a felszín alatti vizekben magasabb azokban az időszakokban, amikor felhasználják az állati ürületekből származó trágyát, mint a közbelső időszakokban.

Műtrágya-használat: A műtrágya-használat és a vizek nitrátosodása között egyértelműen közvetlen összefüggést mutattak ki. A műtrágyák közül elsősorban a nitrogén, a káli és a foszfor műtrágyákat használják. A nitrogén-műtrágyák nagyobb mennyiségű felhasználásának oka az, hogy a talaj káli- és foszfor megtartó kapacitása nagyobb, mint a nitrogén megtartó kapacitása. Ebből következik, hogy a talaj nitrogént raktározni csak nagyon kis mennyiségben képes, a feleslegesen, nem a növény igénye szerint kiadagolt nitrogén-műtrágya nitrogén tartalma a vizekkel elszállításra kerül, vagy átalakul. A használatos műtrágyák közül legnagyobb nitrogéntartalma az ammónium-nitrátnak van, melyek vízben ammónium és nitrát ionra disszociálva oldódnak. Ezeket az ionokat a növények és a mikroorganizmusok biológiailag, a talaj kémiaiilag adszorbeálhatja és a hasznosítás szempontjából jelentős veszteségek is felléphetnek. Az ammónia-ion elillanhat a talajfelszínről és a denitrifikáció során keletkező N₂ gáz a talajból. Ugyanakkor a nagy oldékonyságú N-vegyületek egy része a beszivárgó csapadékvízben oldódva kilúgozódik az intenzíven műtrágyázott talajból. Tehát a nitrogénműtrágyával a következők történhetnek: a talajban maradhat, ki- vagy bemosódhat a

felszínen lefolyva vagy a felszínközeli vízbe jutva, vagy párolgás útján és denitrifikáció által nitrogéngázok formájában a légkörbe kerülhet.

Jelentős tényező a szennyezés szempontjából az éves összes nitrogén hatóanyag kiszórási ideje. Ősszel az összes nitrogén 20-30 %-át szórják ki a talajművelés után, a nagyobbik részét pedig a II.-V. hónapok között. A műtrágyák bemosódásához a téli félév nagyon kedvező, mivel a mélyszántáskor a talajfelszínt fellazítják, ezáltal elősegítik a beszivárgást. Ez a műtrágyát azonban hasznosításra jórészt nem kerül, mivel ez a kiszórás az aratási időszak után történik, illetve más növények ilyenkor már elvesztik a lombkoronájukat. A nitrogén vegyületek ilyenkor teljes egészében bejutnak a felszínközeli vízbe és növénytermesztés szempontjából jórészt elvesznek.

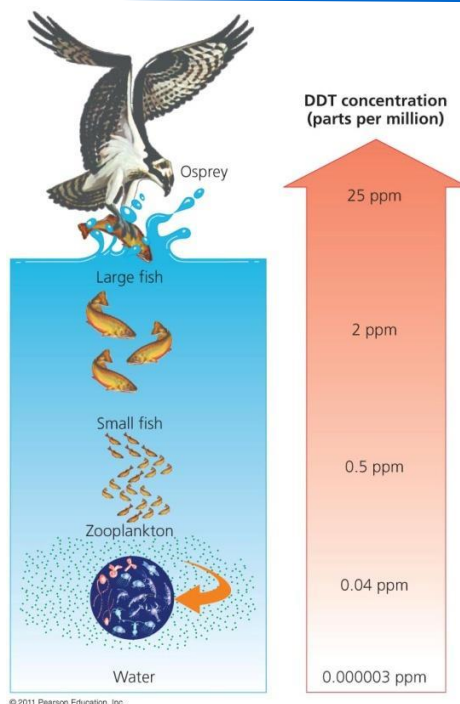
Nitrát-szennyeződés akkor is tapasztalható, ha a műtrágya kihordás időpontja egybeesik az intenzív csapadék-beszivárgású időszakokkal, és találkozhatunk a helytelen tárolásból adódó koncentrált szennyeződésekkel is.

Vizsgálatok és irodalmi adatok alapján a műtrágyázással kijuttatott nitrogénnek mintegy 5-10 %-a kerül olyan helyre, ahol a környezetet terheli. Ez évente átlagosan 30-60 ezer tonna nitrogén hatóanyagot jelent, mely megegyezik a számított kommunális környezet terheléssel. Más vizsgálatok szerint a szántóföldeken a nitrogén transzport hússzoros növekedését tapasztalták az erdőhöz képest.

Szerves mikroszennyezők: A szerves mikroszennyezők két fontos forrása az ipar és a mezőgazdaság. A vegyipar különböző ágazataiból számos mikroszennyező kerül a termékekkel a környezetbe, de jelentős szennyező forrás a vegyipari termelési hulladék is. A mezőgazdaság számára gyártott vegyszerek jelentik talán a legnagyobb veszélyforrást. Ezek a vegyszerek a következő csoportokba sorolhatók:

- Gyomirtó szerek (herbicidek)
- Gombaölő szerek (fungicidek)
- Rovarölő szerek (inszekticidek)

A növényvédő szerek használata a II. Világháború után vált általánossá, legfontosabb céljuk a terméseredmények növelése volt. Ezt a célt az által érték el, hogy a termesztett növények versenytársait (gyomirtó szerek), a termesztett növényeket fogyasztó szervezeteket (inszekticidek) mesterségesen háttérbe szorították. Erre azért is szükség volt, mert a termesztett fajták kevésbé voltak ellenállóak.



73. ábra. DDT bioakkumulációja

Az elsők között alkalmazott klórozott szénhidrogén tartalmú szerek (DDT, HCH, Dieldrin) nagyon hatásosak voltak, és úgy tűnt, hogy a melegvérű állatokra nem veszélyesek. Ezek a vegyszerek a talajban, vizekben nehezen bomlottak le, ezért a hatásuk hosszan tartott. Később vált világossá, hogy ezek a vegyületek felhalmozódhatnak az élő szervezetekben (73. ábra) és károsíthatják azokat, hasonlóképpen, mint azt a nehézfémek esetében tapasztalták. Káros hatásuk nemcsak az alkalmazás helyén, de attól nagy távolságra is érvényesülhetett.

