

## A talaj szennyeződése a Felső-Tisza-vidéken: a mikroorganizmusok szerepe a szennyeződések bioindikációjában és a homeosztázis szabályozásában

Boyko, N.<sup>1</sup> – Chonka, I.<sup>2</sup> – Koval, H.<sup>1</sup> – Kolesnyk, A.<sup>3</sup> –  
Kolesnyk, O.<sup>3</sup> – Balázsy S.<sup>4</sup>  
Ungvári Nemzeti Egyetem, <sup>1</sup>Orvosi Kar, <sup>2</sup>Kémiai Kar,  
<sup>3</sup>Biológiai Kar Ungvár, Ukrajna  
<sup>4</sup>Nyíregyházi Főiskola, Biológia Intézet  
E-mail: kolesnyk@univ.uzhgorod.ua

### Összefoglalás

A 2000–2004-es évek folyamán a nehézfémekkel szennyezett Tisza menti ártéri területek állapotának, valamint a mikrobacönózisok mennyiségi, minőségi sajátosságainak a vizsgálatát tűztük ki célul. A kémiai-mikrobiológiai vizsgálatok eredményei szerint a kontroll talajokhoz viszonyítva a szennyezett árterületeken egy regenerációs tendencia van folyamatban, ami képes visszaállítani a nehézfémek által szennyezett talaj-mikroba homeosztázist. Legellenállóbbnak a nehézfém-szennyeződésre az aerob organotróf baktériumok bizonyultak. Legkisebb az ellenálló képességük a sugárgombáknak. Közepes pedig *in situ* feltételek között a mikroszkópikus gombáknak és a nitrogén-kötő mikroorganizmusoknak. Legnagyobb életképességet a spórások és a poliszacharid burokkal rendelkező mikroorganizmusok mutattak. A diazotróf baktériumok érzékenysége *in vitro* elsősorban azok fajától és nemzetségüktől függött.

### Summary

The aim of the study, conducted in 2000–2004 is the qualitative and quantitative assessment of the microbial parameters of the Tisza River edaphons. Data obtained proved a gradual renewal of the soil microbial homeostasis, exposed by the heavy metals contamination. Bacteria belonging to the aerobic chemoorganotrophic group showed the maximum resistance to the heavy metals, while actinomycetes (ray fungi) showed the less resistance to it. Microscopic fungi and nitrogen-fixing microorganisms are in the intermediate position; i.e. they are characterized by moderate resistance to heavy metals *in situ*. It was the cryptogamous bacteria and those having exopolysaccharide capsules that showed maximum resistance to heavy metals. Studying the impact of heavy metals upon the sensitivity of diazotrophs it was a greater extent depending by the species and genera of the certain microorganisms *in vitro*.

### Bevezetés

Ismeretes, hogy a biotópok igen sokféle mikroorganizmust tartalmaznak. A már kialakult biotópokban a mikrobiocönózis mennyiségi és minőségi összetétele viszonylag stabil, és határozott autostabilizációs képességgel bír. Mind a fiatal, mind a stabilizálódó biotópok különböző tartamú toxikus

hatásokra jelentősen aktivizálódnak többek között az egyes csoportok közti konkurencia miatt. Ennek következtében a biotópok elveszítik stabilitásukat és regeneráló-képességüket, ami az ökoszisztéma állandóságának megbontását vonja maga után (ANDREJUK és mtsai, 1999; SZVIRKENE, 1999).

Az utóbbi időben mind gyakrabban alkalmazzák a mezőgazdaságban a szerves- és műtrágyákat, a rovarirtó szereket, amelyek amellet, hogy növelik az agrocönózisok biológiai termékenységét, jelentősen szennyezik a talajt, többek között nehézfémekkel (VORONOV & SZIDOROV, 1999; OKSZENGENDLER, 1991). A vegyszerek bioszférában való körforgásában és felhalmozódásában jelentős szerepet játszik a talaj, a detoxikálásukban a talaj mikroorganizmusai (LAGUNOV, 1985; SORENSEN és mtsai, 2003). A nehézfémek a legveszélyesebb technogén tényezők, képesek átalakítani az ökoszisztémákat, mert toxikusak és könnyen akkumulálódnak (VOZONOV & SZIDOROV, 1999). Egyes nehézfémek, pl. a Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Ni, Co, Hg és As bekerülése a talajba a biológiai folyamatok jelentős zavarát idézik elő, viszont a toxikusság határfoka nagymértékben függ azok koncentrációjától (HOLOVATIJ, 2002). A nehézfémek kis mennyiségben serkentik a mikroorganizmusok szaporodását, mivel strukturális és funkcionális komponensei számos enzimnek és egyéb biológiailag aktív vegyületnek (VOZONOV & SZIDOROV, 1999). Nagyobb mennyiségben viszont erősen gátolják a mikrobapopulációk átrendeződését és eloszlását, kedveznek a mikroorganizmusok toleráns formáinak (STEPHEN és mtsai., 1999).

