A szennyvíziszap-elhelyezés talajmikrobiológiai problémái

A hulladékok jelentős hányadát az ipari, mezőgazdasági és települési szennyvizek, valamint ezek iszapjai alkotják. Magyarországon 1981-ben az összes elvezetett szennyvíznek (621,8 millió m^3) 48,2%-a került tisztítás után a befogadókba. Ennek nagyobb része (204,1 millió m^3) biológiailag tisztított, míg a fennmaradó rész csak mechanikai tisztításon ment keresztül [28].

A kommunális szennyvíz átlagos kémiai összetétele (száraz anyagra vonatkoztatva): lipid: 33%, protein: 25%, cellulóz: 8%, keményítő: 8%, lignin: 6%, hamu: 20%, biológiai oxigénigénye (BOD): 275—300 mg/l [18]. A szennyvíztisztítás során elválasztott iszapok mennyisége a szennyvíz térfogatának 0,5—1%-a, szárazanyag-tartalmának 60—80%-a szerves anyag [37]. A szennyvíziszap elhelyezésének és hasznosításának környezetvédelmi szempontból legmegfelelőbb módja a talajba juttatásuk. Ezt azonban nagyon körültekintően kell végrehajtani, és az iszapkezelt terület rendszeres ellenőrzése is szükséges.

Mezőgazdasági és erdészeti hasznosítás esetén a szennyvíziszap jelentősen hozzájárul a talajok szervesanyag-tartalmának növeléséhez, továbbá kedvezően hat a talajok fizikai és kémiai tulajdonságaira. A benne levő nagy mennyiségű kolloid- és finomdiszperz anyagok növelik a talajok víztartalmát, illetve víztartó képességét, homoktalajokon elősegítik a morzsák képződését, növelik a kationcserélő képességet [17]. A szennyvíziszap trágyaszerként való értékelésénél figyelembe kell venni, hogy száraz anyagának 2,5—5%-a nitrogén, 1,5—2%-a foszfor, és jelentős mennyiségben találhatók benne növényi mikrotápelemek [7]. A szervesanyag-mineralizáció során a talaj-mikroorganizmusok tevékenysége (ammonifikáció, nitrifikáció) révén a nitrit- és nitrátionok mennyiségének növekedése veszélyt jelent, mivel ezek könnyen a talajvízbe mosódhatnak.

Iszapadagolás hatására a nehézfémek feldúsulhatnak a talaj 0—25 cm-es rétegében [19]. A talajban a nehézfémek nagyobbrészt nehezen oldható formában vannak jelen. Az oldatban levő fémek szerves-fém komplex alakban találhatók [23]. A szennyvíziszap talajba juttatásánál a legnagyobb veszélyt az iszap nehézfémtartalma és a kórokozó mikroorganizmusok esetleges jelenléte okozza.

A szennyvíziszappal talajba juttatott szerves anyag lebontása

A talajfauna szerepe. — Az elhalt növényi és állati maradványok lebontásában kiemelkedő szerepe van a talajban élő gerinctelen állatoknak. Ezek nagyobb része a rekuperáló szervezetek csoportjába tartozik. Az elhalt maradványokat hasznosítani tudják anyag- és energiaigényük fedezésére, de a fő jelentőségük az, hogy fizikailag felaprózzák és ezáltal a mikroorganizmusok számára jobban hozzáférhetővé teszik a szerves anyagokat. A rekuperáló szervezetek a felvett tápanyagnak csak néhány százalékát hasznosítják, a többit az állatok bélmikroflórája és a faeces révén a talaj mikroorganizmusai.

