

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
**TALAJTANI ÉS AGROKÉMIAI  
KUTATÓINTÉZET**

BUDAPEST II., HERMAN OTTÓ ÚT 15.  
Telefon: 35-64-644, 212-2265 Levélcím: 1525 Budapest, Postafiók 35.  
Fax: 214-9007/5; 3564-682

---

**NEMZETI KUTATÁSI ÉS FEJLESZTÉSI PROGRAMOK (NKFP) 2001.**

**Komplex és hatékony bioremediációs technológiák  
kifejlesztése  
szennyezett talajok kármentesítésére  
3/002/2001 ny. sz.**

**A projekt szakmai vezetője: Prof. Dr. Szejtli József ügyvezető igazgató,  
Cyclolab R&D Lab. Ltd.**

**SZAKMAI RÉSZJELENTÉS**

**15. Különböző növényekkel és AM-gombatörzsekkel végzett szabadföldi  
kísérletek tervezése, ellenőrzése és értékelése c. feladatról**

Projektvezető: Dr. Anton Attila ált. igazgatóh.

Közreműködők: Máthéné Dr. Gáspár Gabriella

Dr. Takács Tünde

Dr. Vörös Ibolya

Budapest, 2004. november

Anton Attila  
általános igazgatóhelyettes

# 1. FELADATOK MEGNEVEZÉSE

## 15. Különböző növényekkel és AM-gombatörzsekkel végzett szabadföldi kísérletek tervezése, ellenőrzése és értékelése

# 2. EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Növényfajok tenyészedeny kísérletben végzett szelekciója során biomassza produktívjuk, fémtoleranciájuk és mikorrhizálódási képességük alapján szabadföldi alkalmazás céljából a fémek *fitoextrakciójára* legalkalmasabbnak a kukorica (*Zea mays* L.) és ricinus (*Ricinus communis*) növényfajok bizonyultak. *Fitostabilizációs* célok megvalósítására legalkalmasabb, jól mikorrhizálható növénynek a fűfélék (Poaceae) tekinthetőek. Továbbiakban tenyészedeny kísérletekben szabadföldi alkalmazásra legalkalmasabbnak ítélt növényekkel leginkább kompatibilis AM-gomba oltóanyagok kiválasztása és nagyobb léptékű felszaporítási metodikájának kidolgozása, a szabadföldi kísérletekhez szükséges mennyiségű és minőségű inokulum előállítás volt a cél. **Soroksári úti szabadföldi kísérleteinkben** nehézfémekkel szennyezett terület remediációjára alkalmas *fitoextrakciós* és *fitostabilizációs* módszereket vizsgáltunk. Az általunk szelektált és tesztelt AM-gombatörzsekből előállított oltóanyagok szabadföldi alkalmazása mind fitostabilizációs, mind pedig fitoextrakciós módszerek hatékonyságát növelte. A terület szennyezettségét figyelembe véve, szabadföldi kísérleteinkben a fitostabilizációs módszereket fejlesztettük tovább. Az AM-gomba oltóanyagok alkalmazása mellett, a növényi fémfelvétel csökkentésének hatékonyságát kémiai stabilizáció felhasználásával fokoztuk.

A **gyöngyösoroszi szabadföldi területen** ugyancsak folytattuk az előző évben megkezdett fitoextrakciós és fitostabilizációs munkát. Az eljárásokat a heterogén szennyezettség és a fő szennyező elemek (As, Cd, **Zn**, **Pb**, Cu), továbbá az egyéb ökológiai feltételek figyelembe vételével alakítottuk ki. A fitoextrakciót és fitostabilizációt külön-külön, illetve kombináltan (fitoextrakció után fitostabilizáció) tanulmányoztuk. A fitoextrakció esetében két technológiai változatot vizsgáltunk: nehézfém kivonás egyetlen növényfajjal ill. két különböző növény egymást követő vetésével. A fitostabilizáció alkalmazott technológiai variánsaiban kétféle stabilizáló kezelést (mész és lignit+mész), valamint kétféle növény-együttest (pázsitfűvek és gyomfajok) alkalmaztunk.

Az alkalmazott fitoremediációs eljárások eredményességét a talaj- és növényanalízisek alapján állapítottuk meg. A fő szennyező elemek közül realitása cink kivonásának van, a növényi hajtással eltávolítható legnagyobb mennyiséget vizsgálatunkban a repce és kukorica egymás utáni alkalmazása adta: 30 kg Zn/ha/év volt. A fitostabilizálószerrel kezelt parcellák talajában - elemenként és helyenként különböző mértékben (11-65%) - csökkent a talajban található toxikus elemek LE oldható/királyvíz oldható frakcióinak koncentrációjára.

Eredményeinket összegezve mondhatjuk, hogy nehézfémekkel szennyezett területek remediációja során az általunk szelektált, fémtoleráns AM-gombatörzsek oltóanyagainak és kémiai stabilizáló szernek (lignit) együttes használata egy hatékony, jól működő technológia lehet.

## TARTALOM

RÉSZLETES SZAKMAI BESZÁMOLÓ.....	4
1. Soroksári úti terület	
2. Gyöngyösesi terület	
IRODALOM.....	9
MELLÉKLETEK.....	11

# RÉSZLETES SZAKMAI BESZÁMOLÓ

## 1. SOROKSÁRI ÚTI TERÜLET

Előző évi részjelentéseinkben beszámoltunk különböző nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált és felszaporított arbuskuláris mikorrhiza (AM) gombatörzsek előállításáról és szelekciójáról (**1. sz. Melléklet**). Az AM-gombafajok oltóanyagként történő felhasználhatóságáról, versenyképességükről fertőzőképességük mértéke és gyökérkolonizációs mutatóik alakulása alapján döntöttünk. Nehézfémekkel szennyezett talajokból származó AM-gombatörzsek fajai gyökérkolonizációjuk alapján jobban tolerálták a talajok fémszennyezését, mint a szennyeződéshez nem adaptálódott gombák. A kísérleti munka következő lépése szabadföldön is alkalmazható növényfajok szelekciója, kompatibilis AM-gomba és növény párok kialakítása volt (**2. sz. Melléklet**). Növényfajok tenyészedény kísérletben végzett szelekciója során biomassza produkciójuk, fémtoleranciájuk és mikorrhizálódási képességük alapján szabadföldi alkalmazás céljából a fémek *fitoextrakciójára* legalkalmasabbnak a kukorica (*Zea mays* L.) és ricinus (*Ricinus communis*) növényfajok bizonyultak. *Fitostabilizációs* célok megvalósítására legalkalmasabb, jól mikorrhizálható növénynek a fűfélék (Poaceae) tekinthetőek. Továbbiakban, tenyészedény kísérletekben szabadföldi alkalmazásra legalkalmasabbnak ítélt növényekkel leginkább kompatibilis AM-gomba oltóanyagok kiválasztása és nagyobb léptékű felszaporítási metodikájának kidolgozása volt a cél (**3.-5. sz. Melléklet**). A kiválasztott gombatörzsek nagyobb léptékű felszaporításához szükséges módszert dolgoztunk ki (**4. sz. Melléklet**), a szabadföldi kísérletekhez szükséges mennyiségű és minőségű inokulumot állítottunk elő. Az AM-gomba oltóanyagok infektivitása és hatékonysága szempontjából és növény-gomba párosítások alapján szabadföldi alkalmazásra az adott kísérleti területre és a fent említett növényfajok esetén legalkalmasabbnak a Cd<sub>1</sub>-jelű *Glomus mosseae* monospóras törzs és több, fémtolerancia szempontjából szelektált AM-gombafajból előállított, ún. vegyes oltóanyagok bizonyultak. A tenyészedény kísérletekben szelektált és tesztelt növény- és AM-gombafajokkal fitoextrakciós és fitostabilizációs célból szabadföldi kisparcellás kísérleteket állítottunk be (**6. sz. Melléklet**). A higannyal, krómmal és ólommal erősen szennyezett területen (**7. sz. Melléklet**) a szennyező fémek fitoextrakciójára alkalmas repcét (*Brassica nanus*) vetettünk és kétféle (monospóras *Glomus mosseae* és vegyes), AM-gomba oltóanyaggal kezelt, klímakamrában előnevelt ricinus (*Ricinus communis*)

palántákat ültettünk. *Fitostabilizációs* kísérletekhez szárazságot, taposást jól bíró, a pázsitfűfélék családjába tartozó növényfajok /angolperje (*Lolium perenne*), réti perje (*Poa pratensis*), barázdált csenkesz (*Festuca rupicola*), felemáslevelű csenkesz (*Festuca heterophylla*), vörös csenkesz (*Festuca rubra*), juh csenkesz (*Festuca ovina*)/ magjainak keverékét használtuk. AM-gomba oltóanyaggal fertőzött ún. mikorrhizás, nem oltott ún. nem mikorrhizás kezelések növényeinek fémtoleranciáját, fémakkumulációját és biomassza produkcióját vizsgáltuk.