Fontos megjegyezni, hogy a toxikus anyagok hatása a mikroflórára függ a bevitel módszerétől, valamint a mennyiségüktől és a kitétség mértékétől is. A különböző talajban található mikroorganizmusok közül fő szerepet a spórás baktériumok, a diazotrófok, a mikromiceták és az aktinomiceták játszanak. E baktériumok populációinak a mennyiségi és eloszlási meghatározása révén reális képet kaphatunk a toxikus ágensek biológiai folyamatokra kifejtett hatásáról.

### **Vizsgálati anyag és módszer**

2000 és 2004 között (tavasz-ősz) feltérképeztük a Tisza menti ártéri ökoszisztémák állapotát Magyarországon és Ukrajnában (13 mintavételi hely, két mintakontroll). A talajminták kiválasztásánál figyelembe vettük a folyótól való távolságot és az árvízzel elöntött terület nagyságát. A fémszennyeződést (Cu, Pb, Zn, Mn) a Felső-Tisza-vidék árterületén kémiai, biológiai és mikrobiológiai módszerekkel határoztuk meg.

Mivel a talaj mikrobacönózisának jellemzése az egyik legpontosabb és leginformatívabb mutatója (kritériuma) a talaj állapotának, célként tűztük ki a nehézfémekkel szennyezett Tisza menti ártéri területek állapotának tanulmányozását, valamint a mikrobacönózisok mennyiségi és minőségi sajátosságainak a vizsgálatát. A Tisza menti ártéri ökoszisztémák vizsgálata a

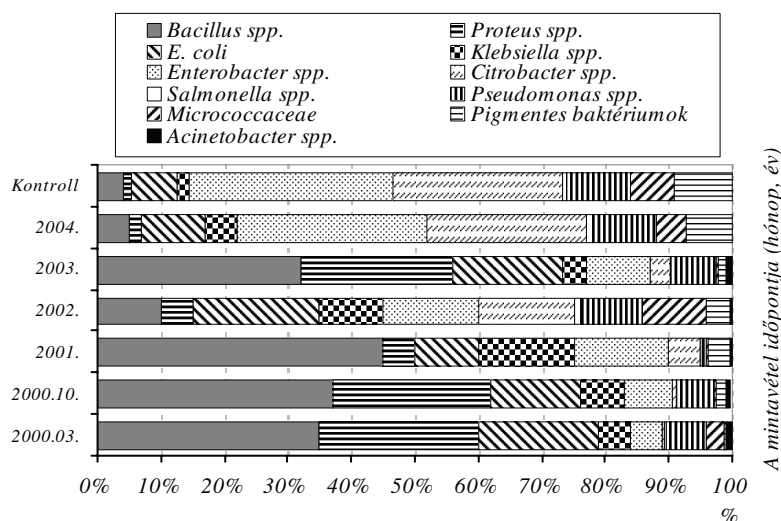
beregi régióban egy sor törvényszerűséget mutatott ki az élőhelyek biokémiai aktivitásában. E célból megvizsgáltuk a talajok enzimaktivitását is, azaz a celluláz (ANDREJUK és mtsai, 1988), a foszfatáz (HAZIJEV, 1990), az invertáz (KUPREVIES & SCSEBBAKOVA, 1966) és a dehidrogenáz aktivitását (GÁLSZTIÁN, 1974).

