

Újabb adatok a szennyvíziszap öntözés hatásáról karbonátos humuszos homoktalajain

FERENCZ KÁLMÁN és ZVADA MIHÁLY

Debreceni Agrártudományi Egyetem Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Kara, Mezőgazdasági-Kémia és Talajtani Tanszék, Szarvas

A szennyvizek és szennyvíziszapok mind nagyobb tömegű keletkezése és elhelyezési gondjai nyomán előttünk álló feladatokkal és lehetőségekkel előző tanulmányunkban /FERENCZ és ZVADA, 1984/ foglalkoztunk.

A szakirodalom egyik leginkább vitatott kérdése az utóbbi tíz évben a szennyvizek nehézfém tartalmának toxicitása, hatása a talaj mikroorganizmusaira, a mikrobiológiai folyamatokra. Érdemes kiemelni e tekintetben FÖRSTNER és WITTMANN /1983/ megállapításait, miszerint a nehézfémek felvehetősége, felvétele és felhalmozódása függ számos talaj-, növény- és egyéb tényezőtől /talaj pH, kationcserélő kapacitás, a szerves anyag és a nehézfémek komplexképzése, stb./.

Egyes növények nagy töménységben felhalmozhatnak szelént, molibdént, ólmot, stb. /halmozódó méreg az élelmiszerláncban/, amelyek toxikusak emberre és állatra, azonban ezzel egyidejűleg nem hatnak a növények normális fejlődésére. Ezeknek az elemeknek a növényi felvehetősége gyakran fontosabb, mint összes koncentrációjuk az iszappal kezelt talajban.

CHANEY /1983/ és mások is utalnak arra, hogy a potenciális fémfelvehetőség kutatási hibája a "só/iszap" tévedés. Ha fémet oldható sóként adagolunk, az nagyobb növényi felvételt /és így toxicitást/ eredményez, mintha ezt a környezetben előforduló anyagokkal, szennyvízzel, vagy fémoxidokkal tesszük.

Az utóbbi években felvetődött a szennyvízhasznosítás hazai normatíváinak felülvizsgálata, ill. módosítása. A témával foglalkozó hazai kutatók és feldolgozók maguk is szükségesnek tartották az 1983. évi szennyvízhasznosítási irányelvek felülvizsgálatát. Ezt indokoltá tették azok az újabb külföldi vizsgálatok, amelyek felhívják a figyelmet arra, hogy a különböző forrásokból származó makro- és mikroelemek, amelyek egyre nagyobb mennyiségben találhatók a szennyvizekben, több olyan hatást gyakorolnak a talajra és növényre, amelyeket a korábbiakban vagy nem ismertek fel, vagy a jelenlegitől eltérően értékelték /DAVIS et al., 1983; FÖRSTNER és WITTMANN, 1983; Heavy Metals in Sewage..., 1974-1976; JOHN és LAERHOVEN, 1976; KITAGISHI és YAMANE, 1981; PAGE et al., 1987; STEVENSON et al., 1984/.

Kísérletek igazolták, hogy növényélettani károsodás nélkül, nagy koncentrációban adagolhatók a nehézfémek, s mozgékonyságuk a talajokban is jelentéktelen: egy-két évtized alatt is a felső rétegből, amelybe bekeverték csak 5-10 cm-t mosódtak be az alsóbb rétegekbe /CATROUX et al., 1982; CHANEY, 1983; FULIER és WARRICK, 1985; LINZON, 1979; MACMICOL és BECKETT, 1985; OVERCASH és PAL, 1979/.

Vizsgálati anyag és módszer

Mint előző közleményünkben /FERENCZ és ZVADA, 1974/ részletesen ismertetésre került: a kísérletek Kiskúnhalas közelében a Dél-Bács-Kiskún megyei Vízmű Vállalat félüzemi 12 parcellás kísérleti telepén folytak. Az egyes parcellák átlagosan egy hektár nagyságúak voltak. A szennyvíz kihelyezése 40-60 cm mély nyílt árkos rendszerben történt. A nyárfákat, amelyek jelző-növények voltak, az árkok közötti sorokban telepítették.

A kísérleti terület talaja egységes. Főtípusa váztalaj, típusa: humuszos homok, altípusa: részben karbonátos homok, részben karbonátos kétrétegű homok. A talajvíz átlagos mélysége két méter /180-240 cm közötti ingadozással/.

