

10/1. részfeladat

**AM-gombák monospórák és kevert kultúrák tenyésztése előállítására
tenyésztési kísérletekben, az AM-törzsek felszaporítása és tesztelése,
fénymikroszkópos spórávizsgálatok.**

Anton Attila

Eredmények

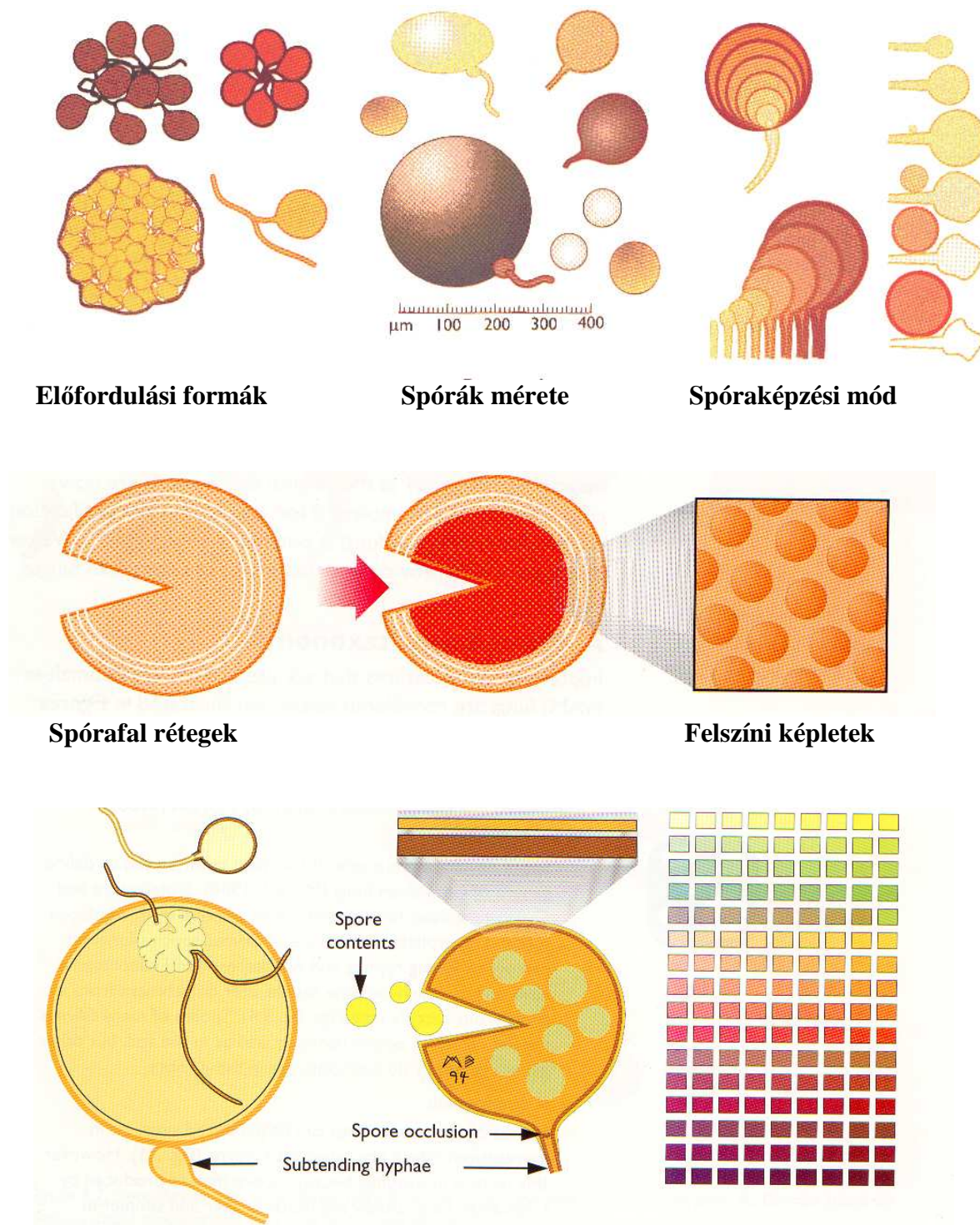
Előző évi jelentésünkben beszámoltunk arról, hogy fémtoleráns arbuskuláris mikorrhiza (AM) gombatörzsek tenyésztése előállítására céljából feltételezhetően nehézfémzennyezéshez adaptálódott, több évi szennyezésnek kitett AM-gombaspórákat izoláltunk. Az AM-gombák kitartó képleteinek, spóráinak izolálása Gerdemann és Nicolson (1963) módszerével, nedves szitálásos frakcionálással történt. Az AM-gombafajok határozását az International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular Mycorrhizal Fungi INVAM (Schenck és Pérez 1987) határozókulcsok, valamint rendelkezésre álló fajleírások alapján, hagyományos módon, spóramorfológia alapján végeztük (Takács és Bratek, 1997). A határozás során figyelembe véve a spórák talajbani megtalálási módját, színét, alakját, méretét, a spórafal rétegeinek számát, átmérőjét és csatlakozó hifa tulajdonságait stb. (**1. Ábra**).

A gombaspórákat olyan talajról gyűjtöttük, ahol kadmium-, nikkell-, ólom- és cinkszennyezés közepes és magas dózisokban fordult elő (**1. Táblázat**). A fémszennyezés mindegyik esetben, parcellánként egy fémmel, a vizsgált nehézfém szulfát sójával ($\text{CdSO}_4 \cdot 8/3 \text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, PbSO_4), 0 (= kontroll-1), 90 mg kg^{-1} (= 270 kg ha^{-1}) és 270 mg kg^{-1} (= 810 kg ha^{-1}) terhelési szinteken történt. Az alaptrágyázást évente, azonos NPK adagok mellett ($100\text{-}100 \text{ kg N}$ (ammónium-nitrát), P_2O_5 (szuperfoszfát) és K_2O (60%-os kálisó) ha^{-1} formában végezték.

A nagyhorcsöki mészlepedékes csernozjom talaj legfontosabb fizikai és kémiai tulajdonságai a következők: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$: 7,5; $\text{pH}_{(\text{KCl})}$: 7,2; CaCO_3 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%.

