



SOPRONI  
EGYETEM |

ERDŐMÉRNÖKI  
KAR



# TALAJTANI (ERDÉSZETI TERMŐHELYISMERETTANI) SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK





SOPRONI  
EGYETEM |

ERDŐMÉRNÖKI  
KAR

# TALAJBIOLÓGIA – 2. rész

Dr. Heil Bálint



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



# Hagyományos biológiai védekezés

- Antagonista,
- hiperparazita,
- rovarpatogén,
- nitrogénmegkötő, és
- foszfát mobilizációra képes mikroorganizmusok felhasználása
  
- Fő hátrányok:
  - rossz eltarthatóság
  - gyenge hatásfok
  - nem megfelelő szelektivitás



# Növényi növekedést serkentő rizobaktériumok (PGPR)

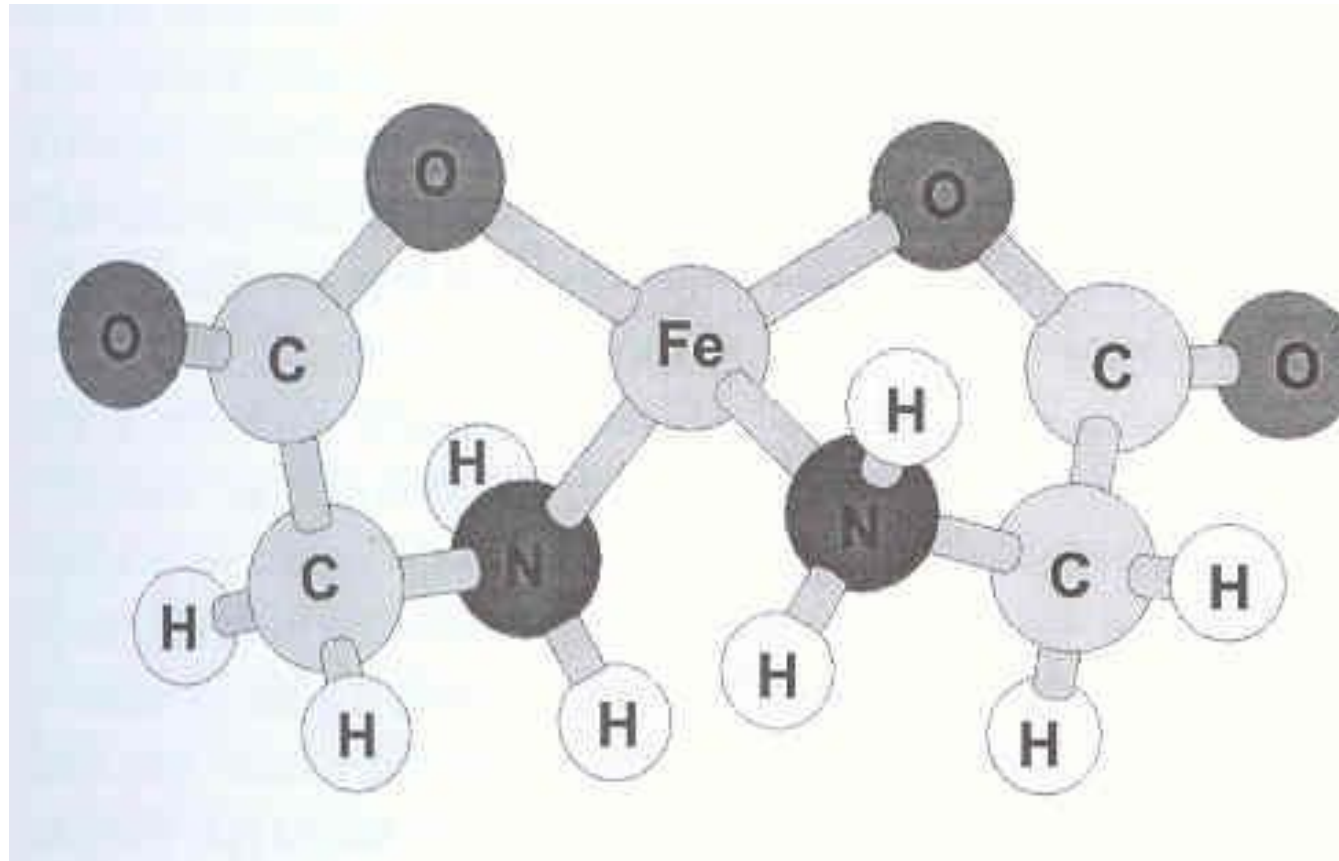
- *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*
- *Pseudomonas fluorescens putida*: oltóanyagként történő alkalmazásakor gyakran növekedés- és terméstudbplet!
- sziderofor vegyületek képzése, s ezzel a talaj Fe-tartalmával komplexálása
  - kórokozó mikróbák visszaszorítása
  - Fe növény számára felvehetővé alakítása
- hormonok (auxin, gibberelin), hormonszerű anyagok termelése
- Gyümölcsösök újratelepítési betegségének kiküszöbölése!



# Kísérletek PGPR baktériumok hatékonyságának javítására

- *Pseudomonas* genus: több mint 200 faj, melyek döntő többsége a talajban és természetes vizekben élő szaprofita. Nem fermentáló Gram<sup>-</sup> baktériumok, metabolizmusuk során az energiát oxidatív úton nyerik.
- A fluoreszkáló *Pseudomonas*ok képesek a leghatékonyabban korlátozni a talajlakó növénykórokozó mikrobákat;
- alkalmazási lehetőségeik:
  - Kompetíció – vasért folyó versengés antagonistaként, sziderofórok képzésével: *P. putida* WCS385 törzs ;
  - antibiózis;
  - szisztémás szerzett rezisztencia kiváltása – *P. putida* WCS347 ill. WCS347pMR törzs

# Sziderofór vegyület: vas aminosav alapú kelátja

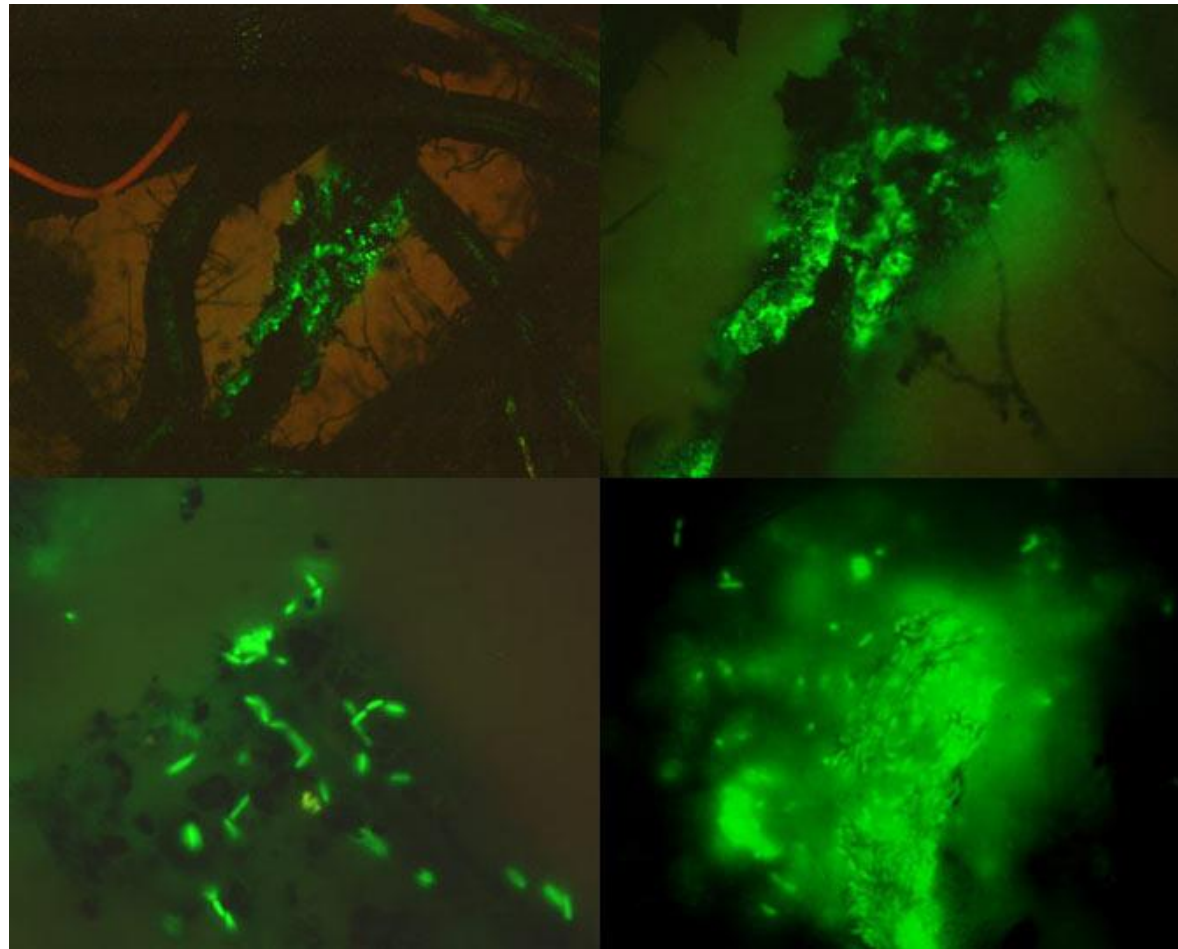


## *Pseudomonas fluorescens* búzagyökéren





## *Pseudomonas fluorescens* búzagyökéren



# Kompetíció hasznosításának korlátai

- Szűk hatásspektrum
- Gyakran túl rövid élettartam természetes körülmények között

Cél tehát a három tulajdonság ötvözése! (kompetíciós készség, antibiotikum termelés, szisztémás rezisztencia kiváltása)



# Génmanipuláció a kompetíció javítására

- *Pseudomonas putida* WCS385
  - agresszív [sziderofór](#) hasznosító a PupA-receptorfehérje génje által
  - Saját sziderofórja a *pseudobactin* 385
  - Csak kompetíciós képessége van
- *Pseudomonas putida* WCS347
  - szisztémás rezisztenciát indukál
- *Pseudomonas putida* WCS347pMR
  - Bevitték a WCS385 PupA-receptorfehérje génjét



Retek csemeteredőlése  
*Fusarium oxysporum*  
fertőzés miatt

## Nemesítési munka a kompetíció javítására

- *Pythium* fajok sporangiumai csak magexudátumok hatására csíráznak
  - illékony jelmolekulák: ammónia, etil-acetát, hosszú szénláncú-zsírsavak
- *Erwinia chloacae* és bizonyos *Pseudomonas* fajok lehetnek jelentősek: elhasználják a jelmolekulaként szolgáló exudátumokat
  - Bizonyítása: *linolénsav* jelmolekula hasznosításáért felelős *fadB* gén elrontása *Erwinia chloacae* esetén



## ***Baktériumok antibiotikum termelő képességének hasznosítása***

- *Pseudomonas aureofaciens* és a *Pseudomonas fluorescens* különböző törzsei:
  - fenazinokat, oomycin A-t, pioluteorint, pirrolnitrint és poliketideket termelnek
- Metabolit-szintézisutak tisztázása
- Szintézisért felelős enzimeket kódoló gének megtalálása



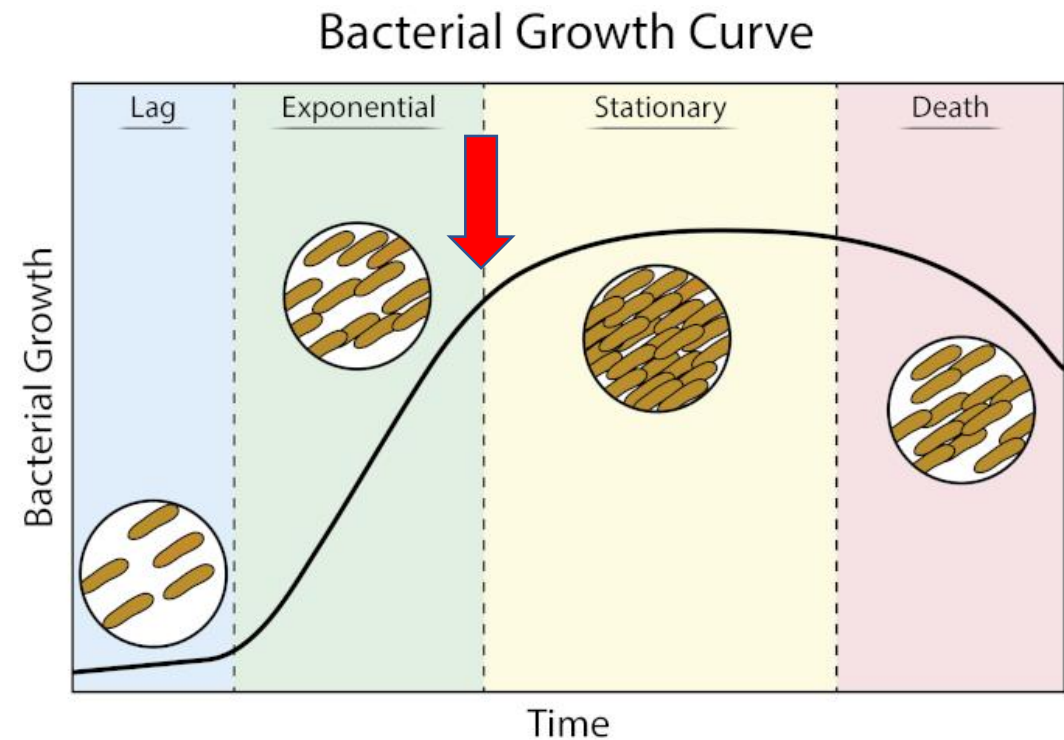
# ***Baktériumok antibiotikum termelő képességének hasznosítása***

- A környezeti jelzések vétele és közvetítése *Pseudomonas fluorescens*-ben tipikus kétkomponensű szabályozású:
  - jelmolekulákat észlelve transzmembrán receptorfehérjék autofoszforilálódnak, konformációjuk megváltozik;
  - Intracelluláris kapcsolt kináz enzimeik aktiválódnak;
  - a foszforilált kinázok DNS-kötő doménjükkel kapcsolódnak az antibiotikum-szintézist irányító gének promóter szakaszához;
  - megindul a génexpresszió.



# Baktériumok antibiotikum termelő képességének hasznosítása

- Fenazin termelését kétkomponensű transzkripciós rendszer szabályozza: a *P. fluorescens* csak akkor kezdi meg az antibiotikum termelést, amikor csökken bizonyos szigma faktorok mennyiségének egymáshoz viszonyított aránya, ez pedig csak akkor következik be, amikor a tenyészet az exponenciális növekedési fázisból a stacioner fázisba lép át



# ***Baktériumok antibiotikum termelő képességének hasznosítása***

Hogyan hasznosíthatjuk a fenti ismereteket?

