

SZAKMAI ZÁRÓJELENTÉS

A szennyvíziszap-alkalmazás EU-szintű kockázatbecslése hazai talajokon

(OTKA Kutatási témaszám: EN 064310)

Kiegészítő pályázat a HORIZONTÁL-HYG („Horizontal standards on hygienic parameters for implementation of EU directives on sludge, soil and treated bio-waste” (FP6-2003-SSP-3/513660 sz.) EU-Kp6 K+F pályázathoz.

Összefoglalás

A talajtermékenység javításának napjainkban aktuális új lehetőségeit olyan alternatív adalékanyagok jelentik, mint pl. a mezőgazdasági és kommunális hulladék-anyagok, szennyvíziszapok, vagy ezek komposztjai. A mezőgazdaságban a talajok tartós tápanyag-szintje szükséges a megbízható növény-termesztés eléréséhez. Az új, alternatív anyagok a korábbi szerves trágyákat helyettesíthetik, és lebontható humusz-anyagokká alakulva biztosítják a tartós és stabil tápanyag-szintet. A folyamattal együtt járhat a fizikai-kémiai talajtulajdonságok javulása is. Az új, alternatív anyagok alkalmazásánál azonban számos elővigyázatosságra van szükség. A tartós kihelyezésnél a talaj-növény-állat-ember táplálékláncban a nehéz-fémek feldúsulásával kell számolni, de növekedhet a talajsavanyúság, rosszabbodhat a mikroorganizmusok és a talajbiota faji diverzitása, jelenléte és aktivitása is. Az üvegházhatásért felelős gázok légköri kibocsátása mindeközben fokozódik és az **élelmiszer-minőség és -biztonság szempontjából potenciális kórokozónak tekintett mikroorganizmusok előfordulása is veszélyt rejt magában.**

A fokozottan jelentkező kockázati tényezők kontrollja miatt az Európai Unió is létrehozta a megfelelő szabályozó dokumentumokat és a tagállamok közötti lehetőség szerint egységes értékelő, ellenőrző, monitorozó rendszert is. Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetében a fenti kérdések tisztázására hazai és európai értékű, modellként használható háttérkísérletek állnak rendelkezésre. Tenyészedénykísérletben négy hazai reprezentatív talajjal vizsgáltuk egy kommunális, átlagos, de nagy-mennyiségű cinkkel szennyezett, valamint egy ipari, börgyári, nagy Cr-tartalmú szennyvíziszap hatását a leginkább mérhető talaj- és rhizoszféra mikrobiológiai tulajdonságokra és a potenciális kórokozó mikroorganizmusok mennyiségi és minőségi alakulására. A szennyvíziszapok szerves-anyag-tartalmától független, csak a nehézfémeket négy kiadagolási dózisban tartalmazó, tartamhatású nehézfém-kísérlet adataiból számos növényre vonatkozó adatokat nyerhetünk a nehézfémeknek a talaj-növény-állat-ember táplálékláncban való akkumulációjáról, és a klímatis tényezők befolyásoló hatásáról.

A kísérletek bizonyították, hogy az alternatív szerves-anyagok szükségesek a talajok termékenységének a fenntartásához. A kihelyezett szerves-anyagok minősége különböző kezelési eljárásokkal, mint pl. a meszezés, erjesztés vagy a komposztálás, javítható a talajéletre kifejtett hatásuk szerint és a potenciális kórokozó mikroorganizmusok száma is

megbízható módon csökkenthető, megszüntethető. A potenciális kórokozók a talajokban az eddigi mérések alapján a hazai klimatikus körülmények között nem akkumulálódtak. A *Salmonella* sp. és az *Escherichia coli* baktériumokra vonatkozó, 16 európai laboratórium részvételével folyó vizsgálatok befejeződtek. További validálás 2007-ben a *Clostridium perfringens* és az *Enterobacter* sp-re várható.

Az EU szabványok kialakítására, véglegesítésére 2008-ban kerül sor. A háttérlaboratórium a kifejlesztett módszerekkel a szennyvíziszapoknak a hazai talajra való biztonságosabb kihelyezéséhez további monitoringgal járulhat hozzá.

Bevezetés

A talajok termékenységének a fenntartási igénye megköveteli a tápanyagok visszapótlásának valamilyen módját a mezőgazdasági termesztés során. Az állati trágyáknak a napjainkra jelentkező csökkenése, a kommunális eredetű hulladékoknak pedig, az EU csatlakozást és a fokozottabb csatornázást követő megnövekedett mennyiségei, azonban az eddigiektől eltérő tápanyag-visszapótlási módszerekhez vezetnek. Az alternatív szerves anyagok olyan potenciális értéket képviselnek, melyek a talajok fizikai tulajdonságainak, szerkezetességének a javításával egyidejűleg eredetüktől és összetételüktől is függően (Vermes 1983) fokozhatják a talajbiológiai aktivitást is (Jevcsák et al. 2001). A növényeknek a rendszeres, az élettani igényükhöz igazodó tápelem-ellátottsága ezért közvetlen és közvetett folyamatok révén, a mikrobiológiai aktivitáson, vagy a vízháztartás javulásán keresztül valósul meg.

A kedvező hatások mellett azonban meg kell említeni a különböző, potenciálisan veszélyes kórokozók előfordulását, vagy a toxikus nehézfémek akkumulációját is (Szili-Kovács 1985; Biró 1999, Biró et al. 2004, Molnár et al. 1995). A következmények elkerülése érdekében, különösen a kommunális eredetű szennyvíziszapoknál leginkább a hulladék-depóniákban való lerakást részesítették előnyben. Az Európai Unió ennek ellensúlyozására a 99/31/EEC irányelvben szabályozza, a hazai előírás pedig, 2014-re fokozatosan a legminimálisabb mennyiségre csökkenti a kommunális lerakókra vihető hulladékok szerves anyag tartalmát. A szerves hulladékok eredetétől függően elsősorban a potenciálisan kórokozó mikrobák eliminálása érdekében különféle stabilizálási, kondicionálási és szervesanyag-átalakítási módszerek ismertek. Ezek sorában leginkább a szárítás, mésziszap-kezelés, a gáz-hasznosítással egybekötött erjesztés vagy a különböző adalékanyagokkal megvalósított komposztálás (Benedek et al. 1977) ismert. A mezőgazdasági területeken ill. energiaerdő ültetvényeken való hasznosítás szempontjából legmegfelelőbbnek a komposztálás mutatkozik; az eljárás lehetőséget kínál más reciklizálható melléktermékek és hulladékok (pl. növényi maradványok) együtt-komposztálására is.

