

## Kadmium, nikkel és cink hatása az arbuszkuláris mikorrhiza gombák faji diverzitására

TAKÁCS TÜNDE, BIRÓ BORBÁLA és VÖRÖS IBOLYA

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

### Irodalmi áttekintés

Az elmúlt évtizedek felfokozott ipari tevékenysége révén az élővilágra ártalmas szerves és szervetlen szennyezők kerültek környezetünkbe. A leggyakoribb és talán a legveszélyesebb szennyezők közé tartoznak a nehézfémek. Fellelhetők, sőt koncentrálódhatnak városi porokban, talajokban, a talajokból vízrendszereken vagy táplálékláncon keresztül bejuthatnak olyan ökológiai rendszerekbe, ahol magát az embert is veszélyeztethetik.

Kémiai tulajdonságaikat és biológiai funkcióikat tekintve nagyon heterogén csoportot alkotnak, toxicitásuk foka fémenként és koncentrációnként változik. Sok nehézfém (Hg, Cd, Ni, Pb, Cu, Zn, Cr, Co) elemi és oldható só alakban is erősen mérgező hatású. A talajok magas nehézfém-koncentrációja toxikusan hat a talaj-mikroorganizmusokra, baktériumokra, gombákra, magasabb rendű szervezetekre egyaránt (BAKER, 1987; WOOLHOUSE, 1993).

Számos publikáció számol be arról, hogy az ipari tevékenységek hatására nehézfémekkel szennyezett talajok pionír növényeinek visszatelepedésében fontos szerepe lehet mind az ekto- mind az endomikorrhiza gombák jelenlétének. A mikorrhiza gombák jobb tápanyagellátást, nagyobb fémtoleranciát biztosíthatnak növénypartnerük számára (ALLEN, 1984; DAFT et al., 1975; DANIELSON, 1985; GEMMA & KOSKE, 1990; LOUIS, 1990; VÖRÖS et al., 1998). A nehézfémekkel szennyezett, baktériumokban és gombákban szegény, nem mikotróf környezetet csak olyan növények képesek elviselni, amelyek tolerálni tudják az extrém körülményeket, rendelkeznek valamilyen, a túlélésüket biztosító mechanizmussal (SHETTY et al., 1994).

Pionír növényekként a fémeket akkumuláló növények jelennek meg a meddőhányókon, amelyek hosszabb távon javítják más növények megtelepedésének esélyeit. Növelik a talaj szervesanyag-tartalmát, javítják a talaj mikroklímáját, elősegítik a mikotróf növényfajok elterjedését (GUCWA & TURNAU, 1998).

A legelterjedtebb és egyben legősibb mikorrhiza-típus az arbuszkuláris mikorrhiza (AM). Az AM jelentősége sokrétű: valószínűleg szerepet játszott a

szárazföldi növények elterjedésében. A mikorrhizált növények számára jobb talajkihasználást tesz lehetővé mind a tápanyag- mind a vízfelvétel szempontjából. Az AM gombafajok a leggyakoribb talajgombák közé tartoznak, mikroszkopikus spóráik elsősorban talajban, ritkán gazdanövény gyökerében ivartalan úton képződnek. Más mikroorganizmushoz hasonlóan érzékenyen reagálnak a talajszennyezésekre.

Nehézfémekkel terhelt és nem szennyezett talajok növényeinek mikorrhiza gomba infektivitása negatív korrelációt mutat a talaj Cd- és Zn-szennyezésével (LEYVAL et al., 1995). A mikroorganizmusok fémtűrő képességét tesztelő kísérletekben, ahol a talajokat a vizsgált fémek sóival vagy azok keverékét tartalmazó szennyvíziszappal terhelték, ill. szabadföldön is kimutatható volt, hogy az arbuskuláris mikorrhiza gombák (AMF) gyökérkolonizációját a nehézfémek csökkentették (CHAO & WANG, 1991; HOFLICH & METZ, 1997; IETSWAART et al., 1992; KOOMEN et al., 1990; WEISSENHORN & LEYVAL, 1996). Más esetekben a fémszennyezés teljesen meggátolta a növény–gomba szimbiózis kialakulását (GILDON & TINKER, 1981, 1983; KOOMEN et al., 1990; MCGEE, 1987), a gombák sporulációját (RAGUPATHY & ASHWATH, 1998; DEL VAL et al., 1999), in vitro a gombaspórák csírázását és hifák terjedését a talajban (HEPPER, 1979).