- meg kell változtatni az antibiotikum-szintézist irányító génekről történő transzkripció sebességét, vagy
- el kell hitetni a *P. fluorescens* megfelelő génjeivel, hogy a sejtek már a stagnáló fázisba kerültek:
  - *tac*-promóterre kapcsolták az oomycin-A bioszintézisét irányító géneket. Az így módosított törzs hatékony volt a gyapot *Phytium ultimum* okozta palántadőlése ellen;
  - A *P. fluorescens* BL915 törzsét pedig pirollnitrit túltermelésre nemesítették az uborka palántadőlés elleni védelem céljából

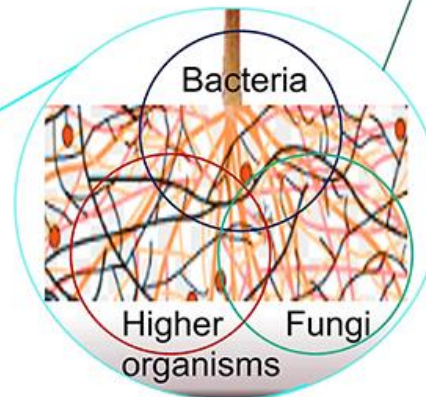




# PGPR-baktériumokkal történt talajoltás szélsőségesen kedvezőtlen tulajdonságú talajon



Enhanced tripartite plant-soil-microbial interactions

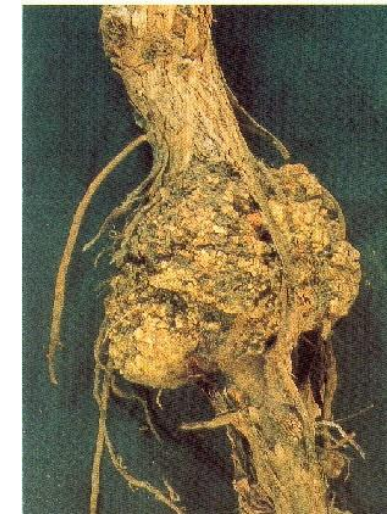
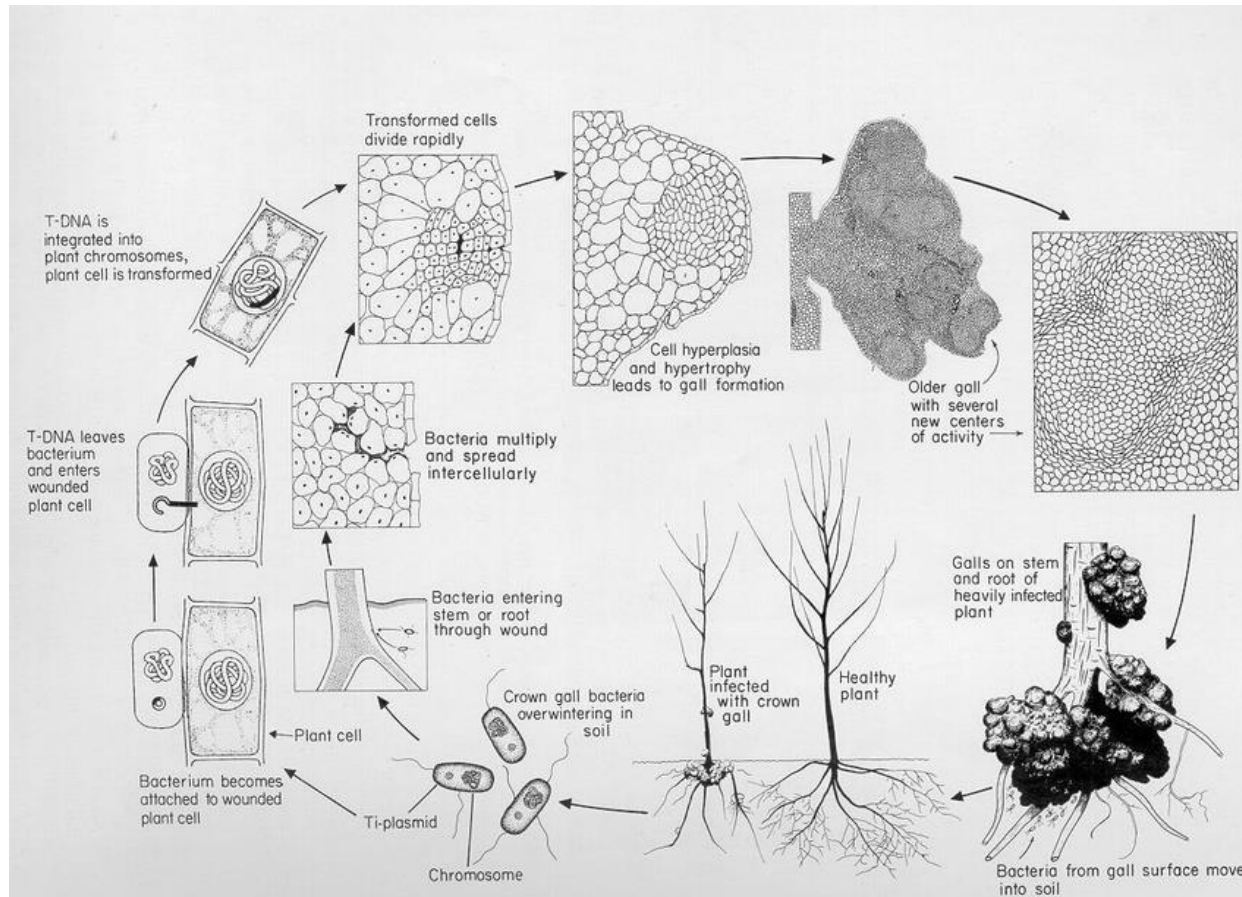


## Multifunctional roles of PGPMs

- N fixation
- P mobilization
- K solubilization
- Fe mobilization
- Pest/disease suppression
- SOM enhancers
- Soil aggregation

Degraded soil inoculated with a consortium of PGPMs including AMF, *Bacillus* spp., *Rhizobium* spp., *Pseudomonas* spp. and *Trichoderma* spp.

# *Agrobacterium tumefaciens* élelciklusa



*Agrobacterium tumefaciens* okozta  
golyva

# Géntechnológiai beavatkozás az *Agrobacterium radiobacter* kezelések biztonságosságának növelésére

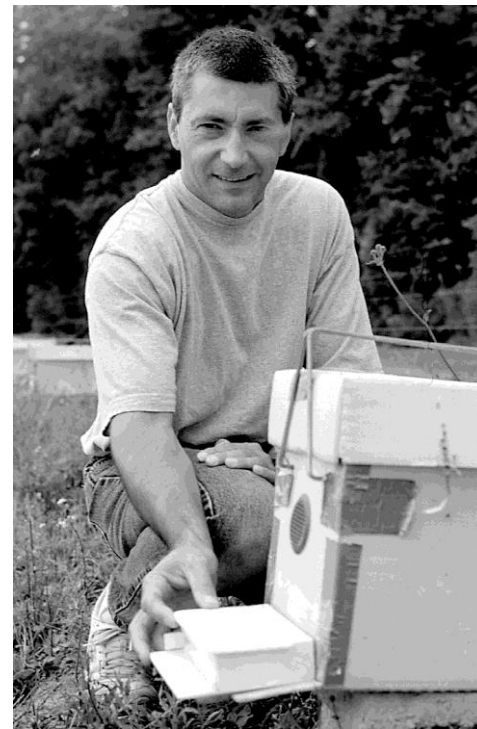
- *Agrobacterium radiobacter* K84 törzs plazmidján hordozza **agrocin** termelés kódját;
- Horizontális génátvitel veszélye!
- Mutáns K84 törzs előállítása, a Tra transzfer gén kiiktatásával;
- Az É-i félteke egyik legveszélyesebb erdei gomba kórokozója, a *Heterobasidium annosum* transzformálására *A. tumefaciens* kokultiváció, marker génekkel (antibiotikum rezisztencia és fluoreszcens fehérje)



# Antagonista, hiperparazita gombák nemesítése

- Növénykórokozók elleni hatásmechanizmusai hasonlóak PGPR baktériumokéhoz:
  - kompetíció;
  - antibiózis;
  - szisztémás szerzett rezisztencia kiváltása;
- közvetlen parazitizmus  $\Rightarrow$  extracitoplazmás hidroláz enzimekkel kaput nyitva, appressóriummal behatolva parazitálnak;
- Géntechnológiai beavatkozások: kitináz aktivitás növelése a cél
  - *Serratia marcescens* kitináz génjének beépítése *Trichoderma harzanium*ba
  - Kitinázgének kópiaszámának növelése *Trichoderma hamatum* törzseknél
  - *Trichoderma longibrachiatum*ban  $\beta$ -1,4-endoglükánáz génjének kópiaszám növelése (*Pythium ultimum* ellen)

# *Trichoderma* fajok terjesztése méhekkel, *Botrytis cinerea* ellen



Vivőanyaggal ellátott *Trichoderma harzanium* T22 törzsének beporzást végző méhekkel történő kijuttatása *Botrytis cinerea* gombának bogyósgyümölcsűekkel (eper, málna, szeder, szedermálna, szőlő) szembeni károsítása megelőzésére (Joseph Kovach)

# Biológiai védekezés gombák ellen mikovírusok közvetítésével

- Gesztenye kéregrák kórokozója Mo-ra 1969-ben került be, fő gazdanövénye a szelídgesztenye (*Castanea sativa*), de egyes törzsei fertőzhetnek tölgyeket, juharokat, gyertyánt is!
- *Cryphonectria parasitica* ellen: hipovirulens törzsei **dsRNS mikovirusaival** fertőzöttek
- Hipovirulencia:
  - gyöngült sporuláció
  - színanyag termelése leáll
  - lignocelluláz aktivitás romlik
- anasztomózis révén mikovírusok átadása;









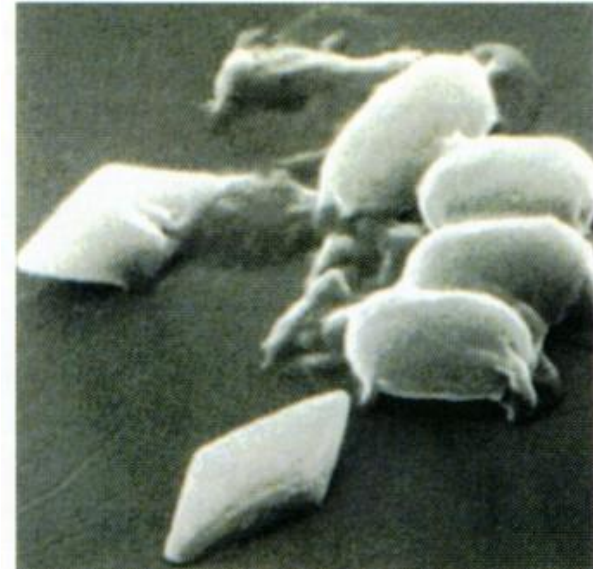
# Genetikai módszerek gesztenye kéregrák legyőzésére

- anasztomózis csoport szabja meg a kompatibilitást!!!  $\Rightarrow$  új probléma: inkompatibilis törzsek szelekciója a megnövekedett evolúciós nyomás hatására!!!
- Biotechnológiai megoldás:
  - a hypovírus genomjáról készített cDNS-t elektroporációval bejuttatták a vírusmentes törzsek protoplasztjába
    - $\Rightarrow$  víruseredetű dsDNS átíródása révén hipovirulencia,
    - $\Rightarrow$  szexuális rekombinációval való terjedés,
    - $\Rightarrow$  ily módon sikerült áttörni a hipovirulenciát terjesztő vírus előtt tornyosuló természetes biológiai gátat, a vegetatív inkompatibilitást.



# Bioinszekticidek

- *Bacillus thuringiensis*
- paraspórák test létrehozása spóráképzéskor  
⇒ protoxin (Bt-toxin, Cry-fehérje vagy  $\delta$ -endotoxin);
- specializálódott változatok: pl. *B. thuringiensis kurstaki*  
*Lymantria dispar* ellen (Dipel);
- Rezisztencia Bt-toxin ellen is kialakult ⇒  
törzsnemesítés:
  - rekombináns Cry-plazmidok létrehozása
  - Helyspecifikus mutagenézis
  - Kiméra-toxingének létrehozása



# Rovarpatogén vírusok felhasználása (endopterigóta fejlődésű ízeltlábúaknál)

- Bakulovírusok felhasználása (Elcar™, GemStar™, Spod-X™)
- Hatékonyságuk növelésére *scorpion*-toxingének beépítése

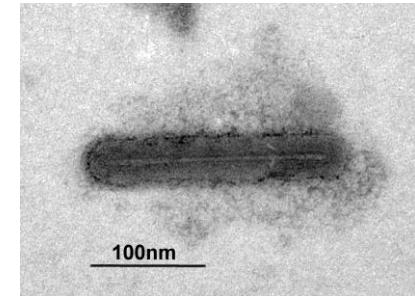


Figure 1.



*Androctonus australis*



*Leiurus quinquestrius*

Met-Cys-Met-Pro-Cys-Phe-  
Thr-Thr-Asp-His-Gln-Met-  
Ala-Arg-Lys-Cys-Asp-Asp-  
Cys-Cys-Gly-Gly-Lys-Gly-  
Arg-Gly-Lys-Cys-Tyr-Gly-  
Pro-Gln-Cys-Leu-Cys-Arg



# Szimbionta nitrogénkötő baktériumok

- Gram-negatívak:
  - *Rhizobium*-, *Bradyrhizobium*-,
  - *Azorhizobium*-nemzetségek
  - *Rhizobiaceae* cs. szinte kizárólag pillangósvirágúakon
  - kivétel: *Parasponia* fajokon (szilfélék)
- Gram-pozitívak:
  - *Frankia*-nemzetség
  - Nem pillangósvirágú zárvatermőkkel (*Alnus glutinosa*, *Myrica gale*, *Hippophaë rhamnoides*, *Casuarina equisetifolia*)



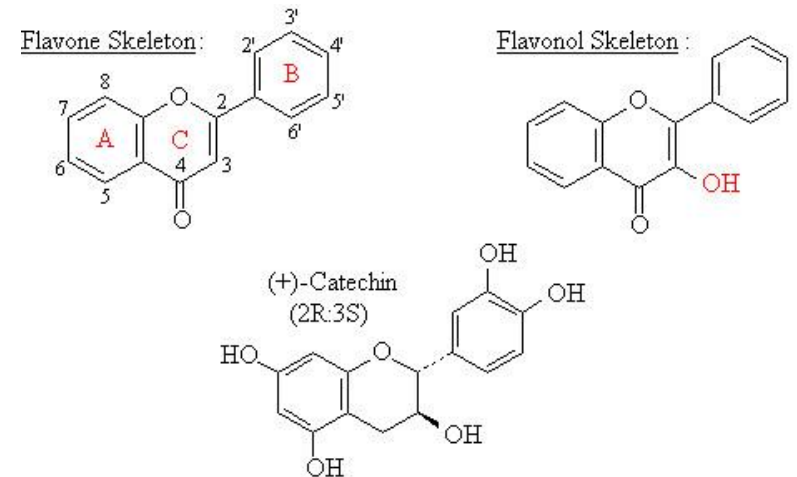
# Rhizobium baktériumok szimbionta kapcsolata növényekkel

- Rhizobiumok a növények gyökerein (*Sesbania* fajokon a száron is) gyökérgümőket indukálnak
- gümőkben kicsiny, pálcikaalakú bakteroidok (mozgásképtelenek)
- nagy gazdanövény affinitás
- igen változó egyedszám és nodulációs aktivitás a talajban
- érzékeny és szigorúan specifikus kommunikáció a növény-gazdával



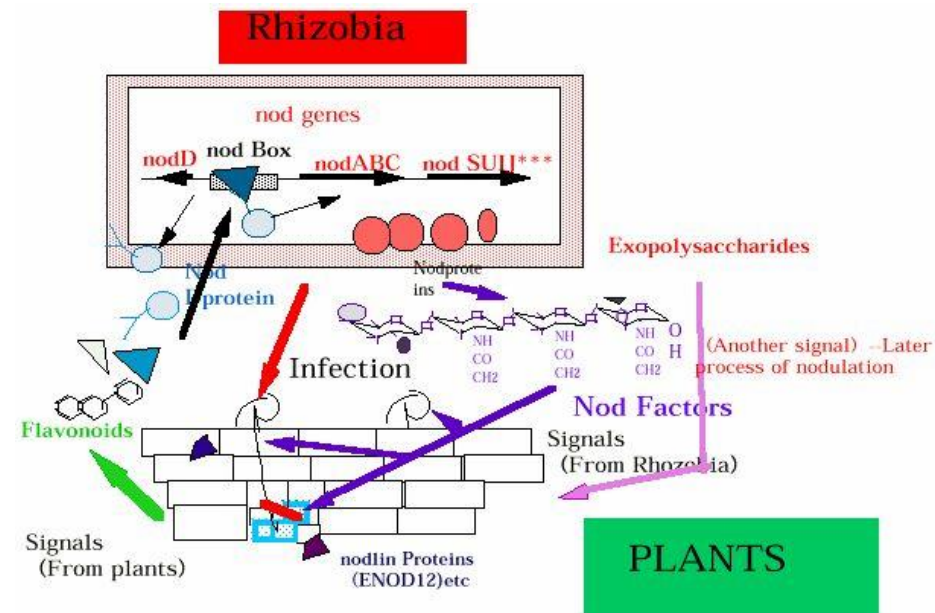
# Rhizobium baktériumok szimbionta kapcsolata növényekkel

- Elsőként a gazdanövény **flavonoidokat** választ ki a gyökeréből;
- Gyűrűs szerkezetük végálló szénatomjai ugyanis változatos módon díszíthetők acetát-, metil-, hidroxil- és egyéb csoportokkal  $\Rightarrow$  erős specifitás;
- Közülük a megfelelőt a rhizobiumok NOD-fehérjéje fogja be;

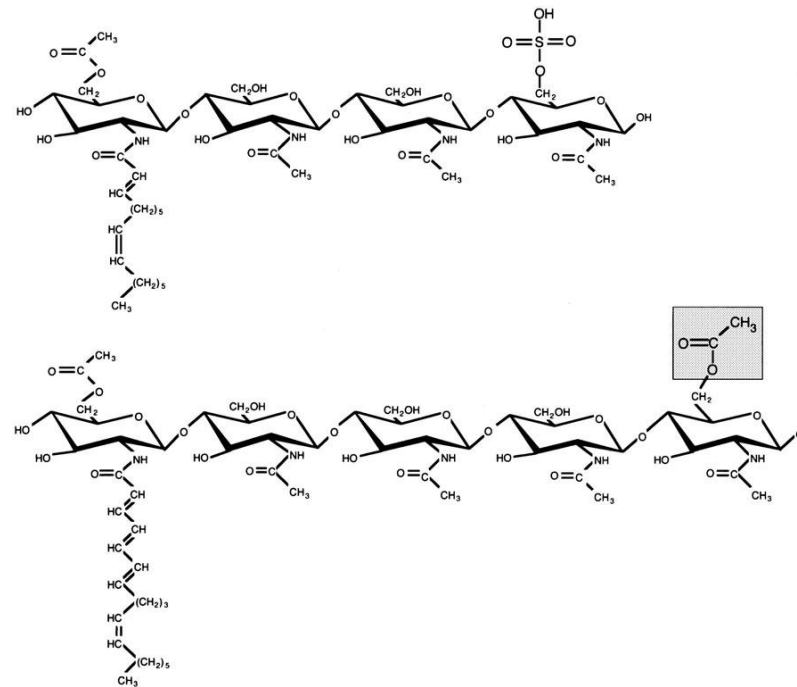


# Rhizobium baktériumok szimbionta kapcsolata növényekkel

- a baktérium megkezdi az ún. NOD-faktorok szintézisének indukálását;
- A *nodD*-gének operonokba szerveződnek:
  - közös *nod* gének
  - gazdaspecifikus (**hsn** = host specific *nodD*)
  - fajtaspecifikus (**CSN**= cultivar specific *nodD*)
  - genotípus specifikus (**GSN** = genotype spec.)
- Ha CSN- és GSN-géneket egyik rhizobium törzsből a másikba átvisznek, akkor megváltozik a recipiens törzs gazdanövény specificitása: olyan növényeken is képes lesz nodulációt kiváltani, amelyek eredetileg a donor gazdanövénykörébe tartoznak.
- A NOD-faktorok beindítják a noduláció kezdeti szakaszát a növényi gyökérben.
- A NOD-faktorokon túl, sejtfelszíni poliszacharidok is részt vehetnek a nodulációs szimbiózis későbbi szakaszában.



