

A szennyvíziszap formák alkalmazhatósága a növénytermesztésben

Tóth Brigitta

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma,
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Növénytudományi Intézet, Debrecen
btoth@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A növények csökkentik az üvegházhatást, mert lekötik a CO₂-t, amely az üvegházhatás előidézéséhez kb. 50%-kal járul hozzá. A növénytermelésben felhasznált műtrágyák előállítására nemcsak költséges, de jelentős energiaigényű folyamat is. A műtrágya részarányának csökkentése elengedhetetlen napjainkban. Ennek egyik oka, hogy a termelés során nagy mennyiségben képződik olyan melléktermék, amelyben jelentős mértékben található meg a szükséges növényi tápanyagok, ezek közvetlenül gazdagítják a talaj szerves anyag tartalmát is. Ez utóbbi alapvető életfeltétele a talajban lévő mikroorganizmusoknak, melyek nélkül a fenntartható növénytermelés nem valószínűsíthető. A magas műtrágya árak mellett a keletkező hulladékok hasznosítása gazdaságilag is indokolt. Végül a műtrágya felhasználás csökkentésének másik indoka, hogy a műtrágya helytelen használata környezeti szennyeződések okozhat. Munkám során a szennyvíziszap növénytermesztési alkalmazhatóságát vizsgáltam laboratóriumi körülmények között.

Kulcsszavak: növénytermelés, környezetvédelem, szennyvíziszap

SUMMARY

The produced plants reduce the greenhouse effect because they fix CO₂ that contributes to the causing of the greenhouse effect with about 50%. The production of fertilizers is not only a costly process but it needs a considerable energy at the same time. Nowadays, the reduction of the proportion of the fertilizer is significant. One of the reasons of this is that during the production such by-products are produced in a big quantity in which the necessary vegetal nutrients can be found in a considerable measure these enrich the organic matter of soil. The latter is essential condition for the microorganisms in the soil, without which the sustainable plant cultivation can not be achieved. Besides high prices of artificial fertilizers the utilization of the wastes is economically justified. Finally the other reason for the reduction of a usage of artificial fertilizer is that the wrong use of the fertilizer may cause environmental pollutions. I examined the cultivation application of the sewage sludge in laboratory circumstances during my work.

Keywords: crop production, environmental protection, sewage sludge

BEVEZETÉS

A szennyvíziszap szántóföldi alkalmazása több éves múltat tekint vissza. A mezőgazdasági alkalmazásnak környezetvédelmi akadályai lehetnek. Az adott ország jogalkotása határozza meg, hogy milyen határértékek mellett lehet alkalmazni a szennyvíziszapot.

Sok tanulmány bemutatja a szennyvíziszap pozitív hatását a kukorica termesztésre (Davis et al., 1985; Hornick et al., 1984). Néhány esetben semleges vagy

negatív hatást figyeltek meg, ahol a magasabb C:N arány, a magas fémtartalom, magas oldható sótartalom volt a felelős a szennyvíziszap negatív hatásaiért. A legtöbb tanulmány meghatározza a termésmennyiségre, N, P, K tartalomra és más tápanyagokra, valamint a nehézfémek mennyiségére és felvételére gyakorolt hatását a talajból. Kutatások szerint a szennyvíziszap alkalmazása elősegíti a Ca és Mg felvételét (Soon et al., 1980; Tiffany et al., 2000), azonban podzol talajokon S és B hiányt eredményezhet.

A felvehető N mennyisége a szennyvíziszapban 0–56% között változik (Zebarth et al., 2000). A fő tényezők, amelyek hatással vannak a hozzáférhető N tartalomra: szerves N tartalom (Hutchings, 1984), C:N arány (Sims, 1990), a pH, az alkalmazás ideje (Cripps et al., 1992), a talaj típusa és tulajdonságai (Hutchings, 1984; Magdoff és Amadon, 1980). A szántóföldi növények igényeinél nagyobb mennyiségben adott szennyvíziszap és a talaj adszorpciós kapacitása hatással van a felszín alatti vizek nitrát szennyezettségére, a csökkent denitrifikáción keresztül.