A Fémépítő Kft. (Budapest, Soroksári út) kísérletekre kijelölt területén, szabadföldi fitoremediációs kísérleteinket a TERSZOL Szövetkezet közreműködésével 2003. év tavaszán megkezdtuk (**6.1.-6.4. sz. Melléklet**). A kísérleti periódus második évében a tenyészedény kísérletekben elvégzett vizsgálatok eredményeit, tapasztalatait, a kidolgozott módszereket alkalmazva további szabadföldi kisparcellás kísérletet állítottunk be (**6.4.3. sz. Melléklet**). Több alkalommal mintáztuk a Fémépítő Kft. területén korábban beállított fitoextrakcióra, fitostabilizációra irányuló szabadföldi kísérletek növényeit és talajait. Jelen részjelentésünkben a szabadföldi kísérletek vizsgálati eredményeit közöljük. Az AM-gombák gyökérkolonizációját, szelektált oltóanyagokkal (*Glomus mosseae* és vegyes) kezelt mikorrhizás ricínusz (*Ricinus communis*) gazdanövényekben és a kontroll, nem mikorrhizás növényekben a szabadföldre ültetést követő 2. hónap végén vizsgáltuk (**8.-9. sz. Melléklet**). Feltételezzük, hogy a területrendezés során használt fedőréteg is tartalmazott AM-gomba képleteket, mivel azok kis mértékben fertőzték a nem oltott növények gyökerét. A fémtoleráns AM-gombatorzsek oltóanyagával kezelt növényekben magas infekciós gyakoriságot (F%) és arbuszkuláltságot (A%) találtunk, amely jelzi a gazdanövény és gombák közti hatékony szimbiózis kialakulását szabadföldön, erősen szennyezett talajban. Gyökérkolonizációs mutatók (**8. sz. Melléklet**), a növényi produkció és a hajtás nehézfém tartalmának (**9. sz. Melléklet**) alakulása szempontjából, az ún. vegyes, több fémtoleráns, monokultúras AM-gombatorzsek keverékéből előállított oltóanyag hatékonysága nagyobb volt, mint a monokultúras *Glomus mosseae* törzsé.

A fitoextrakciós eljárás keretén belül ültetett repce (*Brassica nanus*) jól fejlődött a nehézfémekkel szennyezett talajban és a nehézfémek agronómiai körforgalmának (**10. sz. Melléklet**) normál értékét a repce hajtásának Cd-, Cr-, Hg-, Ni-, és Zn-koncentrációja (**11. sz. Melléklet**) többszörösen meghaladta.

Továbbiakban vizsgáltuk különböző fémtoleráns mikorrhiza gombatorzsekkel történő oltás hatását a fitostabilizációs technologiaelemekben eredményesen használt pázsitfűfélék fémfelvételének alakulására (**6.4., 12. sz. Melléklet**). Az AM-gombák

gyökérekolonizációjából kitűnik, hogy tenyészedény kísérletekben tesztelt, pázsitfű+ fehér here gazdanövény és AM-gomba párosítások szabadföldön is hatékony szimbiózist alakítottak ki egymással (**13. sz. Melléklet**). A nem mikorrhizás növények fémtartalmához viszonyítva, az AM-gomba oltások, különös tekintettel a több AM-gomba törzs keverékéből előállított oltóanyagok jelentős mértékben csökkentették a bárium (Ba), kadmium (Cd), króm (Cr), nikkel (Ni), ólom (Pb), stroncium (Sr) és cink (Zn) hajtásba jutását (**12. sz. Melléklet**).

A szabadföldi kísérleti területen, annak szennyezettségét figyelembe véve, fitostabilizációs kísérleteinkben elért eredmények javítása érdekében, a mikorrhizás kezelések mellett kémiai stabilizációt is alkalmaztunk (**6.4.3. sz. Melléklet**). Az AM-gombák gyökérekolonizációs mutatóikat tekintve hatékony szimbiózist alakítottak ki gazdanövényeikkel. A kémiai stabilizálószeret tartalmazó parcellákban az AM-gombák gyökérekolonizációja csökkent (**14.sz. Melléklet**). A nem mikorrhizás növények fémtartalmához viszonyítva, az AM-gomba oltások különös tekintettel a több AM-gomba törzs keverékéből előállított oltóanyagok jelentős mértékben csökkentették a kadmium (Cd), króm (Cr), réz (Cu), nikkel (Ni), ólom (Pb) és cink (Zn) hajtásba jutását (**15. sz. Melléklet**). A kémiai stabilizálószerként alkalmazott lignit kezelések növényeiben alacsonyabb fémkoncentrációt mértünk, mint a kontroll parcellákban. A növényi fémfelvétel csökkentése szempontjából, azaz fitostabilizációs eljárás keretein belül a leghatékonyabb talajkezelésnek a lignit + AM-gomba kezelések együttes alkalmazása bizonyult. Az AM-gomba oltóanyagok közül a gazdanövény fémfelvételét a vegyes, több AM-gombatörzs tartalmazó oltóanyag bizonyult hatékonyabbnak, a *Glomus mosseae* monospórási oltóanyaggal szemben.

Eredményeinket összegezve mondhatjuk, hogy nehézfémekkel szennyezett területek remediációja során az általunk szelektált, fémtoleráns AM-gombatörzsek oltóanyagainak és kémiai stabilizáló szernek (lignit) együttes használata egy hatékony, jól működő fitostabilizációs technológia lehet.

## 2. GYÖNGYÖSOROSZI TERÜLET

A **gyöngyösoroszi** szabadföldi területen ugyancsak folytattuk az előző évben megkezdett fitoextrakciós és fitostabilizációs munkát. A technológiai eljárásokat a heterogén szennyezettség és a fő szennyező elemek (As, Cd, **Zn, Pb**, Cu), továbbá az egyéb ökológiai feltételek figyelembe vételével alakítottuk ki.

A **fitoextrakciós** technológiában a szennyező nehézfémeket nagymértékben akkumuláló és a helyi ökológiai feltételek között jó fejlődési és növekedési erélyű növényfajokat alkalmaztunk.

A fitoextrakciót ill. a fitoextrakciót követő fitostabilizációt (kombinált technológia) a terület legszennyezettebb részein tanulmányoztuk (**16. sz. Melléklet**).

A fitoextrakció két technológiai változatát vizsgáltuk:

-nehézfém kivonás tenyészedőszakon belül két különböző növénnyel, utóvetéssel (*Brassica oleracea subsp. napus* után *Zea mays convar. dentiformis*, és *Solidago virgaurea* után *Zea mays convar. dentiformis*)

-nehézfém kivonás egyetlen, évelő növényfajjal (*Salix spp*)

A betakarított hajtástömeg és annak elemtartalma alapján becsültük (**17. sz. Melléklet**) a technológiai változatokban egy év alatt kivonható toxikus elemek mennyiségét. **Az alkalmazott fitoextrakciós eljárásokkal kivont elem mennyiség csupán a cinknél volt jelentős. Legnagyobb értéket a repce+kukorica egymás utáni vetésével értünk el: 30 kg Zn/ha/év.** A többi vizsgált elem extrakciója nem számottevő.

E vizsgálat is igazolta azt, hogy érdemleges kivonásról csak a koncentráció megadott szintjénél (általában 1000 mg/kg, Cd-nál 100 mg/kg) beszélhetünk (BAKER et al. 1994, KUMAR et al. 1995), vagyis legalább a hiperakkumuláció alsó határának közelítése szükséges.

Az utónövény vetése adott feltételek esetén - a patak közelsége miatt jó vízellátás az év egészében - minden esetben javasolható. A kivont elemek mennyisége a fűznél volt a legkisebb, ennek magyarázata az, hogy a telepítés utáni évben, a gyökérzet megfelelő kialakulásáig, kicsi a hajtásprodukción.

A **fitostabilizációban** az elemek oldhatóságának csökkentése ill. megkötése a cél.

A fitostabilizálás során a kémiai és biológiai módszerek együttes alkalmazása a legcélravezetőbb. A nehézfémek oldhatóságát adalékanyagokkal csökkentik, a még mozgékony frakciót pedig növényekkel megkötik.

A kísérleti területen a fitostabilizáláshoz az előkísérletek alapján kiválasztott kémiai stabilizáló szereket és/vagy dús gyökérzetű növényfajokat használtunk. Esetünkben **e módszer alkalmazásának legfőbb indoka a talaj igen magas ólom-szennyezettsége (legmagasabb értéke 3843 mg/kg), melynek fitoextrakciós lehetőségei** az irodalmi eredmények alapján is, **viszonylag csekélyek** (KÁDÁR, 1995, KÁDÁR et al., 2001/a, EPA 2001, SIMON 1999, SIMON et al. 2002). A módszer alkalmazásának lehetőségét alátámasztja az is, hogy a hogy a Pb oldhatóságát a pH-érték kevéssé befolyásolja,

szemben egyéb nehézfémekkel, így pl. a Zn-el (CHANDRA et al., 2003). Így a fitostabilizálás során keletkező növényi szervesanyag bomlása nem vagy kevéssé növeli az ólom oldhatóságát.