# Rhizobium baktériumok szimbionta kapcsolata növényekkel

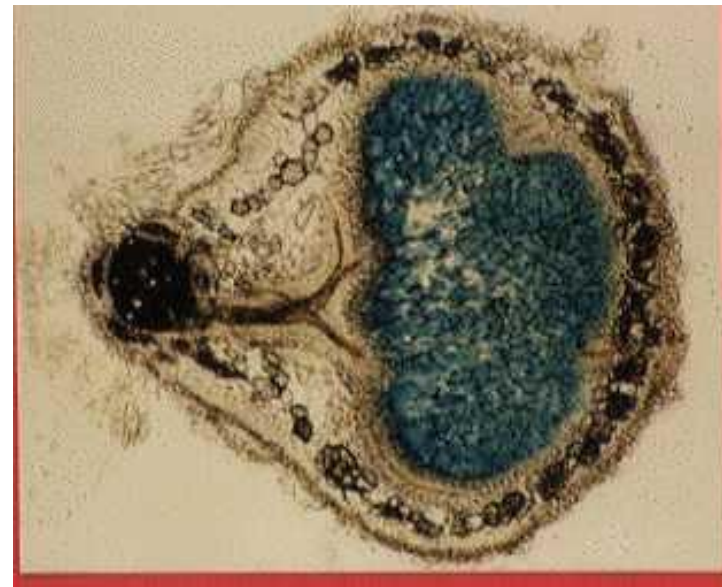
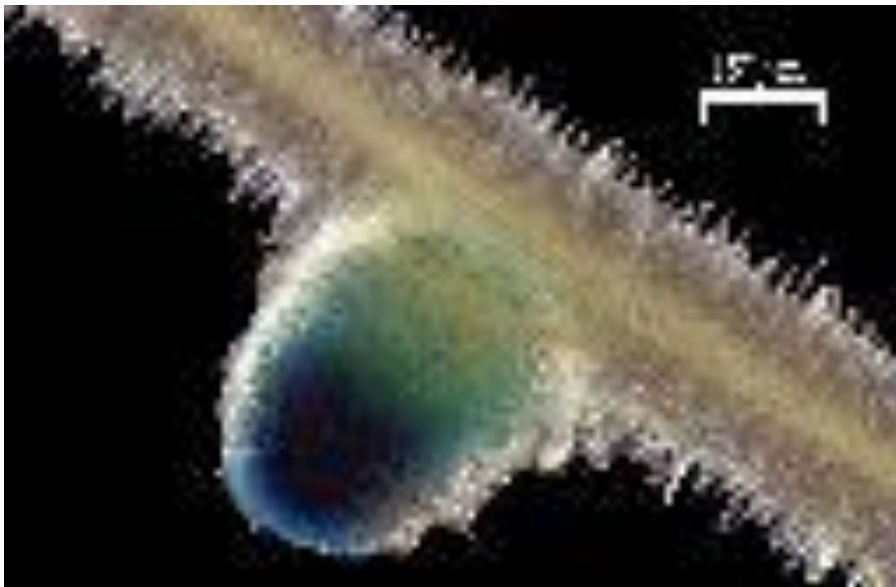


- *Sinorhizobium meliloti* (felül) és *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* (alul) által termelt fő nod-faktorok alapvázai. A fő különbség a cukorlánc-végek egyedi „díszítésében” és a cukorláncok szerkezetében rejlik.



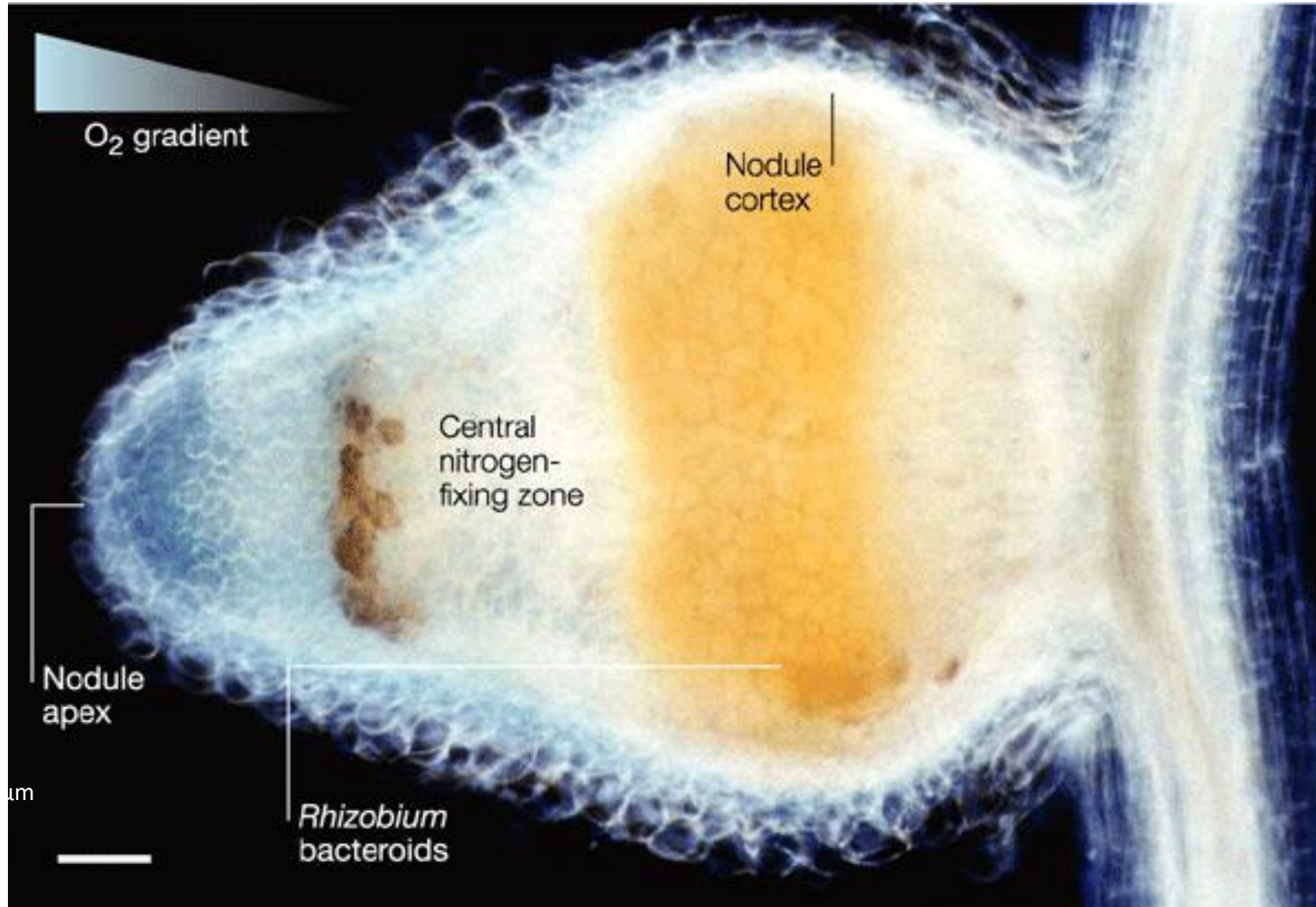
# Rhizobium baktériumok szimbionta kapcsolata növényekkel

- A baktériumok nod-faktorai specifikus **nodulin-géneket** aktiválnak a növényben:
  - korai nodulin-gének (gyökérszőr deformáció, infekciós szál, gyökéregsejt osztódási ütemének változása, gümömetisztéma kifejlődése, hidroxiprolinban gazdag glikoprotein gát-képzés)
    - A hidroxiprolin egy nem-esszenciális aminosav-származék, melynek enzimatis előállítása prolinból C-vitamint igényel. Emberben pl. a kollagén egyik fő alkotóeleme!
  - késői nodulin-gének (leghemoglobin az oxigénkötésért; glutaminszintetáz az ammónia beépítésért; pl. szacharóz-szintetáz szénanyagcseréért; dikarbonsav-transzport)









# Rhizobium baktériumok szimbionta kapcsolata növényekkel

- A nitrogenáz enzimkomplexum működésének alapegyenlete:



- *nif* gének: szabadonélőkben (*Azotobacter*, *Klebsiella*) is
- *fix* gének: csak szimbiontákban

# Szimbionta nitrogénkötés gátló tényezői

- Optimális partner hiánya;
  - Hazai talajainkban például gyakran hiányzik a szója szimbiontája, a *Bradyrhizobium japonicum*
- nodulációs versengés



# Szimbióta nitrogénkötés elősegítésére

- Szimbiózis elősegítésére:
  - talaj- és magoltás;
  - gümőképző baktériumok kijuttatása;
  - kiemelkedően jó szimbióta N-kötő partnerek szelektálása és nemesítése;
  - **géntechnológiai beavatkozások**



# Géntechnológiai beavatkozások szimbionta N-kötőknél

- konstitutívan expresszáldó nodD gén szerkesztése;
- nifA gén kópiaszámának növelése;
- nolC gén inaktiválásával a szimbionta növénypartner-kör (szója) kiterjesztése *Sinorhizobium fredii* USDA257 törzsében;
- *R. leguminosarum* bv. *trifolii* ANU834 törzsében a hsnA régió mutációjának előidézése – borsóra!;
- Pozitív hatású *hsn*-gének rhizobiumokban (pl. *Bradyrhizobium japonicum*ban a nod-1 gén) – szélesebb gazdanövénykör - szubtrópusi pillangósok!;
- Szimbionták versenyképességének javítása bakteriocint kódoló gén bevitelével (*R. leguminosarum* bv. *trifolii* T24 törzse trifolitoxint termel) – konkurens vad rhizobiumok gátlása;
- hagyományos törzsszelekció a jobb gümőfejlesztő képességűek kiválogatására (mozgékonyság, sejtfelszíni EPS struktúrák).



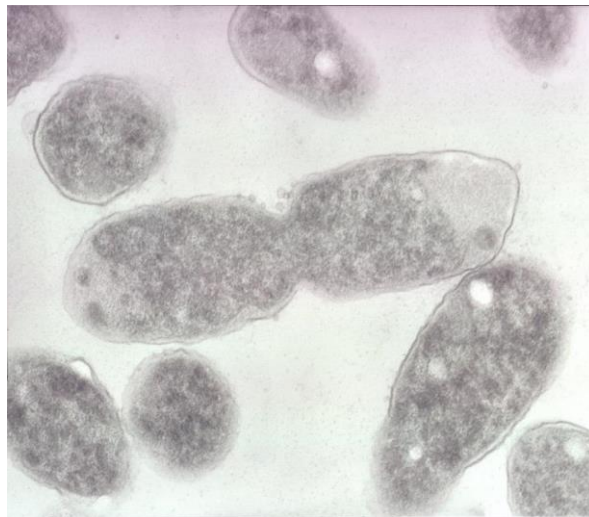
# Géntechnológiai beavatkozások veszélyei rhizóbiomoknál

- Plazmidon bevitt tulajdonságok továbbadását nehéz szabályozni!
- Új genetikai információt lehetőleg szimbiózis szempontjából közömbös régióba vigyünk be!
- Ne terheljük túl a recipienst az új tulajdonsággal!
- Kerülni kell az antibiotikum rezisztenciagéneket tartalmazó konstrukciók alkalmazását!



# Szimbionta N-kötés és antagonizmus ötvözése

- *Sinorhizobium meliloti* vittek be kitinázgént egy másik baktériumból, a *Serratia marcescens*ből;
- transzformált *Sinorhizobium* változatlan hatékonysággal lépett szimbiózisba a lucernával, ráadásul még kitinázt is termelt, és így távol tartotta a kitin-sejtfalú kórokozó gombákat a gazdanövénytől;



# Szabonélő nitrogénkötő baktériumok

- *Azotobacteriaceae* család tagjai
- 2-3 kg N/ha/év természetes körülmények közötti nitrogénkötés
- További előny a növényi növekedést serkentő egyéb anyagok kibocsátása
- *Bacillus*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Beijerinckia* nemzetségek fajai



# Asszociatív nitrogénkötő baktériumok

- nem csak pillangósvirágúakkal képesek társulni;
- *Azospirillum* fajok;
- kevésbé specifikus kapcsolat;
- Növényi lektin (glikoprotein) és bakteriális EPS kapcsolat



# Lektin-glikoprotein kapcsolat



ricin

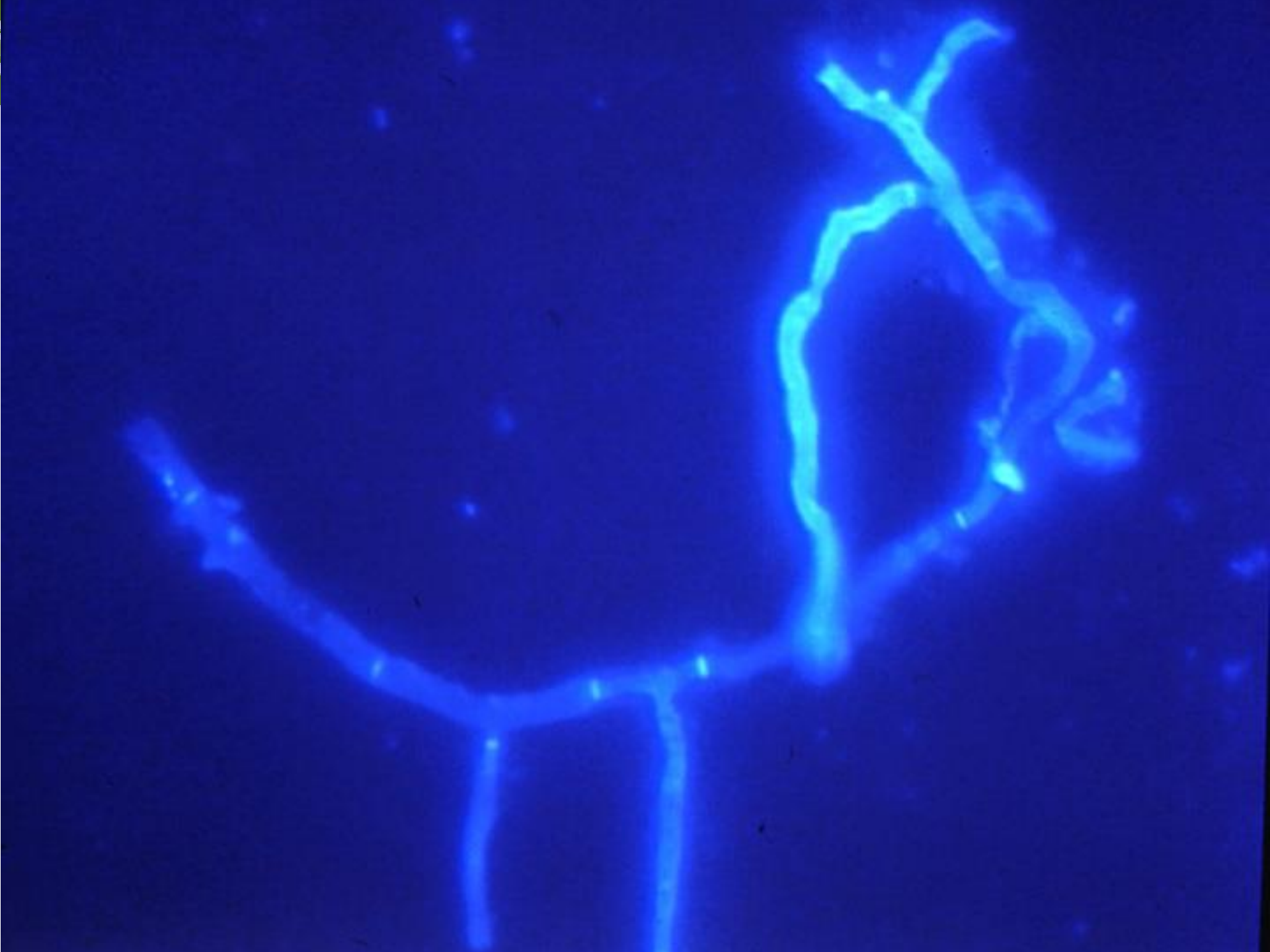


- Az *Azospirillumok* indol-3-ecetsavat is termelnek;
- komoly terméknövekedés érhető el;
- sikeres törzsek és törzskeverékek szelektálása;
- genetikai módosításra még nincs példa;



