



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**

**11/1 feladat: A gazdanövények AM-gomba gyökérkolonizációjának  
meghatározása**

**Projektvezető: Dr. Anton Attila ált. igazgatóh.**

**Közreműködők: Máthéné Dr. Gáspár Gabriella**

**Dr. Takács Tünde**

**Dr. Vörös Ibolya**

**Budapest, 2003. június**

**Anton Attila  
általános igazgatóhelyettes**

## 1. Feladat megnevezése

**11/1 feladat: A gazdanövények AM-gomba gyökérkolonizációjának meghatározása**

## 2. Eredmények összefoglalása

Tenyészedény kísérletben szabadföldi mintaterületről származó talajban tíz növényfaj, fémtoleranciára szelektált arbuskuláris mikorrhiza (AM) gomba oltóanyaggal inokulált ún. mikorrhizás és nem oltott, nem mikorrhizás variánsainak fémtoleranciáját, fémakkumulációját és biomassza produkcióját vizsgáltuk.

Eredményeinket összefoglalva mondhatjuk, hogy a Soroksári úti talajok nehézfém tartalmát a kísérletekben használt tíz növényfaj közül a bokorbab (*Phaseolus vulgaris*), kukorica (*Zea mays*), uborka (*Cucumis sativus*) és ricinus (*Ricinus communis*) tolerálta. Az esetek többségében az AM-gomba oltóanyagokkal kezelt talajok növényeinek hajtástömege nagyobb volt, mint a kontroll talajokban nevelt növényeké. A gazdanövény hajtásának fémkoncentrációját az arbuskuláris mikorrhiza gombatorzsekkal történő oltás növényfajtól, nehézfém típustól és gombafajtól függően befolyásolta. Szabadföldi alkalmazás szempontjából a fent említett növényfajok közül legalkalmasabbak a nagy biomassza produkciót eredményező fajok, a kukorica és ricinus. A vegyes több AM-gombafajt tartalmazó oltóanyag és a monospórás *Glomus mosseae*, *Glomus claroideum* és *Sclerocystis sinuosa* oltóanyagok AM-gombái szimbiózist képeztek a fent említett növényfajok valamelyikével. Szabadföldi alkalmazás szempontjából mind a négy AM-gomba oltóanyag ill. keverékük megfelelő lehet.

Jelen pályázat keretén belül olyan fitoremediációs módszerek (módszer-együttesek) kidolgozását tervezzük, amelyek során kompatibilis AM-gomba és növény párok megválasztásával a mintaterületek nehézfém-mentesítése elősegíthető. A kísérleti munka következő lépése szabadföldön is alkalmazható fémakkumuláció, fémfelvétel növelése vagy csökkentése, biomassa produkció növelése, a céloknak megfelelő kompatibilis AM-gomba és növény párok kialakítása volt. A fitoremediációs módszeregyüttes szabadföldi kipróbálása érdekében két nehézfémekkel szennyezett területet jelöltünk ki: Budapest belterületén és Gyöngyösorszi térségében.

A Soroksári úti mintaterületről tenyésztedény kísérletek beállítása céljából nagy mennyiségű talajt gyűjtöttünk. A mintavételi terület nehézfém szennyezés szempontjából heterogén volt, így a tenyésztedény kísérlet talajait fémterhelésükben leginkább eltérő két (A, B) helyről gyűjtöttük. Tenyésztedény kísérletben, előző kísérleteink és a mintaterület talajanalízisének eredményei alapján **(1. Táblázat)** legalkalmasabbnak ítélt négy AM-gomba oltóanyaggal dolgoztunk. Kísérletünkben Cd<sub>1</sub>-*Glomus mosseae*, Pb<sub>1</sub> *Glomus claroideum*, Pb<sub>2</sub>-*Sclerocystis sinuosa* jelzésű törzsekből és több AM-gomba oltóanyagból előállított ún. vegyes, több AM-gombafajt tartalmazó oltóanyagokat használtuk. AM-gomba oltóanyagként a vörös here gazdanövény fertőzött gyökerének és talajának homogén keverékét használtuk.

Az inokulumként használt talaj-gyökér keverék nagy mennyiségben tartalmazott AM-gombaspórákat, AM-gombahifákat és fertőzött gyökereket vagyis potenciálisan fertőzőképes AM-gomba propagulumokat. A fertőzött vörös here gyökereinek AM-gomba kolonizációs paraméterei (infekciós gyakoriság= F%, arbuszkuláltság= A%) magas értékeket mutattak (F%= 90-100, A%= 78) amely alkalmassá tette ezen keverék oltóanyagként való felhasználását. A megfestett gyökérminták (Phillips és Hayman, 1970) vizsgálata, azaz az AM-gombák gyökérekolonizációs mutatóinak megállapítása és kiértékelése Trouvelot (1986) módszere alapján történt Olympus B071 típusú sztereómikroszkóp igénybevételével.