1. ábra: Az arbuszkuláris mikorrhiza gombák határozása során figyelembe vett bélyegek (Brundrett 1996)



Előfordulási formák

Spórák mérete

Spóráképzési mód

Spórafal rétegek

Felszíni képletek

Spóra germináció

Spóraszín skála

Tenyészedény kísérletekben tesztelt, kadmiummal, nikkellel, ólommal és cinkkel szennyezett területekről izolált és meghatározott arbuszkuláris mikorrhiza gombafajok a következők voltak:

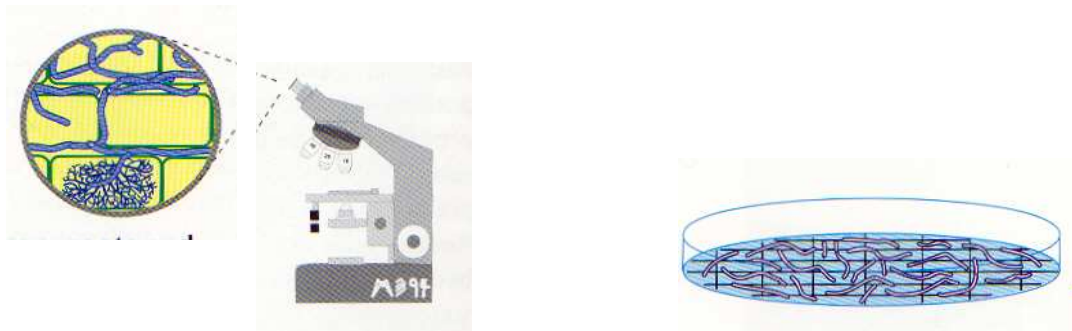
Szennyező fém és koncentrációja mg kg ⁻¹	Gombafaj megnevezése	és jelzése
Kontroll-0	<i>Glomus geosporum</i>	K ₁
Kontroll-0	<i>Glomus sp.</i> - okker	K ₂
Kontroll-0	<i>Glomus sp.</i> -szalmasárga, magányos	K ₃
Zn -90	<i>Glomus claroideum</i>	Zn ₁
Zn-270	<i>Glomus claroideum</i>	Zn ₂
Cd-90	<i>Glomus mosseae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

A nehézfémekkel szennyezett területekről származó AMF törzsek fémtoleranciájának és gazdanövényük fémfelvételére gyakorolt hatásának tesztelését tenyészedény kísérletekben végeztük. Az AM-gomba törzsek szelekciója az AM-gomba oltóanyaggal oltott, mikorrhizás (+AMF) és nem mikorrhizás (-AMF) növények biomassza termelésének, fémtartalmának összehasonlító vizsgálata alapján történik. A szelekció során figyelembe vesszük a fent említett AMF kultúrák gyökérekolonizációs mutatóinak, vagyis infektivitásának alakulását a fémszennyezés hatására. Az AMF fajok oltóanyagként történő felhasználhatóságáról, versenyképességükről fertőzőképességük mértéke, gyökérekolonizációs mutatóik alakulása alapján dönthetünk.

Első lépésben a különböző mértékben szennyezett talajokból származó AMF törzseket tesztelésükhöz szükséges mennyiségben, oltóanyagként történő alkalmazás céljából felszaporítottuk. Az AM-gombafajok tiszta tenyészetek felszaporítása vörös here (*Trifolium pratense* L.) gazdanövényeken 1,5 kg-os (2/3 talaj+1/3 homok) tenyészedényekben, klíma kamrában történt.

Kísérleteinkben AMF-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%, arbuskuláltság= A%) magas értékeket mutattak (F%= 90-100, A%= 78) amely alkalmassá tette ezen keverék oltóanyagként való felhasználását.

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



2. Ábra: A megfestett gyökérminták mikroszkópos vizsgálata (Brundrett 1996)

A megfestett gyökérminták vizsgálatát, azaz az AM-gombák gyökérkolonizációs mutatóinak megállapítását és kiértékelését, sztereómikroszkóp igénybevételével Trouvelot és mts. (1985) 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 megállapítjuk 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 db 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 arbuszkuláltságok (a% és A%) a növény és gomba közti együttélés hatékonyságára utaló gyökérekolonizációs mutatók. Százalékos mennyiségben adják meg az arbuszkulumok mennyiségét a vizsgált gyökérmintákra (a%) ill. az egész gyökérrendszerre vonatkoztatva (A%). Kísérleteinkben alkalmazott AM-gomba törzsek gyökérekolonizációs mutatói közül a mikorrhizáltság intenzitását (M) és az egész gyökérrendszerre vonatkoztatott arbuszkuláltság (A%) mértékét közöljük.

Az AM-gomba törzsek tesztelését egyszikű téli sarjadékhagyma (*Allium* sp.) és kétszikű uborka (*Cucumis sativus* L.) gazdanövényeken végeztük (**1. Kép**). Tenyészedény kísérleteinkben γ -sterilizált (25 kGy kg^{-1} talaj) nagyhőrcsöki meszes csernozjom talajt használtunk. A talajminták szelektált fémszennyezése közvetlenül a kísérlet beállítása előtt, fémenként (Cd, Ni, Zn, Pb) három dózisban (0, 90, 270 mg fém kg^{-1} talaj) történt. A növényeket három hónapig, 450 g-os tenyészedényben kontrollált hőmérséklet (nappal $24 \text{ }^\circ\text{C}$, éjszaka $17 \text{ }^\circ\text{C}$) és fényviszonyok (16h nappal 25000 lux, 8 h éjszaka) között neveltük. 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 3 %-ban (438 g steril talaj + 12 g inokulum) történt.



1. Kép AM-gombatorzsek hatásának vizsgálata téli sarjadékhagyma (*Allium* sp.) gazdanövény nehézfémfelvételének és biomassza produkciójának alakulására

A nagyhőrsöki nehézfémekkel terhelt és azoktól mentes kontroll talajok a felvehető elemtartalmainak feltárása Lakanen és Erviö (1971) savas ammónium-acetát + EDTA oldatával, a fémionok koncentrációinak meghatározása a plazmaemissziós spektrofotometria módszerével (ICP-AES) történt (**1. Táblázat**). Az uborka és hagyma gyökerek és a hajtás fémtartalmának meghatározása, szárító szekrényben (80 °C), súlyállandóságig történő szárítás után, cc. HNO₃ + H₂O₂ roncsolást követően, plazmaemissziós spektrometria módszerével, ICP-AES készülékkel végezték (Buzás, 1988) (**10.-17. Táblázat**).

1. Táblázat. *Felvehető elemtartalom (mg fém kg⁻¹ száraz talaj)*

Talaj kezelés	Eredeti fémterhelés (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)		
	0	90	270
Cd	0.138	89.1	250
Ni	3.684	82.2	197
Pb	5.13	74.1	351
Zn	1.66	98.9	224

A kadmium, nikkell, cink és ólom nehézfémek hatása az uborka és hagyma gazdanövény biomassza produkciójára a mikorrhizás és a nem mikorrhizás kezelésekben

Az uborka biomasszájában a Cd terhelés növekvő dózisainak (90 mg kg⁻¹, 270 mg kg⁻¹) hatására helyenként tömegcsökkenés volt tapasztalható (**2.Táblázat**), míg a Zn, Ni és Pb különböző dózisainak hatására a szárazsúlyban a kontrollhoz viszonyítva nem találtunk szignifikáns változást (**3.-5. Táblázat**). A Cd-terhelés hatására bekövetkező biomassza produkció csökkenést az egyik kontroll talajból izolált, fémterheléshez nem adaptálódott AMF törzssel (K₂) és a Cd-mal szennyezett talajból izolált Cd₁ törzssel történő oltás mérsékelte.