GILDON és TINKER (1981, 1983) tenyészedény-kísérletben tesztelt, Cd- és Zn-toleranciával rendelkező *Glomus mosseae* törzset izolált nehézfémekkel szennyezett bánya talajából. Dél-franciaországi iparvidéken, Pb-Zn olvasztók környékén WEISSENHORN és munkatársai (1994) magas spóra-denzitást és gyökérkolonizációt talált kukoricán és búzán. Nehézfémektől mentes talajokon és szennyezett agrár-ökoszisztémákban, az olvasztótól 1600 és 750 m távolságban, vizsgálta természetű növények Cd-, Pb-, Zn- és Cu-felvételét. Megállapította, hogy extrém magas fémterhelésnél az AMF növényi fémakkumulációt mérsékelő hatása nem érvényesül. WEISSENHORN és munkatársai (1993, 1994) a spórák nehézfém-toleranciáját in vitro spóra germinációs tesztben tanulmányozták.

A kadmium csökkentette a spórák csírázását, a hifák terjedését. Egy évvel a kadmiumot és cinket tartalmazó szennyvíziszapos terhelés után az AMF kevert kultúrájának fémtoleranciája növekedett (WEISSENHORN et al., 1994).

Megállapítást nyert, hogy az arbuskuláris mikorrhiza gombák egy hosszabb ideig tartó fémszennyezés alatt adaptálódhatnak a fémterheléshez (ARNOLD & KAPUSTKA, 1987; WEISSENHORN et al., 1994, 1995a,b), sőt kiszelektálódhatnak fémtoleráns AMF fajok is. Cd-toleráns *Glomus mosseae* törzset izoláltak nehézfémekkel szennyezett talajból. JONER és LEYVAL (1997) kísérletei szerint a 100 mg Cd/kg dózis még nem hat az AMF hifák terjedésére, sőt a gombák sporulációját is megfigyelték. A kadmium a nem mikorrhiza gombáknál jobban gátolja a germinációt és sporulációt (BABICH & STOTZKY, 1977; ROSS, 1982).

Ezek az eredmények azt bizonyítják, hogy a nehézfémek magas koncentrációja kedvezőtlenül befolyásolja az arbuskuláris mikorrhiza gombák vitalitását, valamint az AMF obligát szimbionta volta miatt, a növény–gomba együttélés kialakulásának esélyeit. Az AM gombák fémtoleranciájának mechanizmusa

még nem ismert, a nehézfémek faji diverzitásra gyakorolt hatása kevésbé tanulmányozott.

Jelen munkában a kadmium, cink és nikkell különböző dózisainak hatását vizsgáltuk az AMF diverzitás alakulására. Talajmintáink az MTA TAKI nagy-hörcsöki kísérleti telepén, mészlepedékes csernozjom talajon 1991 tavaszán beállított szabadföldi kispárcellás nehézfémterheléses tartamkísérlet talajaiból származtak (KÁDÁR, 1995).

### Anyag és módszer

Nagyhörcsöki mészlepedékes csernozjom kadmium, cink és nikkell nehézfémekkel (0, 90, 270, 810 kg fém/ha) szennyezett kezelések talajának AM gombáit vizsgáltuk, 6 ill. 7 évvel a fémterhelés után.

A nagyhörcsöki mészlepedékes csernozjom talaj legfontosabb fizikai és kémiai jellegzetességei a következők: pH(H<sub>2</sub>O): 7,5; pH(KCl): 7,2; CaCO<sub>3</sub>-tartalom: 5–6,5%; humusztartalom: 3 %; agyagfrakció (< 0,002 mm): 20 %; iszapfrakció (0,02–0,05 mm): 40 %; homokfrakció (> 0,05): 40 %.

A talajmintákat minden egyes helyszínen, különböző növényborítottságú helyekről, gyökérrégióból (kb. 10–20 cm mélység), a nyári vegetációs periódus végén vettük.

A „bennszülött” AM gombák gazdanövénye búza (*Triticum sp.*), a következő évben napraforgó (*Helianthus annuus*) volt. A mintákat szárítás után feldolgozásig hűtőszekrényben tároltuk (4 °C).

Az AMF kitartó képleteinek, spóráinak kvalitatív vizsgálatára GERDEMANN és NICOLSON (1963) módszerét, a nedves szitálásos frakcionálást alkalmaztuk. Egy–egy szitálás alkalmával 100 g talajmintát vizsgáltunk. Határozás céljából azonos típusú spórákból diagnosztikus preparátumot készítettünk, a spórák rögzítése PVLG-oldatban történt (KOSKE & TESTIER, 1983). Az AMF fajok határozása hagyományos módon, morfológiai alapon, az International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular Mycorrhizal Fungi (INVAM (1987), SCHENCK és PEREZ, 1990) határozókulcsok és a rendelkezésre álló fajleírások

#### 1. táblázat

Felvehető elemtartalmak (mg/kg) a Cd, Ni és Zn fémek különböző dózisaival terhelt és nehézfémektől mentes talajmintákban

(1) Fém	(1) Kezelések, kg/ha				
	0 Abszolút kontroll	0 Kontroll	90	270	810
Cd	0,171	0,158	13,7	33,6	84,4
Ni	2,49	2,58	16,3	36,6	52,1
Zn	4,07	1,33	24,44	60,7	83,4

Kontroll: N-P-K-val kezelt; Abszolút kontroll: árokparton gyűjtött, mindennemű kezeléstől mentes

alapján történt. A nagyhőrcsöki – nehézfémekkel terhelt és azoktól mentes kontroll – talajok felvehető elemtartalmainak feltárása LAKANEN és ERVIÖ (1971) savas ammónium-acetát + EDTA oldatával, a koncentrációik meghatározása ICP-AES készülékkel történt (1. táblázat).