A szennyvíziszap foszfor mennyisége sokkal szélesebb skálán mozog, mint a nitrogéné (Sikora et al., 1983; McCoy et al., 1986). A szennyvíz kezelési folyamatok csökkenthetik a foszfor mineralizációját az iszapban, amíg a hozzáférhető foszfor mennyiségét a növények számára a talaj Fe, Al és Ca tartalma határozza meg.

A B, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo és Cl a növények számára esszenciális mikroelemek, amelyek megtalálhatók a szennyvíziszapban is. Azonban, egyesek toxikusak lehetnek a növények számára nagy mennyiségben. Vizsgálták a szennyvíziszap hatását a kukorica Cu és Zn felvételére (Cajuste et al., 2000), valamint a Mn és Fe felvételére (Hernandez et al., 1991).

A szennyvíziszap szántóföldi alkalmazása általában növeli a növények Zn és Cu tartalmát, a cink mennyiségét nagyobb mértékben, mint a rézét. Néhány kutató bebizonyította, hogy a Cu és a Zn a szántott rétegben marad, és nem mosódik ki (Cripps et al., 1992; Kiemne et al., 1990; Rappaport et al., 1988). A túlzott szennyvíziszap adagolás növeli ugyan a talaj Cu és Zn tartalmát, de nem feltétlenül a növények számára hozzáférhető részt.

Még mindig felmerülnek kérdések a szennyvíziszap esszenciális és nem esszenciális elemeinek hosszabb vagy rövidebb távú gazdasági előnyeit illetően a gazdálkodók részéről.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérleti növényként kukoricát (*Zea mays* L. cvs. Norma) használtam. A magvak felületének kezelését 5×-ös hígítású H₂O₂-dal végeztem el. A fertőtlenített

magvakat desztillált vízzel többször öblítettem, majd 10 mM-os CaSO_4 oldatban 4 óráig áztattam a jobb csírázás érdekében. A magvakat nedves szűrőpapír között csíráztattam, úgy, hogy a csíranövények polaritása természetes legyen. A termosztát hőmérséklete $22\text{ }^\circ\text{C}$ volt. A 4 cm-es hipokotilú kukorica csíranövényeket tápoldatra helyeztem. A növények neveléséhez az alábbi összetételű tápoldatot használtam: $2,0\text{mM Ca(NO}_3)_2$, $0,7\text{mM K}_2\text{SO}_4$, $0,5\text{mM MgSO}_4$, $0,1\text{mM KH}_2\text{PO}_4$, $0,1\text{mM KCl}$, $10\mu\text{M H}_3\text{BO}_3$, $1\mu\text{M MnSO}_4$, $1\mu\text{M ZnSO}_4$, $0,2\text{ }\mu\text{M CuSO}_4$, $0,01\mu\text{M (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$. A növények a vasat $10\text{--}4\text{M Fe(III)EDTA}$ formában kapták. A környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $300\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, a hőmérséklet periodicitása $25/20\text{ }^\circ\text{C}$ (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) $65\text{--}75\%$, a megvilágítás/sötét periódus $16\text{ óra}/8\text{ óra}$ volt. A vizsgált szennyvíziszapot 2 g/dm^3 koncentrációban adtam a tápoldathoz. A sterilizálást 1 bar nyomáson, $121\text{ }^\circ\text{C}$ -on, 20 perc ig végeztem. A növényi táp-

elemtartalmának meghatározásához OPTIMA 3300 DV típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométert (ICP-OES) használtam. A relatív klorofill tartalmat SPAD 502 (MINOLTA, Japán) klorofill mérővel mértem. Az abszolút a, b és karotin tartalmat Meterek SP 80 Spektrométerrel, Moran és Porath (1980) alapján mértem. A száraz tömeg meghatározásához a mintákat $85\text{ }^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig szárítottam, majd szobahőmérsékletre történő visszahűtés után analitikai mérlegen (OHAUS) mértem.