A szennyvíziszapot felszín alatti nyomócsővezetéken és hordozható elosztóvezetékekkel juttatták ki a nyílt árokba. Az előző kísérletek során /1980-1983-ig/ 2000-5000 m³ szennyvíziszapot használtak fel a különböző kezelésekben.

A felszínhez közel elhelyezkedő talajvízből az esetleges szezonális változás, a szennyvíziszapos kezelés hatásának a jobb nyomon követése érdekében évente többször vettünk mintát. A talajvizsgálatokra pedig évente egyszer, az évi iszapmennyiség kiadása után, a tenyészidőszak végén, rendszerint október végén vagy novemberben végzett helyszíni vizsgálat és mintavétel alapján került sor.

Az előző közleményünkben /FERENCZ és ZVADA, 1974/ részben rögzítettük a talaj termékenysége szempontjából fontos fizikai és kémiai tulajdonságok eredeti értékeit /1979 évi/, valamint a 4 éves /1980-1983/ kezelés következtében előállt változásokat, amelyek nem befolyásolták a talaj kémhatását, valamint a szelvény sótartalmát az első három évben, viszont változást mutattak a 4. év során. Ugyancsak összefoglaltuk a talaj tápanyagtartalmának állapotát és változását.

Jelen tanulmányunkban a következő öt évben /1984-1988 között/ végzett vizsgálatainkat is felhasználva vonjuk le tízévi kutatómunka alapján következtetéseinket, illetve egészítjük ki a korábbiakat a szennyvíziszap talajra gyakorolt hatására vonatkozóan.

Vizsgálati eredmények

A szennyvíz/iszap/ és származékai

A szennyvíziszap-összetétel évi hatszori vizsgálatának minimális és maximális értékeit figyelembe véve az újabb vizsgálatok szerint nincs lényeges eltérés az összes száraz anyag, az összes oldott anyag és a lebegő anyag mennyiségében, valamint ezek izzítási maradékában, illetve izzítási veszteségében.

A kutatási időszak végén /1988-ban/ az összes szárazanyag-tartalom 6914-8271 mg/l, a kiváratosnál valamivel kevesebb. Ennek izzítási vesztesége 69-73 %, az összes oldott anyag 640-960 mg/l.

A szennyvíziszap és az iszapvíz pH mutatói 7,2-7,5 volt a különböző időpontokban vett mintáknál.

A szennyvíziszapban koncentrálódik a szennyvíz tisztításakor a nehézfémek legnagyobb hányada /az adott pH függvényében/ elsősorban vízben oldhatatlan formában. Az iszapelhelyező területre kijuttatott szennyvíziszap iszapvizével a disszociált ionok távoznak el leghamarabb, elsősorban a nátrium nagyobb hányada, majd a kálium és magnézium. E két utóbbi elem lassabban táródik fel, ezért a növények számára hosszabb ideig elérhető.

A vízben oldható összes sótartalom az iszapvízben gyakorlatilag állandó, az utolsó időszakban nem változott, 600-700 mg/l az év különböző időszaka-

kaiban végzett mérések szerint. Főképpen a tisztított szennyvíz és az iszapvíz összes sótartalma /az ionösszetételt is figyelembe véve/ alapján dönthető el az öntözésre való felhasználhatóság, a talajra gyakorolt esetleges szikesítő hatás.

Az iszapelhelyező terület talaja

Az 1979. évi adatokat kontrollként tekintve /pH 7,3-7,7/, 150 cm mélységig átlagosan 0,1 pH-emelkedést tapasztaltunk 1983-ig, ami még az éven belüli szezonális ingadozás maximumát sem éri el. A második időszakban /1984-1988/ is hasonló eredményeket kaptunk. Ennek magyarázatát a szokásos szezonális ingadozás tényezőin kívül a talajoldat koncentrációjának növekedése - csökkenése -, esetenként a kissé hosszabb adagolási szünetek adják.

A vízben oldható összes só mennyisége az utolsó két évben gyakorlatilag azonos, elhanyagolható mennyiségű. Az előző években átmeneti emelkedés volt 0,1-0,2 % között. A legnagyobb koncentráció az árokaljban volt észlelhető 60-140 cm között /0,10-0,17 % 1985-ben/, majd 1986 végére 0,04-0,12 %-ra csökkent.

Az S-érték növekedése, illetve csökkenése a második időszak egymást követő éveinek az adataihoz képest /hasonlóan az első időszakhoz/ megegyezik a Ca^{2+} csökkenésével, illetve gyarapodásával az azonos szintekben, rétegekben.

