

KÖRNYEZETTOXIKOLÓGIA – Vegyi anyagok a környezetben

A környezetvédelem alapjai

Dr. Fekete-Kertész Ildikó, Dr. Molnár Mónika

2019. december 2.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

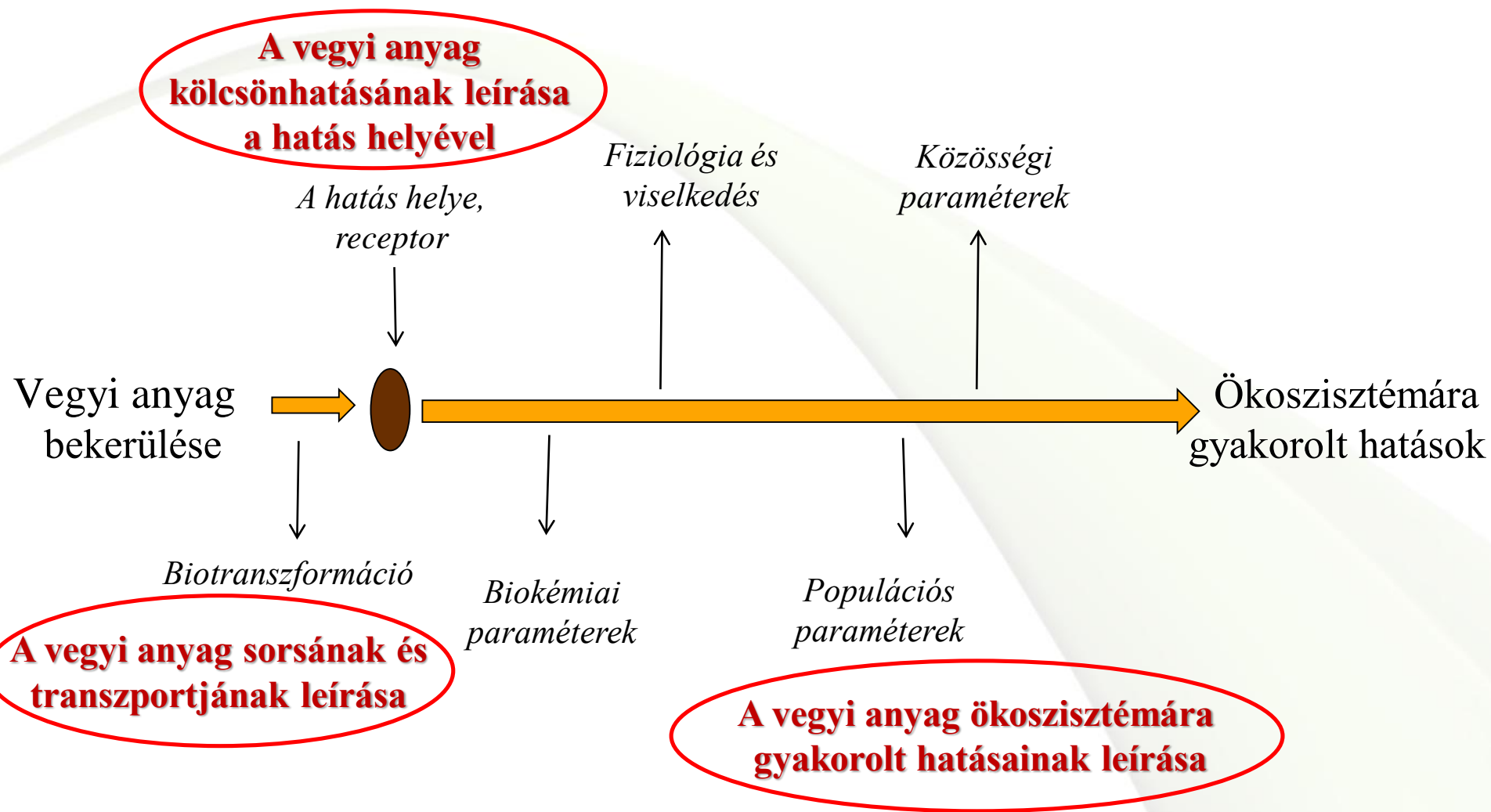
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

A környezettoxikológia helye és szerepe

- A környezettoxikológia a vegyi anyagoknak az ökológiai rendszerek szerkezetére és funkciójára gyakorolt **hatását** vizsgálja. Ember?
- **Kiválasztott, jellemző fajok** vagy laboratóriumi **tesztorganizmusok** válasza alapján következtetünk **az ökoszisztéma egészére**.
- **Az ökológiai rendszereket** teljes komplexitásában átfogja, a molekuláris szinttől az egyed és a közösség szintjén keresztül a teljes ökoszisztémáig.




A környezettoxikológia három fő funkciója



A vegyi anyag kölcsönhatása a környezettel (ábra magyarázat)

1. A vegyi anyag környezetbe kerülése után kölcsönhatásba lép a környezettel.

- Terjed, megoszlik, átalakul, degradálódik.... 
- **Vegyi anyag környezeti koncentrációja**, amely eléri a biota tagjait és hat rájuk.

2. A vegyi anyag kölcsönhatásba lép az élőlény egy aktív helyével, értelmezés molekuláris szinten.

- Lehet egy élőlény életfontosságú szerkezeti eleme vagy valamely fontos szereppel bíró molekulája, pl. enzimfehérje, nukleinsav vagy membránreceptor.

3. A molekuláris szintű kölcsönhatás eredményeképpen **magasabb szintekre is áttevődik** → hatás

- pl. biokémiai vagy fiziológiai szinten, a viselkedés szintjén, a populáció, a közösség vagy az egész ökoszisztéma szintjén.

Veszély



KOCKÁZAT

▪ Vegyi anyag



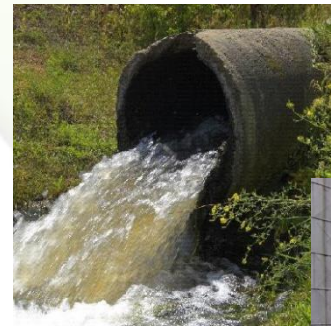
Veszélyessége: kémiai szerkezetéből adódó *immanens* tulajdonság

Mindent ami problémát okoz meg kell ismerni!!