A területen több technológiai változatot vizsgáltunk: az egyik módozatban a talajt stabilizálóanyaggal nem kezeltük, a másik kettőben kezeltük. Az alkalmazott stabilizálószer az előkísérletek alapján választottuk ki. A toxikus elemek megkötését mésszel (mészhidrát 1%), továbbá lignit (5%) és méshidrát(1%) keverékével segítettük elő.

Növényi stabilizálóként a környék természetes, részben gyomvegetációjának kétszikű növényfajait (*Atriplex tatarica*, *Melandrium album*, *Rubus spp*) és siska nádtippant (*Calamagrostis epigeios*), továbbá pázsitfűvek keverékét (*Lolium perenne*, *Festuca rubra*, *Cynodon dactylon*, *Poa pratensis*) alkalmaztuk.

A talajanalízisek eredményei alapján **a stabilizálószerrel kezelt parcellák talajában jelentősen csökkent a fő szennyező elemek LE-oldható/királyvíz oldható frakcióinak koncentrációaránya (18. sz. Melléklet).**



## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- BAKER, A.J.M., MCGRATH S.P., SIDOLI C.M.D., REEVES R.D., 1994. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. *Resources, Conservation and Recycling*, 11.41-49.
- BUZÁS I. 1988: Talaj és Agrokémiai módszerkönyv 2. -A talajok fizikai-kémiai vizsgálati módszerei, Mezőgazdasági Kiadó, p.: 64-74.
- CHANDRA, S.K., KAMALA, C.T., CHARY, N.S., AJANEYULU, Y., 2003. Removal of heavy metals using a plant biomass with reference to environmental control. *Int. J. Min. Proc.*, 68: (1-4) 37-45.
- CSATHÓ P. 1994: *In* Heavy metal load of the environment and consequences on agricultural production. pp 86-103. RISSAC-Akaprint, Budapest.
- EPA 2001. Brownfields Technology Primer: Selecting and using phytoremediation for site cleanup. U.S Environmental Protection Agency, July 2001. Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office, Washington DC, 20460, EPA 5542-R-01-006, 25
- KÁDÁR I., 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon (KTM-MTA TAKI), Budapest, 387
- KÁDÁR I., KONCZ J., RADICS I., 2001/a. Mikroelem-terhelés hatása a céklára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*, 50 (3-4), 315- 334.
- KUMAR, B.A.N., DUSHENKOV, V., MOTTO, H., RASKIN, I., 1995. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ Sci Technol* 29:1232-1238.
- LAKANEN, E. ERVIÖ, R. 1971: A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. *Acta. Agr. Fenn.* **123**, 223-232.
- PHILLIPS J.M. AND HAYMAN D.S. 1970: Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and VAM fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* **55**, 158-161.
- SIMON L., 1999. Fitoremediáció. In: Simon L.(szerk.) Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató, 5. Kötet, Budapest, 221, 178-185.
- SIMON L., KOVÁCS B, GYŐRI Z., 2002. Phytostabilization of mine spoil with red fescue (*Festuca rubra* L.). 20<sup>th</sup> European Conference of the Society for Environmental Geochemistry and Health „Heavy metal contamination and the quality of life”. Debrecen, Hungary, 4-6 September 2002. Book of Abstracts 15.

TROUVELOT, A., KOUGH, J.L., AND GIANINAZZI-PEARSON, V. 1986: Mesure du Taux de mycorrhization VA d'un systeme radulaire. (eds: V. Gianinazzi-Pearson, S. Gianinazzi) *In: Physiological and genetical aspects of mycorrhizae. 1er Symposium Europeen sur les Mycorrhizes.* p.: 217-221. INRA Paris 1986.

## MELLÉKLETEK

**1.sz. Melléklet:** *Tenyészedény kísérletekben tesztelt, kadmiummal (Cd), nikkellel (Ni), ólommal (Pb) és cinkkel (Zn) szennyezett területekről izolált és meghatározott arbuszkuláris mikorrhiza gombafajok és szelekciójukra irányuló vizsgálatok*

Szennyező fém és koncentrációja mg kg <sup>-1</sup>	Gombafaj megnevezése	és jelzése
<b>Kontroll-0</b>	<i>Glomus geosporum</i>	K <sub>1</sub>
<b>Kontroll-0</b>	<i>Glomus sp.</i> - okker	K <sub>2</sub>
<b>Kontroll-0</b>	<i>Glomus sp.</i> -szalmasárga, magányos	K <sub>3</sub>
<b>Zn -90</b>	<i>Glomus claroideum</i>	Zn <sub>1</sub>
<b>Zn-270</b>	<i>Glomus claroideum</i>	Zn <sub>2</sub>
<b>Cd-90</b>	<i>Glomus mosseae</i>	Cd <sub>1</sub>
<b>Ni-90</b>	<i>Glomus claroideum</i>	Ni <sub>1</sub>
<b>Ni-270</b>	<i>Glomus claroideum</i>	Ni <sub>2</sub>
<b>Pb-90</b>	<i>Glomus claroideum</i>	Pb <sub>1</sub>
<b>Pb-270</b>	<i>Sclerocystis sinuosa</i>	Pb <sub>2</sub>

A K<sub>1</sub>-*Glomus geosporum*, K<sub>2</sub>-*Glomus sp.*, K<sub>3</sub>-*Glomus sp.*, Cd<sub>1</sub>-*Glomus mosseae*, Ni<sub>1</sub>-*Glomus claroideum*, Ni<sub>2</sub> *Glomus claroideum*, Pb<sub>1</sub> *Glomus claroideum*, Pb<sub>2</sub>-*Sclerocystis sinuosa*, Zn<sub>1</sub>-*Glomus claroideum* és Zn<sub>2</sub>-*Glomus claroideum* jelzésű törzseket kétszikű uborka (*Cucumis sativus*) és egyszikű hagyma (*Allium fistulosum*) gazdanövényeken, ólommal (Pb), kadmiummal (Cd), nikkellel (Ni) és cinkkel (Zn) terhelt talajokban teszteltük

Eredményeink összegzéseként megállapítottuk, hogy a nehézfémekkel szennyezett talajokból és a nem szennyezett talajokból származó AM-gombatörzsek eltérő mértékben képesek befolyásolni gazdanövényük fémtartalmát. Azonos törzsek fémfelvételre gyakorolt hatása gazdanövényfüggő tulajdonság. A nehézfémekkel szennyezett talajokból előállított AM-gombatörzsek fajai gyökérkolonizációs mutatóik alapján jobban tolerálják a talajok fémszennyeződését. **További vizsgálatainkban Cd<sub>1</sub> -jelzésű *Glomus mosseae*, Pb<sub>1</sub> jelzésű *Glomus claroideum* és Pb<sub>2</sub> -jelzésű *Sclerocystis sinuosa* törzseket használtuk.**

**2.sz. Melléklet: Szabadföldi alkalmazás céljából, növényselekczióra irányuló tenyészedény kísérletek tesztnövényei és azok mikorrhizálódási és fémakkumulációs képessége**

NÖVÉNY	LATIN NÉV	NÖVÉNYCSALÁD	
SÓSKA	<i>Rumex</i> sp.	Poligonaceae (Keserűfűfélék családja)	<b>Hiperakkumulálók, de nem mikorrhizálódnak</b>
RICINUS	<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae (Kutyatejfélék családja)	<b>Akkumulálók és mikorrhizálódnak</b>
MÁK	<i>Papaver somniferum</i>	Papaveraceae (Mákfélék családja)	
UBORKA	<i>Cucumis sativus</i>	Cucurbitaceae (Tökfélék családja)	
KUKORICA	<i>Zea mays</i>	Poaceae (Fűfélék családja)	<b>Rhizofiltrátorok és mikorrhizálódnak</b>
NAPRAFORGÓ	<i>Helianthus annuus</i>	Compositae (Fészkesek családja)	
KÖRÖMVIRÁG	<i>Calendula officinalis</i>	Compositae (Fészkesek családja)	<b>Nem akkumulálók jól mikorrhizálódnak</b>
NAPRAFORGÓ	<i>Helianthus annuus</i>		
KERTI SALÁTA	<i>Salvia officinalis</i>		
VÖRÖS HERE	<i>Trifolium pratense</i>	Fabaceae (Pillangósok)	
BOKORBAB	<i>Phaseolus vulgaris</i>		
KUKORICA	<i>Zea mays</i>	Poaceae (Fűfélék családja)	

### **3. sz. Melléklet: Fitoextrakciós és fitostabilizációs eljárásokban alkalmazható fémtoleráns AM-gombatörzsek és növények különböző párosításainak tesztelése tenyésztedény kísérletekben**

**Gazdanövények:** kukorica, ricinus és pázsitfűfélék (angolperje (*Lolium perenne*), réti perje (*Poa pratensis*), barázdált csenkesz (*Festuca rupicola*), felemáslevelű csenkesz (*Festuca heterophylla*), vörös csenkesz (*Festuca rubra*), juh csenkesz (*Festuca ovina*)

A kiválasztott növényfajok esetén eltérő ültetési technikát alkalmaztunk, a növény magjának méretétől függően más-más mennyiségben és mélységben ültettük (kukorica 3 db/ tenyésztedény, ricinus 1 db/tenyésztedény, fűmagkeverék 0,3 g/tenyésztedény).