12.2. Az ipar és a bányászat ökológiai-környezeti hatásai

Környezetszennyező iparágnak számít a vegyipar, a kőolaj-feldolgozó ipar, a vas- és acélgégyártás, a színesfémkohászat, a galvanizáló üzemek, az elemgyártás, kő- és földkitermelés és -feldolgozás, papír- és cellulózgyártás. A koksizálás során rákkeltő anyagok is kerülnek a levegőbe. A szagterhelést H_2S , széndiszulfid, merkaptán, ammónia, naftalin és fenol okozzák; a porszennyezést a száraz lepárlás és a szén átalakítása. A koksizológépek szennyvize ipari szennyvíz, melyet a nyilvános tisztítóműbe vezetés előtt meg kell tisztítani a H_2S -től, ammóniától, merkaptántól, cianidoktól és fenoloktól. A színesfémkohászat során a nehézfémek legkülönbözőbb vegyületei gyakran szilárd formában kerülnek kibocsátásra (0,01-10 mm) és aeroszolatokat képeznek. Az alumíniumkohók emissziójában Al-, F-, S és Sb-vegyületeket találunk, melyek közül a fluorszármazékok a legveszélyesebbek az élőlényekre. A cementgyártás során SO_2^{2-} , CO_3^{2-} , szilikát-, CaF_2 - és tallium kibocsátás (tallium-klorid) történik. A kibocsátott anyagok koncentrációja 5 km-es körzetben a szennyezetlen területen mérhető érték 1000-szeresét is elérheti.

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

A mérgező anyagok felelőtlen kezelése miatt számos szennyezett terület keletkezett. A hasznosítási történet rekonstrukciója és a valószínű szennyezési forrásoknál történő mintavétel segítheti e régi telephelyek veszélyeinek felbecslését.

A szabad területek egyre csökkenő mennyisége mind élesebbé teszi a felhasználók közti konfliktusokat.

A gazdasági szerkezetváltás tovább fokozta ipari parlagok létrejöttét. Ezek korábbi ipari vagy üzleti területek, melyeket már legalább egy éve nem használnak. A területek újrahasznosítása az új városok kialakulásának fontos eleme. A telkek újraértékesítésénél nehezebb az épületek anyagának újrahasznosítása. Az állam környezetvédelmi beruházásai csaknem kétszer olyan magasak, mint a termelő iparágakéi. Legtöbbet az energiatermelés, a vízellátás, a vegyipar, a kohászat és fémgyártás költ a levegőtisztaságra és a zajcsökkentésre.

A környezetvédelmi költségeket nagymértékben a társadalomra hárítják, így a vállalkozók haszna az egész nemzetgazdaság kárára válik. A következmények költségei többszöröse a károkozónál felmerülő költségeknek.

Időközben kialakult a környezetvédelmi ipar, mely igyekszik kijavítani a már bekövetkezett károkat, de nem képes azok okait megszüntetni. A környezeti károk csak az egész gyártási folyamat és a termékek a termelés helyén történő gondos, megfelelő tervezésével kerülhetők el. A szennyező anyag kibocsátás elkerülésének költségei meredeken emelkednek (kármegelőzési költségek határértéke). A környezeti károk gazdasági értékelése igen nehéz. A kárelemzések (a károk és az elhárításukhoz szükséges beavatkozások költségeinek megállapítása) során az egész ok-okozati rendszert figyelembe kell venni.

Az ipari tevékenység felhagyásának költségei általában nincsenek beépítve a termékek árába, mert az a termékek versenyképességét csökkentené a piacon. Következésképpen, az ipari tevékenység megszüntetése után ipari parlagterületek jönnek létre elsősorban a fejlett ipari államokban, ahol az ipari termelés jelentős. Ez a jelenség hazánkban is megfigyelhető az ipari szerkezetváltással összefüggésben. A szocialista ipar tönkrement iparvállalatainak területe sok helyen még ma is kihasználatlan, az épületek romosak. Ugyanakkor megfigyelhető az ipari parlagterületek újrahasznosítása is azokon a helyeken, ahol a terület értéke miatt megéri a bontás költségeit befektetni.

A korábban lerakott veszélyes hulladékok a jövőre is kiható problémákat okozhatnak. Az elégtelen hulladék elhelyezés balesetekhez is vezetett. Egy hamburgi hulladéklerakóból dioxin szabadult fel. Egy másik esetben mérgező anyagokat tartalmazó szennyvíziszapot építettek be lakóházakba. Sok esetben a régi lerakó helyekre vonatkozó információ hiányos, ezért lakóházakat, vagy egyéb létesítményeket építhetnek a lerakó területére, veszélyeztetve ezzel az ott élő emberek egészségét.

Az ipari tevékenységből származó fontosabb levegőszennyezéssel kapcsolatos probléma a savasodás, az ózonlyuk és az üvegházhatás és a növekvő mértékű havaria események. A hőszennyezés vízminőségi és biológiai hatásainak vizsgálata a hő- és atomerőművek elterjedése után a 60-as évektől kezdődően vált elterjedté a világon.

A bányászattal történő nyersanyagnyerés a tájat és a növényzetet egyaránt károsítja. Süllyedések keletkeznek, a patakok és folyók folyását újra kell szabályozni. Folyók kotrása, töltések magasítása, új töltések, szivattyúművek, hidak építése válhat szükségessé. A környezet terhelése többoldalú: szociális, földrengésveszély, porszennyezés, a több km hosszú szállítószalagok zajszennyezése, a

talajvízszint csökkenése, stb. A nyíltszíni fejtések területén a talajvízszintet esetenként süllyeszteni szükséges. Ha a talajvízrétegeket nem szárítják ki, a bányába betörő víz ledönti a rézsűket. Patakok és nedves területek kiszáradhatnak. A nagy vízigényű termesztett növények (cukorrépa, lóhere, kaszálók) terméseredménye csökken. A száraz termőhelyeket kedvelő növények (gabonafélék) megelégszenek a csapadékkal. A laza kőzetrétegek (kavics, homok, agyag) vízelvonás miatti zsugorodása bányakárokat okozhat. A talaj, süllyedések károsíthatják az épületeket és a közműhálózatot. A külszíni fejtések felhagyása után nagy tömeghiány észlelhető. Minden t szénre 3-5 t megmozgatott meddő esik.