A vizsgálatainkban használt növényfajokat, amelyek különböző növénycsaládok képviselői, mikorrhiza képzési és fémakkumulációs tulajdonságaik alapján választottuk ki **(2. Táblázat)**. A növényfajok kiválasztásakor figyelembe vettük, hogy lehetőleg nagy mennyiségű biomasszát produkáló fajok legyenek, együttes alkalmazásuk esetén a fémek szélesebb spektruma legyen kivonható a talajból. Tenyésztedény kísérletben tíz növényfaj a fent említett négy AM-gomba oltóanyaggal inokulált ún. mikorrhizás és nem oltott, nem mikorrhizás kezelések növényeinek fémtoleranciáját, fémakkumulációját és biomassa produkcióját vizsgáltuk. A kiválasztott növényfajok esetén eltérő ültetési technikát

alkalmaztunk, a növény magjának méretétől függően más-más mennyiségben és mélységben ültettünk. Tenyészedény kísérleteinkben  $\gamma$ -sterilizált ( $25 \text{ kGy kg}^{-1}$  talaj) talajt használtunk. A növényeket két hónapig - kontrollált hőmérséklet (nappal  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ , éjszaka  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ ) és fényviszonyok (16h nappal  $25000 \text{ lux}$ , 8 h éjszaka) között három ismétlésben - neveltük A és B jelzésű, eltérő szennyezettségű talajokban. A kísérleti talajaink alacsony tápanyag tartalma miatt a növényeket hetente egy alkalommal, tenyészedényenként  $60 \text{ ml}$  makro- és mikroelemeket tartalmazó tápoldattal locsoltuk. Mikorrhizás növények előállítására 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 tenyészedényenként  $5 \%$ -ban történt.

A higannyal (Hg), ólommal (Pb) és krómmal (Cr) nagy mennyiségben szennyezett talajok A és B jelzésű változataiban a szabadföldi kísérletek potenciális növényalanyai eltérő mértékben csíráztak és növekedtek (**3. Táblázat**). A talajszennyezést legkevésbé tolerálta a pillangósok családjába tartozó vörös here (*Tripholium pratense*) és a mákfélék családjába tartozó *Papaver somniferum*. A vörös here és mák magvak csírázási százaléka mind az A, mint a B területről származó talajokban nagyon alacsony volt, a növények nem tudták tolerálni a talaj magas nehézfém tartalmát, a szennyezés hatására elpusztultak. Az előzőekkel ellentétben a sóska (*Rumex* sp.), körömvirág (*Calendula officinalis*), napraforgó (*Helianthus annuus*) és saláta (*Lactuca sativa*) magok csaknem mindegyike kicsírázott, de a növények két hónapos tenyészidő után sem érték el a gyökérkolonizációs és növényanalízis vizsgálatokhoz szükséges mennyiséget ill. méretet. Vizsgálataink elvégzéséhez szükséges mennyiségben uborka (*Cucumis sativus*), kukorica (*Zea mays*), ricinus (*Ricinus communis*) és bokorbab (*Phaseolus vulgaris*) növények álltak rendelkezésünkre. A fent említett mindegyik növény magjainak a csírázási százaléka magas volt, de a növények többsége csak a B talajokban tudta tolerálni ill. élte túl a talajok magas nehézfém tartalmát.

A szabadföldi mintavételi területekről származó talajok nehézfém-tartalmát az általunk kipróbált ill. tesztelt arbuskuláris mikorrhiza gombák nehezen tolerálták. Az esetek többségében nem fertőzték a teszt növények gyökerét. AM-gombák okozta gyökérkolonizációt csak a B-jelzésű talajokban találtunk. Azokban az esetekben, ahol az AM-gombák kolonizálták a teszt növény gyökerét alacsony fertőzési gyakoriság (F%), mikorrhizáltság intenzitása (M) és arbuskuláltsági (a%, A%) értékeket kaptunk (4. Táblázat).

Bokorbab teszt növény gyökerét vegyes, több AM-gombafajt tartalmazó és Pb<sub>2</sub> jelzésű *Sclerocystis sinuosa* AM-gomba oltóanyagok kolonizálták. Kukorica gyökerében vegyes, Pb<sub>1</sub> jelzésű *Glomus claroideum* és Pb<sub>2</sub> jelzésű *Sclerocystis sinuosa*, az uborka esetén Cd<sub>1</sub> jelzésű

*Glomus mosseae* és Pb<sub>2</sub> jelzésű *Sclerocystis sinuosa*, míg a ricinus esetén mind a négy AM-gombatorzs képletei kimutathatók voltak a gyökerekben.

Az arbuskuláris mikorrhiza gomba oltóanyagok közül a Pb<sub>2</sub>-*Sclerocystis sinuosa* mind az uborka, bab, kukorica és ricinus gyökerében kimutatható volt. A vegyes, több AM-gomba törzs keverékéből előállított oltóanyag bab, kukorica és ricinus gyökerét, a Cd<sub>1</sub>-*Glomus mosseae* uborka és ricinus, míg a Pb<sub>1</sub>-*Glomus claroideum* kukorica és ricinus gazdanövények gyökerét fertőzte.

