

**Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem
Természettudományi és Művészeti Kar - Kolozsvár**

Épített környezet monitorizálása

Biomonitoring

Egyetemi jegyzet

Nyomtatóbarát változat – az előadások diáinak szövegével

Belső használatra

Urák István

Kolozsvár, 2007

Épített környezet monitorizálása

Biomonitoring

Monitorizálás (monitoring):

- időben és térben rendszeresen végzett megfigyelések rendszere,
- információkat szolgáltatnak a környezet állapotáról,
- lehetővé teszi a múltbeli és jelenlegi helyzet összehasonlítását,
- következtetni lehet a jövőben végbemenő változásokra.

Nélkülözhetetlen a környezettudományban.

„Man and Biosphere” (MAB) UNESCO program szerint:

A környezeti monitorizálás alapvető feladatai:

- szennyezőanyagok koncentrációjának mérése talajban, vízben és levegőben,
- fizikai változók mérése (hőmérséklet, talaj összetétele, csapadék, folyó áramlási sebessége és hozama stb.),
- az emberre káros hatások gyakoriságának és szintjének becslése (mortalitás, betegségek rátája, szerkezeti és működési változások), valamint ezen tünetek és a környezet fizikai és kémiai változói közötti összefüggések tanulmányozása,
- az emberi tevékenység során keletkező károk széles skálájának leltározása (felmérése) és osztályozása.

A biológiai indikáció használatának előnyei:

- a bioindikátorok tükrözik a környezeti tényezők komplex hatását,
- a körülményes fizikai és kémiai mérések helyettesítők a biológiai hatások tanulmányozásával,
- szemléletesen követhető a környezeti változások foka (rátája) és iránya,
- az ökoszisztémák működését, viselkedését változtatják meg a felhalmozódó (akkumulálódó) szennyező anyagok.

A biomonitoring alapját a biológiai indikáció szolgáltatja. Minden élő szervezet vagy populáció, mint nyitott rendszer, jelzi a környezetében végbemenő változásokat.

Eltérő érzékenység → függ:

- genetikai kifejeződéstől,
- fejlődési stádiumtól,
- környezeti tényezőktől,
- szennyezők koncentrációjától.

A biológiai indikátorok osztályozása:

- indikátor szervezetek → prezencia/abszencia (pl. florisztikai felmérések),
- monitoring szervezetek → passzív és aktív reakció,
- próba (teszt) szervezetek → laboratóriumi, természet szerű körülmények között

A biomonitoring szerepe és jelentősége:

- a fizikai és kémiai monitoring által szolgáltatott adatok nélkülözhetetlenek a környezeti problémák értelmezéséhez,
- egyes fizikai és kémiai változók direkt mérése költséges lehet, jól felszerelt laboratóriumot és képzett szakembereket igényel,
- biomonitoring indirekt módszerével számos esetben helyettesíthetők a fizikai és kémiai felmérések,
- több szennyező együttes hatásának megismeréséhez elengedhetetlen a biológiai hatásuk tanulmányozása: néha külön-külön egyik sem éri el a kritikus szintet, viszont együttes, szinergikus hatásuk már lényeges lehet

Pl. Applegate és Duran: az ózon felerősíti a kén-dioxid növényekre gyakorolt káros hatását.

A biomonitoring megvalósítási lehetőségei

1. Közvetlen (direkt) monitoring:

- a szennyezők mennyiségének monitorizálása közvetlen az élő szervezetben folyamatos mintavételezéssel,
- a biológiai és kémiai monitoring közti különbség, hogy az első esetben a mintát az élő szervezetből vesszük, nem a környezetből, a mért változók (pl. toxikus anyagok koncentrációja) azonosak,
- nagy mintaszámra és hosszú távú felmérésre van szükség a megfelelő növény- és állatfajok kiválasztásához: tág határok között képesek tolerálni a szervezetükben felhalmozódó toxikus anyagokat.