Vegyi anyagok tesztelése

▪ Környezeti minták – szennyezett környezet



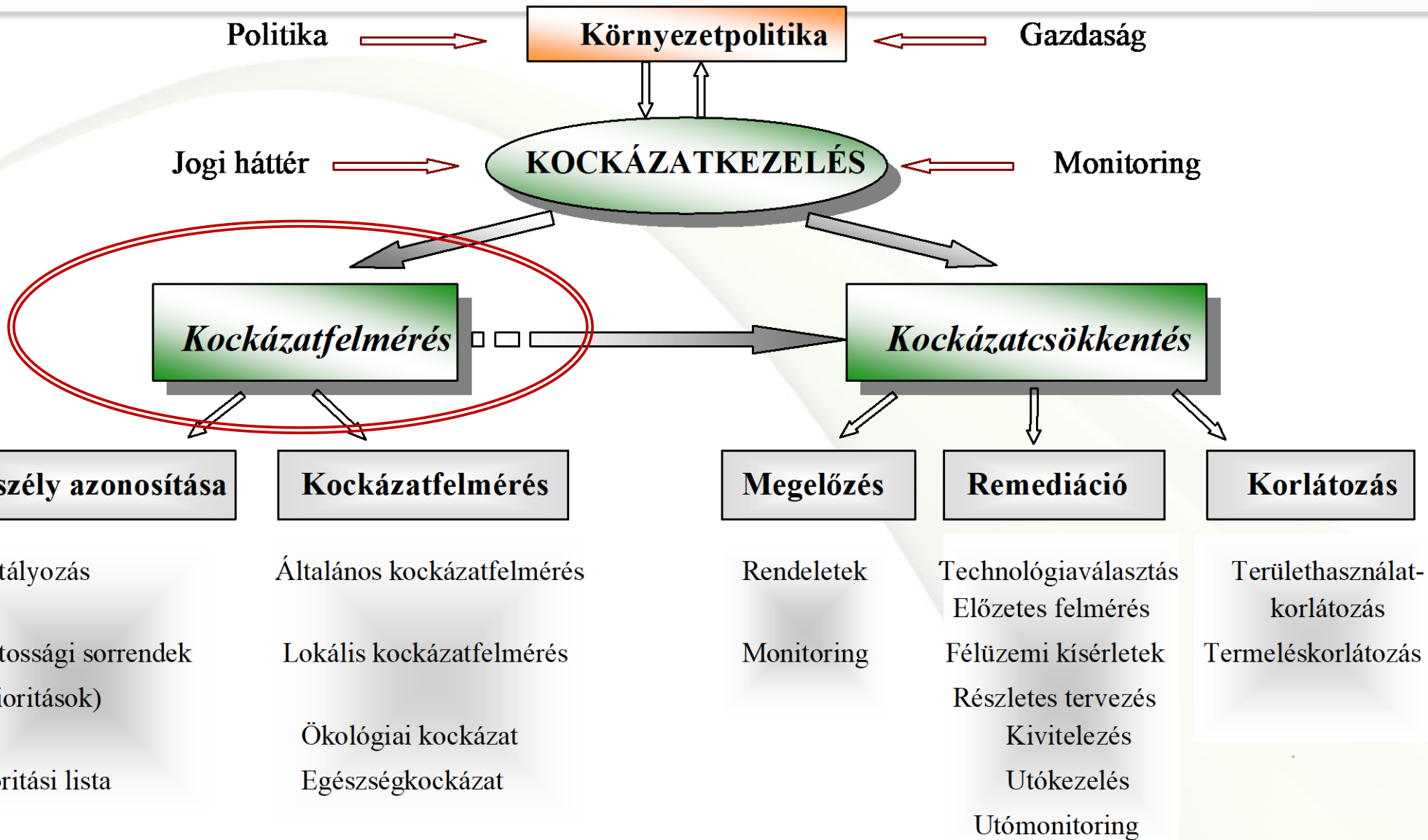
Vegyi anyag kikerül a környezetbe



KOCKÁZAT

- *Vegyi anyag kockázata a környezettel való kölcsönhatás révén nyilvánul meg*

A KOCKÁZATKEZELÉS



A KÖRNYEZETI KOCKÁZATFELMÉRÉSEK TÍPUSAI HATÁSVISELŐK SZERINT

Humán kockázatfelmérés, azaz egészségkockázat felmérés

Védendő érték az **emberi egészség**.

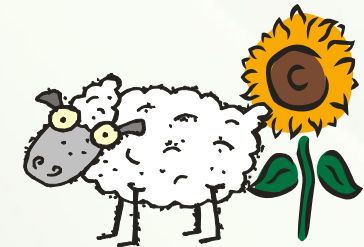
A hatásviselő lehet egyetlen ember, embercsoport vagy egy emberi populáció.

Érzékeny (gyerekek, öregek, várandós anyák, kármentesítést végzők) vagy kevésbé érzékeny alcsoportok (munkahelyi hatásviselők).



Ökológiai kockázatfelmérés

Ökológiai hatásviselő lehet egy mikroba populáció, magasabb rendű élőlények (növények, állatok) vagy egy táplálkozási lánc egésze, de akár a teljes **ökoszisztéma** is.



A környezettoxikológia a kockázatmenedzsmentben

- **Vegyianyagok** valamint **szennyezett területek kockázatának jellemzésére**
- Támogatja a környezetmenedzsment és környezetpolitika döntéseit
 - Hatáson alapuló határértékek és más környezetminőségi kritériumok képzéséhez
 - Károsan még nem ható koncentráció
 - Monitoring-rendszerek tervezéséhez
 - Kockázatcsökkentési intézkedésekkel kapcsolatos döntésekhez...
 - Kockázatcsökkentési intézkedés kiválasztása
 - Remediáció célértékének meghatározása...

A környezettoxikológia multidiszciplináris tudomány

- Ökológia
- Biológia, populáció biológia
- Mikrobiológia
- Biokémia
- Fiziológia
- Molekuláris genetika
- Farmakokinetika
- Evolúcióbiológia
- Szerves és szervetlen kémia
- Limnológia
- Talajtudományok
- Meteorológia
- Tengerbiológia, oceanográfia
- Természetvédelem, tájvédelem
- Matematika, számítástechnika, modellezés
- Biometria
- Kockázatfelmérés
- Kockázatkezelés

A talaj szennyezettség főbb forrásai Európában (2014-es adatok)

A talajszennyezés főbb lokális forrásai	Átlag (22 ország) (%)
Hulladék lerakás és kezelés	38,1
Ipari és kereskedelmi tevékenység	34,0
Tárolás	10,7
Egyéb	8,1
Szállítási balesetek	7,9
Hadászat	3,4
Nukleáris tevékenység	0,1

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites-3/assessment>

Ökotoxikológiai tesztek osztályozása

- Fajok száma
- Tesztorganizmus rendszertani besorolása
- Tesztelendő ökoszisztéma
- Vizsgált környezeti elemek és fázisok
- Teszt időtartalma
- A tesztrendszer komplexitása
- Expozíciós scenárió
- Tesztelés célja
- Teszt típusa
- Mérési végpontok

Ökotoxikológiai tesztek osztályozása

▪ Fajok száma szerint

- Egy fajt alkalmazó teszt
 - Jól ismert, kontrollált forrásból
- **Több fajt alkalmazó teszt (mikrokozmosz, mezokozmosz, szabadföldi vizsgálatok)**
 - Kölcsönhatás a fajok között

▪ A tesztorganizmus rendszertani besorolása

- Baktérium
- Alga
- Protozoa
- Gomba
- Növény
- Állat
- Több faj együtt

Több fajt alkalmazó ökotoxikológiai tesztek

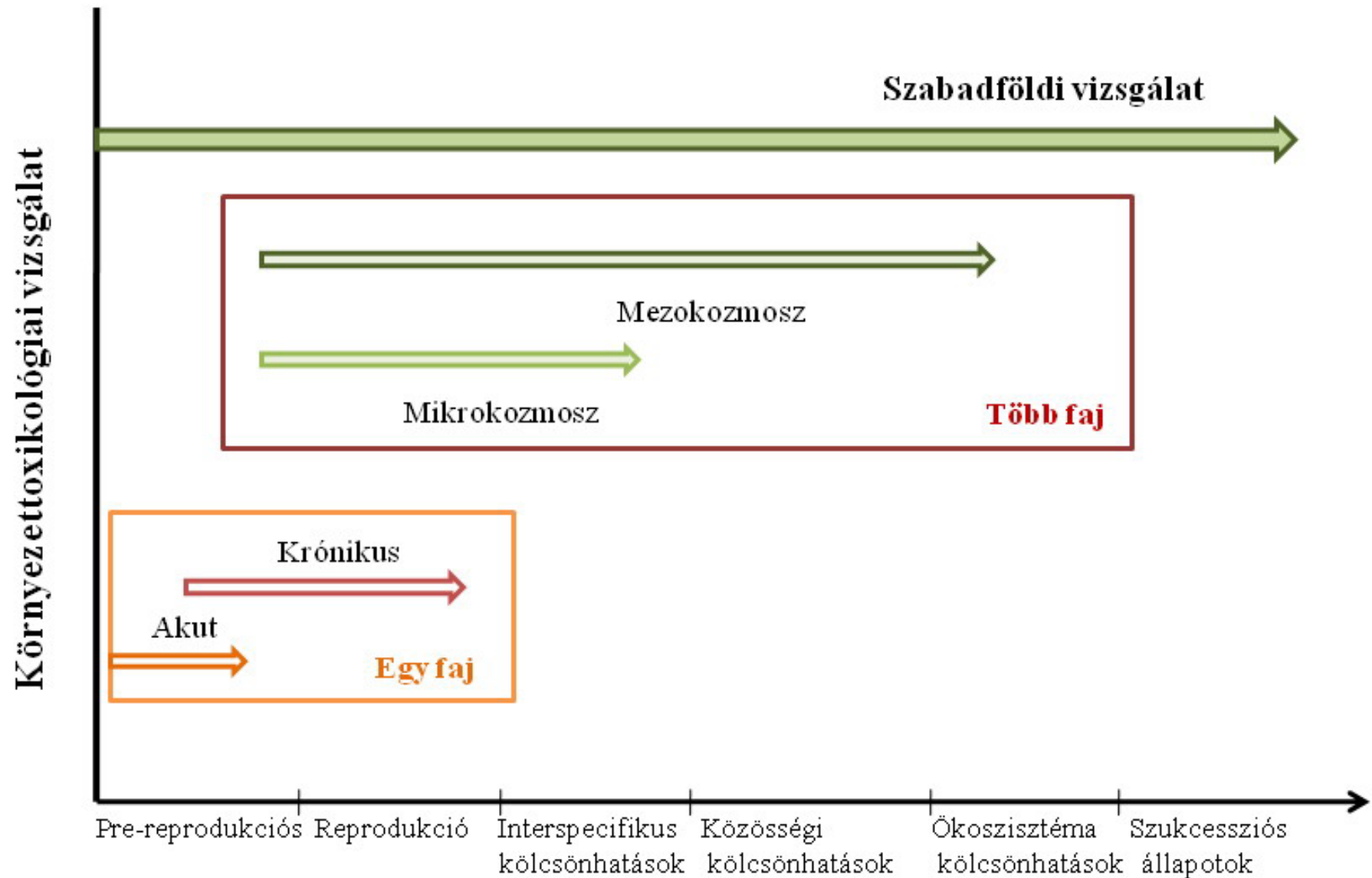
Több fajt alkalmazó tesztek (Callow, 1993) – két vagy több faj kölcsönhatása