Ugyanazon kezelések növényei relatíve nagyobb biomassza produkciót eredményeztek a fémeket kisebb mennyiségben tartalmazó B-jelzésű talajokban (**5. Táblázat**). Az esetek többségében az AM-gomba oltóanyagokkal kezelt talajok növényeinek hajtástömege abban az esetben is nagyobb volt, mint a kontroll talajokban nevelt növényeké, ha a gomba és gazdanövény között nem alakult ki szimbiózis. A mikorrhizás kezelések oltóanyagainak kedvező hatását az AM-gombák jelenléte mellett a steril talajokba kerülő talaj-gyökér keverék szervesanyag növelő szerepének, egyéb mikroorganizmusok jelenlétének és a vizsgálat időpontjára már degradálódott, de a fertőzés kezdeti stádiumában hatását még kifejtő AM-gombáknak tulajdoníthatjuk. Azokban az esetekben, ahol az AM-gombák és gazdanövényük között hatékony szimbiózis alakult ki a kontroll talajok növényeihez viszonyítva az AM-gombák kolonizációja a mikorrhizás növények sokszoros biomassza produkció növekedését okozta.

A bokorbab, kukorica, uborka és ricinus hajtások fémtartalmának meghatározása, szárító szekrényben (80 °C), súlyállandóságig történő szárítás után, cc. HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> roncsolást követően, plazmaemissziós spektrometria módszerével, ICP-AES készülékkel történt (Buzás, 1988). A hajtás elemtartalmának analízise esetünkben, bárium (Ba), kadmium (Cd), króm (Cr), réz (Cu), higany (Hg), nikkel (Ni), ólom (Pb) és cink (Zn) elemek vizsgálatára terjedt ki (**6.-9. Táblázat**). A növények fémtartalmának alakulása ill. a növények fémfelvétele követte az A- és B-jelzésű talajminták szennyezettségének a mértékét.

Báriumot legkisebb koncentrációban a kukorica (1,15-6,77 mg/kg), legnagyobb mennyiségben az uborka (21,67-41,51 mg/kg) hajtása akkumulálta. A mikorrhizás bab, uborka és ricinus gazdanövények hajtása az esetek többségében kevesebb báriumot tartalmazott, mint a nem mikorrhizás növényeké. Ezzel ellentétben a mikorrhizáció növelte a kukorica gazdanövény hajtásának bárium tartalmát.

A hajtások kadmium tartalmának alakulásában egy-egy növényfajon belül is viszonylag nagy eltéréseket tapasztaltunk. A négy növényfaj közel azonos koncentráció tartományon belül akkumulálta hajtásában a kadmiumot. A mikorrhizáció kadmium felvételre gyakorolt hatásában AM-gomba oltóanyagokként és növényfajonként eltéréseket tapasztaltunk. A vegyes, több AM-gombafajt tartalmazó oltóanyag hatására a mikorrhizás bab kadmium-koncentrációja a kontrollhoz viszonyítva nőtt, míg a *Sclerocystis sinuosa* törzs jelenlétében csökkent. A kukorica gazdanövényben a vegyes AM-oltóanyag a kontrollhoz viszonyítva csökkentette, míg a *Glomus claroideum* és *Sclerocystis sinuosa* jelenléte növelte a hajtás kadmium-koncentrációját. Az uborka kadmiumtartalmát a mikorrhizáció csökkentette, míg a ricinus esetén nem okozott számottevő különbséget a kontrollhoz viszonyítva.

A krómot legnagyobb mennyiségben egy az A jelzésű talajban nevelt kukorica kivételével az uborka hajtása akkumulálta. Az AM-gombákkal történő oltások a kukorica, uborka és bokorbab gazdanövények esetén a növény krómfelvételének csökkenéséhez, a bab esetén növekedéséhez vezettek.

A hajtás réztartalma alapján legtöbb rezet az uborka hajtása akkumulálta. A kontroll növényekhez viszonyítva az AM-gomba oltások közül a hajtás réztartalmának alakulására jelentősebb hatást a vegyes oltóanyag gombái által kolonizált kukorica, a *Glomus mosseae* által fertőzött uborka és ricinus és a *Sclerocystis sinuosa* által fertőzött uborka esetén találtunk. A fent említett esetekben a mikorrhizás növények hajtása kevesebb rezet tartalmazott, mint a nem mikorrhizásaké.

Kísérleti növényeink közül a higanyt legnagyobb mennyiségben ( 54-276 mg/kg) az uborkahajtás, míg legkevesébé (3-8 mg/kg) a B-jelzésű talajokban nevelt kukorica hajtás akkumulálta. A kontrollhoz viszonyítva a mikorrhizáció a bokorbab gazdanövény esetén a hajtás higany tartalmának kismértékű emelkedéséhez, míg a kukoricánál kismértékű csökkenéséhez vezetett. A vegyes AM-gomba inokulum hatására a kukorica hajtásában a higanykoncentráció a felére csökkent, a *Glomus mosseae* és *Sclerocystis sinuosa* törzsek a higany mennyiségét az uborka hajtásában töredékére csökkentették. A ricinus hajtás higanykoncentrációját a kontroll növényekéhez viszonyítva a *Glomus mosseae*, *Glomus claroideum* törzsekkel történő oltás csökkentette, míg a vegyes és *Sclerocystis sinuosa* törzsek hatására a hajtás fémtartalma mérsékelten nőtt.