**AM-gombatörzsek:** Az AM-gomba és növények közti szimbiózis gombapartnerként, az előző évi tenyésztedény kísérletekben szelektált, leghatékonyabbnak ítélt Cd<sub>1</sub> -*Glomus mosseae*, Pb<sub>1</sub> – *Glomus claroideum*, Pb<sub>2</sub> -*Sclerocystis sinuosa* és vegyes oltóanyagokat ill. ezek kombinációit ( Cd<sub>1</sub>+ Pb<sub>1</sub>, Cd<sub>1</sub>+Pb<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>+Pb<sub>2</sub>) használtuk

Mikorrhizás növények előállítása céljából a steril talajokba AM-gomba oltóanyagot kevertünk. Az oltóanyag előzetes homogenizálása (az AM-gomba képleteket tartalmazó gyökerek felaprítása és a talajjal való egyenletes összekeverése) után, az oltás tenyésztedényenként 5 %-ban (570 g steril talaj + 30 g inokulum) történt.

**Nevelő közeg és növény nevelés körülményei:** Kísérleteinkben  $\gamma$ -sterilizált (25 kGy kg<sup>-1</sup> talaj) mészlepedékes csernozjom talajt használtunk. A növényeket két hónapig, 600 g-os tenyésztedényben kontrollált hőmérséklet (nappal 24 °C, éjszaka 17 °C) és fényviszonyok (16h nappal 25000 lux, 8 h éjszaka) között három ismétlésben, neveltük. Kísérleti talajaink alacsony tápanyag tartalma miatt a növényeket hetente egy alkalommal, tenyésztedényenként 60 ml makro- és mikroelemeket tartalmazó tápoldattal locsoltuk.

**Az AM-gomba oltóanyagok infektivitása és effektivitása szempontjából és növény – gomba párosítások alapján szabadföldi alkalmazás szempontjából az adott kísérleti területre és a fent említett növényfajok esetén legalkalmasabbnak a Cd<sub>1</sub>-jelű *Glomus mosseae* monospóras törzs és több, fémtolerancia szempontjából szelektált AM-gombafajból előállított, ún. vegyes oltóanyagok bizonyultak.**

#### **4. sz. Melléklet: Arbuskuláris mikorrhiza gomba oltóanyagok kis és nagyléptékű előállítása**

A szabadföldi alkalmazás szempontjából leghatékonyabbnak bizonyult oltóanyagok, Cd<sub>1</sub>-jelű *Glomus mosseae* és több fémtolerancia szempontjából szelektált AM-gombafajból előállított vegyes oltóanyagok felszaporítása két lépésben történt.

**AM-gombák gazdanövénye:** fehér here (*Tripholium repens*)

**Növény nevelő közeg:**  $\gamma$ -sterilizált (25 kGy kg<sup>-1</sup> talaj) nagyhőrcsöki mészlepedékes csernozjom talaj és homok 1:1 arányú keveréke

A felszaporításokhoz használt nagyhőrcsöki mészlepedékes csernozjom talaj legfontosabb fizikai és kémiai tulajdonságai a következők: pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>: 7,5; pH<sub>(KCl)</sub>: 7,2; CaCO<sub>3</sub> tartalom: 5-6,5%; humusz tartalom: 3 %; agyag frakció (< 0,002 mm): 20%; iszap frakció (0,02-0,05 mm): 40%; homok frakció (>0,05): 40%.

**A növénynevelés körülményei és időtartama:** A növényeket két hónapig, 600 g-os tenyészédényben kontrollált hőmérséklet (nappal 24 °C, éjszaka 17 °C) és fényviszonyok (16h nappal 25000 lux, 8 h éjszaka) között három ismétlésben, neveltük.

##### **I. AM-gomba oltóanyagok kisléptékű előállítása**

Az oltóanyagok felszaporítása oltóanyagokként 1-1 db 9-10 kg úrtartalmú virágládában steril talaj-homok keverékben történik, nagy növényessűrűség mellett kb. 3-4 hónapon keresztül. Továbbiakban oltóanyagként a nevelő közeg és az AM-gombákkal fertőzött gyökerek aprított, homogén keverékét használjuk. Az így előállított oltóanyag nagy mennyiségben tartalmaz spórákat, fertőzött gyökereket vagyis az AM-gombák ún. fertőzőképes propagulumait.

##### **II. AM-gomba oltóanyagok nagyléptékű előállítása**

Az oltóanyag előállítása kb. 9-10 kg úrtartalmú virágládákban, steril talaj-homok (1:1) keverékben történt. Az oltást virágládánként 5 %-ban az I. pontban előállított oltóanyag felhasználásával végeztük.

Szabadföldi alkalmazás céljából m<sup>2</sup>-ként 9-10 kg oltóanyagot állítottunk elő.

## 5. sz. Melléklet: *Arbuskuláris mikorrhiza gomba oltóanyagok ellenőrzése, az AM-gombák gyökérkolonizációs mutatóinak vizsgálata*

Az AMF-törzsek gyökérkolonizációs mutatóinak megállapítása a fertőzött gyökerek festése (Phillips és Hayman 1970), majd mikroszkópos vizsgálata során történt.

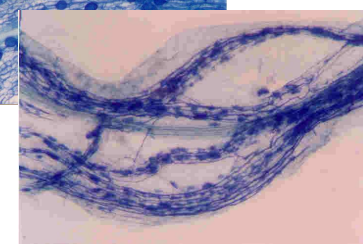
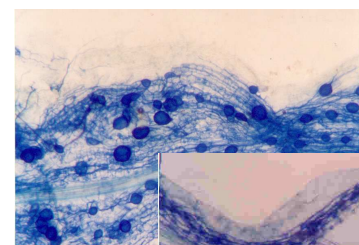
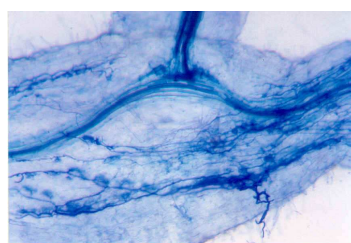
A megfestett gyökérminták vizsgálatát, azaz az AM-gombák gyökérkolonizációs mutatóinak megállapítását és kiértékelését, sztereómikroszkóp igénybevételével Trouvelot és mts. (1986) módszere alapján végeztük.

Egy-egy növény minta esetén 30 db, random kiválasztott, kb. 1 cm hosszúságú megfestett gyökér darabot vizsgálunk. A kiválasztott gyökérdarabok tanulmányozása alapján meállapítjuk az AM-gombák infekciós gyakoriságát (F%), a gyökerek mikorrhizáltságának intenzitását (M) és a növény-gomba szimbiózis hatékonyságára utaló arbuskuláltsági értékeket (a%, A%).

Az infekciós gyakoriság (F%) a vizsgált 30 gyökérdarabból az AM-gombák által fertőzött gyökerek százalékos mennyiségét adja meg. A mikorrhizáltság intenzitása (M) képlet alapján számított érték, amely magában foglalja a fertőzöttség ténye mellett annak mértékét is, vagyis azt, hogy az infektált gyökérdarab mekkora részét érinti a fertőzés. Az arbuskuláltságok (a% és A%) a növény és gomba közti együttélés hatékonyságára utaló gyökérkolonizációs mutatók. Százalékos mennyiségben adják meg az arbuskulumok mennyiségét a vizsgált gyökérmintákra (a%) ill. az egész gyökérrendszerre vonatkoztatva (A%). Kísérleteinkben alkalmazott AM-gomba törzsek gyökérkolonizációs mutatói közül a mikorrhizáltság intenzitását (M) és az egész gyökérrendszerre vonatkoztatott arbuskuláltság (A%) mértékét közöljük.



**F%=0**



**F%=90-100%**

## **6.sz. Melléklet: A Fémépítő Kft. területén (Budapest, Soroksári út 45-47.) található, szabadföldi kísérletek rövid ismertetése**

### **6.1. Fitoextrakciós célból elővetemény**

2003. tavaszán fitoextrakciós célból szennyezett területre, tenyészedény kísérletekben fémtolerancia, fémmakkumuláció és biomassza produkció szempontjából tesztelt növények közül, kukorica (Maraton) elővetemény került (kb. 90 m<sup>2</sup> terület).

A továbbiakban, fémekben „szegényebb” területre fitoextrakciós és fitostabilizációs céloknak megfelelő növényeket ültettünk.