A szennyvíziszap-kezelés a talajfauna egy részét stimulálja, ami a populáció egyedszámában is megnyilvánul. Az iszap dekompozíciójában domináns szervezetek a nematodák [1], populációméretük a szennyvíziszap-kezelés hatására növekszik, és ezzel párhuzamosan nő az iszap lebontási aránya [32]. Az iszapkezelés gyakran növeli a földigiliszták *(Lumbricidae)* és televényférgek *(Enchytraeidae)* populációméretét is [11]. A földigilisztáknak elsőrendű szerepe van az iszap talajban történő elkeverésében [32]. A talaj megváltozott ökológiai feltételei miatt a talajfauna összetétele jelentősen megváltozhat. Jó példa erre ZETTEL és KLINGLER [40] vizsgálata, amelyet collembolákkal és atkákkal végeztek. Megállapították, hogy a *Poduridae*, *Onychiuridae* ugróvillás családokba és a *Mesostigmata* atka alrendbe tartozó fajok egyedszáma megnövekedett. Más családok és alrendek fajainak egyedszámában és biomasszatömegében nagymértékű csökkenést tapasztaltak.

A talajban élő állatok (mikro- és mezofauna) aktív szerepet játszanak a szennyvíziszap szervesanyag-tartalmának lebontásában, másrészt a szennyvíziszaphatás, mint többtényezős ökológiai faktor, a talaj-zoocönózis összetételének megváltozását eredményezheti.

A talajban élő mikroorganizmusok szerepe. — A szennyvíziszap szerves anyagának lebontásában (mineralizáció) a heterotróf táplálkozású prokarióták és gombák vesznek részt. A degradáció sebessége nagyon sok tényezőtől függ. A lebontás alapvetően mikrobiológiai, biokémiai folyamatok eredménye, ezért minden tényező, amely hatást gyakorol a mikroorganizmusok szaporodására, aktivitására, valamint az enzimaktivitásokra, befolyásolja a lebontás sebességét. A szerves alkotóelemek mikrobiális mineralizációjának termékei aerob és anaerob feltételek között eltérnek. Az aerob metabolizmus fő terméke a CO_2, H_2O és sejtanyag, anaerob feltételek között köztes termékek — szerves savak, alkoholok, aminok, merkaptánok — akkumulálódnak. Mivel az energiahasznosulás az anaerob fermentáció során kicsi, kevesebb mikrobiális sejt jut a degradáló szerves szén egységére [38].

A szennyvíziszap szerves anyagának lebontását a talajban jól nyomon lehet követni a fejlődött szén-dioxid mérése alapján. Az eddigi vizsgálatok [8, 10, 30] azt mutatták, hogy a talajlégzés megnövekedett a szennyvíziszap hatására. Ez mutatja, hogy a mikrobiális lebontó folyamatok zavartalanul mennek végbe, azaz a mikroorganizmusok jól hasznosítják tápanyagként. A szerves szén mineralizációja azonban csökkenhet, ha az iszap nagy mennyiségű nehézfémet (pl. a bőrgyári szennyvíziszap krómot) tartalmaz [5].

TERRY és munkatársai [35] szerint a ^{14}C-vel jelzett anaerob rothasztott kommunális szennyvíziszap a talajba keverés után négy hétig gyorsan mineralizálódott, később a folyamat lelassult és egyenletes üteművé vált. Tizenegy hónap alatt a szerves ^{14}C 46%-a alakult CO_2-vé. Az összes CO_2 mennyisége lineáris összefüggést mutatott az idő logaritmusával. A talaj eredeti szervesszéntartalmának bomlását is nagymértékben fokozta (priming effect) a szennyvíziszap bekeverése. A ^{14}C jelentős része a humin- és fulvósav frakcióba épült be.

A szennyvíziszap N-tartalmának átalakulása a talajban

A szennyvíziszapban a nitrogén jelentős hányada szerves kötésben van. A nyers iszapokban a nitrogén nagyrésze fehérjében található, ugyanakkor az anaerob rothasztott és aerob stabilizált szennyvíziszap kevés proteint tartalmaz, de különböző fehérje-bomlástermékek nagyobb mennyiségben lehetnek jelen [38]. A fehérjék nemcsak fontos energiaforrások, hanem egyes mikroorganizmusok számára nélkülözhetetlen aminosavforrást jelentenek, ugyanis ezek bioszintézis révén nem képesek az összes aminosav előállítására. A fehérjék lebontása a talajban a proteolitikus aktivitással jellemezhető.