12.3. Az infrastruktúra ökológiai-környezeti hatásai

A városiasodással kapcsolatos problémák az alábbiak. A rendkívül sűrű lakosságú városok a legszélsőséesebb ökoszisztémák, melyekre makacs környezeti problémák, pl. gyakori szmog képződés jellemző. A környezeti problémák a sűrűn beépített nagy területek és a városszéli területek beépítése (a település terjedése, közlekedési felületek) közvetlen kísérőjeként jelentkeznek.

Környezet közvetett terhelését többek között a városnak a környékkel való összefonódása (a közeli pihenőterületek kapcsolódása, személerakók, szennyvíz, levegőszennyezés), valamint a fajok elvándorlása teszi nyilvánvalóvá. A városokban felszaporodnak a technikai elemek (épületek, utak, vezetékek, gépek, eszközök), így elhatárolódnak a környező ökoszisztémák élő és élettelen alkotóelemeitől. Ennek okai a felszín fokozódó lefedése (aszfalt, beton), a talajtömörödés, az erőművek és ipari üzemek szennyezőanyag-kibocsátása (pl. talajvíz szennyezése), nagy mennyiségű hő kibocsátás, és a városfejlesztési tervek.

A környező területekhez képest a városokban a vegetációs időszak 8-10 nappal hosszabb, de az összes felszínnek csupán 35-45%-át borítja növényzet. A termelő szervezetek fajszáma csökken. Nem képesek a fogyasztó szervezeteket megfelelő módon táplálékkal ellátni, így nem töltik be szereplésüket: az ökoszisztéma energiával való ellátását. A szükséges energiapótlást kívülről az ember biztosítja. Visszajára fordul a termelő és fogyasztó szervezetek természetes egyensúlya a táplálékpiramisban: túlsúlyba kerülnek az állatok és emberek. A sűrűn lakott városi környezet intenzív, szabálytalan hatásaival erős szelekciós tényező. Sajátos fajösszetételű városi állat- és növényvilág alakul ki, mely a háziállatokat és kerti növényeket leszámítva szegényebb, mint a környék élővilága. Az emberi beavatkozás mértéke a hemerobiafokkal jellemezhető, mely a neo- és terofiták (egyéves növények) arányát, az előforduló fás szárú fajokat, valamint speciális talajképződési és talajváltozási folyamatokat vesz figyelembe.

Megkülönböztethetők ideochor fajok, melyek az adott területen már az ember megjelenése előtt előfordultak; hemerochor (antropochor) fajok, melyek emberi hatásra telepedtek be (pl. termesztett növények); archaeofitonokat ("őslakosok"), melyek az újkor és a középkor között a Földközi-tenger vidékéről és Elő-Ázsiából vándoroltak be; és neofitonok, amelyek az utóbbi 500 évben az újvilágból vándoroltak be, illetve telepítették be őket (pl. pészmapocok). Egyes fajok a vetélytársak hiánya miatt kedvező körülmények között tömegesen léphetnek fel. A talaj elzárása és a nehezen bomló mesterséges hulladékok felszaporodása miatt a lebontó szervezetek nem képesek ellátni feladatukat: a hulladékok lebontását, a tápanyagoknak a körforgalomba való visszajuttatását. A hulladékot lerakóhelyeken halmozzák fel. Mivel a fogyasztó szervezetek szerepe is alárendelt, az antropogén ökoszisztémák a természetesekkel ellentétben elveszítették önszabályzó képességüket. A városokra mozaikos ökoszisztémák jellemzők: szorosan egymás mellett található kicsiny életterek:

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

- Kultúr sivatagok: épületek;
- Lakott szárazföldi élőhelyek, pl. kertek, zöldterületek, temetők, sportpályák, szeméttelpek;
- Vízi életterek, pl. vízfolyások, tavak, fürdők, források.

A vonalas létesítményekkel (út, vasút) kapcsolatos ökológiai-környezeti gondok az alábbiak. A közlekedési felszínek közelében sajátos mikroklíma alakul ki, mely messze túlnyúlik annak peremén; az utak felett a legszélsőségesebb természetes termohelyekével hasonlítható össze: magas be- és kisugárzás, hőmérséklet és párolgás. A porszemcsék kondenzációs magként szolgálnak köd- és csapadékképződés számára. Töltések, bevágások mellett a hideg levegő felhalmozódhat (fagyzugok). Az építési szakaszban az épülő utak mentén sok állat és növény elpusztul. A természetes és természeteshez közeli peremterületek sztenotóp fajai rendszerint nem térnek vissza. A működés során a szegély növényzetétől függően módosul a fajösszetétel. Euriók fajok bevándorlása révén mind mennyiségi, mind minőségi tekintetben bővíthet. A közlekedésnek számos állat közvetlenül esik áldozatul. Legnagyobb az euriók kultúrákövető fajok veszteségének aránya.

Különösen veszélyeztetettek a kételtűek populációi, ha a szaporodási területeikre vándorolva közutakat kell keresztezniük. Járulékos igény: az építés idején felmerülő területigény (nyomvonalak, építési utak, lerakatok, homok- és kavicskitermelés). Következmény-beruházások: töltések, bevágások, hidak, csatlakozások stb. Elszigetelés Az utak a kistermetű állatok, pl. rovarok, kisemlősök számára átjárhatatlan akadályokat jelentenek (barrier hatás); elválasztják egymástól a biotópokat és területeket (elszigetelő hatás). Ennek fő oka a növénytakaró hiánya és a járművek állandó, szabálytalan áramlása és zaja. Az elszigetelő hatás jelölési-visszafogási kísérletekkel bizonyítható. A mobilitás diagram segítségével megállapíthatók az eleresztési és visszafogási helyek közötti mozgási útvonalak. A közlekedési vonalak erősen elhatárolt maradvány-biotópokat hoznak létre, melyek között nincs természetes átmenet (ökoton).