A bioteszt leírása	Vizsgált tulajdonság
Két baktérium törzs kompetíciós tesztje Időtartam: 5 nap	<i>A kompetíció eredménye</i>
Mikrobiális préda- predátor teszt Időtartam: 3–5 hét.	<i>Préda, predátor egyedszáma</i>
Mikrokozmosz tesztek* Időtartam: 3–10 hét	<i>Egyedszám, fajösszetétel, légzés, heterotróf aktivitás</i>
Mezokozmosz tesztek* Időtartam: 5–6 hónap	<i>Egyedszám, fajösszetétel, anyagcsere körforgalmak</i>

+ **Szabadföldi vizsgálatok** (direkt)

***Mikrokozmosz:** 100 cm³ térfogatú rázatott lombiktól vagy 500 kg-os tenyészedény kísérlettől több száz liter térfogatig. Laboratóriumban. **Mezokozmosz:** valóságos ökoszisztéma hűségesebb modellje. Több trófikus szint. Általában szabadban. Sokszor az ökoszisztéma izolált része.

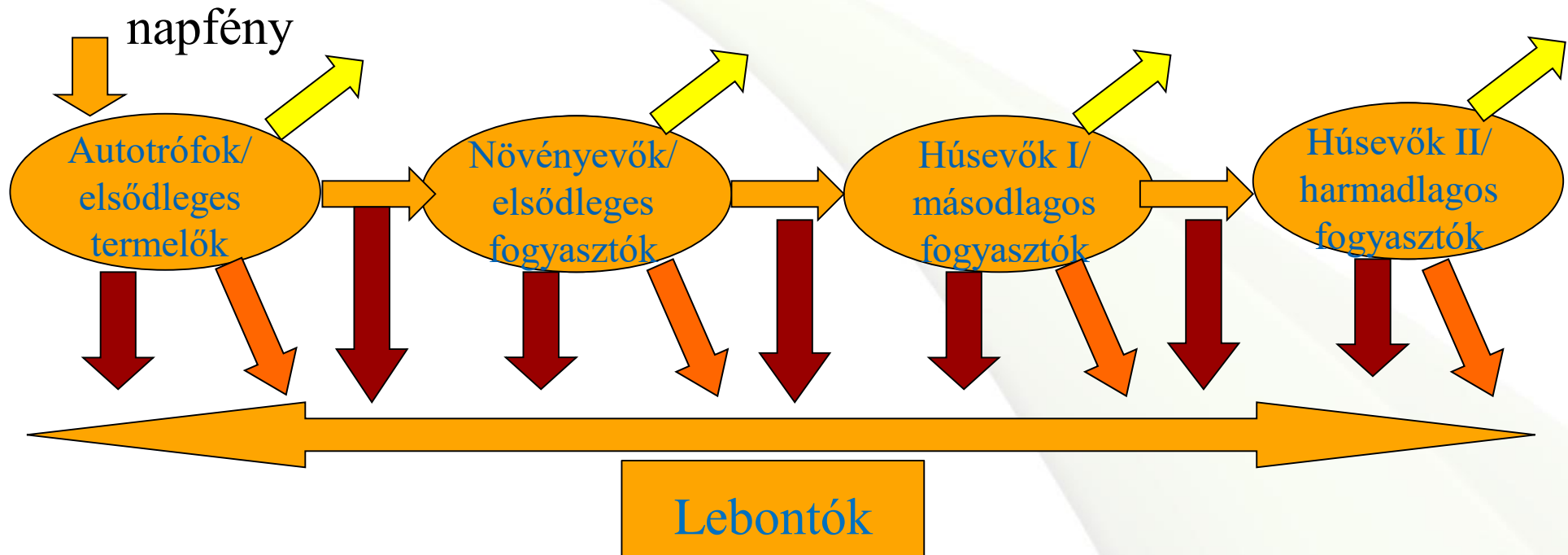
Osztályozás a rendszer komplexitása alapján



Táplálkozási láncok – trófikus szint

Trófikus szint: az organizmus táplálkozási láncban elfoglalt pozíciója.

Környezeti minták tesztelése: ált. három különböző trófikus szintről származó tesztorganizmussal



→ légzési veszteség

→ tápanyagfelvétel

→ hulladékanyagok

→ anyagcsere során

Mikrokozmosz és mezokozmosz tesztek

■ Mikrokozmosz:

- 100 cm³ térfogatú rázatott lombiktól vagy 500 kg-os tenyészedeny kísérlettől több száz liter térfogatig.
- Laboratóriumban.
- 3–10 hét

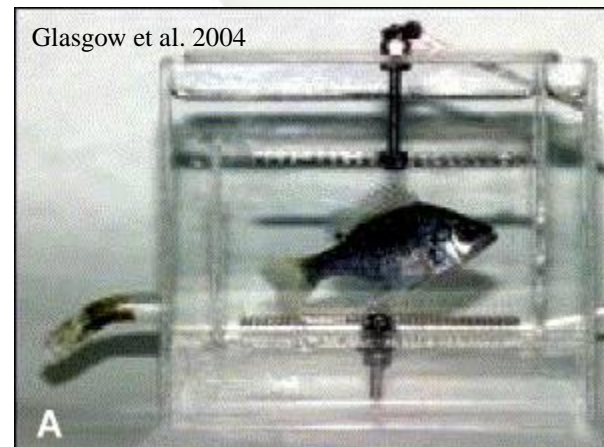
■ Mezokozmosz:

- Valóságos ökoszisztéma hűségesebb modellje.
- Általában szabadban. Sokszor az ökoszisztéma izolált része.
- 5–6 hónap



Szabadszíri vizsgálat

- Megfigyelés vagy kísérlet
 - Pl. *in situ* biomonitoring
 - Indikátor-organizmusok vizsgálata (passzív biomonitoring)
 - Vizsgáló által a környezetbe helyezett organizmus (aktív biomonitoring)
- Természetes rendszerek időszakos, térbeli és evolúciós heterogenitása
- Nehéz, drága, ellentmondásos