BECK és SÜSS [6], valamint DIEZ [14] vizsgálatai szerint a szennyvíziszap-kezelés hatására megnövekedett a talaj proteázaktivitása, és ezzel párhuzamosan növekedett a mikrobiális biomassza mennyisége. TOMATI és munkatársai [36] szintén a mikrobatömeggel együtt növekvő proteázaktivitást észleltek, ugyanakkor megállapították, hogy a fehérjebontó aktivitás az

iszapkezelést követően gyorsan lecsökkent a talajban, míg a rizoszférában kismértékű volt a csökkenés. A talajba került szervesnitrogén-vegyületek lebomlása során ammónia fejlődik. A talajban élő mikroorganizmusok a tápanyagforrásként felhasznált szerves anyag C- és N-tartalmát is hasznosítják. Sok esetben azonban a lebontandó szerves anyag C/N aránya 25-nél szűkebb, és ez meghaladja a mikroorganizmus N-szükségletét [3]. A többlet nitrogén a talajba kerül ammónia formájában. A talaj ammonifikációs aktivitása a szennnyvíziszap-kezelés hatására sokkal nagyobb mértékben fokozódik, mint az összmikrobaszám [6, 14, 30]. Az ammonifikációs-aktivitás csökkenését figyelte meg azonban COPPOLA [10], ugyanakkor az ammonifikáló szervezetek számában nem tapasztalt változást. Ez arra mutat, hogy az ammonifikáló szervezetek tevékenysége érzékenyebben reagál a szennyvíziszap-kezelésre, mint biomasszatömegük. A talajba jutott, valamint a mineralizációs folyamat során képződött ammóniát a talaj kicserélő helyei (agyagásvány, humusz) visszatartják, amíg a kemoszintetizáló autotrófok *(Nitrosomonas, Nitrobacter)* nitrifikálják. A nehézfémek erősen gátolják a nitrifikációt [4]. BECK és SÜSS [6] azt tapasztalta, hogy a nitrifikációval nem mindig tartott lépést a denitrifikáció, és ennek következtében a nitrát mennyisége megnövekedett a talajban. COPPOLA [10] szerint a komposztált szennyvíziszap közvetett módon — a talajszerkezet javítása révén — fokozta a nitrifikációt. Szoros korrelációt talált a nitrifikációs aktivitás és az ammóniaoxidáló, valamint nitritoxidáló baktériumok száma között. A talajban megnövekedett nitrátmennyiség különösen azért olyan veszélyes, mert a vízmozgással könnyen kimosódik a talajvízbe. Ezért nagyon fontos a mezőgazdasági gyakorlat szempontjából, hogy egy adott N-tartalmú iszapból mennyi juttatható ki, hogy a nitrátfelhalmozódást elkerüljük. Anaerob rothasztott szennyvíziszapból maximálisan 500 m^3/ha adagot javasolnak mezőgazdasági területre, ami egyenletes kihelyezés esetén 600 kg/ha N-utánpótlást jelent [38].

Nagymennyiségű szennyvíziszap alkalmazásakor az ammónia felhalmozódhat a talajban, ami a *Nitrobacter* fajok aktivitását nagymértékben csökkenti, és ez a talaj nitritszintjének emelkedéséhez vezet [9].

A talajban a nitrátredukció a mikroorganizmusok közreműködésével két folyamat eredményeként megy végbe. Az egyik az asszimilatív nitrátredukció, amikor a nitrátot a baktériumok és a növények bioszintetikus folyamataikhoz veszik fel és építik testükbe. A másik a disszimilatív nitrátredukció (biológiai denitrifikáció), amikor a fakultatív anaerob baktériumok légzési folyamatukhoz nitrátot használnak terminális elektronakceptornak. A talajban végbemenő denitrifikációs folyamat kedvező feltételei: semleges körüli pH, könnyen lebontható szerves anyag, valamint nitrátok jelenléte és anaerob körülmények. A nagyadagú szennyvízöntözés és kevésbé stabilizált iszapok kijuttatása a talajban anaerob feltételeket hoz létre, és a nitrát néhány nap vagy hét alatt szinte teljesen eltűnik a denitrifikáció következtében [8]. A nyers szennyvíz és -iszap viszonylag nagy, könnyen hasznosítható szerves-C-tartalma is serkenti a denitrifikációs folyamatokat.