Az elszigetelt élőhelyek korlátozott energiaforgalma és csökkent erőforrásai korlátozzák a fajösszetételt, elsősorban a magasabb táplálkozási szinteken. Az elszigetelt területek méretének csökkenésével csökken a bevándorló egyedek száma, mely a populáció genetikai elszegényedésén keresztül annak kipusztulásához vezet. A sziget biotópok rövid ideig menedékként vagy hídként is szolgálhatnak, véletlenszerűen strukturált fajösszetételt mutathatnak, mely az itt található, a környékről bemenekült (maradványfajok), ill. átvonuló fajokból áll. Nagymértékű fajcsere megy végbe, mely az ökológiai stabilitás elvesztésével jár: a ritka, sztenotóp fajokat kiszorítják a vándorlást kedvelő kozmopolita fajok. Először a nagytermetű fajok vándorolnak el, melyek egyedsűrűsége kicsi, és élettevékenységükhöz nagyobb, összefüggő területet igényelnek. A táplálkozási piramis „lefejezése” csökkenti a társulásra nehezedő ökológiai nyomást, mely a fajgazdagság egyik létrehozója, kevés faj nagy egyedszámban szaporodhat el.

Az utakra szórt só nagyrészt konyhasó. Befolyásolja az olyan növények vízháztartását, amelyek a Na^+ - és Cl^- -ionok felvételét nem képesek kizárni. A sószórás ökológiai hatása elsősorban mérgezés. Ioncsere következtében Ca^{2+} -, Mg^{2+} - és K^+ ionok mosódnak ki. Hiányuk felelős a termelő növényrészek növekedésének visszamaradásáért. A Na^+ -ionok hidratációs értéke magas: a talaj pórusait duzzadás elősegítésével eltömítik. Az összetömörödő talaj eliszaposodik, romlanak az edafon és a gyökerek létfeltételei. A Cl^- -ionok sejtmérgek: a biokémiaiaktív részeket károsítják (levelek elhalása, az idej levelek barnás színeződése, a tavaszi kihajtás késleltetése).

12.3.1. Az idegenforgalommal kapcsolatos ökológiai-környezeti hatások

A pihenni vágyók úti céljai a természetes és természeteshez közelálló tájak; következmény a természetes tájak és azok életének megváltozása. A beavatkozás általános infrastrukturális fejlesztéssel kezdődik (autópályák, parkolók, étkezőhelyek), majd egyre több természetes területet igénylő intenzív területhasználatba torkollik. Nemcsak az ember jelenléte zavaró (növények, kiszedése, zaj), hanem a közlekedés, parkolás, járás (taposás) is, vízszennyezés (eutrofizáció), szemetelés, károkozás, tüzek. A károsítás rendszerint nem szándékos, bár előfordul a táj és az élőhelyek tervszerű pusztítása is. Az állatokat zavarja, ha az ember minden rossz szándék nélkül megközelíti őket, ennek hatására megszakítják nász, táplálkozási vagy ivadék gondozó tevékenységüket. Taposás hatására a talaj függőleges irányban tömörödik (kompresszió) vagy a lejtő irányában elcsúszik (transzlokáció). A feltalaj áthelyeződik, széttöredezik, kimosódik, megkeményedik, vagy átázik. Kopár talajokon megváltozik a mikroklima (nő a hőmérséklet, fokozódik a párologtatás).

12.3.2. A vízgazdálkodással összefüggő, felszíni vizeinket érintő ökológiai-környezeti hatások

A hajózással kapcsolatos emberi tevékenységek:

- hajózóút kialakítása a folyómederben (zsilipek, gátak, duzzasztók, mederkotrás, kanyarulat átvágás, új meder kialakítása),
- folyószabályozás,
- parterősítés és -biztosítás (kőszórás, betonozás, betonblokkok),
- a mellékágak, vízjárta területek leválasztása, rakpartok építése,
- a vízi növényzet mechanikai károsítása,
- szennyezőanyag terhelés (szennyvíz, üzemanyag és égéstermékai, rakományból származó szennyezés, szerves és szervetlen mikroszennyezők vízbe jutása, havaria események).

Az árvízvédelemmel kapcsolatos emberi tevékenységek:

- ártér és vízjárta területvesztés (töltések),
- gátak, duzzasztók, árvízvédelmi tározók építése,
- folyószabályozás, kanyarulat átvágások, új meder kialakítása,
- kereszt-szelvény változtatás,
- parterősítés és -biztosítás (kőszórás, betonozás, betonblokkok),
- a mellékágak, a vízjárta területek leválasztása.

A vízierőművekkel kapcsolatos emberi tevékenységek:

- gátak, duzzasztók, tározók építése,
- a hajózóút kialakítása a folyómederben,
- folyószabályozás, meder átvágások,
- új mederbe terelés (pl. oldalcsatornás megoldásnál),
- a turbinák mechanikai károsító hatása.

A mező- és erdőgazdálkodás egyedi tevékenységei:

- gátak duzzasztók építése,
- öntözővíz kivétel,
- folyószabályozás, meder átvágások, új meder kialakítása,
- a keresztszelvény megváltoztatása,
- a mellékágak és a vízjárta területek leválasztása,
- a belvízmentesítés,
- talajerózió,
- szennyezőanyag terhelés (hígtrágya, tápanyagterhelés a növénytermesztésből, szerves mikroszennyezők kibocsátása).

Vízellátás:

- duzzasztók, tározók építése,
- vízkivétel,
- folyószabályozás, meder átvágások, új meder kialakítása,
- parterősítés és -biztosítás (kőszórás, betonozás, betonblokkok),
- a mellékágak és a vízjárta területek leválasztása,
- szennyezőanyag terhelés (szennyvízkibocsátás, hőterhelés, ipari szennyezések).

Az urbanizációval és a rekreációval kapcsolatos tevékenységek:

- folyószabályozás (meder átvágások, új meder kialakítása, a keresztszelvény megváltoztatása),
- parterősítés és -biztosítás (kőszórás, betonozás, betonblokkok),
- a mellékágak és a vízjárta területek leválasztása,
- partvédő művek, partfalak építése,
- ártér és vízjárta területek elvesztése (töltések),
- belvízelvezetés,
- vízkivétel és vízbevezetés,
- tavak esetében vízszint-szabályozás,
- tavak kotrása,
- szennyezőanyag terhelés (szennyvíz, ipari termelés szennyezőanyagai, üzemanyag és égéstermékének szennyezései).