2. Közvetett (indirekt) biológiai monitoring:

- biológiai változók vizsgálata környezeti változások észlelésére,
 - alapelve: minden környezeti változás hatással van az élővilágra.
 - a szervezetek jelzik a környezetben végbement változásokat
 - biológiai jelzések értelmezése és megértése.
- pl. növények és talaj viszonya.

Közvetett (indirekt) biológiai monitoring típusai:

a). Egyedi szinten az egyed élettani viselkedése vizsgálható:

- a környezeti változásokra adott morfológiai válaszok,
- fiziológiai válaszok,
- citológiai válaszok tanulmányozása.

Megnyilvánulásuk:

- pusztulás,
- energiaháztartás,
- mutáció.
- növekedés,
- biokémiai folyamatok,

Monitorizált fajok kiválasztása:

- sajátos válasz adása egy meghatározott környezeti változásra
- pl.: - évgyűrűk és klimatikus tényezők közötti összefüggések tanulmányozása a múltbeli klimatikus változások vizsgálatára,
- nekrotikus levélfelületek nagysága és légszennyezettség.

b). Populációk karakterisztikáinak a mérése:

- prezencia/abszencia,
 - abundancia,
 - szaporodás,
 - egyedsűrűség,
 - eloszlás,
 - biomassza stb.
- könnyen lehet téves következtetéseket levonni.

Pl. egy faj jelenléte vagy hiánya magyarázható:

- nem megfelelőek a környezeti feltételek,
- biogeográfiai vagy történelmi okok miatt,
- az abiotikus feltételek elfogadhatóak a faj számára, de a kompetíció kizárta,
- nem találták még meg, hiányzott a mintákból,
- jelen volt, de eltűnt a szennyezettség miatt.

c). A közösségi szerveződési szint (biocönózis) monitorizálása

Néhány környezeti hatás csak közösségek szintjén értelmezhető, érzékelhető:

- fajszám,
- a fajok közötti kapcsolatok,
- indikátor fajok jelenléte.

d). Ökoszisztéma szerveződési szintjén történő monitoring.

- pl.
- energiaáramlás,
 - anyagkörforgás tanulmányozása.

A biológiai indikátorok kiértékelése több úton is történhet:

- látható károsodások (makroszkópikus tünetek) alapján
 - levelek klorózia
 - levélnekrózis,
 - növekedésbeli rendellenességek,
- mikroszkópikus tünetek (citológiai szinten – sejtkárosodás),
- fiziológiai, biokémiai és kémiai változások alapján
 - ökofiziológiai tünetek (pl. csökkenő fotoszintézis ráta),
 - biokémiai tünetek (pl. permeabilitás, ozmótikus tulajdonságok, aminosavak metabolizmusa változik meg),
 - kémiai tünetek (pl. toxikus anyagok akkumulációja).

A biomonitoring vizsgálatok legelterjedtebb módja a laboratóriumi ökotoxikológiai tesztek.

Célja: viszonylag egyszerű biológiai tesztekkel az ökoszisztéma egészére kivetíthető eredményt kapjunk.

Hatásvizsgálatokat végeznek tesztorganizmusokon:

- szennyezett területről származó talajminták extraktumaival,
- közvetlen vízmintákkal

Több megoldás létezik:

- csak egy faj, vagy több faj egyedeit vizsgáló tesztek,
- egy táplálkozási lánc egyes tagjait és a lánc egészét ért káros hatások becslésére alkalmas tesztek.

A szennyezőanyagok ökotoxikus hatását vizsgálhatjuk egy fajt alkalmazó laboratóriumi tesztekkel:

- számos előnye mellett hátrányai is vannak.

Előnyök:

- könnyen elvégezhetőek,
- különleges műszerezettséget nem igényel.

Hátránya:

- viszonylag kicsi a környezeti realizmusa,

Az extrapolálás egy fajról (tesztorganizmusról), egy másik fajra vagy az ökoszisztéma egészére csak nagy körültekintéssel végezhető el.

Az egy fajt alkalmazó tesztek közül a mikrobiális módszerek különösen alkalmasnak tűnnek az ökoszisztéma jellemzésére, mivel majdnem minden ökoszisztémában megtalálhatóak.