A talajban végbemenő N-forgalom fontos láncszeme a N-fixáció. A N-kötő mikroorganizmusok növekedéséhez könnyen hasznosítható szervesszénforrás szükséges. A szennyvíziszap-kezelés és a N-fixációs aktivitás között nem sikerült egyértelmű összefüggést találni [10]. Az aerob és anaerob N-kötő mikroorganizmusok nagyon érzékenyen reagálnak a talaj nehézfémtartalmára, emiatt, biológiai tesztként, az esetleges toxicitás kimutatására használhatók [12].

A szennyvíziszappal talajba került kén és foszfor forgalma

A szennyvíziszap viszonylag magas koncentrációban tartalmaz foszfort (0,7—3,9%), elsősorban ortofoszfát és kondenzált foszfát (meta- és polifoszfát), valamint szerves foszfát alakjában [38]. A talajba került ortofoszfát egy része kémiai fixációval immobilizálódik, vas-, alumínium- és kalciumionok, valamint az agyagásványok révén, másik részét a mikroorganizmusok és a növények felveszik. A talaj mikroorganizmusai a szerves és kondenzált P-

vegyületekből ortofoszfátot szabadítanak fel mineralizációs tevékenységük során [3]. STADELMANN és FURRER [30] nagyadagú rothasztott szennyvíziszap adagolásának hatására a talaj alkalikus foszfatázaktivitásának növekedését tapasztalták. TOMATI és munkatársai [36] megállapították, hogy az egyre növekvő iszapadagok eredményeként a savas foszfatázaktivitás növekedett, és a mikrobaszámadatok is hasonlóan alakultak.

A tisztított szennyvízben a kén elsősorban SO_4^{2-}-ként van jelen, de különböző mennyiségben szerves kötésben is található. A szennyvíziszap jóval több szerves ként, ezenkívül nem oldódó fémszulfidot tartalmaz. A mineralizációs folyamat során, aerob feltételek között, szulfát szabadul fel, és a mikroorganizmusok tevékenysége révén a növények számára felvehetővé válik.

A helytelen nagyadagú szennyvíz- és folyékonyiszap-öntözés anaerob körülményekhez, a szulfátionok szulfiddá való redukciójához vezet [38]. A kénhidrogén a különböző fémeket nem oldódó szulfidokká alakítja.

A szennyvíziszappal talajba került fémek forgalma

A szennyvízzel és -iszappal talajba került nehézfémek a talajszelvény felső rétegeiben maradnak [16, 39], a talaj szerves anyagaihoz és kolloidális agyagásványaihoz kötődnek, vagy pedig kicsapódnak oldhatatlan oxidok, hidroxidok, foszfátok és szulfidok formájában [38]. A mikrobiális aktivitás révén a talajban folyamatosan termelődnek olyan szerves vegyületek, amelyek kelátokat alkotnak a fémionokkal. Ezek a szervesfém komplexek jól oldódnak [23], azonban le is bomlanak, így az aktuális oldhatófém-koncentrációt a keláló szerves anyagok szintézisének és lebontásának aránya szabja meg.