A hajtásban mért fémkoncentrációk alapján a nikkelt legnagyobb (61-495 mg/kg) mértékben az A-jelzésű talajokban nevelt ricinus akkumulálta. A legkisebb (55-105 mg/kg) hajtásbani nikkelt koncentrációt a bokorbab gazdanövény hajtásában mértük. A mikorrhiza

gombákkal történő oltás a nem mikorrhizás növényekhez viszonyítva mind a négy esetben csökkentette a hajtás nikkeltartalmát.

A legtöbb (33-196 mg/kg) ólmot az uborka hajtás, a legkevesebbet (0,9-5,8 mg/kg) a kukorica hajtás akkumulált. A mikorrhizáció a babnál jelentős ólom koncentráció csökkenést okozott a hajtásban. A kukoricánál a *Sclerocystis sinuosa* AM-gombával történő oltás növelte a növény hajtásbani ólomtartalmát a nem mikorrhizás variánsokhoz képest. A kontroll talajokban nevelt uborka ólomtartalmához képest a *Glomus mosseae* kolonizációja felére csökkentette, míg a *Sclerocystis sinuosa* kolonizációja kétszeresére növelte a hajtás ólomkoncentrációját.

A legnagyobb mennyiségű (63-111 mg/kg) cinket az uborka hajtás tartalmazta, a legkisebb koncentrációt (34-50 mg/kg) a bab hajtásában mértünk. A nem mikorrhizás bab és kukorica hajtásának cinktartalmához viszonyítva a vegyes, több AM-gombafajból álló inokulummal történő oltás kis mértékben növelte a gazdanövény cinktartalmát. A *Glomus claroideum* és *Sclerocystis sinuosa* AM-gombák által kolonizált kukorica hajtásának cinkkoncentrációja kismértékben csökkent a kontroll növényekhez viszonyítva. Az uborkánál a *Sclerocystis sinuosa* törzssel, míg a kukoricánál mind a négy AM-gomba törzssel történő oltás csökkentette a hajtás cinkkoncentrációját a nem mikorrhizás ill. kontroll növényekhez képest.

Eredményeinket összefoglalva mondhatjuk, hogy a Soroksári úti talajok nehézfém tartalmát a kísérletekben használt tíz növényfaj közül a bokorbab, kukorica, uborka és ricinus tolerálta. Szabadföldi alkalmazás szempontjából ezen négy növényfaj közül a legalkalmasabbaknak tűnnek a nagy biomassza produkciót eredményező fajok, a kukorica és ricinus. A vegyes több AM-gombafajt tartalmazó oltóanyag és a monospóras *Glomus mosseae*, *Glomus claroideum* és *Sclerocystis sinuosa* oltóanyagok AM-gombái szimbiózist képeztek a fent említett növényfajok valamelyikével. Az AM-gomba oltóanyagok kompatibilitási és kolonizációs képességét összehasonlítva a leghatékonyabb a *Sclerocystis sinuosa* inokulum volt, amely gombái mind a négy növényfaj gyökerét fertőzték. A vegyes AM-gomba inokulum AM-gombái a bokorbab, kukorica és ricinus gyökerét kolonizálták, míg a *Glomus mosseae* az uborka és ricinus, a *Glomus claroideum* a kukorica és ricinus tesztnövényekkel képzett szimbiózist. Szabadföldi alkalmazás szempontjából mind a négy AM-gomba oltóanyag ill. keverékük megfelel.

## MELLÉKLET

**1. Táblázat:** Tenyészedény kísérletekben tesztelt, kadmiummal (Cd), nikkellel (Ni), ólommal (Pb) és cinkkel (Zn) szennyezett területekről izolált és meghatározott arbuskuláris mikorrhiza gombafajok

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>



**2. Táblázat :** A kísérletekben használt növények és csoportosításuk mikorrhizálódási és fémakkumulációs képességük alapján

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 (Tököfélék 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>Lactuca sativa</i>		
VÖRÖS HERE	<i>Trifolium pratense</i>	Fabaceae (Pillangósok)	
BOKORBAB	<i>Phaseolus vulgaris</i>		
KUKORICA	<i>Zea mays</i>	Poaceae (Fűfélék családja)	

**3. Táblázat:** Kísérletekben az arbuszkuláris mikorrhiza gombák gazdanövényeként alkalmazott növényfajok csírázási és túlélési százaléka A- és B- jelzésű nehézfémekkel szennyezett talajokban

NÖVÉNYFAJ	A- jelzésű talaj		B- JELZÉSŰ TALAJ	
	Csírázási %	Túlélési %	Csírázási %	Túlélési %
VÖRÖS HERE	10	0	30	0
BOKORBAB	10	0	50	45
NAPRAFORGÓ	100	0	100	0
SÓSKA	80-90	60	90	70
SALÁTA	80-90	60	90	75
MÁK	0	0	0	0
KUKORICA	93	7	96	38
ÚBORKA	100	0	100	51
RICINUS	53	20	50	36
KÖRÖMVIRÁG	100	0	100	0

