



SOPRONI  
EGYETEM |

ERDŐMÉRNÖKI  
KAR



# TALAJTANI (ERDÉSZETI TERMŐHELYISMERETTANI) SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK





SOPRONI  
EGYETEM |

ERDŐMÉRNÖKI  
KAR

# TALAJBIOLÓGIA – 1. rész

Dr. Heil Bálint



# TALAJBIOLÓGIA: témakörök

- *A talaj biológiai elemei. A talaj mint ökológiai, anyag- és energiaforgalmi rendszer.*
- *A talajok biológiailag ellenőrzött és spontán biokémiai folyamatai.*
- *A talajokban tevékenykedő élő szervezetek anyagcseretípusai. Mikrobacsoportok a talajokban. Példák a talajokban lejátszódó fontosabb biológia reakciókra.*
- *Talajenzimek és a talajokban kimutatható aktivitásuk, ill. az azt befolyásoló tényezők. A talaj élőlényeknek környezetvédelmi jelentősége.*
- *A növények és a termőtalaj anyagforgalmi egysége, növény-mikroba kölcsönhatások; együttélés a talaj biológiai rendszerével. A talaj élőlényeknek szerepe a talajképződési folyamatokban.*
- *Talajművelés hatásai a talaj életközösségeire. Módszerek a talajbiológiai rendszerek módosítására.*
- *Környezeti talajminták mikrobiológiai vizsgálatának általános módszerei, jellemzésük. Biológiai indikációs módszerek alkalmazása a talajtermékenység értékelésében. Talajmonitoring biológiai vonatkozásai.*



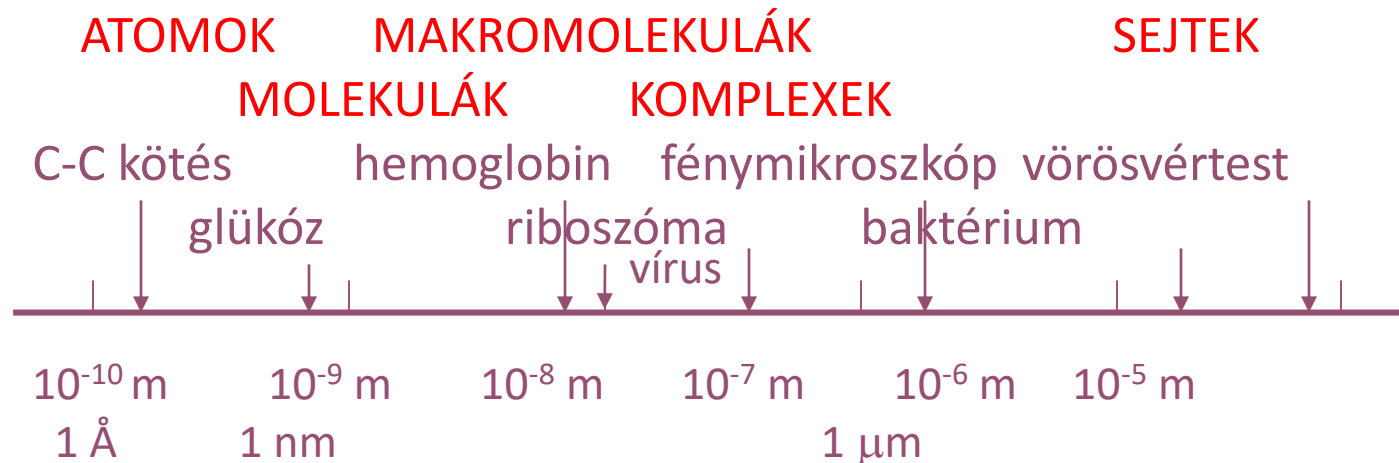
# *A talaj biológiai elemei*

- A talajban és a rajta/benne élő növényekkel, makro- és mezofaunával együttélő élőlények köre. A
- Talajbióta (Raul Francé): 4 alapvető csoport, méret alapján
  - Mikroflóra (pl. vírusok, baktériumok, ősbaktériumok, gombák  $<5 \mu\text{m}$ );
  - Mikrofauna (pl. nematódák  $10 \mu\text{m}$ - $2 \text{mm}$  és algák, protozoák  $5 \mu\text{m}$  -  $200 \mu\text{m}$ );
  - Mezofauna (pl. kisebb arthropodák (atkák, kollembólák)  $100 \mu\text{m}$  -  $2 \text{mm}$ )
- További élőlények is ide sorolhatók!
  - Virionok
  - PRION-ok

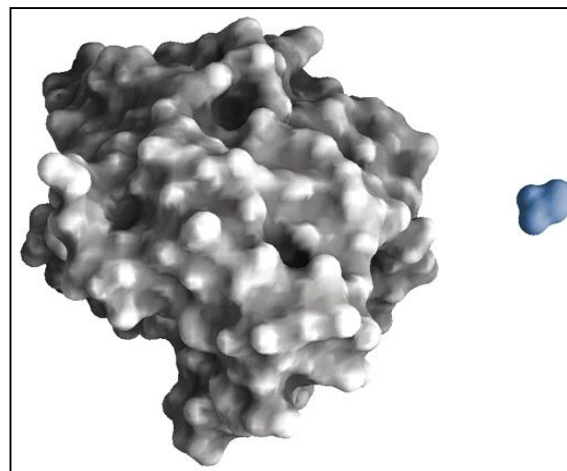


# Dimenziók a biokémiában

## MÉRETEK



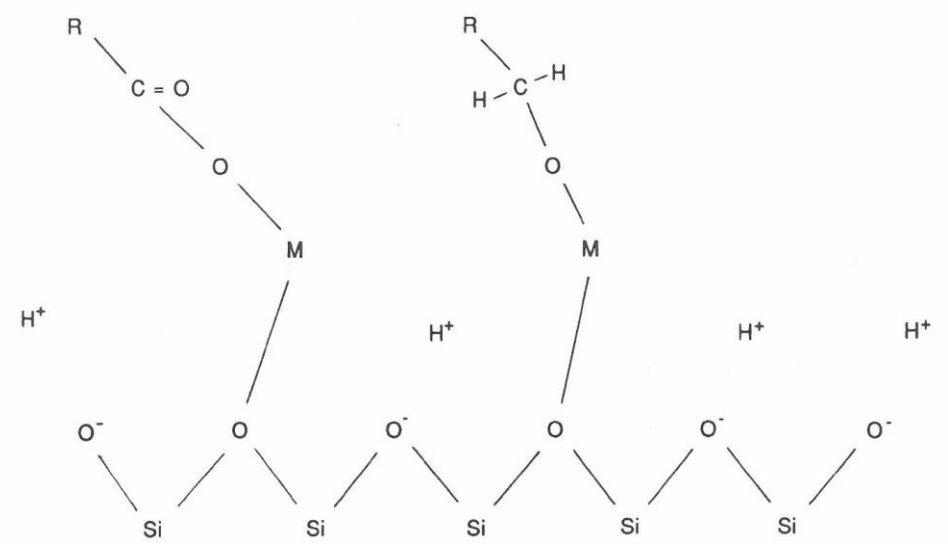
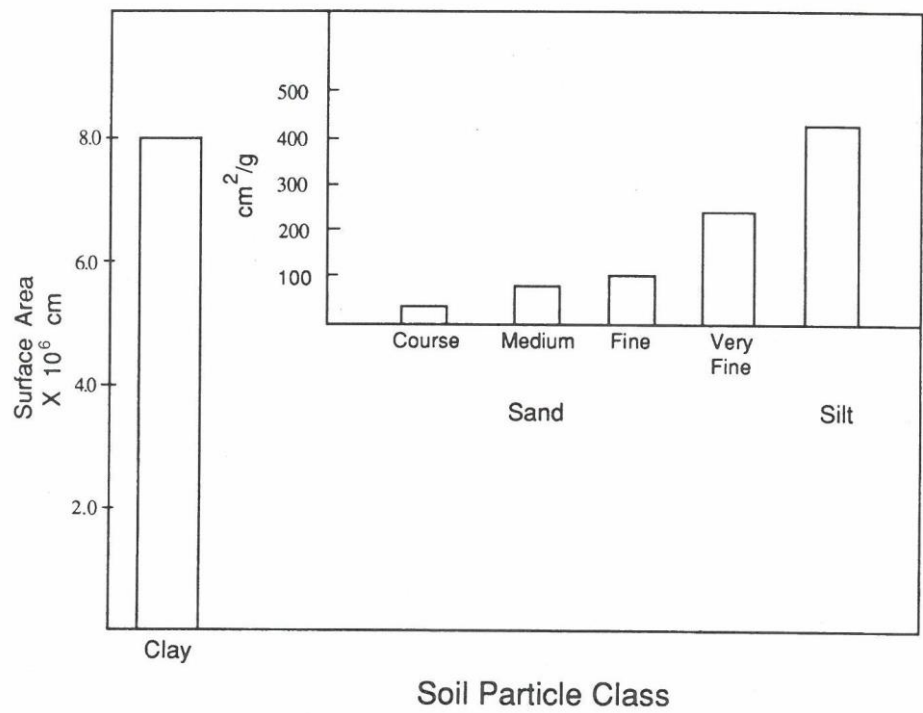
kimotripszin



glicin



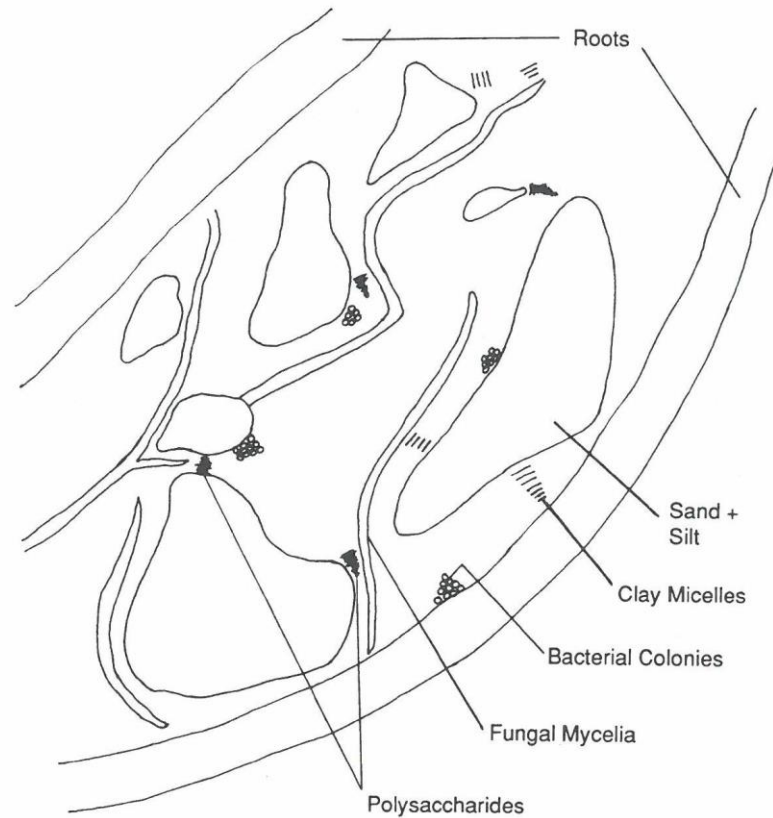
# A talaj ásványi szemcséinek interakciója a talajbiotával



A talaj szemcseösszetételének és –felületének összefüggése

Ásványi szemcse felszíne és negatív töltésű szerves részecske kapcsolódása kétértékű fémion képezte sóhíddal

# A talaj aggregátképződésének sematikus ábrája



# Az élő és nem élő komponensek tömegarányai egy mo-i rendzina talajban

## Teljes A-horizont

Ásványi részecskék (2–0,002 mm átm.), uralkodóan kvarc és muszkovit .....	45%
Kő és kavics (2 mm átm.) .....	21%
CaCO <sub>3</sub> .....	15%
Agyag (< 0,002 mm átm.) .....	12%
Szerves anyag .....	7%

## Szerves frakció

Oldhatatlan frakció .....	19%
Savban oldódó frakció.....	6,5 %
Humuszsav .....	30%
Fulvosav .... (0,5%-os NaOH-val kioldható) .....	24%
Növényi gyökerek (élő + holt) .....	20%
Edafon .....	0,5 %

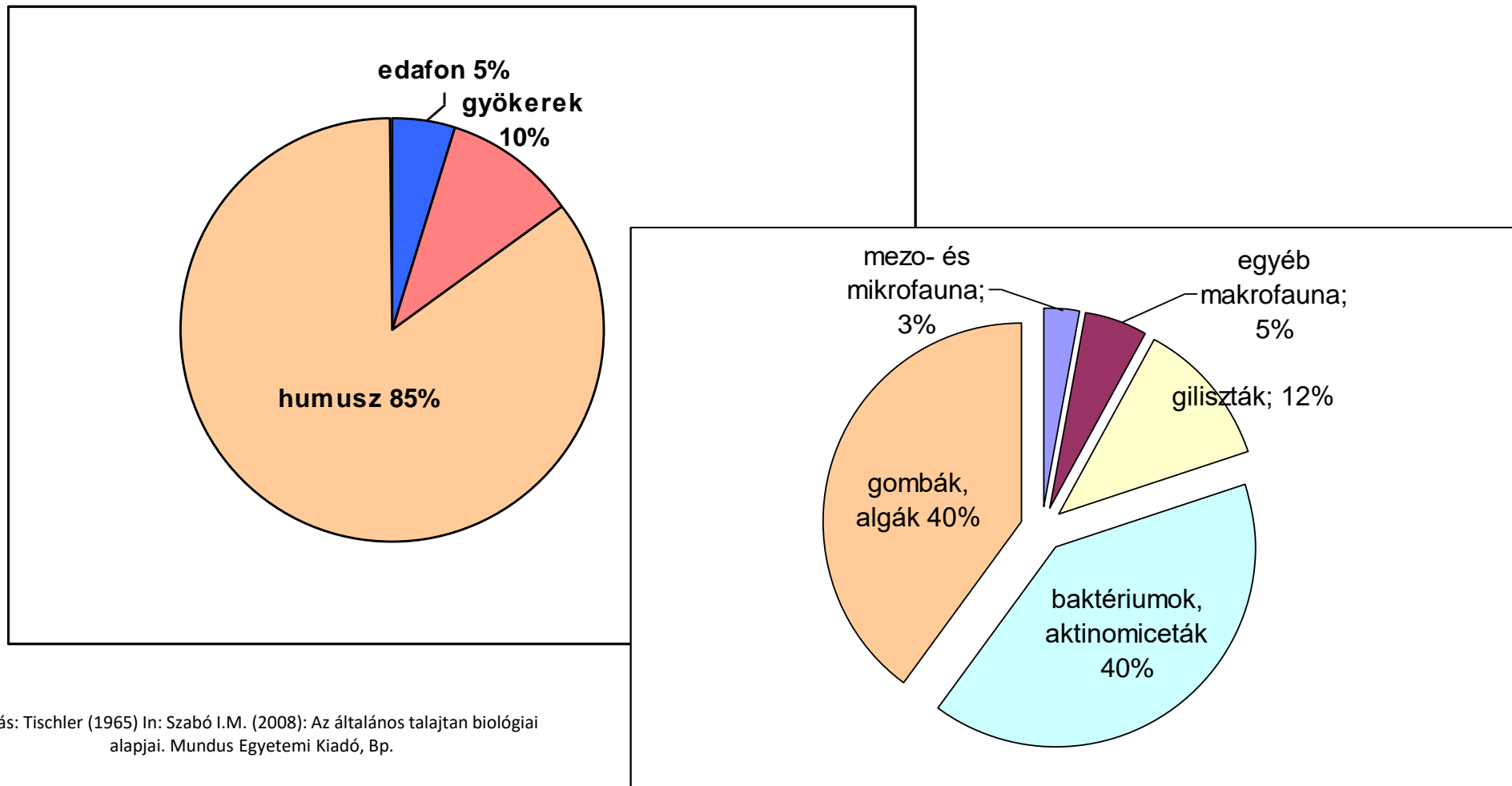
## Talajbióta (gyökerek nélkül)

Baktériumok és aktinomiceták .....	57%
Fauna (total) .....	15%
Gombák .....	28%

Forrás: Szabó I.M. (2008): Az általános talajtan biológiai alapjai. Mundus Egyetemi Kiadó, Bp.

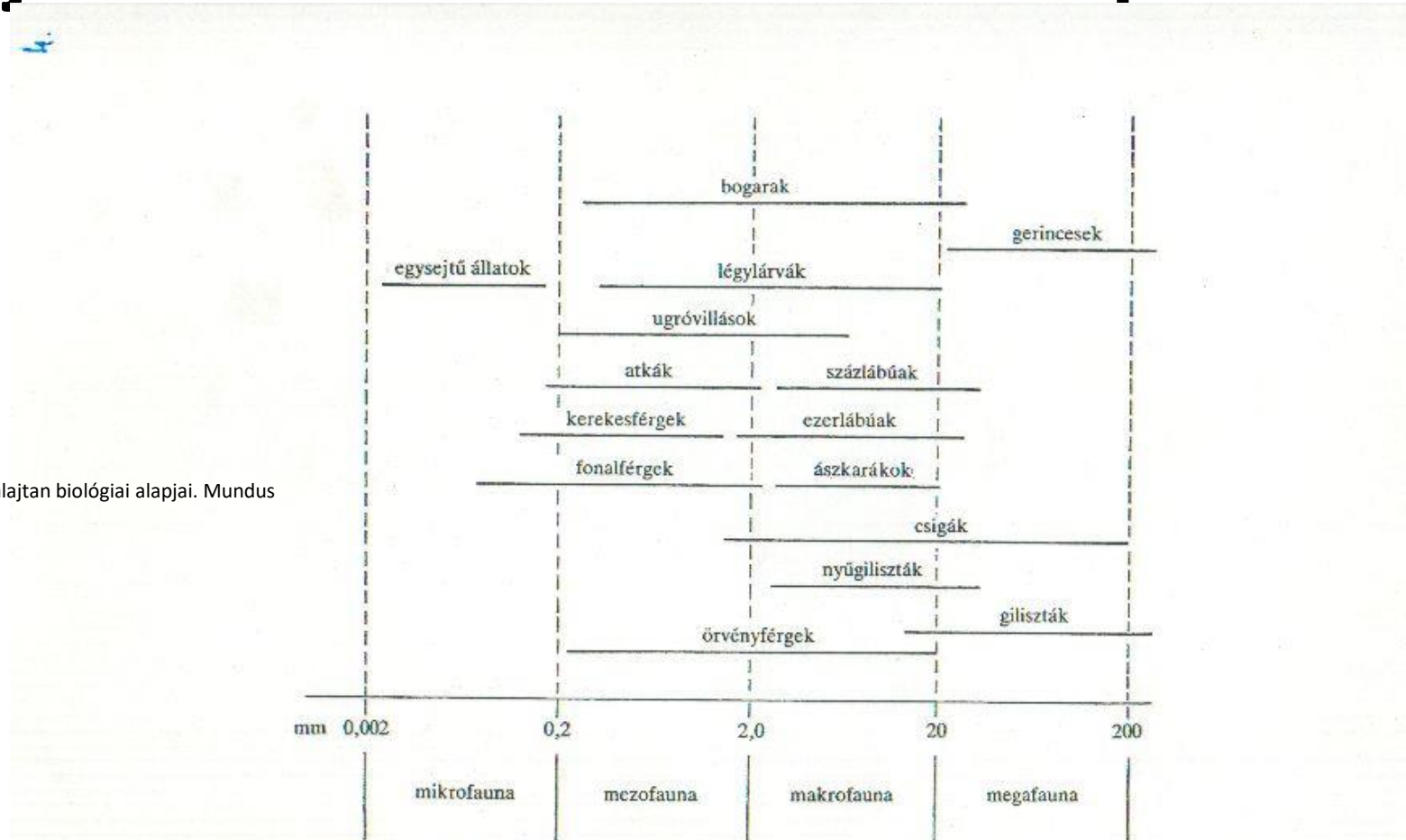


# Szántóföldi talaj szerves anyagának összetétele



Forrás: Tischler (1965) In: Szabó I.M. (2008): Az általános talajtan biológiai alapjai. Mundus Egyetemi Kiadó, Bp.

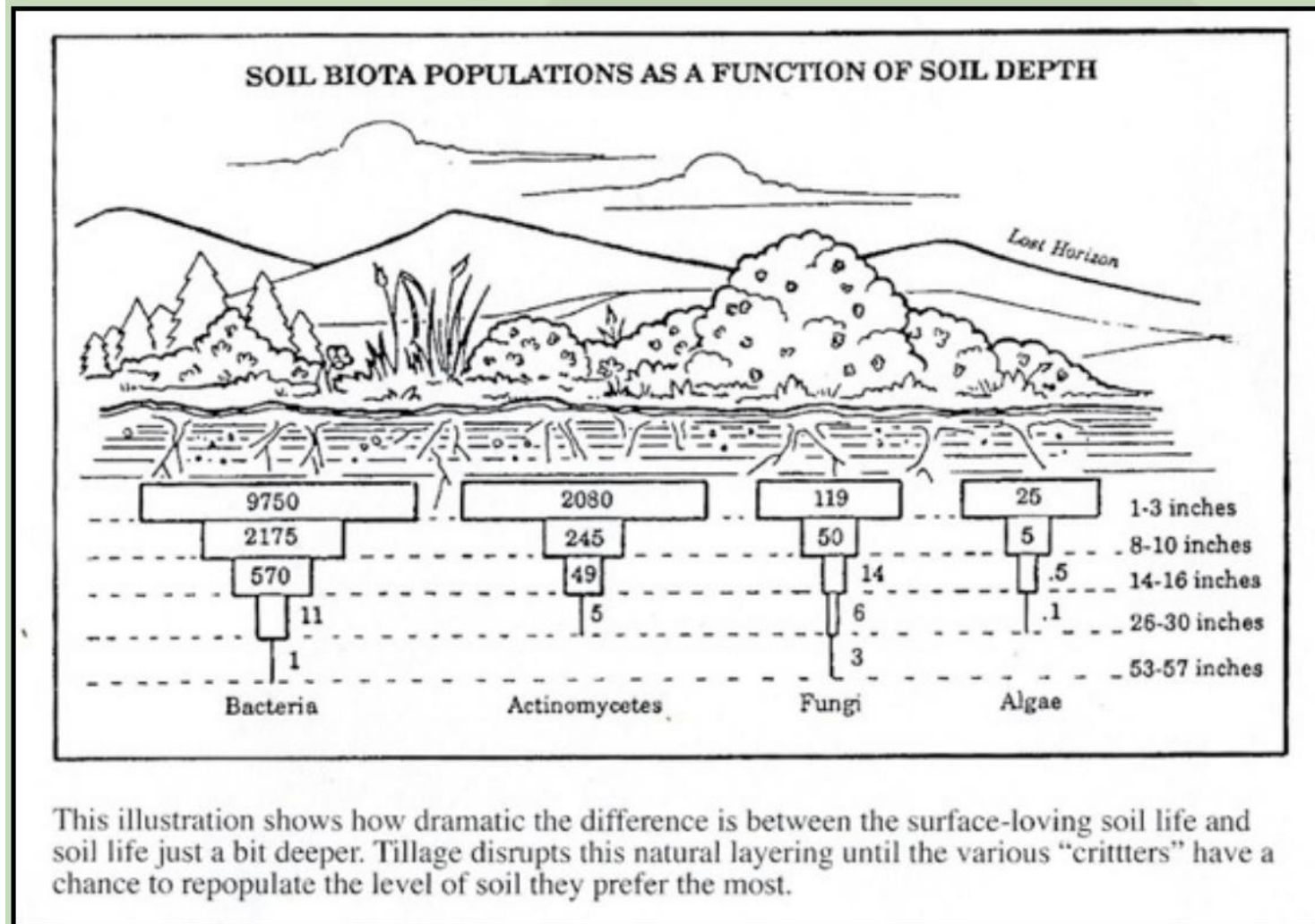
# A talajbióta testméret szerinti csoportosítása



3. ábra. A talajok állatvilágának testméret szerinti csoportosítása

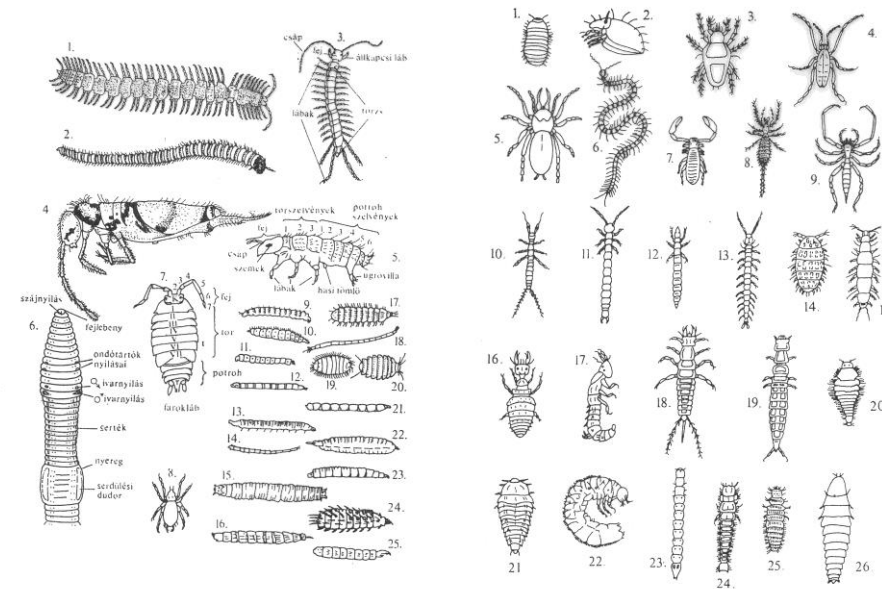
Forrás: Szabó I.M. (2008): Az általános talajtan biológiai alapjai. Munkos Egyetemi Kiadó, Bp.