Szennyvízöntözés során, különösen túlöntözés esetén, a talajban vízpangás következtében anaerob feltételek jönnek létre, gyorsan emelkedik a Fe(II) és Mn(II)-szint. A Fe(III) és a Mn(IV) redukciója majdnem kizárólagosan mikrobiális aktivitás eredménye [3]. A redukált Fe- és Mn-tartalmú ionok meglehetősen mozgékonyak és a talajvízbe juthatnak. A mikrobiális alkilezés a higany, a szelén és a tellur mozgékonyságát növeli [3]. Néhány mikroorganizmus képes ásványi savakat (salétromsav, kénsav) termelni. Ezek a savak fém-oxidot, -hidroxidot vagy -foszfátot képesek kis mennyiségben feloldani [38]. A szennyvíziszappal adagolt kadmium a szervesanyag-mineralizáció ütemében mobilizálódik, és később nagy része a holt mikrobiális biomasszában akkumulálódik [31].

A szennyvíziszap-kezelés hatása a talajmikroflórára

A szennyvíziszapok mezőgazdasági területre való kihelyezésekor figyelembe kell venni, hogy a kijuttatott mennyiség hogyan hat a talaj mikroflórájára. A talaj ökológiai feltételeiben változás következhet be, ami kihat a talajmikroflóra népességi viszonyaira. A szennyvíziszap talajmikrobiológiai hatásának értékelése során vizsgálni szokták a talajban az összes mikroorganizmus-számot, a sugárgombák és a gombák számát, valamint a C- és N-mineralizációs folyamatokban részt vevő főbb élettani csoportokba tartozó mikroorganizmusok mennyiségét. Egyes vizsgálatokban kiemelten nyomon követik egy genus vagy faj népességének alakulását (pl. *Azotobacter* spp).

A heterotróf mikroorganizmusok száma a talajban a szennyvíziszap-adagolást követően általában növekszik [6, 10, 30]. Gyakorlatilag az történik, hogy a szennyvíziszap szerves anyagát hasznosítani képes mikroorganizmusok gyors szaporodásnak indulnak. A nagyadagú szennyvíz- és hígtrágyaöntözés is növeli a mikroorganizmusok mennyiségét [2, 15, 20], de kötöttebb talajokon a talaj tömörödése és aerációs viszonyainak romlása következtében számuk csökkenhet.

STADELMANN és FURRER [30] szerint szennyvíziszap hatására megnövekedett az aerob baktériumok és a sugárgombák száma, ugyanakkor az autotróf talajalgák és N-kötő kékalgák számában csökkenést figyeltek meg.

Anaerob rothasztott és aerob stabilizált szennyvíziszapok, valamint ezek komposztált formái növelték a proteinbontó, ammonifikáló, nitritoxidáló és N-kötő baktériumok számát, az ammóniaoxidálókét viszont csökkentették [27]. COPPOLA [10] aerob módon komposztált szennyvíziszap hatására nem tapasztalt különbséget az ammonifikáló, nitrifikáló és N-kötő szervezetek számában a négy vizsgált talaj (vulkanikus, homokos vályog, terra rossa, agyagos vályog) esetében.

Az aerob és anaerob baktériumok száma közvetlenül a hígtrágya talajba juttatását követően növekedett, a trágya lebontásában főleg *Pseudomonas*, *Alcaligenes* és *Nocardia* fajok vettek részt [2]. Iszapadagolás eredményeként a *Nocardiák* száma 14 hónap alatt százszorosára növekedett [25]. A *Nocardián* kívül a *Micromonospora* spp. mennyisége is nagymértékben gyarapodott a víztelenített szennyvíziszap hatására, ugyanakkor a híg — tehát jóval alacsonyabb szervesanyag-tartalmú — szennyvíziszap alkalmazása esetén számuk nem változott [26]. Ezzel ellentétben a *Thermoactinomyces* spp. száma a folyékony iszap hatására növekedett, a víztelenített viszont nem befolyásolta.

A szennyvíziszap nehézfémtartalma gátolta az aerob és anaerob N-kötő [21, 29], valamint a nitrifikáló baktériumok [21, 22] tevékenységét és szaporodását. A *Rhizobium japonicum* csökkenő életképességét is a szennyvíziszappal talajba juttatott nehézfémeknek tulajdonítják [29].