**4. Táblázat:** Arbuskuláris mikorrhiza gombák gyökérkolonizációs mutatóinak alakulása bokorbab, uborka, kukorica és ricinus gazdanövények gyökerében nehézfémekkel szennyezett talajokban

NÖVÉNYFAJ	AM-GOMBA OLTÓANYAG	GYÖKÉRKOLONIZÁCIÓS MUTATÓK			
		F%	M	a%	A%
<b>Bab</b>	vegyes	3,33	1,0	50,0	0,5
<b>BAB</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	13,3	6,86	0,0	0,0
<b>KUKORICA</b>	vegyes	6,66	4,16	0,0	0,0
<b>KUKORICA</b>	<i>Pb<sub>1</sub>-Glomus claroideum</i>	6,6	2,83	0,0	0,0
<b>KUKORICA</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	10,0	1,53	0,0	0,0
<b>UBORKA</b>	<i>Cd<sub>1</sub>-Glomus mosseae</i>	3,33	0,03	0,0	0,0
<b>UBORKA</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	3,33	0,5	0,0	0,0
<b>UBORKA</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	10,0	0,56	8,82	0,05
<b>RICINUS</b>	vegyes	3,33	1,0	0,0	0,0
<b>RICINUS</b>	<i>Cd<sub>1</sub>-Glomus mosseae</i>	6,6	1,5	0,0	0,0
<b>RICINUS</b>	<i>Pb<sub>1</sub>-Glomus claroideum</i>	3,33	0,5	0,0	0,0
<b>RICINUS</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	3,3	1,0	10,0	0,1

**5. Táblázat:** Arbuskuláris mikorrhiza gombákkal fertőzött, mikorrhizás és nem mikorrhizás bab, uborka, kukorica és ricinus gazdanövények hajtás tömegének alakulása nehézfémekkel szennyezett A- és B-jezésű talajokban (g/tenyészedény)

NÖVÉNYFAJ	HAJTÁS SZÁRAZ TÖMEG g/ tenyészedény		
	AM-GOMBA OLTÓANYAG	A-JELZÉSŰ TALAJ	B-JELZÉSŰ TALAJ
<b>Bab</b>	-	-	0,2
<b>BAB</b>	vegyes	-	2,07*
<b>Bab</b>	<i>Cd<sub>1</sub>-Glomus mosseae</i>	-	3,94
<b>BAB</b>	<i>Pb<sub>1</sub>-Glomus claroideum</i>	-	0,87
<b>BAB</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	-	2,51*
<b>KUKORICA</b>	-	2,91	3,57
<b>KUKORICA</b>	vegyes	1,37	14,7*
<b>KUKORICA</b>	<i>Cd<sub>1</sub>-Glomus mosseae</i>	1,10	4,11
<b>KUKORICA</b>	<i>Pb<sub>1</sub>-Glomus claroideum</i>	1,40	5,94*
<b>KUKORICA</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	1,41	9,6*
<b>UBORKA</b>	-	-	0,70
<b>UBORKA</b>	vegyes	-	-
<b>UBORKA</b>	<i>Cd<sub>1</sub>-Glomus mosseae</i>	-	3,01*
<b>UBORKA</b>	<i>Pb<sub>1</sub>-Glomus claroideum</i>	-	0,58*
<b>UBORKA</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	-	3,69*
<b>RICINUS</b>	-	2,28	3,61
<b>RICINUS</b>	vegyes	0,6	14,4*
<b>RICINUS</b>	<i>Cd<sub>1</sub>-Glomus mosseae</i>	9,85	13,6*
<b>RICINUS</b>	<i>Pb<sub>1</sub>-Glomus claroideum</i>	5,06	8,93*
<b>RICINUS</b>	<i>Pb<sub>2</sub>-Sclerocystis sinuosa</i>	-	10,40*

\*-gal jelölt növényeket AM-gomba oltóanyagok AM-gombafajai kolonizálták  
-mikorrhiza gombával nem oltott kontroll növényeket jelöli

**6. Táblázat:** Arbuskuláris mikorrhiza gombákkal fertőzött, mikorrhizás és nem mikorrhizás bab gazdanövény hajtásának nehézfém koncentrációi (mg fém/kg száraz tömeg) B-jelzésű talajban

*B-jelzésű talajmintákban*

Növényfaj	AM-GOMBA OLTÓANYAG	Nehézfém koncentrációk a tesznövény hajtásában							
		mg/kg							
		Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<b>Bab</b>	-	26,7	16,95	259,0	71,8	37,17	104,7	142	39,1
<b>Bab</b>	vegyes	16,39	23,97	346,2	62,9	46,21	84,3	48,7	50,5
<b>BAB</b>	Cd <sub>1</sub> - <i>Glomus mosseae</i>	12,59	14,48	237,9	51,0	35,89	67,8	17,0	45,2
<b>BAB</b>	Pb <sub>1</sub> - <i>Glomus claroideum</i>	9,09	8,17	363,2	51,3	63,08	55,4	13,6	34,1
<b>BAB</b>	Pb <sub>2</sub> - <i>Sclerocystis sinuosa</i>	9,09	8,17	363,2	51,3	63,08	55,4	13,6	34,1