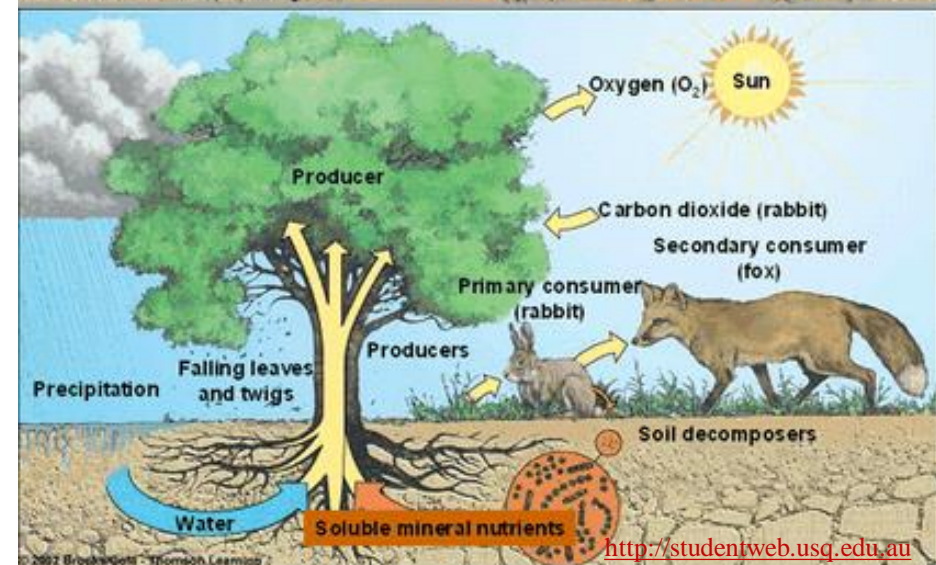
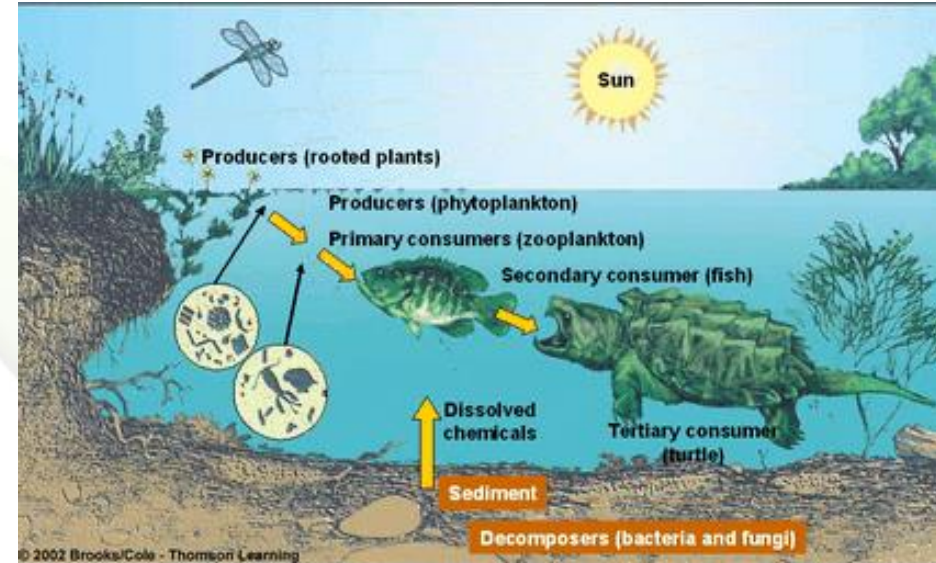
Ökotoxikológiai tesztek: tesztelendő ökoszisztéma szerint

■ Tesztelendő ökoszisztéma

– *Vízi ökoszisztéma*
(víz + üledék)

- Tengeri ökoszisztémák
- Édesvízi ökoszisztémák

– *Szárazföldi ökoszisztéma*



Ökotoxikológiai tesztek osztályozása

▪ Teszt időtartama

- **AKUT = Rövid idejű (a tesztorganizmus élettartamához képest)**
 - 24–48 óra (*Daphnia*, hal, patkány stb.), mikroorganizmusok esetén néhány perc is lehet (pl. *Aliivibrio fischeri* lumineszcencia gátlás)
 - Nincs reprodukció
- **KRÓNIKUS = Hosszú idejű (a tesztorganizmus élettartamához képest)**
 - Függ: tesztorganizmus élettartalma és reprodukciós ciklusa
 - Kísérleti állat élettartamának nagy részét magába foglalja
 - Ált. egy-két generációt fognak át
 - **Növekedési (szaporodási) teszt**
 - Mikroorganizmusok, algák, állati egysejtűek biomassza produkciója vagy sejtszáma, mint végpont
 - **Reproduktívási teszt**
 - Szaporodási képesség és utódok fejlődési rendellenességei

Ökotoxikológiai tesztek osztályozása

▪ Expozíciós scenárió

- Teljes test
- Belélegzés
- Bőrkontaktus
- Szájon át / etetési kísérletek
- Kontrollált mennyiség gyomorba juttatása
- Ismert mennyiség beinjektálása (intramuszkuláris, intravénás)



<http://beachvethospital.blogspot.hu/>



<http://www.lssu.edu/>



<http://rheearagones-clinicalchemistry.blogspot.hu/>

Értékelés és interpretáció

Koncentráció (dózis) – válasz összefüggés tesztelése

- **Mérési végpont:** a tesztorganizmus mérhető válasza; biokémiai, fiziológiai, viselkedési, populációs, közösségi jellemzők és ökoszisztéma hatások (bárhol megválasztható).
- **Vizsgálati végpont:** a mérési végpontból statisztikai értékeléssel és számítással kapott, a toxicitást vagy más káros hatást jellemző érték. Kockázat mértékének megállapításához, döntések előkészítéséhez.

A jellemző koncentrációt a **koncentráció (dózis) – válasz (hatás) görbéről** olvassuk le: az értékelés mindig statisztikai / grafikus.

- **Dózis:** az aktuális anyagmennyiség, amely az organizmusba bekerül a különböző expozíciós útvonalakon keresztül.
 - Humán toxikológia (beinjektált, megetetett mennyiség)
- **Koncentráció:** a vegyi anyag aktuális koncentrációja a környezeti elemekben vagy fázisban, mellyel a tesztorganizmus kapcsolatba kerül.
 - Környezettoxikológiában!

Ökotoxikológiai tesztek osztályozása

▪ Leggyakoribb mérési végpontok

- ***Toxicitási tesztek:*** növekedés (sejtszám, tömeg, gyökérhossz, klorofill tartalom), túlélés, halál, immobilizáció, légzés: O₂ fogyasztás, CO₂ termelés, enzimaktivitások, stressz-fehérjék megjelenése, ATP termelés, szaporodás, lumineszkálás etc.
- ***Mutagenitási teszt:*** mutánsok száma, revertánsok száma, kromoszóma hibák
- ***Rákkeltő hatás:*** tumorok
- ***Teratogenitási teszt:*** reprodukтивitás, citogenetikai jellemzők
- ***Biodegradációs tesztek:*** O₂ fogyasztás, szubsztrát fogyás, termék képzés, CO₂ termelés
- ***Bioakkumulációs tesztek:*** az akkumulált vegyi anyag kémiai analízise

Értékelés és interpretáció

Koncentráció (dózis) – válasz összefüggés tesztelése

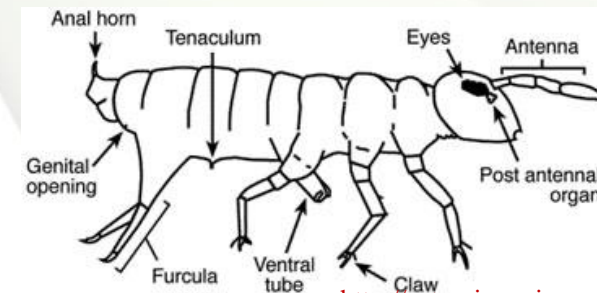
■ Dózis – válasz összefüggés:

- Vegyi anyagok kis dózisa gyakran stimulál, vagy
- Egy küszöbértékig nem jelentkezik hatás
 - OK: Káros hatást kompenzáló metabolikus aktivitás, ill. ennek kimerülése
- Dózis növekedésével a hatás arányosan nő, majd csökkenő sebességgel tart egy maximális határig (pl. összes tesztorganizmus pusztulása)

„Dosage makes the distinction between poison and remedy” *Paracelsus (1493–1541)*