A kicserélhető Na^+ mérsékelt növekedése észlelhető 1985-ig, majd 1986-ban még az árokalj szelvényét is figyelembe véve, átlagosan 2-3 S % volt a szennyvíziszappal öntözött talaj adszorbeált nátriumtartalma.

A kicserélhető Ca^{2+} mennyisége növekedett 1986-ban is /82-93 S %/. Az 1. táblázatban mutatjuk be a szennyvíziszappal öntözött homoktalaj kicserélhető kationtartalmát a kísérleti időszak végére jellemző 1987. évi adatokkal.

A talaj vízgazdálkodása

A 2. táblázatban adjuk meg a szennyvíziszappal öntözött homoktalaj vízgazdálkodási jellemzőit az 1987. évi adatok alapján. Megállapítható, hogy a második vizsgálati időszakban /1984-1988/ további kedvező irányú változások következtek be a talaj vízgazdálkodási tulajdonságaiban. A szennyvíziszap

1. táblázat
Szennyvíziszappal öntözött homoktalaj kicserélhető
kationjai - a nevezőben az árokalj adatai -
/Kiskúnhalas, 1987/

Mélység, cm	S-érték me/100 g	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
		az S-érték százalékában			
0 - 20	11,4	82,9	13,3	1,8	1,9
20 - 40	8,5	83,6	11,1	2,0	1,3
40 - 60	10,0/8,6	85,5/81,2	10,8/15,4	2,6/2,3	1,0/1,0
60 - 80	14,3/16,6	89,7/84,3	8,2/13,6	1,5/0,6	0,6/1,2
80 - 100	19,3/20,6	90,6/88,9	7,9/9,3	1,0/0,8	0,4/1,0
100 - 120	27,8/26,1	88,9/91,3	9,5/7,2	1,5/1,0	0,2/0,5
120 - 140	22,9/20,5	89,1/90,9	9,3/7,1	1,3/1,7	0,3/0,4

2. táblázat

Szennyvíziszappal öntözött homoktalaj vízgazdálkodási jellemzői
/Kiskúnhalas, 1987/

Mélység, cm	pF 0 térfogatszázalékban	pF 2,5	pF 4,2	HV VK %-ban	RV	RL %	K, mm/h
60 - 80	45,2	29,3	16,8	57,4	65	35	338
80 - 100	41,9	29,3	14,0	48,0	70	30	60
100 - 120	45,1	34,0	16,3	48,0	75	25	27

adagolás hatására tovább nőtt a vízkapacitás. A RV:RL arány és a hidraulikus vezetőképesség mutatói is egészében a homokos vályog talajra jellemzőek lettek.

A talajvíz

A kísérleti területen lévő 5 talajvízfigyelő kút a területen átlósan helyezkedik el és egymástól való távolságuk nem haladja meg a 10-20 m-t.

A kutak vizének kémiai összetétele lényegesen nem különbözött az előző közleményünkben közölt adatoktól, miután a talajvíz mélysége is változatlan maradt.

A kutak vizének összes sótartalmának változása követi a szennyvíziszap kijuttatásának a helyét. Ennek megfelelően egyidejűleg egyes helyeken 100 mg/l-es növekedés, másutt 150 mg/l-es csökkenés következett be.

A kutak vizének nehézfém vizsgálati adatai a korábbi évekhez képest lényegesen nem változtak. A szennyvíziszapban található fémek kis része oldódik, de leszivárgás közben a nagy mésztartalmú rétegeken áthaladva, kicsapódnak. A talajvízig elsősorban a szerves komplexeket képző nehézfémek jutnak el.

Az iszapvízben oldott állapotban lévő N- és P-vegyületek NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} ion formájában jutnak el a talajvízig. A PO_4^{3-} -ion leszivárgás közben kicsapódik, s így tovább folytatódik a homoktalaj foszforral való feltöltődése. A PO_4^{3-} koncentráció a talajvízben minimális /0,36-0,90 mg/l/.

A nitrogént tartalmazó ionok már könnyebben eljutnak a talajvízig. Az ammóniumionok mennyiségét ugyan csökkenti a kationadszorpció a talajkolloidok felületén, de kis mennyiségben megtalálható az ammónia a talajvízben. Jelentékenyebb lehet a NO_3^- -ionok bemosódása a talajvízbe. A legnagyobb nitrátkoncentrációt /43,1 mg/l/ a 4. sz. kút vizében mértük.