### **6.2. Fitoextrakció irányított mikorrhizációval**

Fitoextrakciós célból fényszobában, kontrollált fény és hőmérséklet viszonyok között előnevelt AM-gombákkal oltott ricinus (*Ricinus communis* L.) palántákat telepítettünk (kb. 45m<sup>2</sup>). A palántákat klíma kamrában három hétig, talaj-homok keverékben (1:1) (150 g-os tenyészedényekben) neveltük. AM-gombákkal nem oltott, kontroll és Cd<sub>1</sub>-*Glomus mosseae* és vegyes oltóanyaggal oltott mikorrhizás palántákat állítottunk elő. Szabadföldön kezelésenként (kontroll, *Glomus mosseae*-val, vegyes oltóanyaggal oltott ricinus) 4 ismétlésben, 3m<sup>2</sup>-es parcellákat alakítottunk ki. Mikorrhizás növények előállításának céljából, az AM-gombákkal történő oltás tenyészedényenként 20 %-ban (120 g steril talaj + 30 g inokulum) történt. Az oltóanyagként használt AM-gombák gyökérkolonizációs paramétereit megvizsgáltuk. Mindkét oltóanyag esetén a gazdanövény gyökerében magas kolonizációs értékeket találtunk (Cd<sub>1</sub>-*Glomus mosseae*: F%=63,3% A%=10,5% és vegyes F%=50,0% A%= 6,3%).

### **6.3. Fitoextrakció fémmakkumuláló növényvel mikorrhiza oltóanyagok felhasználása nélkül**

A Keresztesvirágúak (Brassicaceae) családjába tartozó növényfajokat fémmakkumuláló képességüktől függően fitostabilizációs, többnyire pedig fitoextrakciós célokra is használják. Kísérleteink során egy nagy biomasszájú, kiterjedt gyökérrendszerrel rendelkező növényfajt őszi repcét (*Brassica nanus*) telepítettünk 2003. év szeptemberében. A keresztesvirágú növényfajok nem képeznek mikorrhizát arbuskuláris mikorrhiza gombákkal.



#### **6.4. Fitostabilizáció irányított mikorrhizációval és anélkül**

Fitostabilizációs céloknak megfelelő pázsitfűfélék magjának keverékét és pázsitfűfélék + fehér here mag keveréket használtunk (kb. 25-25m<sup>2</sup>).

**Növények:** Kísérleteink során használt növényfajok angolperje (*Lolium perenne*), réti perje (*Poa pratensis*), barázdált csenkesz (*Festuca rupicola*), felemáslevelű csenkesz (*Festuca heterophylla*), vörös csenkesz (*Festuca rubra*), juh csenkesz (*Festuca ovina*), fehér here (*Tripholium repens*) a hazai flóra elemei.

##### **6.4.1. Pázsitfűfélék alkalmazása mikorrhiza gomba kezelése nélkül**

A kísérleti terület kb. 25-30 m<sup>2</sup> részére taposást és szárazságot jól tűrő pázsitfűfélék magjaiból előállított keveréket vetettünk.

##### **6.4.2. Pázsitfűfélék alkalmazása mikorrhiza gomba kezelésekkal**

A pázsitfűfélék és pillangós növények irányított mikorrhizációja szabadföldön, az oltóanyagának a szennyezett talaj felső 20-25 cm-ébe való bekeverésévsel történt, a felső 20-25 cm talaj becsült tömegének 3 %-ban.

A mikorrhizás és nem mikorrhizás kezeléseket (kontroll, *Glomus mosseae*-val, vegyes oltóanyaggal oltott ricinus) 4 ismétlésben, 3m<sup>2</sup>-es parcellákon alakítottuk ki.

##### **6.4.3. Fitostabilizáció irányított mikorrhizációval és anélkül, kémiai stabilizálószer alkalmazása mellett**

A nehézfémekkel szennyezett területen fitostabilizációs céloknak megfelelően kémiai fitostabilizálószer (lignit) és a növényi fémfelvételt csökkentő mikorrhiza gomba oltást alkalmaztunk. Az AM-gombák gazdanövényeként az előző évben a területen sikeresen alkalmazott pázsitfűfélék + fehér here mag keveréket használtunk (kb. 45m<sup>2</sup>). A pázsitfűfélék és pillangós növények irányított mikorrhizációja szabadföldön, az oltóanyagának a szennyezett talaj felső 20-25 cm-ébe való bekeverésévsel történt, a felső 20-25 cm talaj becsült tömegének 3 %-ban. A lignit bekeverése 3 %-ban, a talaj felső 20-25 cm-ébe történt a növénykísérletek előtt kb. 1 hónappal. A mikorrhizás és nem mikorrhizás kezeléseket (kontroll nem mikorrhizás parcella + lignit, *Glomus mosseae*-val kezelt parcella + lignit, vegyes oltóanyaggal kezelt parcella + lignit ) 2 ismétlésben, 3m<sup>2</sup>-es parcellákon alakítottuk ki.

**7. sz. Melléklet: A szabadföldi kísérleti terület talajmintáinak vizsgálati eredményei**  
(Fémépítő Kft., Budapest Soroksári út 45-46.)

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
**TALAJTANI ÉS AGROKÉMIAI KUTATÓ INTÉZETE**  
 BUDAPEST II. HERMAN OTTÓ ÚT 15.  
 telefon:3564-644; 212-2265  
 fax: 214-9007/5; 214-4816

**VIZSGÁLATI EREDMÉNYKÖZLÉS**

**Vizsgált minták:** Soroksári úti talajminták vizsgálata (2002.08.29.)

**Vizsgálati módszer:** Összes elemtartalom (Királyvíz-oldható), 1 : 10 kirázásból vizes és acetátos kivonat

**Vizsgálati eredmények:**

**Összes elemtartalom (Királyvíz-oldható)**

Elemek	SA	SB	SC	SD
	mg/kg			
Sn	18,9	<b>43,8</b>	<b>46,9</b>	23,7
As	5,79	<b>19,8</b>	<b>16,6</b>	12
Hg*	<b>89,7</b>	<b>1,45</b>	<KH	<b>1,14</b>
Se	<KH	<KH	<KH	<KH
Mo	1,38	3,69	2,58	1,57
Zn	<b>447</b>	<b>552</b>	<b>402</b>	<b>253</b>
P	577	796	838	586
Pb	<b>365</b>	<b>959</b>	<b>688</b>	<b>611</b>
Co	6,02	20,8	7,89	7,58
Cd*	<b>51,5</b>	<b>136</b>	<b>67,4</b>	<b>135</b>
Ni	<b>426</b>	<b>1590</b>	<b>317</b>	<b>400</b>
Cr	<b>261</b>	<b>1630</b>	<b>1650</b>	<b>527</b>
Mg	6440	6820	4440	5660
Mn	397	823	377	318
B	5,08	17,4	17,5	15,6
Fe	19590	86000	55000	20000
Ca	45600	44600	48000	80000
Cu	<b>292</b>	<b>2530</b>	<b>582</b>	<b>1420</b>
Al	3900	6180	6920	5850
Sr	75,6	81,3	87,1	147
Ba	119	<b>313</b>	180	193
Na	180	302	561	422
K	817	1122	1344	972
S	324	<b>1770</b>	<b>2160</b>	<b>1240</b>

az S a Soroksári út, az A-D pedig négy részterületet jelöl, melyek szemrevételezés alapján (átkeverés előtt) eltérő típusú/mértékű szennyezésre engedtek következtetni

Elemek	1 : 10 kirázásból vizes kivonat			
	SA	SB	SC	SD
	mg/kg			
As	0,036	0,065	<b>0,294</b>	0,047
Hg	<b>0,46</b>	<KH	<KH	0,06
Mo	<KH	0,013	0,02	0,012
Zn	<KH	<KH	<KH	<KH
Pb	0,024	<KH	<KH	<KH
Co	0,016	0,016	0,023	0,01
Cd	<KH	<KH	0,031	0,012
Ni	0,099	0,193	0,266	0,231
Cr	0,74	71,4	<b>225,6</b>	
Cu	0,54	0,038	0,022	0,38
Ba	0,19	0,414	1,74	0,556
pH	8,08	7,75	7,71	7,98

Elemek	1 : 10 kirázásból acetátos kivonat			
	SA	SB	SC	SD
	mg/kg			
As	0,247	0,155	0,4	0,17
Hg	<b>1,05</b>	<b>0,162</b>	<KH	0,079
Mo	<KH	0,007	0,01	0,035
Zn	31,9	31,0	15,2	11,8
Pb	1,09	0,467	0,017	0,847
Co	0,111	0,354	0,034	0,036
Cd	<b>11,0</b>	<b>19,2</b>	<b>11,6</b>	<b>14,5</b>
Ni	8,55	29,2	11,5	8,91
Cr	1,01	79,2	<b>201,6</b>	13,8
Cu	8,10	89,7	6,68	2,21
Ba	10,5	5,48	7,0	7,38
pH	5,86	6,09	6,11	6,15

#### Talajkémiai vizsgálatok

ΣN%	0,055	0,068	0,055	0,055
H%	1,11	1,63	1,69	1,68
pH	7,92	7,72	7,86	7,92

ΣN% összes nitrogén-tartalom

H% humusztartalom

Elemek	1 : 10 kirázásból vizes kivonat			
	SA	SB	SC	SD
	µg/L			
As	3,6	6,5	29,4	4,7
Hg	46	<KH	<KH	6,0
Mo	<KH	1,3	2,0	1,2
Zn	<KH	<KH	<KH	<KH
Pb	2,4	<KH	<KH	<KH
Co	1,6	1,6	2,3	1,0
Cd	<KH	<KH	3,1	1,2
Ni	9,9	19,3	26,6	23,1
Cr	73,8	7140	22560	
Cu	53,6	3,8	2,2	38
Ba	18,8	41,4	174	55,6
pH	8,08	7,75	7,71	7,98

Elemek	1 : 10 kirázásból acetátos kivonat			
	SA	SB	SC	SD
	µg/L			
As	24,7	15,5	40,0	17,0
Hg	105	16,2	<KH	7,9
Mo	<KH	0,7	1,0	3,5
Zn	3190	3100	1520	1180
Pb	109	46,7	1,7	84,7
Co	11,1	35,4	3,4	3,6
Cd	1100	1920	1160	1450
Ni	855	2920	1150	891
Cr	101	7920	20160	1380
Cu	810	8970	668	221
Ba	1050	548	700	738
pH	5,86	6,09	6,11	6,15

Az eredmények a vizsgált mintákra vonatkoznak.