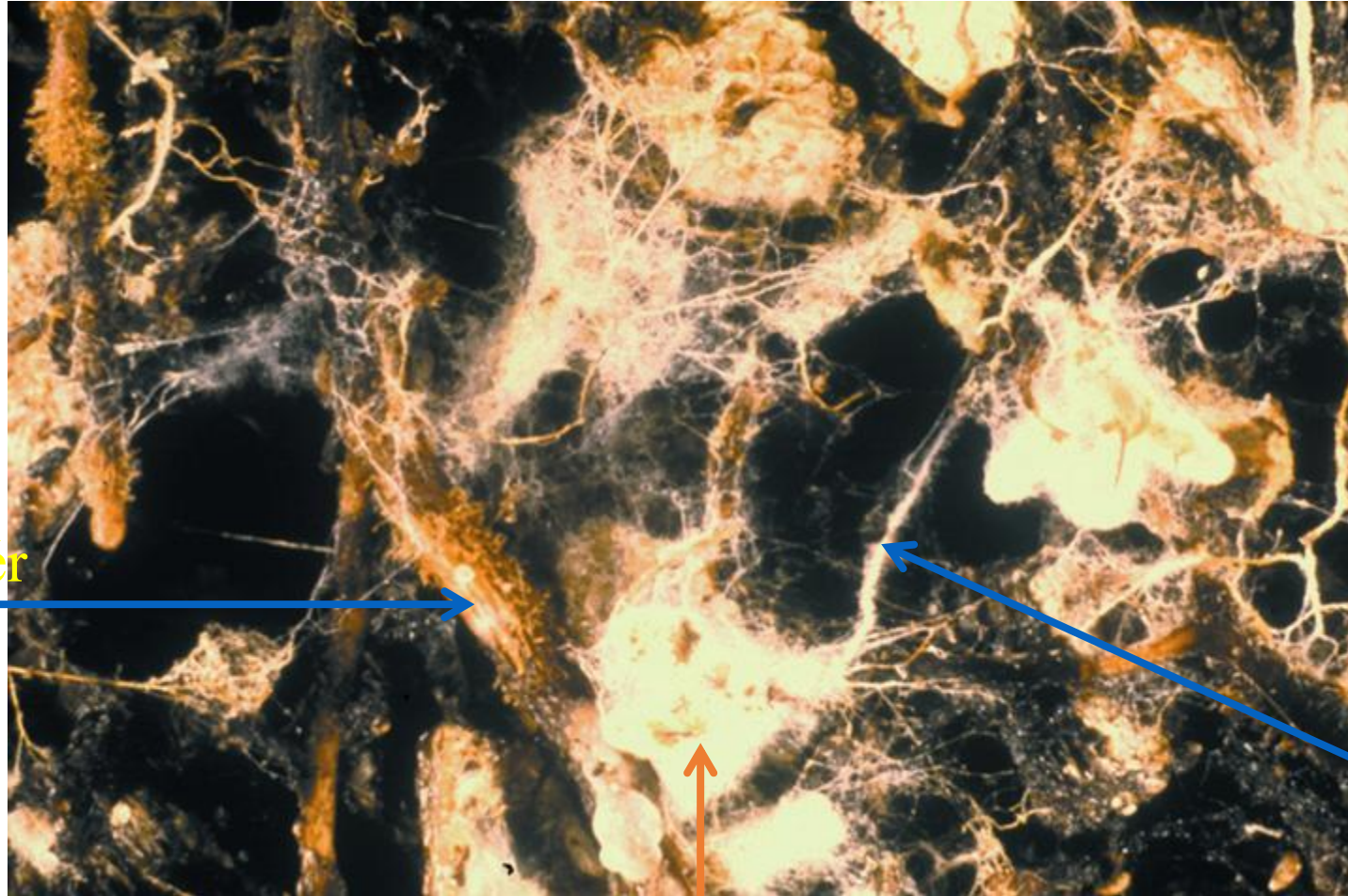
# Mykorrhiza gombák

- Szárazföldi növényfajok kb. 90%-ával;
- Fajtái:
  - Arbuszkuláris típus (**endomycorrhizák**; korábban VAM néven ismert);
    - Arbuszkulomok = hifák többszörös elágazásából, tüdőhólyag szerűek, sejtet körülölelik;
    - Vezikulumok = hólyagszerű raktározó képletek, nem obligát a létrejöttük!
  - Ektotróf típus (**ektomycorrhizák**): csak a növényi gyökér külső sejtrétegei közé hatolnak be;
  - Leggyakoribb a VAM (AM): vezikulo-arbuszkuláris mykorrhiza;
- *Zygomycetes* osztály (újabbán: Glomeromycota törzs):
  - *Endogone, Glomus, Gigaspora, Scutellospora, Archeospora*;
- Devon korszak óta (i.e. 405-350 m. év)





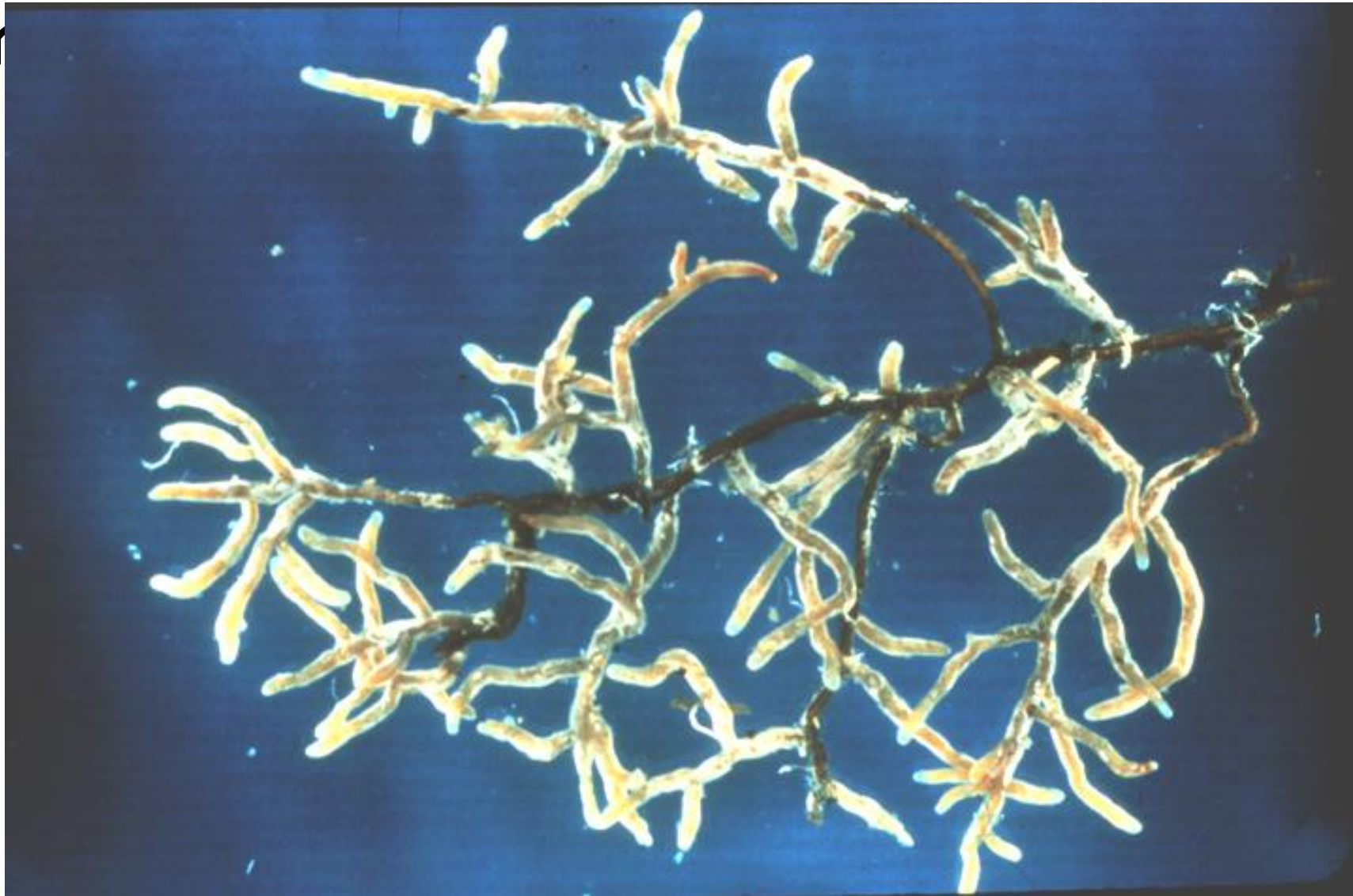
fagyökér



gomba  
hifa

mikorrhiza

ektom



kalapos





# Mikorrhiza kapcsolat



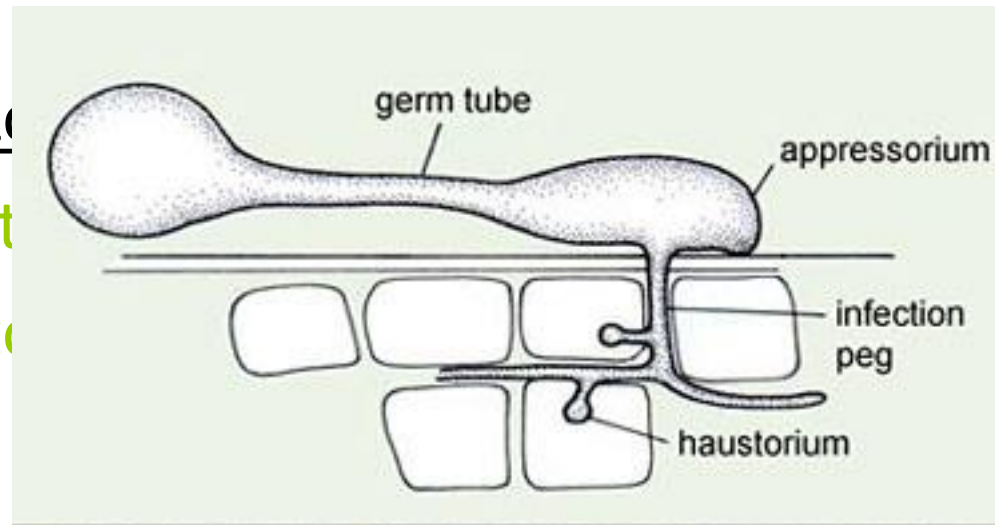
# Mykorrhiza kapcsolat előnyei

- Növény számára:
  - a gombapartnerrel vízzel, ásványi sók ( $\text{PO}_4^{3-}$ );
  - biotikus és abiotikus stresszel szembeni ellenállóság növelése;
- Gomba számára:
  - asszimilátumokat (cukormolekulák) kap;



# Mykorrhiza kapcsolat létrejötte

1. gomba apressz
2. sejtközötti járat
3. sejtekbe behatol

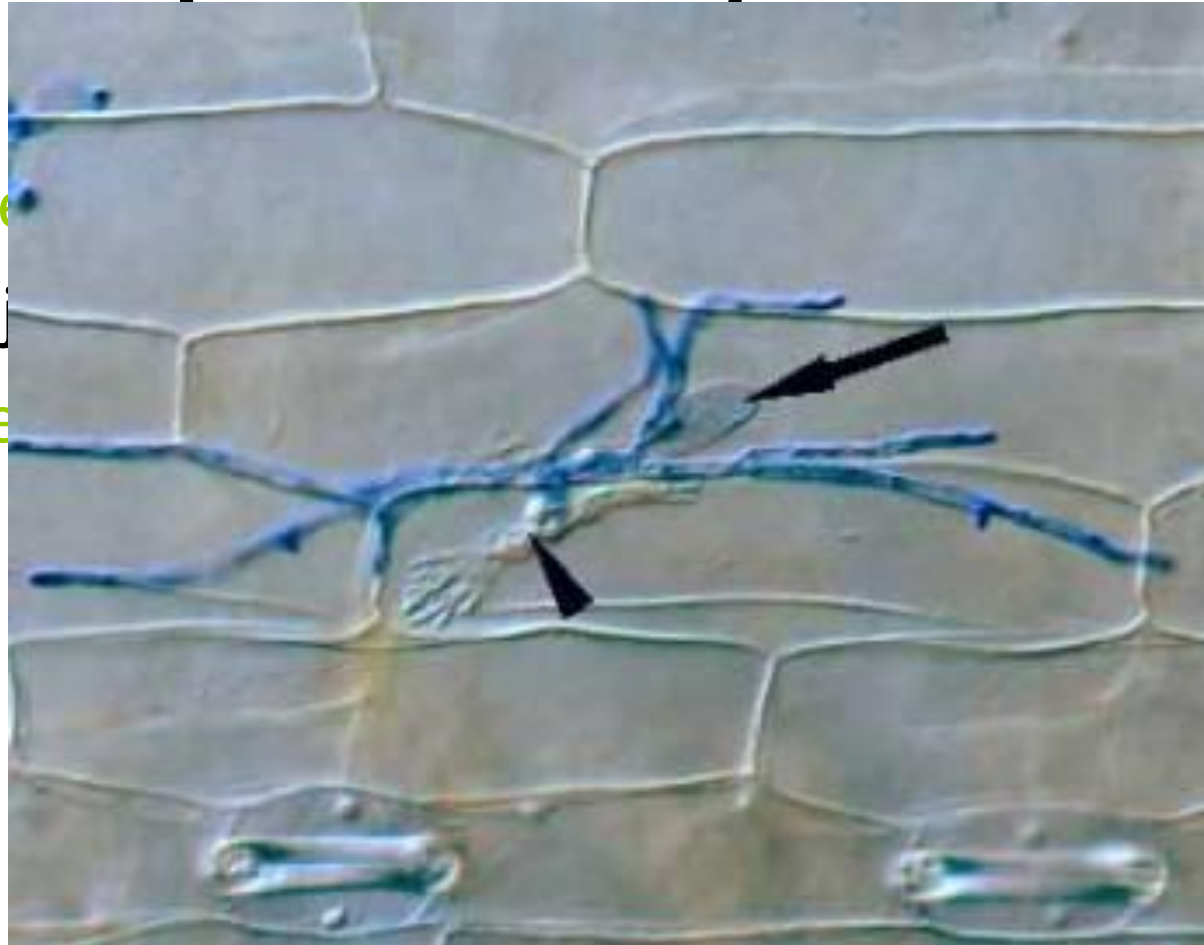


ok képzése;



# Mykorrhiza kapcsolat létrejötte

1. gomba apró
2. sejtközötti
3. sejtekbe be

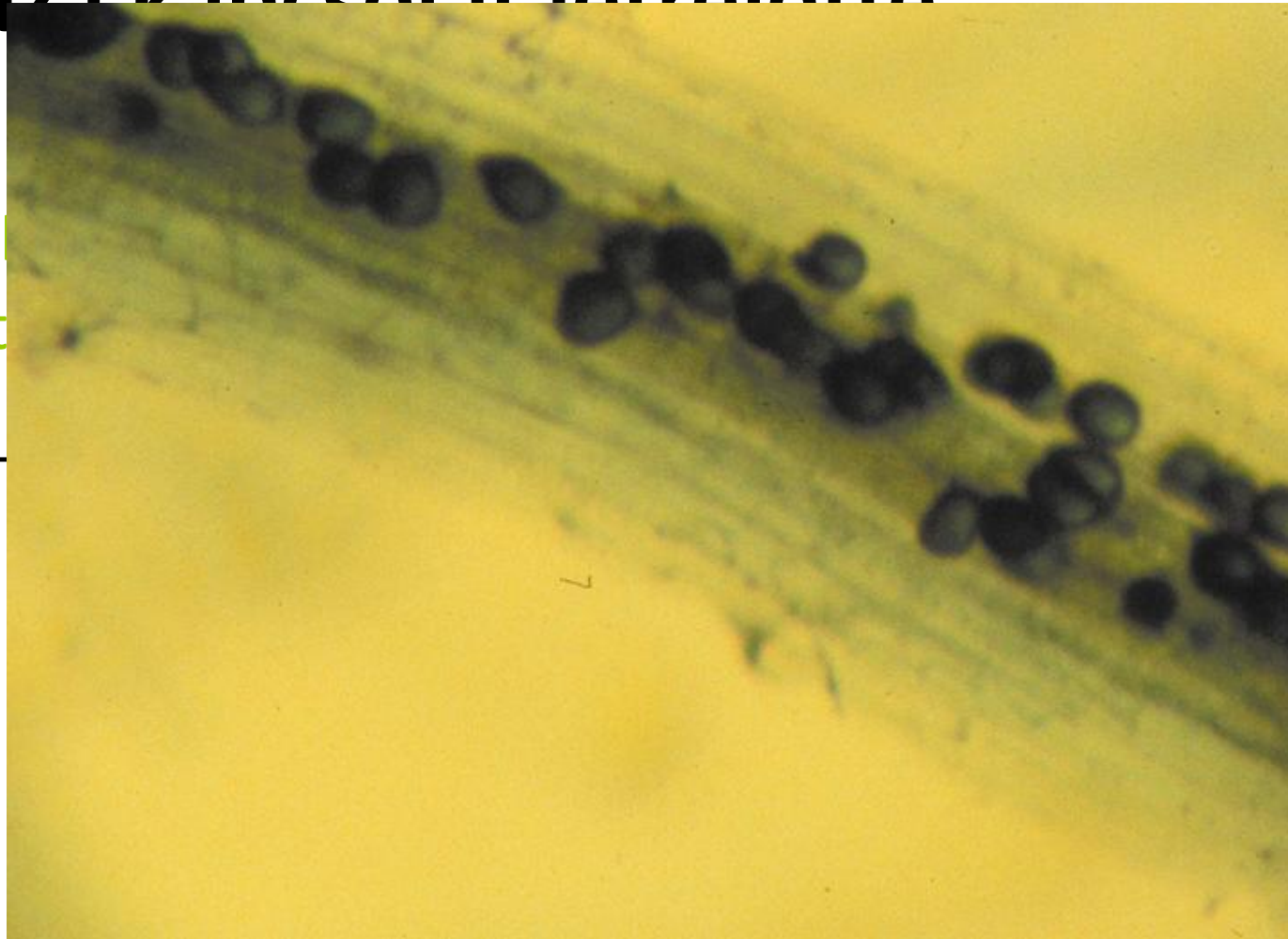


képzése;



# Mykorrhiza kapcsolat létrejötte

1. gomba a
2. sejtközöt
3. sejtekbe



zése;



# Mykorrhiza kapcsolat jellemzői

- Itt is növényi flavonoidok és izoflavonoidok szolgálnak jelmolekulaként;
- Flavonoid-hiányos paradicsomon is létrejött AM-kapcsolat;
- Mykorrhiza is jelzéseket ad  $\Rightarrow$  növényben transzkriptumok megjelenése (morfológiai változások; foszfát- és cukortranszport; növényi védekező mechanizmusok)
- AM gombák obligát szimbionták!