Az eljárás előnyeit a következőkben foglalhatjuk össze Hangyel és Krisztián (1995), valamint Tamás (1998) szerint. További előnyöket Benedek et al. (1977), Vermes (1983), Vermes és Biró (2002), Beczner et al. (2004) közleményei is említik.

- 1) a humifikáltság stabilizálja a szerves anyagokat
- 2) a tápanyag-feltáródás lassul, a tápanyag-kimosódás esélye csökken
- 3) a mikroorganizmusok hormonhatású (PGR) anyagai is serkentik a növénynövekedést
- 4) javul a növények ellenálló-képessége a kórokozókval és kártevőkkel szemben
- 5) a szerves-anyagok mineralizációja során az üvegházhatásért felelős szén-dioxid jelentős részét a növények hasznosítják

- 6) a talajszerkezet stabilizálódik, a porosodás és erózió veszélye csökken, javul a talajok víz-, hő- és levegőgazdálkodása
- 7) csökken a humán-, állat- és növény-egészségügyi kockázat a kórokozók a komposztálás hő-szakaszában történő pusztulása miatt
- 8) a komposztálás során a szerves toxikus anyagok jelentős része is lebomlik.

A hasznosíthatóságot tovább fokozhatja a biológiai nitrogén-kötésre képes, vagy növény-növekedést serkentő egyéb, hasznos mikroorganizmusokkal való dúsítás, kiegészítés is, amellyel tőzeg-alapú mikroba-hordozókat is kiválthatunk (Ködöböcz et al. 2003, 2005). A komposztáláskor felhasznált adalékanyagok stabilizálhatják a nehézfémeket, aminek következtében azok talaj-növény-állat-ember táplálékláncban való feldúsulási veszélye csökken (Tamás és Filep 1995, Simon et al. 2000). Más tanulmányok a hasznos mikroszervezetek érzékenységére, vagy a táplálékláncban betöltött nehézfém-hatásokat csökkentő szerepére is rámutatnak (Kádár et al. 2001, Vivas et al. 2003). A hazai szabályozást az 1990-es Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Ágazati Műszaki Irányelv és az 50/2001 (IV.3) Kormányrendelet szabályozza.

Az élelmiszer-minőség és -biztonság szempontjait is figyelembe véve, a potenciális állati- és emberi kórokozók kivédése, megszüntetése érdekében a kommunális szennyvíz-iszapok és egyéb, pl. mezőgazdasági hulladékanyagok komposztálós kezelési eljárásait ajánlják a leginkább (Szili-Kovács, 1985). A komposztálós technika és alkalmazás eredményes eszköznek minősül a talajok szerves-anyag-vesztésének elkerülése, a talajromlás ellen is. Ha az ilyen termékeket, mint lehetséges hordozóanyagokat alkalmazzuk a mikrobiális oltások során, akkor többszörösen kedvező módon bio- és szerves-trágyával is segíthetjük a növény-táplálást (Ködöböcz et al. 2003, 2005).

Az első táblázatban a hulladék-anyagok, ezen belül is a kommunális szennyvíz-iszapok mennyiségi alakulásának a tendenciáit tüntettük fel.

1. táblázat

A mezőgazdaságban, az iparban és a városokban keletkező hulladékanyagok mennyiségi alakulása, különös hangsúllyal a szennyvíz-iszapokra

Hulladékok (x 1.000.000 t)	Éves mennyiség		
	1995-ben	2000-ben	2008-ban
Mezőgazdasági	4.0	5.0	3.0
Ipari	27.0	21.0	18.0
Kommunális (szilárd)	4.5	4.6	5.2
Kommunális (folyékony)	9.6	5.5	4.6
Szennyvíz iszap	0.4	0.7	1.5
Veszélyes hulladékok	3.4	3.4	4.1
Biomassza produkció	41.0	28.0	32.0
Összes	90.0	68.7	68.4

A komposztálás mellett az anaerob erjesztés is egy módszer a “zöld energia” előállítására, mely magában foglalja olyan hulladék megtartásának lehetőségét, amelyek a megfelelő aerob fázis után talajjavítóként használhatók. Az effajta biológiai kezelés kombinálja a komposztálás és az energiatermelés előnyeit azon biológiailag lebontható hulladékanyagok számára, amelyek megfelelőek az anaerob erjesztéshez. Amikor a városi hulladékot talajfeltöltésre használják, a termelődött gáz jelentős mértékben hozzájárul az üvegház-hatás kialakulásához. Ha a klímaváltoztató hatást vesszük figyelembe, jól ismert

tény, hogy e tekintetben a metán hússzor olyan agresszív hatású, mint a széndioxid. A metán-kibocsátás irodalmi adatok szerint átlagosan 30%-ban járul hozzá az atmoszférába történő a globális felmelegedésért felelős gázszállításhoz.

Az alternatív szerves anyagok használatának kockázata és kezelései

A szennyvíz-iszap talaj-javító, talaj-kondicionáló anyagként is hasznosítható. Egyre inkább kerülni kell ezért a földfelszínen, vagy előre készített lerakóhelyeken történő, nem hasznosított elhelyezést, a deponálást, amit az európai Talajfeltöltési direktíva (1999/31/EC) is előír a következő ütemezés szerint:

- 2006-ra biológiailag lebontható hulladékanyagok mennyiségének 75%-ra-,
- 2009-re 50%-ra,
- 2016-ra pedig 35%-ra való csökkenése javasolt.

Az így keletkező nagy mennyiségű szerves anyag aztán a talajba kerülhet. Számos irodalmi adat bizonyítja ezeknek az alkalmazhatóságát, de ismert a tartós és rendszeres alkalmazásoknak a hasznos mikroszervezetekre kifejtett káros hatása is, ami pl. a műtrágyákat helyettesítő elemek megkötésének csökkenésével, vagy az ún. faji sokféleség (diverzitás) elvesztésével is jár (Biró 1999, Kádár és Németh 2005). A **2. táblázatban** jelzett határértékek figyelembe vétele ezért különös jelentőséggel bír.