2. Táblázat Az AMF oltás hatása uborka gazdanövény hajtás tömegének (g tenyészemény⁻¹) alakulására kadmiummal szennyezett talajokban

Talajkezelés	Cd terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD _{5%}
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	3.86	2.94	2.16	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	2.87	2.81	1.62	
K ₂	3.23	2.25	2.23	n.sz.
Cd ₁	2.04	2.56	2.49	

K₁ és K₂: AMF törzsek kontroll, fémmentes talajból

Cd₁: AMF törzs Cd-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

3. Táblázat Az AMF oltás hatása uborka gazdanövény hajtás tömegének (g tenyészemény⁻¹) alakulására nikkellel szennyezett talajokban

Talajkezelés	Ni terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD _{5%}
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	3.86	3.56	3.4	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	2.87	2.74	1.67	
K ₂	3.23	2.67	1.88	
Ni ₁	2.75	2.61	3.01	n.sz.
Ni ₂	2.65	1.51	1.92	

C₁ és C₂: AMF törzsek kontroll talajból

Ni₁: AMF törzs Ni-lel szennyezett (30 mg kg⁻¹) talajból

Ni₂: AMF törzs Ni-lel szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

4. Táblázat Az AMF oltás hatása uborka gazdanövény hajtás tömegének (g tenyészemény⁻¹) alakulására ólommal szennyezett talajokban

Talajkezelés	Pb terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD _{5%}
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	3.86	4.0	3.93	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	2.87	3.24	3.21	
K ₂	3.23	2.86	3.61	n.sz.
Pb ₁	2.77	3.65	2.98	
Pb ₂	1.59	3.2	2.82	

K₁ és K₂: AMF törzsek kontroll talajból
 Pb₁: AMF törzs Pb-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból
 Pb₂: AMF törzs Pb-mal szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

5. Táblázat Az AMF oltás hatása uborka gazdanövény hajtás tömegének (g tenyészedeny⁻¹) alakulására cinkkel szennyezett talajokban

Talajkezelés	Zn terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	3.86	3.87	3.36	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	2.87	2.99	2.68	
K ₂	3.23	3.5	2.94	n.sz.
Zn ₁	3.94	3.62	3.0	
Zn ₂	2.65	2.45	2.57	

K₁ és K₂: AMF törzsek kontroll talajból
 Zn₁: AMF törzs Zn-vel szennyezett (30 mg kg⁻¹) talajból
 Zn₂: AMF törzs Zn-vel szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

Az egyszikű hagyma hajtásnövekedését értékelve a következőket állapíthatjuk meg: A nehézfémektől mentes, kontroll (0 mg fém kg⁻¹ talaj) talajokban „származásuktól” függetlenül valamennyi AMF oltóanyag növelte a növényi produkciót (kb. 40%-kal) a nem mikorrhizás hagyma hajtás tömegéhez viszonyítva (**6.-9. Táblázat**).

A talajok kadmium szennyezésének növekvő dózisa mind a mikorrhizás, mind a nem mikorrhizás jelzőnövények hajtás tömegét csökkentette (**6. Táblázat**). A talaj kadmium szennyezésének tömegcsökkentő hatását az alacsonyabb kadmium terhelésnél (90 mg fém kg⁻¹ talaj) a K₃, Pb₂ és Cd₁ AMF törzsek oltóanyagával történő oltás mérsékelte, a mikorrhizás növények hajtástömege nagyobb volt (a különbség nem szignifikáns), mint a nem mikorrhizásaké. Ezzel szemben 270 mg fém kg⁻¹ talaj kadmium szennyezésnél a mikorrhiza oltóanyagok nem befolyásolták szignifikánsan a biomassza produkció alakulását.

A talajok nikkell szennyezésének két dózisa a nem mikorrhizás növények hajtástömegét nem csökkentette (**7. Táblázat**). Ezzel ellentétben mikorrhizás növények hajtás tömege a talajok Ni-tartalmának növekedésének hatására csökkent. A nikkelszennyezés hatására bekövetkező tömegcsökkenést leginkább a nikkellel szennyezett talajból izolált Ni₂ jelű törzsszel történő oltás mérsékelte. (A gyökérben található arbuszkulumok mennyisége szintén ebben a kezelésben volt a legmagasabb.)

Az ólomterhelés hatására a hagyma jelzőnövény hajtás tömegében szignifikáns különbségeket nem tapasztaltunk. Az ólommal szennyezett talajokban az AMF oltás a hagyma gazdanövény

tömegét a nem mikorrhizásakéhoz viszonyítva növelte (**8. Táblázat**). A leghatékonyabbnak Pb₂ oltóanyaggal történő oltás bizonyult. A Pb₂ gombatorzs kétszeresére növelte az egyszikű jelzőnövény hajtástömegét a nem mikorrhizás variánsokhoz képest, mindkét ólomdózis esetén. (Ezt az eredményt valamennyi gyökérkolonizációs paraméter is alátámasztja.)

A nem mikorrhizás hagyma hajtás tömege Zn bevitelének hatására növekedett, míg a mikorrhizás növények hajtástömegének alakulását a különböző törzsekkel történő oltás és a szennyező fém dózisa szignifikánsan nem befolyásolta (**9. Táblázat**).

6. Táblázat Az AMF oltás hatása hagyma gazdanövény hajtás tömegének (g tenyészedeny⁻¹) alakulására kadmiummal szennyezett talajokban

Talajkezelés	Cd terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.993	0.81	0.773	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	1.413	0.77	0.44	0.41
K ₃	1.467	0.97	0.56	
Pb ₂	1.63	1.06	0.5	
Cd ₁	1.42	1.2	0.6	

K₁ és K₃: AMF törzsek kontroll, fémmentes talajból

Cd₁: AMF törzs Cd-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

Pb₂: AMF törzs Pb-mal szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

7. Táblázat Az AMF oltás hatása hagyma gazdanövény hajtás tömegének (g tenyészedeny⁻¹) alakulására nikkellel szennyezett talajokban

Talajkezelés	Ni terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.993	1.33	1.19	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	1.413	1.19	0.74	0.3
K ₃	1.467	1.46	1.02	
Ni ₂	1.36	1.12	1.21	
Cd ₁	1.42	0.96	0.91	

K₁ és K₃: AMF törzsek kontroll talajból

Ni₂: AMF törzs Ni-lel szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

Cd₁: AMF törzs Cd-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

8. Táblázat Az AMF oltás hatása hagyma gazdanövény hajtás tömegének (g tenyészedény⁻¹) alakulására ólommal szennyezett talajokban

Talajkezelés	Pb terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.993	1.103	1.07	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	1.413	1.446	1.303	
K ₃	1.467	1.803	1.486	
Pb ₁	1.43	1.12	1.103	0.54
Pb ₂	1.63	2.01	2.063	

K₁ és K₂₃ AMF törzsek kontroll talajból

Pb₁: AMF törzs Pb-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

Pb₂: AMF törzs Pb-mal szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

9. Táblázat Az AMF oltás hatása hagyma gazdanövény hajtás tömegének (g tenyészedény⁻¹) alakulására cinkkel szennyezett talajokban

Talajkezelés	Zn terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.993	1.389	1.38	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	1.413	1.37	1.20	
K ₃	1.467	1.31	1.43	0.316
Zn ₂	1.12	1.23	1.11	

K₁ és K₃: AMF törzsek kontroll talajból

Zn₂: AMF törzs Zn-vel szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajban

A kadmium, nikkelt, cink és ólom nehézfém-tartalom alakulása mikorrhizás és a nem mikorrhizás uborka és hagyma hajtásában