*A bab gazdanövény Glomus mosseae és Glomus claroideum AM-gombatörzsekkel nem fertőződött.*

**7. Táblázat:** Arbuszkuláris mikorrhiza gombákkal fertőzött, mikorrhizás és nem mikorrhizás kukorica gazdanövény hajtásának nehézfém koncentrációi (mg fém/kg száraz tömeg) A- és B-jelzésű talajban

*A-jelzésű talajmintákban*

Növényfaj	AM-GOMBA OLTÓANYAG	Nehézfém koncentrációk a tesznövény hajtásában							
		mg/kg							
		Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Kukorica	-	3,79	5,91	252,4	35,1	20,48	68,14	<KH	46,1
Kukorica	vegyes	6,77	26,40	1106,7	185,7	31,38	189,95	31,31	85,8
Kukorica	Cd <sub>1</sub> - <i>Glomus mosseae</i>	1,06	1,56	355,0	10,6	25,75	7,74	<KH	45,0
Kukorica	Pb <sub>1</sub> - <i>Glomus claroideum</i>	1,15	13,04	363,8	18,5	22,96	43,23	<KH	49,4
Kukorica	Pb <sub>2</sub> - <i>Sclerocystis sinuosa</i>	1,90	13,62	130,9	31,5	23,01	35,88	<KH	51,4

*A-jelzésű talajokban egyik AM-gomba oltóanyag sem kolonizálta a kukorica gazdanövény gyökerét.*

*B-jelzésű talajmintákban*

Növényfaj	AM-GOMBA OLTÓANYAG	Nehézfém koncentrációk a tesznövény hajtásában							
		mg/kg							
		Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Kukorica	-	3,83	7,69	318,3	52,1	8,37	123,77	0,94	44,55
Kukorica	vegyes	7,82	5,15	27,8	15,1	3,25	10,13	1,45	58,0
Kukorica	Cd <sub>1</sub> - <i>Glomus mosseae</i>	3,44	20,0	320,8	54,9	6,13	105,57	1,91	63,95
Kukorica	Pb <sub>1</sub> - <i>Glomus claroideum</i>	3,90	19,77	103,1	39,5	6,84	125,75	1,42	25,8
Kukorica	Pb <sub>2</sub> - <i>Sclerocystis sinuosa</i>	5,47	13,27	109,9	44,7	5,56	75,96	5,82	38,8

*B-jelzésű talajokban Glomus mosseae oltóanyag nem kolonizálta a kukorica gazdanövény gyökerét*

**8. Táblázat:** Arbuskuláris mikorrhiza gombákkal fertőzött, mikorrhizás és nem mikorrhizás uborka gazdanövény hajtásának nehézfém koncentrációi (mg fém/kg száraz tömeg) B-jelzésű talajban

*B-jelzésű talajmintákban*

Növényfaj	AM-GOMBA OLTÓANYAG	Nehézfém koncentrációk a tesznövény hajtásában							
		mg/kg							
		Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Uborka	-	41,51	18,48	607,7	143,1	276,2	115,0	88,9	110,8
Uborka	Cd <sub>1</sub> - <i>Glomus mosseae</i>	26,89	9,11	91,8	80,9	54,6	60,7	33,5	99,35
Uborka	Pb <sub>1</sub> - <i>Glomus claroideum</i>	21,67	20,12	509,6	121,6	96,9	126,2	196,3	96,6
Uborka	Pb <sub>2</sub> - <i>Sclerocystis sinuosa</i>	32,69	12,94	312,7	57,1	60,3	76,2	192,7	63,2

*Glomus claroideum* AM-gomba nem kolonizálta az uborka gyökerét.

**9. Táblázat:** Arbuszkuláris mikorrhiza gombákkal fertőzött, mikorrhizás és nem mikorrhizás ricinus gazdanövény hajtásának nehézfém koncentrációi (mg fém/kg száraz tömeg) A és B-jelzésű talajban

*A-jelzésű talajmintákban*

Növényfaj	AM-GOMBA OLTÓANYAG	Nehézfém koncentrációk a tesznövény hajtásában							
		mg/kg							
		Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Ricinus	-	15,15	10,53	258,2	44,45	37,63	94,97	18,24	64,65
Ricinus	vegyes	5,18	69,33	6,5	101,4	64,12	334,33	23,10	107,7
Ricinus	Cd <sub>1</sub> - <i>Glomus mosseae</i>	14,42	10,43	44,8	63,6	38,30	60,98	39,85	59,2
Ricinus	Pb <sub>1</sub> - <i>Glomus claroideum</i>	45,41	93,65	903,6	214,6	23,23	495,58	479,80	73,2

*A-jelzésű talajokban egyik AM-gomba oltóanyag sem kolonizálta a ricinus gazdanövény gyökerét.*