A szennyvíziszapot az Alkaloida Zrt. bocsátotta rendelkezésemre.

EREDMÉNYEK

A vizsgálatok elvégzéséhez szükség volt a szennyvíziszap elemtartalmának előzetes meghatározására. A vizsgálat eredményét az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat

A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Cr, Na, Pb, Sr, Fe, K, Mg, P, Zn) a szennyvíziszapban (mg/kg)

Toxikus elemek(1)					Esszenciális elemek(2)				
Al	Cr	Na	Pb	Sr	Fe	K	Mg	P	Zn
17349	41,3	2163	70,1	195	21098	2878	5548	21289	473

Table 1: The contents of examined elements (Al, Cr, Cu, Fe, Na, Sr, Zn) in the sewage sludge (mg kg⁻¹)
Toxic elements(1), Essential elements(2)

Bármely elem fiziológiai hatása akkor közvetlen, amennyiben azt a növény felveszi. A felvett ionokat a növény a hajtás különböző részébe szállítja a transzspirációs árammal (Schupp et al., 1991). A toleráns növényekre jellemző, hogy a számukra veszélyt jelentő elemeket az anyagcseréjükől kirekesztik, azáltal, hogy kiválasztják azokat a vakuólumba (Wink, 1993), ezek az ún. includer növények, míg mások a veszélyes, toxikus elemeket fel sem veszik, ezek az ún. excluder növények. Az érzékeny növények viszont még a gyökereikből sem minden esetben tudják a toxikus elemeket kiválasztani. Ezért a már említett elemek koncentrációját vizsgáltam a kukorica hajtásában és gyökerében (2. és 3. táblázat). A vizsgált elemek nagyobb mennyiségben voltak a kukorica gyökerében, mint a hajtásában a kezelése hatására. Sterilizált szennyvíziszap hatására nagyobb mennyiségű Al, Fe, K és Mg volt mérhető a kukorica hajtásában, mint a nem sterilizált szennyvíziszap használatakor.

Az elemek koncentrációja kisebb volt a gyökérben a különböző kezelése hatására, mint a kontrollnál. A K mennyisége kb. 3-szor volt kisebb a sterilizált és nem sterilizált szennyvíziszap hatására. A kukorica gyökerében az Al és Fe mennyisége nagyobb volt a sterilizált szennyvíziszappal történt kezelés hatására. Az Al koncentrációja 47-szer nagyobb volt a nem sterilizált szennyvíziszap kezelésnél és 60-szor a sterilizáltnál a kukorica gyökerében a kontrollhoz viszonyítva. Az Al toxikus hatását elsősorban a gyökérben fejti ki (Taylor, 1988). A fő- és mellégyökerek megnyúlásának akadályozásával a gyökérrendszer zömökké válik (Klotz és Horst, 1988). Az alumínium csökkenti a gyö-

kércsúcs nyálka (mucilage) kiválasztását, a gyökér csúcs sejtjeinek aktivitás-gátlásán keresztül, aminek következtében csökken a gyökér hosszanti növekedése is. A nyálka az apoplazmatikus transzport szignalizációs anyaga (Moore et al., 1990).

A vas mennyisége a kukorica gyökerében kb. 4,5-szer volt magasabb nem sterilizált szennyvíziszapos kezelésnél, és 6-szor magasabb a sterilizáltnál a kontrollhoz viszonyítva. A vas nélkülözhetetlen a fehérjeszintézishez, fotoszintézishez, általában a redox folyamatokhoz, fotoszintézishez, általában a redox folyamatokhoz. Vashiányában a levelek riboszóma száma csökken. Vashiánykor a kukorica teljes fehérjetartalma akár 25%-kal is csökkenhet, a kloroplasztban pedig 82% is lehet a csökkenés mértéke (Perur et al., 1961). A magas vastartalom különösen fontos a kloroplasztis mRNS és tRNS szintéziséhez (Spiller et al., 1987).