Ez a dokumentum 3/3 számozott oldalt tartalmaz. Másolni csak a dokumentum teljes terjedelmében szabad.

Budapest, 2002. október 21.

Anton Attila  
ált. igazgatóhelyettes

**8. sz. Melléklet: *Mükorrhiza gombával oltott és nem oltott ricinus (Ricinus communis) gyökérkolonizációs mutatóinak alakulása szabadföld, kisparcellás kísérletben***

A táblázatban a kezelések négy ismétlésének átlagát és azok szórását közöljük.

A kísérlet beállításának körülményeit lsd. 6.2. mellékletben.

AM-gomba kezelések	Gyökérkolonizációs mutatók			
	F%	M	a%	A%
<b>Kontroll (-AMF)</b>	1,665 ± 0,0	0,535 ± 1,6	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
<b>Cd<sub>1</sub>-<i>Glomus mosseae</i></b>	50,0 ± 12,8	18,7 ± 7,5	9,7 ± 8,04	2,01 ± 2,26
<b>vegyes</b>	84,1 ± 14,5	35,7 ± 9,56	23,0 ± 24,0	7,73 ± 6,8

*Vegyes AM gomba inokulum = nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált törzsek (Cd<sub>1</sub>, Ni<sub>1</sub>, Ni<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>, Pb<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub> és Zn<sub>2</sub>) 1:1 arányú keveréke*

**Jelmagyarázat:**

*F%*- infékcíós gyakoriság

*M* -a fertőzés intenzitása

*a%* -arbuskuláltság a vizsgált mintákban

*A%*-az egész gyökérrendszerre vonatkoztatott arbuskuláltság

9. sz. Melléklet: *Arbuskuláris mikorrhiza gombákkal fertőzött, mikorrhizás és nem mikorrhizás ricinus (Ricinus communis) gazdanövény hajtásának nehézfém koncentrációi (mg fém/kg száraz tömeg), a hajtás nehézfém koncentrációiként a négy ismétlés átlagát közöljük*

AM-GOMBA OLTÓANYAG	NEHÉZFÉM KONCENTRÁCIÓK A TESZNÖVÉNY HAJTÁSÁBAN							
	mg/kg							
	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>Kontroll (-AMF)</b>	17,02	10,9	331,6	96,3	52,3	90,1	33,07	60,9
<b>Cd<sub>1</sub>-Glomus mosseae</b>	13,07	12,8	143	41,7	58,4	56,3	18,9	69,8
<b>Vegyes</b>	18,01	16,03	160	93,6	72,6	72,2	51,3	77,5

*Vegyes AM gomba inokulum = nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált törzsek (Cd<sub>1</sub>, Ni<sub>1</sub>, Ni<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>, Pb<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub> és Zn<sub>2</sub>) 1:1 arányú keveréke*

10. sz. Melléklet: *Nehézfémek és egyes mikroelemek agronómiai körforgalma (Csathó, 1994 nyomán)*

Elem	Talaj összes mg kg <sup>-1</sup>	Növényben (mg kg <sup>-1</sup> )		
		Alacsony	Normál	Toxikus
<b>Cd</b>	0,06 (00,1-7)	-	0,05-0,2-(0,8)	5-30<
<b>Cr</b>	100(5-3000)		0,2-1,0	
<b>Cu</b>	20(2-100)	<2	4-15	20<
<b>Hg</b>				3-8<
<b>Ni</b>	40 (10-1000)	-	0,1-1-5	50 <
<b>Pb</b>	10(2-200)		0,1-10	
<b>Zn</b>	50 (10-300)	-	8-15	200 <

**11. sz. Melléklet: Repce (*Brassica nanus*) hajtásában mért elemkoncentrációk (mg kg<sup>-1</sup>)**

A kísérlet beállításának körülményeit lsd. 6.3. mellékletben.

Ismétlések	Nehézfémek és egyéb mikro- és makroelemek koncentrációja (mg kg <sup>-1</sup> ) repce ( <i>Brassica nanus</i> ) hajtásában											
	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K
1.	217	< kh	21,7	11,6	11683	1,47	< kh	9,5	11,2	180	0,526	19994
2.	118	< kh	20,4	11,1	10922	1,37	0,818	8,3	9,11	130	0,704	19331
Ismétlések	Nehézfémek és egyéb mikro- és makroelemek koncentrációja (mg kg <sup>-1</sup> ) repce ( <i>Brassica nanus</i> ) hajtásában											
	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Se	Sr	Zn	S	
1.	3460	34,9	0,636	227	4,57	3352	3,74	< kh	47,0	53,5	6202	
2.	3185	24,5	0,462	164	3,88	3526	3,14	< kh	48,0	46,0	5764	

A növénymintavétel a terület szennyezetségének heterogenitását figyelembe véve több pontból, két ismétlésben történt.

**12. sz. Melléklet: Fitostabilizációs kísérletekben használt pázsitfűfélékből kialakított gyep és mikorrhiza gomba oltóanyagokkal kezelt pázsitfűfélék+ fehér here növények hajtásában mért elemkoncentrációk (mg kg<sup>-1</sup>) a kísérlet beállításának 12. hónapjában**

A kísérlet beállításának körülményeit lsd. 6.4.1. és 6.4.2. mellékletekben.

Talajkezelések	Nehézfémek és egyéb mikro- és makroelemek koncentrációja (mg kg <sup>-1</sup> ) hajtásában											
	Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K
<b>Gyep (-AMF)</b>	1848	0,717	7,05	23,0	4512	5,21	0,818	60,8	33,5	22,86	0,395	14638
<b>F+H Kontroll (-AMF)</b>	1786	1	18,0	18,0	18639	3,0	1,0	38,0	25,0	2407	< kh	16068
<b>F+H <i>Glomus mosseae</i></b>	2676	0,813	12,0	12,0	13775	2,83	1,07	34,4	28,3	2935	< kh	17321
<b>F+H vegyes</b>	1575	1,0	1,0	10,0	12014	2,0	1,0	20,0	23,0	2038	< kh	18368

*F+H =pázsitfűfélék+ fehér here*

*Vegyes AM gomba inokulum = nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált törzsek (Cd<sub>1</sub>, Ni<sub>1</sub>, Ni<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>, Pb<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub> és Zn<sub>2</sub>) 1:1 arányú keveréke*

*A táblázatban a kezelések négy ismétlésében mért elemtartalmak átlagát közöljük.*



Ismétlések	Nehézfémek és egyéb mikro- és makroelemek koncentrációja (mg kg <sup>-1</sup> ) hajtásában										
	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Se	Sr	Zn	S
<b>Gyep (-AMF)</b>	1734	112	0,394	1176	28,4	1744	25,3	< kh	16,3	51,5	1209
<b>F+H Kontroll (-AMF)</b>	4539	138	1,0	3039	15,0	2140	53,0	< kh	60,0	56,0	1997
<b>F+H</b> <i>Glomus mosseae</i>	4068	186	2,0	1558	13,0	2969	23,0	< kh	50,0	50,0	1596
<b>F+H vegyes</b>	3682	182	2,0	1276	8,0	2145	13,0	< kh	42,0	42,0	1626

*F+H =pázsütfűfélék+ fehér here*

*Vegyes AM gomba inokulum = nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált törzsek (Cd<sub>1</sub>, Ni<sub>1</sub>, Ni<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>, Pb<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub> és Zn<sub>2</sub>) 1:1 arányú keveréke*

*A táblázatban a kezelések négy ismétlésében mért elemtartalmak átlagát közöljük.*

**13. sz. Melléklet: Gyökérekolonizációs mutatók alakulása fitostabilizációs kísérletekben használt, mikorrhiza gomba oltóanyagokkal kezelt pázsitfűfélék+ fehér here növények gyökerében**

A táblázatban a kezelések négy ismétlésének átlagát és azok szórását közöljük.

A kísérlet beállításának körülményeit lsd. 6.4.2. mellékletben.