# Talajbiota egyedszámának változása a mélységgel



# A talajban élő szervezetek egyedszámai/élőtömege

	Egyedszám/m <sup>2</sup>		Élőtömeg g/m <sup>2</sup>	
	átlag	optimum	átlag	optimum
<b>Mikroflóra</b>				
baktériumok	10 <sup>14</sup>	10 <sup>16</sup>	100	700
aktinomiceták	10 <sup>13</sup>	10 <sup>15</sup>	100	500
gombák	10 <sup>11</sup>	10 <sup>14</sup>	100	1000
algák	10 <sup>8</sup>	10 <sup>11</sup>	20	150
<b>Mikrofauna</b>				
ostorosok ( <i>Flagellata</i> )	10 <sup>8</sup>	10 <sup>10</sup>		
gyökérlábúak ( <i>Rhizopoda</i> )	10 <sup>7</sup>	10 <sup>10</sup>	5	150
csillósok ( <i>Ciliata</i> )	10 <sup>6</sup>	10 <sup>8</sup>		
<b>Mezofauna</b>				
kerekesférgek ( <i>Rotatoria</i> )	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	0,01	0,3
fonálférgek ( <i>Nematoda</i> )	10 <sup>6</sup>	10 <sup>8</sup>	5	50
medveállatok ( <i>Tardigrada</i> )	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	0,01	0,5
atkák ( <i>Acarina</i> )	7,10 <sup>4</sup>	4,10 <sup>5</sup>	0,6	4
ősrovarok ( <i>Apterygota</i> )	5,10 <sup>4</sup>	4,10 <sup>5</sup>	0,5	4
<b>Makrofauna</b>				
televényférgek ( <i>Enchytraeidae</i> )	30 000	300 000	5	50
földgillisztaék ( <i>Lumbricidae</i> )	100	500	30	200
csigák ( <i>Gastropoda</i> )	50	1 000	1	30
pókok ( <i>Araneae</i> )	50	200	0,2	1
ászkák ( <i>Isopoda</i> )	30	200	0,4	1,5
ikerszelvényesek ( <i>Diplopoda</i> )	100	500	4	10
százlábúak ( <i>Chilopoda</i> )	30	300	0,4	2
egyéb soklábúak ( <i>Myriapoda</i> )	100	2 000	0,05	1
bogarak, bogárlárvák ( <i>Coleoptera</i> )	100	600	1,5	20
légylárvák ( <i>Diptera</i> )	100	1 000	1	15
egyéb rovarok, rovarlárvák	150	15 000	1	15
<b>Megafauna</b>				
Gerincesek ( <i>Vertebrata</i> )	0,01	0,1	0,1	10



Forrás: Szabó I.M. (2008): Az általános talajtan biológiai alapjai. Művelődési és Nemzeti Kultúra és Innováció Könyvtár, Budapest.

# Talaj élőlényeinek átlagos összömege

- átlagos közép-európai réti talajban 25 t élőlény-biomassza hektáronként
  - mikroorganizmusok 20 t
  - gyűrűsférgék 4 t
  - férgek, ízeltlábúak 1 t
- erdei talajban 75 t hektáronként
  - fonálférgék 90kg/ha

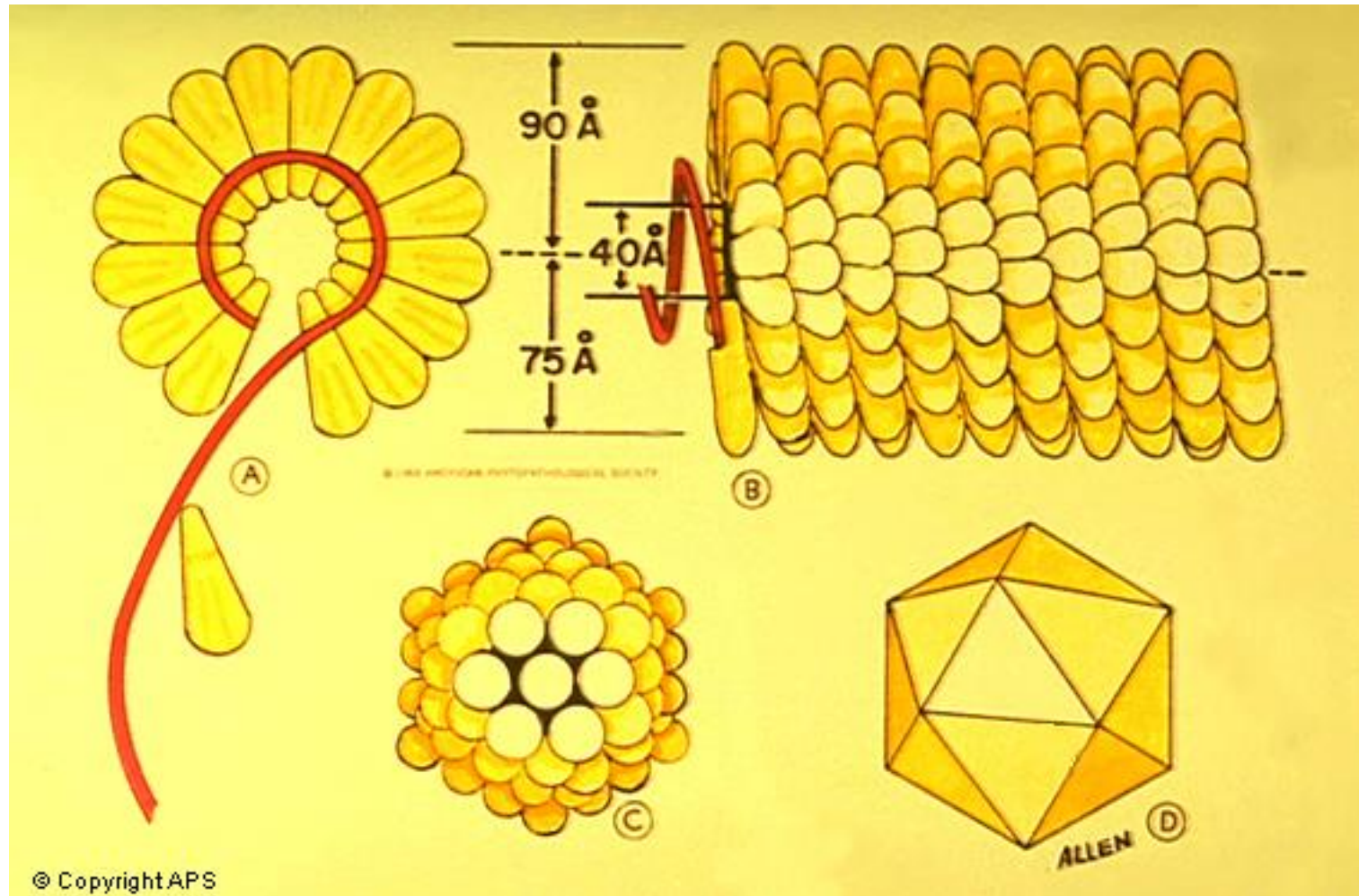


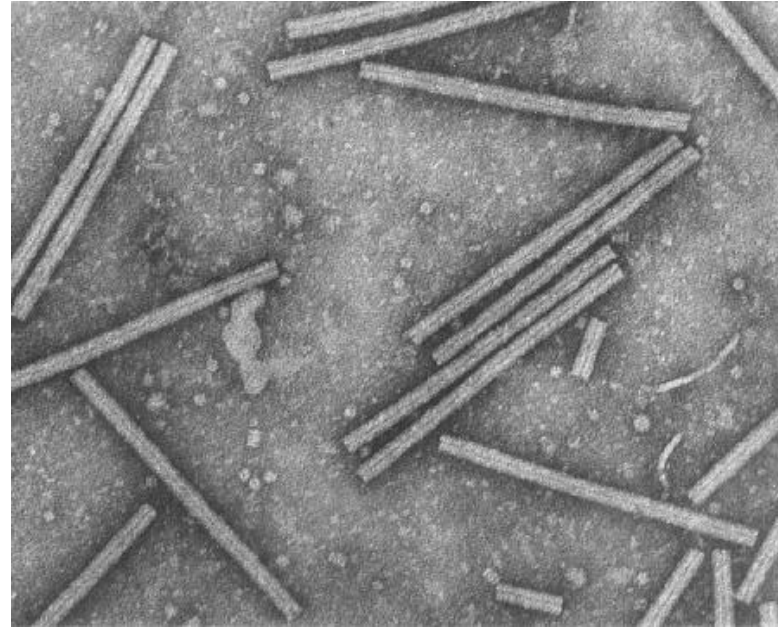
# A vírusok morfológiája

- Vírus=méreg: Pasteur; (TMV: Ivanovszkij, 1892; ragadós száj- és körömfájás, 1898)
- mai nevezéktan: angol, hármas név:
  - gazdaszervezet
  - okozott betegség vagy annak tünete
  - víruscsalád
- Két létezési forma: ezek egymásba folyamatosan átalakulnak
  - virion: a genetikai információ átvitelét szolgáló, életjelenséget nem mutató részecske
  - vegetatív vírus: vírussal fertőzött sejt
- változatos alak, szimmetriák: ikozahedrális, helikális, quasihelikális, binális, összetett kapszid, pleomorf
- burok is lehet (lipidek, glikolipidek)(túlélőkép.: Aujeszky – nyers hús)
- Méretük: 10-300 nm
- nukleinsavuk: ss/ds RNS, ss/ds DNS, osztott is lehet, haploid, de diploid *Retroviridae*, lineáris v. cirkuláris
- vírusfehérjék: struktúrf.(külső, core pr.), nem struktúrf.



# Tobacco Mosaic Virus (TMV)







# A vírusok szaporodása

- Megsokszorozódás!
- Energiatermelő, enzimszinetizáló rendszerük nincsen
- nukleinsavreplikáló enzimrendszer nincs vagy hiányos
- obligát sejtparaziták
- gazdaszervezetek köre tág (baktérium(fág), gomba, növény, állat)
- gazdaspektrum lehet széles/szűk (zoonózis, orphan vírusok)
- Perzisztens (pl. róka Adenov.) / proliferatív (pl. rákkeltő vírusok) / produktív infekció (pl. Aujeszky v., veszettség, TMV)



# Szubvirális elemek

- Viroidok:
  - vírushoz hasonlóak, de nincs fehérjeburok, csak cirkuláris, ssRNS (kb. 250-400 nukleotid);
  - mind növénypatogének (burgonya orsós gumókór, komlósatnyaság, kókuszpálma/olajpálma cadang-cadang betegsége(!)), <30 ismert képviselőjük;
- Fertőző spongiform encephalopathiák (PRION-ok):
  - PrP<sup>c</sup> és PrP<sup>Sc</sup> fehérjék (Prion Protein; scrapie)
  - extrém ellenálló képesség (136-138°C/20 perc)
  - juhok scrapie bet. (surlókór), BSE, Jacob-Creutzfeld, vJCD, Kuru, macska sp. enc., szarvasok sorvasztó betegsége, nyérc fert. enc.
  - Állati eredetű melléktermékeket tartalmazó szerves trágya és talajjavítók talajon történő felhasználása! – talajvédelmi terv! – legeltetési/betakarítási tilalom 21 napig több anyag esetén!!!

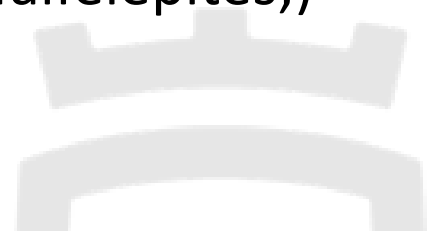
# Szubvirális elemek

- Ribozimek:
  - Enzimatiszus aktivitású RNS molekulák!
  - Természetes előfordulásúak, de mesterségesen is előállíthatók, 'tenyészthetők' különböző szubsztrátokon
  - A korai élet egyik lehetséges kulcsmolekulájaként tartják számon, mert egyszerre képes információt tárolni és katalitikus aktivitással is rendelkezhet!
  - Számos apró szatellit RNS-t kapcsolatba lehet hozni növényi vírusokkal, de akár a humán Hepatitis-delta vírussal



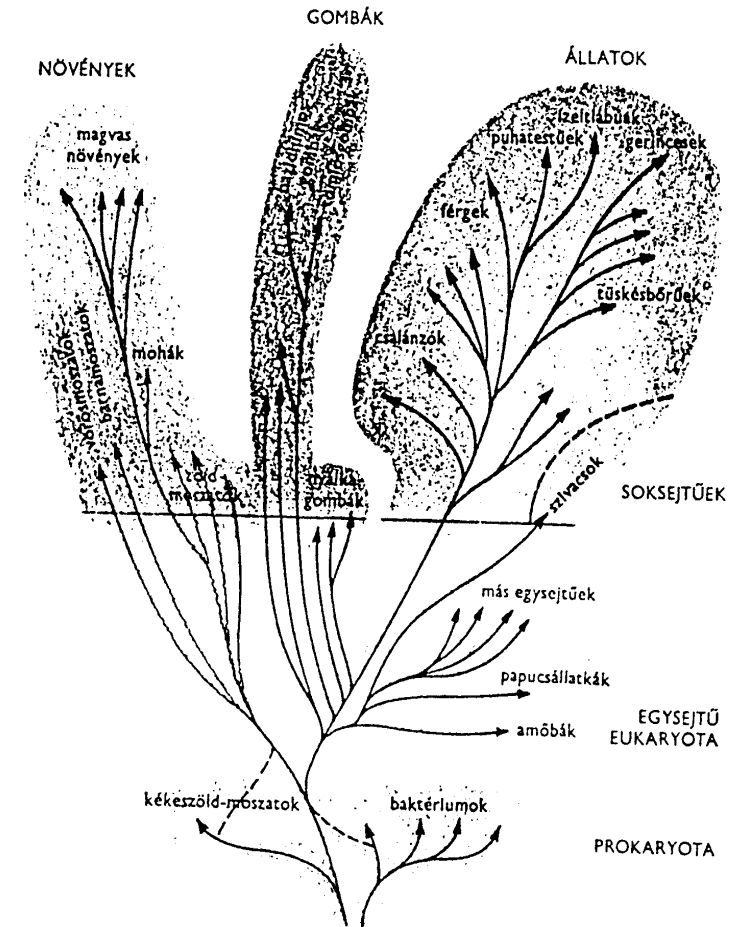
# Prokarióták

- Alapvetően baktériumok!
- Méretük 0,5-2,0  $\mu\text{m}$
- Valódi magmembrán nincs – 1 db cirkuláris dsDNS
  - További genetikai információ PLAZMIDOKBAN!
- Ugyan nincs szexuális reprodukció, de van HORIZONTÁLIS GÉNÁTVITEL!
- Egyedi sejtfalszerveződés (Gram<sup>-</sup> és Gram<sup>+</sup> sejtfal különbözősége, peptidoglükán)
- Sokféle anyagcserére képesek! (aerob és anaerob légzés, fermentáció);
- Talajokban meghatározó szerepűek!
- Túlélőképletek szerepe fontos! (spóráképző képesség!; spec. Sejtfalfelépítés;)



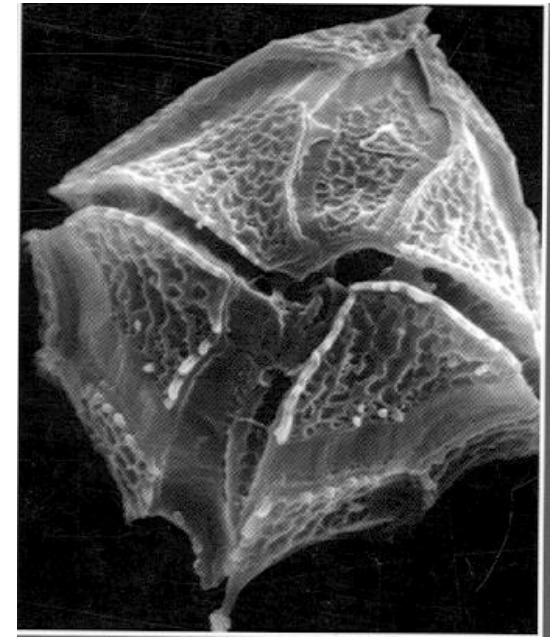
# Eukarióták

- Algák; gombák; protozoák;
- 1998-as Cavalier-Smith-féle rendszer:
- Ált. 2->100 µm méret;
- Valódi sejtmag, lineáris, több kromoszómában rendeződik;
- Szexuális reprodukciós is (mitózis, meiózis; gombaspórák);
- Komplex sejt felépítés, sejtszervecskék, membránrendszer;
- Rendszertani egységként eltérő sejt felszerkezetek;

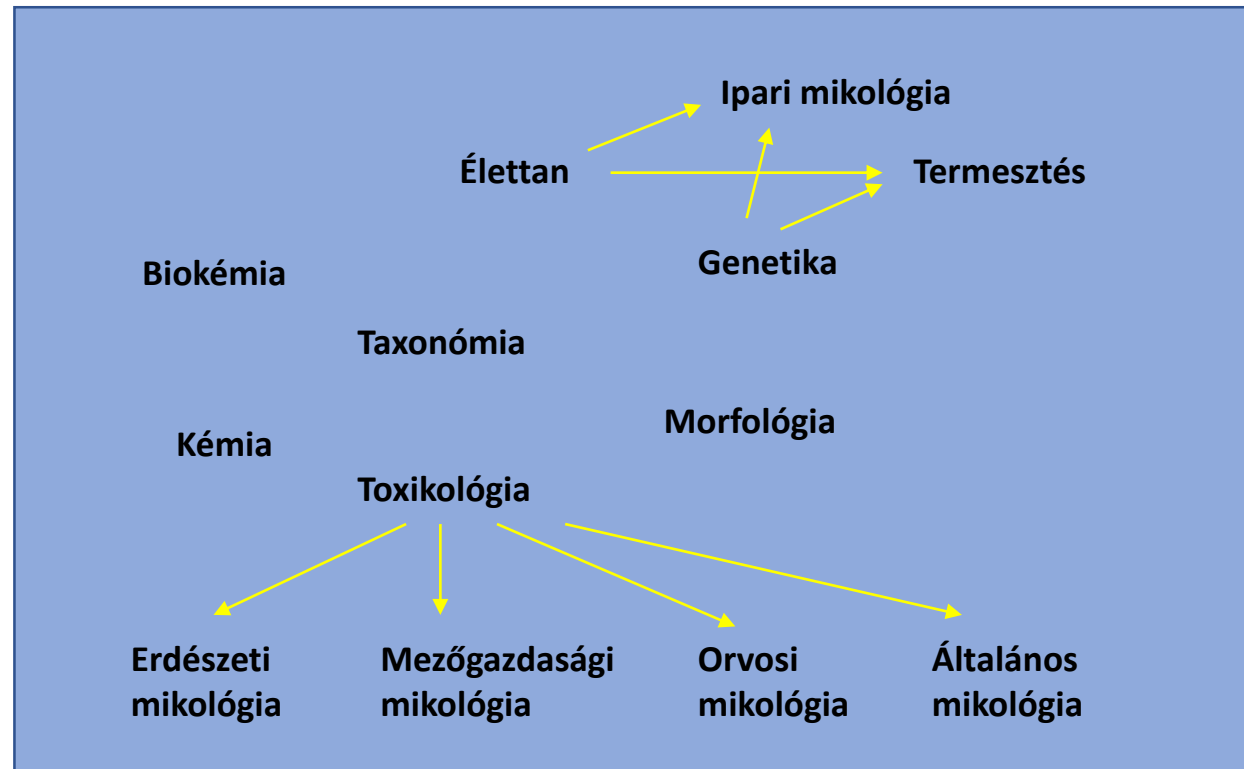


# Algák

- Az algák olyan egy- vagy többsejtű, változatos felépítésű fotoszintetikus növények, melyeknek nincs gyökerük, levelük, szöveteik;
- egyes fajaik teljes életük során, mások az élelciklusuk egyes fázisaiban nem fotoszintetizálnak, de nagyon hasonlítanak a fotoszintetizáló formákhoz;
- Talajokban elsősorban cianobaktériumok szerepe emelhető ki! (elsősorban nyers talajfelszíneken, sziklákon/ban) – iniciális talajfejlődés, biomasszatermelés, biológiailag indukált mállás;



# GOMBÁK - A mikológia tudományágai és kapcsolataik egyéb területekkel



# Gombák

**Az ember számára KÁROS lehet:**

- növénytermesztésben
- állati és humán mikózisok
- mikotoxinok
- allergének
- biodestrukció





# Gombák

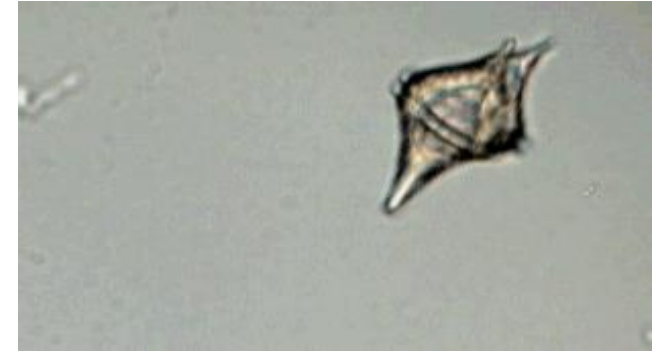
## Az ember számára HASZNOS lehet:

- élesztők
- szteroidok előállítása
- metabolitjaik
- Növényi növekedésserkentők
- TEMPEH (*Aspergillus*)
- sajtérlelés, téliszalámi
- ipari enzim-előállítás (pl. lipáz)
- biomasszaként tápélesztő, tápl. kiegészítő (pl. párizsi)
- biológiai védekezés a mezőgazdaságban
- erdészet (mikorrhizák)

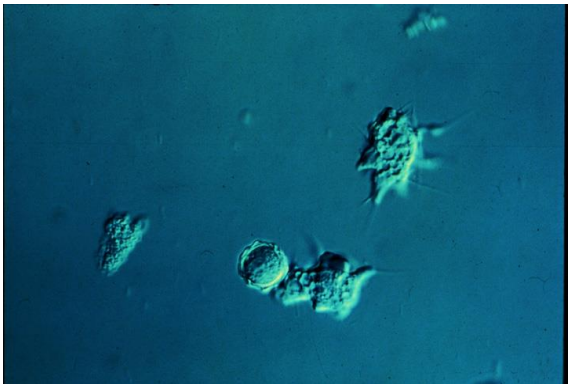


# Protozoák

- Eukarióta, egysejtű, állandóan vagy időszakosan heterotróf életmódú élőlényeket sorolnak ide.
- Rendszerezésükben a molekuláris genetikai módszerek alapvetőek (nukleinsav alapján törzsfák készítése);
- Édesvízi egysejtűek – predátorok;
- Élősködő (parazita) képviselők is;
- Egyedi sejtalkotók (plasztiszok, peroxiszómák, hidrogenoszómák, acidokalciszómák, lizoszómák, rezervoszómák, glikoszómák, extruszómák);
- Foraminiférák (=likacsoshéjúak)
- Plasmodium sp.
- Amoebozoa törzs;
- Ciliophora törzs – gyakorlati jelentőség vízminősítésben;



# PROTOZOA



## Csillósok (Ciliata)

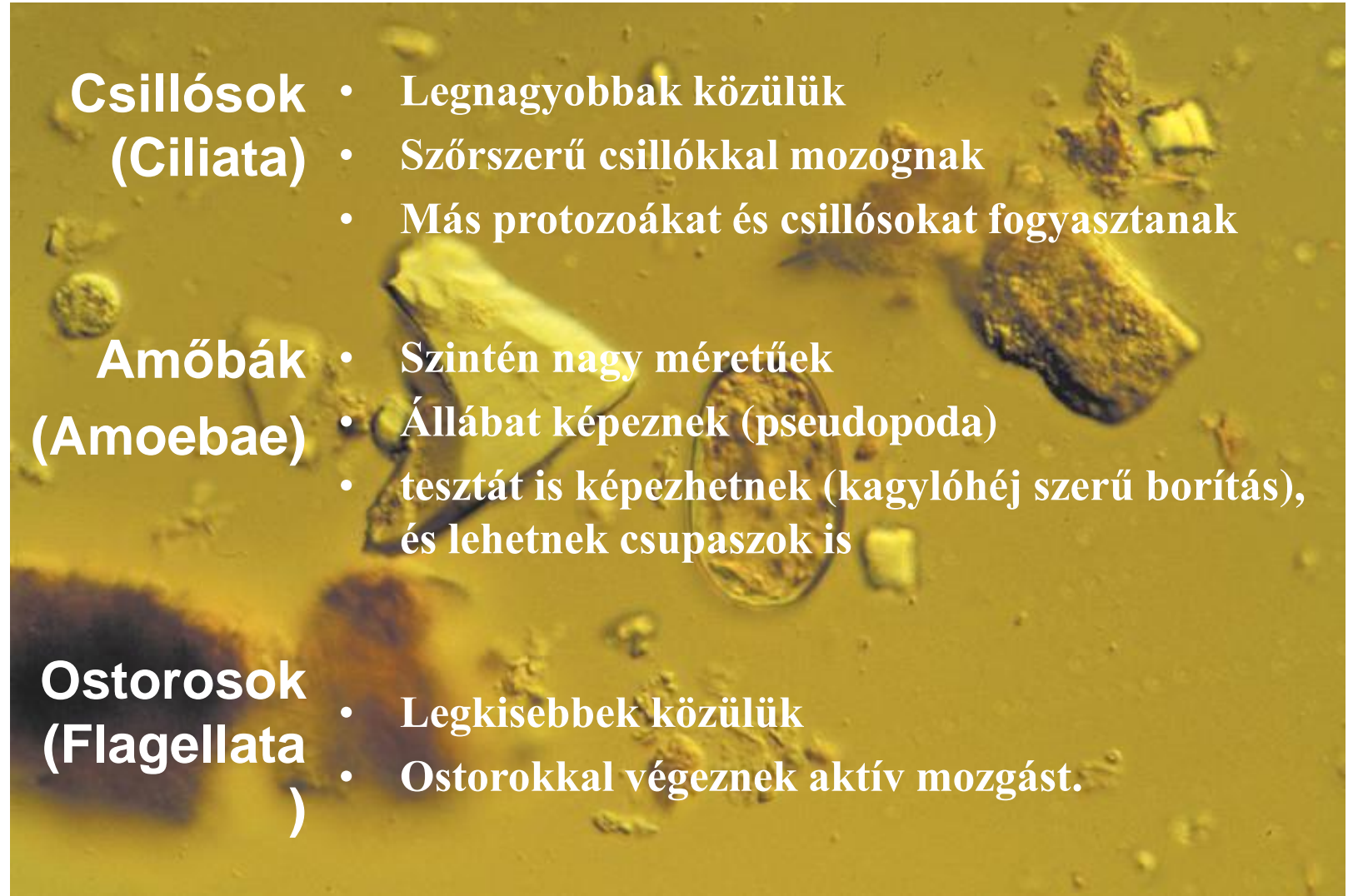
- Legnagyobbak közülük
- Szórszerű csillókkal mozognak
- Más protozoákat és csillósokat fogyasztanak

## Amőbák (Amoebae)

- Szintén nagy méretűek
- Állábat képeznek (pseudopoda)
- tesztát is képezhetnek (kagylóhéj szerű borítás), és lehetnek csupaszok is

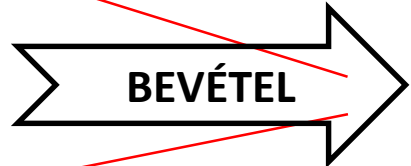
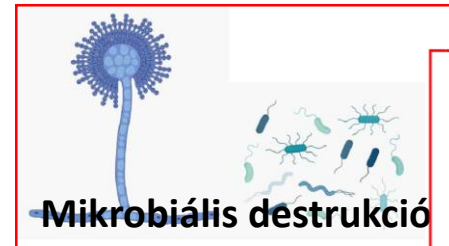
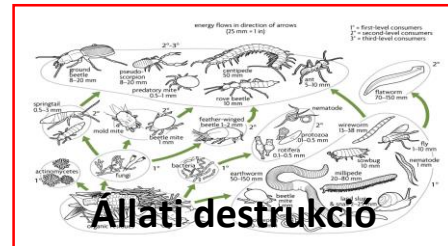
## Ostorosok (Flagellata )

- Legkisebbek közülük
- Ostorokkal végeznek aktív mozgást.