Rézbányából származó, alacsony szervesanyag-tartalmú szennyvíz a baktériumok, sugárgombák és gombák összmennyiségét nem befolyásolta, de az aerob N-kötő azotobaktereket és az anaerob N-kötő klosztridiumokat szinte teljesen kipusztította, valamint csökkentette a *Nitrosomonas* és *Nitrobacter* fajok mennyiségét is. A cellulózbontó *Cellvibrio* és *Cytophaga* fajok száma viszont nem változott [21].

A szennyvíziszappal talajba juttatott mikroorganizmusok

A szennyvízzel és -iszappal nagy mennyiségű mikrobatömeget is a talajba juttatunk, ezek egy része talajidegen, esetleg patogén. Az iszapdepókban az első három hónapban jelentős a csíraszám-növekedés, amelyet egy gyors csökkenés követ, a hetedik hónaptól pedig ismét növekszik a csíraszám [13]. Ez utóbbi valószínűleg a mikrobaközösség szelekciójának és átrendeződésének a következménye. Kórokozó mikroorganizmusok a talajba juttatást követő néhány hónap után általában már nem mutathatók ki. A szennyvíziszappal kezelt talajokból a fekáliával bekerülő enterális baktériumok, az enterokokkuszok, a coli csoport tagjai, valamint a különböző *Salmonella*, *Shigella* és más bélcsatorna eredetű patogén fajok tűnnek el a leggyorsabban [34]. Ezek túlnyomó többsége már a megfelelő istállótrágya-kezelés, valamint a szennyvíziszapok rothasztása során elpusztul [18]. Jóval hosszabb ideig, esetleg 1—2 évig is előfordulnak a talajban a kívülről bevitt patogén *Mycobacterium* fajok, a tuberkulózis, a lepra és más emberi és állati betegségek kórokozói.

A *Clostridium perfringens*, amely spórás állapotban hosszú ideig megmarad, a fekális eredetű szennyeződések indikátora. Szennyvizes, illetve fekális terhelést jelez a talajokban a termofil baktériumok feldúsulása is [24]. A szennyvíziszappal közvetlenül dolgozók, valamint a szennyvíztisztító telepek közelében lakók a mikobaktériumos fertőzés veszélyének lehetnek kitéve az egészségügyi és technológiai előírások nem megfelelő betartása esetén [33].

Összefoglalás

A szennyvíziszapok egyrészt környezetszennyező anyagok, másrészt megfelelő körültekintéssel szervestrágyaszerként hasznosíthatók a mezőgazdaságban. A szennyvíziszap gyarapítja a talaj szervesanyag-tartalmát, kedvezően hat a fizikai tulajdonságaira, N-, P- és mikroelemtartalma révén hozzájárul a növények tápanyagellátásához.

Az alkalmazás során nemcsak a talajra és növényzetre, hanem a talajmikroflórára gyakorolt hatást is célszerű vizsgálni. A talajban élő mikroorganizmusok mineralizálják a bejuttatott szerves anyagot, és a mérgező szerves anyagok detoxikálásában is részt vesznek. Szennyvíziszap-kezelés hatására a talajban élő mikroorganizmusok mennyisége általában növekszik, ha nincsenek jelen toxikus anyagok. A szennyvíziszap-kihelyezés legnagyobb veszélye az, hogy a talajban megnövekedhet a nehézfémek mennyisége. Ez változást idézhet elő a talajmikroflóra összetételében, amelynek beláthatatlan következményei lehetnek, ezenkívül a táplálékláncba bejutva az emberek egészségét is károsíthatják. A másik veszély az, hogy a szennyvíziszappal kórokozók kerülnek a talajba (féregpeték, patogén mikroorganizmusok), és ezek esetleges fertőzések forrásai lehetnek.

Irodalom

[1] ABRAMS, B. I. & MITCHELL, M. J.: Role of nematoda-bacterial interactions in heterotrophic systems with emphasis on sewage sludge decomposition. Oikos. **35.** 404—410. 1980.

