

A nehézfémek, a mikrobák és a magasabb rendű növények közötti kölcsönhatások értékelése és a „Gödöllői Mikrobiológiai Műhely”

(Talaj- és környezeti mikrobiológiai ülés, Budapest, 2006. július 28.)

A növény–mikroba–környezet közötti kölcsönhatások eredményeinek számbavételére, egyfajta történeti visszatekintésre került sor 2006. július 28-án, Budapesten, a Professzorok Házában az „Általános talaj- és környezeti mikrobiológiai tudományos ülés” keretében. A szakmai találkozót a Magyar Professzorok Világtanácsa (MPV), az MTA Szabolcs–Szatmár–Bereg megyei Tudományos Testülete (SzSzBTT) és a SziE Környezettudományi Doktori Iskolája (KDI) szervezte a „Gödöllői Mikrobiológiai Tudományos Műhely” létrehozója és vezetője, Kecskés Mihály 75. születésnapja tiszteletére. Annak ellenére, hogy az összejövetelnek az évforduló ily módon behatárolta az időpontját, hasonló, rendszeres tudományos üléseknek már 20 évre visszanyúló hagyománya van a Doktori Iskolában. Ezek az alkalmak adnak lehetőséget arra, hogy az aktuális alap- és alkalmazott kutatási eredményeket számba vegyük és elemezzük, különös hangsúlyt fektetve a fiatal doktoranduszok bemutatkozására, eredményeik megvitatására.

Az „Általános talaj- és környezeti mikrobiológiai tudományos ülés” kiemelt témaköre a környezeti abiotikus (stressz)tényezők hatás-értékelése volt. Az élettelen környezeti elemek között a nehézfémek tanulmányozása képviseli a legrégebbi kutatási vonalat a „Gödöllői Mikrobiológiai Műhely”-ben. Az eredmények számbavételében Kecskés Mihály hajdani és jelenlegi fiatal munkatársai is részt vettek, de csatlakoztak az így megnyilvánuló tiszteletadáshoz pályatársai is.

A bevezető előadások értékelték a rendezvényt szervező Magyar Professzorok Világtanácsának (MPV), az MTA Szabolcs–Szatmár–Bereg megyei Tudományos Testületének (MTA SzSzBTT) és a Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskolájának (SziE KDI) eddigi tevékenységét, valamint életre hívójuk és megalapítójuk, Kecskés Mihály, életútjának néhány fontosabb állomását is felidéztek.

A biológus diploma megszerzése után Kecskés Mihály a nemzetközi hírű talajbiológus, Fehér Dániel mellett, Sopronban folytatott tanulmányokat, majd Budapestre került a Soproni Talajbiológiai Iskolának az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetbe való áthelyezését követően Szegi József, Manninger Ernő és Szabó István Mihály pályatársaival együtt. Az itt szerzett tapasztalatok meghatározták a továbbiakban kutatásainak irányát, illetve kísérleti tevékenységét is az általános és az alkalmazott mikrobiológia terén. Ausztráliai tanulmányútja meghatározó szerepet töltött be, jelentős eredményeket ért el, így a növények rizoszférájában élő baktériumok deterioratív képességéről a Nature-ben számolt be. Későbbiekben kimutatta, hogy a nitrogénkötő rhizobiumok, vagy egyéb

hasznos rhizobaktériumok a herbicidek lebontására is képesek, de ezt a tevékenységet irányítottan fokozni, vagy a gyomirtó hatás megtartása érdekében akár lassítani is lehet. Az elmúlt évtizedekben a tanítványaival elért eredményeket több mint 400 közleményben mutatta be, és 5 találmány létrehozásában is részt vett. Kecskés Mihály ismertségét és széleskörű kapcsolatrendszerét jelzi, hogy hazai és nemzetközi rendezvényeken közel 400 előadást tartott, több mint félszáz külföldi egyetemet és kutatóintézetet látogatott meg, számos elismerésben részesült. Kiemelkedő a közéleti szervező és iskolateremtő tevékenysége.