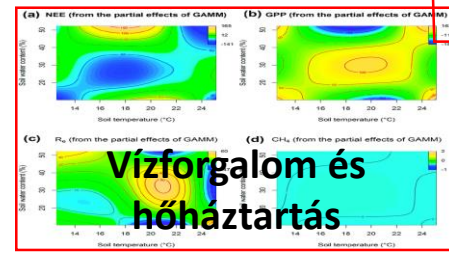
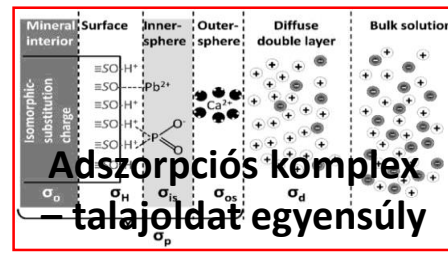
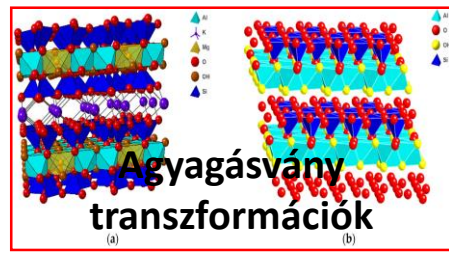
# A talaj mint anyag- és energiaforgalmi rendszer

## TALAJ RENDSZER



biológiai alrendszer

abiotikus alrendszer

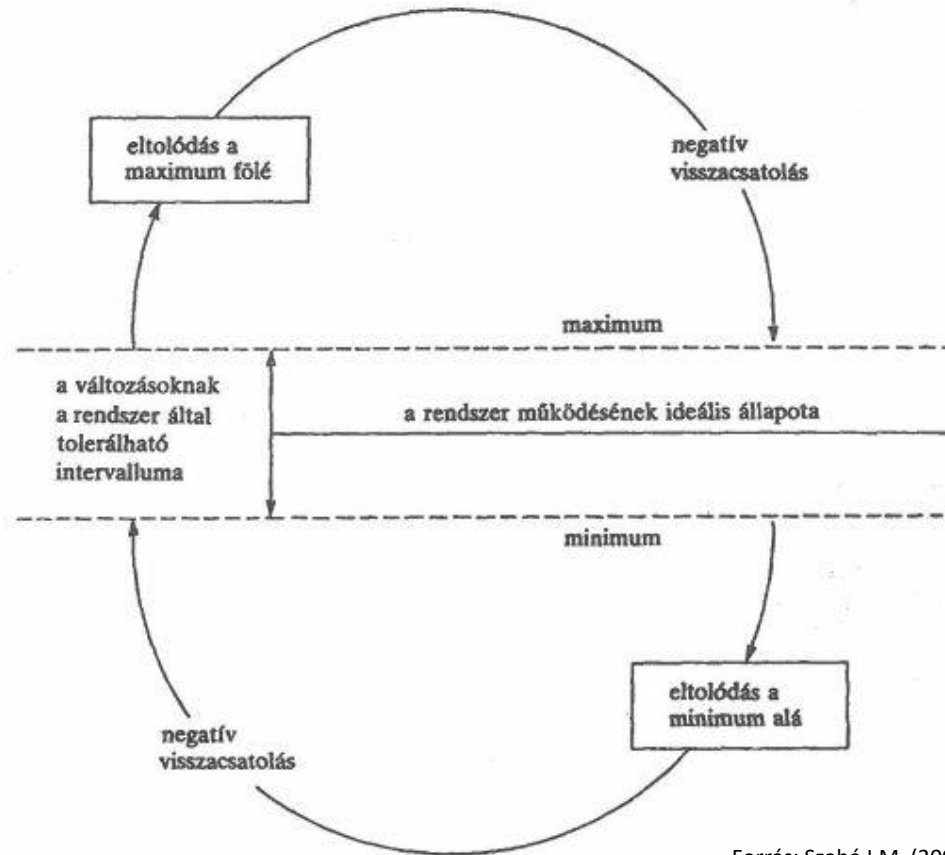


Képek forrásai:

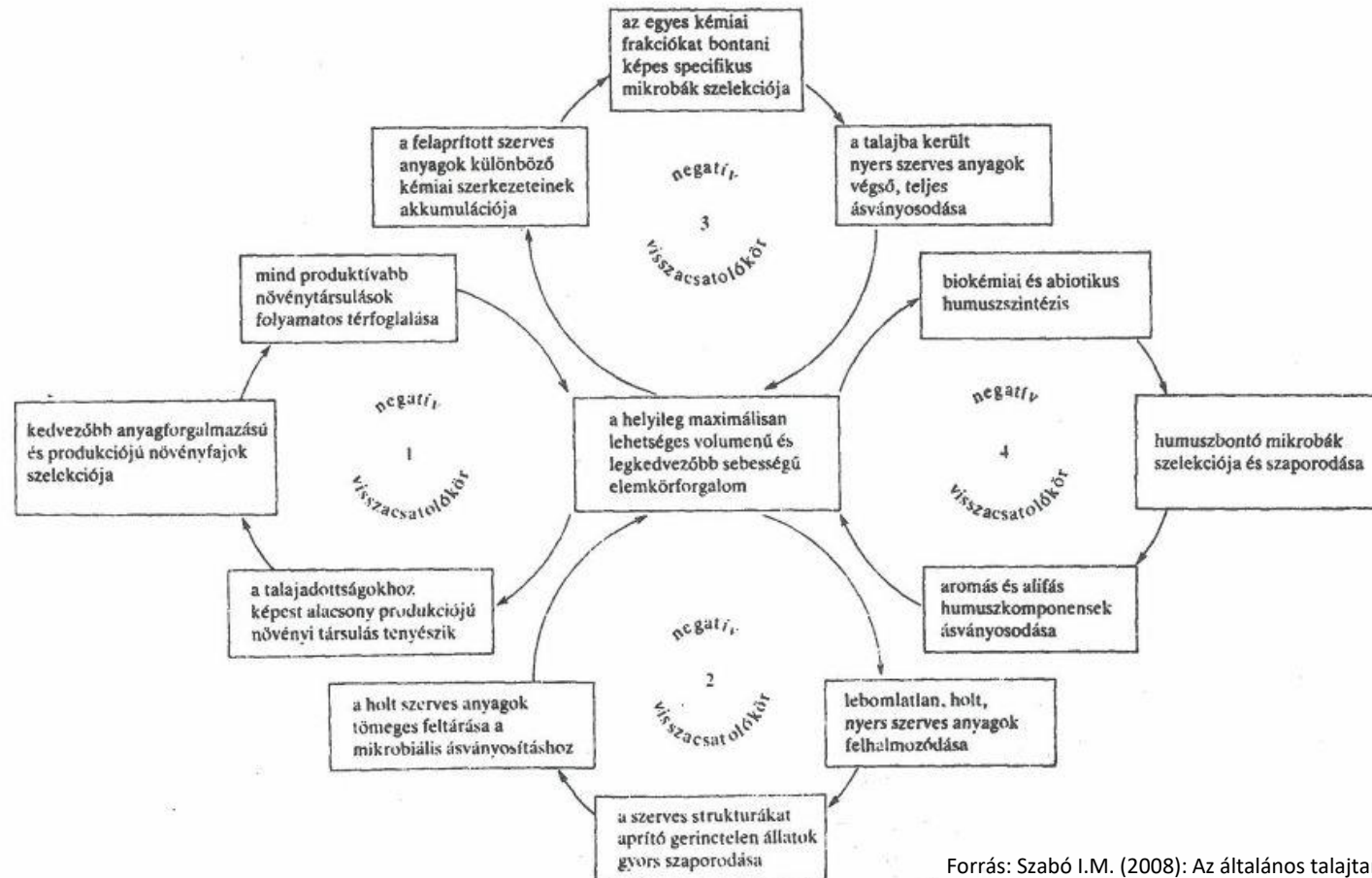
1. <https://www.wur.nl/en/newsarticle/drawings-of-forest-trees-in-the-root-systems-collection.htm>
2. <https://www.sare.org/publications/building-soils-for-better-crops/the-living-soil/>
3. <https://thebiologynotes.com/decomposers-definition-types-examples/>
4. <https://fineartamerica.com/featured/limestone-pavement-martyn-f-chillmaidscience-photo-library.html?product=canvas-print>
5. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706117310273>
6. <https://www.mdpi.com/2075-1729/12/2/259#>
7. <https://www.mdpi.com/2571-8789/5/1/13>
8. [https://www.researchgate.net/figure/Interactive-effects-of-soil-temperature-and-soil-water-content-on-NEE-GPP-Re-and-CH4\\_fig1\\_329133972](https://www.researchgate.net/figure/Interactive-effects-of-soil-temperature-and-soil-water-content-on-NEE-GPP-Re-and-CH4_fig1_329133972)
9. <https://www.geographyrealm.com/physical-chemical-of-weathering-of-rocks/>
10. <https://soilhealth.ucdavis.edu/soil-challenges/structural-degradation>



# A negatív visszacsatolás vázlatja



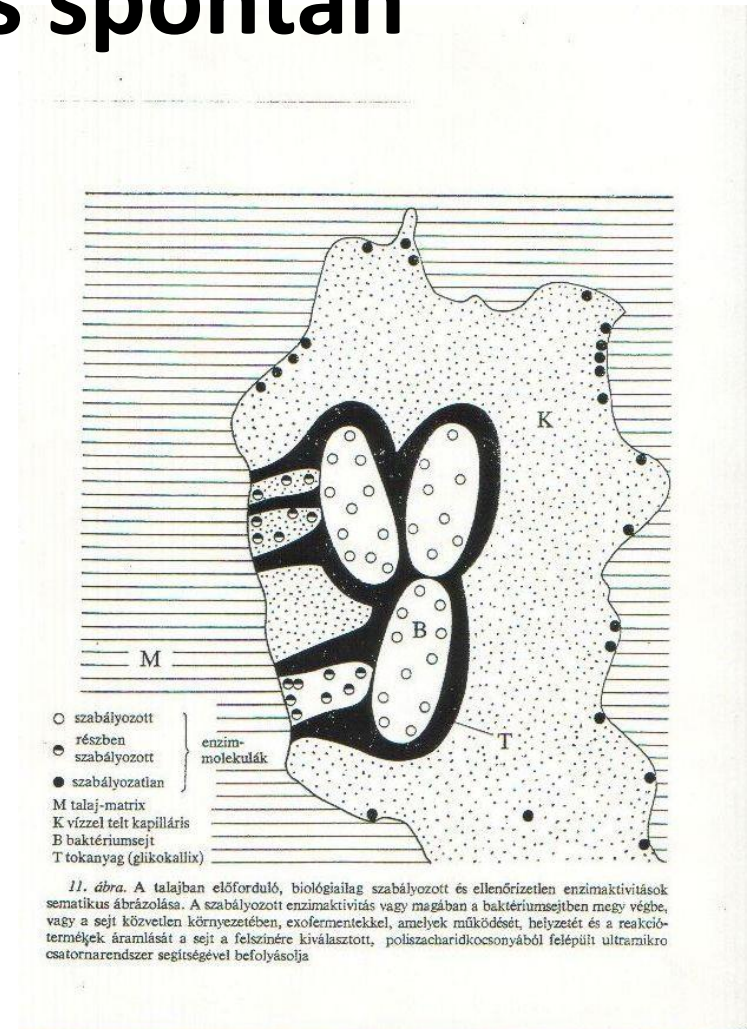
# Erdei talaj szerves anyag-áramait szabályozó mechanizmusok kapcsolódása



# A talajok biológiailag ellenőrzött és spontán biokémiai folyamatai

A talajokban végbemenő kémiai reakciókat feloszthatjuk három kategóriára a következők szerint:

- tisztán kémiai reakciók;
- biológiailag ellenőrzött biokémiai történések;
- biológiailag ellenőrizetlen biokémiai folyamatok.





# A talajok biológiailag ellenőrzött és spontán biokémiai folyamatai

A talajfolyamatok tanulmányozásakor általában a *tisztán kémiai, továbbá a biológiai reakcióláncokat* igyekeznek nyomon követni, míg a *biológiailag ellenőrizetlen biokémiai reakcióláncok* dinamikája csaknem mindig rejtve marad.

Márpedig a talajokban rendszeresen a mikrobaközösségek tömegkatasztrófái, amelyeket pl. a mélyszántáskor a felszíni rétegek mélybe forgatását követő, gyorsan kialakuló anaerobiózis vagy a kiszáradás, a sók emelkedése a talajvízzel vált ki, és amelyek következtében nagy mennyiségű mikrobaenzim, kofaktor, fehérje, szabályozó komponens, stb. válik szabaddá. Ezek egy része *a talaj adszorpciós komplexumában rögzülve aktivitását megtarthatja*, ill. esetenként tovább működhet.

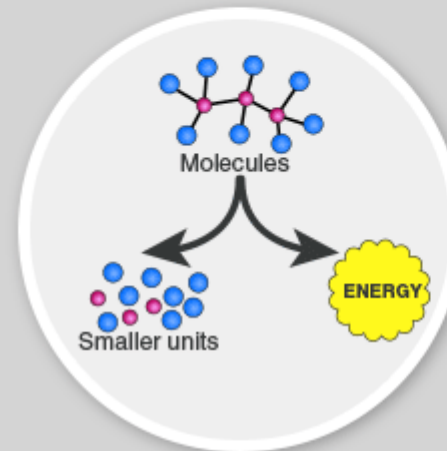
# Példák a talajok biológiailag nem ellenőrzött biokémiai folyamataira

- *komplex poliszacharidok képződése*, melyek előállítására in vivo egyetlen élő szervezet sem képes. Ezeket az összetett cukrokat az alap-építőelemekből különböző, ellenőrizetlenül működött szabad enzimek véletlenszerű sorrendben polimerizálhatják;
- *vízoldékony enzimek, melyek a széteső mikrobásejtekből szabadulnak ki* (pl. végoxidázok, fenol-oxidázok, ill. polifenol-oxidázok):
  - kaotikus szerkezetű, véletlenszerűen felépített aromás vegyületeket szintetizálnak, amelyek a humuszsavak folytatólagos szintéziséhez képezhetnek építőelemeket;
  - valószínűleg sokkal gyakoribb a talajoldatban szabadon előforduló különböző szubsztrátmolekulák hasítása.
- kimutatták, hogy nagyon kis talajnedvesség értékeknél ( $pF > 4,0$ , amikor élő mikrobák aktivitásával már nem számolhatunk) a szabad talajenzimek még mindig funkcionálhatnak.

# Biológiailag ellenőrzött folyamatok: az élő sejt két fő anyagcsere folyamata

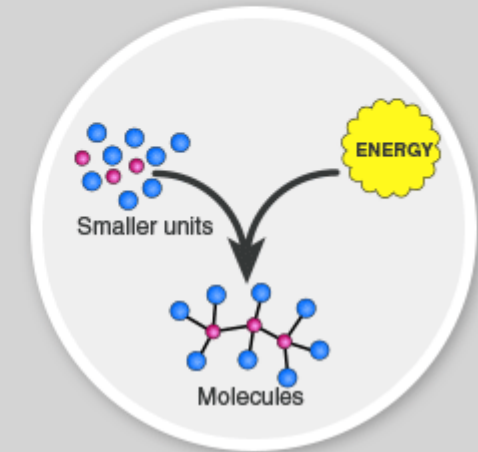
- **Anabolizmus (bioszintézis):** a sejt a környezet anyagát saját élő anyagává és makromolekuláris komponenseivé alakítja át
- **Katabolizmus:** a bioszintézishez szükséges energiát biztosító lebontó folyamatok

## DIFFERENCES BETWEEN CATABOLISM AND ANABOLISM



### CATABOLISM

CATABOLISM IS THE SET OF METABOLIC PATHWAYS THAT BREAKS DOWN MOLECULES INTO SMALLER UNITS THAT ARE EITHER OXIDIZED TO RELEASE ENERGY OR USED IN OTHER ANABOLIC REACTIONS.



### ANABOLISM

ANABOLISM IS THE SET OF METABOLIC PATHWAYS THAT CONSTRUCT MOLECULES FROM SMALLER UNITS, THESE REACTIONS REQUIRE ENERGY, KNOWN ALSO AS AN ENDERGONIC PROCESS.

# Az élő sejt két fő anyagcsere folyamatának kapcsolata

- **Anabolizmus** vagy más szóval bioszintézis: ekkor a sejt a környezet anyagát saját élő anyagává és makromolekuláris komponenseivé alakítja át, a kiindulási anyagoknál nagyobb molekulák keletkeznek, általában új kémiai és fizikai kötések létrejöttével és energiafelhasználással. Ehhez az energiát struktúrelemei lebontásával szerzi, és a struktúrelemek helyreállításához, újraépítéséhez energiára van szüksége az elhasznált helyett. Fokozottan érvényes ez akkor, ha a sejt nem csak a meglévő struktúráit akarja újraépíteni, hanem célja a növekedés, szaporodás is.



# Az élő sejt két fő anyagcsere folyamatának kapcsolata

- A szervezett energiautánpótlást az anyagcserefolyamatok másik fajtája, a **katabolizmus** folyamatai végzik. Ezek lebontási folyamatok, kötések felszakadásával járnak, a nagy molekulák kisebbekre bontódnak és energia szabadul fel. A kétfajta reakció között az összekötő kapcsot a nagyenergiájú kémiai kötések jelentik. Ez a két folyamat minden élő sejtben lezajlik.
  - Jó példa erre az áttérés az aerob légzésre, amely változás az oxidáló légkör megjelenéséhez kapcsolódik a Föld történetében. Ez az energiefelszabadító folyamatok új formáját tette lehetővé és szükségessé, de az alapfolyamat lényegén semmit sem változtatott.

# Az energiefelszabadítással járó anyagcsere-folyamatok

- Ezek az ún. exergon folyamatok;
- Oxidációs-redukciós folyamatokból állnak;
- legtöbbször a hidrogén oxidációjára épülnek;
- redukált szerves vegyületet igényelnek kiindulásként!
- A redoxi-folyamatokhoz két molekulára van szükség. Az egyik molekula elveszít egy hidrogént és/vagy egy elektront, a másik pedig felveszi azt. Az előbbi oxidálódott, az utóbbi redukálódott, és a reakció közben energia szabadult fel!!!
- Ez az energia távozhat hőenergia formájában, de beépülhet más vegyületekbe kémiai kötések energiájaként lekötve. Ehhez megfelelő közvetítő rendszerekre van szükség.



# A redoxifolyamatok alapelvei

- Magát az oxidálódó molekulát nevezzük *hidrogéndonornak*, hiszen ez adja a hidrogént és az elektronokat. Gyakran nevezik még *reduktánsnak*, mert ez idézi elő a másik molekula redukcióját a saját oxidációja révén, illetve hívják még **szubsztrátnak** is, mert ő a tulajdonképpeni alanya a reakciónak.
- Ezek alapján alkalmazhatóak az oxidáns és hidrogénakceptor fogalmak a redukálódó molekulára.
- Egy szubsztrátmolekula (például glükóz) rendszerint több eltávolítható hidrogénnel rendelkezik, amelyek egymás után szakadnak le és kerülnek át rendszerint több hidrogénakceptorra (pl. egy oxigén csak max. 4 hidrogénatomot képes felvenni). A szubsztrát oxidációjának *első lépései rendszerint anaerob erjedéssel* mennek végbe, majd a *félíg eloxidált szubsztrát bekerül a trikarbonsavciklusba* (Szentgyörgyi-Krebs ciklus), és teljesen eloxidálódik szén-dioxiddá. Ez a második ciklus jóval több energiát szabadít fel, mint az erjedéses szakasz.

# Az élőlények csoportosítása az energiafelszabadító redoxifolyamatok minősége szerint

- Azok az élőlények, amelyek a természetben található inorganikus vagy organikus eredetű, redukált anyagokat használják fel energianyerő folyamatokhoz, a **kemotróf** szervezetek. Ezek lehetnek a résztvevő anyagok a minősége szerint *kemolitotrófok* (pl. baktériumok) és *kemoorganotrófok* (pl. állatok, gombák, egyes baktériumok).
- A Föld felszínén található redukált szerves és szervetlen vegyületek hamar elfogynának, ha a bioszféra maga nem gondoskodna ezek újratermeléséről. Ezt a folyamatot végzik a **fototrófok**. Ezek funkciója az élő rendszerben az, hogy, a nap sugárzó energiájának segítségével fotokémiai úton az oxidált vegyületeket redukálják, és ezzel lehetővé teszik bejutásukat saját és a kemotrófok oxidációs rendszereibe



# Néhány anyagcserefolyamat definíciója

- **Fotoszintézis:** a szén-dioxid fotokémiai úton történő redukciója, egyben tehát a szén-dioxid alapú bioszintézis:
  - **fotolitotrófok** (zöld növények és fotoszintetizáló baktériumok) fotoredukciója terhére történő autotróf  $\text{CO}_2$ -asszimiláció.
  - **fotoorganotrófok** (egyes baktériumok), amennyiben a hidrogéndonor, amelynek rovására a redukciót végzik, szerves vegyület.
- **Kemoszintézis:** kemolitotrófok kemooxidációs reakcióinak terhére történő autotróf  $\text{CO}_2$ -asszimiláció. A redukált molekulák felépítésének kiindulási molekulája általában a  $\text{CO}_2$ , de az autotróf asszimilációnak (és vele a kemoszintézisnek) lehet kiinduló anyaga pl.  $\text{N}_2$  is. A  $\text{N}_2$  asszimilációját fototrófok és kemotrófok egyaránt végzik!
- **Bioszintézis:** olyan biológiai folyamat, amely során szerves és szervetlen szubsztrátok felvétele, redukciója és makromolekulákba való átalakítása és az élő szervezetbe való beépítése történik.



# Bioszintézis fogalma

- A bioszintézis fogalma tehát nem csak az élőlényekben végzett anyagfelvételt jelenti, hanem komplexebb fogalom:
  - - Jelent anyagfelvételt általában, amely a bioszintézis alapjául szolgáló molekulák felvétele. Ezek a molekulák lehetnek szervetlenek ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) és szervesek.
  - - Jelent egyben redukciós folyamatokat is, mert a *felvett molekulákat az élő szervezetbe történő beépítéshez redukálni kell*. A redukcióhoz szükséges hidrogéndonor előállítása az energiafelszabadító folyamatok során szabaddá váló energia rovására történik.
- Ha a felvett molekula - melynek felvételét és redukcióját együtt asszimilációnak hívjuk - szervetlen vegyület, akkor *autotróf* asszimilációról, ha szerves, akkor *heterotróf* asszimilációról beszélünk.

# Légzés és erjedés

- **Légzésnek** nevezzük azon biológai redoxifolyamatokat, ahol a hidrogénakceptor szervetlen vegyület.
  - Ha ez *a szervetlen vegyület* (mint az állat- és növényvilágban általánosan, a baktériumok és gombák jó részénél elterjedt) a *légköri molekuláris oxigén*, akkor *aerob légzésről* beszélünk.
  - Amennyiben a hidrogénakceptor *szervetlen vegyület, de nem oxigén* (pl.  $\text{NO}_3$ ) akkor *anaerob légzésről* van szó.
- **Erjedésnek** nevezzük azon biológai redoxifolyamatokat, ahol a hidrogénakceptor szerves vegyület.

# Biológiailag ellenőrzött aktivitások: a talajokban élő mikroorganizmusok anyagcseretípusai

Elsődleges hidrogéndonor	Terminális hidrogénakceptor		
	O <sub>2</sub> (aerob légzés)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>2</sub> stb. (anaerob légzés)	Szerves vegyületek (fermentáció)
Szervetlen vegyületek	<p>I.</p> <p>Aerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Nitrosomonas</i></p> <p>NH<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p> <p>SH<sub>2</sub>, S, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup></p>	<p>III.</p> <p>Anaerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Thiobacillus denitrificans</i></p> <p>S → SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></p> <p>NO<sub>3</sub> → N<sub>2</sub></p>	Nincs
Szerves vegyületek	<p>II.</p> <p>Aerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: mikroorganizmusok gerinces és gerinctelen állatok</p> <p>glükóz → CO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p>	<p>IV.</p> <p>Anaerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Desulfovibrio</i></p> <p>tejsav → CO<sub>2</sub></p> <p>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → H<sub>2</sub>S</p>	<p>V.</p> <p>Szerves vegyületek fermentálása</p> <p>Példa: <i>Streptococcus</i></p> <p>-4 H</p> <p>glükóz → 2 piruvát</p> <p>↓ + 4 H</p> <p>2 tejsav</p>

# *Szervetlen vegyületeket oxidáló aerob légzők*

Azon szervezetek tartoznak ide (kizárólag talaj- és vízi baktériumok), amelyek redukált szervetlen vegyületeket (pl. ammóniát, kén-hidrogént, elemi ként, tioszulfátot, tetracionátot, mangano állapotú mangánt, ferro állapotú vasat, stb.) molekuláris oxigén segítségével oxidálnak el (nitráttá, szulfáttá, a mangánt mangani, a vasat ferri állapotba, stb.), miközben az oxigén vízzé redukálódik, a mikroba pedig a felszabaduló energiával nagy energiájú foszfátkötéseket (ATP) szintetizál.