2. táblázat

A nehézfémek határértékei a talajban, a szennyvíz-iszapban és a megengedett terhelési szintek Európában (A 86/278/EEC számú Európa Tanácsi direktíva alapján)

Nehézfémek	Talaj (mg.kg ⁻¹ száraz anyag)	Szennyvíziszap (mg.kg ⁻¹ száraz anyag)	Terhelési érték (kg.ha.év ⁻¹)
kadmium – Cd	1-3	20-40	0,15
réz – Cu	50-140	1000-1750	12
higany – Hg	1-1,5	16-25	0,1
nikkel – Ni	30-75	300-400	3
ón – Pb	50-300	750-1200	15
cink – Zn	150-300	2500-4000	30

A szennyvíziszapoknak, mint új, alternatív szerves anyagoknak a tartós alkalmazásánál fontos tehát figyelemmel lenni a talajok elszennyeződésére (a talajszemcsékhez való abszorpcióra, a talaj-élőlények érzékenységre), a víz- és levegőszennyezésre (a szennyező anyagoknak a táplálékláncba való bekerülésére), az emberi veszélyeztetettségre (a lehetséges kórokozó mikroszervezetek miatt) is (**3. táblázat**). A nehézfémek engedélyezett határértékeinek a kidolgozása jelenleg is fejlesztés, átdolgozás alatt áll az EU különböző országaiban a **86/278 számú EEC direktívát** alapul véve.

A **Szennyvíz-iszap direktíva** (86/278/EEC) és a Biológiai Hulladék és Talajvédelmi Törvény jelenleg elsősorban az iszapok és az iszap-kezelt talajok mintavételére, megbízható elemzésére koncentrál, hogy a vizsgálati minták megfelelően reprezentatívak legyenek. Az európai direktívák célja tehát annak megakadályozása, hogy a szennyező anyagok tartós alkalmazása esetén a talaj működőképessége, termékenysége ne romoljon, és hogy a kórokozó mikroszervezetek előfordulása se következzen be a mezőgazdasági körülmények között, a

növény-talaj-állat-ember táplálékláncban. A végső cél olyan Európai, egységesített mintavételi és monitorozó eljárások kidolgozása az Európai Szabványosítási Hivatal (CEN) által, ami a módszerek összehangolásával lehetővé teszi a tagállamok jelentéseinek az összehasonlítását is. Az ilyen, úgynevezett HORIZONTÁLIS programok célja a „A talaj, az iszap és a biológiai hulladékok országok közötti vizsgáló módszereinek, szabványainak a fejlesztése”.

A kórokozók vizsgálata és rendszeres ellenőrzése során veszélyességük miatt a következő szervezetekre koncentrálnunk:

- *Salmonella* spp,
- *Escherichia coli*,
- *Clostridium perfringens*
- *Enterobacter* sp.
- *Ascaris ova* féregpeték

3. táblázat

Kórokozó mikroszervezetek kimutatható mennyisége városi eredetű szerves hulladékokban egy g. száraz anyagra vonatkoztatva (Horizontal-Hyg projekt adatai, MTA TAKI, Budapest, 2005).

Mikroorganizmusok	Mennyiség (telepképző egységek, CFU.g ⁻¹)	
	Szennyvíz-iszap	Szilárd városi hulladék
<i>Escheichia coli</i>	10 ⁴ - 10 ⁷	0 - 10 ⁹
<i>Mycobacterium</i> spp.	0 – 3 x 10 ³	120 - 5 x 10 ⁴
<i>Salmonella</i> spp.	0 - 10 ⁵	0 - 10 ⁴
<i>Enterococci</i>	10 ¹ -10 ⁸	10 ⁸ - 10 ⁹

A nyers szennyvíziszapokban fellelhető egyéb, lehetséges mikroorganizmusok:

- *Campylobacter* 9,3 x 10⁵,
- hőálló coliformok 10⁸,
- életképes *Ascaris* féregpeték 0-2,
- *Toxocara* féregpeték 23,
- enterovírusok 250,
- rotavírusok 500..etc.

A **86/278/EEC számú direktíva alapján** a mezőgazdasági és kommunális szerves- anyagok biztonságos használatával kapcsolatban fontos tehát mind nemzetközi, mind hazai szinten:

- a talajban található felszíni és felszín alatti vizek védelme
- nemzeti programok a városi hulladékok és városi szennyvizek biztonságos kezelésére
- a már létező tisztító rendszerek teljesítményének növelése
- az ország helyzetének és a hulladékok mennyiségének megfelelő kezelés használata
- az iszapkezelés különféle eljárásainak összegyűjtése és terjesztése

A szerves-anyagok komposztálása, mintegy lehetséges alternatívája a szennyvíziszapok biztonságos alkalmazásának. Az eljárás során a mikrobiális oltóanyag adalékok mellett általában szervesanyagokat, mint pl. meszet, különböző agyagásványokat (zeolit, alginit, klinoptilol), valamint foszfor-kiegészítést (csontliszt, nyersfoszfát, foszfor-gipsz) alkalmaznak. Ezek elsődleges célja a toxikus elemek, nehézfémek

felvehetőségének csökkentése, valamint a víztartalom stabilizálása, és ezáltal a mikrobiális bio-transzformáció gyorsítása. A szerves anyagok átalakításában számos mikroorganizmus részt vehet, és a mikrobiális konzorcium mennyiségi és minőségi összetétele a komposztálás során is folyamatosan változik.

Az élelmiszer-minőségi és –biztonsági szempontok miatt a komposztok esetében is szükség van olyan módszerek alkalmazására, melyekkel a komposzt állapota jellemezhető, a potenciálisan előforduló opportunistá kórokozó mikroorganizmusok esetleges jelenléte kimutatható. Korábbi vizsgálatok során egy öszmikróbás aktivitást jelző enzimátikus módszert fejlesztettünk ki, amellyel a mikroorganizmusok működőképessége is jelezhető volt és a komposztálás szakaszait is ki lehetett mutatni (Biró et al. 2005). A potenciális patogén mikroorganizmusok jelenlétének kimutatásához ugyanakkor szükség van olyan egységes, a tagországok között is összehangolt módszerek bevezetésére, amelyekkel az egyes országok közötti eredmények összehasonlíthatók, hogy bizonyos kezelések hatásai megfelelően értékelhetők legyenek. A pályázatban az ezekre vonatkozó munkáink eredményességéről számolunk be.

Anyag és Módszer

Tenyészedény-kísérlet hazai tipikus talajokkal és szennyvíziszapokkal

Tartamhatású tenyészedény-kísérletet folytattunk a hazai talajok szennyvíziszap-terhelhetőségének a kimutatására. Ehhez két Savanyú (Erdő- és Homok-) talajt alkalmaztunk Gyöngyösről (SE) és Nyírlúgosról (SH), valamint két Meszes (CSernozjom- és Homok-) talajt Nagyhorcsokról (MCs) és Órbottyánról (MH). Ezeket növekvő dózisú (0, 7.5, 15, 30 és 60 t/ha) szennyvíz-izsap-mennyiségekkel kezeltünk 10 kg-os edényekben. A zöldborsó (*Pisum sativum* L.) növekedését és fém-felvételét négy egymást követő évben vizsgáltuk. Ellenőriztük továbbá a talajbiológiai tulajdonság alakulását, mint pl. a kitenyészthető mikrobák (heterotrófok, oligotrófok, spóra-képzők, mikroszkópikus gombák és néhány élelmiszer-biztonság szempontjából fontos mikrobacsoport) számát is (*Salmonella* sp, *Escherichia coli*, Clostridiumok...stb.). Az összes mikrobiális aktivitást is a már korábban leírt (Biró et al. 2005) módszer szerint a fluoreszcens diacetát analízis (FDA) segítségével állapítottuk meg.