*B-jelzésű talajmintákban*

Növényfaj	AM-GOMBA OLTÓANYAG	Nehézfém koncentrációk a tesznövény hajtásában							
		mg/kg							
		Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Ricinus	-	14,07	11,3	338,2	98,4	54,27	94,77	33,94	59,6
Ricinus	vegyes	12,95	12,58	134,7	93,9	98,23	60,39	42,3	68,8
Ricinus	Cd <sub>1</sub> - <i>Glomus mosseae</i>	6,40	13,45	43,3	44,6	38,81	61,15	6,4	58,5
Ricinus	Pb <sub>1</sub> - <i>Glomus claroideum</i>	11,69	7,44	78,6	68,8	46,83	59,50	21,30	62,1
Ricinus	Pb <sub>2</sub> - <i>Sclerocystis sinuosa</i>	15,72	12,96	290,4	101,8	84,15	70,19	34,07	75,0



# **FITOREMEDIÁCIÓS SZABADFÖLDI NÖVÉNYKÍSÉRLETEK TERVE, 2003**

**Budapest, Soroksári út**

(A szabadföldi kísérletek terve az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete adatai és javaslatai alapján történt)

## **I. TERÜLETRENDEZÉS:**

- gyomok és törmelékek eltávolítása a kísérleti területről
- talajlazítás
- 10-15 cm vastag tőzegalapú fedőréteg elhelyezése.

## **II. FITOREMEDIÁCIÓ:**

### **-FITOEXTRAKCIÓ:**

-elővetésként kukorica (*Zea mays* L.) vetés: május- augusztus végéig, terület: kb. 90 m<sup>2</sup>

### **-FITOSTABILIZÁCIÓ:**

-őszi repce (*Brassica napus*), vetés: szeptember, terület: kb. 15 m<sup>2</sup>

-fűtelepítés szárazságot és taposást jól bíró füvek magvainak keverékét használva: angolperje (*Lolium perenne*), réti perje (*Poa pratensis*), barázdált csenkesz (*Festuca rupicola*), felemáslevelű csenkesz (*Festuca heterophylla*), vörös csenkesz (*Festuca rubra*), juh csenkesz (*Festuca ovina*),

vetés: június, terület : kb. 15 m<sup>2</sup>

### **-FITOEXTRAKCIÓ ÉS FITOSTABILIZÁCIÓ IRÁNYÍTOTT MIKORRHIZÁCIÓVAL:**

(KUKORICA HELYÉRE)

-ricinus (*Ricinus communis* L.), fényszobában előnevelt arbuskuláris mikorrhiza gombákkal oltott és nem oltott növények telepítése

vetés: szeptember, terület: 4 x 7,5 m<sup>2</sup> (parcellák kb. 80 cm széles utakkal határoltak),

10-16 növény / m<sup>2</sup>

-fütelepítés szárazságot és taposást jól bíró füvek és pillangós virágú növények magvainak keverékét használva (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*)) oltás szabadföldön arbuszkuláris mikorrhiza gomba inokulummal,

vetés: szeptember, terület: 4x 7,5 m<sup>2</sup> (parcellák kb. 80 cm széles utakkal határoltak),

1 kg mag/ 30 m<sup>2</sup>

**LOCSOLÁS** lehetőleg heti több alkalommal a kora reggeli vagy késő esti órákban.

### **A szabadföldi kísérlethez kiválasztott növényfajok elemakkumulációs jellemzői**

Szabadföldi kísérleteink tervezése, az alkalmazásra kerülő növény és arbuszkuláris mikorrhiza gombafajok kiválasztása során figyelembe vettük a fémekkel szennyezett kísérleti terület talajának talajtani tulajdonságait, elsősorban szennyezettségének mértékét, továbbá felhasználtuk az előkísérleteink során kapott eredményeket, szerzett tapasztalatokat és szakirodalmi adatokat.

A pázsitfűvek (Graminae, Poaceae) elsősorban a gyökerükben akkumulálják a szennyező elemeket, a fémek hajtásba történő transzlokációja más növénycsaládok fajaihoz viszonyítva gyenge (2. táblázat), ezért fitostabilizációs technológiák kedvelt növényei. Sűrű bojtos gyökérzetük jól köti a talajt, többségük évelő és nagy felületet képes borítani.

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*) a hazai flóra elemei. A fent említett fajok jól mikorrhizálódnak, együttélnek arbuszkuláris mikorrhiza gombákkal. Nehézfémekkel szennyezett és nem szennyezett talajokban nevelt angolperje (*Lolium perenne*) hajtásában mért nehézfém koncentrációk (Takács és Vörös 2001): Cd:0,1-

37,4 mg/kg, Ni: 0,3-67 mg/kg, Zn: 16-502 mg/kg. Az arbuszkuláris mikorrhiza gombákkal történő inokuláció a nehézfémek hajtásba jutását csökkentették.

Fitoextrakciós célból elővetésként kukoricát (*Zea mays* L.) alkalmazunk. Az irodalmi adatok szerint a kukorica nagy mennyiségű biomassza mellett, Pb, Cd, Cu, Ni és Zn fémek akkumulációjára alkalmas (Brooks, 1998). Huang és mts. (1997) fitoextrakciós kísérletekben kukoricában 2500 mg Pb / kg talaj szennyezés mellett max. 2000 mg Pb /kg szárazanyag ólom-koncentrációt talált.