### **Az eredmények és értékelésük, következtetések**

A tanulmányozott területek talajában a különböző baktériumcsoportok egyensúlyzavarát, valamint egyes mikrobapopulációk mennyiségi arányának elváltozását állapítottuk meg a nehézfém-szennyeződés hatására (CHONKA, 2003., BOYKO és mtsai., 2004). Közvetlenül a szennyeződés után (2000. április) strukturális elváltozásokat mutattak az ártéri talajok mikrobaközösségei, ami főképpen a faji megoszlás változását vonta maga után. A kontroll minták bakteriológiai vizsgálata a domináns baktériumok 6 vagy több morfortípusát mutatta ki, ugyanakkor a szennyezett talajmintákban a számuk nem haladta meg a négyet (1. ábra). Nyilvánvaló, hogy a nehézfém-szennyeződés hatására elhalt mikroorganizmusok helyét más, ellenállóbb formák töltik be. Az általunk kapott eredmények általában egyeznek más szerzők adataival (BABJEVA és mtsai., 1980, BULAVKO, 1982, KOSZINOVA, 1985).

A 6 hónap múlva megismételt vizsgálatok (2000, október) nem mutattak ki lényeges változásokat, pl. a bacillusok (*Bacillus spp.*) mennyiségében. Az enterális eredetű *E. coli* baktériumok száma ugyanakkor 19 %-kal csökkent, a fakultatív-patogén enterobaktériumok száma pedig 15 %-kal emelkedett. A pigmentált baktériumok száma is kevesebb lett, és mindössze 0,2 %-át tette ki a baktériumok domináns fajtáinak.

A 2001-ben elvégzett bakteriológiai vizsgálatok 45 %-os növekedést mutattak ki a „bacillus típusú” mikroorganizmusoknál, az *E. coli* baktériumok, továbbá a pszeudomonaszok száma pedig 15,5 %-kal csökkent. Ehhez viszonyítva 6 %-os növekedést észleltünk a nyálkás, fakultatív-patogén enterobaktériumoknál, pl. a *Klebsiella spp.*, *Enterobacter spp.*, *Citrobacter spp.* és a *Salmonella spp.* A pigmentált baktériumok száma jelentős növekedést mutatott, pl. *Flavobacterium spp.*, *Serratia spp.*, *Xanthomonas spp.*



1. ábra. A domináns hemorganotróf-baktériumok százalékos aránya a nehézfémekkel szennyezett Tisza menti ártéri talajokban

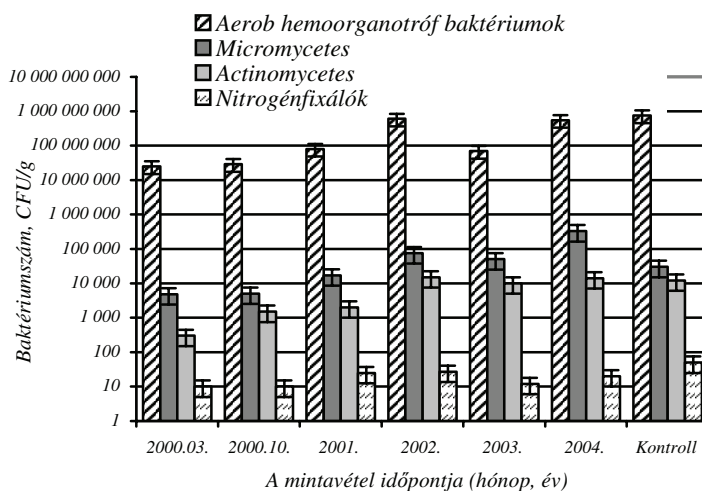
Fontos kiemelni, hogy a nehézfémek által legszennyezettebb talajokban mindig nagy mennyiségben találtunk nitrátredukáló baktériumokat (*Acinetobacter* spp.), ami véleményünk szerint jellemző indikátora a nehézfém-szennyeződésnek. Az említett baktériumok száma az erősen szennyezett talajokban kb. 1 %-a volt a domináns kemoorganotróf fajoknak (1. ábra). A kontroll ártéri talajmintákban az *Acinetobacter* spp.-t vagy csak ritkán tudtuk kimutatni, s ha igen, akkor a számuk igen alacsony volt.