A terepi megfigyelések során vizsgálhatják:

- laboratóriumi körülmények között felnevelt fajok egyedeit,
- a területen élő őshonos fajokat,
- a közösség összetételét és működését
(kor eloszlás, egyedszám, egyedsűrűség, egészségi állapot, szaporodási ráta, stb.),
- az életközösség genetikai jellegzetességeit (rezisztens fajok, genetikai jellemzők),
- a bioakkumulációt, biodegradációt és biomarkereket.

Kémiai időzített bomba jelenségének tanulmányozása

- a talajban, és az üledékben felhalmozódhatnak toxikus anyagok,
- ha erős a kötődés, fizikai, kémiai és biológiai szempontból hozzáférhetetlenek, toxikus hatást nem mutatnak,
- bizonyos körülmények között felszabadulhatnak és jelentkezhethet káros hatásuk.

Párhuzamosan végzett kémiai-analitikai és ökotoxikológiai vizsgálatok eredménye háromféle módon viszonyul egymáshoz:

1. Egyezik:

- sem kémiai analitikai módszerrel, sem ökotoxikológiai módszerrel nincs veszélyes szintű szennyezés,
- mindkét módszerrel egyértelmű a veszélyes szennyezőanyag mennyisége.

2. A kémiai analitikai eljárással mért koncentráció nagy, az ökotoxikológiai hatás kicsi, vagy nincs.

Oka: a biológiai hozzáférhetetlenség.

3. Az ökotoxikus hatás jelentkezik anélkül, hogy kémiaiilag alá lenne támasztva.

Oka:

- új, ismeretlen, vagy nem várt anyag hatása,
- két, vagy több szennyező együttes hatása,
- olyan analitikai módszerrel ki nem mutatható fizikai-kémiai állapotban van a szennyező, mely toxikus.

A biokoncentráció/biomagnifikáció monitoringozása:

- az egyes élőlények, illetve táplálkozási láncok egymást követő tagjainak szöveteiben, vagy a kiválasztott testnedvekben felhalmozódott szennyezőanyag koncentrációt kell rendszeresen méréssel meghatározni.

A biomarkerek monitoringja:

- olyan jelző molekulák vizsgálatát jelenti, melyek környezeti hatásra jelennek meg válaszként a vizsgált szervezetben.

Ide tartoznak:

- belső elválasztású (endokrin) reakciók,
- immunrendszer rendellenességek,
- biokémiai átalakulások,
- hisztopatológiai elváltozások.

Jól használható a módszer az antropogén stresszhatások vizsgálatára.

A szennyezettség hatása az ökoszisztéma egyes tagjainak vagy részének tesztelése során nyert információkból, az ökoszisztéma egészére vonatkoztatott extrapoláció eredményéből ítéhető meg.

A talajminőség vizsgálata fonálférgekkel

A talaj állapota az ott élő állatok életfeltételeit is meghatározza.

Leginkább a talajlakó állatsoportok „érzékenyek” a talaj minőségére

pl. fonálférgék (*Nematoda*), az ugróvillások (*Collembola*), rovarfajok, melyek életciklusuk egyes szakaszait a talajban töltik pl. futóbogarak (*Carabidae*) lárvái.

A **fonálférgék** (*Nematoda*) talajfauna kiemelkedő jelentőségű tagjai.

Felhasználják:

- terepi bioindikációs vizsgálatokra,
- laboratóriumi ökotoxikológiai tesztekben.