13. Az ökológiai lábnyom

Ökológiai lábnyom alatt egy adott népesség természeti „terhének” mértékegysége, lényegében az a földterület, amely a népesség által fogyasztott erőforrások és a kibocsátott hulladék általános szintjeinek fenntartásához szükséges. Az ökológiai lábnyom olyan globálisan alkalmazott számítási eszköz, amely lehetővé teszi egy meghatározott emberi népesség vagy gazdaság erőforrás-fogyasztási és hulladékfeldolgozási szükségleteinek felbecsülését, termékeny földterületre átszámítva. Segítségével felbecsülhetjük egy meghatározott emberi népesség, egyén vagy gazdaság erőforrás-fogyasztási és hulladékfeldolgozási szükségleteit termékeny földterületben mérve. Adott technológiai fejlettség mellett milyen mennyiségű földre és vízre van szükségünk önmagunk fenntartására és a megtermelt hulladék elnyeléséhez. Annak kiszámítása és összehasonlítása, hogy mennyi természeti forrást használunk és mennyi természeti erőforrás áll rendelkezésünkre. A világ ökológiai lábnyoma a globális népesség méretével, az átlagos fejenkénti fogyasztással és a használt technológia erőforrás-igényével arányosan változik.

Az egyén ökológiai lábnyomának elemei (74. ábra):

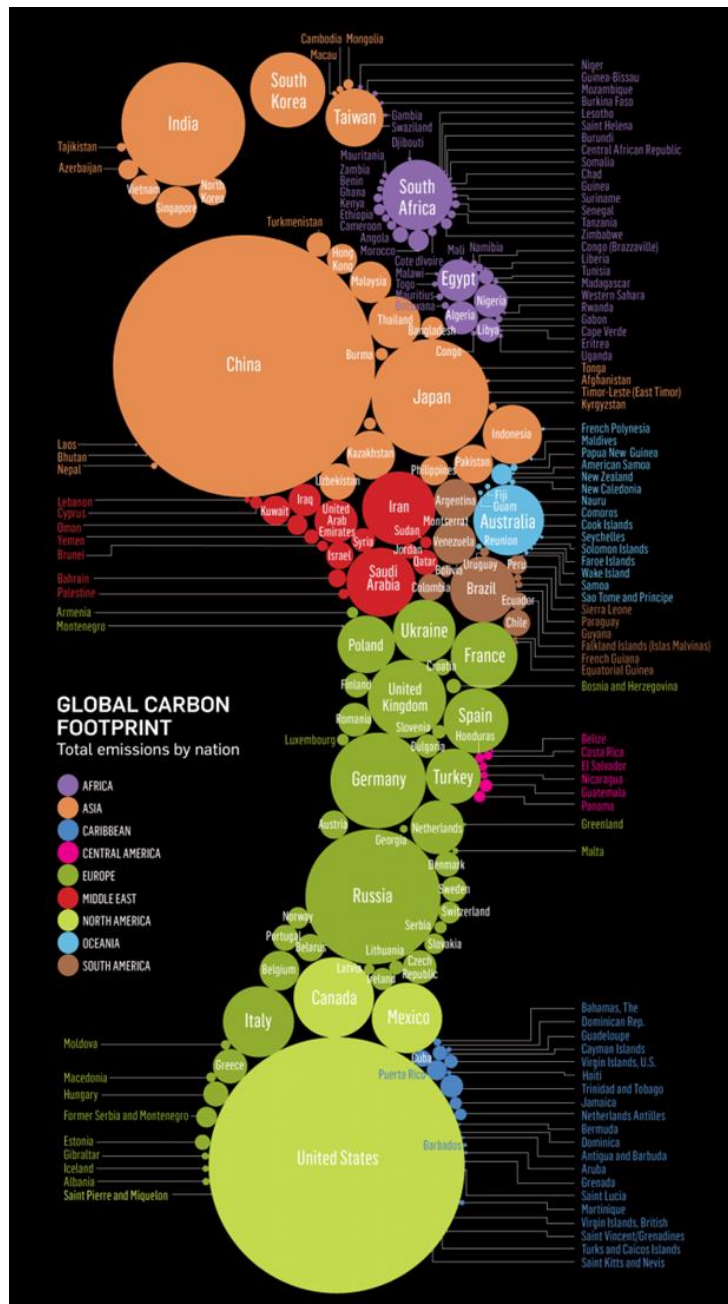
- **Szén lábnyom:** A fosszilis erőforrások elégetéséből, a földhasználat-változásból és kémiai folyamatokból keletkező CO₂ elnyeléséhez szükséges erdőterület nagysága
- **Legelő lábnyom:** Annak a területnek a nagysága, amely a hús- és tejtermékekért, irháért és gyapjúért tartott állatállomány eltartásához szükséges
- **Erdő lábnyom:** Az éves rönkfa, papíralapanyag-, faáru és tűzifa-felhasználás alapján becsült terület
- **Halászati lábnyom:** A különböző tengeri és édesvízi fajok halászati adatai alapján, valamint az újratermelési igényeik alapján becsült érték
- **Szántó lábnyom:** Az emberi fogyasztásra, állati takarmányozásra és bioüzemanyagok előállítására termelt növények termesztésének területigénye
- **Beépített területek:** Az emberi infrastruktúrához (pl. közlekedés, lakások, ipari létesítmények, vízi erőművek tározói) szükséges földterület nagysága