- **a talajokban számos növényi tápelem körforgalmának kulcsfontosságú irányítói.** Szerepüket legjobban a **nitrogén és a kén körforgalmában** tisztázták.

# Biológiailag ellenőrzött aktivitások: a talajokban élő mikroorganizmusok anyagcseretípusai

Elsődleges hidrogéndonor	Terminális hidrogénakceptor		
	O <sub>2</sub> (aerob légzés)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>2</sub> stb. (anaerob légzés)	Szerves vegyületek (fermentáció)
Szervetlen vegyületek	<p>I.</p> <p>Aerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Nitrosomonas</i></p> <p>NH<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p> <p>SH<sub>2</sub>, S, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup></p>	<p>III.</p> <p>Anaerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Thiobacillus denitrificans</i></p> <p>S → SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></p> <p>NO<sub>3</sub> → N<sub>2</sub></p>	Nincs
Szerves vegyületek	<p>II.</p> <p>Aerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: mikroorganizmusok gerinces és gerinctelen állatok</p> <p>glükóz → CO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p>	<p>IV.</p> <p>Anaerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Desulfovibrio</i></p> <p>tejsav → CO<sub>2</sub></p> <p>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → H<sub>2</sub>S</p>	<p>V.</p> <p>Szerves vegyületek fermentálása</p> <p>Példa: <i>Streptococcus</i></p> <p>-4 H</p> <p>glükóz → 2 piruvát</p> <p>↓ + 4 H</p> <p>2 tejsav</p>

# ***Aerob légzők (szerves vegyületekkel)***

- Nagyon különböző szerves vegyületeket égetnek el, és az ennek során felszabaduló energiát hasznosítják nagy energiájú P-kötések szintéziséhez.
- A végső elektronakceptor itt is a molekuláris oxigén, mely vízzé alakul. Ez a leghatékonyabb energiaszerző mechanizmus, számos baktériumban, továbbá valamennyi növényben, állatban és az emberben is ez működik.
- Az ilyen típusú mikrobák a talajban általában óriási csíraszámokban vannak jelen, ezek végzik a legnagyobb intenzitással az ásványosítási folyamatokat, részvételük a növényi tápelemek szerves kötéstől ásványi kötésbe vitelében és a növények számára felvehető állapotba alakításában mennyiségileg is döntő fontosságú.
- A talajokból számtalan anyagcseretípusuk ismert, egyesek pl. cellulózt, lignint bontanak, de vannak főleg fehérje-, szénhidrát- vagy zsírbontók is. Ismertek szűk és széles tápanyag-értékesítési spektrummal rendelkező aerob légzők, s különleges specialisták is.
- A talajok biológiai dinamikájának irányításában és főleg a talajok szervesanyag-háztartásának szabályozásában e kategória szervezetei döntő súllyal szerepelnek.

# Biológiailag ellenőrzött aktivitások: a talajokban élő mikroszervezetek anyagcseretípusai

Elsődleges hidrogéndonor	Terminális hidrogénakceptor		
	O <sub>2</sub> (aerob légzés)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>2</sub> stb. (anaerob légzés)	Szerves vegyületek (fermentáció)
Szervetlen vegyületek	<p>I.</p> <p>Aerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Nitrosomonas</i></p> <p>NH<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p> <p>SH<sub>2</sub>, S, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup></p>	<p>III.</p> <p>Anaerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Thiobacillus denitrificans</i></p> <p>S → SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></p> <p>NO<sub>3</sub> → N<sub>2</sub></p>	Nincs
Szerves vegyületek	<p>II.</p> <p>Aerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: mikroorganizmusok gerinces és gerinctelen állatok</p> <p>glükóz → CO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p>	<p>IV.</p> <p>Anaerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Desulfovibrio</i></p> <p>tejsav → CO<sub>2</sub></p> <p>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → H<sub>2</sub>S</p>	<p>V.</p> <p>Szerves vegyületek fermentálása</p> <p>Példa: <i>Streptococcus</i></p> <p>-4 H</p> <p>glükóz → 2 piruvát</p> <p>↓ + 4 H</p> <p>2 tejsav</p>



# ***Légzésükhöz szervesetlen vegyületeket felhasználó, anaerob szervezetek***

- Ebbe a csoportba csak mikroorganizmusok tartoznak! Jelenlétük viszonylag nem túl gyakori a természetben, de át nem szellőzött talajokban fontosak lehetnek!!!
- Általános szabály, hogy légzés esetén a terminális elektronakceptor mindig valamilyen szervesetlen vegyület, és hogy erre a donorról – ami lehet szerves vagy szervesetlen vegyület egyaránt – az elektronok elektrontranszport-láncon át jutnak (ez utóbbiaknak többek között a citokrómok csaknem mindig részei). Ehhez az elektrontranszporthoz ATP szintézise kapcsolódik, amiért a légzést szinonim kifejezéssel „elektrontranszport-foszforilációnak” is nevezik.
- Az anaerob légzők anyagcseréjének energia-kihasználása gyengébb hatékonyságú, mint az aerob légzőké, és metabolizmusuknak több más vonatkozásban is figyelemre méltó a korlátozottsága.



# Biológiailag ellenőrzött aktivitások: a talajokban élő mikroorganizmusok anyagcseretípusai

Elsődleges hidrogéndonor	Terminális hidrogénakceptor		
	O <sub>2</sub> (aerob légzés)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>2</sub> stb. (anaerob légzés)	Szerves vegyületek (fermentáció)
Szervetlen vegyületek	<p>I.</p> <p>Aerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Nitrosomonas</i></p> <p>NH<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p> <p>SH<sub>2</sub>, S, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup></p>	<p>III.</p> <p>Anaerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Thiobacillus denitrificans</i></p> <p>S → SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></p> <p>NO<sub>3</sub> → N<sub>2</sub></p>	Nincs
Szerves vegyületek	<p>II.</p> <p>Aerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: mikroorganizmusok gerinces és gerinctelen állatok</p> <p>glükóz → CO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p>	<p>IV.</p> <p>Anaerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Desulfovibrio</i></p> <p>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> → N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O,</p> <p>Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup> → Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup></p> <p>tejsav → CO<sub>2</sub></p> <p>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → H<sub>2</sub>S</p>	<p>V.</p> <p>Szerves vegyületek fermentálása</p> <p>Példa: <i>Streptococcus</i></p> <p>-4 H</p> <p>glükóz → 2 piruvát</p> <p>↓ + 4 H</p> <p>2 tejsav</p>

## ***Oxidált szervetlen vegyületekkel, mint terminális elektronakceptorral, szerves vegyületeket elégető, anaerob légzők***

- Az előző csoportnál sokkal gyakoribb és nagyobb számú szervezetet felölelő csoport.
- Sok ilyen mikroba elsősorban nitrátokkal dolgozik, és ezekből  $N_2$ -t és nitrogén-oxidokat termel, ill. juttat a légkörbe. Mások a szerves vegyületeket szulfáttal égetik el, miközben nagy mennyiségű kén-hidrogént állítanak elő. Az előbbi *nitrátlégzőkkel* szemben ezek az ún. *szulfátlégzők*.  $O_2$  hiányában *vassal is lehet légzést* folytatni.
- A szerves vegyületekkel anaerob körülmények között légzők felelősek azért, hogy a mezőgazdaságilag művelt talajok időnként oxigénmentessé váló szintjeiben a káros fermentációs, ill. rothadási folyamatok nem kerülnek előtérbe, és az ilyen talajok még átlevegőzetlen viszonyok között is képesek azt a kedvező állapotot megőrizni, ami a növényi gyökerek számára nem jelent toxikus hatású, ártalmas környezetet.
- A talajokban működő *denitrifikáló* szervezeteknek az utóbbi időkben megkülönböztetett fontosságot tulajdonítanak, minthogy ezektől várják a bioszférában már aggasztó méreteket öltő nitrátfelhalmozódások természetes felszámolását.

# Biológiailag ellenőrzött aktivitások: a talajokban élő mikroorganizmusok anyagcseretípusai

Elsődleges hidrogéndonor	Terminális hidrogénakceptor		
	O <sub>2</sub> (aerob légzés)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CO <sub>2</sub> stb. (anaerob légzés)	Szerves vegyületek (fermentáció)
Szervetlen vegyületek	<p>I.</p> <p>Aerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Nitrosomonas</i></p> <p>NH<sub>3</sub> → NO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p> <p>SH<sub>2</sub>, S, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup></p>	<p>III.</p> <p>Anaerob légzés szervetlen vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Thiobacillus denitrificans</i></p> <p>S → SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></p> <p>NO<sub>3</sub> → N<sub>2</sub></p>	Nincs
Szerves vegyületek	<p>II.</p> <p>Aerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: mikroorganizmusok gerinces és gerinctelen állatok</p> <p>glükóz → CO<sub>2</sub></p> <p>O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</p>	<p>IV.</p> <p>Anaerob légzés szerves vegyületekkel</p> <p>Példa: <i>Desulfovibrio</i></p> <p>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> → N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O,</p> <p>Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup> → Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup></p> <p>tejsav → CO<sub>2</sub></p> <p>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> → H<sub>2</sub>S</p>	<p>V.</p> <p>Szerves vegyületek fermentálása</p> <p>Példa: <i>Streptococcus</i></p> <p>-4 H</p> <p>glükóz → 2 piruvát</p> <p>↓ + 4 H</p> <p>2 tejsav</p>

# Fermentáló szervezetek

- A fermentáció képezi az energiaszerzés sajátos és valamennyi között legősbibb mechanizmusát.
- Lényege: energianyerés (ATP-szintézis) – anaerob körülmények között – energiagazdag szerves vegyületek (mint elsődleges elektrondonorok) energiájának terhére, mindig szubsztrátszintű foszforiláció útján. *Mind a H-donor, mind a H-akceptor szerves anyag!*
- A talajokban a fermentáció akkor bontakozik csak ki, ha nemcsak az oxigén fogyott már el, hanem az anaerob légzéshez terminális elektron-akceptorként hasznosítható valamennyi oxidált anorganikus vegyület (nitrát, szulfát, stb.) is. Nagyon kedvezőtlen talajállapot ez, melyben *igazi rothadási folyamatok* indulhatnak meg, és ezek súlyosan és hátrányosan befolyásolhatják az egész biológiai dinamikát, többek között a termesztett mezőgazdasági növények, az erdő fájainak növekedését.
- A talajban lezajló komplex (vajsavas, propionsavas, tejsavas, ecetsavas, butil-alkoholos, stb.) fermentációs folyamatok hatására fontos szerves vegyületek (pl. cellulóz, pektin, stb.) óriási mennyiségben bomlanak le fermentáció útján.

# A mikroorganizmusok hatása a nitrogéntartalmú szerves vegyületekre

- A mikroorganizmusok nitrogéntartalmú szerves vegyületeket egyaránt felhasználhatnak *bioszintézis-építőelemnek* és *hidrogéndonornak* a redoxifolyamatokhoz.
- A legjelentősebbek közülük a *fehérjék* és az *aminosavak*, illetve *származékaik*.
  - A nagy molekulású proteinek különböző fajtáit csak speciális mikroorganizmuscsoportok képesek bontani (egyes *Clostridium*-fajok, *Pseudomonas* és *Vibrio* fajok, sugárgombák).
  - A kazein és zselatin bontása már a mikroorganizmusok széles körének képessége,
  - a protein részleges hidrolizátumait pedig szinte valamennyi képes hasznosítani.
- A fehérjék lebontását elsősorban extracelluláris enzimek végzik és a létrejövő aminosavak alkotják a tulajdonképpeni kiindulópontot az egyes biológiai folyamatokhoz.

# Példa talajmikrobák komplex képességeire

- Azok a baktériumok, amelyek szerves vegyületekkel vasat redukálnak, a ferrovas ( $\text{Fe}^{2+}$ ) előállításával egyúttal energiaforrást nyújtanak a vasat oxidáló szénautotrófoknak: a szulfátredukáló *Desulfovibrio desulfuricans* kén-hidrogént termel, ami számára már szükségtelen, de energiaforrása a *Thiobacillus*oknak, amelyek ezt szulfáttá oxidálják.
- A *Thiobacillus denitrificans* kénhidrogént nitráttal oxidál, miközben szulfát keletkezik, miközben a nitrát nitrogénje pedig  $\text{N}_2$  alakjában távozik a rendszerből. Utóbbi baktériumok egyébként szénautotrófok, vagyis  $\text{CO}_2$ -on kívül más szénvegyületeket nem igényelnek. Valószínűleg fontosak lehetnek az át nem szellőzött anaerob talajokban, és közreműködhetnek környezetünk nitrátmentesítésében.
- A *Clostridium pasteurianum*, a talajoknak egy fontos mikrobája, a cellulózt vajsavas erjesztéssel bontja. A felszabaduló energia egy részét a molekuláris nitrogén megkötésére fordítja. Nitrogénszegény talajokban kolóniáit körülveszik az aerob légzők és elvonják tőle az oxigént, aminek révén gyorsan szaporodhat és  $\text{N}_2$ -t fixálhat. Később elpusztuló sejtjeit az előzőleg védő hatású aerob légzők mint N-forrást értékesítik.

# A mikroorganizmusok anyagcsere folyamatait katalizáló anyagok: az enzimek és az elektrontranszport rendszerek

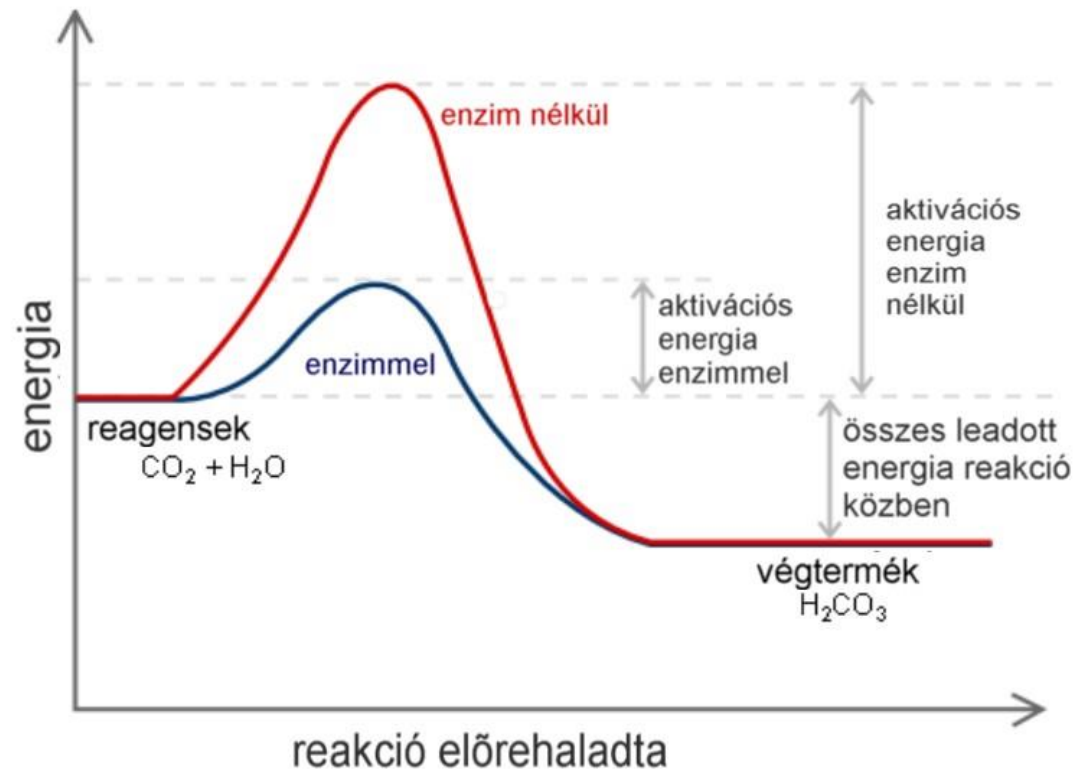
- Az anyagcsere reakciók egyes reakciólépéseit *enzimek* gyorsítják ill. könnyítik meg, és az enzimek jelenléte gyakorlatilag megszabja a lehetséges reakcióutakat.
- Molekuláris szinten nézve az enzim fizikailag segíti elő a reakciót azzal, hogy megfelelő helyszínt biztosít a reakcióban résztvevő molekuláknak (az *enzim szubsztrátjainak*).
- Bár az enzimek fizikailag (kémiaailag) kötődnek a szubsztrátjaikhoz, ez a kapcsolat nem állandó, a folyamatok végeztével felbomlanak és az enzimmolekulák készen állnak új folyamatok katalizálására.

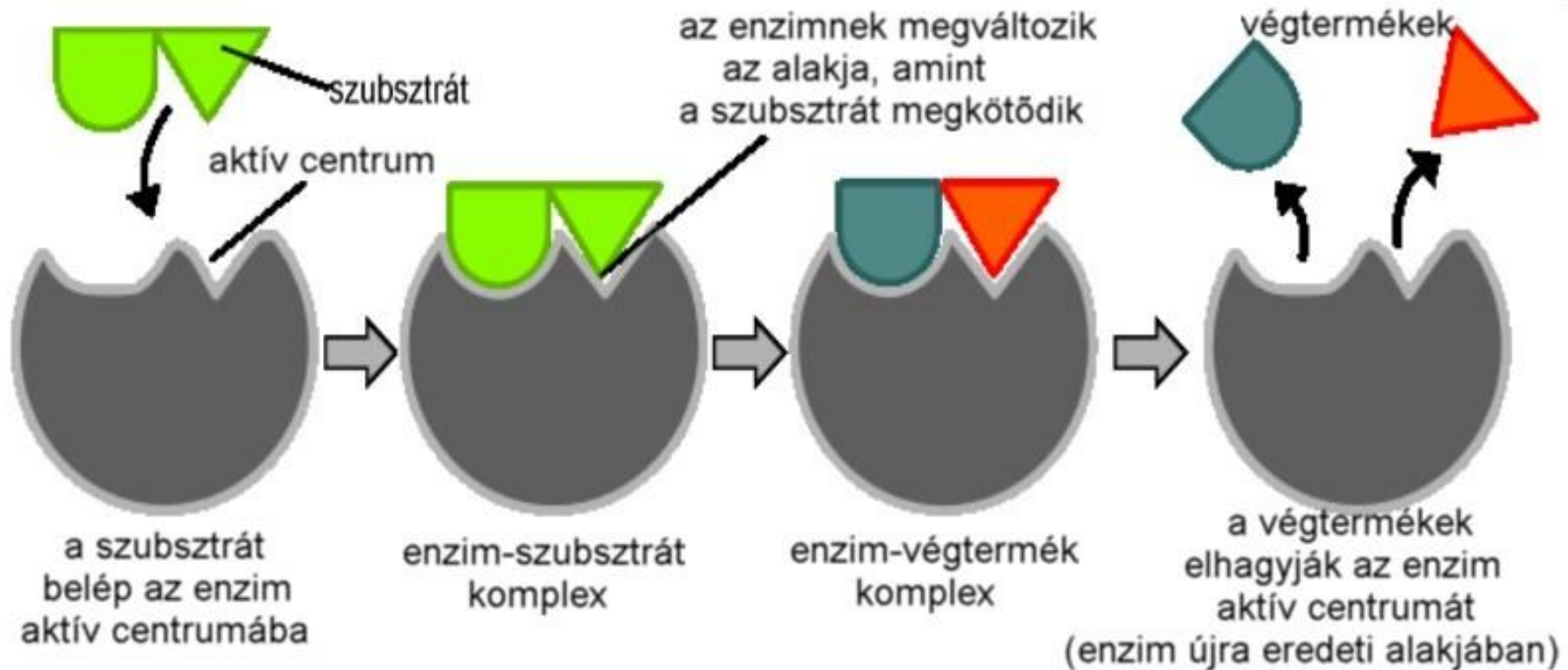


# Az enzimek eredete a talajban

- Fő anyaguk fehérje
- **egyszerű enzimek:** csak fehérjemolekulákból állnak;
- **összetett enzimek:** nem fehérje-komponenseket is tartalmaznak.
  - A fehérjerészt hívják *apoenzimnek*,
  - a többit *kofaktornak*.
- **Egységeik:**
  - *aktív centrum:* enzimfehérje egy bizonyos régiója lehet, amely az aktivitás kifejtéséhez szükséges konformációval rendelkezik;
  - *prosztetikus csoport:* az enzimhez irreverzibilisen kötődő, szubsztrátspecifitásért felelős proteinrész;
  - *koenzim:* reverzibilisen csatlakozó szerves v. szervetlen molekula (pl. fémion), hatáspecifitásért felelős rész.
- sejten belüli (intracelluláris) és „szabad enzimek” (extracelluláris)

## Az enzim-katalízis elvi sémája





# A mikroorganizmusok enzimeinek felosztása

- A mikroorganizmusok által termelt enzimeket aszerint, hogy hol fejtik ki hatásukat, három csoportba sorolhatjuk.
  1. Az **intracelluláris enzimek** működésének feltétele, hogy szubsztrátjaik bejuthassanak a sejt belsejébe. Ezt biztosítja a másik két csoport,
  2. **a felülethez kötött** és
  3. **az extracelluláris enzimek**, amelyek a nagymolekulatömegű anyagokat lebontják, hogy azok építőkövei aztán már átjuthassanak a sejtfalon és sejthártyán. Az *extracelluláris enzimek* szerepe a talajokban kiemelkedő és nekik köszönhető, hogy az élővilág által megtermelt, vízben, híg savakban és lúgokban nem oldódó szerves polimerek az élővilág körforgalmába visszajutni képesek.

# Talajenzimek eredetük szerint:

- endocelluláris enzimek
- valódi „szabad enzimek”
  - extracelluláris enzimek
  - korábbról akkumulálódott enzimek
    - A mikrobák sejtalakelemeihez kötődve
      - Intakt, de már elhalt sejtekben
      - Sejtfragmentekben
    - Nem sejtalakelemekkel társulva
      - Növényi gyökerekből származók
      - Mikrobáktól és faunaelemektől származók
        - Extracelluláris enzimek
        - Tönkrement sejtek endocelluláris enzimjei

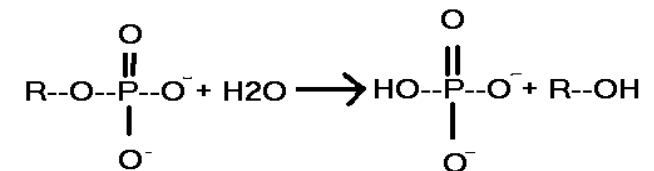


# Mikroorganizmusok enzimképzése

- Az enzimeknek azt a csoportját, amely a mikroorganizmusokban állandóan kimutatható, **konstitutív enzimeknek** hívjuk.
- Az enzimek másik része csak akkor szintetizálódik, ha az enzimszubsztrát a környezetben jelen van, ezek az **indukálható enzimek**.
- Valamennyi enzim szintézisét valamilyen specifikus molekula, **induktor** idézi elő. Az indukció sok esetben láncszerű, az enzim által lebontott szubsztrátból keletkezett termék újabb enzim szintézisét indukálja, amely a terméket tovább bontja. Ha elegendő mennyiségű szubsztrát van jelen, akkor a lebontott anyag mennyisége az enzimkoncentrációtól, a hőmérséklettől és a pH-tól, valamint más környezeti tényezőktől is függ.

# A mikroorganizmusok enzimeinek típusai

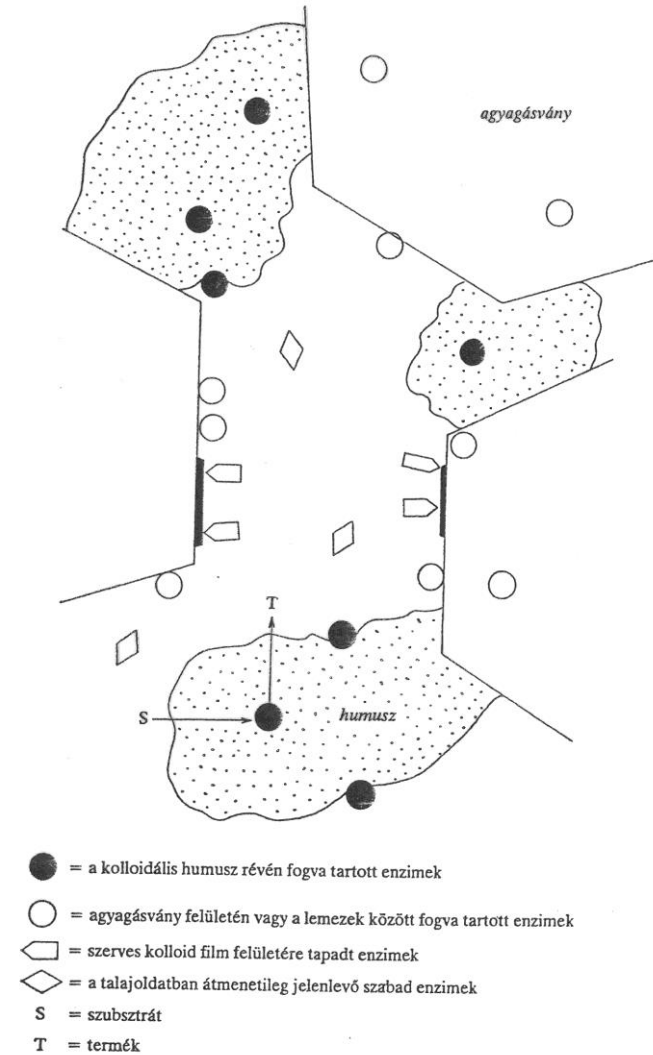
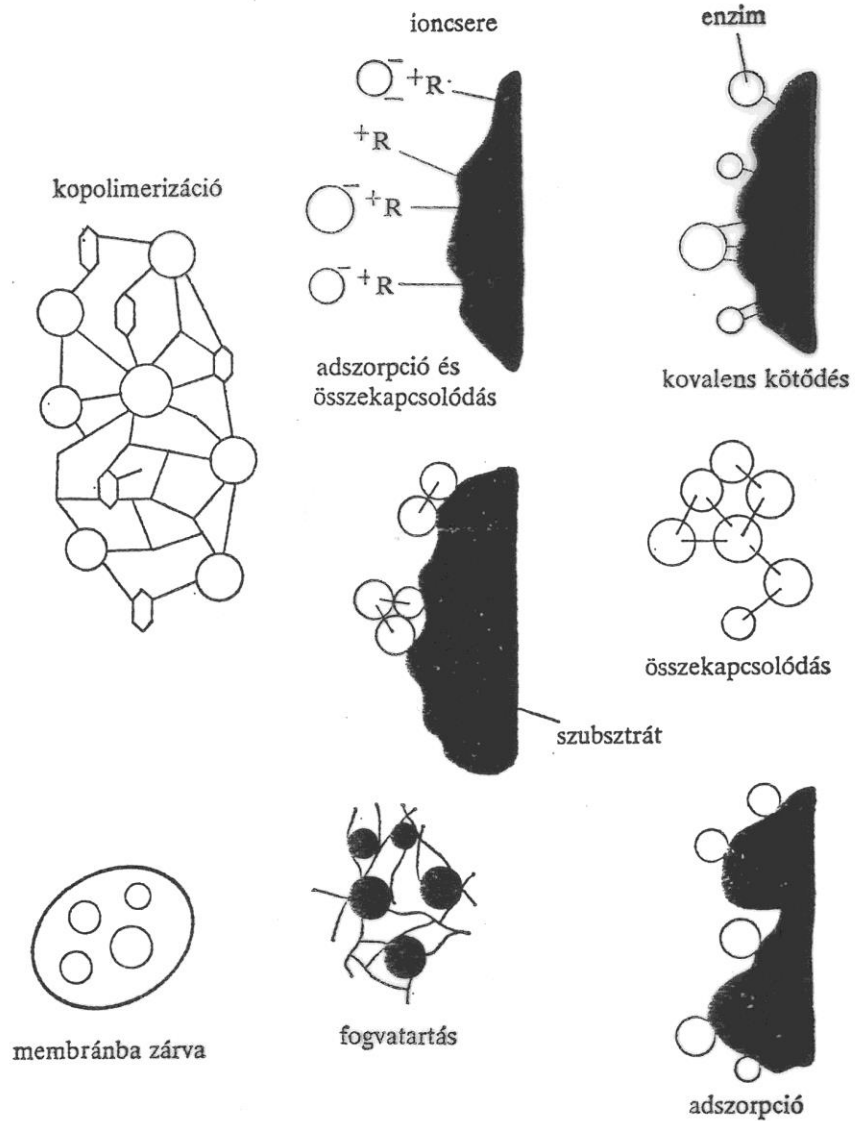
- **Oxidoreduktázok:** redoxifolyamatok katalizátorai, H-gyököt és elektront visznek át.
- **Transzferázok:** funkciós csoportokat visznek át
- **Hidrogenázok:** katabolítikus reakciókban hidrolízist segítenek (pl. amilázok, *foszfatázok!*, celluláz!, ureáz!, proteázok és peptidázok!)