Alkalmasak a talaj biomonitring vizsgálatára, mert:

- széles elterjedésűek: minden talajtípusban előfordulnak, megtalálhatók a természetközeli élőhelyektől a súlyosan szennyezettig,
- a talajban nagy fajszámban és egyedszámban fordulnak elő:
 - ≈ 50 faj/marék talaj, 100 ml talajminta elegendő egy analízishez,
- többször ismételt mintavétel sem jár az élőhely zavarásával,
- a mintából egyszerű módszerekkel sok adatot nyerhetünk,
- a talaj táplálékhálózatában kulcspozíciót foglalnak el, gyorsan reagálnak a mikrokörnyezet megváltozására,
- információt szolgáltat a szukcesszióról, a talajban működő tápláléklebontás változásairól, tápanyagellátottságról, a talajművelés hatásáról, a talajszennyezésről,
- ezek az eredmények támpontot adnak a talaj megfelelő állapotának helyreállításához szükséges intézkedésekhez

Bongers (1990): élőhelyek zavarásának mérése a szabadon élő fonálférgék együtteseinek alapján.

- Maturity Index (MI): nem növényi táplálkozású taxonok,
- Plant Parasite Index (PPI): parazita taxonok.

PPI/MI arány: természetes, illetve mesterséges tápanyagellátottságát jelzése.

Leggyakrabban a környezetet ért beavatkozások hatásainak bioindikációs vizsgálatára használatosak az indexek, mind térbeli, mind időbeli skálán.

- térbeli megközelítés: egy bolygatott terület egy lehetőleg minden egyéb tekintetben hasonló bolygatatlan kontrollal mérhető össze.

- időbeli vizsgálat: egy bolygatás hatásának csökkenése, azaz a szukcesszió előrehaladása mérhető az indexek segítségével.

A fonálféreg egy része **nehézfémzennyezés** esetén olyan fehérjéket termel (pl. metallothionein), amelyek megkötik a nehézfémionokat,

- ezáltal képesek tolerálni a szennyezett élőhelyet.
- az ilyen talajban nő a nehézfémzennyezést tűrő fonálféregfajoknak a gyakorisága.
- a jelenség: „szennyezés hatására kialakuló közösség-szintű tolerancia”

(PICT: Pollution-induced-community-tolerance).

A PICT alkalmazásával a talajszennyezés mértéke követhető a fonálféreg-közösségek megváltozott szerkezetével és működésével.

Kiegészítés a vízszennyezés biológiai monitoringjához

A vízminőségvizsgálat első lépése az érzékszervekkel történő megfigyelés, utána kezdetünk a bioindikációs vizsgálatához.

Fel kell jegyezni a legfontosabb körülményeket:

- a víz hőmérséklete,
- vízmélység,
- vízsebesség,
- a víz színe,
- szaga,
- átlátszósága,
- látható szennyeződések (pl. habzás),
- a meder árnyékoltsága, anyaga.

Fontos rögzíteni a környező növényzet jellemzőit és a környék általános állapotát, területhasználatát (**Élőhely adatlap**).

Bakterológiai vízminősítés:

- kőlliliter vagy kóliszám alapján minősítik, ha egy kólibaktérium található:
 - 100 ml vízben, akkor az tiszta,
 - 10 ml vízben, akkor az elég tiszta,
 - 1 ml vízben, akkor gyanús,
 - 0,1 ml vízben, akkor szennyezett.

A **szaprobiológiai elemzés** egyik hátránya, hogy sok kidolgozott módszer létezik, melyek bizonyos mértékben egymástól el is térnek. Másrészt az állatokat faj-szintig határozzák meg, tehát magas szakmai felkészültséget igényel.

Másik lehetőség: **biotikus index-módszerek**

- a meder lakó (bentikus) és bevonat lakó (perifiton) makro-gerinctelenek jelenlétére ill. hiányára épülnek.
- nem igényelnek faji szintű meghatározást,
 - több minta viszonylag rövid idő alatt értékelhető,

A **vízi makro-gerinctelen állatok** azért alkalmazhatóak jól biomonitoring vizsgálatokra, mert könnyen gyűjthetőek, viszonylag kis területen mozognak, életidejük elég hosszú ahhoz, hogy a szennyezés hatása sokáig észlelhető legyen.

A módszer lényege:

- a makro-gerinctelen állatcsoportokhoz mutatót rendelnek aszerint, hogy csak a tiszta vizet kedvelik, vagy különböző mértékig szennyezett vízben fordulnak elő.