A fenti talajokat kétféle típusú szennyvíz-izsappal kezeltük, hogy adatokat nyerjünk mind a lakossági, mind bizonyos iparágak különböző nehézfém-tartalmú izsapjainak a talajbiológiai tulajdonságokra kifejtett hatásairól:

- magas (6157 mg.kg⁻¹ száraz anyag) Zn-tartalmú városi szennyvíz-izsap és
- magas (5225 mg.kg⁻¹ száraz anyag) Cr-tartalmú komposztált ipari izsap.

Az izsapok öt különféle, a gyakorlatban is lehetséges, illetve az azt meghaladó dózisait is (0, 7.5, 15, 30 és 60 t.ha⁻¹) évente a vegetációs időszak kezdetén a tenyész-edényekbe kevertük. A mikrobiológiai vizsgálatokat a kísérletek bontásakor viteleztük ki.

Potenciálisan kórokozó mikroorganizmusok kimutatási lehetőségei

Az állategészségügy és az élelmiszer-minőség szempontjából fontos néhány mikrobafaj- és -csoport (*Escherichia coli*, *Salmonella* sp.) kitenyészthetési lehetőségét ellenőriztük különböző módszerekkel kommunális szennyvíziszapokat tartalmazó mintákból a HOR-Hyg (EU-Kp6) projekt előírásai szerint. Ennek során háromféle eljárást alkalmaztunk:

szűrést, legvalószínűbb szám (MPN) és a jelenlét vagy a hiány módszerét, előzetes Európai Normatívák (prEN) szerint a következő kódok alapján (*E. coli*: prEN 15214-1, -2, -3; *Salmonella* sp: prEN 15215-1, -2 és -3). A vizsgálatokhoz hazai mintákat kaptunk heti rendszerességgel, az Észak-Pesti Szennyvíztisztító Telepről. A minták egy része a kezeletlen nyers iszapot, más részük mésszel kondicionált iszapot, ismét más részük komposztált iszapot tartalmazott. A minták kiértékelésénél kontroll mikroorganizmusokat is felhasználtunk, ezek a Francia Pasteur Intézettől érkeztek. Az eredmények feldolgozása a nemzetközi eredményekkel való összehasonlításban, jelenleg is folyamatban van. A szabványosítási eljárásra ezt követően kerül sor.

Eredmények és értékelésük

Hazai reprezentatív talajok mikrobiológiai tulajdonságai szennyvíziszapok hatására.

A vizsgált hazai, szennyvíziszap-kezelt jellegzetes talajok mikrobiológiai tulajdonságaiban jelentős különbségeket figyeltünk meg. A szerves szennyvíz-iszap adagok a talajokra összességében mégis hasznosnak bizonyultak ahhoz, hogy azok összes mikrobiális aktivitása fokozódjon. Az összes mikrobiális anyagcsere javulását fluoreszcens diacetát analízissel (FDA) mutattuk ki. Az alacsony humusztartalmú talajok mikrobiális aktivitása egyenletesen növekedett az iszapmennyiségekkel párhuzamosan (**1. ábra**), a szennyvíziszap ily módon rövid-távon kedvezőnek bizonyult a talajok biológiai állapotára.

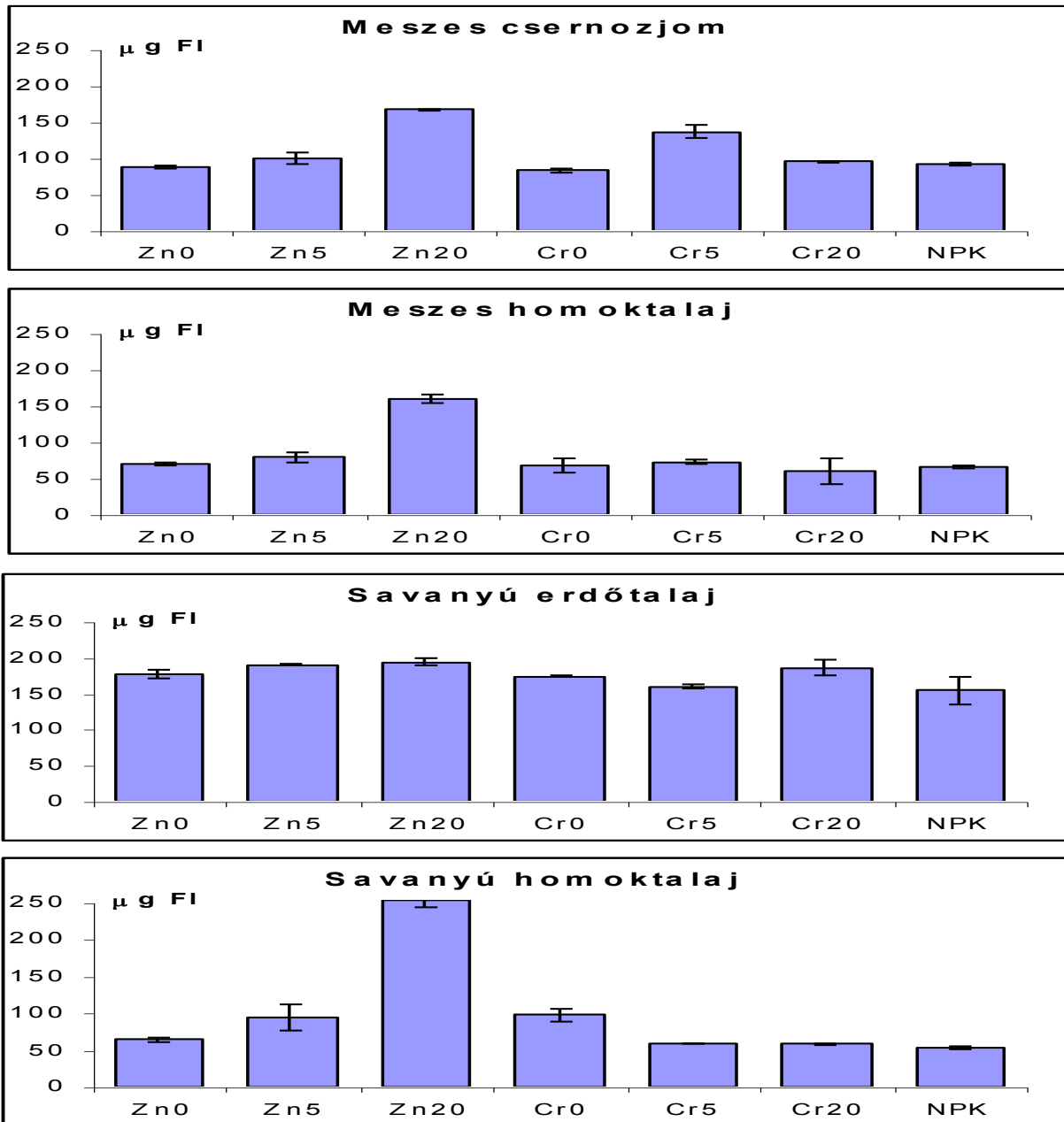
A savanyú erdei talaj, amelyet a legnagyobb szerves-anyag-tartalom (3,05%) jellemez, egyenletesebb mikrobiális aktivitást mutatott, mivel ez esetben a szerves-anyag-kiegészítés nem jelentett olyan nagy többletet az alap-állapothoz viszonyítva. Ennél a talajnál az alkalmazott szennyvíz-iszap hatására ezért nem tapasztaltunk dózishatást. A magas Cr-tartalmú ipari iszap az összmikrobás aktivitásra nézve a leginkább toxikus volt a megfigyelt talajokban. A szennyvíziszapok pH-ra kifejtett kedvező hatása a savanyú homok-talajnál érvényesült leginkább.