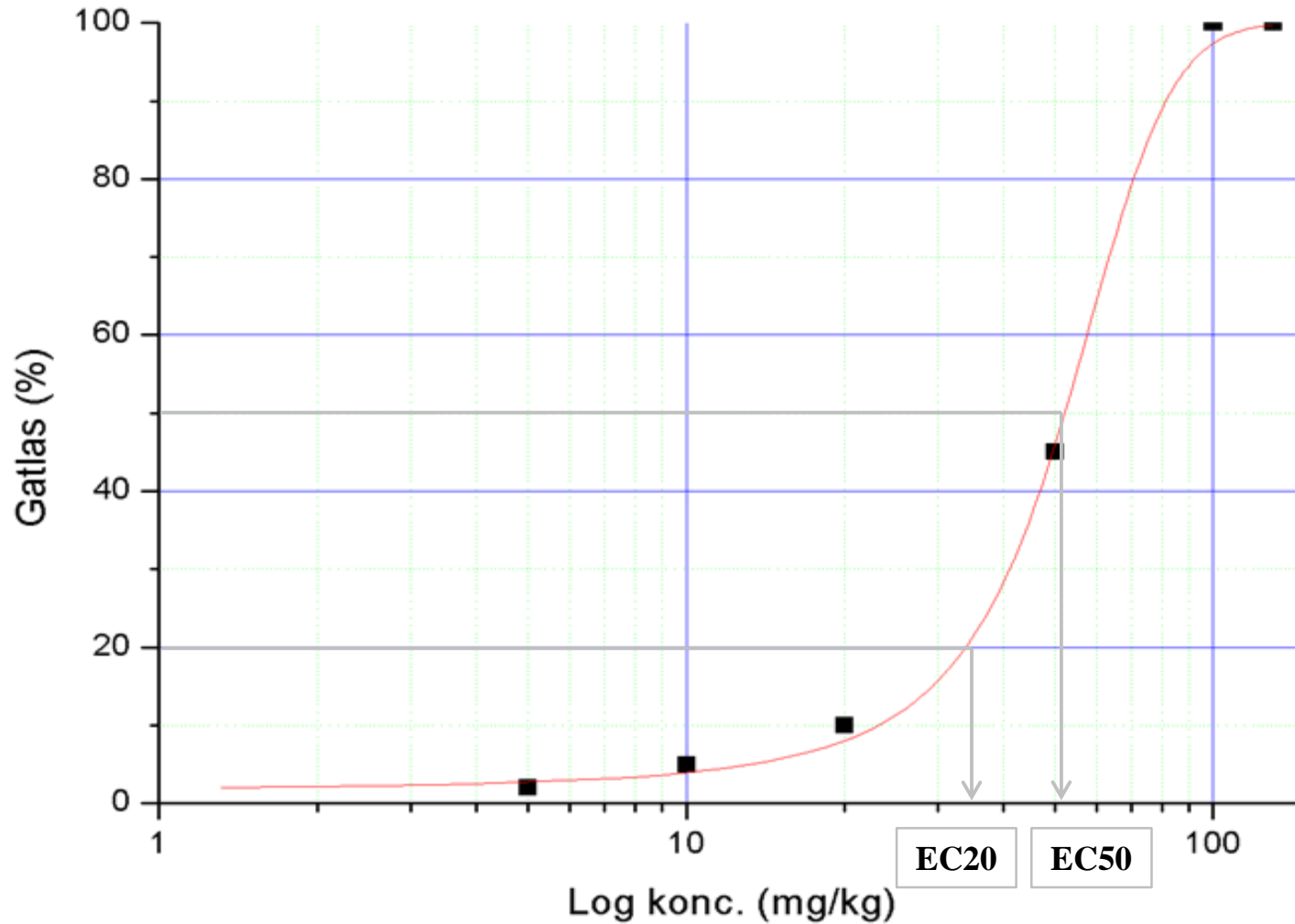
■ Környezettoxikológiában koncentráció használata

- Nem tudjuk ellenőrizni, hogy a környezetben lévő anyagból mennyi jut be a szervezetbe (kiv.: talaj dózis)
- Több expozíciós útvonal
 - Pl. talajlakó ugróvillás (*Collembola*): teljes testfelület, belégzés, emésztés
- Tesztorganizmus fajlagos felülete, alakja, határoló felületének minősége, légzése stb.
- Fajtól függ
- Növények és mikroorganizmusok: lokálisan kibocsátott anyagok, szennyezőanyagok mobilizálása



Koncentráció-válasz összefüggés

Szigmoid (S-alakú) görbe



Akut toxicitás - végpontok

Akut toxicitás mérése esetén (rövid idejű kitettség) a koncentráció – hatás görbéről leolvashatjuk a 10, 20, 50 vagy 90 %-os gátlást okozó koncentrációt:

LC₁₀, LC₂₀, LC₅₀, LC₉₀ = letális koncentráció (**Lethal Concentration**), mely a teszt-organizmus 10, 20, 50 vagy 90 %-ának pusztulását okozza.

EC₁₀, EC₂₀, EC₅₀, EC₉₀ = hatásos koncentráció (**Effect Concentration**), mely a mérési vagy vizsgálati végpont 10, 20, 50, 90 %-os csökkenését okozza.

LD₁₀, LD₂₀, LD₅₀, LD₉₀ = letális dózis (**Lethal Dose**), mely a tesztorganizmus 10, 20, 50 vagy 90 %-ának pusztulását okozza.

ED₁₀, ED₂₀, ED₅₀, ED₉₀ = hatásos dózis (**Effect Dose**), mely a végpont 10, 20, 50, 90 %-os csökkenését okozza.

Krónikus toxicitás - végpontok

Krónikus toxicitás vizsgálatából, a koncentráció-hatás görbe alapján grafikusán, vagy statisztikai módszerekkel meghatározott értékeket szokták megadni:

NOEC/NOEL = (No Observed Effects Concentration/Level), az a legnagyobb koncentráció/dózis, amelynek nincs megfigyelhető hatása.

NOAEC/NOAEL = (No Observed Adverse Effects Concentration/Level), az a legnagyobb koncentráció/dózis, amely még nem okoz megfigyelhető káros hatást.

LOEC/LOEL = (Lowest Observed Effects Concentration/Level) az a legkisebb koncentráció/dózis, amelynek hatása már megfigyelhető.

MATC = (Maximum Allowable Toxicant Concentration), a szennyezőanyag maximális, még megengedhető koncentrációja.

Krónikus toxicitás – végpontok számítása, statisztikai értékelés

- NOEC és LOEC: egymásból tapasztalati összefüggések alapján számítható
- $MATC = (LOEC + NOEC) / 2$
- **NOEC < MATC < LOEC**

- Statisztikai módszer: ANOVA (Varianciaanalízis)
- Eredmény: koncentráció vagy dózisérték, ami statisztikailag nem mutat szignifikáns hatást

- *Implicit feltételezés*: létező határkoncentráció/dózis, ameddig a tesztorganizmus pufferelni tudja a vegyi anyag hatását

Toxicitási tesztek eredményeinek megbízhatóságát, jóságát befolyásoló tényezők

- A minta mérete és az ismétlések száma
- A megfigyelt végpontok száma
- A vizsgált koncentrációsor (dózissorozat) tagjainak száma, a vízszintes tengely felbontása
- A végpont mérhetősége
- A vizsgált szervezet vagy populáció változékonysága a végpont szempontjából
- Az értékeléshez alkalmazott statisztikai módszer

A tesztorganizmus: általános követelmények

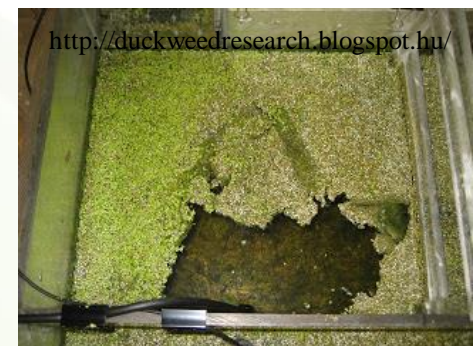
1. Hozzáférhetőség: a tesztorganizmus széles körben elérhető legyen

- Laboratóriumi kultúra
- Más kultúrák, törzsgyűjtemények
- Gyűjtés szabadföldről



2. Fenntartás

- Laboratóriumban fenntartható és tenyészthető legyen
 - Fenntartási nehézségek: táplálás, túlszaporodás, stressz
- Nagy mennyiségben elérhető, beszerezhető legyen



3. A tenyészet genetikai tulajdonságai

- Ismert genetikai összetétel
- Ismert genetikai történet (norvég patkány, *Escherichia coli*)

4. Érzékenysége

- Relatív érzékenység a toxikus szennyezőanyagra
 - Speciális érzékenység egy vagy több szennyezőanyagra
 - Széles spektrumú érzékenység



A tesztorganizmus: általános követelmények

5. Mérés végpontja

- Jól mérhető végpont pl. sejtszám, növényi gyökér- és szárhossz stb.