A szennyezettség ebben az esetben a biológiailag lebontható szervesanyagokkal való szennyezettséget jelenti. A pontrendszer vonatkozhat családokra, genusokra, illetve fajokra.

Pl. **Trent-index:**

- csak rendi szinten kell felismerni az állatokat.
- tizenhét (puhatestű, féreg, ízeltlábú) csoportot vesz figyelembe.
- alkalmas kommunális eredetű szerves szennyezések nyomkövetésére.

A biotikus-indexek értékelésénél jelentős három állatcsoport :

- álkérészek (Plecoptera), kérészek (Ephemeroptera), tegzesek (Trichoptera)

ÁKT érték: kifejezi, hogy a mintában összesen hány faj **Á**lkérész, **K**érész és **T**egzes lárva található. Ezek a csoportok a tiszta vizet kedvelik

→ minél magasabb az ÁKT-index értéke, annál jobb a vízminőség.

Szabályok:

- mintavételkor törekedjünk arra, hogy minél kevésbé zavarjuk meg az élőhelyet,
- az állatokat lehetőleg a terepen, élve határozzuk meg.
- a mintát csak akkor konzerváljuk, ha nem sikerül helyben meghatározni illetve ha dokumentációs célra szükséges.

A **tengeri madarak**, mint csúcsragadozók testében felhalmozódnak a nehézfémek, ezért vérük, tojásuk és tolluk higanytartalmából következtetni lehet az élőhelyük higanyszennyezettségére. Skót kutatók kimutatták, hogy az Atlanti óceán északkeleti partjánál a higanyszennyezettség 100 év alatt háronszorosára nőtt. A tengeri ragadozó madarak kadmiumszennyezés biomonitoringjára is alkalmazhatók.

Gerinctelen állatokkal végzett biomonitoring

A gerinctelen állatokat három fő alkalmazási területen használják biomonitoring vizsgálatokra:

- légszennyezés kimutatása: páncélosatkák és rovarok
- vízminőség vizsgálata: kagylók, csigák, makrogerinctelenek
- élőhelyminősítés: egyes rovarcsoportok (pl. lepkék, bogarak)

A mért változók lehetnek:

- mortalitás, élettábla paraméterek (life-table analysis),
- morfológiai változások, fejlődési rendellenességek,
- fajszám, egyedsűrűség, gyakoriság,
- viselkedés,
- egyes szervekben a vizsgált anyag koncentrációja.

A légszennyezés kimutatása

Olasz kutatók vizsgálták házi méhek és termékeik (méhviasz, propolisz és méz) nehézfém tartalmát. Összehasonlították a szennyezett és tiszta levegőjű helyre kitett méhcsaládokat és kimutatták, hogy a házi méhek használhatók a levegőszennyezés bioindikációjára.

A pókok nagyon erősen alkalmazkodnak az élőhely strukturájához. Magyar kutatók a feketefenyő lombkoronában vizsgálták a pókközösségeket. Különböző szennyezettségű területek (pl. hegyvidéki, elővárosi, belvárosi feketefenyő telepítéseken) összehasonlítva nagy különbségeket tudtak kimutatni a pókok alapján.

→ a ritka fajok jelenléte indikálja a vizsgált ökológiai rendszer egészségi állapotát.

A vízminőség vizsgálata

A kerekesszék (Rotatoria) fajösszetétele alapján megállapított szaprobitási érték tájékoztat a vizsgált víz általános állapotáról.

A vízminősítésben fontos szerepet játszanak az ágasscsápú rákok (Cladocera) és az evezőlábú rákok (Copepoda).

A kevésszékű férgek (Oligochaeta) fajösszetételéből (Tubificidae arány) és egyedsűrűségéből az üledék minőségére következtethetünk.

A makrogerinctelen állatok előfordulása biotikus indexeket dolgoztak ki. Egyes rovarrendek vízi lárvái kiemelt jelentőséggel bírnak:

a kérészek (Ephemeroptera), álkérészek (Plecoptera), tegzesek (Trichoptera) és a szitakötők (Odonata) közösség szerkezete

Az árvaszúnyog (Chironomidae) lárvák viselkedése, mozgása, légzése és fejlődési állapota nehézfém szennyezés hatására megváltozik.