A szennyvíziszap-kezelt talajokban néhány mikrobacsoportra nézve a kitenyészthető csíraszámok alakulását is vizsgáltuk. Az összmikrobás aktivitás, a hetrotrofok csíraszama mellett tanulmányoztuk egyéb, szelektív táplemezekkel kitenyészthető mikroorganizmus csíraszámát is. Eredményeinket a 2., 3. és 4. ábrák mutatják be.

Megállapíthattuk, hogy **a növekvő adagú iszapok a tanulmányozott mikroorganizmusok számát egyenletesen növelték minden esetben.** A legnagyobb adagoknál a csíraszám változás szignifikánsnak is bizonyult. Ugyanez igaz az élelmiszer-biztonság szempontjából kiemelt jelentőségű, potenciális patogén mikroorganizmusokra is. A 4. ábra a koliform baktériumok számát mutatja be. Ennél a mikrobacsoportnál a dóziszfüggő csíraszám-növekedés sokkal inkább szembeötlő. A csíraszámokban szignifikáns különbséget már a legkisebb szennyvíziszap-adagoknál is ki lehet mutatni. **A nagyobb adagoknál a növekedés akár 2 nagyságrendű, azaz 100-szoros is lehet.** Az eredmények jelen esetben is mutatják a szennyvíziszap-kezelésnek az élelmiszer-biztonsági kockázatát.

1. ábra

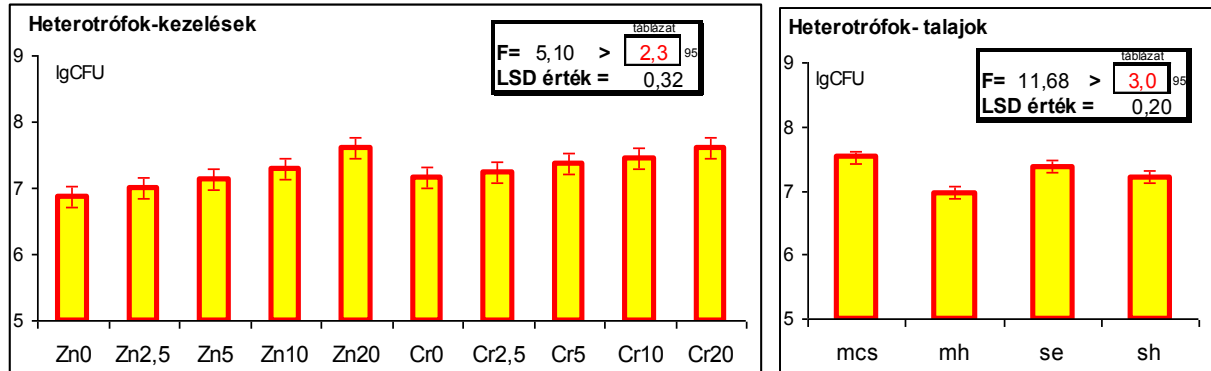
Négy hazai talaj (meszes csernozjom és -homok, savanyú erdei és -homok) fluoreszcens diacetát (FDA) aktivitása ($\mu\text{g FI}/2\text{óra/g}$) városi Zn-tartalmú (6157 mg.kg^{-1} sz.a.), és ipari Cr-tartalmú (5225 mg.kg^{-1} sz. a.) szennyvíziszap-dózisok (0, 5 és 20 mg.kg^{-1}) vagy NPK trágya, mint kontrol alkalmazása mellett.



A Cr-tartalmú ipari iszap különösen a homok-talajon bizonyult erősen toxikusnak a Zn-tartalmú kommunálisához hasonlóan. A szerves-anyagok adagolásánál jellemző dózisfüggőséget az ipari iszap toxikus elemtartalma „felülírja”.

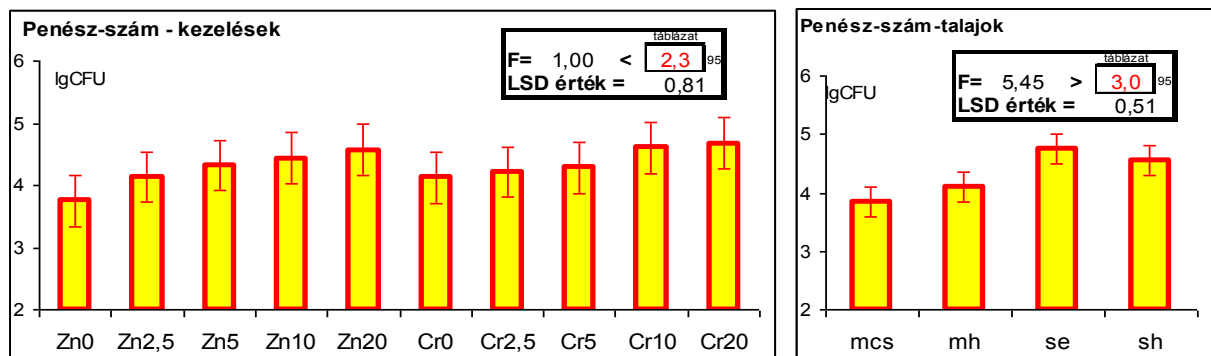
2. ábra

Heterotróf összmikrobás aktivitás alakulása növekvő adagú (0, 2,5, 5, 10, 20 mg.kg⁻¹) kommunális (Zn tartalmú) és ipari (Cr tartalmú) szennyvíziszap-kezelés hatására négy hazai tipikus talajon. mcs=meszes csernozjom, mh=meszes homok, se=savanyú erdőtalaj, sh=savanyú homoktalaj.