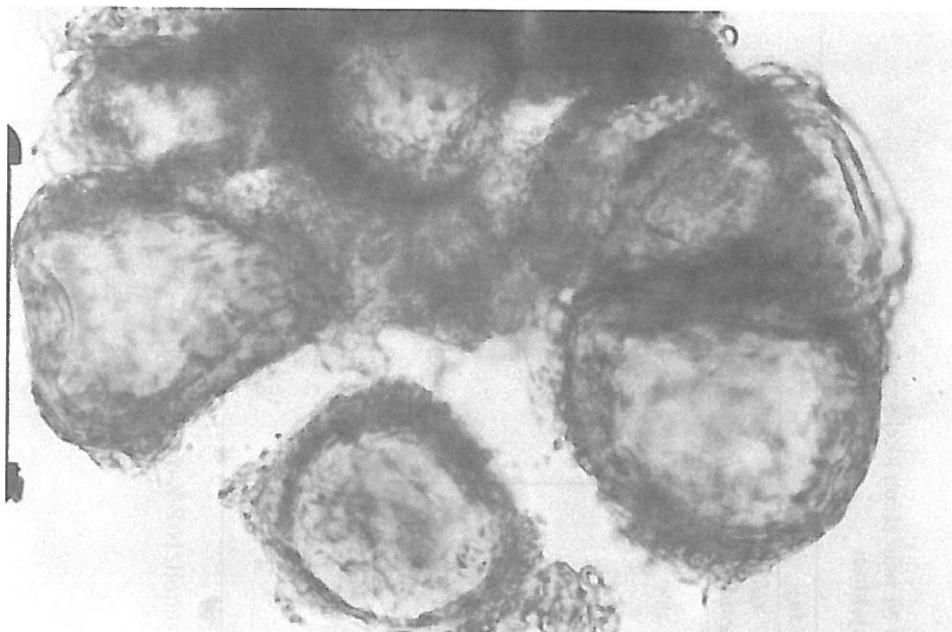
### Eredmények és kiértékelésük

Az AM gombák taxonómiai rendszere a nagy fajszám, változatosság miatt egy forrongó, sokat változó rendszer, mivel napjainkban is sok új fajt írnak le. Az AM gombák obligát, aerob biotróf életmódja, mikroszkopikus mérete, talaj- és növénybeni fellelhetősége is gátat szabnak gyors megismerésének. Határozásuk spóráképzési, spórafejlődési eltérések ill. a spórák minőségi és méretbeli eltérésein alapul (TAKÁCS & BRATEK, 1997). Az AM gombák jelenleg elfogadott rendszer szerint (MORTON & BENNY, 1990) az Eumycota (Valódi gombák) törzsébe, Zygomycetes (Járomspórás gombák) osztályába, és a Glomales rendbe tartoznak. A Glomales rendbe sorolják mindazon gombákat, melyek képesek obligát szimbiózist kialakítani a magasabb rendű növényekkel és azok gyökérzetében legalább arbuszkulomot képeznek.

Spóramorfológiai alapon az AM nemzetségek fajai kétféle spórát képeznek. A *Gigaspora* és *Scutellospora* nemzetségek szaporító képleteit azigospórának nevezik, mivel nagyon hasonlítanak az Endogone fajok zigospóráihoz, viszont képződésük során nem figyeltek meg ivaros folyamatot. A *Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora* és az *Entrophospora* nemzetségek szaporító képletei klamidospórák, amelyek szintén ivartalan úton keletkeznek. Az AM gombák fajainak nagyobb hányada és egyben a legtöbb talajgomba a *Glomus* nemzetségbe sorolható (LAMONT, 1982). AM gombafajok leírására hazai próbálkozások HOLLÓS (1911) és SZEMERE (1970) föld alatti gombászok részéről történtek, akik nagy termőtestet képező fajokat találtak és határozta meg. Az ezzel kapcsolatos utolsó összefoglaló munka Szemere László „Föld alatti gombavilág” (1970) című könyvében jelent meg. Meghatározásra került három Endogone faj, amelyeket az új AM rendszer szerint ma már a *Glomus* nemzetségbe sorolunk.