- **Liázok:** atomok közötti kötéseket bontanak fel (pl. C–C, C–O, C–N, C–S liázok)

Talajokban ki nem mutatott enzimtípusok:

- **Izomerázok:** izomereket állítanak elő (térszerkezetben eltérő, azonos összegképletű vegyületek)
- **Ligázok:** szintetizáló folyamatokban kötések létesítését segítik (pl. aminosav-RNS-ligázok)

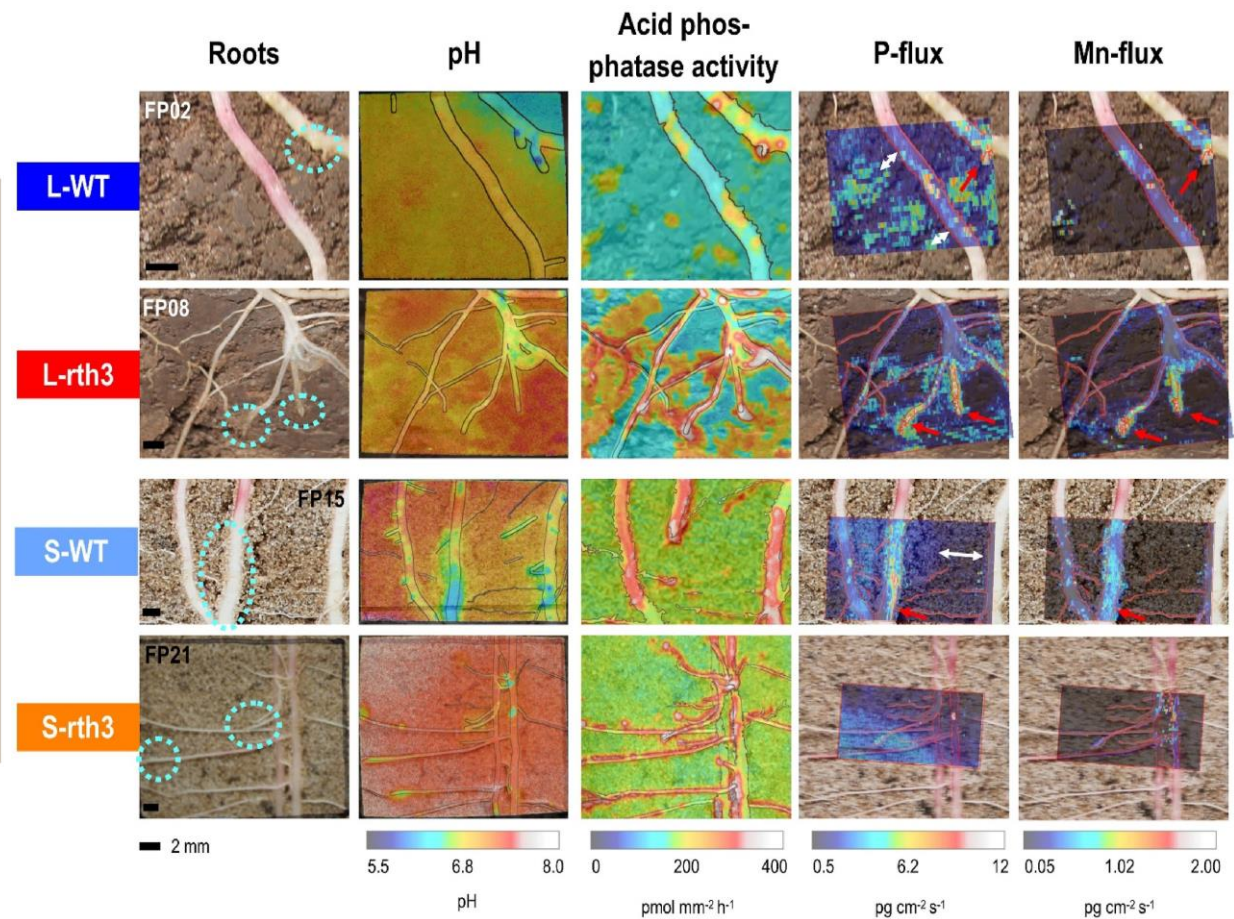
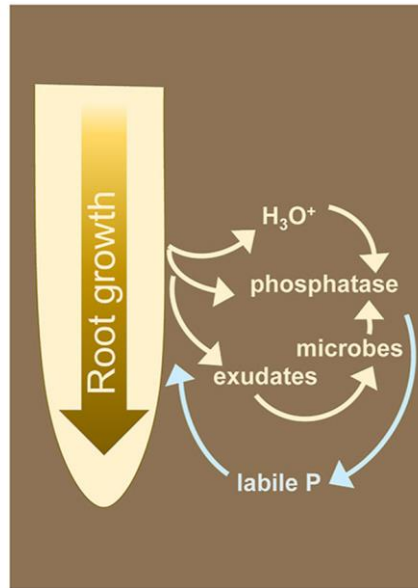
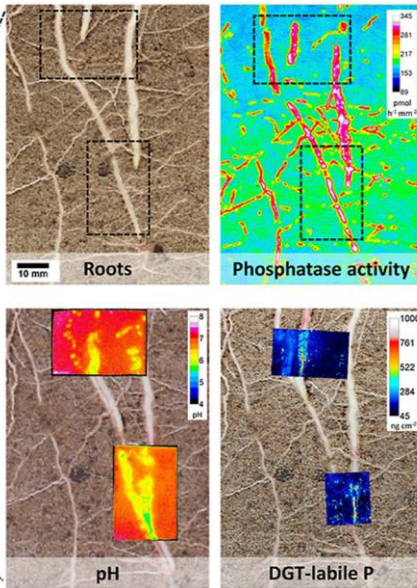
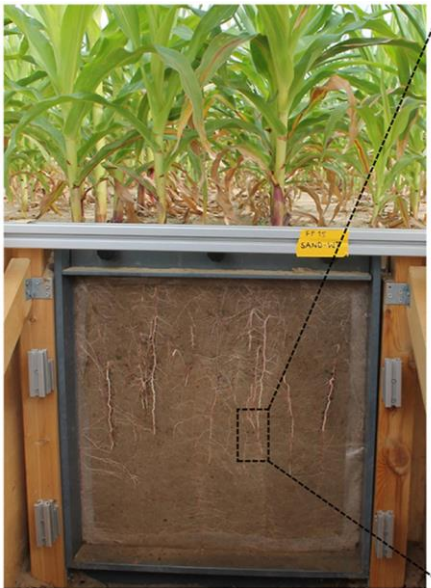


45. ábra. Az exoenzimek feltételezett elhelyezkedése a talajok mikrokozmoszaiban (BURNS, 1978)



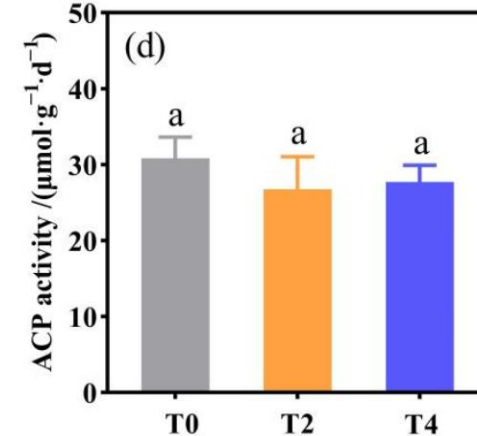
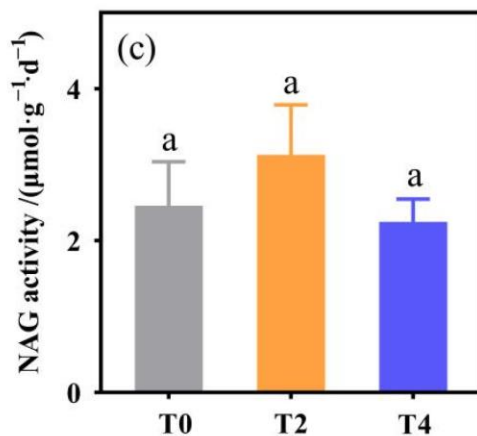
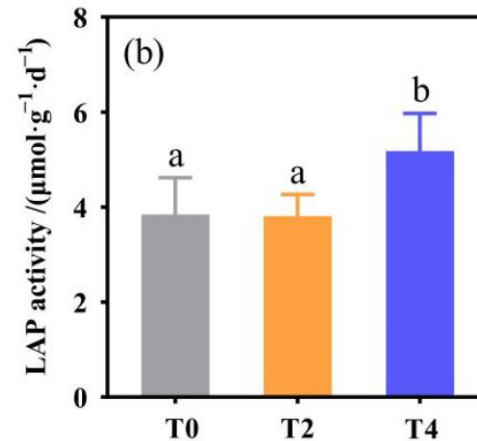
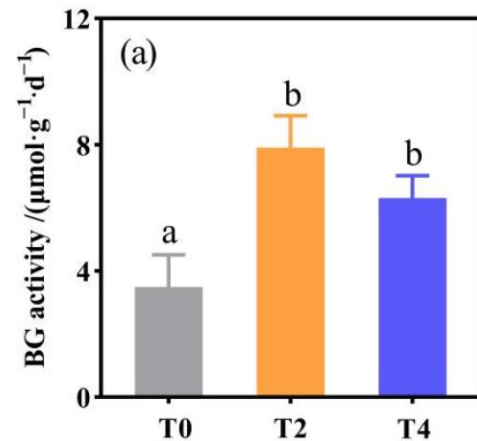
# Foszfátz enzimek működése a gyökérszónában

- A megfelelő P-ellátottság döntő fontosságú a növénytermesztésben. A foszfor mobilizálásában növényi és mikrobás eredetű protonok és extracelluláris foszfátok játszanak szerepet.
- Egy kísérletben kukorica (*Zea mays* L.) gyökér-szőrösöttségének (vad típus és hajszálgöyökér-hiányos) és a talaj fizikai féleségének (homok és vályog) hatását vizsgálták a P-mobilizációra. A hatásokat a talajban 2-dimenziós kémiai képalkotással (zymography) és vékonyréteg-módszerekkel (P és Mn-mobilizáció) tették láthatóvá *in situ* kísérletben.
- A növényi gyökerek jelenlétének hatása a talaj foszfátz aktivitására és a pH-ra nagyobb volt homoktalajban mint vályogban, de a gyökér-szőrösöttségnek nem volt hatása. A gyökérszóna savasodása szignifikánsan erősebb volt fiatal gyökérszövet esetében (gyökérsüvegtől vett távolság <2 cm), mint idősebb szakaszoknál (>4 cm-re a gyökérsüvegtől), egyben erősebben jelentkezett a vad-típusnál, mint a gyökérhiányos növényeknél.
- Az erősebb savanyodás hatására nagyobb P-kioldódás (mineralizáció) volt mérhető, főleg a fiatal gyökérszakaszok mentén, mindkét növény genotípusnál.
- Mindkét növény genotípus jobban fejlődött vályogon mint homokon. A vad-típus pedig magasabb P-koncentrációt és nagyobb biomassza-tömeget eredményezett a gyökérszőr-hiányos típushoz képest. Összességében a talajtípus foszfor-mobilizációra gyakorolt hatása volt erősebb.



Kukorica gyökereinek és a talaj fizikai féleségének hatása a talaj pH-értékére és a foszfor-mineralizációra, in-situ kísérletben alkalmazott 2D-képalkotó módszerrel és vékonyréteg detektálással (pH, acid-foszfátáz aktivitás ( $pmol\ mm^{-2}\ h^{-1}$ ), P és Mn kioldódás ( $pg\ cm^{-2}\ s^{-1}$ ), kukorica vad-típus (WT) és hajszálgökér-hiányos genotípusok (*rth3*) esetében), vályogos (L) és homokos (S) talajon, in situ kísérletben. A vörös nyilak a legaktívabb P-mobilizációt és aktív gyökérnövekedést jelzik. A fehér zónák a P-hiányos területek jelzik, az idősebb gyökérszakaszok mentén.

# Felmelegedés hatása a talajenzimek aktivitására



Talajenzimek aktivitásának változása klímaváltozást (felmelegedést) modellező mesterséges terepi kísérletben Kínában:

(a)  $\beta$ -1,4-glükózidáz aktivitása (BG) – (szénhidrátbontó)

(b)  $\beta$ -1,4-*N*-acetilglükózidáz aktivitása (NAG) – (N-metabolizáló)

(c) L-leucin aminosztein-aminopeptidáz aktivitása (LAP) – (N-metabolizáló)

(d) Acid-foszfataz aktivitása (ACP) – (P-metabolizáló).

(e) T0: kontrol terület felmelegítés nélkül;

(f) T2: talaj 2 °C-os felmelegítése;

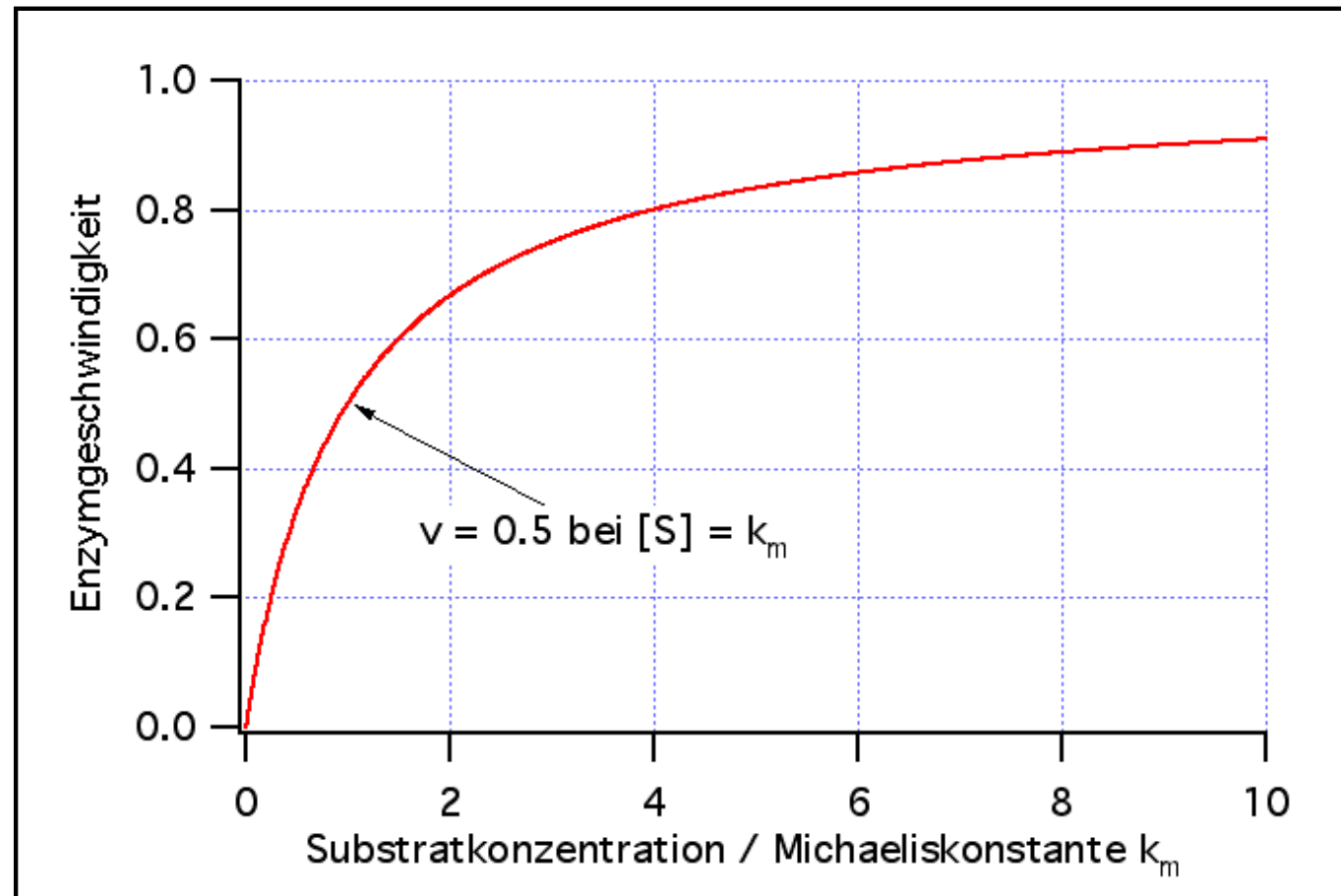
(g) T4: talaj 4 °C-os felmelegítése

A kisbetűk a szignifikánsan eltérő hatásokat jelzik ( $p < 0.05$ ).

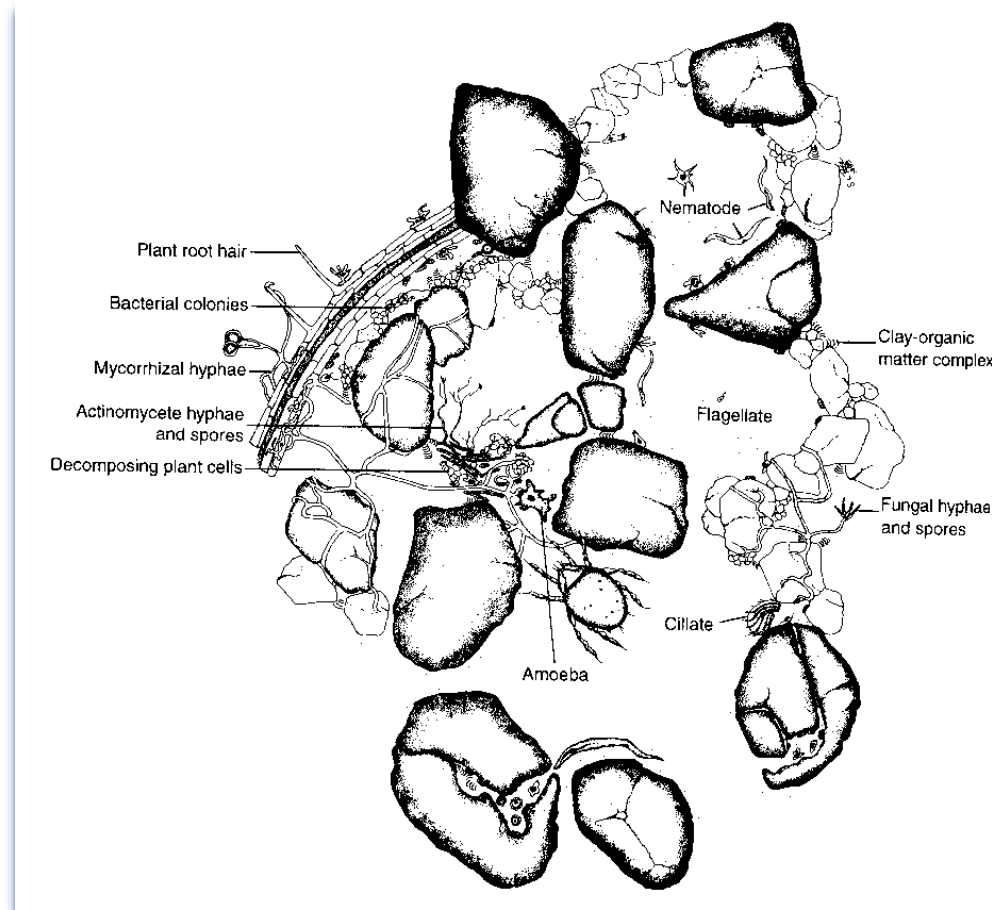
# Enzimaktivitás mérése talajokban, levonható következtetések

- Minden jelentős anyagcserefolyamatot enzimek katalizálnak  $\Rightarrow$  talajok biológiai potenciálja, pl.
  - Hidroláz  $\Rightarrow$  mineralizáció
  - Nitrogenáz  $\Rightarrow$  nitrogén kötés
  - Foszfátáz  $\Rightarrow$  foszfor felvehetővé válás
  - Speciális ligázok  $\Rightarrow$  szennyezőanyagok bontása
- Kezelések, beavatkozások hatásainak összehasonlíthatósága  $\Rightarrow$  enzimeket indikátorként használjuk a talajtulajdonságok értékelésében!
- Enzimaktivitás mellett a szubsztrát mennyisége is fontos, ill. ennek mennyiségének aránya is az enzim-mennyiséghez képest

# A reakciósebesség és a szubsztrátkoncentráció közötti összefüggés a talajban



***A növények és a termőtalaj anyagforgalmi egysége, növény-mikroba kölcsönhatások; együttélés a talaj biológiai rendszerével. A talaj élőlények szerepe a talajképződési folyamatokban***



# A talajképződés szerves és szervetlen nyersanyagai

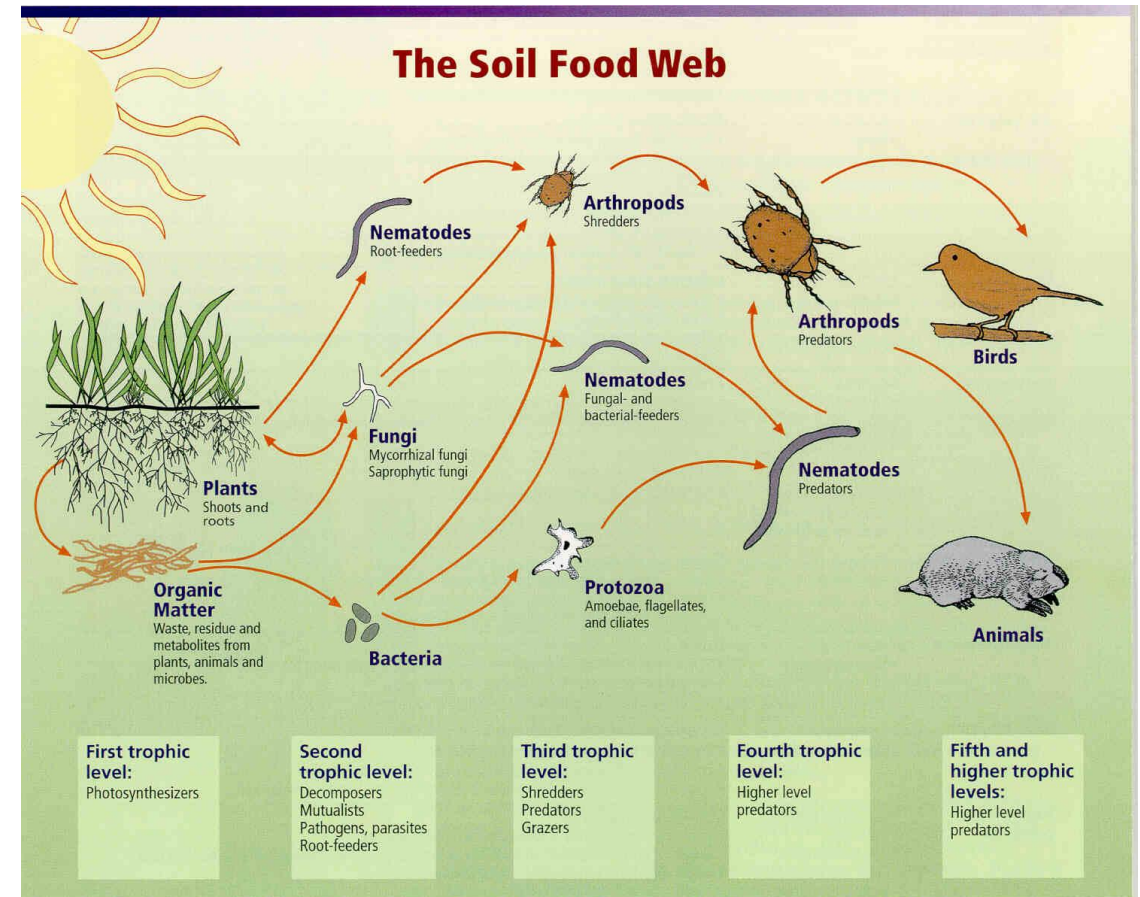
A bioszférában bárhol, ahol új kőzetfelületek jelennek meg, azokon a talajképződés megindul, ha:

- az élő szervezetek működéséhez szükséges hőmérséklet és nedvesség együtt van, és
- a térségben a talajképző szervezetek számára energia- és elemforrásként szereplő szerves anyagok szintézise, és ebből kialakult holt szerves anyagok akkumulációja folyik, ill. oda ilyen anyagok külső forrásból beáramlanak.