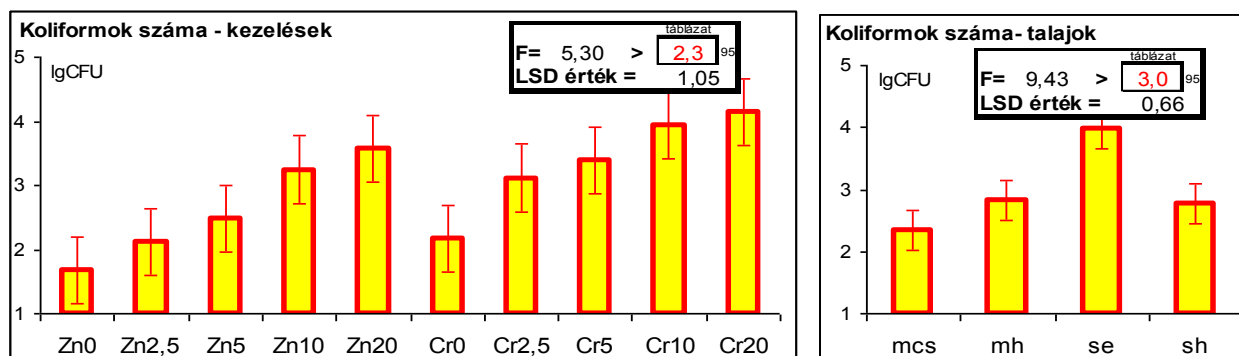
3. ábra

A penész-szám alakulása növekvő adagú (0, 2,5, 5, 10, 20 mg.kg⁻¹) kommunális (Zn tartalmú) és ipari (Cr tartalmú) szennyvíziszap-kezelés hatására négy hazai tipikus talajon. mcs=meszes csernozjom, mh=meszes homok, se=savanyú erdőtalaj, sh=savanyú homoktalaj.



4. ábra

A kitenyészhető koliform csíraszám alakulása növekvő adagú (0, 2,5, 5, 10, 20 mg.kg⁻¹) kommunális (Zn tartalmú) és ipari (Cr tartalmú) szennyvíziszap-kezelés hatására négy hazai tipikus talajon. mcs=meszes csernozjom, mh=meszes homok, se=savanyú erdőtalaj, sh=savanyú homoktalaj.



A talajféleségek közötti különbség is megállapítható a szennyvíziszapok mezőgazdasági alkalmazásánál. Mikrobaszám-változással leginkább a savanyú jellegű talajok reagáltak a szennyvíziszap-kihelyezésre. Ezeken a talajokon az iszapok rövid-távú alkalmazása kedvezően hat mind a pH-alakulására, mind azon keresztül a mikrobák csíraszámára is. A mikrobacsoportok között is lényeges különbségek vannak azonban az egyes talajokon.

Látható, hogy **a koliformok száma a savanyú erdőtalajon megközelítőleg két nagyság-renddel nagyobb lesz a szennyvíziszapok hatására.** A meszes jellegű talajok, így a meszes csernozjom talaj ugyanakkor a legkisebb csíraszámokkal jellemezhető, a kétféle talaj között a különbség kitenyészthető coliform csíraszámokban 100-szoros. A szennyvíziszapok eredete (kommunális vagy ipari) között ugyanakkor különbséget a koliformok csíraszámának alakulására nem találtunk.

A potenciális patogén mikroorganizmusok kontrollja horizontális módszerekkel

A szerves trágyák csökkenése és a hulladék-anyagok növekedése miatt szükséges lehet a talajok termékenységének növelése alternatív szerves anyagokkal (Biró 2006, előadás, Technical University, Zvolen, Selmecbánya). A mezőgazdasági és különösen a kommunális hulladékok alkalmazásának esélyét az előző fejezet adatai szerint is, az élelmiszerbiztonságot veszélyeztető mikroorganizmusok rontják. A hatások tanulmányozására a kommunális (Gödöllői Zn-tartalmú) és ipari (börgyári Cr tartalmú) szennyvíziszapok mellett kokszolói (DUNAFERR) szennyvizet is bevontunk a vizsgálatokba, aminek eredményeit Angerer és Biró (2006-os) közleményükben mutatják be.

Az állategészségügyi vagy az élelmiszeripari biztonság szempontjából kiemelt jelentőségű mikroorganizmusokat az Európai Unióban a tagországok között egységesíteni kívánt módszerekkel is megkíséreltük kimutatni. Ezek közül a 4. táblázatban az *Escherichia coli* baktériumra vonatkozó adatokat közöljük. A mintázás hetenkénti rendszerességgel történt, a mintavételnél háromféle kezelési módot vettünk figyelembe, azaz a nyers szennyvíziszap mellett a rothasztott, vagy a komposztált mintákat is vizsgáltuk.

Megállapítottuk, hogy **a nyers iszaphoz viszonyítva a rothasztott minták kimutatható csíraszám 2-3, a komposztált mintáké pedig, 5-6 nagyságrenddel is csökkent, ami általában már a kimutathatósági határt is jelölte az adott módszerekkel.** A komposztálással tehát a csíraszám-értékek jelentősen lecsökkenhetnek, a talajokra való kihelyezés kockázata csökken.

Az előzetes európai normatívák által a megállapítható csíraszám-értékek az adott módszer szerint változnak. Az adatoknak a vizsgálatba bevont egyéb Európai partnerekkel való összehasonlítása, eredményértékelése jelenleg is folyamatban van.

A 16 európai kutatólaboratórium által beküldött eredményeket matematikai-statisztikai módszerekkel elemzik. Ezt követően kerül majd sor az európai szabványok kialakítására várhatóan 2008-ban.