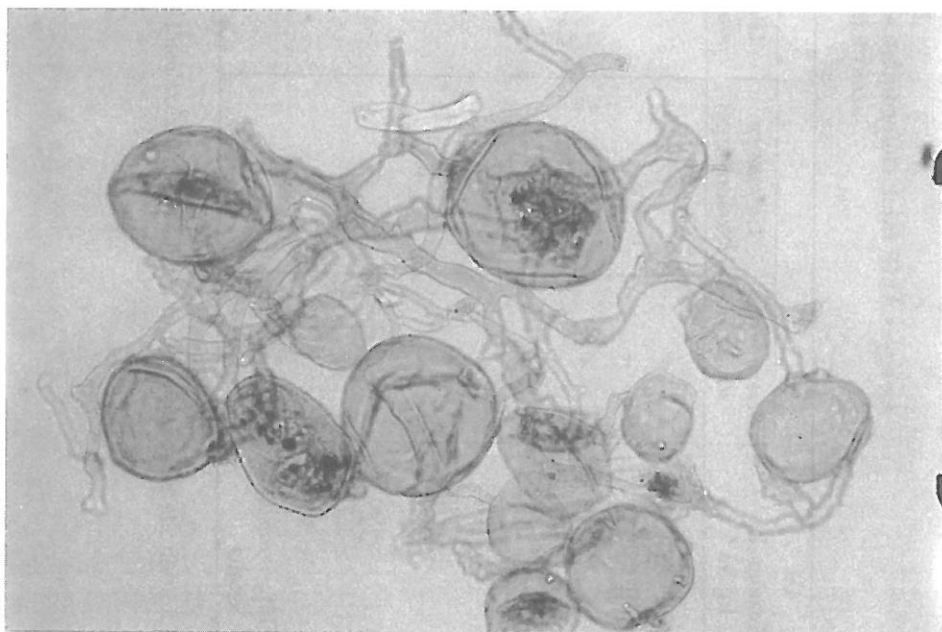
A fent említett adatokból és irodalmi hivatkozásokból kitűnik, hogy hazánkban és külföldön is az AM kutatások elsősorban ökológiai és élettani vonatkozásúak. Magyarországon jelenleg AM gombák taxonómiai kutatása nem folyik. Jelen munkánkban a nehézfémek AMF diverzitásra gyakorolt hatása mellett, az AMF fajok taxonómiai vizsgálatait végeztük.

A Cd, Zn és Ni nehézfémekkel szennyezett és nehézfémekkel nem terhelt – kontroll (N-P-K-val kezelt) és abszolút kontroll (árokparton gyűjtött, mindenmű kezeléstől mentes) – bolygatatlan talajokból összesen 6 arbuskuláris mikorrhiza gombafaj jelenlétét sikerült kimutatni. A nedves szitálással izolált AMF-spórák 6 faja közül 5 faj a *Glomus*, egy pedig a *Sclerocystis* nemzetségbe



1. ábra

A *Sclerocystis sinuosa* termőteste szinúzus hifákból álló peridiummal (500x)



2. ábra

*Glomus* sp. szalmasárga spórái laza csokorban (250x)

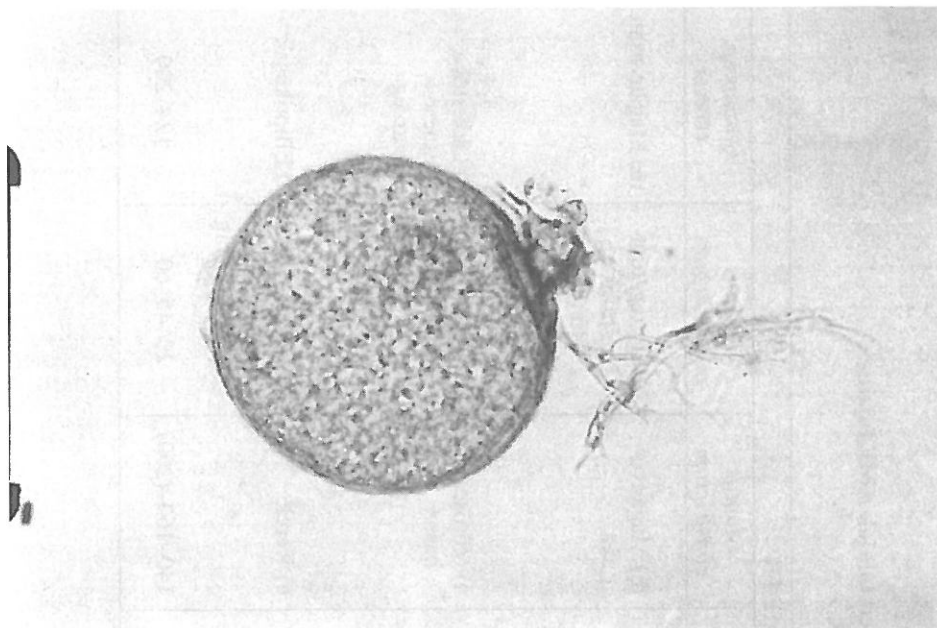
2. táblázat  
Az egyes AMF fajok előfordulása a Cd, Zn és Ni nehézfémekkel szennyezett és azoktól mentes talajokban