6. Ne legyen patogén, ne hordozzon más kockázatot

7. Mennyire reprezentálja az ökoszisztémát

- Érzékenysége legyen jellemző rendszertani egységére
 - Lehet a legérzékenyebb
 - Érzékenyebb, mint az ökoszisztéma átlaga
 - “átlagos” érzékenységű
- Milyen rendszertani egységet (család, stb.) reprezentál

8. Koncentráció - válasz összefüggés

- A válasz legyen arányos a toxikus anyag koncentrációjával
- A hatásos koncentrációtartomány széles legyen

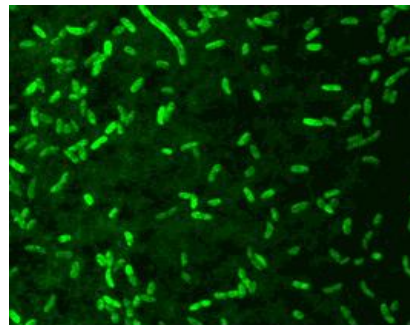
9. A teszt ismételhetsége, statisztikája

Aliivibrio fischeri biolumineszcencia gátlási teszt

- Tesztorganizmus: *Aliivibrio fischeri* (*Vibrio fischeri*, *Photobacterium phosphoreum*)
Tengeri baktérium, fényt emittál
A kurtafarkú tintahal hordozza a *Aliivibrio fischeri*-t az úgynevezett "fény szervben".
- A teszt elve a *Aliivibrio fischeri* által emittált lumineszcens fény detektálása; toxikus anyagok jelenlétében a fényemisszió csökken.



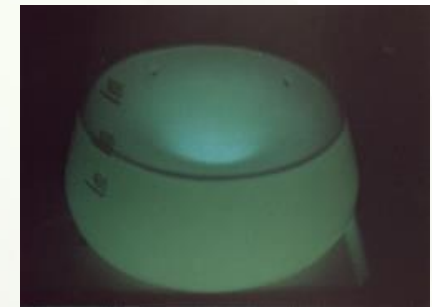
Kurtafarkú tintahal
Euprymna scolopes



Baktériumszuszpenzió
mikroszkópos képe
(fluoreszcens festett sejtek)



Folyadék kultúra
jól megvilágított
helyen



Folyadék kultúra
sötétben

Aliivibrio fischeri biolumineszcencia gátlási teszt

- **Teszt típusa:** bakteriális, akut toxicitási teszt
- **Az *Aliivibrio fischeri* érzékenysége:** mind nehézfémekre, mind szerves makro- és mikroszennyező anyagokra érzékeny
- **Végpont:** lumineszcencia intenzitáscsökkenése, a minta hígítási sorából EC_{20} , EC_{50} illetve ED_{20} , ED_{50} határozható meg
- **Szükséges műszer:** luminométer
- **Tesztelés időtartama:** 30 perc
- **Alkalmazási terület:** előzetes és részletes állapotfelmérés, kockázatfelmérés, remediáció követése, utómonitoring



Folsomia candida mortalitási teszt

A *Folsomia candida* (*Collembola*) az ugróvillások rendjébe tartozó, ősi rovar. Apró (3–4 mm hosszú) fehér állatkák.

- Talajban élnek (m²-enként ~ 100 000 állatka)
- Fontos szerepük van a „talajfunkció” fenntartásában
- Hasi tömlővel lélegeznek, talajgőzökre érzékenyen reagálnak.

A vizsgálathoz azonos korú (14 napos) állatkák szükségesek



Kifejlett állat petékkel



Kifejlett egyedek fiatal állatokkal



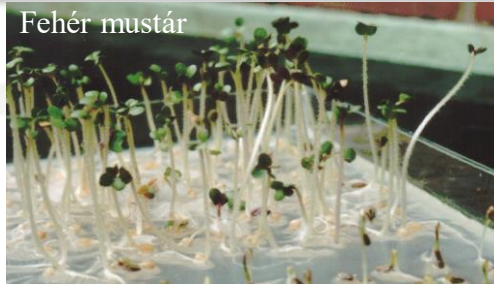
Kifejlett *Collembola*

Folsomia candida mortalitási teszt

- **Teszt típusa:** állati, akut toxicitási és krónikus (reproduktivitási) teszt
- **A *Folsomia candida* érzékenysége:** nehézfémekre kevésbé, szerves szennyezőanyagokra érzékeny, főleg az illékonyakra és a bőrön át felszívódókra
- **Végpont:** hígításból LD₂₀ és LD₅₀, reprodukivitási tesztnél NOEC
- **Szükséges műszer:** citoplaszt mikroszkóp vagy vizuális
- **Tesztelés időtartama:** akut: 5–10 nap, reprodukciós: 20 nap



Növényi biotesztek



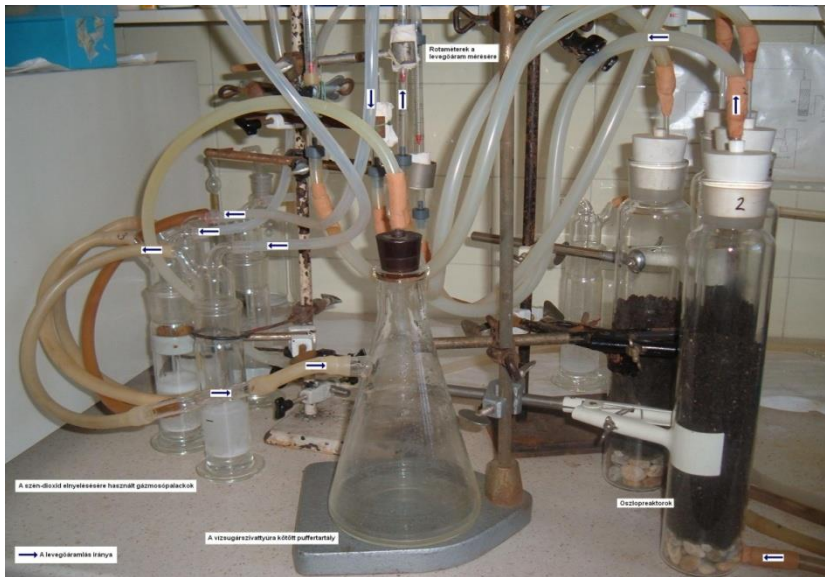
- Alkalmazott tesztnövények: fehér mustár (*Sinapis alba*), borsó (*Pisum sativum*), kerti zsázsa (*Lepidium sativum*), retek (*Raphynus sativus*), búza (*Triticum sativum*), zab (*Avena sativa*) és kukorica (*Zea mays*), angolperje (*Lolium perenne*), stb.
- A növényi magokat közvetlenül a talajba (v. agarral kevert talajba) ültetjük → direkt kontakt a növényi gyökerek és a talaj között.