74. ábra. Az egyén ökológiai lábnyomának elemei

**„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”**

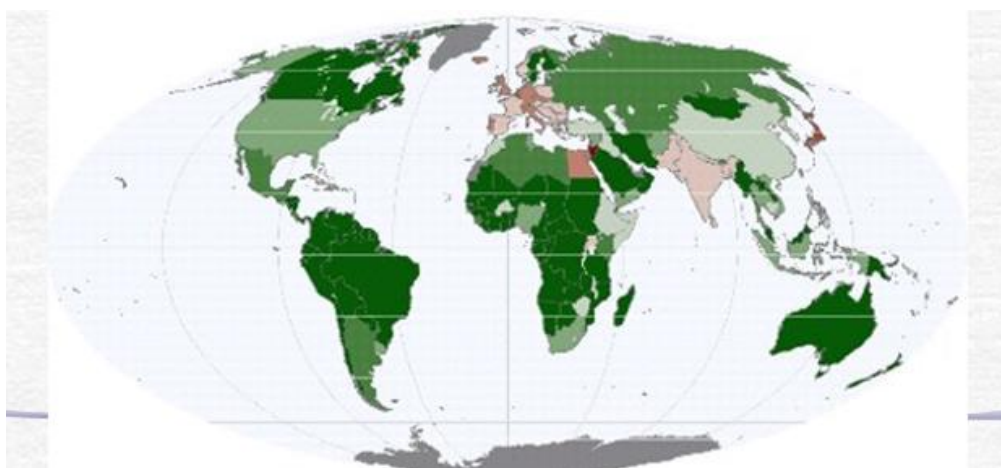
Egyes országok népességének ökológiai lábnyoma között jelentős eltérések adódhatnak. Az átlagos észak-amerikai lábnyom 4-5 hektár, de az európai kontinensen pl. a hollandok országuknál hozzávetőleg több mint 15-ször nagyobb földterület ökológiai funkcióit használják a városiasodáshoz, a táplálék előállításához, az erdei termékekhez, illetve a fosszilis energiahordozók használatához. Amennyiben a Föld egyes országában a fogyasztás ökológiai lábnyomát összevetjük az adott ország biokapacitásával, láthatjuk, hogy bizonyos dél-amerikai országok, így Bolívia, vagy Brazília, az észak-amerikai Kanada, vagy Európa egyes északi országai, Svédország, Finnország, de még akár Észtország is alulmúlja ökológiai lábnyomában a rendelkezésre álló kapacitások szintjét (75. ábra).



75. ábra. Az átlagos szén lábnyom alakulása kontinensenként és országoként

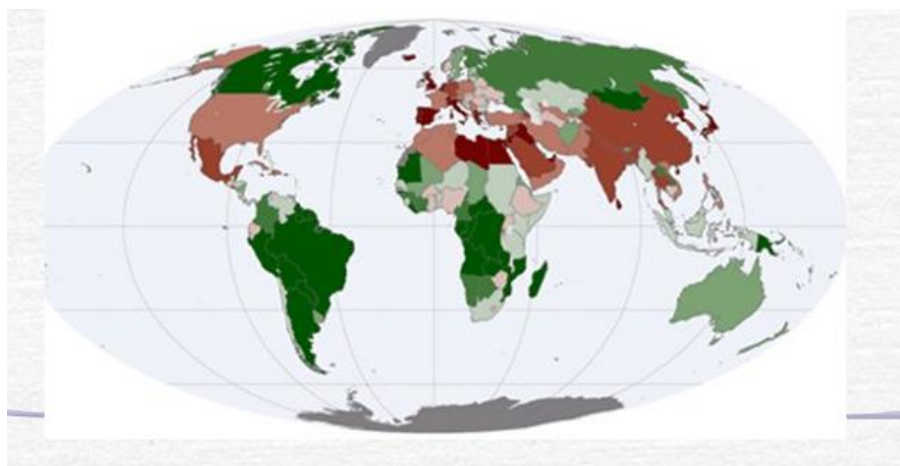
Drasztikus a helyzet az igen nagy ütemben fejlődő Arab Emirátusokban, az USA-ban, Kuvaitban, de nem alakul kedvezően a források felhasználásának a mértéke több nyugat- és közép-európai országban sem. Magyarország is nagyobb ökológiai lábnyommal rendelkezik, mint az ország területének rendelkezésre álló biokapacitása, ám a helyzet talán még nálunk nem annyira súlyos (Magyarország egy lakosának ökológiai lábnyoma 3,7 hektár. A Földön minden emberre csak 1,8 hektár terület jut, ez az érték is megmutatja, hogy több erőforrást használunk és több hulladékot termelünk, mint azt a fenntartható fejlődés elve szerint tehetnénk.).

1961



A térképen minél sötétebb zöld egy ország, annál kisebb az ökológiai lábnyom. A legsötétebb országok – mint például Kanada, Ausztrália, vagy Finnország – ökológiai kapacitása ekkor még másfélszerese volt annak, amit ezek az országok felhasználtak.

2005



Ökológiai fenntarthatóságát 50-100 %-kal túllépi az Egyesült Államok; 100-150%-kal Mexikó, Kína, vagy India; több, mint 150%-kal Egyiptom, Spanyolország, Nagy-Britannia, vagy Japán.

76. ábra. Az ökológiai lábnyom alakulása 1961-2005

A Balti-tenger vízgyűjtő területén elhelyezkedő nagyobb városok ökológiai lábnyomát megbecsülve az tapasztalhatjuk, hogy még az egyes országokon belül is nagy különbségek adódhatnak a fejlettségbeli eltérések következtében (76. ábra).

Egyes becslések szerint a teljes emberiség ökológiai lábnyoma hozzávetőleg 130 %, ami tehát mintegy 30 százalékkal nagyobb, mint amit a természet hosszú távon fenn tud tartani. Bizonyos scenáriók előre vetítik, hogy amennyiben az emberi fogyasztás szintje ilyen tendenciákat követve folytatódik, 2050-re már legalább két Föld méretű bolygóra lenne szüksége az emberiségnek. Még pesszimistább vélemények szerint a következő négy évtizedre jósolt népesség- és termelésnövekedés fenntartható elhelyezéséhez 6-12 további bolygóra lenne szükség. Amennyiben azonban szélesebb körben is ismertté válik a probléma, a fenntartható, helyesebb szóhasználatnál élve a tartamos fogyasztásra való áttéréssel az emberiség ökológiai lábnyomának csökkenése prognosztizálható. A hatékonyság növelésével, azaz kevesebb energiával több termék előállításával, a helyi lakosság, a politikai döntéshozók, illetve a gazdasági élet szereplőinek pozitív attitűdjével, még a jelenlegi népességi mutatók mellett is, az ökológiai lábnyomnak az 1970-1980-as évek szintjére való csökkentése is reális célkitűzés lehet, akár már a 2050-es évekre.