Az uborka és hagyma hajtásában mért nehézfém koncentrációk, mindegyik szennyező fém esetén (Cd, Ni, Pb, Zn) arányosan nőttek a talajok fémterhelésének növekedésével (**10.-17. Táblázat**). A mikorrhizás uborkában valamennyi AMF törzssel (K₁, K₂ és Cd₁) történő oltás mérsékelte a gazdanövény Cd-felvételét, a mikorrhizás növények hajtásában kisebb volt a Cd-koncentrációja, mint a nem mikorrhizás növényekben (**10. Táblázat**). A 270 mg kg⁻¹ Cd szennyező dózis esetén az AMF törzsekkel történő oltás a hajtás Cd-koncentrációját a nem

mikorrhizás növényekhez képest szignifikánsan csökkentette. Ez a hatás a kadmiummal szennyezett talajból származó Cd₁-törzsnél volt a legerősebb. Az uborka Ni-felvételét a nikkellel szennyezett talajból származó Ni₁ és Ni₂ AMF törzs és a Ni szennyezéshez nem adaptálódott K₂ törzs jelentősen csökkentette a nem mikorrhizás növényekhez képest (**11. Táblázat**). A 270 mg Ni kg⁻¹ szennyezésnél a fent említett törzsekkel történő oltás hatására a mikorrhizás és nem mikorrhizás növények Ni-felvételében szignifikáns különbségeket találtunk. A Ni₁, Ni₂ és K₂ törzsek hatásával ellentétben a K₁ jelű AM-gombatorzs hatására a gazdanövény Ni-felvétele a nikkellel terhelés nagyobb dózisánál szignifikánsan nőtt a nem mikorrhizás variánshoz viszonyítva. A különböző AMF törzsekkel történő oltás nem volt szignifikáns hatással a gazdanövény Pb-tartalmára (**12. Táblázat**), a növények ólomtartalmát a talajok szennyezettsége határozta meg. Az uborka hajtásában mért Zn-koncentráció az AMF oltás hatására nőtt (**13. Táblázat**). A cinkszennyezés 90 mg Zn kg⁻¹ dózisánál a K₂ és Zn₂ jelű törzsek, míg a 270 mg Zn kg⁻¹ dózisánál mindegyik AMF törzsszel történő oltás szignifikánsan növelte a gazdanövény hajtásának Zn-koncentrációját a nem mikorrhizás variánsokhoz viszonyítva.

10. Táblázat Kadmium koncentrációk (mg kg⁻¹ hajtás) AM-gombával oltott (+AMF) és nem oltott (-AMF) uborka hajtásában

Talajkezelés	Cd terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.23	5.51	14.90	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	0.21	4.23	10.30	3.54
K ₂	0.19	4.35	9.33	
Cd ₁	0.31	3.86	7.66	

K₁ és K₂: AMF törzsek kontroll, fémmentes talajból
Cd₁: AMF törzs Cd-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

11. Táblázat Nikkel koncentrációk (mg kg⁻¹ hajtás) AM-gombával oltott (+AMF) és nem oltott (-AMF) uborka hajtásában

Talajkezelés	Ni terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.41	11.77	31.8	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	0.56	10.85	37.2	
K ₂	0.54	7.42	25.6	3.9
Ni ₁	0.94	7.84	23.3	

Ni ₂	0.84	8.62	22.9
-----------------	------	------	------

C₁ és C₂: AMF törzsek kontroll talajból

Ni₁: AMF törzs Ni-lel szennyezett (30 mg kg⁻¹) talajból

Ni₂: AMF törzs Ni-lel szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

12. Táblázat Ólom koncentrációk (mg kg⁻¹ hajtás) AM-gombával oltott (+AMF) és nem oltott (-AMF) uborka hajtásában

Talajkezelés	Pb terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.31	1.10	3.70	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	0.34	0.88	3.95	
K ₂	0.23	0.83	3.41	0.64
Pb ₁	0.27	1.23	3.67	
Pb ₂	0.31	1.06	3.63	

K₁ és K₂: AMF törzsek kontroll talajból

Pb₁: AMF törzs Pb-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

Pb₂: AMF törzs Pb-mal szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

13. Táblázat Cink koncentrációk (mg kg⁻¹ hajtás) AM-gombával oltott (+AMF) és nem oltott (-AMF) uborka hajtásában

Talajkezelés	Zn terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	15.1	44.2	68.7	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	17.0	45.4	80.1	
K ₂	22.6	56.4	81.0	9.3
Zn ₁	20.1	48.3	83.7	
Zn ₂	29.4	57.2	84.1	

K₁ és K₂: AMF törzsek kontroll talajból

Zn₁: AMF törzs Zn-vel szennyezett (30 mg kg⁻¹) talajból

Zn₂: AMF törzs Zn-vel szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

A kadmiummal terhelt talajokban AMF törzsekkel történő oltás hatására a mikorrhizás hagyma hajtásának Cd-koncentrációja szignifikánsan kisebb, mint a nem mikorrhizás növények kadmium tartalma (**14. Táblázat**). A gazdanövény fémfelvételét a nehézfémekkel szennyezett talajból származó Cd₁ jelzésű AMF oltóanyag hatékonyabban csökkentette, mint a kontroll talajokból származó K₁ és K₃ jelűek. A kadmium 90 mg kg⁻¹ dózisánál a K₁ és K₃ törzsszel történő oltás és a szennyezett talajból származó Cd₁ és Pb₂ jelzésű gomba törzsek hatásában nem találtunk szignifikáns különbséget. A kadmium nagyobb dózisánál a K₃, Cd₁

és Pb_2 oltás hatása a nem mikorrhizás növényekhez és a K_1 törzssel oltott növényekhez viszonyítva a hajtásában szignifikáns Cd-koncentráció csökkenést idézett elő.

Az AMF oltás kedvező hatása a hagyma gazdanövény Ni-felvételére $270 \text{ mg Ni kg}^{-1}$ talaj dózisonál mutatkozik meg. A mikorrhizás növények hajtásának Ni-koncentrációja szignifikánsan kisebb, kb. 50%-kal, mint a nem mikorrhizásaké. A gazdanövény hajtásának Ni-tartalmát legnagyobb mértékben a Ni_2 törzssel történő oltás csökkentette (70%) (**15. Táblázat**). Az utóbbi gombatörzssel történő oltás idézte elő a legmagasabb arbuskuláltsági értéket (A%) a gazdanövény gyökerében (**6. Ábra**).

Az ólommal szennyezett talajokban az AM-gomba oltóanyagokkal történő oltás jelentősen csökkentette a gazdanövény Pb- felvételét (**16. Táblázat**). Az ólommal szennyezett talajokból származó Pb_1 és Pb_2 törzsek hatékonyabban csökkentették (51-73%) a gazdanövény Pb-koncentrációt, mint a K_1 és K_3 törzs. A K_1 és K_3 törzsekkel történő oltás nem eredményezett szignifikáns ólomfelvétel csökkenést.

A fémszennyezéshez adaptálódott Pb_2 gombatörzs a gazdanövény hajtástömegét is kétszeresére növelte. Ezen oltóanyag eredményességét gyökérkolonizációs mutatóinak alakulása is alátámasztja (**6. Ábra**).