Csíranövény gyökér-, szárnövekedés gátlási teszt

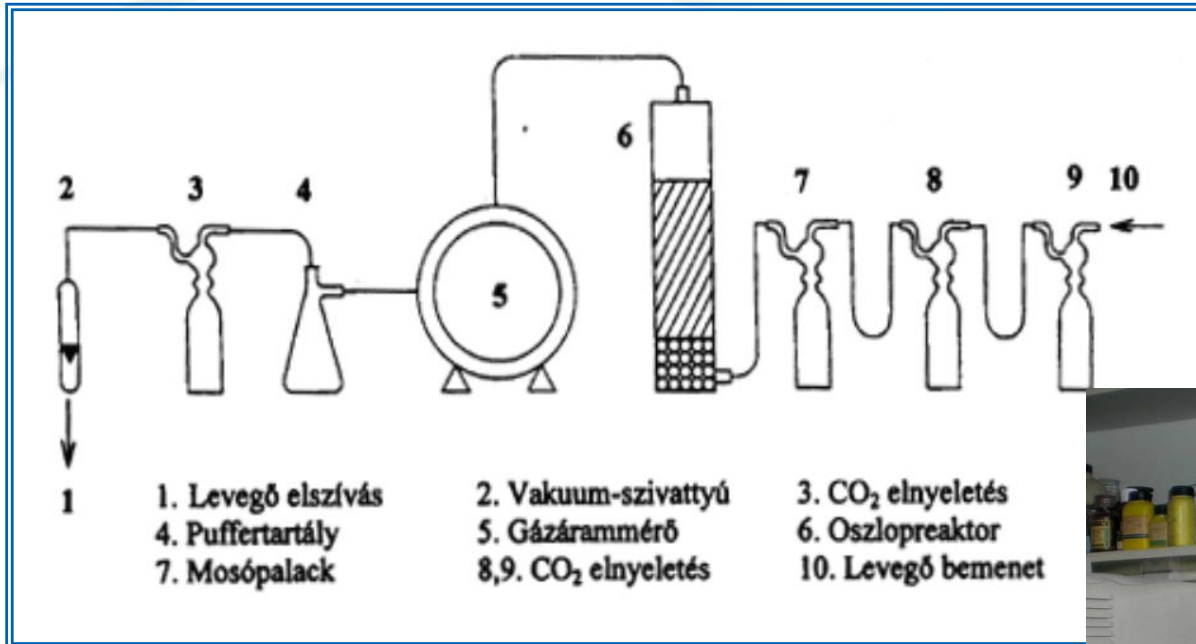
- **Teszt típusa:** növényi, akut toxicitási teszt
- **A *Lepidium sativum* érzékenysége:** a szennyezőanyagok széles skálájára érzékeny
- **Végpont:** biomassa, szár- és gyökernövekedés gátlás százalékban megadva, vagy ED_{20} és ED_{50} a minták hígítási sorozatából.
- **Tesztelés:** Petri-csésze, 5 g nedvesített talaj, 20 mag, 20 °C-on, sötétben
- **Szükséges műszer:** mérleg, vonalzó, vizuális értékelés
- **Tesztelés időtartama:** 3–7 nap

Talajlégzés mérése

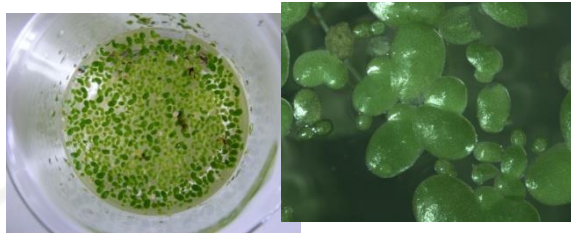
- A talajban lévő mikroorganizmusok aktivitása mérése CO₂ termelés mérésével
 - aktivitás és aktiválhatóság mérés
 - szennyezőanyag bontás intenzitásának mérése (biodegradáció, termelt CO₂ mennyisége arányos az elbontott szennyezőanyag mennyiséggel)
 - remediáció tervezése (pl. levegőztetés hatása, tápanyagadagolás hatása, hozzáférhetőséget növelő adalékanyag hozzáadása)



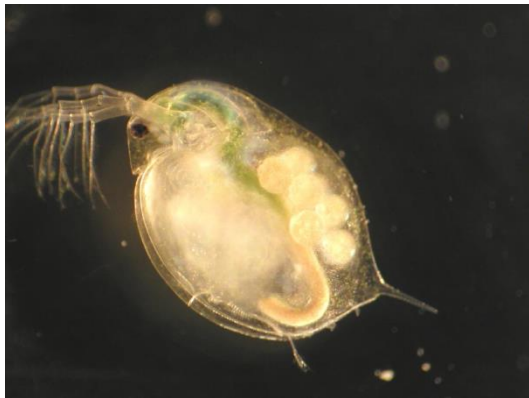
Dinamikus talajlégzés-mérés



Vízi tesztorganizmusok környezettoxikológiai tesztelésre

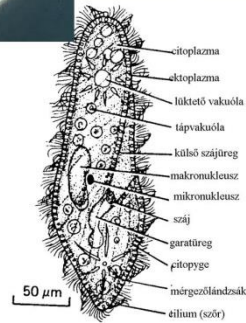
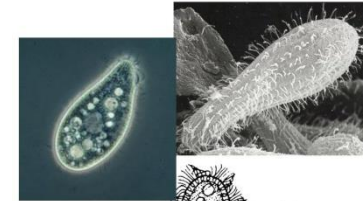


← Békalencse: *Lemna minor*



← Vízibolha: *Daphnia magna*

Protozoa: *Tetrahymena pyriformis* (állati egysejtű)



Édesvízi kagylósrák: *Heterocypris incongruens*



Guppi: *Poecilia reticulata*

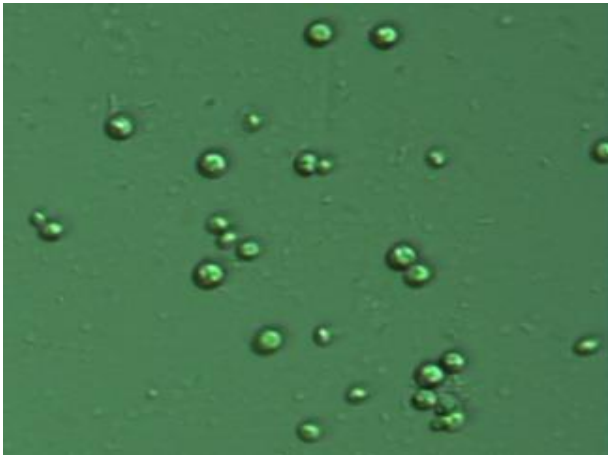


Halak

- Az **algák** használata a vízi rendszerek ökotoxikológiai vizsgálatára általánosan elterjedt.
- Az **alga növekedési teszt** a toxikus vegyi anyagoknak az elsődleges termelők anyagcsere-folyamataira gyakorolt gátló hatását vizsgálja. Édesvízi és tengeri algákat használhatunk tesztorganizmusként.

Édesvízi algák

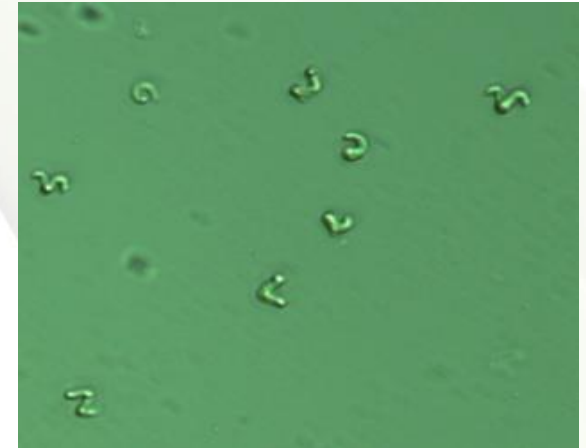
- Zöld algák: *Selenastrum capricornutum*, *Scenedesmus subspicatus*, *Chlorella vulgaris*



Chlorella vulgaris mikroszkópos képe
Page ■ 40 (BME-ABÉT)



Scenedesmus subspicatus mikroszkópos képe
(BME-ABÉT)



Pseudokirchneriella subcapitata
mikroszkópos képe (BME-ABÉT)

Állati egysejtű – *Tetrahymena pyriformis*

- Vízben élő állati egysejtű
- Protozoák országán belül, a csillós egysejtűek (Ciliopora) törzsébe tartozik.
- Mérete 25–90 μm között változik, nevét körteszerű alakjáról, ill. a sejtészáj négy mozgó, hártyaszerű képletéről kapta. Külső felületén sűrű, hajszerű bevonatot képeznek a csillók.
- Kutatások kedvelt tesztorganizmusa könnyű fenntarthatósága, gyors szaporodása miatt, de főként azért, mert sejtje sokban hasonlít a fejlettebb gerincesek sejtjeihez (sejtmembrán összetétele, kulcsenzimek, inzulin és adrenalin termelés).
- A mérési végpont: sejtszám/ml



Békalencse

- A békalencsék a víz felszínén úszó egyszikű, lágyszárú vízinövények.
- Nagyon elterjedt, gyorsan szaporodó évelők. Méretük 2–12 mm lehet. Virágaik egyivarúak. Ritkán virágoznak, általában testük sarjadzásával szaporodnak.
- A békalencsék szaporodási sebessége eltérő, a *Lemna* nemzetség duplázódási ideje laboratóriumi körülmények között 0,35–2,8 nap.
- Az apró békalencse tömeges megjelenése eutrofizációt jelez.
- *Lemna minor*, *Lemna gibba*
- Mérés végpontja: levélkeszám, ép, zöld levélrészek területe, klorofill tartalom