A 2002-es vizsgálatok igen kisszámú pálcika formájú baktériumot igazoltak (a csökkenés 10 %-os volt), viszont jelentős emelkedést észleltünk a kokkobacillus pl. *Streptococcus albus*, *S. aureus*, *Micrococcus* spp., az enterobaktérium (63 %), pszeudomonaszok (10 %) és más pigmentált törzsek körében (*Chomobacterium* spp., *Flavobacterium* spp., *Serratia marcescens*, *Xanthomonas* spp.) (7%).

A 2003-ban elvégzett mérések a 2000 őszén végzett vizsgálatokat igazolták, azaz a mikrobiocönózis ismét visszatért a 2000-es szintre. Nagyszámú bacillust, bélbióta-elemet, proteust és pszeudomonaszt találtunk, viszont az enterobaktériumok és a pigmentet tartalmazó baktériumok száma csökkenő tendenciát mutatott.

2004-ben a lassan visszaállt a kontroll, azaz a nem szennyezett területekre jellemző baktériumok régebbi aránya. Bizonyos pigmentált baktériumcsoport (*Flavobacterium*, *Xanthomonas*) számának növekedése jelzi a szennyezett talaj öntisztuló képességét és a baktériumcönózisok readaptációját az új feltételekhez.

Több szerző véleménye szerint különböző szennyeződésekkel szemben a mikromicéták rendelkeznek a legnagyobb ellenállóképességgel (KORECKAJA és mtsai, 2003, MARVIN és mtsai, 2003). A végzett vizsgálatok ugyanakkor kimutatták, hogy a szennyezett talajmintákban lényegesen kisebb a mikroszkopikus gombák száma, összehasonlítva a kemoorganotróf baktériumok mennyiségével. Ez a mikroorganizmusok nagy nehézfém-érzékenységre utal.



**2. ábra.** Főbb mikroorganizmus-csoportok jellemzői az árterületek talajában 2000–2004. években

A mikro- és az actinomiceszek számának növekedése 2000 októberére, a tavaszi adatokkal szemben, egy kifejezett regenerálódási tendenciáról tanúskodik az árterületi talajokban (2. ábra). A változásoknak ez a dinamikája folytatódott a következő, 2001. évben is. A diazotrófok száma a 2000. év folyamán a talajban nem változott (kb.  $10^1$  CFU.g<sup>-1</sup>). A következő, 2002. évben némi növekedést tapasztaltunk (kb.  $5 \times 10^1$  CFU.g<sup>-1</sup>).

Amint a fenti adatokból kitűnik, 2002-ben a nehézfémekkel szennyezett árterületeken elvégzett mikrobiológia vizsgálatok nem mutattak érzékelhető aránybeli különbséget a különböző mikroorganizmusok között, szemben a „tisztá” (kontroll) területekkel. Az organotrófok összes mikrobaszáma  $10^9$  CFU.g<sup>-1</sup> volt, a *Micromycetes* és *Actinomycetes* mikrobák száma pedig  $10^5$ - $10^4$  CFU.g<sup>-1</sup> talaj. A 2003. év folyamán az erősen szennyezett talajokban mind a négy mikrobacsoport száma ismét lecsökkent, viszont a 2004. évben arányuk visszatért a 2002-es évihez, és gyakorlatilag elérte a kontroll értékeket.

A megállapított mikrobaszám-változatosság a szennyezett árterületi talajokban egyenes arányban van a talaj nehézfém-tartalmával. Fontos aláhúzni, hogy a talajokban a baktériumkomplexumok száma és taxonómiastruktúrája

korrelációs összefüggésben áll a talaj nedvességtartalmával és kémhatásával. Ez hatással van a nehézfémek mikroorganizmusok általi mobilizációjára, immobilizációjára, valamint akkumulációjára a talaj-baktérium-növény-állat rendszerben. (TASIREV, 1995).

A kémiai-mikrobiológiai vizsgálatok eredményeiből kitűnik, hogy a kontroll-talajokhoz viszonyítva a szennyezett árterületeken egy regenerációs tendencia van folyamatban, ami fokozatosan és hosszú távon megy végbe, és ami képes visszaállítani a nehézfémek által szennyezett talaj mikroba-homeosztázisát. Ugyanakkor a 4 éves vizsgálataink nem mutattak ki teljes regenerálódást a tanulmányozott mikroorganizmusok nemzetségeinél a felső-Tisza-vidéki árterületek talajaiban.