A kálium mennyisége megközelítőleg 2-szer nagyobb volt a kezelt növények gyökerében. Só stressznél, vagy szárazságnál a nem megfelelő káliumellátás a levelek csökkent növekedését, a fotoszintézis csökkenését és a levelek vízháztartásának felborulását eredményezi.

A cinktartalom 5-szor nagyobb volt a nem sterilizált szennyvíziszappal kezelt növények gyökerében, és 2-szer nagyobb, amikor sterilizált szennyvíziszapot adtam a tápoldathoz. A kritikus toxikus mennyiség a szántóföldi növények levelében $100\text{--}300\text{ }\mu\text{g Zn/g}$ száraz súlyra vonatkoztatva (Ruano et al., 1988).

A vizsgált elemek nem megfelelő mennyisége hatással lehet a növények növekedésére, szárazanyag felhalmozására. A számszerűsítéshez mértem a növények szárazanyag felhalmozását (4. táblázat).

2. táblázat

A vizsgált elemek (Al, Fe, K, Mg, P, Zn) koncentrációja a kukorica hajtásában (mg/kg) nem sterilizált (nem ster.) és sterilizált (ster.) szennyvíziszap hatására

Elemek(1)	Kezelések(2)		
	Kontroll(3)	Nem ster.(4)	Ster.(5)
Al	19,7	8,95	9,42
Fe	232	94,4	150
K	229647	77778	81326
Mg	4644	2271	2465
P	35016	17391	16289
Zn	103	49,8	48,9

Table 2: The concentration of examined elements (Al, Fe, K, Mg, P, Zn) in the shoots of maize (mg kg⁻¹) effecting by compost, sewage sludge, lime sludge

Elements(1), Treatments(2), Control(3), Sterilized sewage sludge(4), Non-sterilized sewage sludge(5)

3. táblázat

A vizsgált elemek (Al, Fe, K, Mg, P, Zn) koncentrációja a kukorica gyökerében (mg/kg) nem sterilizált (nem ster.) és sterilizált (ster.) szennyvíziszap hatására

Elemek(1)	Kezelések(2)		
	Kontroll(3)	Nem ster.(4)	Ster.(5)
Al	12,9	617	785
Fe	191	912	1159
K	21178	55650	49836
Mg	1159	4495	2753
P	2480	9637	8225
Zn	38,1	190	73,4

Table 3: The concentration of examined elements (Al, Fe, K, Mg, P, Zn) in the roots of maize (mg kg⁻¹) effecting by compost, sewage sludge, lime sludge

Elements(1), Treatments(2), Control(3), Sterilized sewage sludge(4), Non-sterilized sewage sludge(5)

4. táblázat

A kukorica gyökerének és hajtásának száraz tömege (növény/g) különböző kezelések hatására nem sterilizált (nem ster.) és sterilizált (ster.) szennyvíziszap hatására n=6±s.e.

Kezelések(1)	Hajtás(5)	Gyökér(6)
Kontroll(2)	0,134±0,01	0,042±0,00
Nem ster.(3)	0,172±0,01	0,048±0,00
Ster.(4)	0,171±0,03	0,042±0,01

Table 4: Effects of different matters (non-sterilized and sterilized sewage sludge) on the dry matter accumulation of shoots and roots of maize seedlings (g plant⁻¹) n=6±s.e.

Treatments(1), Control(2), Non-sterilized sewage sludge(3), Sterilized sewage sludge(4), Shoots(5), Roots(6)

A 4. táblázatban látható, hogy a kezelések hatására nőtt a hajtás és gyökér szárazanyag felhalmozódása. Nem sterilizált szennyvíziszap hatására 28%-kal nőtt

a hajtás és 14%-kal a gyökér szerves anyag tömege. A sterilizált szennyvíziszap alkalmazásakor a hajtás száraz tömege 27%-kal nőtt, a gyökér száraz tömege a kontrollal megegyező értéket adott.