AM-gomba kezelések	Növény	Gyökérekolonizációs mutatók			
		F%	M	a%	A%
Kontroll (-AMF)	Fűfélék	58,3 ± 16,4	28,4 ± 14,1	7,6±4,3	2,1±1,0
	Here	61,62 ± 18,14	40,5 ± 15,7	8,56±7,3	3,1±2,4
Cd <sub>1</sub> - <i>Glomus mosseae</i>	Fűfélék	55,55 ± 23,6	25,5 ± 8,6	11,41±5,6	3,1 ±2,3
	Here	82,45 ± 4,19	54,1±8,9	82,4 ±4,2	79,1±6,9
vegyes	Fűfélék	65,5±10,7	31,5±5,2	11,2±6,0	3,7±2,4
	Here	79,125 ± 6,92	54,6±2,3	19,4±6,7	10,5±3,5

Vegyes AM gomba inokulum = *nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált törzsek (Cd<sub>1</sub>, Ni<sub>1</sub>, Ni<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>, Pb<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub> és Zn<sub>2</sub>) 1:1 arányú keveréke*

**Jelmagyarázat:**

F%- infekciós gyakoriság

M -a fertőzés intenzitása

a% -arbuskuláltság a vizsgált mintákban

A%-az egész gyökérrendszerre vonatkoztatott arbuskuláltság

**14.sz. Melléklet: Gyökérkolonizációs mutatók alakulása mikorrhiza gomba oltóanyagokkal és kémiai stabilizálószerrel kezelt parcellák növényeiben, a kísérlet beállításának 3. hónapjában**

A táblázatban a kezelések négy ismétlésének átlagát és azok szórását közöljük.

**A kísérlet beállításának körülményeit lsd. 6.4.3. mellékletben.**

AM-gomba kezelések	Lignit	Gyökérkolonizációs mutatók			
		F%	M	a%	A%
<b>Kontroll (-AMF)</b>	-	51,6±30,6	23,3±12,1	2,9±4,2	0,95±1,3
	+	28,3±7,1	10,9±2,7	0,0±0	0,0±0
<b>Cd<sub>1</sub>-<i>Glomus mosseae</i></b>	-	76,7±18,9	58±19,4	7,5±2,5	4,1±0,0
	+	73,4±32,2	55±33	3,9±1,3	2,5±2,0
<b>vegyes</b>	-	71,7±2,3	46,1±13,6	16,0±16	6,3±5,3
	+	85,0±11,8	57,8±12,6	2,3±3,25	1,53±2,17

*Vegyes AM gomba inokulum = nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált törzsek (Cd<sub>1</sub>, Ni<sub>1</sub>, Ni<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>, Pb<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub> és Zn<sub>2</sub>) 1:1 arányú keveréke*

**Jelmagyarázat:**

*F%*- infekciós gyakoriság

*M* -a fertőzés intenzitása

*a%* -arbuskuláltság a vizsgált mintákban

*A%*-az egész gyökérrendszerre vonatkoztatott arbuskuláltság

**15. sz. Melléklet: Mikorrhiza gomba oltóanyagokkal és kémiai stabilizáló szerrel kezelt parcellák növényeinek hajtásában mért elemkoncentrációk (mg kg<sup>-1</sup>), a kísérlet beállításának 3. hónapjában**

A kísérlet beállításának körülményeit lsd. 6.4.3. mellékletben.

Talajkezelések		Nehézfémek és egyéb mikro- és makroelemek koncentrációja (mg kg <sup>-1</sup> ) hajtásában											
		Al	As	B	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K
<b>AMF</b>	<b>lignit</b>												
<b>Kontroll</b>	-	392	< kh	5	48	9088	3	0	45	29	951	2	43718
<b>(-AMF)</b>	+	561	< kh	7	44	9639	2	0	15	20	800	2	48831
<b>Cd<sub>1</sub>-Glomus</b>	-	520	< kh	7	39	8789	4	0	56	34	1024	6	44809
<b>mosseae</b>	+	1155	< kh	6	42	9485	1	0	17	20	1287	2	3939
<b>vegyes</b>	-	913	< kh	5	42	8941	2	0	19	21	1129	5	39374
	+	417	< kh	8	49	10071	1	0	11	21	617	2	48447

*F+H =pázsitfűfélék+ fehér here*

*Vegyes AM gomba inokulum = nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált törzsek (Cd<sub>1</sub>, Ni<sub>1</sub>, Ni<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>, Pb<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub> és Zn<sub>2</sub>) 1:1 arányú keveréke*

*A táblázatban a kezelések két ismétlésében mért elemtartalmak átlagát közöljük.*

Talajkezelések		Nehézfémek és egyéb mikro- és makroelemek koncentrációja (mg kg <sup>-1</sup> ) hajtásában										
AMF	lignit	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Se	Sr	Zn	S
<b>Kontroll</b> (-AMF)	-	3694	169	1	2200	16	6357	13	< kh	31	94	4657
	+	3869	146	1	1788	11	6201	6	< kh	31	91	4595
<b>Cd<sub>1</sub>-Glomus</b> <i>mosseae</i>	-	3512	160	1	1930	23	6298	43	< kh	30	96	5476
	+	3939	169	1	1086	10	6074	12	< kh	31	88	5256
<b>vegyes</b>	-	3446	178	1	1860	11	6997	6	< kh	29	74	4826
	+	3638	178	1	1660	11	6697	6	< kh	34	78	4499

*F+H =pázsütfűfélék+ fehér here*

*Vegyes AM gomba inokulum = nehézfémekkel szennyezett talajokból izolált törzsek (Cd<sub>1</sub>, Ni<sub>1</sub>, Ni<sub>2</sub>, Pb<sub>1</sub>, Pb<sub>2</sub>, Zn<sub>1</sub> és Zn<sub>2</sub>) 1:1 arányú keveréke*

*A táblázatban a kezelések két ismétlésében mért elemtartalmak átlagát közöljük.*

## 16. SZ. MELLÉKLET

# A FITOREMEDIÁCIÓ ALKALMAZOTT MÓDSZEREI ÉS TECHNOLÓGIAI VÁLTOZATAI GYÖNGYÖSOROSZI MODELLTERÜLETEN

## Fitoextrakció

A fitoextrakció két technológiai változatát vizsgáltuk:

- nehézfém kivonás tenyészidőszakon belül két különböző növénnyel, utóvetéssel (káposztarepce után kukorica, és aranyvessző után kukorica)
- nehézfém kivonás egyetlen, évelő növényfajjal (fűzfa)

### 1. nehézfém kivonás tenyészidőszakon belül két különböző növénnyel, utóvetéssel

#### 1.1. káposztarepce után kukorica

#### 1.2. aranyvessző után kukorica

##### 1.1.1 ŐSZI KÁPOSZTAREPCE (*BRASSICA NAPUS L. SUBSP. NAPUS*)

A repce fejlődését és növekedését a nehézfém-szennyezés gátolta. A területegységre vetített talaj feletti biomasza után az erősen szennyezett területen a virágzás kezdetén 2.4 t/ha (sza.), június végén 6.5 t/ha volt, az alig szennyezett területen pedig azonos időpontokban 7.5 t/ha (sza.) és 13.2 t/ha volt.

##### 1.2.1. Aranyvessző (*Solidago virga-aurea L.*)

Az első éves növekedésük alapján a nehézfém-szennyezés az aranyvesszőnél gyenge (10 % körüli) gátló hatást jelentett. Az aranyvessző becsült szárazanyag hozama 6.2 t/ha volt, letakarítását követően kukoricát vetettünk.

Az aranyvessző évelő növény, azonban feltételeztük, hogy a másodvetés talajmóztatásakor rizómája csak kismértékben károsodik, így a következő évben újra kihajt.

### **1.1.2. és 1.2.2. Kukorica (*Zea mays L. convar dentiformis*)**

A repce és az aranyvessző után a területre júliusi vetéssel utónövényként a melegkedvelő, gyors növekedésű, nagy hajtás-biomasszát produkáló kukorica került. A kukorica fejlődését és növekedését a szennyezés csak kismértékben gátolta. A növények magassága a szennyezéstől függetlenül október elején meghaladta a 2.4 m-t, a fejlődésben is csupán kis különbség mutatkozott: az erősen szennyezett területen címvirágzásban, a gyengén szennyezett területen nővirágzásban volt.

A hajtás tömege október végén a patakhöz közeli erősen szennyezett területen 13.3 t/ha (sza.), a szennyezett részen 14.9 t/ha (sza.) volt.

## **2. nehézfém kivonás egyetlen, élő növényfajjal**

### **2.1. Fűzfa (*Salix spp.* )**

A fitoremediáció legígéretesebb növényei az élő fajok. A nagyobb telepítési költség a talaj többéves kezelése alatt többszörösen visszatérülhet.

A telepítés után évi kétszeri vágást alkalmaztunk, a letakarított biomassza –főként a nyár végi kipusztulás miatt – csupán 3.8 és 3.2 t/ha, azaz egy évre vetítve 7 t/ha volt.

## 17. SZ. MELLÉKLET

### FITOEXTRAKCIÓBAN ALKALMAZOTT NÖVÉNYEK ELEM-TARTALMA, KIVONT MENNYISÉGEK

A mintavétel után a minta-előkészítést és a kémiai analízist a vonatkozó szabványos módszerekkel végeztük.