(1) Kezelések, kg/ha	(2) AMF faj							(3) Faj szám
	<i>Sclerocystis sinuosa</i>	<i>Glomus sp (Szalmasárga)</i>	<i>Glomus mosseae</i>	<i>Glomus constrictum</i>	<i>Glomus microcarpum</i>	<i>Glomus sp. (Okker)</i>		
a) Abszolút kontroll	+	+	+	+	+	+	+	6
b) Kontroll	+	+	+	+	-	-	-	4
Zn	+	+	-	+	+	+	+	4
	+	+	-	-	+	+	+	3
	+	+	+	+	-	-	-	4
Ni	+	+	-	-	-	-	-	2
	+	+	+	-	-	-	-	3
	-	+	+	-	-	-	-	2
Cd	+	+	-	-	-	-	-	2
	+	+	-	-	-	-	-	2
	+	-	-	-	-	-	-	1
c) Előfordulások száma	10	10	5	4	3	1		

Abszolút kontroll: árokparton gyűjtött, mindennemű kezeléstől mentes; Kontroll: N-P-K-val kezelt (100–100 kg/ha)

3. táblázat  
A Zn, Ni és Cd nehézfémekkel szennyezett talajok AMF fajainak jellemző adatai

(1) Jellemző	(2) AMF faj					
	<i>Sclerocystis sinuosa</i>	<i>Glomus sp.</i> (Szalmasárga)	<i>Glomus mosseae</i>	<i>Glomus constrictum</i>	<i>Glomus microcarpum</i>	<i>Glomus sp.</i> (Okker)
a) Előfordulás módja	e) Peridiummal határolt termőtestben	h) Laza csokorban	k) Magányosan vagy peridiummal aggregátumban	m) Magányosan	p) Aggregátumban hifa-mátrixban több száz spóra	m) Magányosan
b) Spóra színe	f) Termőtest sötét barna, egy-egy spóra barnás-sárga	i) Hialintól szalmasárgáig	l) Sárgától sárgásbarnáig	n) Vöröses-barna	l) Sárgától sárgásbarnáig	s) Okkertől a narancsos-barnáig
c) Spóra alakja	g) Termőtest kerek, spóra körte alakú	j) Kerek vagy elliptikus	j) Kerek vagy elliptikus	o) Kerek	r) Változatos, kerektől a szabálytalanig	t) Elliptikusak
d) Spóra mérete, $\mu\text{m}$	34–50–(85)	(45)–115	100–260	140–160–(200)	20–45–60	124–200



3. ábra

*Glomus mosseae* idős spórája a peridium maradványával (360x)

sorolható. A nehézfémekkel szennyezett talajok AMF fajainak száma minden esetben kisebb volt, mint a fémszennyezéstől mentes kontrolltalajoké.

Az AMF fajok száma a kontrollokhoz képest Zn < Ni < Cd sorrendben csökkent és a szennyezettség növekedésének függvényében mérséklődött. Egy szalmasárga, spóráit csokorban képező *Glomus sp.* faj a 810 kg Cd/ha kivételével és *Sclerocystis sinuosa* (GERDEMANN & BAKSHI, 1976) a 810 kg Ni/ha kivételével a vizsgált talajminták mindegyikében megtalálható volt (1. és 2. ábra).

A továbbiakban *Glomus constrictum* (TRAPPE, 1977), *Glomus mosseae* (NICOLSON & GERDEMANN, 1968) (3. ábra), *Glomus microcarpum* (BERCH & FORTIN, 1984) és egy okker-narancsos barna spórájú *Glomus sp.* faj került leírásra.

A leírásra és meghatározásra került fajok adatait, előfordulási gyakoriságát, legjellemzőbb morfológiai bélyegeiket a 2. és 3. táblázatok tartalmazzák.