[2] AHRENS, E. & FARKASDI, G.: Wirkung von Siedlungskomposten und Stalldung aus Umsetzungen und Keimzahlen im Boden. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. **27.** 59—78. 1978.

[3] ALEXANDER, M.: Microbial ecology. John Wiley and Sons. New York. 1971.

[4] BABICH, H. & STOTZKY, G.: Effects of cadmium on the biota: Influence of environmental factors. Adv. Appl. Microbiol. **23.** 56—117. 1978.

[5] BAKONDINÉ ZÁMORY É.: Növekvő Cr-dózisok hatása a talajok mikrobiológiai folyamataira. In: Települési szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezésének talajtani és agrokémiai kérdései (Ankét) 170—176. MÉM NAK. Budapest. 1984.

[6] BECK, TH. & SÜSS, A.: Der Einfluss von Klärschlamm auf die mikrobielle Tätigkeit im Boden. 2. Pflanzenernaehr. Bodenk. **142.** 299—309. 1979.

[7] BUNTING, A. H.: Experiments on organic manures, 1942—1949. J. Agric. Sci. **60.** 121—140. 1963.

[8] CHAUSSOD, R.: Side effects of sewage sludges: Possible enhancement of denitrification. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. (Eds.: CATROUX, G., L'HERMITE, P. & SUESS, E.) 196—207. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht. 1983.

[9] COOPER, J. E.: Nitrification in soils incubated with pig slurry. Soil Biol. Biochem. **7.** 119—124. 1975.

[10] COPPOLA, S.: Soil microbial activities as affected by application of composted sewage sludge. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils (Eds.: CATROUX, G., L'HERMITE, P. & SUESS, E.) 170—195. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht. 1983.

[11] CURRY, J. P.: Some effects of animal manures on earthworms in grassland. Pedobiologia. **16.** 425—438. 1976.

[12] CSATAI L.: Toxikus talajok mikrobiológiai vizsgálata. Budapesti Közegészségügy. **1.** 5—7. 1983.

[13] CSINÁDY L. et al.: Kommunális szennyvíziszap mezőgazdasági elhelyezésének közegészségügyi vonatkozásai. In: Települési szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezésének talajtani és agrokémiai kérdései. (Ankét) 188—206. MÉM-NAK. Budapest. 1984.

[14] DIEZ, TH.: Increasing organic matter of soils by sewage sludge. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. (Eds.: CATROUX, G., L'HERMITE, P. & SUESS, E.) 2—10. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht. 1983.

[15] EILAND, F.: The effects of application of sewage sludge on microorganisms in soil. Tidsskrift for Planteavl. **85.** 39—46. 1981.