Élőhelyminősítés

A fonálféreg (Nematoda) alkalmazhatóak a talaj minőségének vizsgálatára és a nehézfém szennyezés kimutatására.

A földigiliszták (Lumbricidae) fajösszetételéből a talaj pH-jára következtethetünk.

A futóbogarak (Carabidae) indikációs tulajdonságaik alapján élőhelyminősítésre alkalmas csoport.

Az élőhely minősítésére, illetve annak természetvédelmi értékére a poszméhek (Apidae: Bombus és Psithyrus spp.) fajösszetétele alapján kidolgozott módszer segítségével is következtethetünk.

Gerinces állatokkal végzett biomonitoring

Halakkal végzett biomonitoring

A növényvédőszerrel hatással vannak a ponty (*Cyprinus carpio*).

Az elektromos kishal (*Apteronotus albifrons*) enyhe elektromosságán alapul a tengervíz minőségének biomonitoring-eljárása.

Kétlábakkal végzett biomonitoring

A foltos szalamandra (*Salamandra salamandra*) elterjedése, populációmérete patakok vízminőségét, erdők zavartságát jelzi.

Az alpesi gőte (*Triturus alpestris*) elterjedésének peteszámának vizsgálatából a hegyi tavacsok vízminőségére következtethetünk.

A zöld varangy (*Bufo viridis*) elterjedése, peteszámát tájékoztat a mezőgazdasági tevékenység hatásáról.

Hüllőkkel végzett biomonitoring

Amerikai tavakban élő alligátor teknős (*Chelydra serpentina*) felhalmozza szervezetében a higanyt, ezért szerveiben mért higanykoncentráció tájékoztat a víz higany-szennyezettségéről.

A kockás sikló (*Natrix tessellata*) előfordulása, populációnagysága vizsgálatával következtethetünk az állóvizek minőségére.

A parlagi vipera (*Vipera ursinii*) természetvédelmi jelentőséggel bír.

Madarakkal végzett biomonitoring

A jeges búvár (*Gavia immer*) szaporodását a tengervízbe jutott higany, metilhigany és szelén csökkenti.

Az egerészölyv (*Buteo buteo*) és a vörösvércse (*Falco tinnunculus*) alkalmasak a mezőgazdasági kezelések hatásának vizsgálatára.

A fogoly (*Perdix perdix*) és a fürj (*Coturnix coturnix*) földre helyezett fészkeik miatt érzékenyen reagálnak a mezőgazdaságban használt vegyszerekre. Ezért monitorozzák elterjedésüket, abundanciájukat és a költésüket.

Vízparti madarak elterjedésének változásából, a fiókák számából következtethetünk a vízminőségre. Fontosabb fajok: kis kócsag (*Egretta garzetta*), fehér gólya (*Ciconia ciconia*), jégmadár (*Alcedo atthis*).

Emlősökkel végzett biomonitoring

A denevérek faj- és egyedszámának, korcsoporteloszlásának vizsgálata.

Az ürge (*Spermophilus citellus*) populációnagyságának változása tájékoztat a talajvízszint alakulásáról. Légifelvételekről is követhetőek.

A pelefélék (*Myoxidae*) elsősorban az élőhely vegetációszerkezetére érzékenyek. A populációnagyság és habitatpreferencia vizsgálatával lombos erdők, cserjések, felhagyott gyümölcsösök állapota felmérhető.

A vidra (*Lutra lutra*) monitorozása a vizes élőhelyek minősítésére használható. A vidranyomok észleléséből következtethetünk az egyed mozgáskörzetére és táplálékpreferenciájára.

Gombákkal végzett biomonitoring

A gombák könnyen akkumulálnak nehézfémeket

A nehézfémek koncentrációja megnőhet:

- geokémiai folyamatok (kőzetek mállása) során,
- az atmoszférából való lerakódással,
- szennyező anyagok hatására,
- a talaj elsavasodása miatt.