### Összefoglalás

Nagyhörcsöki mészlepedékes csernozjom Cd, Ni és Zn fémekkel szennyezett és fémtérheléstől mentes talajaiból 6 AM gombafajt: *Sclerocystis sinuosa*, *Glomus sp.* (szalmasárga, okker) *Glomus mosseae*, *Glomus constrictum*, *Glomus microcarpum* sikerült kimutatni. Az abszolút kontrolltalaj egy természetes ökoszisztémát, míg a trágyázott kontrolltalaj, egy agrár-ökoszisztémát reprezentált. A leggyakoribb fajnak a *Sclerocystis sinuosa*, *Glomus sp.* (szalmasárga) bizonyultak; a kadmium és nikkell legnagyobb dózisainak kivételével mindegyik talajmintában kimutathatóak voltak. A legalacsonyabb diverzitást a kadmiummal szennyezett talajok mutatják, ami jelzi, hogy a kadmium különösen toxikus. Az AMF diverzitás fokok alapján megállapíthatjuk, hogy a fent említett nehézfémek hatására csökkent a talajokban lévő AMF fajok száma. Az AMF spórák vizsgálata 6 ill. 7 évvel a szennyezést követően történt. Feltételezzük, hogy tartós fémszennyezés esetén olyan fémtoleráns gombafajok szelektálódhatnak ki egy, a természetes ökoszisztémát reprezentáló „AMF készletből”, amelyek képesek elviselni magas koncentrációban lévő nehézfémek jelenlétét is. Ezt a hipotézist igazolják azok az irodalmi adatok miszerint a *Glomus mosseae* az az AMF faj, amelyet nehézfémekkel szennyezett talajokból legtöbb esetben sikerült izolálni.

Mind a *Sclerocystis sinuosa*, mind a *Glomus mosseae* struktúrájukat tekintve olyan képletek, amelyek spóráit sűrű hifabevonat fedi, ami egyrészt mechanikai védelmet biztosít a spórák számára, másrészt a nehézfémek szűrőjeként is működhet.

Fenti munka az F 29908 és T 030235 számú OTKA pályázatok keretén belül folyt.

### Irodalom

- ALLEN, M. F., 1984. VA mycorrhizae and colonizing annuals: implications for growth, competitions, and succession. In: VA Mycorrhizae and Reclamation of Arid and Semiarid Lands. (Eds.: WILLIAMS, S. E. & ALLEN, M. F.) 41–51. University of Wyoming Agricultural Experimental Station Science Report No SA 1261. Laramie.
- ARNOLD, P. T. & KAPUSTKA, L. A., 1987. VA mycorrhizal colonization and spore populations in an abandoned agricultural field after five years of sludge application. *Ohio J. Sci.* **87**. 112–114.
- BABICH, H. & STOTZKY, G., 1977. Sensitivity of various bacteria, including actinomycetes, and fungi to cadmium and the influence of pH on sensitivity. *Appl. Environ. Microbiol.* **33**. 681–695.
- BAKER, A. J. M., 1987. Metal tolerance. *New Phytologist.* **106**. 93–111.
- BERCH, S. M. & FORTIN, A. J., 1984. A lectotype for *Glomus microcarpum* (Endogonaceae, Zygomycetes). *Mycologia.* **76**. (2) 190–193.

- CHAO, C. C. & WANG, Y. P., 1991. Effects of heavy metals on vesicular-arbuscular mycorrhizae and nitrogen fixation of soybean in major soil groups of Taiwan. *J. Chin. Agr. Chem. Soc.* **29**. 290–300.
- DAFT, M. J., HACKSCAYLO, E. & NICOLSON, T. H., 1975. Arbuscular mycorrhiza in plants colonising coal spoils in Scotland and Pennsylvania. In: *Endomycorrhizas*. (Eds.: SANDERS, F. E., MOSSE, B. & TINKER, P. B.). 561–580. Academic Press. London.
- DANIELSON, R. M., 1985. Mycorrhizae and reclamation of stressed terrestrial environments. In: *Soil Reclamation Processes: Microbial Analysis and Applications*. (Eds.: TATE, R. L. & KLEIN, D. A.) 173–201. Marcel Dekker. New York
- DEL VAL, C., BAREA, J. M. & AZCON-AGUILAR, C., 1999. Assessing the tolerance to heavy metals of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from sewage sludge-contaminated soils. *Appl. Soil Ecol.* **11**. (2–3) 261–269.
- GEMMA, J. N. & KOSKE, R. E., 1990. Mycorrhizae in recent volcanic substrates in Hawaii. *Am. J. Bot.* **77**. 1193–1200.
- GERDEMANN, J. W. & BAKSHI, B. K., 1976. *Endogonaceae* of India: two new species. *Trans. Br. Mycol. Soc.* **66**. (2)
- GERDEMANN, J. W. & NICOLSON, T. H., 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* **46**. 235–244.
- GILDON, A. & TINKER, P. B., 1981. A heavy metal tolerant strain of a mycorrhizal fungus. *Trans. Br. Mycol. Soc.* **77**. 648–649.
- GILDON, A. & TINKER, P. B., 1983. Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants: I. The effects of heavy metals on the development of vesicular arbuscular mycorrhizas. *New Phytol.* **95**. 247–261.
- GUCWA, E. & TURNAU, K., 1998. Mycorrhizal colonization of plants from zinc wastes in Katowice (Poland). 2nd Intern. Conf. on Mycorrhiza ICOM II., Uppsala, 5–10 June 1998. Programme and Abstracts. 75.
- HEPPER, C. M., 1979. Germination and growth of *Glomus caledonius* spores: The effects of inhibitors and nutrients. *Soil Biol. Biochem.* **11**. 269–277.
- HÖFLICH, G. & METZ, R., 1997. Interactions of plant–microorganism-associations in heavy metal containing soils from sewage farms. *Bodenkultur.* **48**. (4) 239–247.
- HOLLÓS L., 1911. Magyarország földalatti gombái, szarvasgombaféléi. *K. M. Természettudományi Társulat*.
- IETSWAART, J. H., GRIFFIOEN, W. A. J. & ERNST, W. H. O., 1992: Seasonality of VAM infection in three populations of *Agrostis capillaris* (Gramineae) on soil with or without heavy metal enrichment. *Plant and Soil.* **139**. 67–73.
- JONER, E. J. & LEYVAL, C., 1997. Plant uptake of Cd through arbuscular-mycorrhiza, an important group of symbiotic fungi. In: *Proc. 3rd Intern. Conf. on the Biogeochemistry of Trace Elements*, 15–20 May 1995, Paris (In press)
- KÁDÁR I., 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. MTA TAKI. Akaprint. Budapest.
- KOOMEN, I., MCGRATH, S. P. & GILLER, I., 1990. Mycorrhizal infection of clover is delayed in soils contaminated with heavy metals from past sewage sludge applications. *Soil Biol. Biochem.* **22**. 871–873.
- KOSKE, R. E. & TESTIER, B., 1983. A convenient permanent slide mounting medium. *Myc. Soc. Am. Newsl.* **34**. 59.

- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients on soil. *Acta. Agr. Fenn.* **123**. 223–232.
- LAMONT, B., 1982. Mechanisms for enhancing nutrient uptake in plants with particular reference to mediterranean South Africa and Western Australia. *Bot. Rev.* **48**. 597–689.
- LEYVAL, C., SINGH, B. R. & JONER, E. J., 1995. Occurrence and infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in some Norwegian soils influenced by heavy metals and soil properties. *Water Air Soil Pollut.* **84**. 203–216.
- LOUIS, I., 1990. A mycorrhizal survey of plant species colonizing coastal reclaimed land in Singapore. *Mycologia.* **82**. 772–778.
- MCGEE, P. A., 1987. Alteration of growth of *Solanum opacum* and *Plantago drummondii* and inhibition of regrowth of hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi from dried root pieces by manganese. *Plant and Soil.* **101**. 227–233.
- MORTON, J. B. & BENNY, G. L., 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon.* **37**. 471–491.
- NICOLSON, T. H. & GERDEMANN J. W., 1968. Mycorrhizal Endogone species. *Mycologia.* **60**. (2) 313–325.
- RAGUPATHY, S. & ASHWATH, N., 1998. Low diversity of mycorrhizal fungi in serpentinised habitats of Rockhampton-Malborough region, Australia. 2nd Intern. Conf. on Mycorrhiza. ICOM II., Uppsala, 5–10 June 1998. Programme and Abstracts. 141.
- ROSS, I. S., 1982. Effect of copper, cadmium and zinc on germination and mycelial growth in *Candida albicans*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* **78**. 543–545.
- SCHENCK, N. C. & PÉREZ, Y., 1990. Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi. Third edition. Synergistic Publ. Gainesville, Florida.
- SHETTY, K. G. et al., 1994. Biological characterization of a southeast Kansas mining site. *Water, Air, Soil Pollut.* **78**. 169–177.
- SZEMERE L., 1970. Föld alatti gombavilág. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- TAKÁCS T. & BRATEK B., 1997. Az arbuszkuláris mikorrhiza gombák rendszertana. *Mikológiai Közlemények.* **36**. (1) 47–87.
- TRAPPE, J. M., 1977. Three new Endogonaceae: *Glomus constrictus*, *Sclerocystis clavispora*, and *Acaulospora scrobiculata*. *Mycotaxon.* **6**. (2) 339–366.
- VÖRÖS I. et al., 1998. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi on heavy metal toxicity to *Trifolium pratense* in soils contaminated with Cd, Zn and Ni salts. *Agrokémia és Talajtan.* **47**. 277–288.
- WEISSENHORN, I. & LEYVAL, C., 1996. Spore germination of arbuscular mycorrhizal fungi in soils differing in heavy metal content and other parameters. *Eur. J. Soil Biol.* **32**. (4) 165–172.
- WEISSENHORN, I., LEYVAL, C. & BERTHELIN, J., 1993. Cd-tolerant arbuscular mycorrhizal (AM) fungi from heavy-metal polluted soils. *Plant and Soil.* **157**. 247–256.