# A talajlakó növényi és állati szervezetek tevékenysége

- **Növényi szervezetek**
  - Élő és elhalt biomassza képzése
- **Állati szervezetek**
  - Mineralizáció és humuszképződés
  - szerves anyagok aprózása – felületnövelés
  - enyhe kémiai bontás
  - biológiai alagcsövezés
  - morzsás szerkezet kialakítása
  - talajrétegek keverése
  - mikroba populációk szabályozása
  - talajoltás





# Rhizoszféra

- A rhizoszféra a növényi gyökér és a talaj közötti vékony, átmeneti zóna.
- A talajok biológiai aktivitása ebben a régióban koncentrálódik!
- A képen a növényi gyökér sejtjei, extracelluláris fehérjék és cukrok kiválasztása látszik egy fiatal hajszálgyökérből.



# Egészséges ökoszisztémák talajainak átlagos talajbióta számai

	<b>Mezőg. terület</b>	<b>Gyep (préri)</b>	<b>Erdőtálat</b>
Egyedszám 1 g (teáskanálnyi) talajban			
<b>Baktériumok</b>	<b>100 mil. -1 bil.</b>	<b>100 mil. -1 bil.</b>	<b>100 mil. -1 bil.</b>
<b>Gombák</b>	<b>több méternyi</b>	<b>több 10–100 m-nyi</b>	<b>1-40 mérföldnyi (fenyvesekben)</b>
<b>Protozoák</b>	<b>több 1000</b>	<b>több 1000</b>	<b>több 100,000</b>
<b>Nematodák</b>	<b>10-20</b>	<b>több 10–100</b>	<b>több 100</b>
Egyedszám négyzetlábanként			
<b>Arthropodák</b>	<b>&lt; 100</b>	<b>500-2000</b>	<b>10,000-25,000</b>
<b>Földigiliszták</b>	<b>5-30</b>	<b>10-50</b>	<b>10-50 (0 fenyvesben)</b>

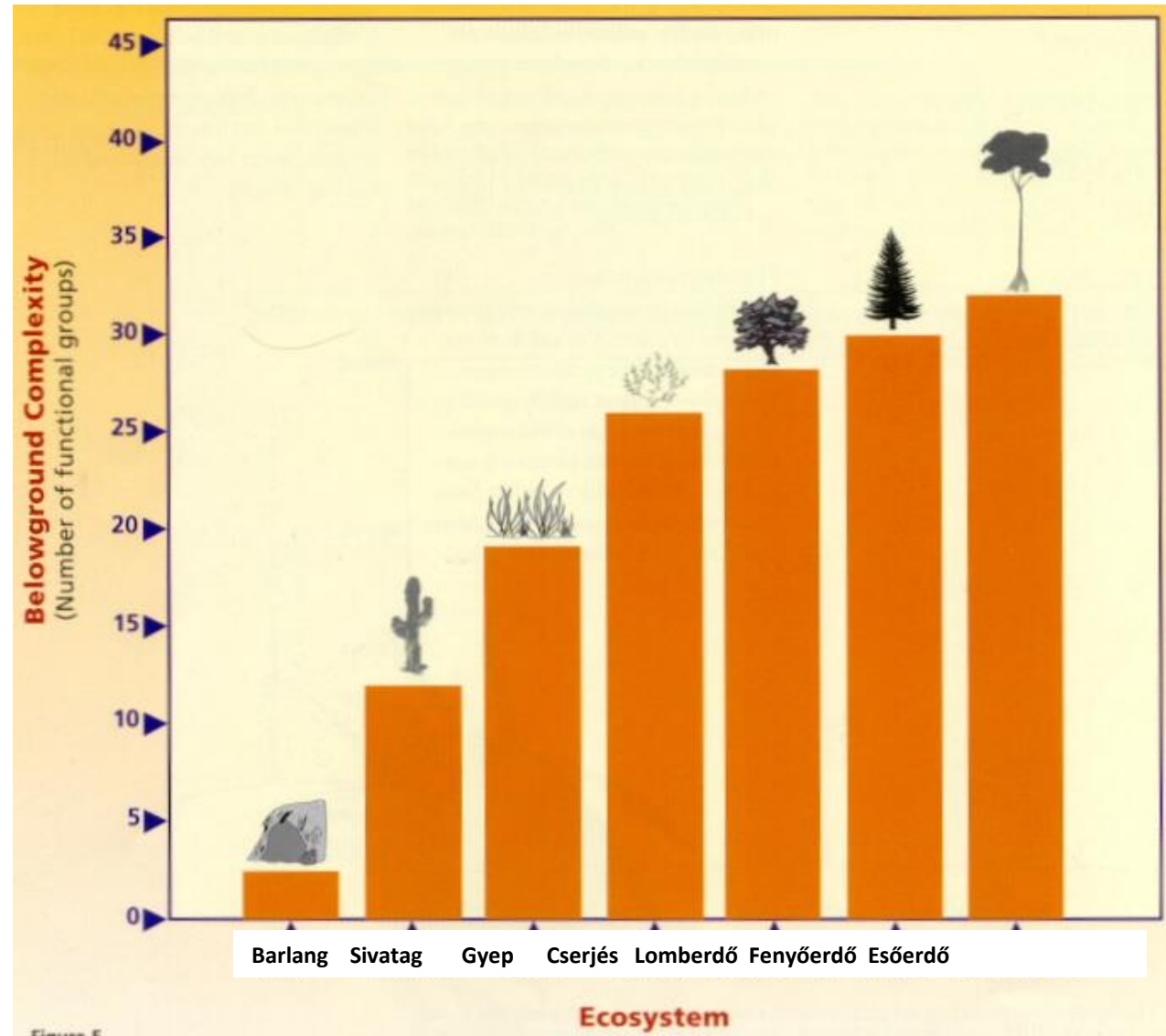
# A talaj faunaelemeinek tagjai

- 1-2. ikerszelvényesek vagy ezerlábúak (*Diplopoda*): bomló növényi anyagokat fogyasztanak
- 3. százlábúak (*Chilopoda*): ragadozók
- 4-5. ugróvillások (*Collembola*): bomló növényi anyagokkal táplálkozó állatok
- 6. földigiliszta (*Lumbricus terrestris*): avar szerves anyagait (lombot, baktériumokat) fogyasztják
- 7. Szárazföldi ászkarák (*Isopoda*): a lehullott avart fogyasztják
- 8. Talajlakó atkák: lehulló nedves lombot, korhadó növényi anyagokat fogyasztók ill. más fajok ragadozók
- 9-25. A talajban előforduló légylárvák típusok: lehullott falevelek destrukciójáért felelősek

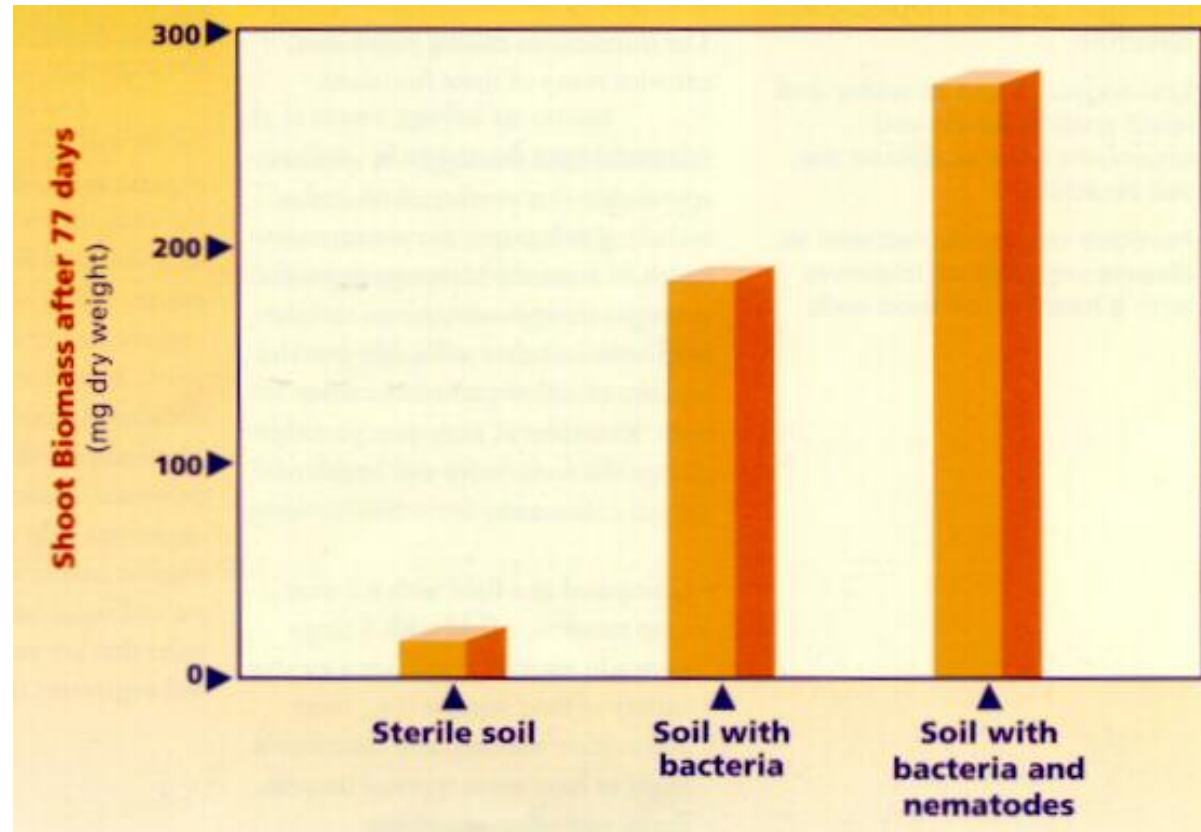




# A talajbióta összetettsége különböző ökoszisztémákban



# A lebontás hatékonyságának és a talajbióta komplexitásának összefüggése



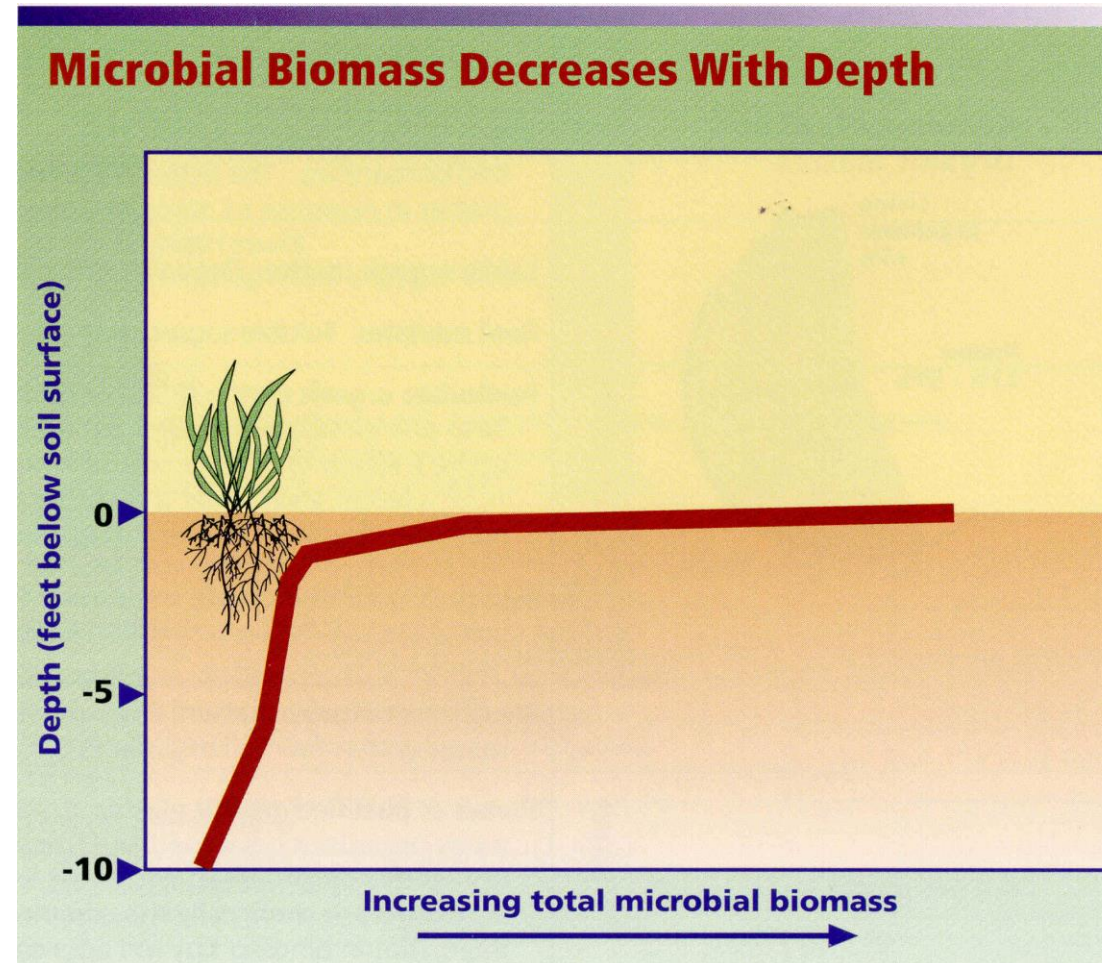
Baktériumok és az őket fogyasztó nematódák (fonálférgék) hatása egy fűféle növekedésére (blue grama grass)

# Az edafonra ható környezeti tényezők

- a szerves anyag minősége, mennyisége, eloszlása
- a talaj levegőzöttsége
- a talaj nedvességtartalma
- a talaj hőmérséklete
- a talaj kémhatása

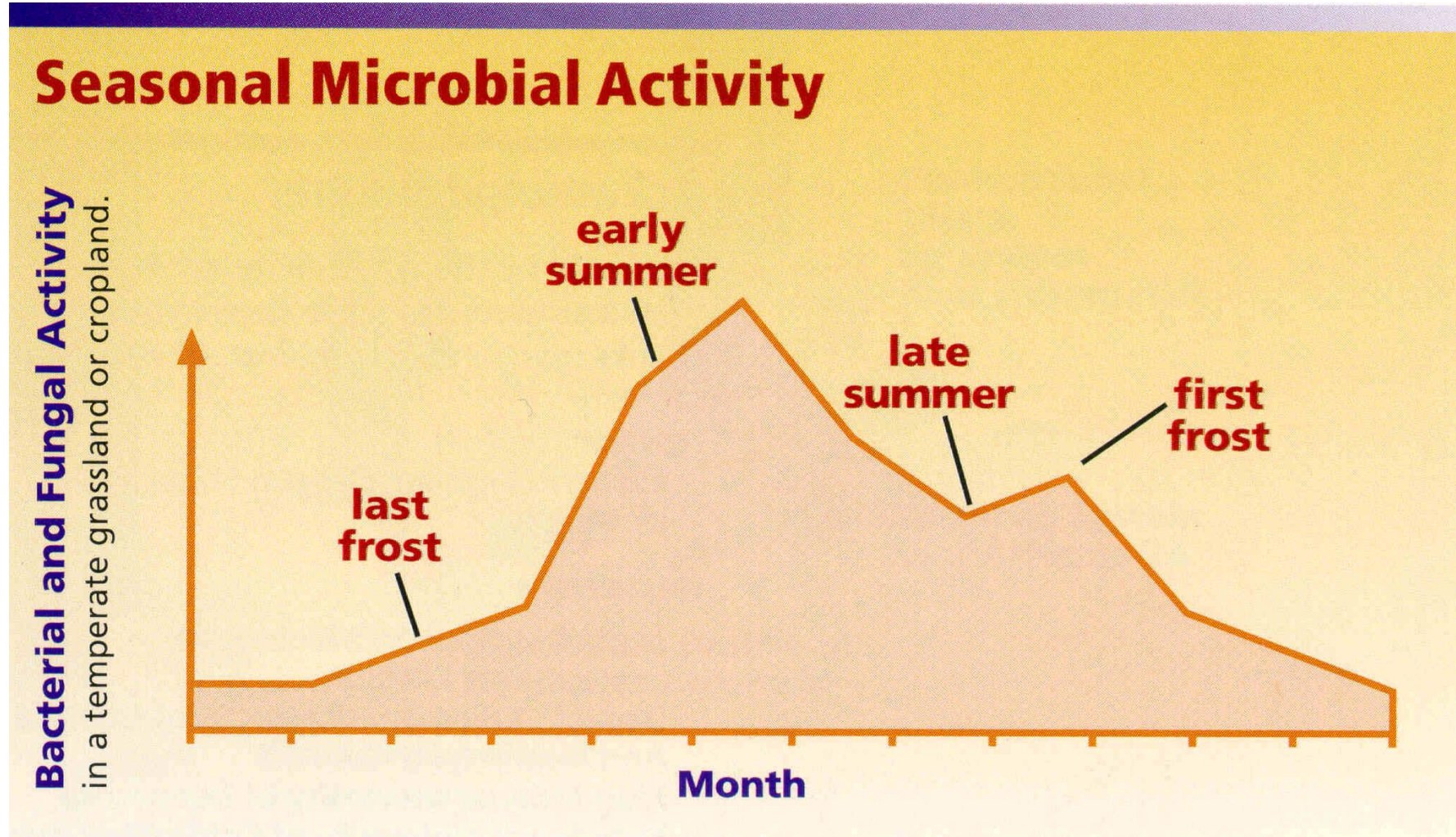


# Mikrobiális biomassza változása a talajmélységgel

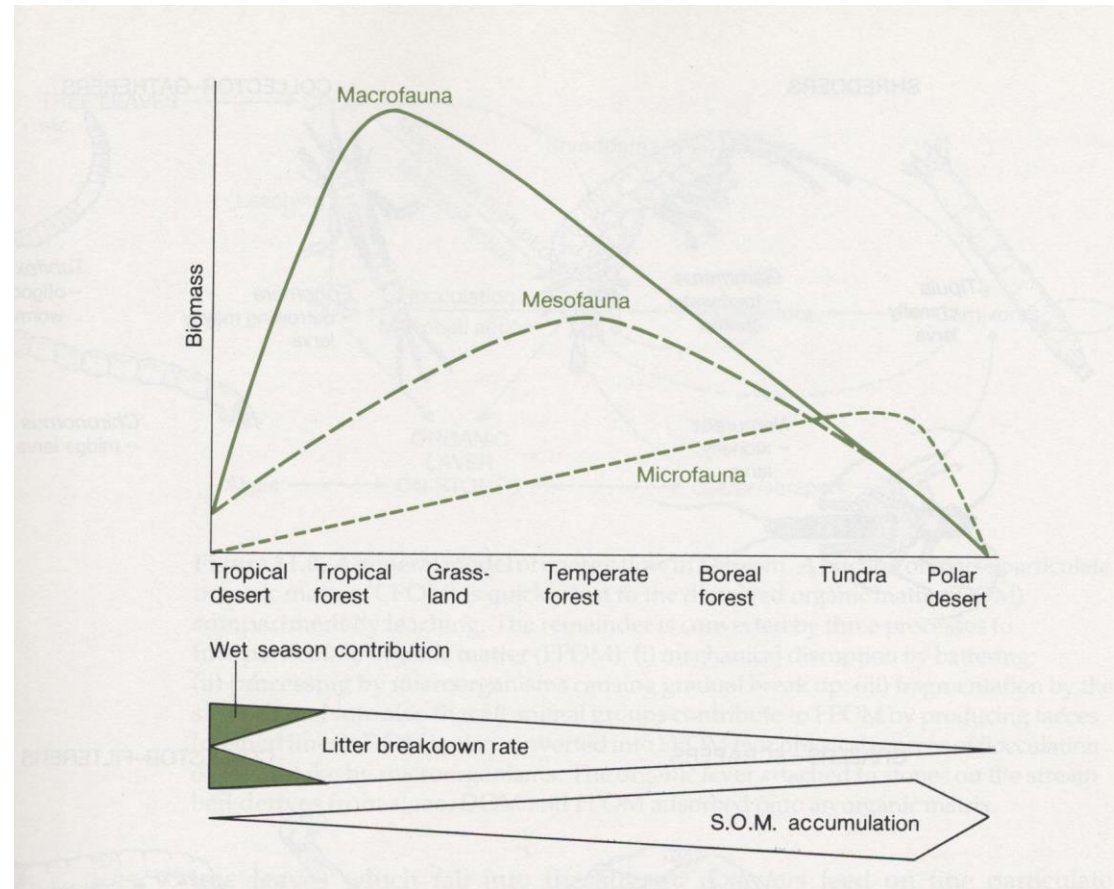




# A mikrobiális aktivitás szezonalitása



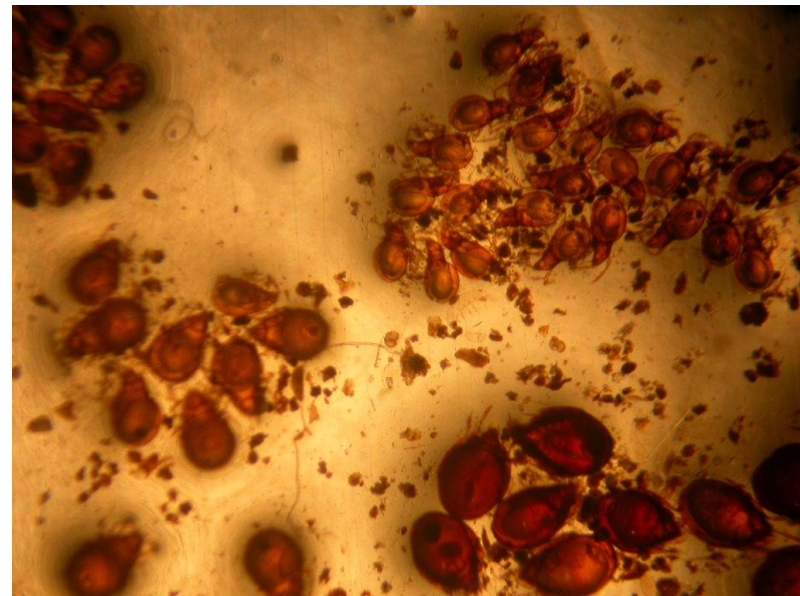
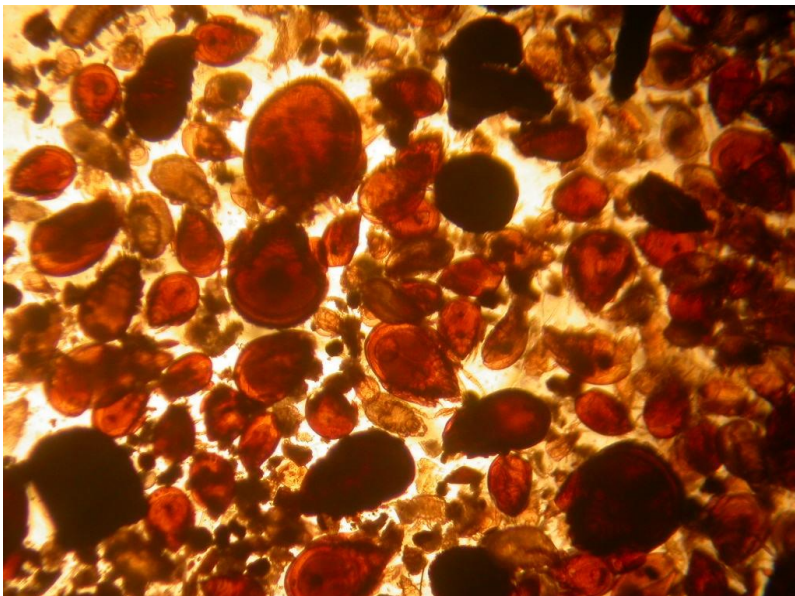
# A talajfauna részvétele a lebontásban a földrajzi szélesség változásával



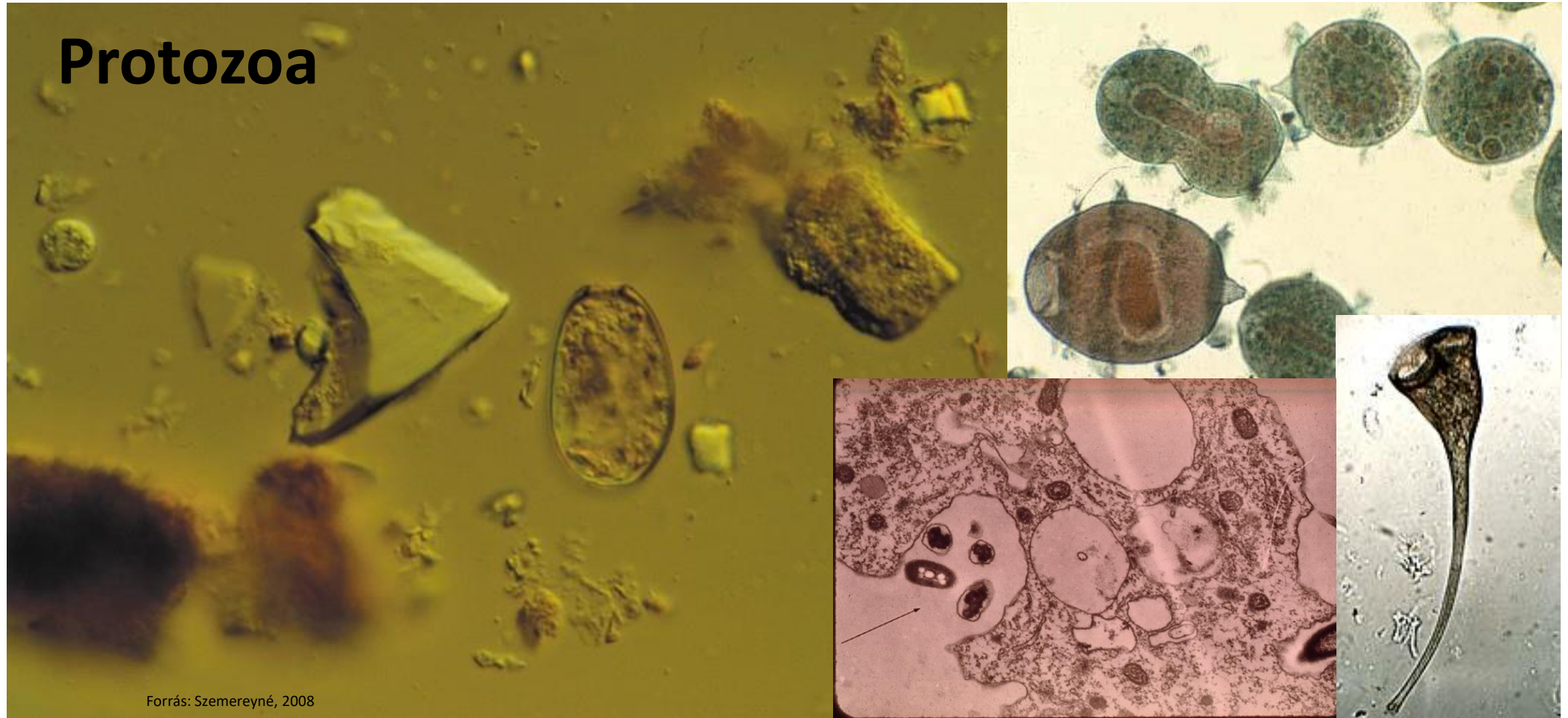
## Az avartakaró tömege és bomlási sebessége