# Mykorrhizák vizsgálatának problémái

- AM gombák obligát szimbionták!
- Óriási, sokmagvú spórákat képeznek;
- Igen nagy genom (1 pikogramm= $10^{-12}$  g);



# Géntechnológiai módszerek a genetikailag módosított mikroorganizmusok nyomon követésére

- Horizontális génátvitel
  - előnyei:
    - növeli a genetikai plaszticitást;
    - segíti az evolúciós nyomáshoz való alkalmazkodásukat;
  - Hátrányai:
    - Genetikailag módosított mikrobák esetében a gén-sodródás veszélyét hordozza!



# Gén-sodródás kockázatának felmérési lehetőségei

- biolumineszcenciás jelölés luciferáz (luc) gén beépítésével;



# A genetikailag módosított mikroorganizmusok mezőgazdasági alkalmazásának esélyei

- Két alapelv ellentéte:
  - GMO-k abszolút kizárása a biológiai védekezésből is;
  - A növényvédelmi bio-preparátum engedélyezési szakaszát szigorítaná meg;
    - A bio-pesticidet alkotó élőlény hatásait és mellékhatásait kell megvizsgálni!



# GMO-k kutatásának előnyei

- Molekuláris biológiai ismeretek bővülése
- Hiperparaziták, antagonisták, szimbionták és célszervezeteik kölcsönhatásának jobb megismerése;
- Mikrobákból származó géneket felhasználhatjuk a növénynemesítésben;
- Az antagonista mikrobák sok hasznos másodlagos anyagcsereterméket (extracelluláris hidroláz enzimeket, poliszacharidot és fehérjét) termelnek a feldolgozóipar, gyógyszeripar és könnyű vegyipar számára;
- Nemesített mikrobatörzsek zárt rendszerekben való felhasználásának lehetőségei (szennyvíztisztítók, mezőgazdasági vagy kommunális hulladékok feldolgozása)



# SAJÁT KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

- BARTHA D. FÉLE LÉKES KÍSÉRLET: HB talajbiológiai vizsgálatok eredményei!!!



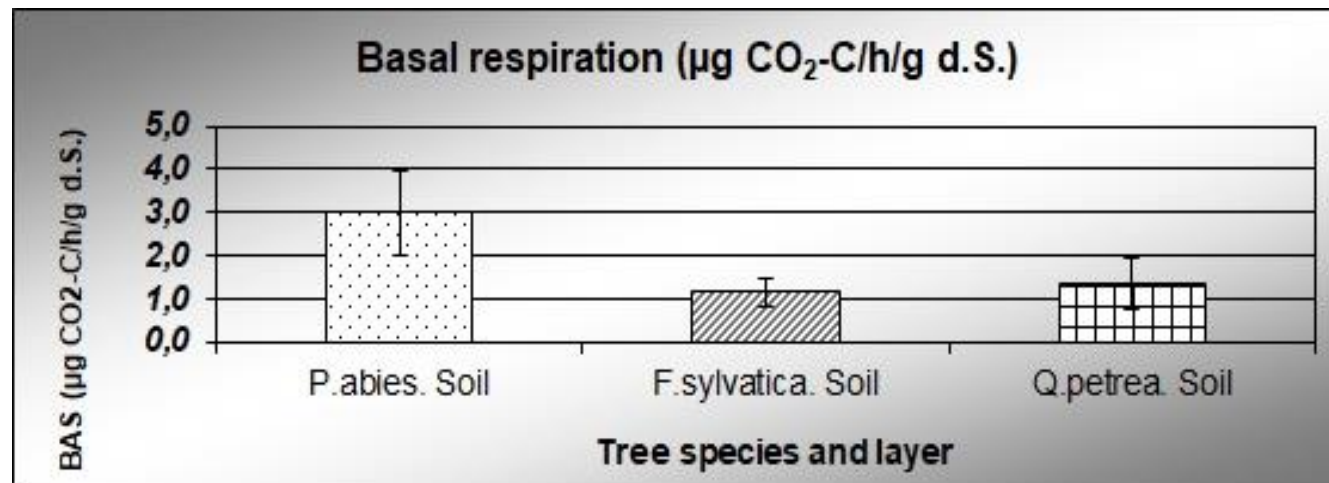
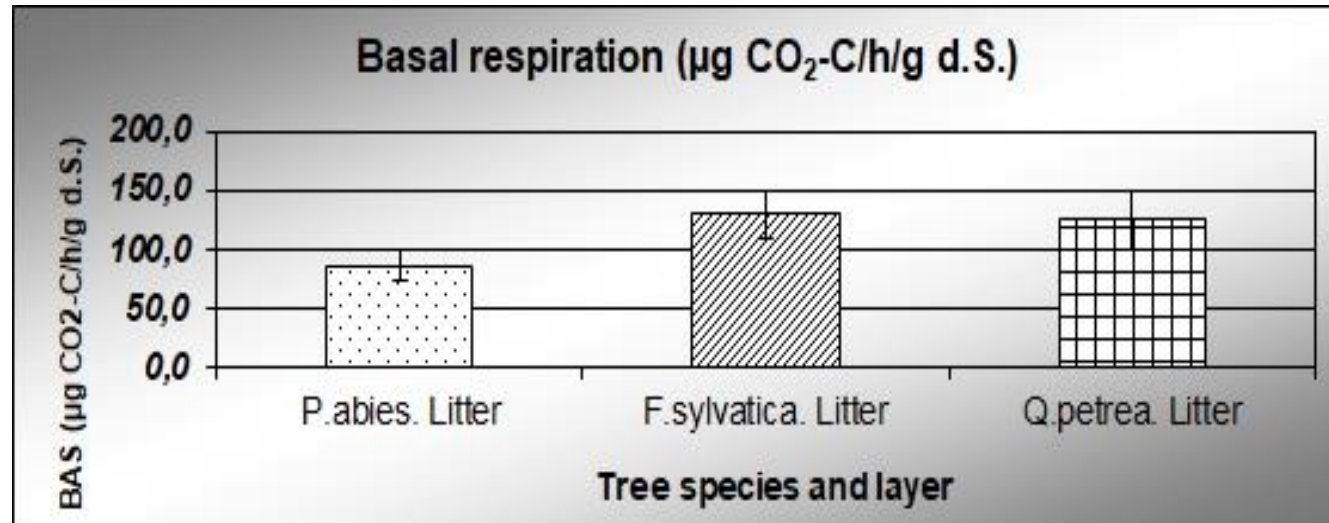




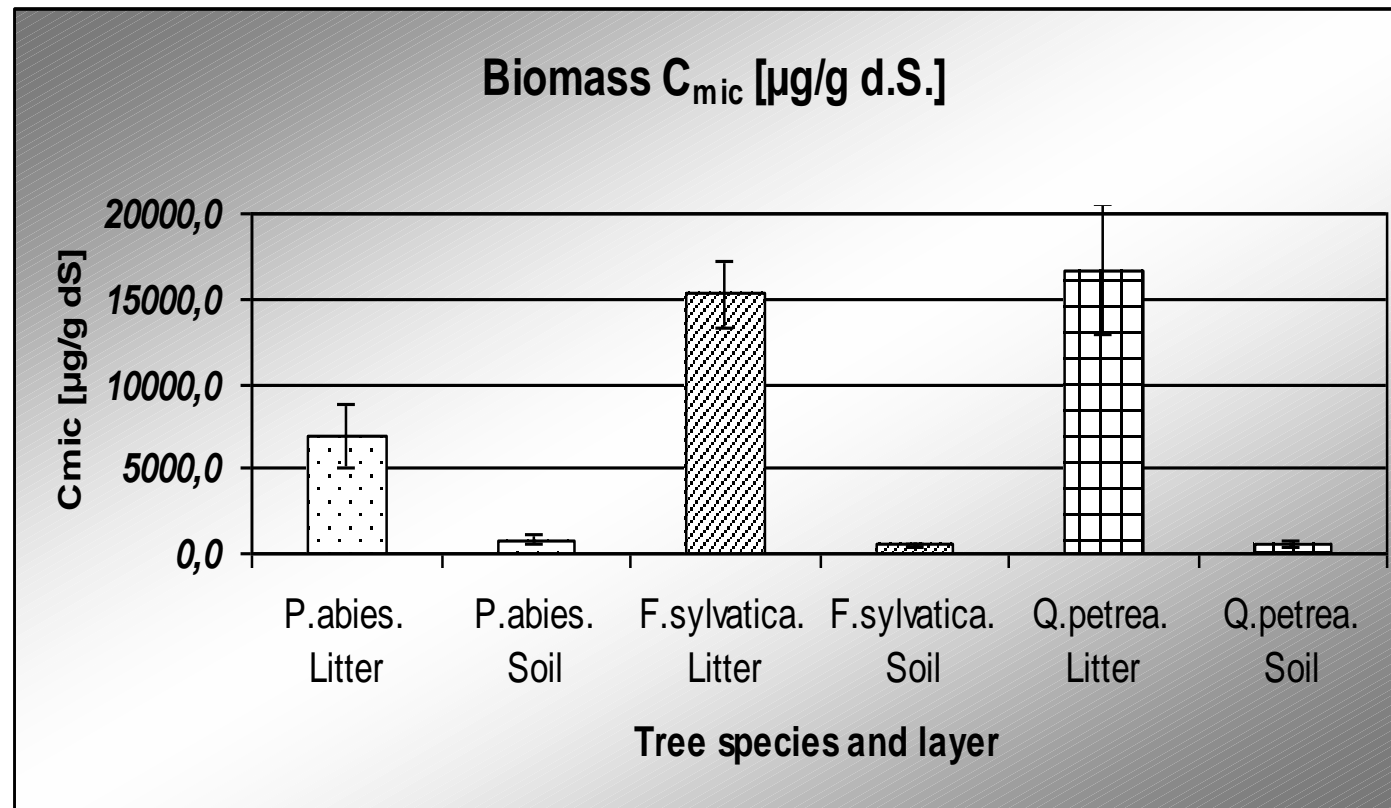
# Talajbiológiai vizsgálatok a Soproni-hegyvidék erdőállományaiban

Main tree species	Quercus robur	Fagus sylvatica	Picea abies
pH (H <sub>2</sub> O)	4.9 (0.18)	4.6 (0.11)	4.3 (0.08)
pH (KCl)	4.0 (0.22)	3.6 (0.07)	3.4 (0.09)
y <sub>1</sub> (hydrolytic acidity)	28 (2.6)	36 (3.0)	35 (1.9)
y <sub>2</sub> (exchangeable acidity)	3 (1.4)	9 (1.0)	13 (0.6)
Humus content (%)	4.85 (0.20)	2.26 (0.06)	2.43 (0.14)
N <sub>total</sub> (%)	0.16 (0.02)	0.09 (0.02)	0.10 (0.03)
C / N	18 (1.15)	15 (3.98)	14 (5.79)
AL-soluble P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg * 100 g <sup>-1</sup> d.s.)	13.2 (2.32)	22.5 (3.08)	11.4 (2.34)
AL-soluble K <sub>2</sub> O (mg * 100 g <sup>-1</sup> d.s.)	16.1 (2.48)	19.8 (2.32)	9.9 (1.83)
Cation Exchange Capacity = T-value (mmol IE * 100 g <sup>-1</sup> d.s.)	30.0 (3.16)	41.5 (3.33)	39.3 (3.72)
exchangeable Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> és Na <sup>+</sup> = S-value (mmol IE * 100 g <sup>-1</sup> d.s.)	5.5 (1.64)	7.0 (2.10)	6.3 (0.52)
Base saturation% (V%)	18 (6.6)	17 (4.29)	16 (1.63)
hy% (higroscopicity)	1.99 (0.09)	2.04 (0.18)	1.83 (0.24)
K <sub>A</sub> (plasticity index acc. to Arany)	54 (3.25)	55 (3.95)	50 (2.80)
5 hours capillary rise (mm)	150 (7.73)	113 (9.68)	141 (5.56)
Particle size distribution			
Sceletts (>2 mm)%	0 (0)	0 (0)	0 (0)
cS% (coarse Sand% 2-0.2 mm)	31 (2.79)	24 (5.35)	21 (5.13)
fS% (fine Sand% 0.2-0.02 mm)	23 (3.37)	33 (2.94)	54 (2.59)
Si% (Silt% 0.02-0.002 mm)	26 (3.13)	21 (3.01)	7 (2.07)
CL% (clay% <0.002 mm)	20 (5.61)	22 (6.02)	18 (4.76)

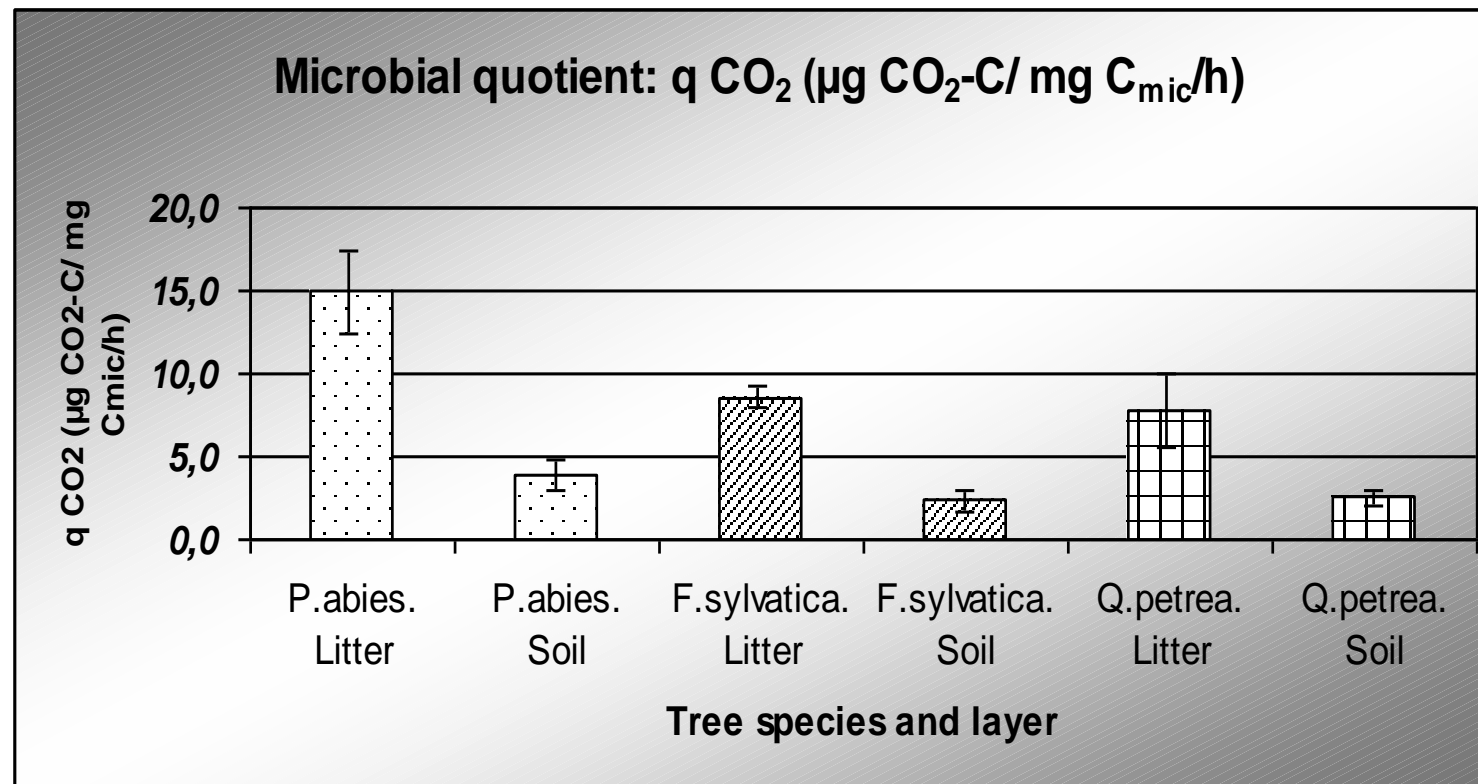
**Basal respiration (with standard deviation) in the litter and the 0–10 cm mineral soil layers in the spruce (*P. abies*), beech (*F. sylvatica*) and sessile oak (*Q. petrea*) forests**