- WEISSENHORN, I., A., LEYVAL, C. & BERTHELIN, J., 1995. Bioavailability of heavy metals and abundance of arbuscular mycorrhiza (AM) in a soil polluted by atmospheric deposition from a smelter. *Biol. Fertil. Soils*. **19**, 22–28.
- WEISSENHORN, I. et al., 1994. Differential tolerance to Cd and Zn of arbuscular mycorrhizal (AM) fungal spores isolated from heavy metal-polluted and unpolluted soils. *Plant and Soil*. **167**, 189–196.
- WEISSENHORN, I., et al., 1995. Arbuscular mycorrhizal contribution to heavy metal uptake by maize (*Zea mays* L.) in pot culture with contaminated soil. *Mycorrhiza*. **5**, 245–255.
- WELLINGS, N. P., WEARING, A. H. & THOMPSON, J. P., 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) improve phosphorus and zinc nutrition and growth of pigeonpea in Vertisol. *Aust. J. Agric. Res.* **42**, 835–845.
- WOOLHOUSE, H. W., 1983. Toxicity and tolerance in the response of plants to metals, In: *Encyclopedia of Plant Physiology*. Volume 12C: *Physiological Plant Ecology*. (Eds.: LANGE, O. L. et al.) 245–300. Springer Verlag, Berlin.

*Érkezett: 2000. március 16.*

## Influence of Cd, Zn and Ni on the Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi

T. TAKÁCS, B. BIRÓ and I. VÖRÖS

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

### Summary

Mycorrhizas are the most widespread associations between fungi and higher plants in both natural and agricultural ecosystems. Arbuscular endomycorrhizal fungi (AMF) are associated with about 80% of the plant species in the world. The fungi may affect the water regime, and the macro- and microelement uptake of the host plants.

The diversity of indigenous AMF was studied in heavy-metal polluted soil samples taken from a long-term field experiment on a calcareous chernozem soil in Nagy-hörcsök. The soil samples were taken in 1997 and 1998 from plots contaminated with soluble Cd, Zn, and Ni salts in 1991, at rates of 0, 90, 270 and 810 kg metal/ha soil, and from plots free of heavy metals. The absolute control soil represented a natural ecosystem, while the fertilized control plot an agro-ecosystem. The AMF spores were isolated by wet sieving and decanting.

Six AM species were identified: *Sclerocystis sinuosa*, *Glomus sp.* (straw-yellow and yellow ochre), *Glomus mosseae*, *Glomus constrictum* and *Glomus microcarpum*. The highest diversity of AMF was found in the control soil. The number of AMF species declined at increasing metal rates, following the sequence Zn < Ni < Cd. The two species best adapted to the heavy metal loads were *Sclerocystis sinuosa* (absent only at 810 kg Ni/ha soil) and a straw-yellow *Glomus sp.* forming loose bunches (absent only at 810 kg Cd/ha soil). The indigenous AMF species, which were in contact with high metal levels for six or seven years, underwent an adaptation, and metal-tolerant AMF species may have been selected.

*Table 1.* Available element contents (mg/kg) in soil samples polluted with various rates of Cd, Ni and Zn and in samples free of heavy metals. (1) Metals. (2) Treatments, kg/ha. Note: Control: treated with N-P-K, Absolute control: collected on the banks of a ditch, free of any kind of treatment.

*Table 2.* Occurrence of various AMF species on soils free of or polluted with the heavy metals Cd, Zn and Ni. (1) Treatment, kg/ha. a) Absolute control; b) Control; c) No. of occurrences. (2) AMF species. (3) Number of species. Note: Control: treated with N-P-K (100-100 kg/ha); Absolute control: collected on the banks of a ditch, free of any kind of treatment.

*Table 3.* Characteristic data of AM species found on soils polluted with the heavy metals Zn, Ni and Cd. (1) Characteristic. a) Type of occurrence; b) spore colour; c) spore shape; d) spore size,  $\mu\text{m}$ . (2) AMF species. e) in a fruiting body bounded by a peridium; f) fruiting body dark brown, a few spores brownish-yellow; g) fruiting body round, spores pear-shaped; h) in a loose bunch; i) from hyaline to straw-coloured; j) round or elliptical; k) alone or aggregated with the peridium; l) from yellow to yellowish brown; m) alone; n) reddish brown; o) round; p) several hundred spores

aggregated in the hyphamatrix; r) varying from round to irregular; s) from ochre to orange brown; t) elliptical.

*Fig. 1. Sclerocystis sinuosa* fruiting body with a peridium consisting of sinuous hyphae (500x).

*Fig. 2. Straw-coloured spores of Glomus sp. in a loose bunch (250x).*

*Fig. 3. Old spore of Glomus mosseae with the remains of the peridium (360x).*