- Panamában kevert állományú erdők alatt átlag  $11.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$  avarprodukciónak észleltek, amiből  $5800 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$  az avarlevél frakcióra esett
- Hazai erdeinkben (Gere, 1971)  $760\text{-}3160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$  értékekkel számolhatunk





# Protozoa



Forrás: Szemereyné, 2008

Kerekesférgek



Fonálférgek



Atkák



Félrovarok



Ugróvillások



Lábaspotrohúak



Álskorpiók

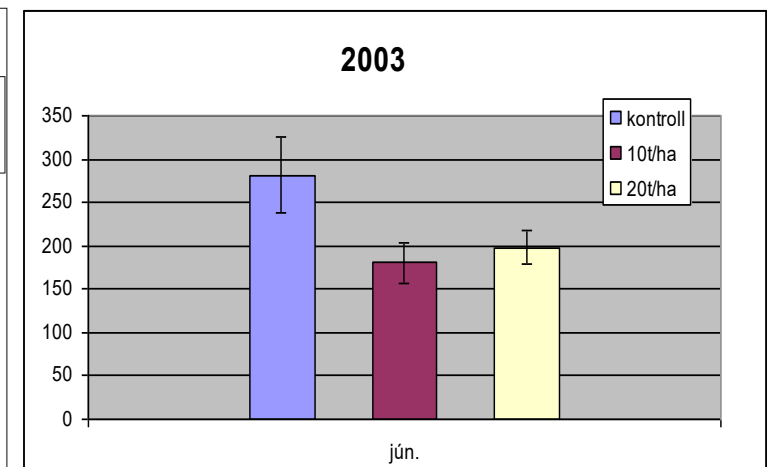
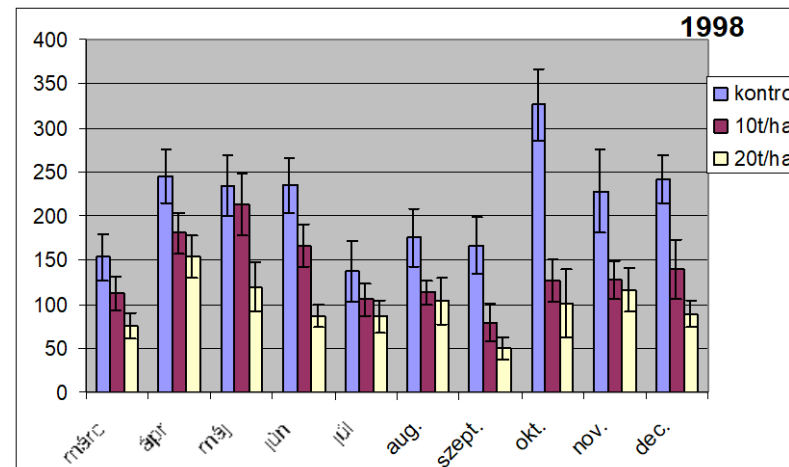
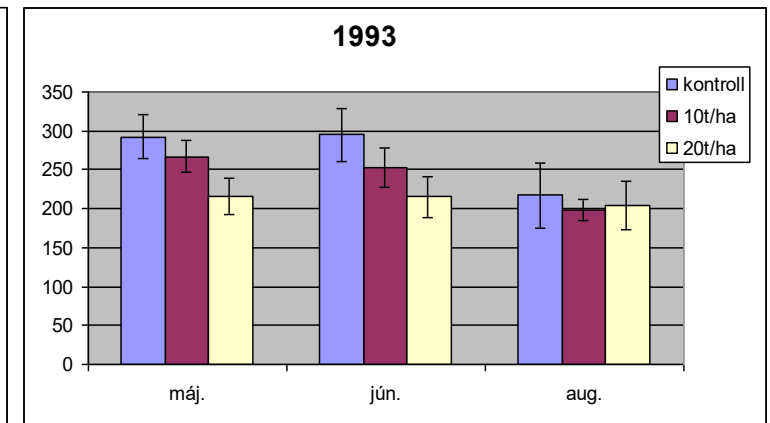
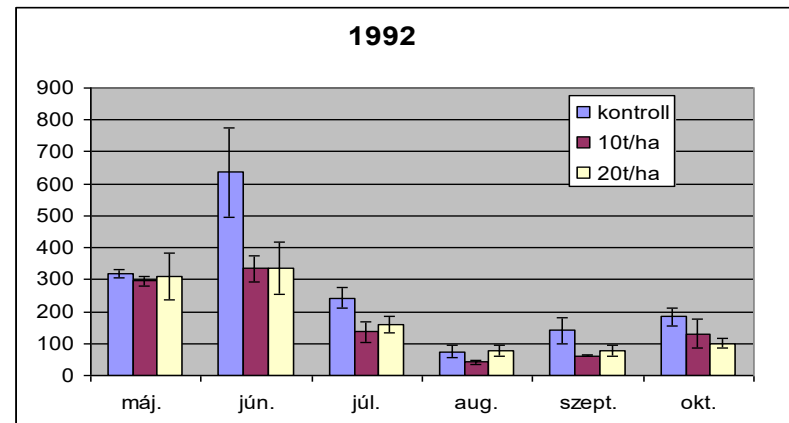


# Meszezési kísérlet a Soproni-hegységben

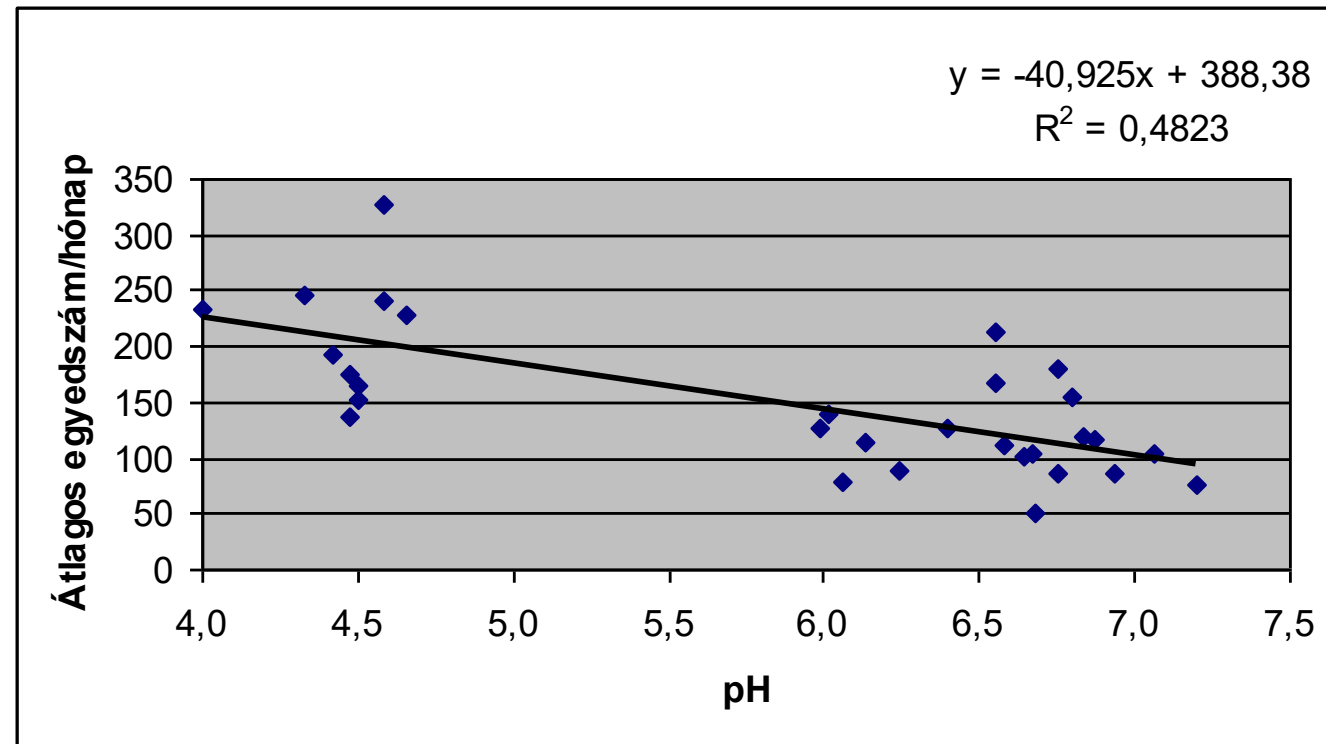
## Páncélosatkák egyedszáma 500 cm<sup>3</sup> talajmintában

471 darab 500 cm<sup>3</sup>-es talajmintából:

- 83239 egyed,
- 90 faj (36 család, 67 genus) került elő.



# Páncélosatkák egyedszáma – talaj pH kapcsolat





# Avar borítottság meszezési kísérlet különböző kezeléseiben

Kontroll: 0-20 db földigiliszta/m<sup>2</sup>



10 t CaCO<sub>3</sub>/ha



20 t CaCO<sub>3</sub>/ha: 33-67 db földigiliszta/m<sup>2</sup>



# Földgiliszta járatok és -ürülék



Forrás: Clive A. Edwards, The Ohio State University, Columbus.



Forrás: Soil and Water Management Research Unit, USDA-Agricultural Research Service, St. Paul, Minnesota

# *A talaj élőlényeinek szerepe a talajképződési folyamatokban*

- **talajképző faktorok:** a geológiai szubsztrátum, klíma, víz, a vegetáció szerves hulladékanyagai, talajállatok és mikrobák, stb.) a maguk összhatásában általában *rövid időtávon*, a környezet szerves és szervetlen kiinduló anyagait *talajmátrix*xá alakítják;
- **talajfejlődés:** hosszú távon érvényesülő, mélyreható átalakulás; a talajképző anyagőzetnek baktériumok és zuzmók hatására bekövetkező *mállás*ával kezdődik és különböző *talajtípusok* egymást *szukcesszíve* váltó *sorozat*ába torkollik; talaj életközösségeinek *szukcessziója* természetes kísérő jelensége;
- **talajevolúció:** Egy-egy területen az évszázadok, évezredek során kibontakozó talajfejlődési sorozatban sajátos talajrendszerek sokfélesége alakult ki; rendkívül hosszú időtartamú, évszázazredekre, évmilliókra szóló fejlődés.

## A talajképződés szervetlen alapanyaga: az alapkőzet mállási folyamatai és a mikrobák szerepe ezen folyamatokban

- Mállás: A talajmikrobák jelentős szerepet játszanak a kationok felszabadításában, pl. agyagásványokból.
  - *Bacillus circulans* (biotitból és ortoklászából szilíciumot és káliumot)
  - *Thiobacillus ferrooxidans* számos ásványt oxidál, (pl. bornitot ( $\text{Cu}_3\text{FeS}_2$ ), szfaleritet (ZnS) és molibdenitet ( $\text{MoS}_2$ ))
  - Savtermelés – mállást/kioldódást gyorsító hatás;
- $\text{CO}_2$  mállasztó hatása:
  - szénsav
  - Ca-, Mg- és Fe(II)-hidrogénkarbonátok képződését
- tápanyagelvonás
  - *Tiobacillusok*: vas- és más szulfidok oxidációja
  - nitrifikálók: ammónia oxidációja
  - heterotrófok termelte egyéb savak



## Szerves kelatizáló és komplexképző vegyületek, mint a mikrobák anyagcseretermékei, kilúgozás és podzolosodás

- mikrobák komplexképző vegyületei (főleg kelátok) a fémek kationjait vízoldható komplexekben kötik meg
- kelatizáló ágensek:
  - bórsav, citromsav, ketoglutársav, benzkatechin, szalicil-aldehid, szalicilsav, stb. többértékű fémionokkal;
  - o-dihidroxi-benzol szilíciummal is!



# Kelátképző vegyületek hatásai a talajképződésre

- *Kilúgzás*: a talaj felső szintjéből (horizontjából) a sók, karbonátok, könnyen oldódó ásványok, szerves és szervetlen kolloidok, stb. a mélybe mosódnak;
- *Podzolosodás*: lefelé haladó szerves anyag, továbbá (főleg ionos formában) Al- és Fe-vándorlást majd azt követő felhalmozódást értünk, a talaj agyagásványai szerkezetének irreverzibilis felbomlásával egyidejűleg;



# Az agyagvándorlás megállása, kicsapódás

- Mélységgel lefelé haladva a Ca-tartalom és pH növekedésével;
  - komplex kötődésű Al- és Fe-ionok kicsapódnak;
  - Kis molekulatömegű szerves savak neutralizációja;
  - Szólok flokkulációja;
- mélyebb talajszintekben a redoxpotenciál növekszik  $\Rightarrow$  ferroionok oxidációja  $\Rightarrow$  komplexek lebomlása
- mechanikai szűrőhatás
- illuviális (felhalmozódási) szint legfelső részében többnyire szerves anyagok, míg mélyebben Fe- és Al-oxidok (szeszkvioxidok)
  - utóbbi akkumulációja szintjében sejtes és fonalas struktúrájú baktériumok halmozódnak fel vaslerakódással

Összefoglalva: a fémionokat a talajokban természetesen előforduló szerves anyagok kötik meg olyan átmeneti állapotot előidézve, , amely megakadályozza, hogy a szabad kationok vagy az egyszerű szerves-fém komplexek a perkolációval a rendszerből eltávozzanak  $\Rightarrow$  (mikro)tápelem depó!

# Glejesedés: talajképződés anaerob mikroorganizmusok hatására

- anaerob, redukáló viszonyok
- glejesedés: az ekkor előtérbe kerülő anaerob légző kemoorganotróf fermentáló, továbbá anaerob kemolitotróf baktériumok hatására a talajszelvényben szabad szemmel is megfigyelhető átalakulások és agyagvándorlások mennek végbe
  - oxigénhiány esetén, szerves anyagok jelenlétében főleg a vassal és a mangánnal mint terminális elektronakceptorral légzők hatására a  $\text{Fe}^{(\text{III})}$  és a  $\text{Mn}^{(\text{III}, \text{IV})}$ -oxidok redukálódnak és oldatba mennek, s szerves vegyületekkel vízzoldható komplexet képeznek
  - erősen érintett elem még a S





## Glej vs. pseudoglej

- glejesedés: a víztelítettség régiójából az oldott Fe- és Mn-formák a finom pórusokon át a felsőbb, vízzel még telítetlen talajrétegekbe vándorolnak, ahol – legalábbis részben – obligát aerob, kemolitotróf autotróf vasbaktériumok közreműködésével oxidálódnak és kicsapódnak, főleg a *pórusok felszínén* lerakódva
- álglejesedés: vízzel csak átmenetileg telített szintekben a víztelítettség idején a póruszegélyek Fe- és Mn-oxidjai redukálódnak és oldódnak, és ezt követően az ionok az aggregátumok belsejébe diffundálnak. A későbbi szárazság idején elsőnek a durva pórusok víztelenednek el, ami után az oxigén behatol az aggregátumokba és a ferro- és mangánoionokat oxidálja. Ez esetben a rozsdafolt és konkrécióképzés főleg az egyes *aggregátumok belsejében* megy végbe.

Glej

vs.

pszeudoglej



TR (Nyíregyháza)



MEST (Nyirád)



PG-ABE (Gödre)

# Glejes talajsziintek jellegzetes mikrobái

- **szulfátredukáló Desulfovibrio génusz** (*D. desulfuricans*): szulfát, mint terminális elektronakceptor segítségével egyszerű szerves vegyületek elégetésére képesek (organotrófok).
  - Egyes törzsei kemolitotróf autotrófok.
- A ferrivas Fe(III) szerves vegyületek elégetésekor számos **fakultatív kemoorganotróf baktériumnál** is az elektronakceptor szerepét töltheti be.
- **Desulfuromonas acetoxidans típusú szervezetek**: pl. acetáttal mint egyedüli C- és energiaforrással, anaerob körülmények között szaporodnak, miközben az elektronokat elemi kénre vezetik, és azt szulfiddá ( $S^{2-}$ ) redukálják (anaerob, kemolitotróf kénlégzők).
- **Thiobacillus denitrificans**: Gram-negatív, fakultatív anaerob, szerves vegyületekkel légzést folytatni képes, obligát kemolitotróf autotróf kénbaktérium, ugyanitt a szerves  $FeS_x$ -vegyületek oxidációját a nitrátok redukációjával kombinálni képes, molekuláris nitrogént szabadítva fel (denitrifikáció);
  - Mivel U(IV)-et U(VI)-á képes oxidálni, uránszennyezett talajok remediációjában hasznosítható!
- **fermentálók** (pl. *Clostridium pasteurianum*):  $N_2$ -t kötnek, amivel előzőekkel alkotott mikrobaközösségeik aktivitásának folyamatosságát teszik lehetővé – legalábbis a fixált nitrogént illetően;
- Homokos réti talajokban **kemolitotróf, autotróf vasbaktériumok** a könnyebb altalaj-vízmozgás hatására sokszor pótlódó Fe(II) beáramlás hatására rendszeres Fe(III)-vaskicsapódás  $\Rightarrow$  **gyepvasérc** kialakulása!

A glejtalajokban a vasvegyületek redukációjáért nemcsak a mikrobákat teszik felelőssé, a redukció ugyanis tisztán kémiai úton is végbemehet.

# A lateritesedés mint a meleg, csapadékos régiók erdei biodinamikájának következménye

- meleg, ill. a forró humid régiókban, általában trópusi-, szubtrópusi övezetekben megy végbe;
- rendkívül erős mikrobiális szervesanyag-lebontás és a kőzeteknek, ill. ásványoknak biológiai hatásra bekövetkező gyors mállása;
- elsősorban a kovasav, továbbá az alkáli és földalkáliionok kimosódása (eredeti készleteinek 90%-a is!);
- Fe- és Al-oxidok csekély oldhatósága folytán csak olyan kis mértékben mozognak, hogy *in situ* egyoldalú relatív felhalmozódásuk jelentkezik (laterites vasérctelepek!, Fe- és Al-tartalom anyagközettől a felszín felé folyamatosan növekvő értékei). Ti, Mn, továbbá nyomelemek (Cr, Ni, Co és V) is kumulálódhatnak.

# A szikesedés és annak talajmikrobiológiai háttere

- oldható sók, elsősorban a nátriumsók döntő szerepe
- nátriumsókban gazdag felemelkedő talajvizek
- megváltozik a talajok szelvénytípusa, az adszorpciós komplexumban a kationok aránya, a humuszanyagok jellege, a baktériumflóra anyagcseretípusok szerinti összetétele, stb.



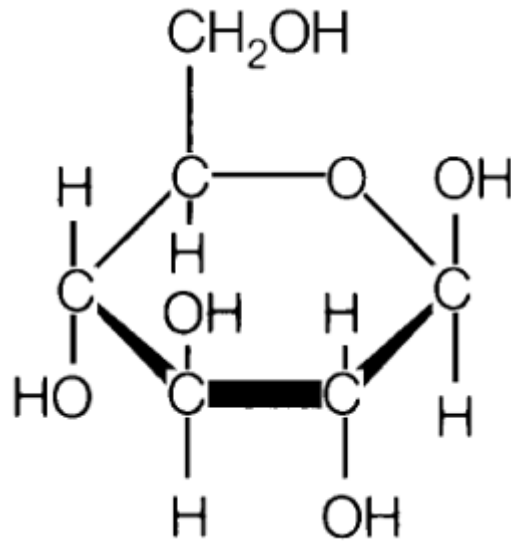
# Szoloncsákok talajmikrobiológiai folyamatai

- sókban gazdagok, Na, Ca és Mg kloridjai, szulfátjai és karbonátjai;
- ha a Ca-ionok nagy része karbonát vagy szulfát alakjában kicsapódott, úgy a talajban a rendkívül kedvezőtlen  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (szóda) és  $\text{NaHCO}_3$  jelenik meg;
- szénsavas talajoldat hatására az adszorpciós komplexum és a talajoldat reakciójaként szódaképződés jelentkezhethet (Anaerob viszonyok között a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -nak mint terminális elektronakceptorra a *kemoorganotróf anaerob légző baktériumok*, elsősorban *Desulfovibriok* által kiváltott redukciója  $\text{Na}_2\text{S}$ -t eredményez, amelyből szénsav hatására már abiotikus úton  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  és  $\text{H}_2\text{S}$  keletkezik);
- A szulfátok anaerob mikrobiológiai redukciójakor keletkező kén-hidrogén újra szulfáttá oxidálódhat nitráttal, mint terminális elektronakceptorral, *fakultatív anaerob kemolitotrófok hatására*, miközben a talajt  $\text{N}_2$  hagyja el; de kénné vagy szulfáttá oxidálódhat a talaj anaerob fotoautotrófjainak részvételével is; a  $\text{H}_2\text{S}$  a talajokból el is illanhat: a visszamaradó kationok közül a nátrium az adszorpciós komplexumba becserélődve gyorsítja az elszikesedést.

# Példák a talajokban lejátszódó fontosabb biológiai reakciókra: 1. Talajlégzés

- A talajokban **mineralizáció** folyik: ez az elemek szerves kötésből ásványi kötésbe vitele, a szerves vegyületek energiájának felszabadítása, a biológiailag hasznavehetetlen hőfejlesztés, másrészt a biokémiai komplexitás csökkentése, vagyis a termodinamikai rendezetlenség felé történő elmozdulás.
- A szerves vegyületek elégetése, mint azt a korábbiakban láttuk, nemcsak oxigénnel mehet végbe, hanem anaerob viszonyok között is, amikor az oxigént nitrát, nitrit, nitrogén-oxid, ferrivas, szulfát, kén, stb. helyettesíti.
- Az *aerob talajlégzést általában a termelt  $CO_2$  és a fogyasztott  $O_2$  mérésével határozzák meg.* Nagyon sokszor azonban *csak a  $CO_2$ -termelést mérik: ezt ugyanis mind az aerobok, mind az anaerobok egyaránt kibocsájtják.*

# Talajmikrobák szerepe a növényi sejtfal anyagának lebontásában



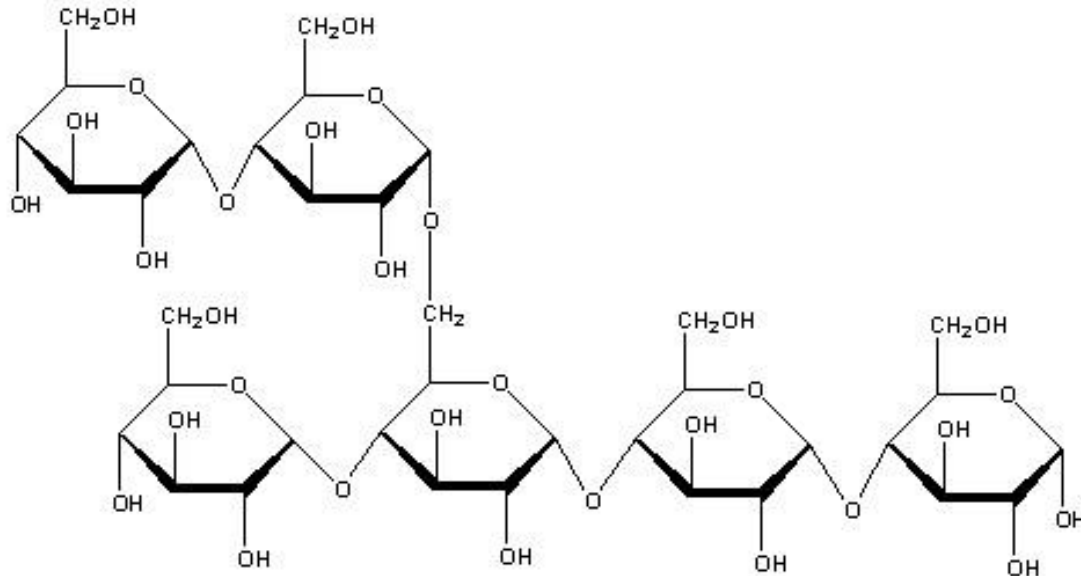
glükóz (monomer)