Makrotápanyag-tartalom a talajban

A szennyvíz/iszap/ adagolás lényeges mozgást idéz elő a talajban, többnyire az év legszárazabb időszakában. A szennyvíziszap és a csapadék együttesen gyakran meghaladja a talaj és a növény párolgási veszteségét, tehát merőben új helyzet áll elő.

Az a nitrogén, amit nem tart vissza a talaj kilügződik, gáznemű alakban elillan, vagy a növények veszik fel. A NO_3^- gyakran adszorbeálódik, gyengén kötődik a talajhoz, tehát mozog a vízzel, ha biológiai reakciókkal nem tud megkötődni. Ahol nem viszik el a növényzetet a talajról, az évi felvétel nagy része a következő években felszabadul.

A felvehető /AL-oldható/ foszfor a szennyvíziszapos kezelés hatására 1985-tel bezárólag tovább növekedett a felső 40 cm-es rétegben, illetve az

árokaljban 60-100 cm között. 1986 végére 20-50 %-kal csökkent a P_2O_5 -ben ki-mutatható készlet a talajban, s így a záró mérleg szerint a felső 20 cm-es rétegben 18 mg/100 g, az árokalj felső rétegében 60-80 cm/ 56 mg/100 g volt. A következő 1-2 év adatai is gyakorlatilag ezzel azonosak.

Összegezve tehát, az 1983-ig növekvő P_2O_5 -, K_2O - és az összes N-mennyiséghez képest 1987-re lényeges csökkenés következett be, főleg a kálium-, kevésbé a foszfor- és ezeknél kisebb mértékben az összes nitrogénkészletben.

A biomassa-termeléshez szükséges évi tápanyagszükséglet kifejtett er-dőkben egyensúlyban van a meglévő tápanyagokkal. Az évi nitrogénfelvétel nagyrésze a következő években felszabadul.

Jó egyezőséget mutatnak adataink az észak-Amerikában hasonló talajon végzett szennyvízöntözéssel, amely 120 cm mélységig növelte a P-tartalmat. A felső 15 cm-es réteg nem volt egyensúlyban a szennyvíz P-tartalmával, még-is jelentős mennyiségű foszfor áramlott keresztül rajta és halmozódott fel a 15-30 cm-es rétegben.

Nehézfémek a szennyvíziszappal öntözött talajban

A szennyvíziszappal a talajba juttatott nehézfémek mozgása, felhalmo-zódása függ a kérdéses fém és a talaj tulajdonságaitól /pH, redox-viszonyok, nedvességtartalom stb./. A nehézfémek felvehetőségét elsősorban oldhatósá-guk határozza meg, az oldhatóságot pedig a pH. Ezért három különböző pH-ér-téknél vizsgáltuk meg a nyárfás kísérleti terület talajának nehézfém-tartal-mát.

A 3. és 4. táblázat az 1987. évi adatokat tartalmazza, melyek vizsgálá-taink közül a legteljesebbek és jól reprezentálják az egész időszak alatt mért értékeket.

A 0,1 N HNO_3 -ban oldható nehézfém-tartalom jól megközelíti az összes mennyiséget. Az árokaljban visszamaradt víztelenedett iszapréteg nehézfém vizsgálatának eredményei mutatják, hogy az iszap szerves anyaga mennyire képes visszatartani a nehézfémeket.

Az adatokból az is kitűnik, hogy az elemek oldhatósága különböző mér-tékben függ a pH-tól. A mangán, cink és króm esetében alig van különbség az Al -/ammóniumlaktát/-oldható és a 0,1 N HNO_3 -ban oldható mennyiség között. A réz esetében az oldhatóság erősen pH-tól függő, de komplex formában igen jól oldódik, amint a 4. táblázat adatai mutatják.

Az eredmények és értékelésük

A karbonátos homoktalaj alatt 2,0 m mélyen elhelyezkedő 400-700 mg/l összes só-tartalmú talajvíznek a nátriumszázaléka 5-20. Ezt a talajt átlago-san évi 180-200 mm olyan szennyvíziszappal öntözték, amelynek - tisztított szennyvizének és iszapvizének - összes só-tartalma 600-700 mg/l, nátriumszá-zaléka 30-45. Közel tíz évi öntözéssel másodlagos szikesedés nem következett be.