A cinkkel terhelt talajokban a hagyma hajtásának cink koncentrációja a terhelés mértékének emelkedésével növekszik. A K_1 és K_3 törzs a $270 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ talaj dózisonál szignifikánsan csökkentette a hajtás Zn-tartalmát a nem mikorrhizás variánsokhoz képest (**17. Táblázat**).

Az egyszikű hagyma és kétszikű uborka gazdanövényeken tesztelt AM-gombák gyökérkolonizációs mutatóinak értékei mind a fémszennyezéshez adaptálódott, mind a nem adaptálódott AM-gomba törzsekkel történő oltás során, még a legmagasabb fémterhelések esetén is magasak voltak. Különösen az uborka gazdanövény gyökerében találtunk kiemelkedően magas mikorrhizáltság intenzitását jelző (M) és arbuskuláltsági (A%) értékeket. A fémszennyezéshez adaptálódott, feltételezhetően arra toleráns AMF törzsek kolonizációs mutatóinak értékei általában magasabbak, mint a kontroll talajokból származó törzseké és fémszennyezés hatására sem csökkennek jelentősen. Az uborka gyökerek mikorrhizációs paraméterei és a gazdanövény hajtásának fémkoncentrációja között a nikkel és kadmium terheléseknél összefüggést találtunk, azaz a jól működő (fémeket jól tűrő) gombatörzsek gyökérkolonizációs paraméterei (M, A%) magasabbak voltak (**3. és 5. Ábra**). A K_2 , Cd_1 , Ni_1 , Ni_2 törzsek segítették leginkább a hajtás fémkoncentrációjának csökkenését. A hagyma gazdanövényen tesztelt oltóanyagok érzékenyebben reagáltak a talajok Cd és Ni szennyezésének növekedésére (**4. és 6. Ábra**). A mikorrhizáltság intenzitása (M) és az

arbuszkuláltság (A%) értékek a szennyezés hatására jelentősen csökkentek, ennek ellenére a hagyma és AMF oltóanyagok között hatékony szimbiózis alakult ki, amely a gazdanövény fémfelvételének csökkentésében nyilvánult meg.

14. Táblázat *Kadmium koncentrációk (mg kg⁻¹ hajítás) AM-gombával oltott (+AMF) és nem oltott (-AMF) hagyma hajításában*

Talajkezelés	Cd terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.221	41.97	134	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	0.143	30.53	86.77	
K ₃	0.171	28	60.5	10.98
Pb ₂	0.095	27.77	61.87	
Cd ₁	0.481	24.8	55.3	

K₁ és K₃: AMF törzsek kontroll, fémentes talajból

Cd₁: AMF törzs Cd-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

Pb₂: AMF törzs Pb-mal szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

15. Táblázat *Nikkel koncentrációk (mg kg⁻¹ hajítás) AM-gombával oltott (+AMF) és nem oltott (-AMF) hagyma hajításában*

Talajkezelés	Ni terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	0.305	7.303	32.5	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	0.232	7.793	14.9	
K ₃	0.234	6.103	11.17	11.95
Ni ₂	1.313	8.237	9.7	
Cd ₁	2.827	7.337	13.33	

K₁ és K₃: AMF törzsek kontroll talajból

Ni₂: AMF törzs Ni-lel szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

Cd₁: AMF törzs Cd-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

16. Táblázat *Ólom koncentrációk (mg kg⁻¹ hajítás) AM-gombával oltott (+AMF) és nem oltott (-AMF) hagyma hajításában*

Talajkezelés	Pb terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD 5%
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	<KH	1.543	7.373	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	<KH	0.425	5.73	
K ₃	<KH	0.953	7.443	3.67

Pb ₁	<KH	0.223	2.017
Pb ₂	<KH	0.89	3.77

K₁ és K₃: AMF törzsek kontroll talajból

Pb₁: AMF törzs Pb-mal szennyezett (90 mg kg⁻¹) talajból

Pb₂: AMF törzs Pb-mal szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

<KH: kimutatási határ alatti érték

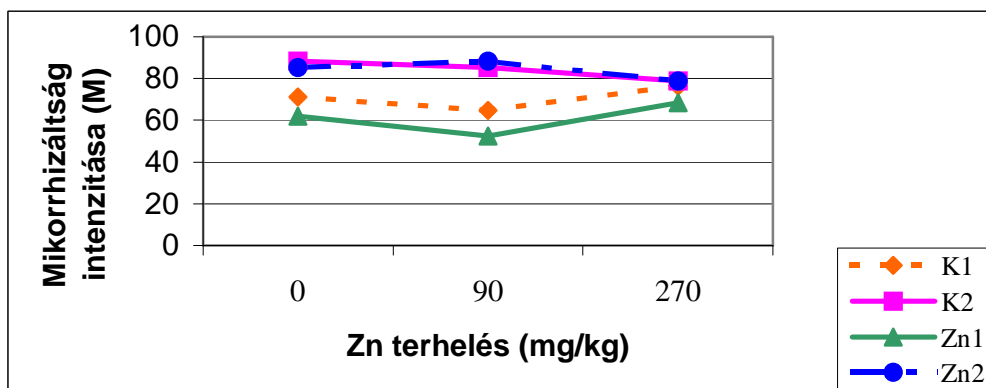
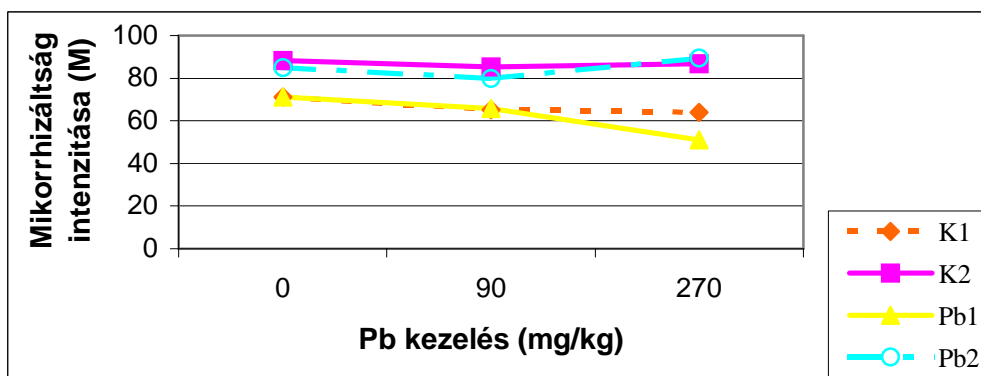
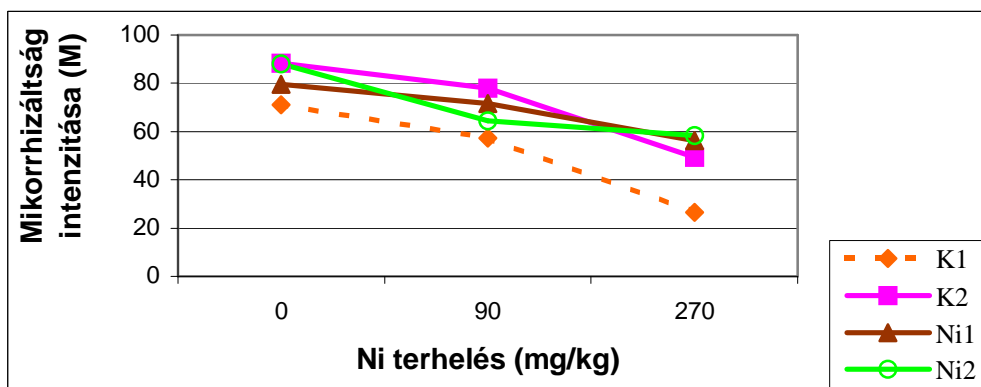
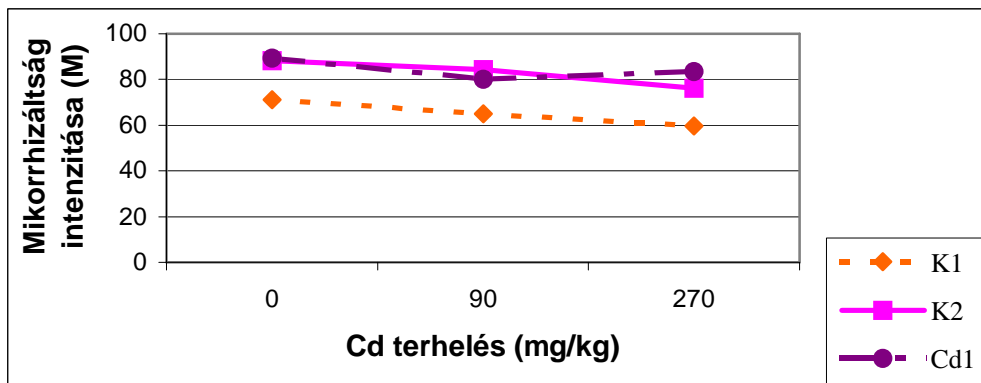
17. Táblázat Cink koncentrációk (mg kg⁻¹ hajtás) AM-gombával oltott (+AMF) és nem oltott (-AMF) hagyma hajtásában