Hatékony szervesanyag felhalmozás nem lehetséges a fotoszintetikus folyamatok nélkülözhetetlen alkotója, a klorofillok nélkül. Az alkalmazott kezelések hatására csökkent a szárazanyag-felhalmozás, így mértük a relatív klorofill tartalom alakulását. Méréseim szerint a kezelések befolyásolták a klorofill tartalmat (5. táblázat).

Sterilizált szennyvíziszap hatására a második levél relatív klorofill tartalma emelkedett mind a három mérési napon, a 6. napon szignifikánsan 4,5 Spad egységgel, a 9. és 11. napon 3 Spad egységgel. Nem sterilizált szennyvíziszap használatkor a 6. és a 11. napon emelkedett a relatív klorofill tartalom, de ez a növekedés nem volt szignifikáns. A kukorica harmadik levelében a 6. és 11. napon emelkedett a relatív klorofill tartalom a kontrollhoz képest, a 6. napon 4 Spad egységgel, a 11. napon 2 Spad egységgel.

A klorofill-a, b és karotin tartalom alakulását a 6. táblázat mutatja be.

Sterilizált szennyvíziszap vizsgálatkor a kukorica második levelében a klorofill-a, b és karotin tartalom is emelkedett. A nem sterilizált szennyvíziszapnál a 6. napon 3 Spad egységgel, a 9. napon 1 Spad egységgel, és a 11. napon 1,5 Spad egységgel csökkent a relatív klorofill tartalom. A kukorica harmadik levelében szignifikánsan emelkedett a relatív klorofill tartalom, amikor nem sterilizált szennyvíziszapot adtam a tápoldathoz. A sterilizált szennyvíziszapnál csak a klorofill-b mennyisége emelkedett szignifikánsan, a klorofill-a és karotin mennyisége nem.

A jelen eredmények alapján a keletkezett ipari melléktermékek nehézfém tartalmukat tekintve nincsenek káros hatással a növények fiatalkori növekedésére, fejlődésére. Sőt, ezen anyagok felhasználásával csökken a hulladékok, hulladéknak minősített anyagok mennyisége, az ipari termelés során kibocsátott CO₂ és egyéb káros anyagok aránya. A sterilizált szennyvíziszap fokozta a kukorica hajtásában az Al, Fe, K és Mg felvételét. A gyökérben az Al és a Fe volt nagyobb mennyiségben a sterilizált szennyvíziszappal kezelt növények vizsgálatkor. Mind a két kezelés növelte a kukorica szárazanyag felhalmozását. A 2. levél relatív klorofill tartalma a sterilizált szennyvíziszap kezelésre emelkedett, valamint a 3. levél a 6. és a 11. napon. A kontrollhoz viszonyítva a klorofill-a, b és karotin tartalom is emelkedett sterilizált szennyvíziszap hatására. A harmadik levélben bekövetkezett klorofill, karotin tartalom növekedés a nem sterilizált szennyvíziszap hatására nagyobb volt. Ennek alapján a sterilizált szennyvíziszap kedvező hatással volt a klorofill szintézisre.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani az Alkaloida Zrt.-nek, hogy a vizsgálat szennyvíziszap biztosításával segítették munkámat, valamint dr. Kovács Béla egyetemi tanárnak, aki az ICP mérések elvégzésében nyújtott segítséget.