A Keresztesvirágúak (Brassicaceae) családjába tartozó növényfajokat nagymértékű fémaakumuláló képességüktől függően fitostabilizációs, többnyire pedig fitoextrakciós (10. táblázat) célokra is használják. Kísérleteink során egy nagy biomassájú, kiterjedt gyökérrendszerrel rendelkező növényfajt őszi repcét (*Brassica nanus*) tervezünk telepíteni. A keresztesvirágú növényfajok nem képeznek mikorrhizát arbuszkuláris mikorrhiza gombákkal.

A keresztesvirágúak növényfajtól függően nagy mennyiségben halmoznak fel Cd-t (170 mg/kg), Ni-t (14,8-3140 mg/kg) és Zn-t (590-8950 mg/kg) (Brooks, 1998).

A kukorica elővetés hatására nehézfémtartalmát tekintve csökkent nehézfém koncentrációjú talajba arbuszkuláris mikorrhiza (AM) gomba oltóanyaggal kezelt ill. nehézfém-toleráns AM-gombákkal fertőzött növényeket ültetünk.

Fitoextrakciós célból fényszobában előnevelt AM-gombákkal oltott ricinus (*Ricinus communis* L.) palántákat telepítünk. A pázsitfűfélék és pillangós növények irányított mikorrhizációja szabadföldön, az oltóanyag szennyezett talaj felső 20-25 cm-ébe való bekeveréssel történik. Hiperakkumuláló kutyatejfélékben átlagosan Ni-koncentrációt 1000-9900 mg fém /kg szárazanyag mértek. Saját kísérleti eredményeink alapján mind a kukorica és a ricinus is nagy mennyiségű (3-98 mg/kg) Hg-t halmozott fel a hajtásában (11. táblázat).

Szabadföldi kísérletek során előkísérletekben szelektált nehézfém-toleráns AM-gombák vegyes és tiszta kultúráit használjuk. Inokulumként használt törzsek szabadföldi oltásra alkalmas mennyiségének előállítását az MTA TAKI fényszobáiban, fehér here (*Tripholium repens*) gazdanövényen folyamatban van.

**10. Táblázat:** Átlagos fémkoncentrációk hiperakkumuláló és nem hiperakkumuláló növények hajtásában (mg fém / kg száraz anyag) (Brooks 1983)

<b>Nehézfém</b>	<b>Talaj összes fémtartalma mg/kg</b>	<b>Nem hiperakkumuláló növény</b>	<b>Hiperakkumuláló növény</b>
Cd	0,03-0,1	2	100
Co	1	3	5000
Cu	10	20	5000
Mn	400	1000	10000
Ni	3-75	20	5000
Se	0,05-0,1	1	1000
Zn	70	100	10000
Hg	0,01-1	0,01-1	-
Pb	0,1-20	0,01-1	2000-6000

**11. Táblázat:** Átlagos fémkoncentrációk tenyészedény kísérleteinkben használt növények hajtásában (mg fém / kg száraz anyag)

<b>Nehézfém</b>	<b>Fémkoncentrációk alakulása a hajtásban nehézfémekkel szennyezett talajokban (mg/kg)</b>		
	<b>Kukorica Zea mays (POACEAE)</b>	<b>Ricinus Ricinus communis (EUPHORBITACEAE)</b>	<b>Bokorbab Phaseolus vulgaris (FABACEAE)</b>
<b>Cd</b>	5-26	7,4-94	8-24
<b>Cr</b>	28-1106	6,5-904	238-363
<b>Cu</b>	15-185	44-214	51-72
<b>Hg</b>	3-31	23-98	37-63
<b>Ni</b>	8-189	59-495	55-104
<b>Pb</b>	1-31,31	6,4-480	136-142
<b>Zn</b>	26-86	58-108	34-50

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

BROOKS, R. R. (1983): Biological methods of prospecting for Minerals. Wiley, New York, 322 pp.

BROOKS, R. R. (1998): Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining. Univ. Press, Cambridge

BUZÁS I. 1988: Talaj és Agrokémiai módszerkönyv 2. -A talajok fizikai-kémiai vizsgálati módszerei, Mezőgazdasági Kiadó, p.: 64-74.

HUANG, J. W., CHEN J., BERTI, W. R., and CUNNINGHAM, S. D. (1997): Phytoremediation of lead-contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science and Technology* 31, 800-805.

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.

TAKÁCS T., BIRÓ B., VÖRÖS I. (2001): Arbuscular mycorrhizal effect on heavy metal uptake of ryegrass (*Lolium perenne* L.) in pot culture with polluted soils. *Development in Plant and Soil Sciences Book* (Ed. by Horst W.J., Schenk M.K., Bürkert A., Claassen N., Flessa H., Frommer W.B., Goldbach h., Olf H.-W., Römheld V., Sattelmacher B., Schmidhalter U., Schubert S., Wirén N., Wittenmayer L.) Kluwer Academic Publishers p.:480-481.

TROUVELOT, A., KOUGH, J.L., AND GIANINAZZI-PEARSON, V. 1986: Mesure du Taux de mycorrhization VA d'un systeme radicaire. (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.