EFOP-3.5.1-16-2017-00017

***„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”***

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat. Néhány indikátor élőlénycsoport
2. táblázat. Az r és K életmenet stratégiák összehasonlítása
3. táblázat. Grime-féle C-S-R osztályozás
4. táblázat. Grime-féle C-S-R stratégiák összehasonlítása
5. táblázat. Élőhelyek és vegetációtípusok részesedése a globális biomasszából és a globális nettó primer produkcióból (NPP)
6. táblázat. A produkciós hatékonyság jellemző értékei egyes taxonokban
7. táblázat. A szukcesszió stádiumbeosztása
8. táblázat. Életmenet stratégiák jellemző paramétereinek alakulása a biotikus szukcesszió során
9. táblázat. A korai és a kései szukcessziós állapotok összehasonlítása
10. táblázat. Mérsékelt övi lomberdő szintjeinek, azok összetételének alakulása
11. táblázat. A különböző élőlénycsoportok fajszáma a Földön, illetve Magyarországon (kerekített)
12. táblázat. A Földön előforduló fajok becsült száma (Az eddig le nem írt fajok számának becslése különösen a mikroorganizmusok esetében erősen spekulatív)
13. táblázat. A direkt és a diffúz fény élettani hatása növényekre
14. táblázat. Az állatok testhőmérséklete
15. táblázat. Az üvegházhatású gázok légtérben való tartózkodási ideje, légköri felmelegítő képessége (GWP)
16. táblázat. Talajélőlények tömege (t/ha) rét-legelőn és árpaföldön

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra. A szünbiológia felosztása
2. ábra. Egyed feletti szerveződési (szupraindividuális) szintek
3. ábra. Az életfolyamatok és a környezeti tényezők változásának összefüggése
4. ábra. Zúzmóterkép
5. ábra. Indikáció – zuzmók
6. ábra. Ózon okozta százalékos levélkárosodás dohánylevélen
7. ábra. Liebig-féle minimumelv
8. ábra. Populációk típusai az egyes korosztályokat jellemző túlélés és mortalitás alapján
9. ábra. Korfa típusok
10. ábra. Populációk tipikus térbeli mintázatai. a) random, b) egyenletes eloszlású c) csoportosuló
11. ábra. Egy képzeletbeli populáció egyedszámának exponenciális növekedése
12. ábra. Logisztikus populációnövekedés három különböző induló populációméret esetén (K – környezet eltartóképessége)
13. ábra. A populáció egyedszámának (n) alakulása a környezet eltartóképességéhez (K) képest
14. ábra. A gradációra hajlamos fajok populációdinamikájának szakaszai
15. ábra. A populáció egyedszámának, a sűrűségtől független, valamint a sűrűségtől függőtényezők hatáskapcsolata
16. ábra. A C-S-R kontinuum (Grime 1979 nyomán)
17. ábra. A fundamentális- és a realizált niche alakulása néhány növényfaj esetén
18. ábra. Forrásfelosztás madarak esetében
19. ábra. Az territoriális viselkedésű állatok agressziójának alakulása a territóriumuk területén
20. ábra. A territoriális, valamint a nem territoriális állatok túlszaporodásának alakulása
21. ábra. A populációk közötti kölcsönhatások típusai és a közöttük lehetséges evolúciós átmenetek
22. ábra. Ektotróf- és az endotróf mikorrhiza
23. ábra. A szimfilia és a mirmekofitizmus
24. ábra. A szimbiózis néhány jellemző megnyilvánulása
25. ábra. A kommenzalizmus néhány megnyilvánulási formája
26. ábra. Ragadozó (piros) és a zsákmány (zöld) egyedszámának időbeli alakulása.

27. ábra. A hiperparazitizmus egyértelmű esete: fémfűrkészekhez sorolt *Mesochorus* olyan hernyót keres, amiben más paraziták lárvái élőködnek, így a fémfűrkész lárvái élőködhetnek a már ott lévő más paraziták petéin.
28. ábra. A kompetíció típusai
29. ábra. Gauze papucsállatkákkal végzett kísérletének eredményei
30. ábra. Két faj kétdimenziós niche-ének viszonya: az egymástól függetlenül élve tapasztalható fundamentális niche-ük nagyobb, mint a közös élőhelyen felvett realizált niche-ük
31. ábra. Két kovamoszatfaj versengése szilikát és forrásokért
32. 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
33. ábra. Elton-féle táplálékpiramis
34. ábra. A biocönózis sok-sok tápláléklánca bonyolult táplálékhálózatot alkot
35. ábra. Egy láprét biocönózisának táplálékpiramisa (A) és biomassza-piramisa
36. ábra. A felvett energia három útja
37. ábra. Életmenet stratégiák tömegességének változása biotikus szukcesszió során
38. ábra. Életmenet stratégiák (r-startégisták, K-stratégisták) tömegességének alakulása a betelepülési, valamint a kihalási ütemben
39. ábra. Egy orchideafaj két populációjában a virágzó egyedek számának változása 1974-1988 között (Fluktuáció: az egyes populációk egyedszámában beálló változásokból eredő dinamikája)
40. ábra. Wilson (1992) adatai szerint a kutatók összesen 1 413 000 fajt írtak le; a fajok legtöbbje a rovarok közé tartozik
41. ábra. A fajok kihalásának okai
42. ábra. Erdőirtás ütemének alakulása Amazóniában
43. ábra. A Raunkiaer-féle életformák
44. ábra. Therophyta (Th) fajok csírázási, magérlelési ideje, a mag formájában átvészelt kedvezőtlen időszak hossza
45. ábra. A napsugárzás spektrumai
46. ábra. A napsugárzás elsoszlása
47. ábra. A napsugárzás tartományai
48. ábra. Pókhálós lepke (*Araschnia levana*) szezonális dimorfizmusa