Talajkezelés	Zn terhelés mértéke (mg fém kg ⁻¹ száraz talaj)			SzD _{5%}
	0	90	270	
<i>Steril talaj(-AMF)</i>	26.9	83.4	219	
<i>Oltott talaj(+AMF)</i>				
K ₁	18	77.1	165	
K ₃	13.8	90.8	163	41.02
Zn ₂	20.3	80.8	217	

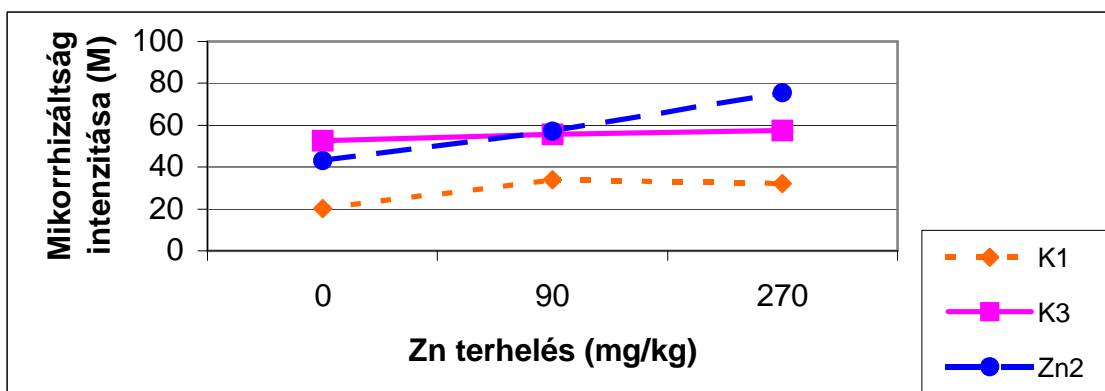
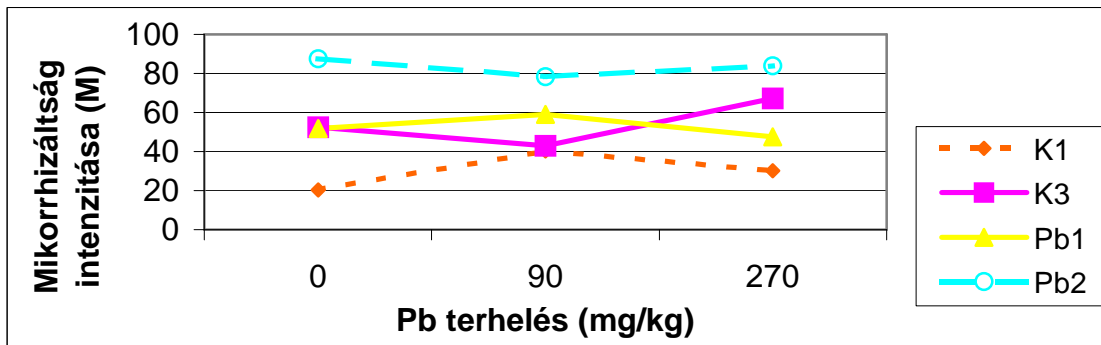
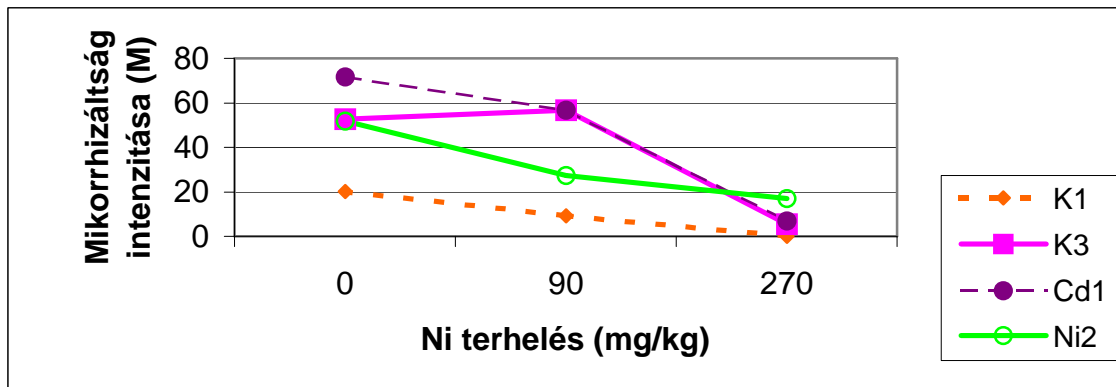
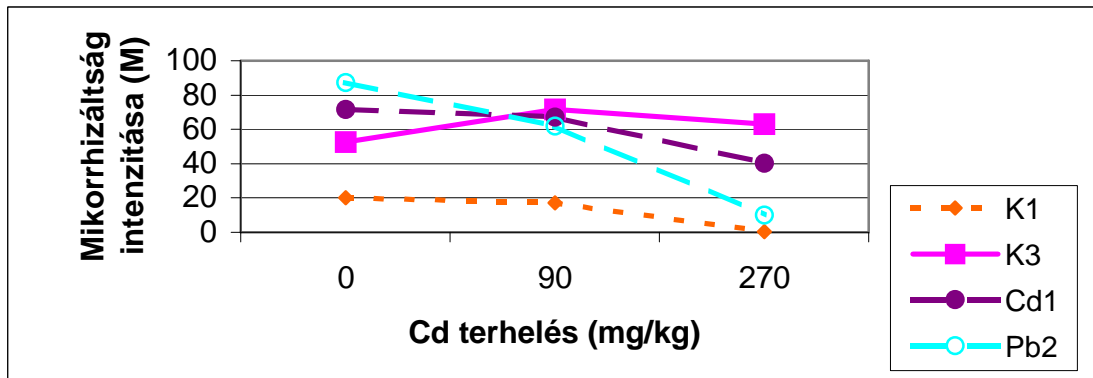
K₁ és K₃: AMF törzsek kontroll talajból