Legellenállóbbak a nehézfém-szennyeződésre az aerob organotróf baktériumok, legkevésbé az actinomycetesek bizonyultak. Közepes ellenálló képesség *in situ* feltételek között a mikroszkópikus gombákra és a nitrogén-kötő (pl. *Azotobacter* sp.) mikroorganizmusokra jellemző. A 2000. évi ökológiai katasztrófa idején a spórás baktériumok és poliszacharid burokkal rendelkező mikroorganizmusok mutattak határozott életképességet. Ezek a mikroorganizmusok effektív nehézfém-neutralizációs képességgel rendelkeznek, mivel be tudják építeni a fémeket az anyagcsere-folyamataikba. A talaj homeosztázisának visszaállítása során a hirtelen megnőtt mikrobaszám egyes patogén baktériumai (*Enterobacteriaceae*, *Klebsiella*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Enterobacter*) epidemiológiai problémát okozhatnak.

Az ökoszisztémák monitoringja, ami magába foglalja a pedoszféra kémiai és mikrobiológiai mutatóinak a meghatározását, aktuális és fontos lehet több szempontból is: 1) lehetőséget ad a szennyezett területek korai feltárására, 2) prognózist nyújthat a szennyeződés akkumulációjának az időtartamáról, és a biogén közforgalomból való távozásának a gyorsaságáról, 3) jellemzi a technogén (antropogén) transzformáció fokát a szennyezett talajokban, valamint az ökológiai kockázat nagyságát.

A mikromyceták, az actinomyceták és a nitrogén-kötő baktériumok száma és domináns képviselőinek mennyisége, valamint az aerob kemoorganotróf baktériumok mennyisége fontos és pontos indikátora lehet az ártéri élőhelyek nehézfém-szennyeződési fokának. A *Bacillus*, az *Enterobacter*, a *Pseudomonas* nemzetségek számbeli növekedése tanúskodik a nehézfémek mennyiségéről, viszont a pigmenttartalmú aerob mikroorganizmusok (*Flavobacterium*, *Xantomonas*) számának csökkenése az ártér kritikus nehézfém-szintjéről ad információt. A nagyszámú enterobaktérium, a mikro- és aktinomiceták számának növekedése, a bacillusok mennyiségének csökkenése, a pigmenttartalmú és nitrogén-kötő fajok újra megjelenése fontos bizonyítékkal szolgál a megbomlott mikrohomeosztázis megújulásáról, a talaj öntisztulásának előrehaladásáról.

*In vitro* a diazotróf baktériumok érzékenysége a baktériumok fajtától és a nemzetségtől függ. A nitrogén-kötő baktériumok nehézfémekkel szembeni

közepes toleranciája a Tisza ártéri talajában a mikroorganizmusok változatosságával van összefüggésben, mivel a jelenlévő mikroorganizmusok mindegyike más-más módon reagál a toxikus anyag jelenlétére. A talaj N<sub>2</sub>-kötő baktériumainak száma szoros összefüggésben van a növényzettel is.

A nitrogén-kötő baktériumok érzékenysége a domináns fajok egyes képviselőinek a szennyeződésre adott reakciójától függ. Azonosítani lehet olyan nitrogénkötő fajokat is (törzseket, nemzetségeket), amelyek effektíven képesek semlegesíteni a toxikus hatást. Az ilyen baktériumok számát a talajban módunk van szabályozni is különböző szimbióta növények ültetésével. Maguk a növények is fel tudják erősíteni a baktériumok detoxifikáló hatását.