A tudományos ülés a Gödöllői Mikrobiológiai Tudományos Műhely eddigi két generációjának bemutatkozásával folytatódott. A bevezető előadások az egyik legtöbb eredményt felmutató irányt, a nehézfémek és toxikus elemek mikrobiológiai hatásait mutatták be az elmélettől (Biró Borbála) a gyakorlatig (Czakó-Vér Klára). A további rövid prezentációkban a Doktori Iskola fiatal hallgatói a „természetes” környezeti stressz, a szikesség mikrobiológiai dinamikájától (Füzy Anna) eljutottak az ember által környezetbe juttatott „szerves mikroszennyezők” kutatási eredményeinek a bemutatásáig (Révész Sára, Pór Tamás), vagy a mikrobiológiai oltóanyagok gyakorlati alkalmazásáig (Ködöböcz László). A maga idejében új diszciplínaként megjelenő (KECSKÉS, 1976) szerves „életidegen” anyagoknak, a „xenobiotikumok”-nak a mikrobiológiai kutatása is folytatódott tehát, bár ennél a vonalnál a mezőgazdasági kemikáliák, a peszticidek napjainkban – a jelenlegi elterjedt alkalmazásukhoz viszonyítva – kisebb hangsúlyt kapnak.

A nehézfémek és toxikus elemek felhalmozódása a talaj–növény–mikroba–klíma rendszerekben világméretű gondokat okoz. Ezeknek az elemeknek a többsége nyomokban (nyomelemként) szükséges a létfontosságú anyagcsere-folyamatok megfelelő működéséhez, de a túlzott mennyiségek káros hatásaira is figyelniünk kell (KÁDÁR, 1995). Az ember ipari tevékenysége, a mezőgazdaság intenzív kemizálása, az urbanizáció előmozdította az ilyen elemek feldúsulását a környezetben (BALÁZSY, 2000; CSATHÓ, 1994). Annak ellenére, hogy a nehézfémek legfontosabb forrásai az üzemanyagok kipufogógázai, a kommunális és ipari hulladékanyagok, a szennyvizek vagy a festékek stb., a talajjal nincsenek közvetlen kapcsolatban, mégis számottevő hatást gyakorolhatnak a talajok életére és működésére is. A talaj- és rizoszféra mikrobái, mint egyféle önálló „szervezeti egység” (trofikus szint) képesek befolyásolni a nehézfémeknek és toxikus elemeknek a talaj–növény–állat–ember táplálékláncban való mozgását, feldúsulását, vagy akár az oda be nem kerülését is (KÁDÁR, 1995; SIMON & BIRÓ, 2005).

A nehézfémek hatásainak laboratóriumi in vitro értékelése

A növény–mikroba–nehézfém kölcsönhatások tanulmányozásánál a hasznos, jótékony mikroszervezetekre, így a nitrogénkötő szimbióta *Rhizobium*- (BAYOUMI et al., 1994, 1995), vagy asszociatív *Azospirillum*- (BIRÓ et al., 1993, 1995) és szideroformterelő *Pseudomonas* rhizobaktériumok (BIRÓ et al., 1995a; VÁRADY et al., 2002) mellett a szaprofit *Trichoderma* gombák (ROMÁN et al., 2001a,b) vizsgálataira koncentráltunk. Az érzékenységi teszteknel elkülönítettük a talajból, vagy a növényi rizoszférából származó izolátumokat, hogy a gazdanövény befolyásoló hatására is következtetni tudjunk (KECSKÉS et al., 1997). A Tiszán történt vízszennyezés után különféle mikrobacsoportok nehézfém- és cianérzékenysége közötti összefüggéseket is tanulmányoztuk szelektív táplemezekről izolált jellemző törzseken (OLDAL et al., 2001). A vízszennyezés helyszíne felett, vagy a vízfolyás irányában a szennyezéstől távolodva

vett víz- és üledékmintákban a nehézfém-érzékenység mintázata, valamint a ciánérzékenységgel való összefüggése is kimutatásra került.