Zn₂: AMF törzs Zn-vel szennyezett (270 mg kg⁻¹) talajból

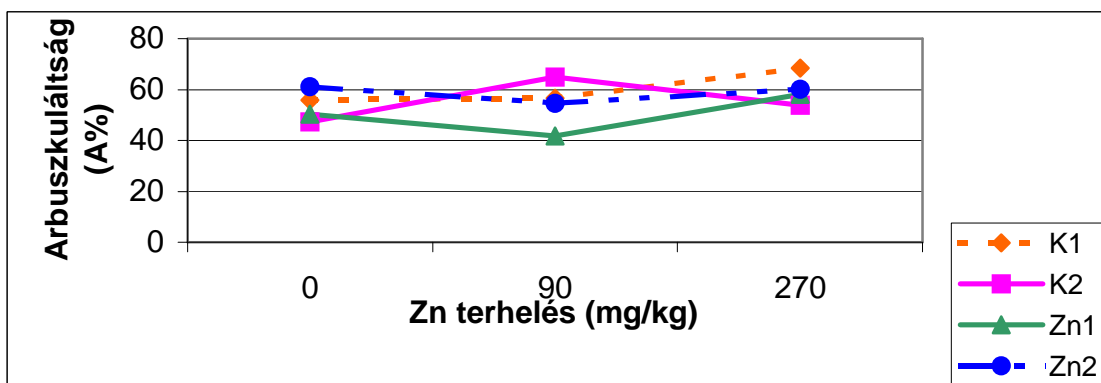
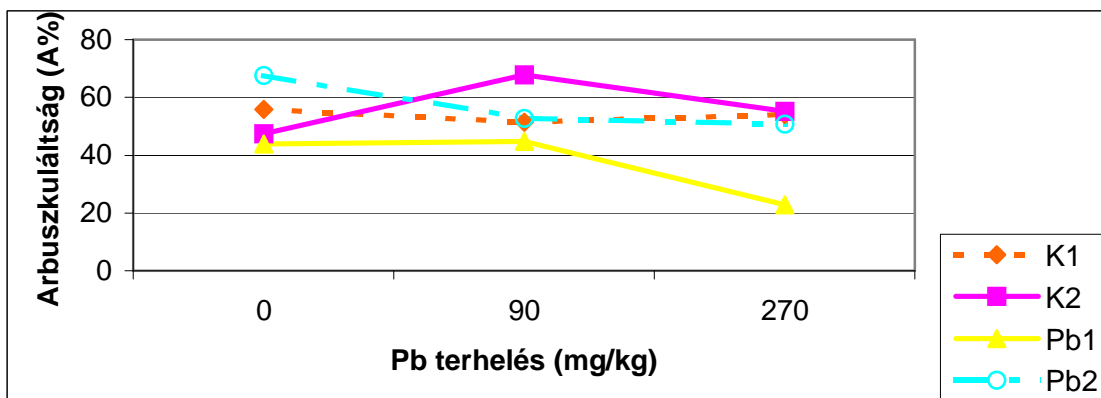
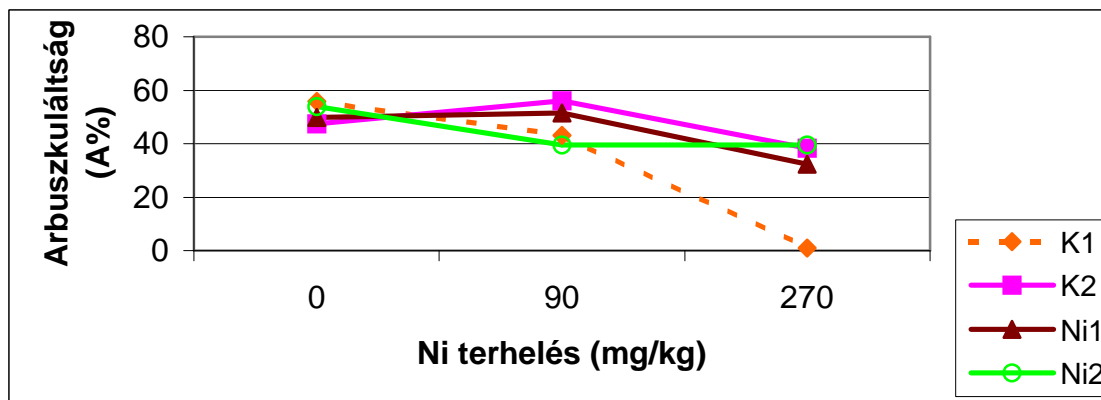
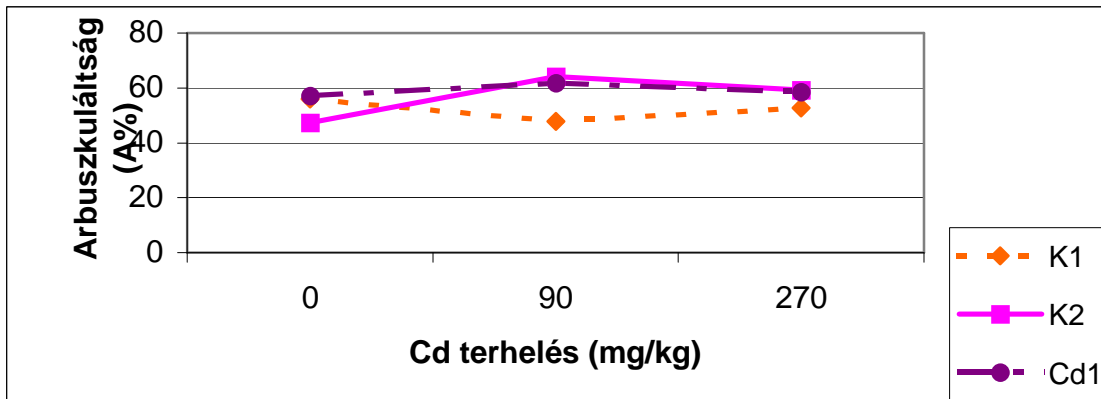
3. Ábra : A mikorrhizáltság intenzitása (M) AMF törzsekkel oltott uborka gyökerében