[16] EMMERICH, W. E. et al.: Solid phase forms of heavy metals in sewage sludge-treated soils. J. Environm. Qual. **11.** 178—181. 1982.
[17] EPSTEIN, E.: Effect of sewage sludge on some soil physical properties. J. Environm. Qual. **4.** 139—142. 1975.
[18] FLINT, K. P.: Microbial ecology of domestic wastes. In: Experimental microbial ecology. (Eds.: BURNS, R. G. & SLATER, G. H.) 575—590. Publishing House Blackville Scientific Publications. Oxford—London—Edinburgh—Boston—Melbourne. 1982.
[19] HEMKES, O. J., KEMP, A. & VAN BROEKHOVEN, L. W.: Accumulation of heavy metals in the soil due to annual dressing with sewage sludge. Neth. J. Agric. Sci. **28.** 228—237. 1980.
[20] KATOH, K. & SUZUKI, T.: Microflora of soils treated with animal wastes. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci., Ser. B. Tokyo. **30.** 73—135. 1979.
[21] KOBUS, J. & KABATA—PENDIAS, A.: Effect of heavy metals on biological activity of soil and their accumulation by plants. In: Soil biology and conservation of the biosphere. (Ed.: SZEGI, J.) 405—413. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1977.
[22] LIANG, C. N. & TABATABAI, M. A.: Effects of trace elements on nitrification in soils. J. Environm. Qual. **7.** 291—293. 1978.
[23] LINDSAY, W. L.: Chemical equilibria in soils. Wiley Interscience Publications. New York. 1979.
[24] MISUSZTIN, E. N., PERCOVSZKAJA, M. I. & GORBOV, V. A.: Szanitarnaja mikrobiologija pocsvü. Nauka. Moszkva, 1979.
[25] ORCHARD, V. A.: Effect of sewage sludge additions on *Nocardia* in soil. Soil Biol. Biochem. **11.** 217—220. 1979.
[26] ORCHARD, V. A.: Long term effect of sewage sludge additions on populations of *Nocardia asteroides*, *Micromonospora* and *Thermoactinomyces* in soil. Soil Biol. Biochem. **12.** 477—481. 1980.
[27] PERA, A. et al.: Land application of sludge: effects on soil microflora. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. (Eds.: CATROUX, G., L'HERMITA, P. & SUESS, E.) 208—228. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht. 1983.
[28] PERECSI F.: Szennyvíziszapok kezelésének és elhelyezésének helyzete és fejlesztési lehetőségei Magyarországon. In: Települési szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezésének talajtani és agrokémiai kérdései (Ankét) 5—11. MÉM NAK. Budapest. 1984.
[29] REDDY, G. B., CHENG, C. N. & DUNN, S. J.: Survival of *Rhizobium japonicum* in soil-sludge environment. Soil Biol. Biochem. **15.** 343—345. 1983.
[30] STADELMANN, X. & FURRER, O. J.: Influence of sewage sludge application on organic matter content, microorganisms and microbial activities of a sandy loam soil. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. (Eds.: CATROUX, G., L'HERMITE, P. & SUESS, E.) 141—166. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht. 1983.
[31] STADELMANN, F. X. et al.: Wechselbeziehungen zwischen Bodenmikroorganismen und Cadmium in Labor- und Gefässversuchen. Landw. Forsch. Sonderheft **39.** 384—393. 1983.
[32] STEVENSON, B. G. et al.: Effect of sewage sludge on decomposition processes in soils. Pedobiologia. **26.** 95—105. 1984.
[33] SZABÓ I.: A kezeletlen szennyvíziszap közegészségügyi jelentősége, különös tekintettel a mikobaktériumok által okozott emberi megbetegedésekre. Agrokémia és Talajtan. **32.** 458—460. 1983.
[34] SZEGI J.: Mikrobiológiai folyamatok a szennyvíziszappal kezelt talajokban. In: Települési szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezésének talajtani és agrokémiai kérdései. (Ankét) 151—159. MÉM NAK. Budapest. 1984.
[35] TERRY, R. E., NELSON, D. W. & SOMMERS, L. E.: Carbon cycling during sewage sludge decomposition in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. **43.** 494—499. 1979.
[36] TOMATI, U., GRAPPELLI, A. & GALLI, E.: Sludge effect on soil and rhizosphere biological activities. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. (Eds.: CATROUX, G., L'HERMITE, P. & SUESS, E.) 229—242. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht. 1983.
[37] TUROVSZKIJ, I. SZ.: A szennyvíziszap kezelése. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1980.
[38] VERMES, L.: The role of microorganisms in the decomposition and re-use of waste waters and sewage sludges in soil. In: Soil biology and conservation of the biosphere. (Ed.: SZEGI, J.) 445—460. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1984.

[39] WILLIAMS, D. E. et al.: Trace element accumulation, movement, and distribution in the soil profile from massive applications of sewage sludge. Soil Sci. **129.** 119—132. 1980.

[40] ZETTEL, J. & KLINGLER, J.: Influence of sewage sludge application on microarthropods (collembola and mites) and nematodes in a sandy loam soil. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils (Eds.: CATROUX, G., L'HERMITE, P. & SUESS, E.) 167—169. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht. 1983.

SZILI KOVÁCS TIBOR
MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutató Intézete, Budapest

Érkezett: 1985. január 24.