További kedvező hatások:

- a vízben oldható só-tartalom jelentősen nem növekedett, de az átmeneti felhalmozódás egy év alatt csökkent,
- növekedett a szervesanyag-tartalom,
- lényegesen megnőtt a talaj kationadszorpciós kapacitása,
- a talajfizikai, vízháztartási mutatók kedvezőbbé váltak,
- nagymértékben gyarapodott a makro- és mikrotápanyagkészlet a talaj-ban,
- terménynövelő hatású volt maga az öntözés.

3. táblázat
Karbonátos homoktalaj 0,1 N HNO₃-ban oldható nehezfémtartalma /Kiskúnhalas, 1987/ - nevezőben az árokalaj adatai -

Mélység, cm	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni mg/kg	Cr	Co	Cd	Pb
0 - 20	122	152	28	2,0	1,4	3,6	1,2	0,4	14,0
20 - 40	115/3620 ^x	125/304 ^x	25,5/820 ^x	1,6/88 ^x	1,6/107,5 ^x	1,0/35,5 ^x	0,8/6,0 ^x	0,6/12,0 ^x	1,6/90,0 ^x
40 - 60	103/370	111/68	19,0/59,5	2,8/4,6	2,6/3,0	1,8/1,6	0,8/3,6	0,8/1,0	2,8/5,6
60 - 80	118/239	114/195	19,5/16,5	2,6/4,0	1,8/3,6	4,6/4,0	1,2/1,0	1,2/1,6	4,4/8,8
80 - 100	26/27	141/185	7,5/13,0	3,0/3,6	3,6/4,8	4,4/4,8	2,2/3,4	2,0/1,8	10,2/15,4
100 - 120	26/89	107/138	2,5/12	2,6/2,8	5,2/4,8	4,0/5,0	2,8/4,0	1,2/2,8	16,2/17,6
120 - 140	193/206	140/102	11,0/17,0	3,0/2,4	4,6/4,4	2,0/2,4	1,8/3,6	1,6/1,6	11,4/10,8
140 - 160	208/212	147/99	6,5/15,0	2,8/2,0	3,0/2,6	2,6/1,8	2,6/3,0	1,4/1,8	12,8/19,2
160 - 180	180/204	205/110	34,5/36,0	5,0/2,6	3,0/3,0	2,0/3,0	2,2/3,2	1,8/1,6	14,2/19,6
180 - 200	/203	/180	/21,5	/2,8	/4,0	/2,6	/3,6	/1,8	/4,6

^x35-40 cm közötti száraz iszaprétegből

4. táblázat
Szennyvíziszappal öntözött nyárfa-jelzőnövényes homoktalaj nehezfémtartalma különböző kivonószerekkel /Kiskúnhalas, 1987/

Mélység, cm	0,05 molos EDTA + 0,1 N KCl				Ammonium-laktát				0,1 N HNO ₃			
	kivonószerekkel kivonható, mg/kg				kivonószerekkel kivonható, mg/kg				kivonószerekkel kivonható, mg/kg			
	Fe	Cu	Zn		Fe	Cu	Zn		Fe	Cu	Zn	
0 - 20	65,0	1,5	1,9		71,0	1,4	8,6		122	2,0 ^a	28,0	
40 - 60	37,2	1,2	0,9		64,0	2,0	6,8		103	2,8	19,0	
80 - 100	10,8	1,2	1,2		107,0	3,0	5,6		26	3,0	7,5	
120 - 140	12,8	0,3	0,5		248,0	2,6	9,6		193	3,0	11,0	

Jelentősen növekedett ugyan a nehézfém mennyisége a talajban, de olyan keretek között, ami sokkal inkább tápanyagforrásnak, mint toxikus elemek felhalmozódásának tekinthető, amint azt a nyárfaállomány növekedése is mutatja.

Szennyvízöntözés hatása a nyárfaállományra

A fák átmérője és magassága jelentősen nagyobb, mint a kezeletlen kontrollterületeken. A szennyvíziszapos kezelés a kezdeti állapothoz viszonyítva I-III termőhelyi osztálynak megfelelő javulást eredményezett. Az 1988. évi állományfelvétel adatai az 1975-ben telepített olasznyárasban: átmérő 27,2-33,8 cm; magasság 21,0-25,4 m.