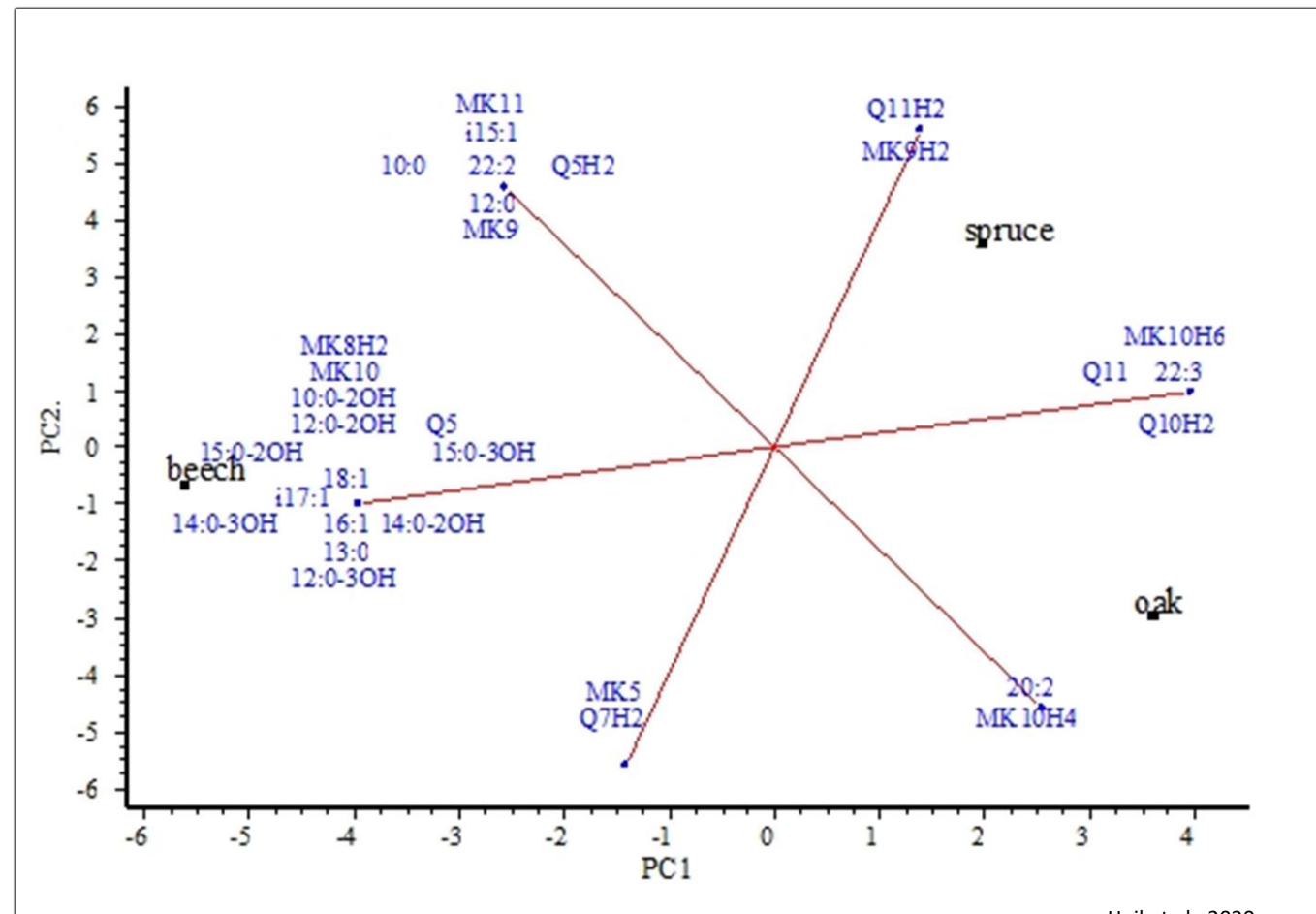
**Microbial biomass ( $C_{mic}$ ) (with standard deviation) measured with the SIR method in the litter and the 0–10 cm mineral soil layers in the spruce (*P. abies*), beech (*F. sylvatica*) and sessile oak (*Q. petrea*) forests**



**Respiratory quotient ( $q\text{-CO}_2$ ) (with standard deviation) in the litter and the 0–10 cm mineral soil layers in the spruce (*P. abies*), beech (*F. sylvatica*) and sessile oak (*Q. petraea*) forests**



Main component analyses of the microbial communities described by chemotaxonomical markers (PLFA and RQ) in the spruce (*P. abies*), beech (*F. sylvatica*) and sessile oak (*Q. petraea*) forests soils



## Sikertelenül rekultivált kommunális hulladéklerakó Dunakeszin



## Gyökérfeltárások a dunakeszi-i hulladéklerakón





## Rekultivációra szoruló agyagbánya Székesfehérvár külterületén



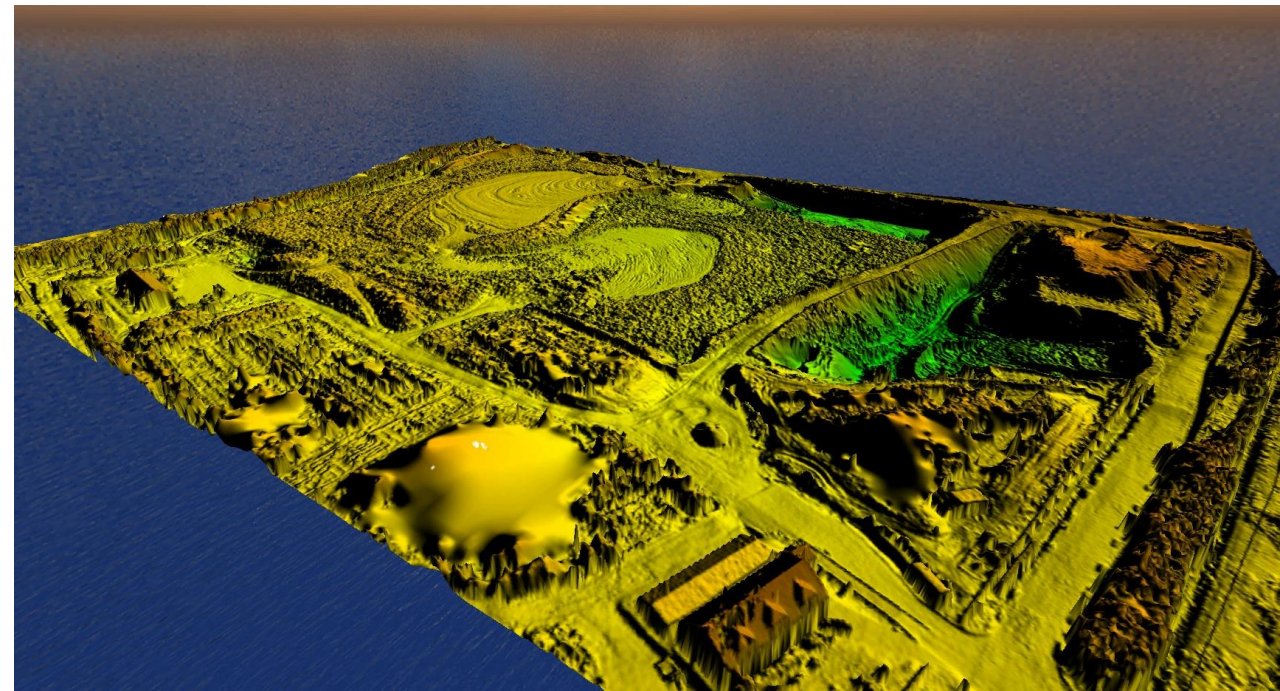
## Rekultiváció 1. lépése: végső térforma előkészítése, feltöltés



## Rekultiváció 2. lépése: erdősítés hagyományos humuszterítést követően (a képen egy 20 éves akácos látható)



## Székesfehérvári agyagbánya sikeres, újszerű rekultivációs folyamata során a feltöltés állapotát monitorozzuk



- **Ásványi összetevők + szerves  
összetevők  $\neq$  talaj**



- **Ásványi összetevők + Szerves összetevők**

≠

**talaj**

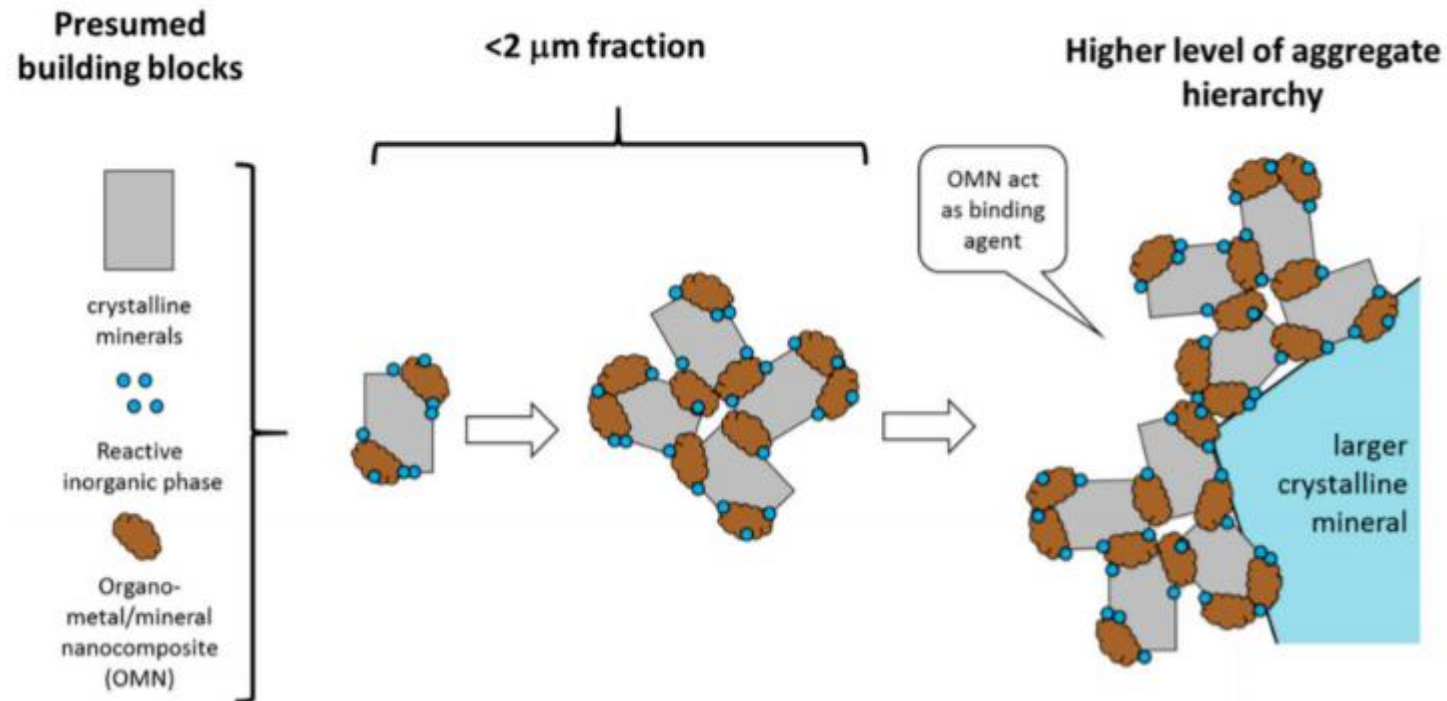


talajosodáshoz szükséges idő  
és egyéb környezeti feltételek



# Ökológiai rendszer

## ORGANO-MINERÁLIS KOMPLEXEK





**500 - 3000 év**





# Meghatározott talajparaméterek

## Helyettesítő talajközeg kívánt paraméterei

Vizsgált paraméter
pH vizes
Sótartalom (m/m%)
Fenolftalein lúgosság (%)
Kicserélhető Na <sup>+</sup>
CaCO <sub>3</sub> (m/m%)
Térfogattömeg (g/cm <sup>3</sup> )
Mechanikai összetétel
Humusz (m/m %)
Termőréteg vastagság (cm)



# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Erdészeti kutatások, ökológiai háttérismeretek

### • Vizsgálatok

- talajfizikai vizsgálatok
  - Szemcseösszetétel, szemcsék alakjának vizsgálata
  - Kialakuló pórustérfogat vizsgálata
  - Térfogattömeg, tömörödöttségi vizsgálatok

### • Talajkémiai vizsgálatok

- Kémhatás
- Mész tartalom, savanyúság
- Sótartalom, fenolftalein lúgosság

### • Vizsgálatok

#### • tápanyag vizsgálatok

- Makro-, mezo-, és mikrotápelemek vizsgálata
- Nehézfémek, talajszennyezés
- Növényanalízis (elemtartalom meghatározás növényekben)

#### • Adszorpciós vizsgálatok

- T-érték (mmol IE/100 g talaj)
- S-érték (mmol IE/100 g talaj)
- V% - bázistelítettség,  $\text{Na}^+_{\text{S\%}}$

# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Erdészeti kutatások, ökológiai háttérismeretek

- Vizsgálatok
  - Talajbiológiai vizsgálatok
    - Mikrobiológiai összetétel vizsgálat
    - Patogének vizsgálata (opcionális)
    - Talajkeverékek biológiai oltása, folyamatos végrehajtása

### FELADAT A TALAJOLTÁS

- **A rekultiválandó területhez közeli, természetes talajképződési folyamatokkal létrejött, termékeny talajból történő mintavétellel starter kultúrák izolálása. A starter kultúrák az elkészített keverék mikrobiológiai közösségi összetételének kialakítását szolgálják!**



# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Ásványi anyagok vizsgálata

- Fizikai vizsgálatok
- Kémiai vizsgálatok
- Elemvizsgálatok

Megrendelő: Fehérvári Téglaiipari Kft.  
Származási hely: Fehérvári Téglaiipari Kft.  
Laborsorszám: 2395/2014

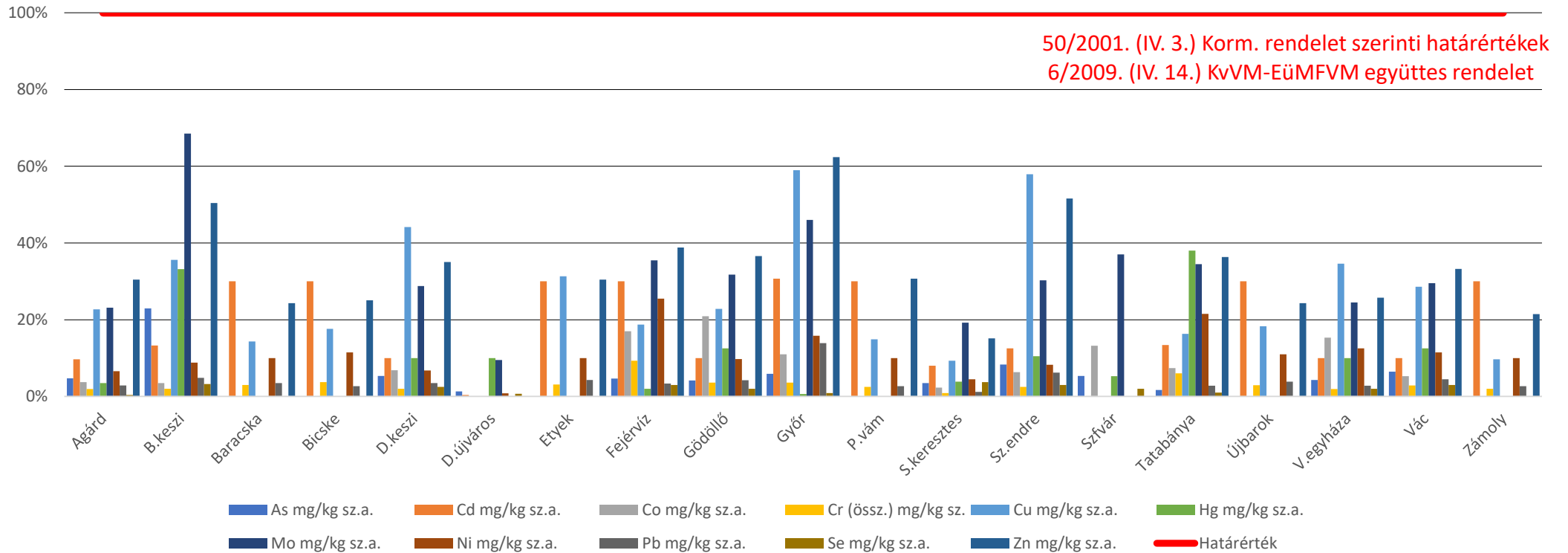
Minta azon.	M : 1205
pH(KCl)	7,47
KA	55
Sótartalom m/m %	< 0,02
CaCO <sub>3</sub> m/m %	21
Humusz m/m %	0,40
NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N mg/kg	1,41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg	36,4
K <sub>2</sub> O mg/kg	61
Na mg/kg	69,9
Mg mg/kg	698
Cu mg/kg	1,15
Zn mg/kg	0,38
Mn mg/kg	39,8
SO <sub>4</sub> -S mg/kg	47,8