#### VIZSGÁLATI MÓDSZEREK:

##### Általános talajkémiai vizsgálatok:

- **mintaelőkészítés, pH:** MSZ 21470/2-81;
- **CaCO<sub>3</sub>%, só%:** MSZ-08-0206-2/78;
- **H%:** Tyurin-módszer

**Összes P, K:** ICP plazmaemissziós spektrometriás elem-analízis MSZ 21470-50:1998;

**Összes-N:** MSZ-08-0012-10:1987

**Összes Ca:** MSZ-21470/50

Toxikus szerves szennyezők vizsgálata: **ICP plazmaemissziós spektrometriás elem-analízisek salétromsavas, vizes kivonatból: MSZ 21978-9:1985.**



Az 1. táblázatban az erősen szennyezett és alig szennyezett terület növényeinek elemtartalmát mutatjuk be. A táblázatban használt jelölések jelentése: Nsz- nem szennyezett (pontosabban alig szennyezett), Sz- szennyezett területet növényei.

**1. táblázat Növények elemtartalma a fitoextrakció során**

Elemek	Elemtartalom, mg/kg szárazanyag							
	Fűz		Aranyvessző		Repce		Kukorica	
	Nsz	Sz	Nsz	Sz	Nsz	Sz	Nsz	Sz
<b>Al</b>	170	174	45.35	604	51.19	364.05	38.13	60.61
<b>As</b>	<kh	0.66	<kh	2.84	< kh	5.30	<kh	0.73
<b>Ba</b>	9.13	6.21	6.34	6.80	23.79	8.51	3.93	0.62
<b>Ca</b>	13143	20106	8441	11316	21173	35033	3697	5531
<b>Cd</b>	1.49	9.96	0.027	2.15	0.19	8.09	0.14	5.50
<b>Co</b>	0.09	0.17	<kh	0.35	0.23	0.54	<kh	0.13
<b>Cr</b>	0.80	0.94	0.56	1.81	1.77	2.62	0.72	1.08
<b>Cu</b>	6.52	14.06	7.62	14.09	4.79	18.60	8.47	16.74
<b>Fe</b>	180.93	254.03	74.77	836	1079	776	107.45	143.00
<b>Hg</b>	<kh	<kh	<kh	<kh	< kh	< kh	<kh	<kh
<b>K</b>	15794	18152	36683	23690	28509	28264	42222	45497
<b>Mg</b>	2549	2795	1976	1829	2698	4488	1738	1652
<b>Mn</b>	72.40	203.04	28.27	55.16	21.85	53.69	34.17	87.88
<b>Mo</b>	0.21	0.16	0.31	0.18	0.87	0.59	0.61	0.24
<b>Na</b>	14.12	18.48	11.18	49.52	194.17	415.62	5.46	11.11
<b>Ni</b>	0.79	3.78	0.71	1.84	1.19	1.42	0.49	0.86
<b>P</b>	2311	1777	3162	2159	5369	4759	3215	2545
<b>Pb</b>	1.04	3.70	0.92	19.2	< kh	15.23	<kh	2.54
<b>Se</b>	<kh	<kh	<kh	<kh	< kh	< kh	<kh	<kh
<b>Zn</b>	143	987	28.62	502	31.83	1145	92.67	1711

2. táblázat A 2004-ben kivont szennyező elemek mennyisége

Növény	Kivont elem mennyiség, kg/ha*év				
	As	Cd	Cu	Pb	Zn
repce	0,03	0,05	0,12	0,10	7,45
kukorica	0,01	0,12	0,16	0,08	22,62
<b>repce + kukorica</b>	<b>0,05</b>	<b>0,17</b>	<b>0,29</b>	<b>0,18</b>	<b>30,07</b>
aranyvessző	0,02	0,01	0,09	0,12	3,11
kukorica	0,01	0,12	0,16	0,08	22,62
<b>aranyvessző+kukorica</b>	<b>0,03</b>	<b>0,13</b>	<b>0,25</b>	<b>0,20</b>	<b>24,73</b>
Fűz	<b>0,02</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,03</b>	<b>6,9</b>

Az alkalmazott fitoextrakciós technológiákban kivont elem mennyiség csupán a cinknél volt jelentős, legnagyobb mennyiséget a repce+kukorica egymás utáni vetésével értünk el: 30 kg/ha\*év.

Az utónövény vetése adott feltételek esetén -a patak közelsége miatt jó vízellátás az év egészében- minden esetben javasolható. A kivont elemek mennyisége legalacsonyabb a fűznél volt, ennek magyarázata az, hogy a telepítés utáni évben még kicsi a hajtásprodukción.

## 18. SZ. MELLÉKLET

### FITOSTABILIZÁCIÓ

1. táblázat A talaj LE-oldható/királyvíz-oldható elemtartalmának aránya a stabilizálószerrel kezelt parcellákon  
Gyöngyösroszi, 2004.10. 06.

Elemek	A talaj LE-oldható/királyvíz-oldható elemek aránya					
	4 m stabilizálószer nélkül	16 m stabilizáló- szerrel	26 m stabilizálószer nélkül	28 m stabilizáló- szerrel	64 m stabilizálószer nélkül	58 m stabilizáló- szerrel
<i>Al</i>	0.0029	0.0020	0.0024	0.0035	0.0032	0.0067
<b>As</b>	0.0330	0.0266	0.0178	0.0120	0.0206	0.0138
<b>B</b>	0.0933	0.1516	0.0940	0.0618	0.1514	0.0958
<b>Ba</b>	0.1482	0.2691	0.1120	0.0291	0.0277	0.0186
<b>Ca</b>	0.9040	2.1532	0.7415	0.6963	0.7699	0.8351
<b>Cd</b>	1.2143	0.4236	0.8443	0.5048	0.7111	0.6263
<b>Co</b>	0.3954	0.1527	0.2506	0.2522	0.2736	0.2146
<b>Cr</b>	0.0477	<kh	<kh	0.0062	0.0074	0.0247
<b>Cu</b>	0.6319	0.4786	0.5034	0.3428	0.4248	0.3614
<b>Fe</b>	0.0161	0.0069	0.0113	0.0146	0.0182	0.0229
<b>Hg</b>	<kh	<kh	<kh	<kh	<kh	<kh
<b>Mg</b>	0.1021	0.0814	0.0993	0.0806	0.0931	0.0708
<b>Mn</b>	0.5696	0.3873	0.3808	0.4147	0.3981	0.3396
<b>Mo</b>	<kh	<kh	0.5313	0.3074	0.1084	<kh
<b>Ni</b>	0.2903	0.2572	0.2079	0.2224	0.2210	0.1734
<b>P</b>	0.4405	0.5112	0.2389	0.1732	0.3187	0.1196
<b>Pb</b>	0.5049	0.2608	0.3463	0.3012	0.3364	0.2361
<b>Se</b>	0.8856	<kh	0.1683	0.0840	0.0825	0.0357
<b>Sr</b>	7.7651	17.9293	0.2983	0.2425	0.3018	0.3065
<b>Zn</b>	0.3288	0.1774	0.3920	0.2977	0.4684	0.3745

A fitostabilizáció alkalmazott technológiai variánsai a következők voltak:

- nehézfém megkötés csak növényvel, stabilizálószer nélkül
- nehézfém megkötés mészhidrát (1 %) talajba keverésével és növényvel,
- nehézfém megkötés mészhidrát (1 %) és lignitpor (5%) talajba keverésével és növényvel

Növényi stabilizálóként a környezet természetes, részben gyomvegetációjának kétszikű növényfajait (*Atriplex tatarica*, *Melandrium album*, *Rubus spp*) és siska nádtippant (*Calamagrostis epigeios*), továbbá pázsitfűvek keverékét (*Lolium perenne*, *Festuca rubra*, *Cynodon dactylon*, *Poa pratensis*) alkalmaztuk.

**2. táblázat Az LE-oldató elemtartalom arányának csökkenése stabilizálószerrel kezelt parcellák 0-20 cm-es talajrétegében (viszonyítás az adott parcella melletti „kontroll”-hoz)**

Elemek	különbség		
	%		
	16 m	28 m	58 m
As	19.34	32.47	32.93
Cd	65.11	40.21	11.92
Cu	24.26	31.92	14.94
Pb	48.35	13.01	29.81
Zn	46.04	24.07	20.06

Alkalmazott stabilizálószer: 16 és 28 m-es pontokon mész  
58 m-es ponton lignit + mész

**Mindhárom stabilizálószerrel kezelt parcellán jelentősen csökkent a fő szennyező elemek LE-oldható koncentrációjának aránya (2. táblázat).** Kiemelésre érdemes e 16 m-es ponton a kadmium, ólom és cink, a 28 m-es ponton a kadmium, arzén és réz, az 58 m-es ponton az arzén, ólom és cink oldhatóságának csökkenése. E viszonyszámot a terület heterogén szennyezettsége miatt alkalmaztuk. Ugyancsak a talajheterogenitás miatt nem hasonlíthatuk össze a fitoremediációban alkalmazott növények ill. a kétféle stabilizálószer (csak mész és lignit+mész) hatását.