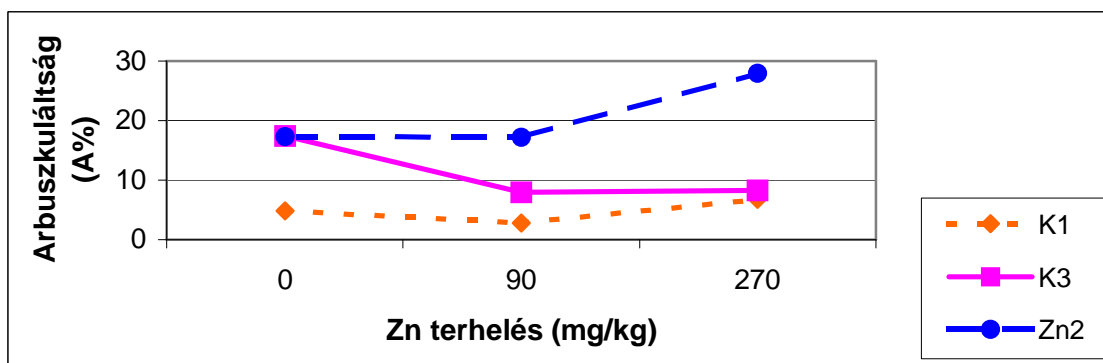
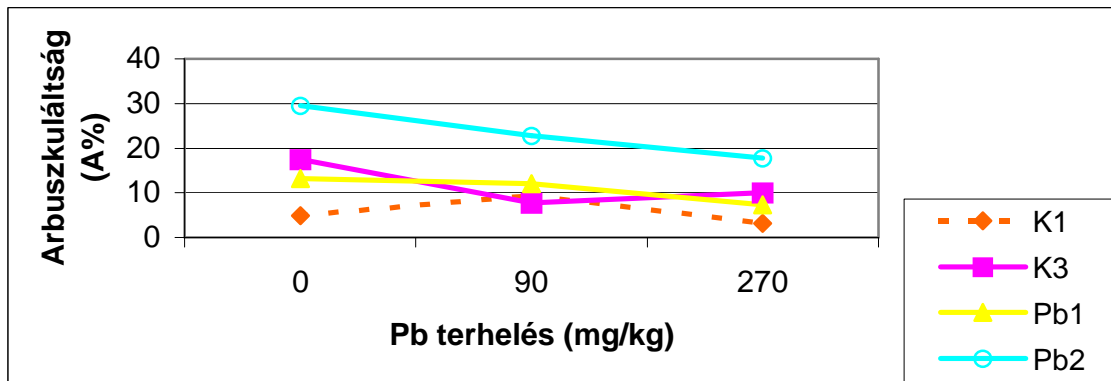
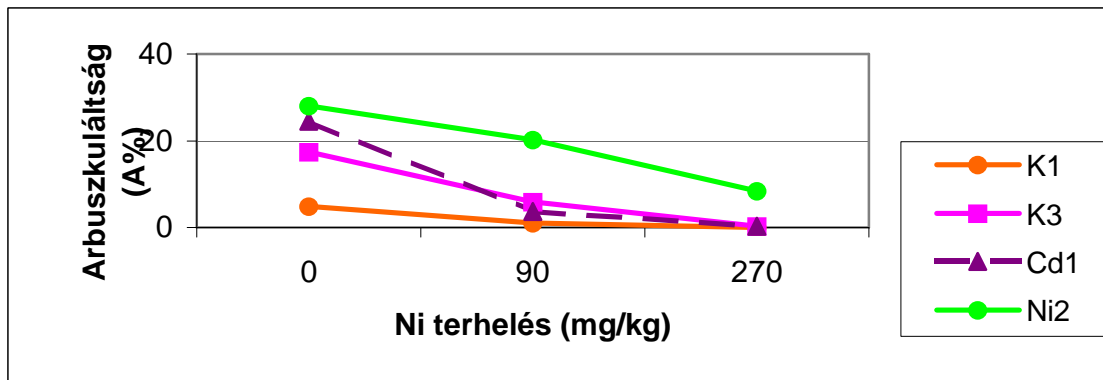
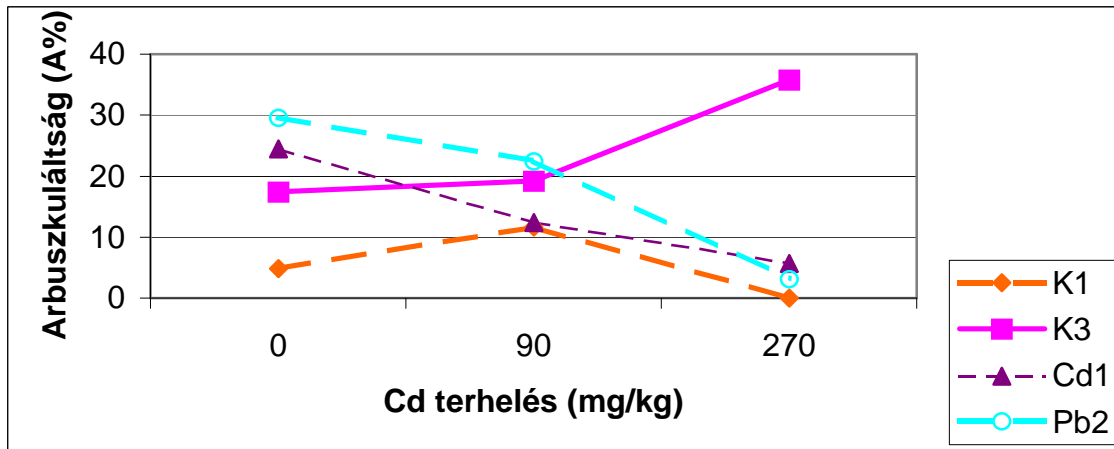
4. Ábra : A mikorrhizáltság intenzitása (M) AMF törzsekkel oltott hagyma gyökerében



5. Ábra: Az arbuszkuláltság (A%) mértéke az AMF törzsekkel oltott uborka gyökerében



6. Ábra: Az arbuszkuláltság (A%) mértéke az AMF törzsekkel oltott hagyma gyökerében



IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- BRUNDRETT, M., BOUGHER, N., DELL, B., GROVE, T., AND MALAJCZUK, N. 1996: Working with Glomalean fungi. In: *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. p. 141-172.
- BUZÁS I. 1988: Talaj és Agrokémiai módszerkönyv 2. -A talajok fizikai-kémiai vizsgálati módszerei, Mezőgazdasági Kiadó, p.: 64-74.
- GERDEMANN, J.W. and NICOLSON, T.H. 1963: Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, **46**: 235-244.
- 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.
- LAKANEN, E. and ERVIÖ, R. 1971: A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients on soil. *Acta Agr. Fenn.*, **123**: 223-232.
- SCHENCK, N.C. and PÉREZ, Y. 1987: Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi. 3rd Ed. Synergistic Publ., Gainesville, Florida.
- TAKÁCS, T., BRATEK, B. 1997: Az arbuskuláris mikorrhiza gombák rendszertana. *Mikológiai Közlemények*, **36**(1):47-87.
- TROUVELOT, A., KOUGH, J.L., and GIANINAZZI-PEARSON, V. 1985: Mesure du Taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. In: 1er Symposium Européen sur les Mycorrhizes. 217-221. INRA Paris.