Megrendelő: Fehérvári Téglaiipari Kft.  
Származási hely: Fehérvári Téglaiipari Kft.  
Laborsorszám: 2395/2014

Minta azon.	M : 1205
Al mg/kg	6190
As mg/kg	5,31
B mg/kg	2,45
Ca mg/kg	27500
Cd mg/kg	< 0,02
Co mg/kg	5,74
Cr mg/kg	5,31
Cu mg/kg	6,05
Fe mg/kg	13000
Hg mg/kg	< 0,06
K mg/kg	1670
Mg mg/kg	8570
Mn mg/kg	181
Mo mg/kg	< 0,06
Na mg/kg	73,3
Ni mg/kg	19
P mg/kg	393
Pb mg/kg	5,4
S mg/kg	131
Se mg/kg	< 0,4
Zn mg/kg	35,3

# Talajosodási folyamatok monitorozása

## FRISS SZERVESANYAGOK VIZSGÁLATA

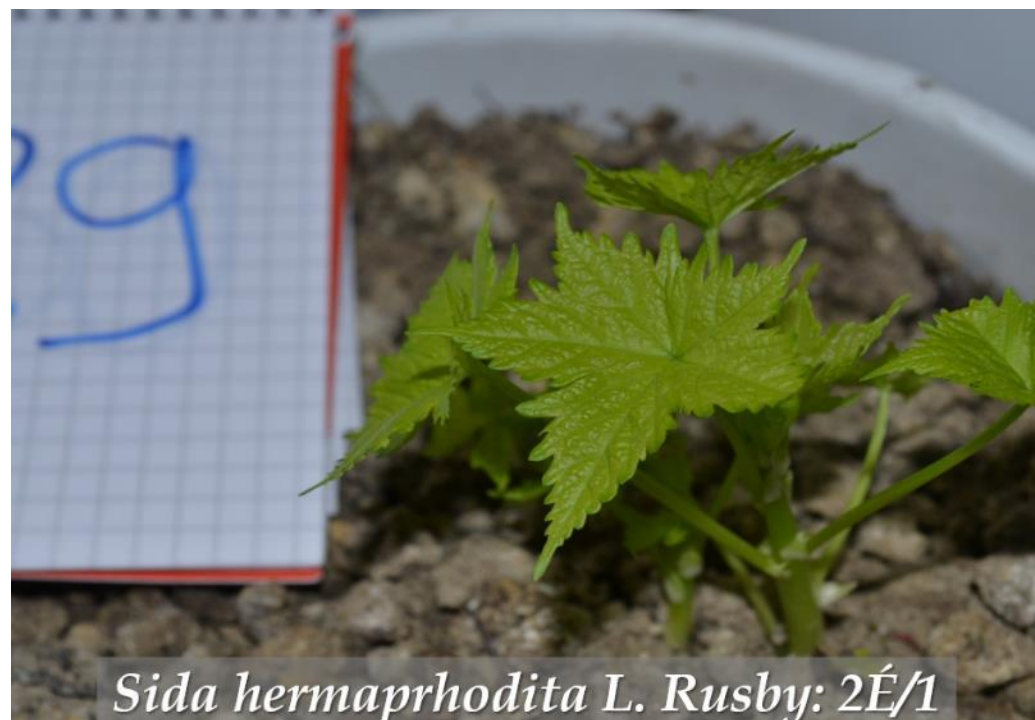


# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Tenyészedény vizsgálatok



*Pusztaszil (Ulmus pumila): 2É/1*



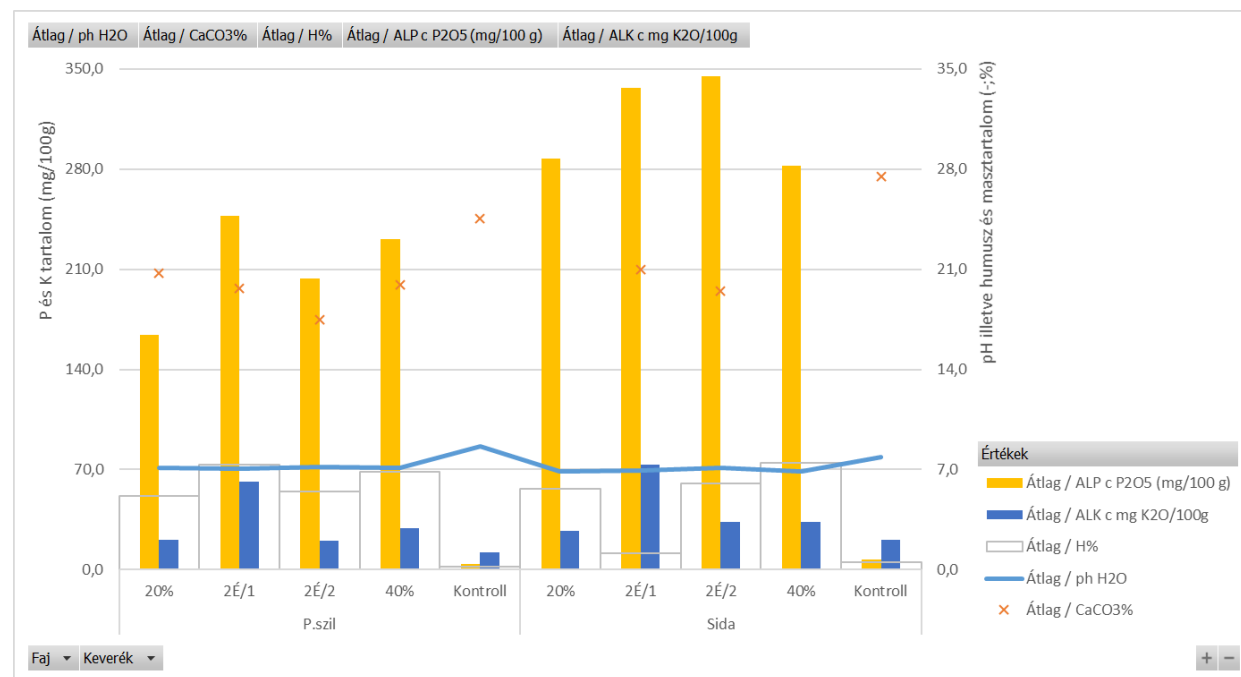
*Sida hermaphrodita L. Rusby: 2É/1*

2É/1 – 2 éves keverék 20 % szervesanyag, 2É/2 – 2 éves keverék 40 % szervesanyag, 20% - 1 éves keverék 20 % szervesanyag, 40 % - 1 éves keverék 40 % szervesanyag, kontroll – csernozjom A-szint

# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Tenyészedény vizsgálatok

- Különböző keverékek előállítása
  - Adott keverékek vizsgálata
    - Talajvizsgálatok
    - Talajvíz (talajoldat) vizsgálatok (opcionális)
    - Növényvizsgálatok

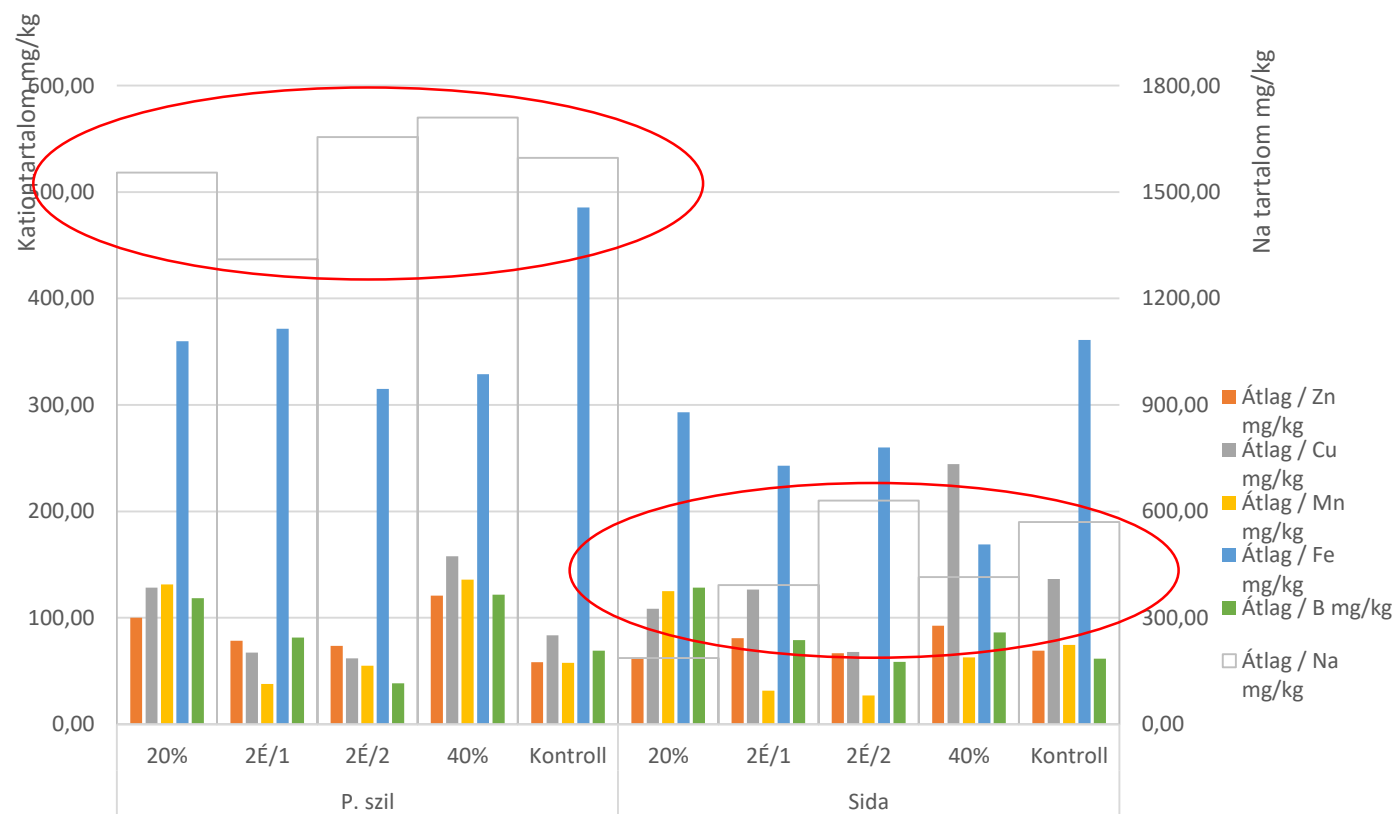


2É/1 – 2 éves keverék 20 % szervesanyag, 2É/2 – 2 éves keverék 40 % szervesanyag, 20% - 1 éves keverék 20 % szervesanyag, 40 % - 1 éves keverék 40 % szervesanyag, kontrall – csernozjom A-szint

# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Tenyészedény vizsgálatok

- Különböző keverékek előállítása
  - Adott keverékek vizsgálata
    - Talajvizsgálatok
    - Talajvíz (talajoldat) vizsgálatok (opcionális)
    - Növényvizsgálatok



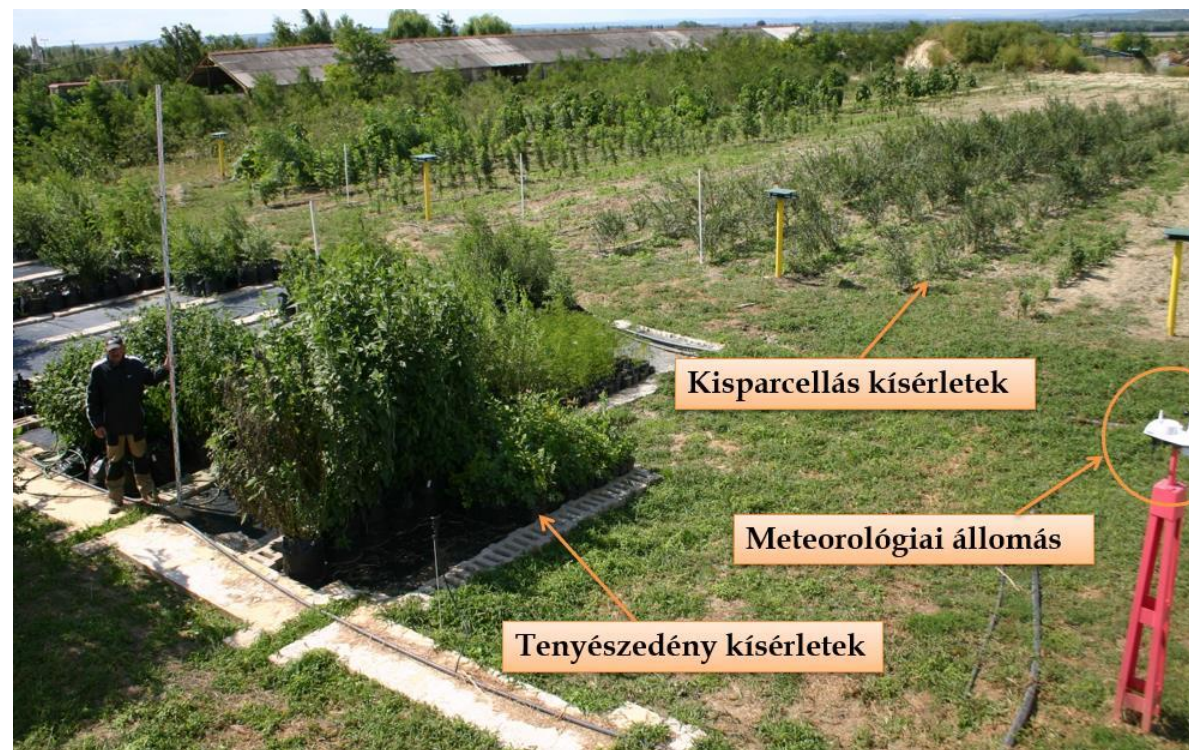
2É/1 – 2 éves keverék 20 % szervesanyag, 2É/2 – 2 éves keverék 40 % szervesanyag, 20% - 1 éves keverék 20 % szervesanyag, 40 % - 1 éves keverék 40 % szervesanyag, kontroll – csernozjom A-szint



# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Kisparcellás vizsgálatok

- Különböző keverékek előállítása
  - Adott keverékek vizsgálata
    - Talajvizsgálatok
    - Talajvíz (talajoldat) vizsgálatok (opcionális)
    - Növényvizsgálatok



# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Kisparcellás vizsgálatok

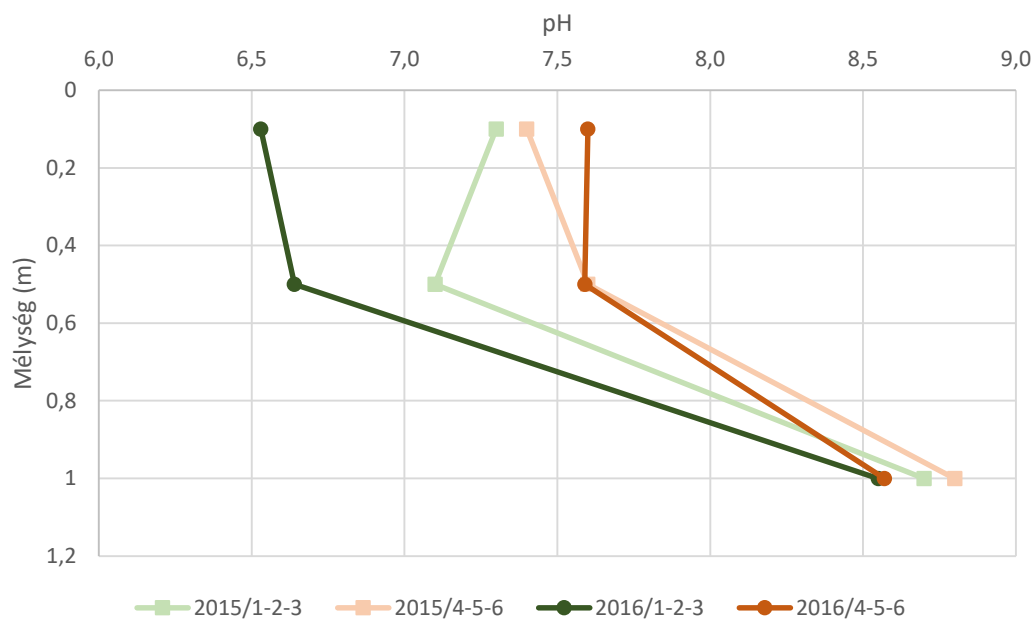
- Különböző keverékek előállítása
  - Adott keverékek vizsgálata
    - Talajvizsgálatok
    - Talajvíz (talajoldat) vizsgálatok (opcionális)
    - Növényvizsgálatok