A laboratóriumi vizsgálatokkal feltételeztük, hogy az azonos helyről származó törzsek nehézfém-tűrőképessége között is lehetnek jelentős különbségek, ami megteremtheti az alapját annak, hogy az adott környezeti tényezőkhez megfelelően adaptált törzsek kinyerhetők legyenek. Az adaptáció hatására a mikrobák jobb nehézfém-tűrő- és kedvezőbb túlélőképességét feltételeztük, amit később, *R. leguminosarum* bv. *trifolii* törzsekkel igazoltunk (BIRÓ et al., 2001). Tanulmányoztuk a nehézfémek legkülönbözőbb sóformációinak hatásait, továbbá a fémek közötti interakcióknak az érzékenységet szinergista módon fokozó, vagy éppen ellenkezőleg, azt tompító kombinációit is (KUCSMA et al., 1994). In vitro körülmények között folyadék kultúrában kimutatásra került, hogy bizonyos fémek, elsősorban az esszenciális mikroelemek (így pl. a Fe, Mn és Mo) kis ($1\text{--}30\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) koncentrációban képesek csökkenteni, pufferni a nehézfémek káros, „nagy” ($5\text{--}90\text{--}270\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) dózisainak a mikroorganizmusok szaporodására kifejtett kedvezőtlen hatásait is. Az egyféle nehézfém-tolerancia vizsgálatánál ezért szükségessé vált számos egyéb, a környezet legkülönbözőbb élettelen, abiotikus tényezőjének a hatáselemzése, vagy a kölcsönhatások tanulmányozása is. A laboratóriumi modell kísérletek során a tényezőket egyenként, vagy akár különböző kombinációkban is tanulmányoztuk (BAYOUMI et al. 1994, 1995; BIRÓ et al. 1995a,b). A leginkább hasznos mikroorganizmusokkal, rhizobiumokkal, bradyrhizobiumokkal, pseudomonaszokkal, bacillusokkal és trichodermákkal megvalósított tesztekben adatokat nyertünk a különböző törzsek pH-érzékenységéről, sótűréséről, hőmérsékletigényéről, antibiotikum-tűrő-, antagonista- és túlélőképességéről, valamint a legkülönbözőbb peszticiddel vagy xenobiotikummal szembeni toleranciájáról is. A kiterjedt laboratóriumi, *in vitro* vizsgálatok eredményei alapján a nehézfémekkel szemben (is) toleráns, és ismert egyéb tulajdonságokkal jellemezhető törzsgyűjtemény állt rendelkezésünkre a további vizsgálatok, vagy biotechnológiai alkalmazások céljára (BIRÓ, 2002; BIRÓ & PACSUTA, 2002).

A nehézfém-toleráns mikroorganizmusok haszna és irányított alkalmazása

A mikroszimbionták – azaz a növényvel szoros együttműködést kialakítani képes nitrogénkötő *Rhizobium* baktériumok és foszformobilizáló arbuskuláris mikorrhiza gombák – jelentősége az, hogy közreműködésükkel csökkenhetnek a gazdanövényt érő káros környezeti és antropogén hatások és javulhat a talaj–növény–mikroba–állat–ember tápláléklánc minősége is (TAKÁCS et al., 2000; SIMON & BIRÓ, 2005).

A környezeti tényezőkhez (pl. a nehézfémekhez) adaptált mikroorganizmusok alkalmazásával a nehézfém-stressz csökkenését lehetett számos esetben igazolni a gazdanövényen. A környezeti adaptáció során azonban nemcsak egyféle mikrobatorzs, hanem egy közösség, populáció reagál a stresszor, azaz a nehézfémek jelenlétére. A mikrobiális közösségeken belül az egyedek érzékenysége nagyon változatos mintázatot ad. A tartós környezeti stressz során azonban a stresszor (pl. a nehézfém, szárazság, talajsavanyúság, szikesedés) hatására általában csak a toleráns egyedek maradnak meg. Ez a szelekciós tényező a faji és egyedi sokféleség, mintázat csökkenését eredményezi, amint azt a *Trichoderma* gombák vizsgálatai is bizonyítottak (ROMÁN et al., 2001b; NAÁR & BIRÓ, 2006), vagy később az arbuskuláris mikorrhiza gombák példája is igazolt a nehézfém-szennyezett (TAKÁCS et al., 2000), és a szikes területeken is (LANDWEHR et al. 2002).

A mikroorganizmusok mennyisége és aktivitása tehát a talaj–növény–mikroba-klíma rendszerekben a környezeti tényezők által meghatározott módon alakul. A folyamatban a mikroorganizmusok maguk is olyan környezeti (biotikus) elemek, amelyek befolyásolhatják egyrészt más mikrobacsoportok jelenlétét és aktivitását, vagy közvetlen és közvetett tevékenységük révén a talajok és a növények közötti kölcsönhatások alakulását is. Ezek a többtényezős, összetett rendszerek ezért tulajdonságukban állandóan, dinamikusan változnak és megnyilvánulásukat – a tartamhatásokat értékelve – általában a folyamatosan leginkább ható tényező alakítja ki.

A gazdanövény (makroszimbionta) és a hasznos mikroszervezet (mikroszimbionta) a környezeti körülményekhez egymástól függő módon „együttes” erővel igazodik. Ez a lényege a szimbiózisnak, ami ezáltal az ún. koevolúció (kölsönös adaptáció), együttműködő küzdelem („struggle for life”) eredményeként alakult ki (BIRÓ et al. 2005). A „harcban” mind a növényeket, mind a hasznos mikroszervezeteket további mikroorganizmusok (ún. „helper” partnerek) segíthetik, ahol azok tennivalóit, illetve a működés megnyilvánulását a gazdanövény igénye, a szükség alakíthatja ki. Bioenergetikai mérések is igazolták például, hogy a hármas, tripartite szimbiózisban a nitrogénkötő *Azospirillum* baktérium nem köt nitrogént, de esetleg hormont termel akkor, ha a nitrogénre a gazdanövénynek a *Rhizobium* jelenléte miatt már nincs szüksége (BIRÓ et al. 2000).