### Irodalomjegyzék

- ANDREJUK, E.I., IUTINSZKAJA, G.A., PETRUSA Z.V., (1999): Gomeosztaz mikrobnih szoobcsesziv pocsv, zagrjaznyennih tyazsolimi metallami Mikrobiol. Zsurn. **61.** 15-21.
- ANDREJUK, JE. I., IUTINSZKAJA, G.A., DULJGEROV, A.N. (1988): Pocsvennyije mikroorganizmi i intenzivnoje zemljepoljzovanyije. K.: Nauk. dumka. p.192.
- BABJEVA, I.P., LEVIN, SZ.V., RESETOVA, I.SZ. (1980): Izmenenyije csiszljennosztyi mikroorganizmov v pocsvah pri zagrjaznyenyiji tyazsolimi metallami Tyazsolije metalli v okruzsajuscsej szrede. M.: Izd-vo Moszk. un-ta. pp. 115–120.
- BOIKO, N.V., CSONKA, I.I., PENZELY, O.B., SZTEFURAK, V.P., BALAZSY, S. (2004): Monitoring sztanu hruntiv baszejnu riki Tisza Tezi dopovidej. X zjizd Tovarisztva mikrobiolohiv Ukrajini (15-17.09. 2004.) Odesza: Asztroprint. p. 262.
- BULAVKO, G.I.(1982): Vljijanyije razljicsnih szojegyinyenyij szvinca na pocsvennuju mikrofluoru Izv. Szib. otd. AN SzSzSzR. Szer. Biol. **1.** 5. 79–86.
- CHONKA, I.I. (2003): Assessment of microbial status of soils of Transcarpathian region, following their contamination with mining industry waste International Weigl Vonference. „Microorganisms in pathogenesis and their drug resistance” (September 11–14, 2003) L'viv: LNU. p. 97.
- GALSZTYAN, A.S. (1974): Fermentativnaja aktyivnoszty pocsv Armeniji: Trudi.-Vip. III.-Jerevan: Ajasztan. p. 259.
- HAZJEV, F.H. (1982): Szisztyemno-ekologicseszki analiz fermentativnoj aktyivnosztyi pocsv. M.: Nauka. p. 203..
- HOLOVATIJ, SZ. JE. (2002): Tyazsolije metalli v agroekoszisztyemah. Minszk: Reszpublikanszkoje unitarnej predpriyatije „Insztitut pocsvovegyenija i agrohimiji”. p. 239.
- KORECKAJA, I.I.; TALALAJKO, N.N.; SZVISZTOVA, I.D. (2003): Narusenyije sztrukturi kompleksza mikromicetov v urbanizovannih ekoszisztjemah Sz.b.tez. „Biologija nauka XXI veka”. 7-aja Puscsinszka skola-konferencija molodih ucsekih (14-18. 04. 2003). Puscsino (Rosszija). p. 115.
- KOSZINOVA, L. JU. (1985): Izmenenyije sztrukturi mikrobiocenozov i fermentativnoj aktyivnosztyi nyekotorih pocsv pod vlijanyiem szvinca i kadmija Mikrobiocenoz pocsv pri posztojannom antropogennom vozgyejsztviji. Novoszibirszk: Nauka, p. 124.

- KUPREVICS, V.F., SCSEBBAKOVA, T.A. (1996): Pocsvennaja enzimologija. Minszk: Nauka i tehnika. p. 275.
- LAGUNOV, A.G. (1985): Peszticidi v szeljszkom hozjajsztve. M.: Agropromizdat. p. 142.
- MARVIN, M.E., WILLIAMS, P.H., CASHMORE, A.M. (2003): The *Candida albicans* CTR1 gene encodes a functional copper transporter. *Microbiology* **149**. 1461-1474.
- OKCENGENDLER, G.I. (1991): Jadi i organizm. SzPb. Nauka, p. 320.
- SORENSEN, S.R., BENDING, G.D., JACOBSEN, C.S. (2003): Microbial degradation of isoproturon and related phenylurea herbicides in and below agricultural field. *FEMS Microbiology Ecology* **45**. 1. 1-11.
- STEPHEN, R.J., CHANG, Y.J., MACHAUGHTON, S.J. (1999): Effect of toxic metals on indigenous soil  $\beta$ -subgroup proteobacterium ammonia oxidizer community structure and protection against toxicity by inoculated metal-resistant bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**. 1. 95–101.
- SZVIRSZKENE, A. (1999): Ekologicseszakaja ocenka csuvsztvityeljnih k antropogennomu vozgyejsztviju pokazatyelnej mikrobiologicseszkoj aktyivnosztyi pocsvi i jejo plodorogyija Ekologija. *Vilnyusz* **3**. 90-94.
- TASIREV, A.B. (1995): Vzajemogyija mikroorhanizmv z metalami. *Mikrobiol. Zsum.* **57**. 95-104.
- VORONOV, V.V., SZIDOROV, R.A. (1999): Mutagennije kontaminanti okruzsajuscsej szredi Vesztnik novih medicinszkijh tehnologij. **6**. 2. 134-142.