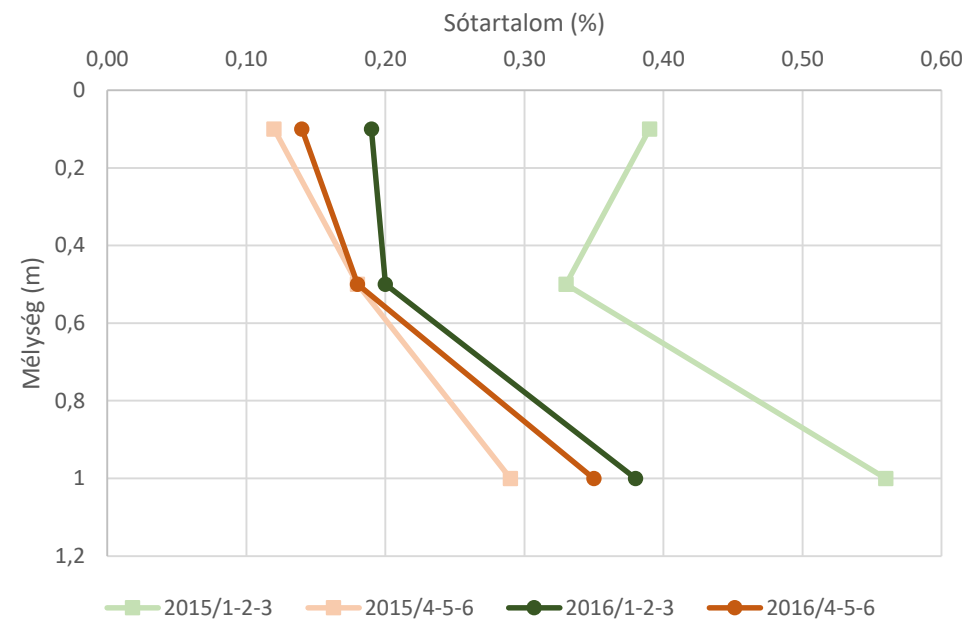
# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Kisparcellás vizsgálatok liziméteres minták (4 éves 1:1-es keverék)

pH megoszlása



Sótartalom megoszlása



1-2-3 pusztaszil – korai juhar - 4-5-6 pusztaszil – magas kőris parcellák

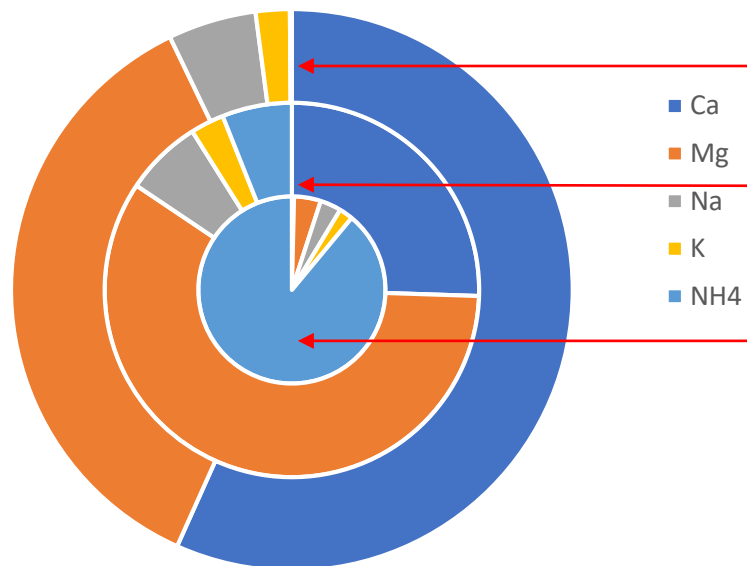
# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Kisparcellás vizsgálatok – liziméteres minták (4 éves 1:1-es keverék)

2016/1-2-3 jelű minták kationmegoszlása

Mintavétel helye

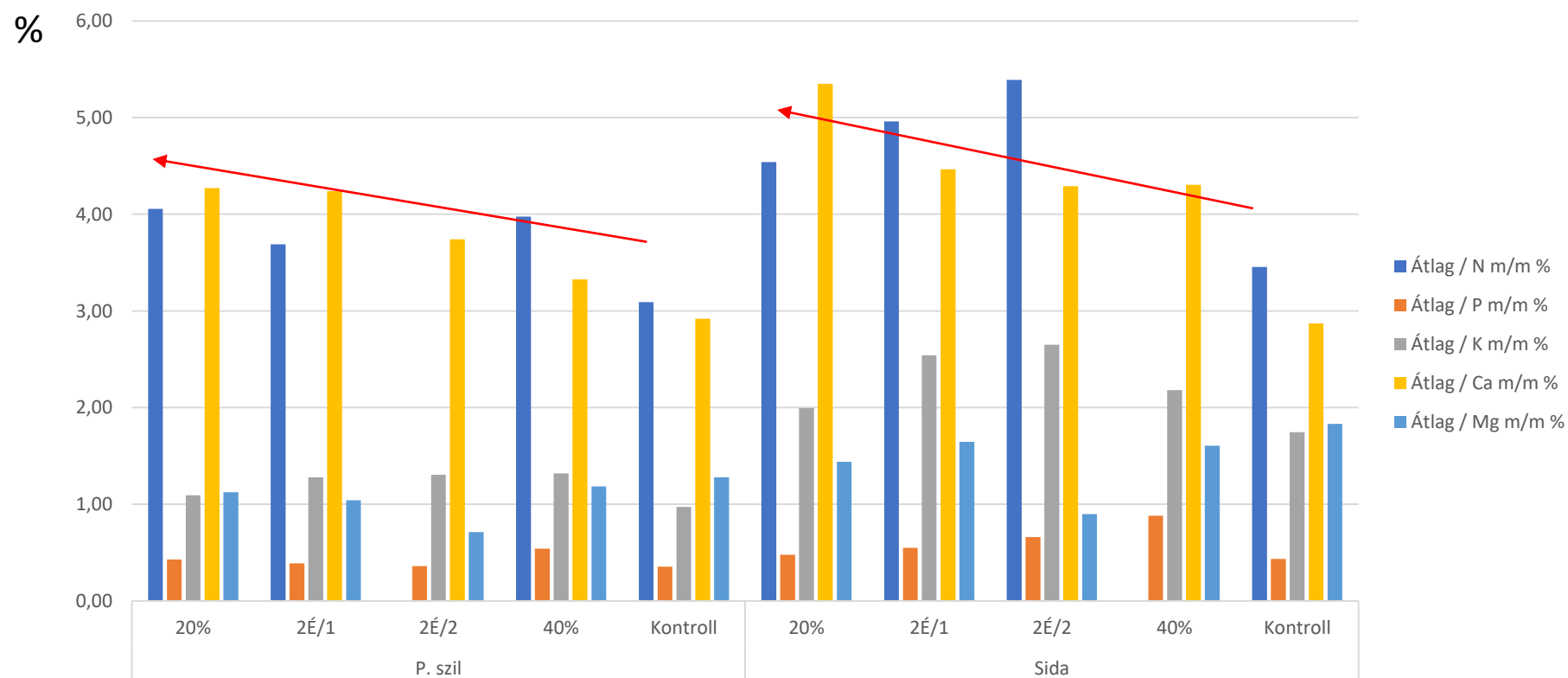
Külső gyűrű 0,1 m  
Középső gyűrű 0,5 m  
Belső kör 1,0 m



1-2-3 pusztaszil – korai juhar - 4-5-6 pusztaszil – magas kőris parcellák

# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Kisparcellás vizsgálatok – Növényanalízis



# Talajosodási folyamatok monitorozása

Albert-Ludwigs Universität Freiburg



Abbildung 9: Partikel des frisch applizierten Materials (A1) mit niedriger Sphärizität



Abbildung 10: Partikel des Kontrollstandorts mit hoher Sphärizität

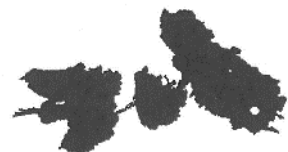


Abbildung 11: Partikel des frisch applizierten Materials (A1) mit niedriger Sphärizität

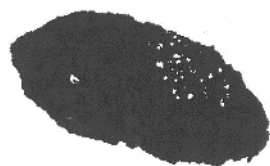


Abbildung 12: Partikel des sechsjährigen Standorts mit hoher Sphärizität

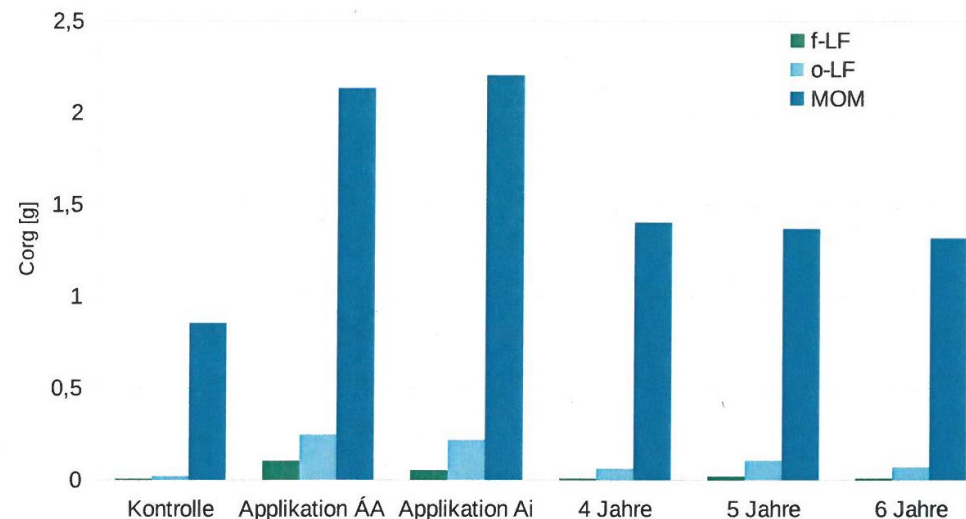
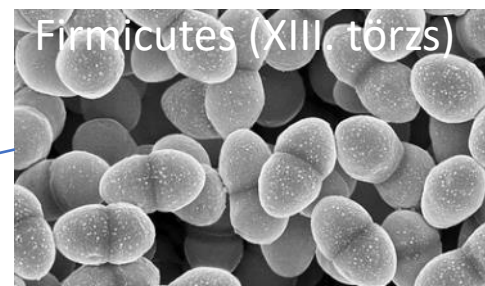
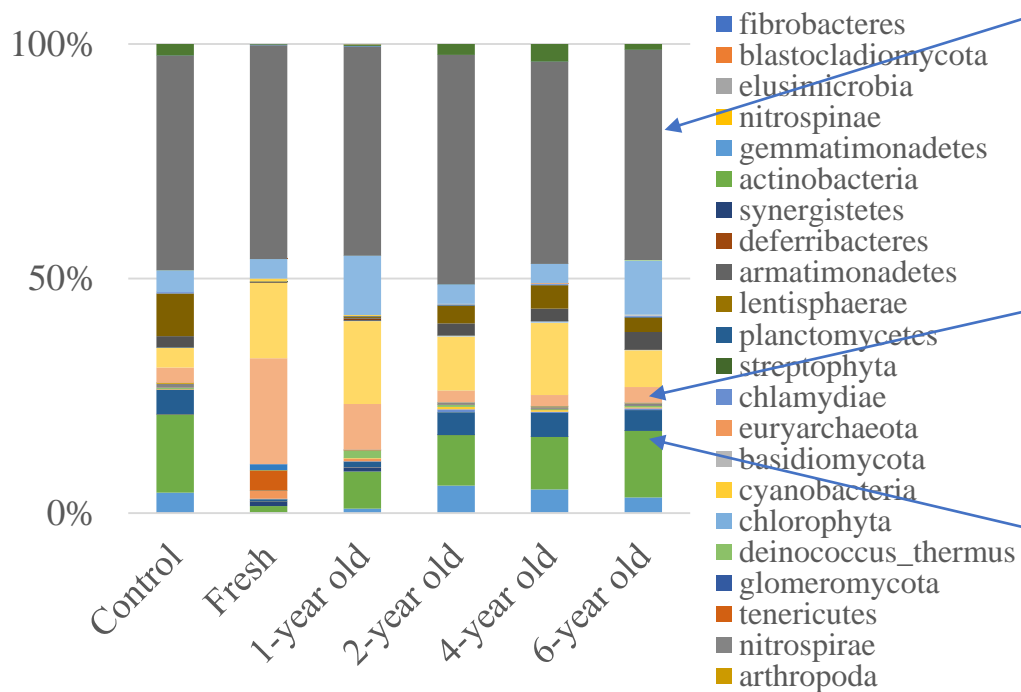


Abbildung 14: Verteilung des organischen Kohlenstoffs in den Fraktionen f-LF, o-LF und MOM in den oberen Horizonten (0-15 cm), ÁÁ und Ai (0-25 cm), tatsächliche Werte in [g]

Forrás: Alina Lachmann Matrikelnur.: 3708552 (2018): Bodenbildung auf Klärschlammrekuultivierungsflächen, Freiburg, Bachelorarbeit.

# Talajosodási folyamatok monitorozása

## Oklahoma State University



# Növényélettani folyamatok vizsgálata

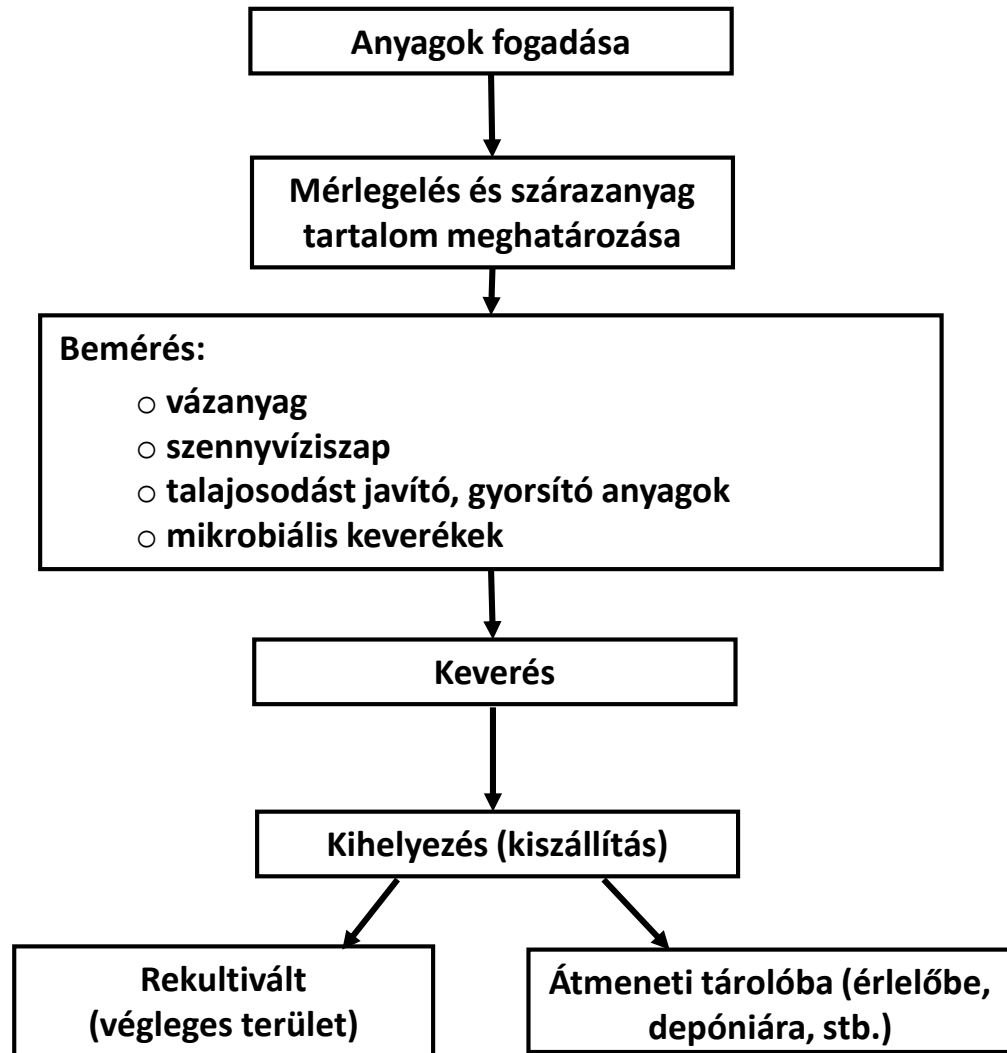
## További vizsgálatok

- Növények fejlődésének vizsgálata
  - Biomassza vizsgálata
  - Növények gyökerezettségének vizsgálata az egyes talajtulajdonságok ismeretében
  - Következtetés és elemzés az egyes rétegvastagságok kialakításához
  - Időbeni változások nyomon követése





# Helyettesítő talajközeg előállításának technológiája



# Székesfehérvári sikeres rekultiváció



# Székesfehérvári sikeres rekultiváció látképe