4. táblázat

Escherichia coli baktériumok mennyisége különféle szennyvíziszap-mintákban három különböző előzetes Európai normatíva (prEN) szerint (2006.02.13.– 2006.04.10. között hetenkénti mintázással, Észak-Pesti Csatornázási Művek, Budapest)

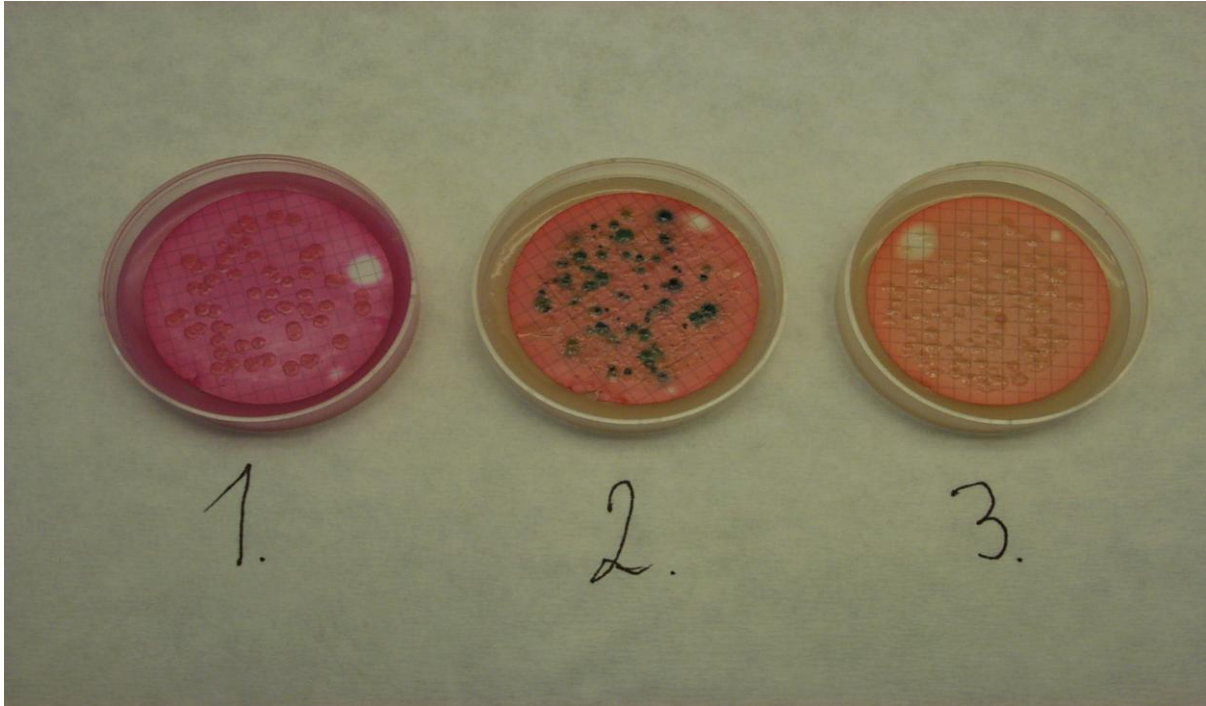
Módszer+	Minta <i>E. coli</i> száma log ₁₀ g ⁻¹ nedves tömeg		
	Nyers szennyvíziszap	Rothasztott szennyvíziszap	Komposztált szennyvíziszap
Szűrés prEN 15214-1	5,95	3,35	<1
	5,37	3,19	<1
	5,65	3,67	<1
	5,34	4,04	<1
	4,70	3,98	<1
	4,80	3,06	<1
	4,90	4,18	<1
Átlag (szórás)	5,24 (0,46)	3,63 (0,44)	k.h*
Microplate prEN 15214-2	6,29	4,09	<1,35
	6,33	4,16	<1,35
	6,44	4,56	2,47
	6,36	4,56	<1,35
	6,63	4,61	<1,35
	6,62	4,34	<1,35
	6,49	4,39	<1,35
Átlag (szórás)	6,45 (0,13)	4,38 (0,20)	k.h
MPN prEN 15214-3	5,54	3,54	<0,48
	5,89	3,35	<0,48
	5,54	4,24	1,83
	5,15	4,25	<0,48
	5,41	4,25	<0,48
	6,12	4,16	<0,48
	6,45	3,54	<0,48
Átlag (szórás)	5,72 (0,45)	3,9 (0,41)	k.h

+ előzetes Európai normatívák száma; * k.h. kimutathatósági határ (a kivételeket jelöltük)

A komposztálásnál a tesztelt mikroorganizmusok, így az *Escherichia coli* száma is a kimutathatóság alá csökkenhet. A rothasztás is jelentősen csökkenti ezen mikroorganizmusok abundanciáját.

1. kép

A prEn-15214-1 számú szűrési módszer az *Escherichia coli* baktériumok kimutatására. A módszerrel a tipikus, autentikus coli telepek láthatók az 1. számú lemezen. A coli jelenlétét további API teszttel is igazolhatjuk.



2. kép

A fémesen csillogó tipikus coli, a sötétzöld és a sárga telepek eltérő szén- és nitrogénforrás hasznosítási mintázata API teszttel vizsgálva. A bizonytalan telepet tehát a teszt képes beazonosítani.



Konklúzió

Klasszikus és az Európai Unió által a tagországok között horizontális módon összehangolt módszerekkel tanulmányoztuk a szennyvíziszap-kezelt talajokban és különbözőképpen kezelt szennyvíziszapokban az élelmiszerbiztonság szempontjából kiemelt jelentőségű egyes mikrobák, vagy mikrobacsoportok mennyiségét, abundanciáját. A vizsgálatokba hazai tipikus, reprezentatív talajokat vontunk be. A szennyvíziszap-kihelyezésnél egy **dózisfüggő mikrobaszám-változásra** derült fény. A mikroorganizmusok között az érzékenységi sorban az iszapkihelyezés a coliform baktériumokra jelentett több nagyságrendi növekedést és a dózisok közötti legnagyobb különbségeket is. A koliformok száma a kommunális szennyvíziszappal kezelt talajok legnagyobb dózisában (20 mg.kg^{-1} , azaz 60 t.ha^{-1}) két nagyságrenddel emelkedett és elérte a 10^4 értéket 1 g talajra számolva. A talajféleségek között a savanyú talajok tulajdonságai a rövid-távú kihelyezésnél javulhatnak a pH változásán keresztül. **Az alkalmazott európai előzetes szabványokkal és az eredményeket megerősítő vagy elvető API tesztek segítségével a potenciális kórokozók biztonságosan kimutathatók.** A talajtípusok között is jelentős különbséget találtunk, a savanyú erdőtalajban például lényegesen több (két nagyságrenddel nagyobb számú) koliform mikroba volt kimutatható. A penészek számának emelkedése a dózisokkal ugyanakkor nem nőtt szignifikáns mértékben, de a talajok közötti lényeges különbség itt is igazolódott. A mikroorganizmusok anyag-cserét folytató részarányát az FDA analízis jól jellemezte. A különböző mikrobiális módszerek érzékenysége és használhatósága az alkalmazott módszertől erősen függött.