A többféle mikroorganizmus bevonásával megvalósított konzorciumok működésének a megértése, a hasznos tulajdonságok összehangolt alkalmazása jelentheti ezért a mikrobiális oltóanyagok további kutatási irányait. Ennek az elvárásnak a jegyében a nitrogénkötők (BIRÓ et al., 1996) és a foszformobilizáló biotrágyák (VÖRÖS et al. 1998) mellett a jó túlélőképességgel és kiemelkedő hormontermelő képességgel jellemezhető *Brevibacillus* törzsek kombinált alkalmazása (VIVAS et al., 2006), vagy a *Pseudomonas* rhizobaktériumok fitofiltrációt, fitoextrakciót javító hatása is igazolódott (SIMON et al., 2005). A talaj–növény–mikroba rendszerekben sok esetben a hasznos mikroorganizmusok kedvező hatását csak az adott talaj fizikai és kémiai tulajdonságának a javításával aknázhatjuk ki (SIMON & BIRÓ, 2005; CZAKÓ-VÉR et al., 2006), de ehhez is szükséges az élő és élettelen környezet közötti kölcsönhatások pontos megértése.

Összefoglalás

A nehézfémeknek a talaj–növény rendszerek mikrobiológiai tulajdonságaira kifejtett néhány fontosabb eredményét tekintettük át a Gödöllői Mikrobiológiai Tudományos Műhelyben elkezdett tevékenységtől napjainkig. A mikroorganizmusok nehézfém-érzékenységének a laboratóriumi, *in vitro* vizsgálatától eljutottunk a szabadföldi körülményekig, ahol már a környezeti élő és élettelen (biotikus és abiotikus) tényezők hatásaival és az egyedi tulajdonságok különleges mintázatával is számolnunk kell. A kezdeti kutatásokat a Gödöllői Mikrobiális Műhely szakmai munkája után a Szent István Egyetem „Környezeti mikrobiológiai és biotechnológiai” doktori alprogramja folytatja tovább, amelynek legújabb eredményeit is megismerhettük a címben jelzett mikrobiológiai tudományos ülésen. Az ülésről és kutatásokról szóló rövid összefoglalót – a háttérteret kialakító és meghatározó – Kecskés Mihály 75. születésnapja tiszteletére ajánlom.