# Keményítő szerkezete

- Glükóz monomerek kapcsolódása  $\alpha$ -1,4 és  $\alpha$ -1,6 kötésekkel



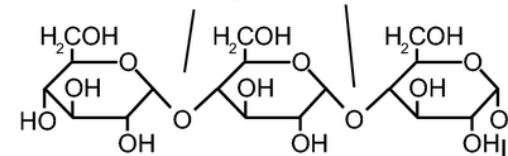
amylopectin



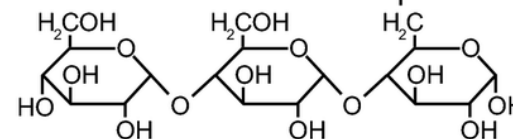
amylose



$\alpha$ -1,4-glycosidic bonds



$\alpha$ -1,6-glycosidic bond

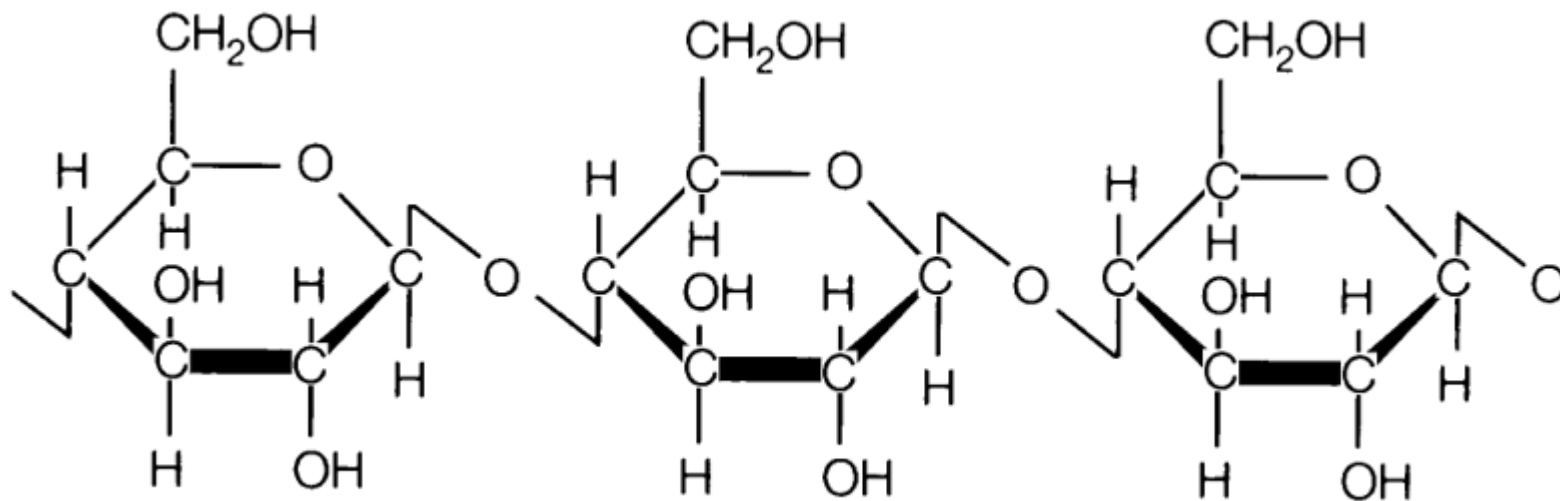


O = single glucose unit

$\alpha$ -1,4-glycosidic bonds

# Cellulóz felépítése

- a glükóz monomerek ún.  $\beta$ -1,4 kötésekkel kapcsolódnak (glikogénben, amilopektinben)



# Szerves anyag mineralizációjának nyomon követése CO<sub>2</sub>-kibocsátás révén (Heil, 2000)

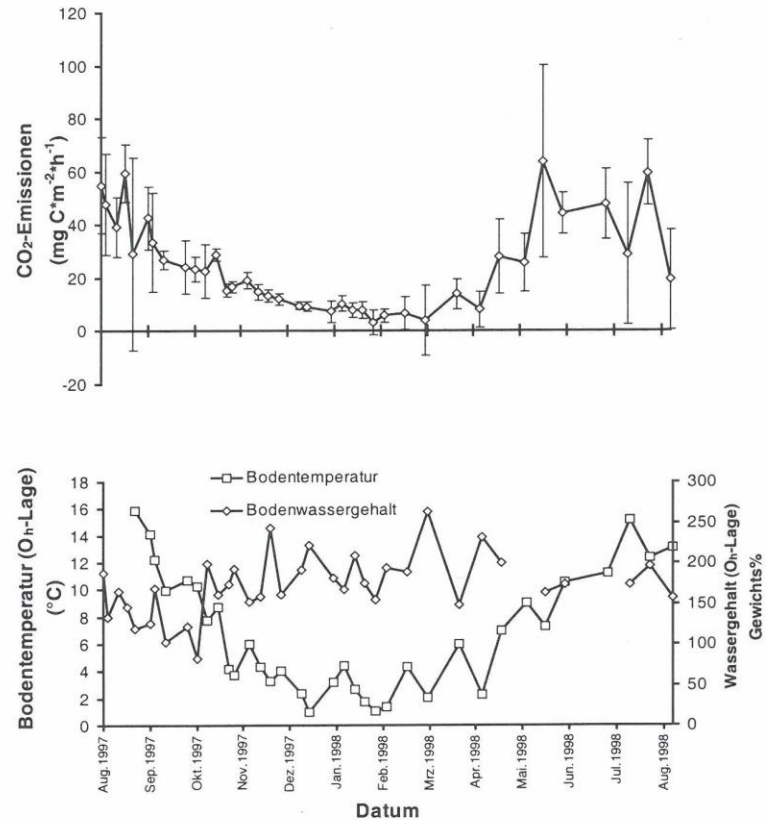


Abb. 3.4-1: Jahresverlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen (mit Standardabweichungen), Bodentemperaturen und Bodenwassergehalte (O<sub>n</sub>-Lage) auf der Fichtenfläche F<sub>A</sub> im Solling.

# Példák a talajokban lejátszódó fontosabb biológiai reakciókra: 2. Az elemek mobilizálása és immobilizálása

- A talajokban mint ökoszisztémákban az elemek ún. *biogeokémiai ciklusainak* részfolyamatai zajlanak. E ciklusokban az a mintegy 30-40 elem vesz részt, amelyek az élő szervezetek fejlődéséhez szükségesek. Közülük a C, N, H, O, S és a P jelentőségét szokták kiemelni, de több más elem is nélkülözhetetlen valamely biokémiai reakcióhoz, struktúra felépítéséhez. Minthogy ezen elemek utánpótlása korlátozott, az élet megújulását a légkörön, hidro- és litoszférán át végbemenő körforgalmuk teszi lehetővé.
- E ciklusok fő jellemvonásai:
  - az elemek az élettelen környezettől az élő szervezetek felé, majd ezeken át vissza az élettelen környezethez vándorolnak;
  - az elemek körforgalmában hatalmas geológiai tartalékelem-raktárak iktatódnak be, melyekben az elemek akár geológiai léptékben is igen hosszú ideig tartózkodhatnak;
  - az elemek a ciklusok során szerves kötésből szervetlenbe és vissza vándorolnak, közben oxidációs fokuk változik;
  - az ilyen ciklusoknak két alakját ismerjük:
    - gázfázisú tartalékokkal rendelkező elemciklusok, és
    - üledékes kőzetek tartalékaira támaszkodó ciklusok.

# Talajmikrobák szerepe a biogeokémiai ciklusokban

Az elemek vándorlásának katalizálásában mikroorganizmusok nagyon különböző utakon és módokon vehetnek részt, ilyenek:

- ásványosítás vagy mineralizáció,
- immobilizáció,
- oxidáció,
- redukció,
- volatilizáció,
- geológiai üledékek kialakítása,
- szerves kelatáló vagy komplexező vegyületek termelése,
- elemek koncentrációja és gyűjtése,
- izotópfractionálás.



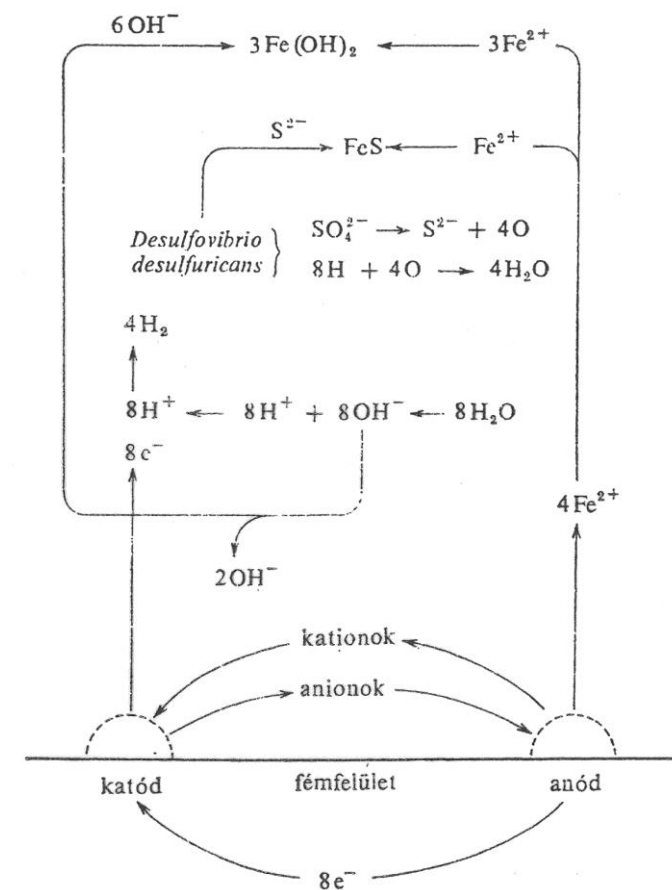
# Rövid távú mikrobiológiai N-immobilizáció beszántott tarlómaradvány-sorok mentén



## Példák a talajokban lejátszódó fontosabb biológiai reakciókra: 3. A fémek korróziója a talajokban

- A talajokba került vagy azokba beépített fémtárgyak mind aerob, mind anaerob körülmények között mikrobiológiailag serkentett korróziónak vannak kitéve.
- Valamely szilárd fémnek a korrózióhoz ionokat tartalmazó, elektrolitként ható vízzel (talajnedvességgel) kell érintkezésbe kerülnie. Ennek hatására a fémfelület különböző pontjai között feszültségkülönbségek jelentkeznek és elektromos erő ébred. A fém reaktívabb pontjai anódként viselkednek és az atomok ionos állapotba mennek át. Itt tehát a fém pusztul, oxidálódik és oldatba megy. A fémfelület kevésbé reaktív pontjai katódként viselkednek, ahonnan elektronok távoznak, amelyek a környező oldatból ide hatoló hidrogénionokkal atomos hidrogént, ill. hidrogéngázt fejlesztenek. Az anód fémes oldódása mindaddig tart, amíg az egyre csökkenő elektromos erő ezt lehetővé teszi.
- A korrózió azonban egy idő után megáll, amikor a katódon fejlődő hidrogén és az anódról kilépő fémionok olyan mennyiségben halmozódnak fel, hogy a  $H/H^+$  és a  $fém/fém^{++}$  elektródpotenciál kiegyenlítődik. Ebbe a folyamatba avatkoznak be többek között a mikroorganizmusok, és a korróziót anyagcsere-aktivitásukkal folyamatossá teszik.

# A fémek biológiailag indukált korróziója a talajokban



Képek:

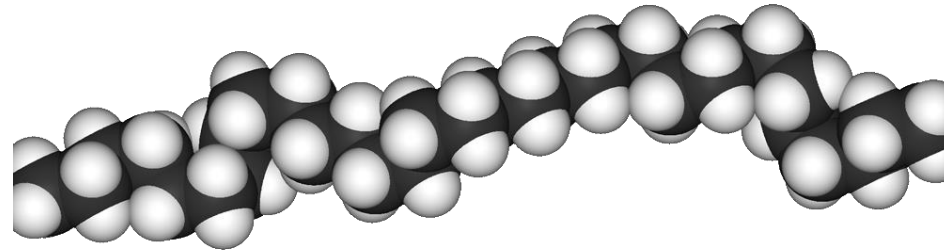
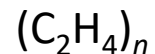
<https://www.unifiedalloys.com/blog/microbial-corrosion>

<https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion/forms-of-corrosion/microbiologically-influenced-corrosion-mic>



# Példák a talajokban lejátszódó fontosabb biológiai reakciókra: 4. Műanyagok lebontása a talajokban

## Polietilén térszerkezete

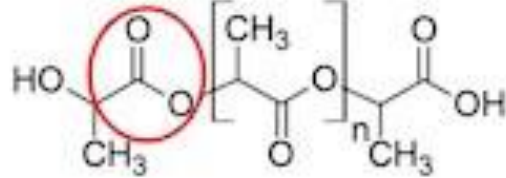

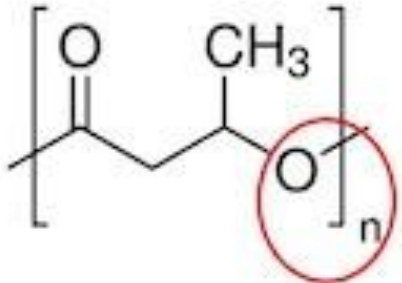
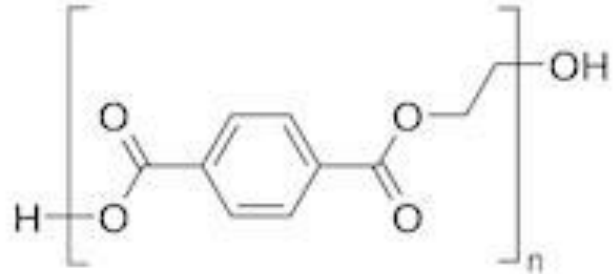


Forrás:

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1019608>

- A műanyagok felhasználása mára világszerte hatalmas méreteket öltött, s szerepük a továbbiakban is nőni fog. Mivel alkalmazási területük mind a mezőgazdaságban (pl. fóliaborítással termesztett növények), mind az iparban nagyon széles, a talajok szennyezése a műanyagokkal is igen gyakori jelenség.
- Sajnos a műanyagok mikrobiológiai bontásának még a kimutatása sem egyszerű feladat. Ezek az anyagok ugyanis szennyeződésként sokféle oligomert, monomert, stb., továbbá mikrobiológiailag könnyen bontható ún. adalékanyagokat tartalmaznak, melyeknél együttesen igen nehéz a tényleges polimerbontás megállapítása.
- Egyébként is, a műanyagok nagy része hosszú, lineáris vagy elágazó láncú szintetikus polimerekből áll. A C-C gerincet tartalmazó nagy molekulatömegű polimerek rezisztensek a mikrobák támadásával szemben és ellenállnak a reciklációnak.
- Az ilyen polimerek biológiai lebontását csak úgy tehetjük lehetővé, ha a fő szénláncot már az előállítás során fizikai vagy kémiai hatásokkal szemben érzékennyé tesszük, aminek következtében a biológiai támadás már kibontakozhat (fény ill. UV-hatására érzékenyített műanyagok!). (2020-ban csak 1%! biodegradálható!).

# Műanyagok szerkezete

<p>Polylactic Acid (PLA)*</p> 	<p>Polyethylene (PE)</p> 
<p>Poly(3-hydroxybutyrate) (PHB)*</p> 	<p>Polyethylene terephthalate (PET)</p> 

biodegradálható műanyagok (észter-  
csoportok az enzim-kötő helyek!)

petróleum-alapú rezisztens  
műanyagok

# Polybutylene succinate-co-adipate (PBSA) alapú biodegradálható műanyag lebomlása talajban 240 nap után



# Szénhidrogéntartalmú veszélyes hulladékok mikrobiális ártalmatlanítása

- Alkánok igen nehezen bonthatók le;
  - A nyers kőolaj pl. a telített szénhidrogéneken kívül tartalmaz aromás, sőt poliaromás vegyületeket, poláros, N-, S-, O-tartalmú szerves vegyületeket és számos toxikus szervesetlen vegyületet is, következésképpen direkt mérgező hatása mellett mutagén, karcinogén és növekedésgátló is.
- természetből izolálható lebontó szervezetek
- csak olaj/víz emulzióban képesek felvenni
- lebontási utak:
  - terminális metil csoportot oxidáz támadja → alkohol → aldehid → zsírsav
  - alkán dehidrogénezése → alkén → alkohol → aldehid → zsírsav
  - közvetlenül alkil-hiperoxid → zsírsav



# Szénhidrogéntartalmú veszélyes hulladékok mikrobiális ártalmatlanítása

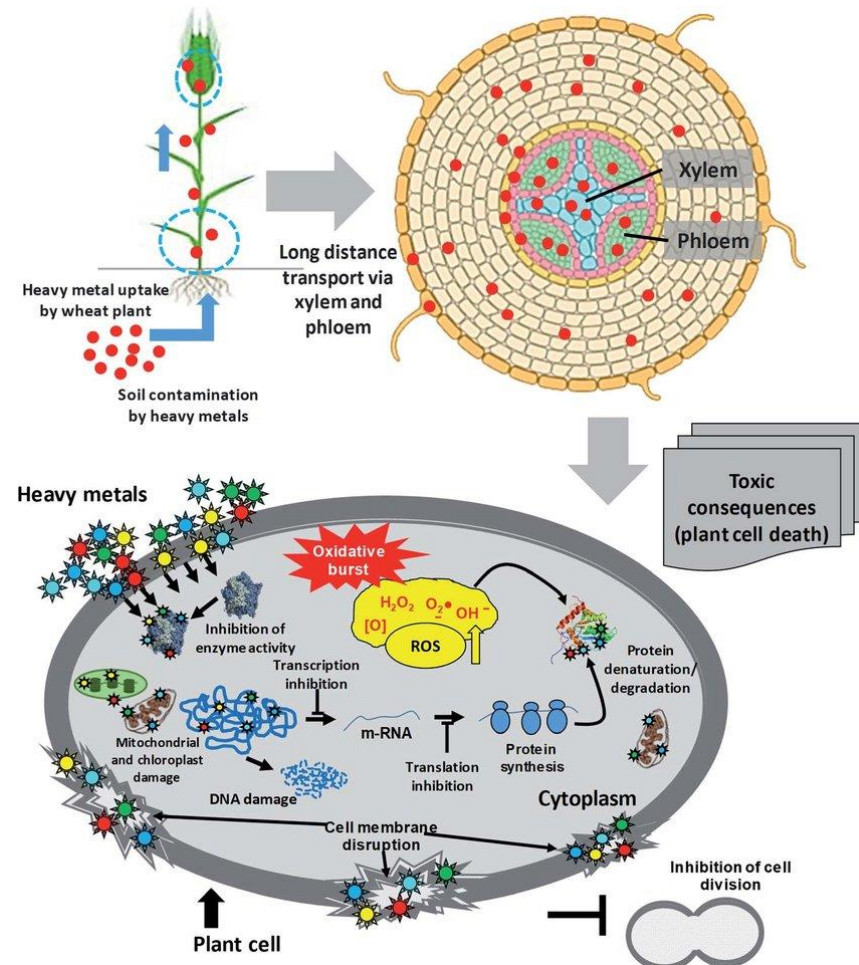
- technológiailag is alkalmazható: Gram-negatív *Pseudomonas putida*, *Flavobacterium* fajok, Gram-pozitív *Bacillus megatherium* és *B. subtilis*, *Nocardia* és *Streptomyces* fajok, az élesztőgomba *Yarrowia lipolytica*, stb.;
- Technológiai lépések:
  - Indítás: megfelelő szilárd vivőanyagra (alginit, tőzeg, stb.) felvitt, grammonként  $10^9$ - $10^{11}$  élő mikrobasetet tartalmazó oltóanyagok a megtisztítandó talajba történő egyenletes bekeverése
  - mikrobapopulációk kezdeti tápanyagellátásához, megfelelő kondícióban tartásához valamely könnyebben bontható szerves anyag (lignocellulóz hulladék, kész komposzt stb.) adagolása.
  - Aerob feltételek biztosítására a keveréket több alkalommal átkeverik.
  - A teljes folyamat mérsékelt övön egy évnél hosszabb ideig is eltarthat!

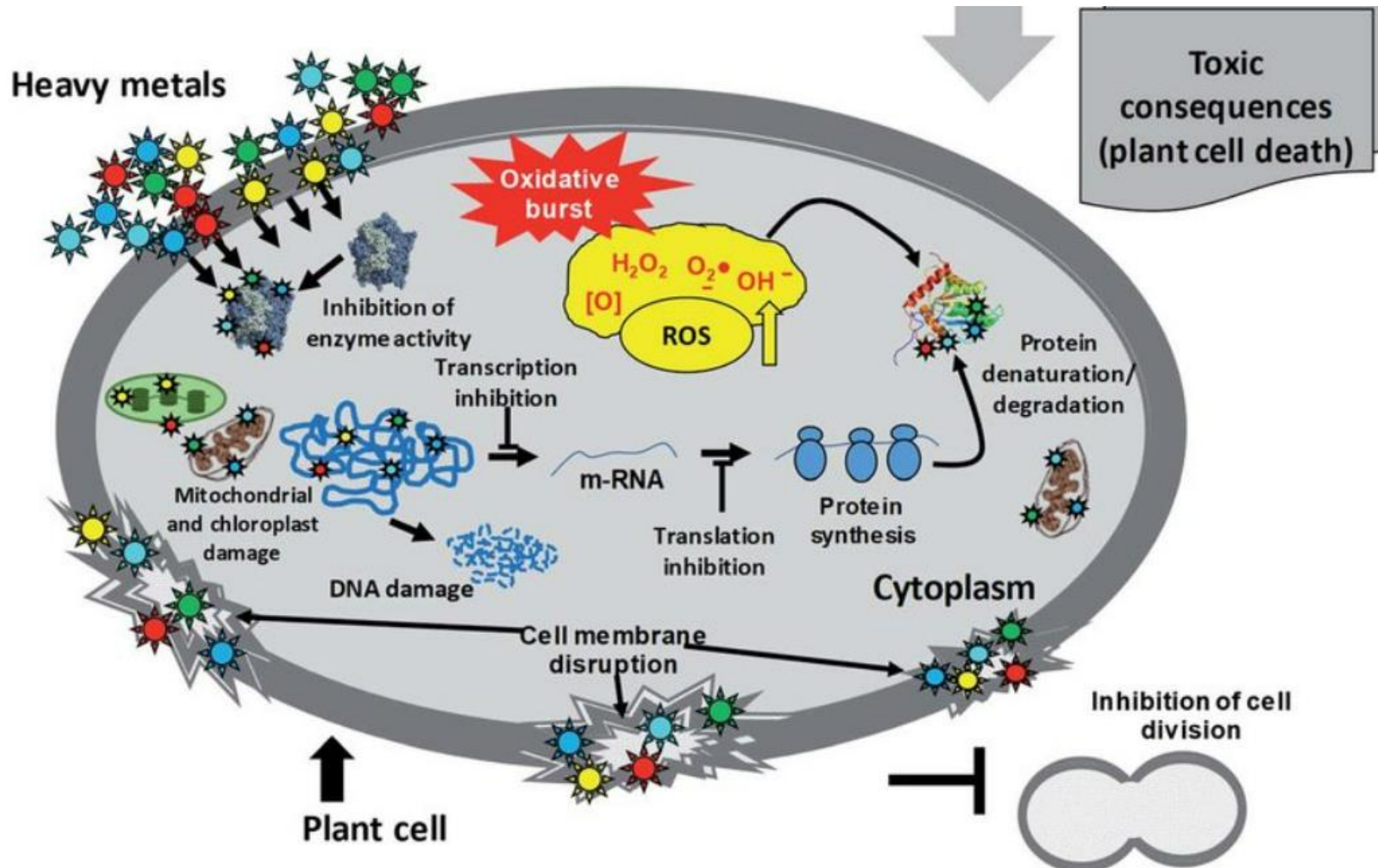
# Nehézfémionok hatása a talajban

- Mobilizálódva már alacsony cc-ban is toxikusak (mikroorg-okra, növényekre, talajállatokra)
- szerves anyagok felhalmozódása
- Érzékenység mikrobacsoportonként eltérő: N<sub>2</sub>-kötő Gram-negatívok a legérzékenyebbek
- Gram-pozitív erjesztők
- szerves anyag erősen leköti, mobilizálódás mértéke pH-függő



# Nehézfém sejtbe jutása esetén sejtpusztulást okozó káros folyamatok sorozata







# Mikroba sejtek nehézfém-rezisztencia mechanizmusai

- Energiafelhasználó efflux pumpával a sejt a külső magas értékek ellenére alacsonyan tartja az intracelluláris szintet.
- Oxidálja kevésbé toxikus vegyületté.
- Hozzáköti valamely intracelluláris polimer vegyülethez, amely ilyenformán "csapdaként" szolgál.
- A sejt a külső felületéhez adszorbeálja.
- A sejt aktív felületén csapadékképződéssel köti.
- Metilezi valamilyen illékony vegyületté.



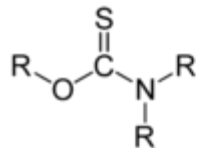
# Mikróbák mint környezetvédelmi teszt-szervezetek

- Tényezők együttes hatását mutatják
- igen érzékeny szervezetek
- szabványosított eljárások
  - pl.: *Azomonas agilis* N<sub>2</sub>-kötő bakt.

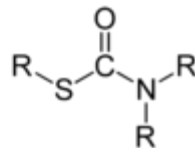


# Talajmikroorganizmusok gyakorlati jelentősége

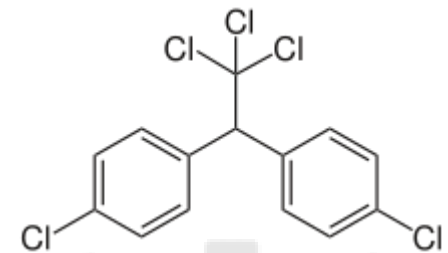
- Növényvédőszer, egyéb xenobiotikumok mikrobiális átalakítása
  - szubsztrátként szolgál a mikrobának
  - kometabolizmus (átalakítás E-nyerés nélkül)
  - mikroba hatására más term. vegyülettel reagál
  - peszticid beépül és felhalmozódik a mikr.-ba
- Számos enzimreakcióra épül: hidroxilezés, dealkilezés, éterkötés hasítása, aromás gyűrű oxidációja, epoxidáció, szulfoxidáció, hidrolízis, dehalogénezés és szintetikus reakciók
- Példák:
  - DDT (diklór-difenil-triklóretán) lebontása *Hydrogenomonasok*-kal
  - szántóföldek tiokarbamát-mentesítése *Rhodococcusok*-kal



1



2



# Gyökérszimbionta gombák (mykorrhiza)

- növényfajaink ~90%-a társulásban
  - endomikorrhiza: AM és VAM
    - externális hifák  $\varnothing$  8  $\mu$ m < hajszálgyök.  $\varnothing$
  - ektomykorrhiza: csak gyökér epidermiszének legkúlsó sejtjei közé hatol be
    - főleg Basidiomycetes → Agaricales rend fajai
    - Ascomycetes → Tuberales (tölgyekkel,ogyoróval)
  - betegségellenállóság növelése a növénynél
- 
- pillangósvirágúak és *Rhizobiumok*
  - éger és *Frankia*



# Foszforoldó mikroorganizmusok

- növények számára hozzá nem férhető, „oldhatatlan” P-vegyületek mobilizációja
- átmenetileg mikrobiális immobilizáció is!
- Gram pozitív spórások, sztreptomicészek, *Penicillium* és *Aspergillus* fajok
- Szerves savak képzése (pl. ketoglukonsav)
- Komplex vegyületek, H<sub>2</sub>S gáz képzésével
- Enzimatis bontások (foszfatáz)