A szennyvíziszapok különböző kezelése, ezek között is az anaerob erjesztés és a **komposztálás az eredeti csíraszám 3, illetve 5 nagyságrendi lecsökkenését tudja elérni.** A komposztálás tehát a potenciális patogének eliminálásának a legbiztosabb módja. A nyers szennyvíziszapokhoz viszonyítva a rothasztásos eljárás is általában 1(-2) nagyságrenddel csökkentheti az *E. coli* baktériumok mennyiségét, míg a komposztálással számuk a kimutathatóság alá csökken. **További adatok várhatók a *Salmonella* és az *Escherichia coli* csíraszámok mellett a *Clostridium perfringens* és az *Enterobacter* csíraszámok alakulására is** egy előre egyeztetett későbbi vizsgálatsorozatban. A validálási munkák végeztével a leginkább alkalmazható, **gyors, egyszerű és gazdaságos módszer, vagy módszerek szabványosításra kerülnek.** A köranalízis eredményei az összes résztvevő laboratórium számára könyv-alakban, teljes feldolgozottsági szinten publikálásra kerülnek.

Az idézett irodalmi hivatkozások jegyzéke:

- Angerer IP., Biró B., Köves-Péchy K., Anton A., Kiss E. (1998): Indicator microbes of chlorsulfuron addition detected by a simplified soil dilution method. *Agrokémia és Talajtan*, 47: 297-305.,
- Angerer P.I., Biró B. (2006): Gyomirtószer, valamint kokszolói **szennyvíz** együtthatások és talaj-mikroorganizmusok mennyiségi alakulása. *A Dunaujvárosi Főiskola Közleményei*, 27 (2): 487-491
- Beczner J., Biró B., Korbász M., Jankó Sz. (2004): A talaj mint a növényi eredetű élelmiszerek mikrobás szennyezetségének a forrása. *Konzervítség*, 3: 81-84.
- Benedek P, Farkas P, Oláh J., Vermes L. (1977): A **szennyvíziszap**-elhelyezés és mezőgazdasági hasznosításának feltételei. – VIZDOK , VMGT-90, Budapest, p. 247.
- Biró B. (1999): További tudnivalók a kommunális **szennyvíziszapok** mezőgazdasági elhelyezéséről. Talajbiológiai következmények. *Gyakorlati Agrofórum*, (X.) 9: 4-6

- Biró B, Angerer I.P. (1997): Módosított talajhigítási szelektív kitenyésztés környezetvédelmi szempontú talajbiológiai állapotfelmérésre. In: *Proc. of XI. Országos Környezetvédelmi Konferencia*, Siófok, p. 287-292;
- Biró B, Beczner J, Németh T (2004): Problems on **sludge**. The Hungarian point of view. P. 31-36. In: *Problems around sludge*. The accession countries perspectives. Joint DG/JRC, DG ENV Workshop (Eds. Gawlik BM, Marmo L), EU-IES, ISPRA, Italy;
- Biró B, Angerer I, Villányi I, Ködöböcz L. (2005): **Komposztok** minőségi állapotváltozásának kimutatása mikrobiológiai aktivitásvizsgálattal. p. 21-26. In: Az MTA SzSzBTT XIII. Tudományos ülésének előadásai (Szerk. KÓKAI S, MIZSUR B). Kapitális Nyomda, Nyíregyháza
- Hangyel L., Krisztián J. (1995): Települési **szennyvíziszap** hasznosítása külszíni szénbányák meddőhányójának rekultivációjára Visontán és Ecséden. *Agrokémia és Talajtan*, 44. 399 – 402.
- Jevcsák I., Ködöböcz L., Kecskés M., Szili-Kovács T., Biró B. 2001. Microbial characteristics of pea rhizosphere affected by **sewage sludge** doses in some Hungarian soil types. *Acta Microbiol. Immunol. Hu.* 48. 175
- Kádár I., Köves-Péchy K., Vörös I, Biró B. (2001): Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon II. Elemfelvétel és gyökérszimbiózis. *Agrokémia és Talajtan*, 50 (1-2): 83-101.
- Ködöböcz L., Biró B., Dusha I., Sárosi L., Izsáki Z. Kecskés M. (2003): Rhizobiumok túlélőképessége különböző vízőanyagokban. *Agrokémia és Talajtan* 52: 395-408.;
- Ködöböcz L., Kárpáti É., Dusha I., Biró B. (2005): Asszociatív nitrogén-kötő oltóanyag törzsek túlélőképességét befolyásoló tényezők két potenciális vízőanyagban. *Agrokémia és Talajtan* 54: 177-189.
- Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Ágazati Műszaki Irányelv: A szennyvizek és szennyvíziszapok termőföldön történő elhelyezése. MI-08-1735-1990**
- Molnár E., Németh T., Pálmai O. (1995): Problems in heavy metal pollution in Hungary. In: Heavy Metals; Problems and solutions. (Eds.: SALOMONS, W. et al), Chapter 19, pp. 323-344., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. 1995.
- Simon L., Prokisch J., Győri Z. (2000): **Szennyvíziszap komposzt** hatása a kukorica nehézfém-akkumulációjára. *Agrokémia és Talajtan*, 49: 247-256.
- Szili-Kovács T. 1985. A **szennyvíziszap** elhelyezés talajmikrobiológiai problémái. *Agrokémia és Talajtan*, 34: 486-493.
- Tamás J., Filep Gy. (1995): Nehézfémforgalom vizsgálata **szennyvíziszapokkal** terhelt mezőgazdasági területeken. *Agrokémia és Talajtan*, 44: 419-427.
- Tamás J. (1998): Szennyvíztisztítás és **szennyvíziszap elhelyezés**. Debreceni Agrártudományi Egyetem, Debrecen, pp. 150.
- Vermes L. (1983): A **szennyvíziszapok** hatása a talaj kémiai és fizikai sajátosságaira. p.33-52. In: Települési szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezésének talajtani és agrokémiai kérdései. MÉM NAK, Budapest
- Vermes L., Biró B. (2002): Study on the revitalisation potential of thermal-treated soils. *Agrokémia és Talajtan*, 50: 129-138.
- Vivas A., Azcon R., Biró B, Barea J.M, Ruiz-Lozano J.M. (2003): Influence of two bacterial strains from a Pb-polluted soil on plant growth and on arbuscular mycorrhizal functioning under Pb toxicity. *Canadian J. Microbiology*, 49: 577-588.
- 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendelet: a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásáról és kezelésének szabályairól. Magyar Közlöny. 2001. 39. szám. 2532 – 2543. old.**