Irodalom

- BALÁZSY S., 2000. Fémek szóródása az ökológiai rendszerekben. Bessenyei György Könyvkiadó. Nyíregyháza.
- BAYOUMI, H. E. A. F., BIRÓ, B. & KECSKÉS M., 1994. *In vitro* metal-tolerance of some symbiotic beneficial bacteria. Acta Microbiol. Immunol. Hung. **42**. 243–244.
- BAYOUMI, H. E. A. F., BIRÓ, B. & KECSKÉS, M., 1995. Some environmental factors influencing the survival of *Rhizobium leguminosarum* *bv. viceae*. Acta Biol. Hung. **46**. 17–30.
- BIRÓ B., 2002. Talaj- és rhizobiológiai eszközökkel a fenntartható növénytermesztés és környezetminőség szolgálatában. Acta Agronom. Hung. **50**. 77–85.
- BIRÓ B. & PACSUTA J., 2002. Újgenerációs szemlélet és lehetőségek a talajbiológiai aktivitás és a talajtermékenység irányított fokozására. Gyakorlati Agrofórum. **13**. (11) 72–74.
- BIRÓ, B., BAYOUMI, H. E. A. F. & KECSKÉS, M., 1995. Symbiotic and associative N₂-fixers or scavenger strains affected by Cu²⁺ and Zn²⁺ heavy metals *in vitro*. In: Azospirillum VI. (Eds.: FENDRIK, I. et al.). NATO ASI Series G. Ecol. Sci. **37**. 495–503. Springer Verlag. Berlin, Germany.
- BIRÓ, B., TIRICZ, H. & MORVAI, B., 2001. Investigations on the vitality, resistance and diversity of metal-adapted and non-adapted *Rhizobium* strains. Acta Microbiol. Immunol. Hung. **48**. 167–157.
- BIRÓ B. et al., 1993. Cu²⁺ és Zn²⁺ ionok hatása szimbiotikus és asszociatív baktériumok szaporodására laboratóriumi körülmények között. Agrokémia és Talajtan. **42**. 343–350.
- BIRÓ B. et al., 1995a. Metal sensitivity of some symbiotic N₂-fixing bacteria and *Pseudomonas* strains. Acta Biol. Hung. **46**. 9–16.
- BIRÓ B. et al., 1996. Interrelation between rhizosphere microorganisms and red clover at metal stresses. In: COST Action 8.21, Activity Report. (Eds.: GIANINAZZI, S. & SCHÜEPP, H.) 85–86. EU-DG.
- BIRÓ, B. et al., 2000. Interrelation between *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa at sterile, AMF-free or normal soil conditions. J. Appl. Soil Ecol. **15**. 159–168.
- BIRÓ, B. et al., 2005. Mycorrhizal functioning as part of the survival mechanisms of barley at long-term heavy metal stress. Acta Biol. Szegediensis. **49**. 65–68.
- CZAKÓ-VÉR K. et al., 2006. Pécs környéki ipari területek remediációja és a talajok mikrobiológiai aktivitása. In: Abstract of 2nd Kárpát Konferencia. 126. Pécs.
- CSATHÓ P., 1994. A környezet nehézfém-szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete–AKAPRINT. Budapest.
- KÁDÁR I., 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM–MTA TAKI. Budapest.
- KECSKÉS M., 1976. Mikroorganizmusok, magasabb rendű növények és a xenobiotikumok közötti kölcsönhatások értékelése. Akadémiai Doktori értekezés és tézisei. Budapest.
- KECSKÉS, M. et al., 1997. Heavy metal toxicity on various soil and rhizosphere microorganisms. Acta Aliment. **26**. 313–314.
- KUCSMA, N. et al., 1994. Effect of metal combinations on growth of various *Rhizobium* species. Acta Microbiol. Immunol. Hung. **42**. 117–118.
- LANDWEHR, M. et al., 2002. The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus geosporum*, colonizes halophytes in European saline, alkaline and gypsum soils. Mycorrhiza. **12**. 199–211.
- NAÁR, Z. & BIRÓ, B., 2006. Species composition of indigenous *Trichoderma* fungi affected by Cd, Ni and Zn heavy metals in calcareous chernozem soil. Agrokémia és Talajtan. **56**. 261–270.
- OLDAL, B. et al., 2001. Cyanide and heavy metal sensitivity of microbial isolates of polluted Tisza river. Sci. Bullet. (Univ. Baia Mare), C-XIV. 197–202.
- ROMÁN, F. et al., 2001a. The effect of Cd, Ni and Zn heavy metals on the growth of some *Trichoderma* species. Sci. Bullet. (North Univ. Baia Mare), C-XIV. 249–252.

- ROMÁN, F. et al., 2001b. Heavy metal tolerance of *Trichoderma* fungi isolated at different adaptation periods in a long-term field experiment. *Acta Microbiol. Immunol. Hung.* **48**. 201–202.
- SIMON L. & BIRÓ B., 2005. Adalékanyagok, vörös csenkesz és Zn-toleráns arbuszkuláris mikorrhiza gombák szerepe a nehézfémekkel szennyezett gyöngyösoroszi bányameddő remediációjában. *Agrokémia és Talajtan.* **54**. 163–177.
- SIMON, L. et al., 2005. Enhancement of Cd and Ni phytofiltration capacity of Indian mustard (*Brassica juncea*) with Pseudomonads. In: Book of Abstracts, 8th ICOBTE, Internat. Conf. Biogeochem. Trace Elements (Eds.: LOMBI, E. et al.) 314–316. CSIRO, Adelaide, Australia.
- TAKÁCS T., BIRÓ B. & VÖRÖS I., 2000. Kadmium, nikkell és cink hatása az arbuszkuláris mikorrhiza gombák faji diverzitására. *Agrokémia, Talajtan.* **49**. 465–478.
- VÁRADY GY. et al., 2002. Rhizobaktérium törzsek szaporodásának és vasmegkötő képességének nehézfém-érzékenysége. *Agrokémia és Talajtan.* **51**. 481–490.
- VIVAS A. et al., 2006. Two bacterial strains isolated from a Zn-polluted soil enhance plant growth and mycorrhizal efficiency under Zn-toxicity. *Chemosphere.* **62**. 1523–1533.
- VÖRÖS, I. et al., 1998. Effect of AM fungi on the heavy metal toxicity to *Trifolium pratense* in soils contaminated with Cd, Zn and Ni salts. *Agrokémia és Talajtan.* **47**. 277–289.

Érkezett: 2006. október 24.

BIRÓ BORBÁLA
MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutatóintézet, Budapest