5. táblázat

A 6., 9. és a 11. napos kukorica második és harmadik levelében mért relatív klorofill tartalmának változása nem sterilizált és sterilizált szennyvíziszap hatására (Spad Units) $n=35\pm s.e.$ Szignifikáns differencia a kontrollhoz viszonyítva: ** $p<0.01$; *** $p<0.001$

2. levél(5)			
Kezelések(1)	6 napos(6)	9 napos(7)	11 napos(8)
Kontroll(2)	34,56±2,61	40,43±3,09	41,10±3,61
Nem ster.(3)	35,64±2,98	40,02±4,06	42,46±4,52
Ster.(4)	39,08±1,90***	43,86±5,46	44,13±3,81
3. levél(9)			
Kezelések(1)	6 napos(6)	9 napos(7)	11 napos(8)
Kontroll(2)	24,35±3,58	35,81±3,35	35,51±3,12
Nem ster.(3)	26,68±2,35	34,47±3,29	35,19±2,67
Ster.(4)	28,66±3,14**	34,31±2,89	37,71±3,85

Table 5: Relative chlorophyll content of maize 2nd and 3rd leaves on the measurement of 6th, 9th and 10th days (Spad Units) $n=35\pm s.e.$ Significant difference comparison to the control: ** $p<0.01$; *** $p<0.001$

Treatments(1), Control(2), Non-sterilized(3), Sterilized sewage sludge(4), In the 2nd leave(5), 6 days old(6), 9 days old(7), 11 days old(8), In the 3rd leaves(9)

6. táblázat

A kukorica második és harmadik levelében mért klorofill a (klo-a), klorofill b (klo-b) és karotin (car) tartalom alakulása nem sterilizált és sterilizált szennyvíziszap hatására (mg/kg) $n=3\pm s.e.$ Szignifikáns differencia a kontrollhoz viszonyítva: * $p<0.05$

2. levél(5)			
Kezelések(1)	klo-a(6)	klo-b(7)	car(8)
Kontroll(2)	13,94±2,02	4,72±0,55	9,85±0,82
Nem ster.(3)	10,81±9,36	3,66±3,17	7,17±6,21
Ster.(4)	15,75±1,37	5,48±1,01	10,37±1,64
3. levél(9)			
Kezelések(1)	klo-a(6)	klo-b(7)	car(8)
Kontroll(2)	12,76±0,94	3,67±0,48	8,24±0,63
Nem ster.(3)	15,29±0,51*	4,91±0,47*	10,33±0,54*
Ster.(4)	13,78±1,05	3,36±0,61*	9,13±0,81

Table 6: Chlorophyll a, b and carotene content of maize 2nd and 3rd leaves ($mg\ kg^{-1}$) $n=3\pm s.e.$ Significant difference comparison to the control: * $p<0.05$

Treatments(1), Control(2), Non-sterilized(3), Sterilized sewage sludge(4), In the 2nd leave(5), Chlorophyll-a(6), Chlorophyll-b(7), Carotene(8), In the 3rd leaves(9)

IRODALOM

- Cajuste, L.J.–Cruz-Diaz, J.–Garcia-Osorio, C. (2000): Extraction of heavy metals from contaminated soils: 1. Sequential extraction in surface soils and their relationships to DTPA extractable metals and metal plant uptake. *J. Environmental Science and Health*. 35: 1141–1152.
- Cripps, R.W.–Winfree, S.K.–Reagan, J.L. (1992): Effects of sewage sludge application method on corn production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 1705–1715.
- Davis, R.D.–Haeni, H.–L'Hermite, P. (1985): *Factors Influencing Sludge Utilization Practices in Europe*. Elsevier Applied Science Publishers. London.
- Hernandez, T.–Moreno, J.I.–Costa, F. (1991): Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37: 201–210.
- Hornick, S.B.–Sikora, L.J.–Sterrett, S.B.–Murray, J.J.–Milner, P.D.–Binge, W.D.–Colacicco, D.–Parr, J.F.–Chaney, R.L.–Willson, G.B. (1984): Utilization of sewage sludge compost as a soil conditioner and fertilizer for plant growth. *USDA ARS. Ag Info. Bull. US Government. Printing Office. Washington DC.* 32: 464.
- Hutchings, N.J. (1984): The availability of nitrogen in liqued sewage sludges applied to grassland. *J. Agric. Sci. Camb.* 102: 703–709.
- Kiemnec, G.L.–Hemphill, D.D. Jr.–Hickey, M.–Jackson, T.L.–Volk, V.V. (1990): Sweet corn yield and tissue metal concentration after seven years of sewage sludge applications. *J. Product. Agric.* 3: 232–237.
- Klotz, F.–Horst, W. J. (1988): Genotypic differences in aluminium tolerance of soybean (*Glycine max L.*) as affected by ammonium and nitrate-nitrogen nutrition. *J. Plant Physiol.* 132: 702–707.