További feladatok

Nemcsak az eleve felszínhez közel elhelyezkedő talajvízű területek gondja a szennyvizek talajtermékenységet megőrző, illetve fokozó elhelyezése. Több méterrel is emelkedhet a talajvízszint 4-5 év alatt, mint pl. egyes rizstermelő területeken. Kiskúnhalason is - különös tekintettel a felszínközeli talajvízre - elkerülhetetlen lett volna a szennyvízadagok lényeges megemelése esetén a talajvízszint-emelkedés, állandósult volna homoktalajon is és nagyobb mérvű lett volna a só- és nátrium felhalmozódása.

Országos gond, ezért célszerű lenne megteremteni a feltételeit annak, hogy a kritikus talajvízszint fenntartására alapozott, az eddigi kutatási eredményeket is felhasználó kísérlet indulhasson közepes és nehéz textúrájú talajokon is. Ezt külön is indokolják főképpen az Alföld nagykiterjedésű, eleve magas talajvízszintű területei, ahol ilyen rendszerek működnek, illetve működni fognak a jövőben.

Összefoglalás

A települési és ipari eredetű szennyvíziszappal tíz éven át évi 130-200 mm átlag adagokkal öntöztek karbonátos homoktalajt 1979-1980 között. A szennyvíziszapot nyárfa sorok közötti nyílt árkokba vezették.

A pH a szennyvíziszapos öntözés hatására nem változott, 180 cm mélységig 7,2-8,2 volt.

A vízben oldható összes só mennyisége a szennyvízes kezelés után 0,1-0,2 %-ra emelkedett, ami általában egy év alatt visszaesett 0,1 % alá.

A szennyvíziszap zömmel szerves anyagból álló szilárd maradéka forrása a homoktalaj fizikai tulajdonságaiban bekövetkezett változásoknak. Az egyes évek közötti ingadozások után a talaj szervesanyag-tartalma az induló állapothoz képest gyarapodott.

Ennek tulajdonítható a kationadszorpciós kapacitás növekedése, s ezen belül kedvező az, hogy a többlet szinte teljes egészében kalciumból realizálódik.

A talajfizikai és -vízháztartási mutatók $/h_{y1}$, pF/ szerint a homokos vályogra jellemző vonásokat mutat a talaj a kezelési időszak második felében.

A 2,0 m mélységben elérhető talajvízben a foszfátionok mennyisége minimális. A legnagyobb nitrátkoncentráció 43,1 mg/l volt.

Jelentősen növekedett a makro- és mikrotápanyagok mennyisége, de ez utóbbi sem volt olyan mértékű, hogy toxikus hatású lenne.

A nyárfa átmérője és magassága jelentősen nagyobb, mint a kontrollparcellákon.

Irodalom

- CATROUX, G., L'HERMITE, P. L., SUESS, E., 1982. The Influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. Dordrecht-Boston-London.
- CHANEY, R. L., 1983. Plant uptake of inorganic waste constituents. In: Parr-Marsch-Kla: Land treatment of hazardous wastes. Noyes Data Corp. Park Ridge, New Jersey.
- CHANG, A. C. et al., 1984. Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soils. J. Environm. Qual. 13. 87-91.
- DAVIS, R. D., HUCKER, G. and L'HERMITE, P., 1983. Environmental effects of organic and inorganic contaminants in sewage sludge. Reidel Publ., Dordrecht.
- FÖRSTNER, U. and WITTMANN, G. T. W., 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo.
- FULIER, W. H. and WARRICK, A. W., 1985. Soils in waste treatment utilization. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Heavy Metals in Sewage Sludge and Organic Waste, 1974-1976. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals.
- JOHN, M. K. and LAERHOVEN, C. J. van, 1976. Effects of sewage sludge composition, application rate and lime regime on plant availability of heavy metals. J. Environm. Qual., 5. 246-251.
- KITAGISHI, K. and YAMANE, I., 1981. Heavy metal pollution in soils of Japan. Jap. Sci. Soil Press, Tokyo.
- LINZON, S. N., 1979. Phytotoxicology excessive levels for contaminants in soil and vegetation. Wat. Res. Centre. Stevenage Hert Joodshire.
- MACNICOL, R. D. and BECKETT, P. H. T., 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. Plant and Soil. 85. 107-129.
- OVERCASH, M. R. and PAL, D., 1979. Design of land treatment systems for industrial wastes. Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich.
- PAGE, A. L., LOGAN, T. J. and RYAN, J. A., 1987. Land application of sludge. Lewis Publ., Chelsea, Mich.
- STEVENSON, B. G. et al., 1984. Effect of sewage sludge on decomposition processes in soils. Pedobiol. 26. 95-105.

Érkezett: 1991. július 1.