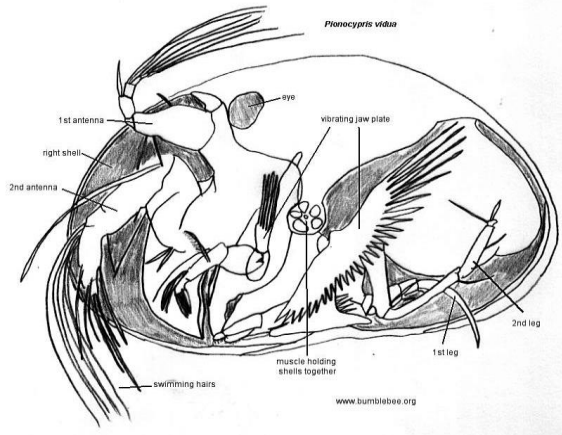


Kagylósrák

- A kagylósrákok (*Ostracoda*) osztályába tartozó állatok legjellemzőbb tulajdonsága a kettős teknő, melybe a lágytest visszahúzódhat. Az állat testét meszes héj fedi, melyet egy rugalmas sarokpánt nyit és egy haránt izomnyaláb zár.. Amikor kinőtték a héjat, levedlik azt és újat növesztenek.

Mérete: 0,1–32 mm között változik.

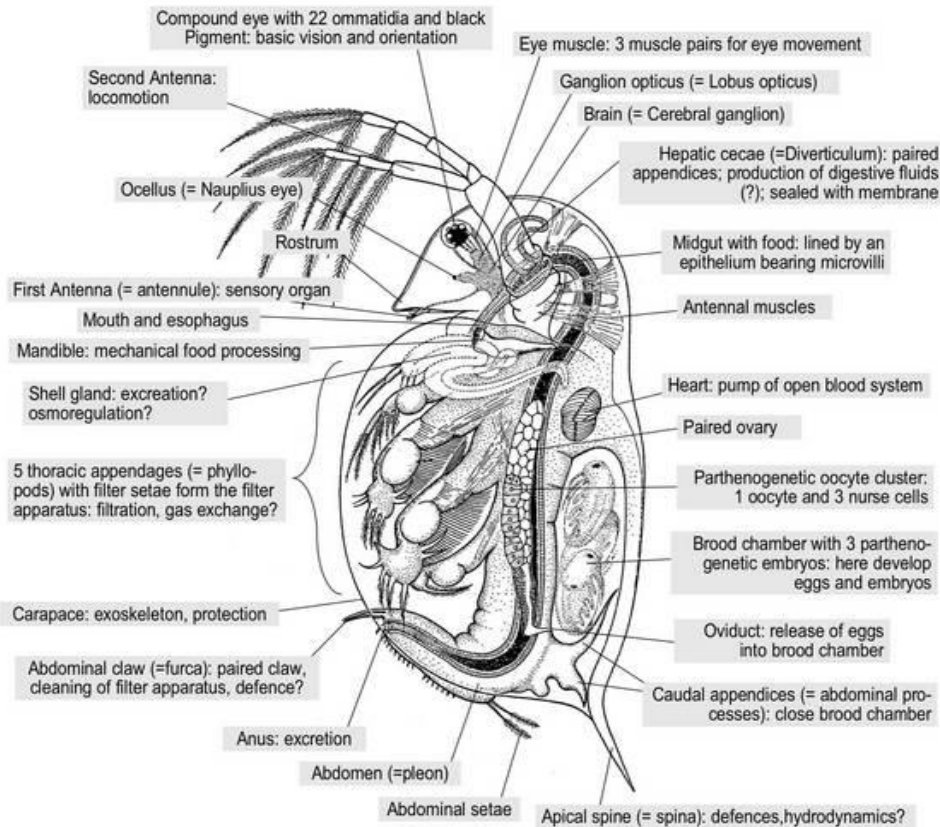
- A héj hasítékából kinyúlik 7 pár láb.
- Váltivarúak. Szaporodhatnak mind megtermékenyített, mind szűz peték révén.
- Kagylósrákok élhetnek édes- és tengervízben is.
- Fenéklakó állat, az iszapot tőrja. Üledéklakó állat révén ideális vízi tesztorganizmus üledék toxicitásának tesztelésére.
- Mérés végpontja: A mozgó állatok száma valamint újabb, még kidolgozás alatt álló mérési végpontok: megtett összes út, átlagsebesség.



<http://www.bumblebee.org/invertebrates/CRUSTACEAc.htm>



Daphnia



- A *Daphnia*, a vízibolha az egyik legelterjedtebb vízi testorganizmus.
- Két faja népszerű, mint ökotoxikológiai testorganizmus: a *Daphnia magna* és a *Daphnia pulex*.
- A *Daphnia magna* akár 5 mm-re is megnőhet, míg a *D. pulex* és *C. dubia* maximális mérete 2–3 mm.
- A Daphniák baktériumokat és élesztőt is esznek.
- Vízminőség fontos faktor.

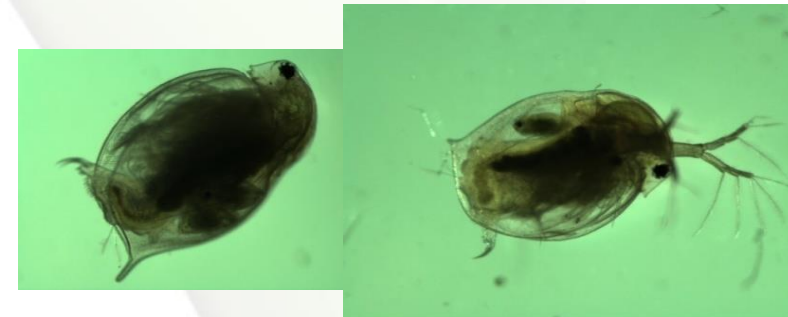
Forrás: <http://www.evolution.unibas.ch/ebert/publications/parasitismdaphnia/ch2f1.htm>

Daphnia

- A Daphniák szűznemzéssel szaporodnak, egy nőstény általában egyszerre 4–10 ivadéknak ad életet (ez időszak alatt a kikelt lárvák is nőstények).
- Az embriók fejlődése az anyaállat testében akár mikroszkóp nélkül is megfigyelhető.
- A fiatal nőstények négy napos koruktól már minden harmadik napon tovább szaporodnak 40 napos életükben.
- A végpontok a túlélés, a növekedés és a szaporodás.

Daphnia embrió fejlődése

<http://www.youtube.com/watch?v=0mWXykkgyI>



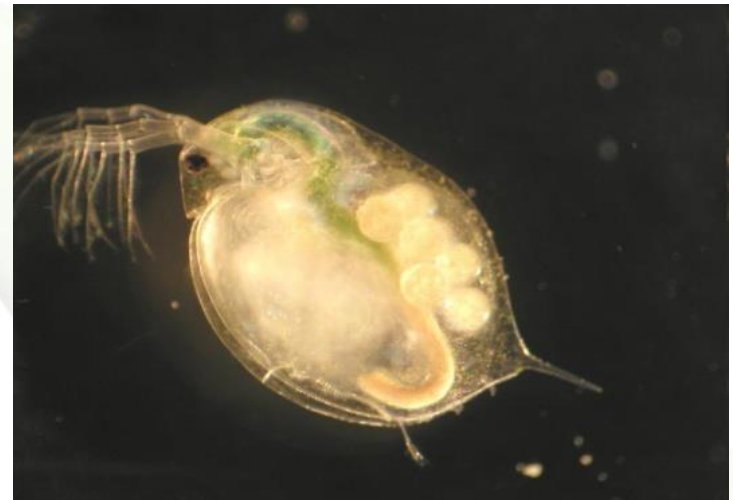
Daphnia születése

<http://www.youtube.com/watch?v=b7UFjsAYr3Y&feature=related>

Forrás: <http://www.evolution.unibas.ch/ebert/publications/parasitismdaphnia/ch2f1.htm>

Daphnia, szívritmus mérése

- Szívritmus mérése: új mérési végpont
- Érzékenyítés
- Kutatási eredmények:
 - koffein
- BME ABÉT tesztek
 - koffein, nikotin,
 - triklozán, BPA,
 - diklofenák, paracetamol



Daphnia szívritmus mérése