- Magdoff, F.R.–Amadon, J.F. (1980): Nitrogen availability from sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 9: 451–454.
- McCoy, J.L.–Sikora, L.J.–Weil, R.R. (1986): Plant availability of phosphorous in sewage sludge compost. *J. Environ. Qual.* 15: 403–409.
- Moore, R.–Evans, M.L.–Fondreu, W.M. (1990): Inducing gravitropic curvature of primary roots of *Zea mays* cv. *Agrotropic*. *Plant Physiol.* 92: 310–315.
- Moran, R.–Porath, D. (1980): Chlorophyll determination in intact tissues using N, N-Dimethyl-formamide. *Plant Physiol.* 65: 478–479.
- Perur, N.G.–Smith, R.L.–Wiebe, H.H. (1961): Effect of iron chlorosis on protein fraction on corn leaf tissue. *Plant Physiol.* 36: 736–739.
- Rappaport, R.D.–Martens, D.C.–Reneau, R.B. Jr.–Simpson, T.W. (1988): Metal availability in sludge-amended soils with elevated metal levels. *J. Environ. Qual.* 17: 42–47.
- Ruano, A.–Barceló, J.–Poschenrieder, Ch. (1988): Zinc toxicity-induced variation of mineral element composition in hydroponically grown bush bean plants. *J. Plant Nutr.* 10: 373–384.
- Schupp, R.–Glavec, V.–Rennenberg, H. (1991): Thiol composition of xylem sap of beech trees. *Phytochemistry.* 30: 113–117.
- Sikora, L.J.–Tester, C.F.–Taylor, J.M.–Parr, J.F. (1983): Phosphorus uptake by fescue from soils amended with sewage sludge compost. *Agronomy J.* 74: 27–33.
- Sims, J.T. (1990): Nitrogen mineralization and elemental availability in soils amended with cocomposted sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 19: 669–675.
- Soon, Y.K.–Bates, T.E.–Moyer, J.R. (1980): Land application of chemically treated sewage sludge. II. Effects on plant and soil phosphorus, potassium, calcium and magnesium and soil pH. *J. Environ. Qual.* 7: 269–273.
- Spiller, S.C.–Kaufman, L.S.–Thompson, W.F.–Briggs, W.R. (1987): Specific mRNA and tRNA level in greening pea leaves during recovery from iron stress. *Plant Physiol.* 84: 409–414.
- Taylor, G.J. (1988): The physiology of aluminum phytotoxicity. [In: Siegel, H.–Siegel, A. (eds.) 'Metal Ion in Biological Systems'.] 24: 123–163.
- Tiffany, M.E.–McDowell, L.R.–O'Conner, G.A.–Nguyen, H.–Martin, F.G.–Wilkinson N.S.–Cardoso E.C. (2000): Effects of pastureapplied sewage sludge on forage and soil concentrations over a grazing season in North Florida. I. Macrominerals, crude protein, and in vitro digestibility. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31: 201–213.
- Zearth, B.J.–McDougall, R.–Nielsen, G.–Nielsen, D. (2000): Availability of nitrogen from municipal biosolids for dryland forage grass. *Can. J. Plant Sci.* 80: 575–582.
- Wink, M. (1993): The plant vacuole: a multifunctional compartment. *J. Exp. Bot.* 44: 231–246.