49. ábra. A házi méh nyolcas alakú tánca
50. ábra. Testalakulás (alak, színezet, mintázat) fényszegény viszonyok között
51. ábra. A felmelegedett talaj hőátadása
52. ábra. Az állatok hőreguláció szerinti felosztása
53. ábra. Bergmann-szabály: A hidegebb területen élő fajok mérete nagyobb a melegebb területen élő rokon fajokénál (a sarki pingvinek nagyobbak, mint az egyenlítőiek).
54. ábra. Allen-szabály: a testfüggelék (fül, farok, végtagok) egy faj hűvösebb vidéken élő képviselőinél vagy egy rokonsági körbe tartozó fajok esetében a hűvösebb éghajlat alatt élőknél a testhez viszonyítva kisebbek
55. ábra. A légkör összetevői (a légkörben tartózkodás alapján)
56. ábra. A légkör tagozódása
57. ábra. Az UV sugárzás hullámhossz alapján történő felosztása
58. ábra. Az ózonréteg károsodása
59. ábra. Szennyező anyagok légkörbe kerülésének lehetséges forrásai
60. ábra. A szennyező anyagok légkörbe kerülése, mozgása, elnyelődése
61. ábra. A CFC-k ózonkárosító hatása
62. ábra. A CFC-k gyártásának megszüntetése
63. ábra. A légköri CO₂ koncentráció alakulása 1880-2010 között
64. ábra. A globális metán emisszió forrásai
65. ábra. Az inverziós réteg kialakulása és hatása
66. ábra. Oxidáló típusú v. fotokémiai szmog
67. ábra. A víz körforgása
68. ábra. A szén körforgása
69. ábra. A nitrogén körforgása
70. ábra. A kén körforgása
71. ábra. A foszfor körforgása
72. ábra. A Száhel-övezet országai és a Nagy Zöld Fal sárgával jelezve a térképen
73. ábra. DDT bioakkumulációja
74. ábra. Az egyén ökológiai lábnyomának elemei
75. ábra. Az átlagos szén lábnyom alakulása kontinensenként és országonként
76. ábra. Az ökológiai lábnyom alakulása 1961-2005

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- BARTHA DÉNES ET AL.: ERDÉSZETI ÖKOLÓGIA. DIGITÁLIS TANKÖNYVTÁR. 2005.
<https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/erdeszeti-okologia/index.html>
- GALLÉ László: A SZUPRAINDIVIDUÁLIS BIOLÓGIA ALAPJAI. 403 P. JATE PRESS. SZEGED 2013.
- GODÓ Zoltán: AGRO-ÖKOLÓGIA. 2011.
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Agro-okologia/index.html
- HORTOBÁGYI Tibor, SIMON Tibor (Szerk.): NÖVÉNYFÖLDRAJZ, TÁRSULÁSTAN ÉS ÖKOLÓGIA, TANKÖNYVKIADÓ BUDAPEST, 1981.
- HORVÁTH Erzsébet (Szerk.): TALAJTAN ÉS ÖKOLÓGIA. PANNON EGYETEM – KÖRNYEZETMÉRNÖKI INTÉZET. VESZPRÉM 2012.
- HUFNAGEL Levente, SIPKAY Csaba: A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA ÖKOLÓGIAI FOLYAMATOKRA ÉS KÖZÖSSÉGEKRE – BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM, BUDAPEST. ISBN 978-963-503-511-3
- JUHÁSZ-NAGY Pál: BESZÉLGETÉSEK AZ ÖKOLÓGIÁRÓL. MEZŐGAZDASÁGI KIADÓ. BUDAPEST 1984.
- LEHOCZKY Éva: A GYOMNÖVÉNYEK SZEREPE A TALAJ-NÖVÉNY RENDSZER TÁPANYAGFORGALMÁBAN. MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS. KESZTHELY (004.
- MAJER József: AZ ÖKOLÓGIA ALAPJAI, SZAKTUDÁS KIADÓ. BUDAPEST 1993.
- MARGÓCZI Katalin: TERMÉSZETVÉDELMI BIOLÓGIA. JATE PRESS. SZEGED 1998.
- MÁTYÁS Csaba et al.: ERDÉSZETI ÖKOLÓGIA, MEZŐGAZDA KIADÓ. BUDAPEST 1996.
- NÉMETH Tamás: A PRECÍZIÓS MEZŐGAZDASÁG MÓDSZERTANA. JATEPRESS – MTA TAKI, BUDAPEST 2007.
- PÁSZTOR Erzsébet, OBORNY Beáta: ÖKOLÓGIA. NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ. BUDAPEST. 2007.
- PÉNZESNÉ Kónya Erika, VARGA János: ÖKOLÓGIA JEGYZET. GYÓGY- ÉS FŰSZERNÖVÉNY TERMESZTŐ ÉS FELDOLGOZÓ FELSŐFOKÚ SZAKKÉPZÉSBEN RÉSZT VEVŐ HALLGATÓK SZÁMÁRA.
- PÉNZESNÉ KÓNYA Erika: ÖKOLÓGIA JEGYZET. DIGITÁLIS TANKÖNYVTÁR. 2013.
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0038_04_penzesne_hu/ch01.html
- RAUNKIAER, C. (1934): THE LIFEFORMS OF PLANTS AND STATISTICAL PLANT GEOGRAPHY. CLARENDON PRESS, OXFORD.
- SZENTESI Árpád, TÖRÖK János: ÁLLATÖKOLÓGIA, ELTE TTK EGYETEMI JEGYZET, KOVÁSZNAI KIADÓ, BUDAPEST 1997.
- SZILÁGYI Ferenc: ÖKOLÓGIA MÉRNÖKÖK SZÁMÁRA (FELKÉSZÜLÉSI ANYAG). BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, BUDAPEST 2000.

UJVÁROSI Miklós: GYOMIRTÁS. MEZŐGAZDASÁGI KIADÓ, BUDAPEST 1973.

UJVÁROSI Miklós: GYOMNÖVÉNYEK, GYOMIRTÁS. MEZŐGAZDASÁGI KIADÓ, BUDAPEST 1957.

UJVÁROSI Miklós: SZÁNTÓFÖLDJEINK GYOMNÖVÉNYFAJAI ÉS ÉLETFORMA-ANALÍZISÜK. NÖVÉNYTERMELÉS 1: 27-50. BUDAPEST 1952.

VIDA Gábor: HELYÜNK A BIOSZFÉRÁBAN, BP. NEUMANN KHT., MAGYAR ELEKTRONIKUS KÖNYVTÁR 2004. <http://mek.niif.hu/05000/05033/>

EFOP-3.5.1-16-2017-00017

***„NYE-DUÁL- Új utakon a duális felsőoktatással a Nyíregyházi Egyetemen,
az Északkelet-Magyarországi térség felemelkedéséért”***