A gombák nehézfém-tartalma függ:

- a szubsztrátum szerves anyagainak a kémiai összetételétől,
- a gombák szelektív abszorpciós képességétől.

Az elemzésekhez a következő csoportokat különítik el:

- szerves anyag lebontók:

erdőszéli csiperke (*Agaricus arvensis*), óriás pöfeteg (*Lycoperdon giganteum*)

- mikorrhizás gombák:

piruló galóca (*Amanita rubescens*), ízletes vargánya (*Boletus edulis*)

- falebontó gombák:

laskagomba (*Pleurotus ostreatus*), nyírfatapló (*Polyporus betulinus*)

Zuzmók, mint bioindikátorok

A zuzmók speciális szervezetek:

- gomba és alga által alkotott egység.

A zuzmók érzékenyek a szennyeződésekre, mert:

- kevés klorofillt tartalmaznak, ezért alacsony a fotoszintézis és a metabolizmus rátája és lassú a növekedés és korlátolt a regenerálódási képesség
- kutikula hiányában a szennyező anyagok könnyen behatolnak,
- a vizet és a tápanyagokat közvetlen a levegőből is képesek felvenni,
- vízháztartásuk nagy mértékben függ a nedvességtől és csapadéktól,
- felhalmoznak különböző anyagokat szelektivitás nélkül,
- nem adják le a felvett anyagokat,
- télen is aktívak, mikor magas a levegő kén-dioxid tartalma.

A szennyeződésekkel szembeni tolerancia fajonként változik.

A következő csoportokat különböztethetjük meg:

- neutrofil fajok
 - száraz élőhelyeken fordulnak elő,
 - nagy a toxicitási toleranciájuk.
- semleges, enyhén bázikus felületeken élő fajok,
- semleges, enyhén savas felületeken élő fajok,
- acidofil fajok
- meleg és nedvességkedvelő fajok,
- nagy vízigényű fajok
 - alacsony a toxicitási toleranciájuk,
- széles tűrőképességű fajok.

Szennyező anyagok hatására bekövetkező változások:

- Külső változások:
 - elszíneződések,
 - telep felületének a csökkenése,
 - telep vastagságának a csökkenése.
- Anatómiai változások:
 - elpusztult és plazmolizált algasejtek számának a növekedése,
 - regenerálódó algasejtek számának a csökkenése.

- Fiziológiai változások:

- élő és elpusztult algasejtek elváltozásai,
- változások a szén-dioxid abszorpcióban és légzésben,
- a telep vízháztartásának a módosulása,
- a nitrogén fixáció csökkenése,
- foszfatáz enzim aktivitásának a csökkenése,
- kémiai koncentrációk módosulásai,
- szennyező anyagok koncentrációjának a növekedése,
- klorofill mennyiségének a csökkenése,
- pH-érték módosulása,
- K és Mg kilúgozódás.

Mohák, mint bioindikátorok

Mint pionír növények fontos szerepet játszanak:

- talajfixációban,
- humusz réteg kialakításában és akkumulációjában.

Klimax társulásokban is jelentős szerepük van:

- szabályozzák a trópusi esőerdők vízháztartását.

Jelentős bioindikátor szerepük van:

- pl. a tőzegmohák (*Sphangnum*) alacsony pH-t jeleznek.

Biomonitoringra alkalmasak, mert:

- örökzöldek,
- kis méretűek,
- kutikulájuk nincsen,
- felhalmozzák a szennyező anyagokat.

Figyelembe kell venni:

- melyik fajt válasszuk ki?
- mit jelez az indikátor faj?
- hogyan jelzi a környezeti tényezőket?

Ajánlott irodalom

Kovács Margit. 1992. Biological indicators in environmental protection. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Bongers T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83, 14-19.

Németh T. 2003. Kármentesítési útmutató 6. Tényfeltárás és monitoring. A szennyezett területek tényfeltárása és a kármentesítési monitoring-rendszerek. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest.