

Néhány kukorica és napraforgó fajta kadmium érzékenységének fiziológiai vizsgálata

Gajdos Éva

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

ÖSSZEFOGLALÁS

A kadmium az egyik legveszélyesebb nehézfém, mely bekerülve az élő szervezetekbe, már kis mennyiségben is komoly problémákat okozhat egyes fiziológiai folyamatokban. Munkánk során vizsgáltuk, hogyan hat a kadmium a különböző kukorica és napraforgó hibridek néhány fiziológiai paraméterére, úgy mint az abszolút klorofill tartalomra, a gyökér morfológiai változásaira. Kísérleteink alapján eltérő képet kaptunk a két növény kadmium toleranciájáról.

Kulcsszavak: kadmium, klorofill- tartalom, gyökér morfológia

SUMMARY

Cadmium is one of the most dangerous heavy metals, which may cause serious problems in certain physiological processes of living organisms even in small amounts. In our work we analysed how cadmium affects some physiological parameters of different maize and sunflower hybrids. The chlorophyll contents and the morphological changes of the root were examined. We received different results in terms of the cadmium tolerance of these two plants.

Keywords: cadmium, chlorophyll- content, root morphology

BEVEZETÉS, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az emberi tevékenységek hatására jelentősen megnövekedett a mezőgazdasági használat alatt álló talajaink nehézfém - így a kadmium – tartalma is. Magyarországon ugyan nem túl jelentős talajaink kadmium terhelése 0,1–0,2 g/ha (Tamás, 1993), a Nyugat-Európában és az USA-ban mért 0,3–1,2 g/ha szemben (Mordevedt, 1987). A kadmium körforgalmát tekintve, megállapítható, hogy a környezetet évről évre jelentősen terheli, mobilizálhatósága rendkívül nagy, a szervezetben felhalmozódik, a felezési ideje 30 év. A nehézfémek, mint stresszorok csökkenthetik a növényi produkciót, és mivel beépülnek és felhalmozódnak a növényi szövetekben, óhatatlan, hogy tovább jussanak az állati és emberi táplálékláncba is. Mérgező hatásuk és felhalmozódásuk a növényekben számos tényezőtől függ, így a talaj tulajdonságaitól, a koncentrációjától, a szennyezés időtartamától, a komplexképző anyagok jelenlététől a rhizoszférában, a növényfajtól. A kadmium gátolja a fotoszintézist és a transzspirációt, akadályozza az esszenciális mikroelemek felvételét és szállítását (Di Tioppi és Gabbrielli, 1999), valamint csökkenti a gyökér és a hajtás növekedését és a tömegét is (Mench et al., 1994; Gupta és Dixit, 1992; Reddy és Prasad, 1993; Narwal et al., 1993; Kádár, 1993). A Cd hatására oxidatív stresszt okozó szabad gyökök és reaktív oxigénformák (ROS) termelődnék (Hendry et al., 1992). Ferretti et al. (1993), a fotoszintézis csökkenéséről számoltak be, valamint a cukrok és klorofillok mennyiségének csökkenéséről. A nehézfémek a növények vízháztartására is jelentős hatással vannak, mivel a hajszálygyökér képzés gátlásával jelentősen csökkentik a felszívó felületet. Továbbá csökkentik a membrán permeabilitást, a vízszállító edények számát és átmérőjét (Barceló és Poschenreider, 1990). A szerves savak fontos alkotói a talajnak, mivel feloldják az egyébként oldhatatlan ásványi formában lévő fémeket a talajban, növelve a fémek mobilitását a gyökér közelében, ezáltal fokozva a hozzáférhetőségét a növények számára (López-Bucio et al., 2000). Indirekt bizonyítékok utalnak arra, hogy a Cd felvétel a gyökér sejtjeinek széles szubsztrát specifikussal rendelkező Zn-, Fe-, és Ca- transzporterein/ csatornáin keresztül történik, ezáltal a kadmium kompetícióban van ugyanazokért a transzmembrán karrier/csatorna fehérjékért a káliummal, kalciummal, vassal, mangánnal, cinkkel, rézzel és nikkellel (Clemens, 2006).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A növényeket a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Növénytudományi Intézet, Növénytan és Növényélettani Tanszékcsoportjának laboratóriumában neveltük. Kísérleti növényként kukorica (*Zea mays L.*) és napraforgó (*Helianthus annuus L.*) hibrideket használtunk. A magvakat nedves szűrőpapír között csíráztattuk, majd hidropónikus körülmények között, tápoldaton neveltük. A tápoldat összetétele a következő volt: 2,0 mM Ca(NO₃)₂, 0,7 mM K₂SO₄, 0,5 mM MgSO₄, 0,1 mM KH₂PO₄, 0,1 mM KCl, 10 μM H₃BO₃, 1 μM MnSO₄, 1 μM ZnSO₄, 0,25 μM CuSO₄, 0,01 μM (NH₄)₆Mo₇O₂₄. A kukorica tápoldatában a bór koncentrációja 1 μM H₃BO₃. A növények a vasat 10⁻⁴ M FeEDTA formában kapták. A kadmium kezelés CdSO₄ formájában történt, az alkalmazott koncentrációk (1, 5, 10, 20 mg/l) a vizsgálat célját tekintve alkalmanként változott. A tápoldatok pH-

ja 5,8–6,5 értéktartomány közötti. A kísérletek során a környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $350 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, a hőmérséklet periodicitása $25/20 \text{ }^\circ\text{C}$ (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 h/8 h volt. A klorofill tartalmat Metertek SP-830 UV/Vis (Japán) készülékkel mértük, Moran és Porath (1980) módszere szerint a növények harmadik levelén. A gyökér hosszúságot (cm) három héttel a különböző kadmium kezelések után mértük.

Az eredmények értékelését 5 százalékos szignifikancia-szinten, SigmaPlot 11.0 statisztikai programcsomaggal végeztük.

EREDMÉNYEK

Kísérleteink során vizsgáltuk a kadmium hatását a kukorica és napraforgó levelek abszolút klorofill tartalmára. A növényeket 3 hétig neveltük különböző kadmium koncentrációjú tápoldaton, majd mértük a 21 napos növényegyedek 3. levelének klorofill tartalmát. A kukorica hibridek fotoszintetikus pigmentjeinek mennyisége és aránya, a különböző kadmium kezelések hatására az alábbi táblázatokban (1–2. táblázat) láthatóak.

1. táblázat

Az abszolút klorofill tartalom (mg/g) változása a különböző kadmium kezelések hatására 21 napos kukorica növények (*Zea mays* L. cv De 285; Mv 500) 3. levelében (n=3 ± s.e.) kadmium kezelések (1: kontroll, 2: $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ CdSO}_4$, 3: $20 \text{ mg l}^{-1} \text{ CdSO}_4$)

De 285	Kontroll(1)	10 mg/l Cd(2)	20 mg/l Cd(3)	Kontroll(1)	10 mg/l Cd(2)	20 mg/l Cd(3)	Mv 500
	3. levél			3. levél			
Kl a	11,881 ± 1,06	9,631 ± 0,50	8,192 ± 0,61	15,216 ± 0,51	9,304 ± 2,10	7,642 ± 0,60	Kl a
Kl b	4,096 ± 0,26	3,331 ± 0,27	2,790 ± 0,31	5,975 ± 0,27	3,208 ± 0,46	2,622 ± 0,17	Kl b
Karotin	2,454 ± 0,24	2,044 ± 0,08	1,800 ± 0,11	3,319 ± 0,15	1,946 ± 0,46	1,783 ± 0,18	Karotin
Kl a/b	2,90	2,89	2,94	2,55	2,90	2,91	Kl a/b
Kl a/kar.	4,84	4,71	4,55	4,58	4,78	4,29	Kl a/kar.

Megjegyzés: kadmium kezelések 1: kontroll, 2: 10 mg/l CdSO_4 , 3: 20 mg/l CdSO_4

Table 1: Changes in absolut chlorophyll contents (mg g^{-1}) influenced by different Cd treatments 21 days old maize plants on 3. leaf (n=3±s.e)

Note: cadmium treatments 1: control, 2: $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ CdSO}_4$, 3: $20 \text{ mg l}^{-1} \text{ CdSO}_4$

2. táblázat

Az abszolút klorofill tartalom (mg/g) változása a különböző kadmium kezelések hatására 21 napos kukorica növények (*Zea mays* L. cv Mv 277; Mv 343) 3. levelében (n=3 ± s.e.)

Mv 277	Kontroll(1)	10 mg/l Cd(2)	20 mg/l Cd(3)	Kontroll(1)	10 mg/l Cd(2)	20 mg/l Cd(3)	Mv 343
	3. levél			3. levél			
Kl a	15,523 ± 1,87	10,596 ± 0,66	9,645 ± 2,16	15,726 ± 0,91	11,380 ± 0,88	9,846 ± 1,46	Kl a
Kl b	5,882 ± 1,38	3,568 ± 0,48	3,246 ± 0,50	6,053 ± 0,53	3,606 ± 0,56	3,062 ± 0,54	Kl b
Karotin	3,258 ± 0,45	2,051 ± 0,12	1,854 ± 0,49	3,952 ± 0,32	2,226 ± 0,19	1,939 ± 0,35	Karotin
Kl a/b	2,64	2,97	2,97	2,60	3,16	3,22	Kl a/b
Kl a/kar.	4,76	5,17	5,20	3,98	5,11	5,08	Kl a/kar.

Megjegyzés: kadmium kezelések 1: kontroll, 2: 10 mg/l CdSO_4 , 3: 20 mg/l CdSO_4

Table 2: Changes in absolut chlorophyll contents (mg g^{-1}) influenced by different Cd treatments 21 days old maize plants on 3. leaf (n=3±s.e)

Note: cadmium treatments 1: control, 2: $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ CdSO}_4$, 3: $20 \text{ mg l}^{-1} \text{ CdSO}_4$

A napraforgó hibridek fotoszintetikus pigmentjeinek mennyisége és aránya, a különböző kadmium kezelések hatására a következő táblázatokban (3–4. táblázat) láthatóak. A napraforgónál több és kisebb kadmium koncentrációkat használtunk, mivel korábbi kísérleteinkben azt tapasztaltuk, hogy a 20 mg/l kadmium koncentráció már jelentős mértékben károsítja, a növényeket. Azonban a 10 mg/l kadmium koncentráció mindkét növény kezelésében szerepel, ezáltal össze tudjuk vetni az eredményeinket. Mérési eredményeink alapján megállapítottuk, hogy minden alkalmazott Cd koncentrációnál a klorofill-b mennyisége csökkent a legjelentősebben a kontrollhoz képest.

3. táblázat

Az abszolút klorofill tartalom (mg/g) változása a különböző kadmium kezelések hatására 21 napos napraforgó növények (*Helianthus annus L. cv Nk Alego; Nk Brio*) 3. levelében (n=3 ± s.e.)

Nk Alego	Kontroll(1)	1 mg/l Cd(2)	5 mg/l Cd(3)	10 mg/l Cd(4)	Kontroll(1)	1 mg/l Cd(2)	5 mg/l Cd(3)	10 mg/l Cd(4)	Nk Brio
	3. levél				3. levél				
Kl a	17,586±0,06	16,023±0,10	13,619±0,56	13,810±0,96	18,210±0,21	17,698±0,87	17,523±0,52	11,860±10,27	Kl a
Kl b	8,268±0,25	6,517±0,33	5,087±0,12	5,349±0,96	8,348±0,31	7,796±1,26	7,588±0,71	5,026±4,37	Kl b
Karotin	4,940±0,09	4,309±0,14	3,591±0,08	3,826±0,31	5,041±0,07	4,826±0,28	4,631±0,21	3,141±2,76	Karotin
Kl a/b	2,13	2,46	2,68	2,58	2,18	2,27	2,31	2,36	Kl a/b
Kl a/kar.	3,56	3,72	3,79	3,61	3,61	3,67	3,78	3,78	Kl a/kar.

Megjegyzés: kadmium kezelések (1: kontroll, 2: 1 mg/l CdSO₄, 3: 5 mg/l CdSO₄, 4: 10 mg/l CdSO₄)

Table 3: Changes in absolut chlorophyll contents (mg g⁻¹) influenced by different Cd treatments 21 days old sunflower plants on 3. leaf (n=3±s.e.)

Note: cadmium treatments 1: Control, 2: 1mg l⁻¹ CdSO₄, 3: 5 mg l⁻¹ CdSO₄, 4: 10 mg l⁻¹ CdSO₄

4. táblázat

Az abszolút klorofill tartalom (mg/g) változása a különböző kadmium kezelések hatására 21 napos napraforgó növények (*Helianthus annus L. cv Nk Neoma; Nova*) 3. levelében (n=3 ± s.e.)

Nk Neoma	Kontroll(1)	1 mg/l Cd(2)	5 mg/l Cd(3)	10 mg/l Cd(4)	Kontroll(1)	1 mg/l Cd(2)	5 mg/l Cd(3)	10 mg/l Cd(4)	Nova
	3. levél				3. levél				
Kl a	14,748±1,33	14,716±0,39	14,523±0,32	14,214±0,96	15,755±0,55	14,540±0,59	10,654±0,56	11,079±1,24	Kl a
Kl b	5,597±0,89	5,549±0,69	5,506±0,15	5,467±0,14	6,595±0,57	5,414±0,31	3,743±0,43	4,026±0,54	Kl b
Karotin	4,036±0,11	3,972±0,14	3,818±0,43	3,768±0,17	4,112±0,22	3,604±0,16	2,659±0,23	2,998±0,35	Karotin
Kl a/b	2,63	2,65	2,63	2,60	2,39	2,69	2,85	2,75	Kl a/b
Kl a/kar.	3,65	3,70	3,80	3,77	3,83	4,03	4,01	3,7	Kl a/kar.

Megjegyzés: kadmium kezelések (1: kontroll, 2: 1 mg/l CdSO₄, 3: 5 mg/l CdSO₄, 4: 10 mg/l CdSO₄)

Table 4: Changes in absolut chlorophyll contents (mg g⁻¹) influenced by different Cd treatments 21 days old sunflower plants on 3. leaf (n=3±s.e.)

Note: cadmium treatments 1: Control, 2: 1mg l⁻¹ CdSO₄, 3: 5 mg l⁻¹ CdSO₄, 4: 10 mg l⁻¹ CdSO₄

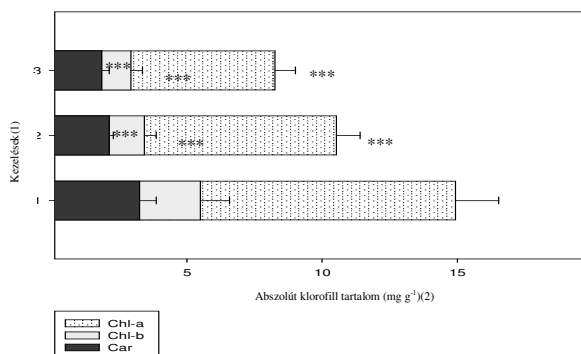
A négy kukorica hibrid összesített eredményi az 1. ábrán láthatóak. A kukoricánál azt tapasztaltuk, hogy a kontrollhoz (tápanyag nélküli) képest, mindkét kezelés szignifikánsan (p < 0,001) csökkentette mind a klorofill-a, -b, illetve a karotinoidok mennyiségét. Ez a szignifikáns különbség megmaradt a klorofill-a mennyiségeknél mindhárom kezelés között. A 10 és 20 mg/l CdSO₄ kezelések hatására a klorofill-b mennyisége között is szignifikáns (p < 0,01) különbséget figyeltünk meg. Míg a karotinoidok mennyisége között nem volt szignifikáns különbség a két kadmium koncentráció között.

A napraforgó hibridek összesített eredményei alapján (2. ábra) a kontrollhoz képest az 1 mg/l Cd koncentráció nem okozott szignifikáns különbséget a klorofill-a mennyiségében, azonban az 5 és 10 mg/l Cd kezelés hatására már jelentősen csökkent (≈15%) a klorofill-a. A klorofill-b mennyisége is hasonló módon alakult a kezelések hatására, de itt a magasabb Cd adagnál még jelentősebb csökkenés (≈25%) volt kimutatható és az 1 mg/l Cd koncentrációnál is szignifikáns (p < 0,5) csökkenést eredményezett a kontrollhoz képest. A karotinoidoknál viszont az 5 mg/l kadmium koncentráció mellett volt a legjelentősebb csökkenés. A napraforgónál az egyes kadmium kezelések között nem volt szignifikáns különbség kimutatható.

Ezen eredmények megegyeznek Ferretti et al. (1993) eredményeivel miszerint a nehézfémek hatására csökken a fotoszintézis, valamint a klorofilok mennyisége.

A továbbiakban néztük a gyökér morfológiájának alakulását a kadmium kezelések hatására. Az alábbi képen (1. kép) a napraforgó (*Helianthus annus L. cv Nk Neoma*) gyökerének változásai láthatóak. Láthatjuk, hogy a 10 mg/l kadmium koncentráció jelentős csökkenést okozott a gyökér méretében, ezáltal csökkentve a növény tápanyagfelvevő felületét.

1. ábra: Az abszolút klorofill tartalom (mg/g) változása a különböző kadmium kezelések hatására 21 napos kukorica növények 3. levelében (n=12±s.e.)

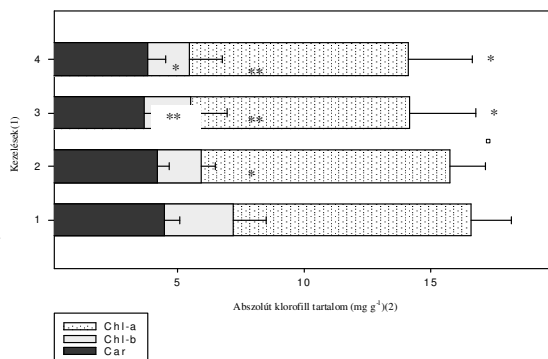


Megjegyzés: kadmium kezelések 1: kontroll, 2: 10 mg/l CdSO₄, 3: 20 mg/l CdSO₄; p<0,05*, p<0,01**, p<0,001***

Figure 1: Changes in absolute chlorophyll contents (mg g⁻¹) influenced by different Cd treatments 21 days old maize plants on 3. leaf (n=12±s.e)

Treatments(1), Absolute chlorophyll content (mg g⁻¹), Note: cadmium treatments (1: control, 2: 10 mg l⁻¹ CdSO₄, 3: 20 mg l⁻¹ CdSO₄); p<0.05*, p<0.01**, p<0.001***

2. ábra: Az abszolút klorofill tartalom (mg/g) változása a különböző kadmium kezelések hatására 21 napos napraforgó növények 3. levelében (n=12±s.e.)

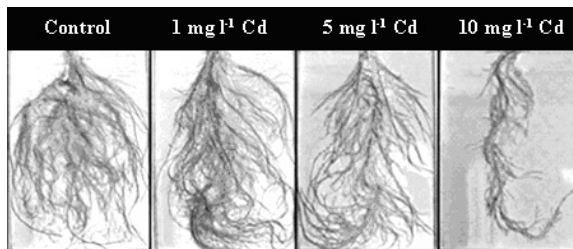


Megjegyzés: kadmium kezelések (1: kontroll, 2: 5 mg/l CdSO₄, 3: 10 mg/l CdSO₄, 4: 20 mg/l CdSO₄); p<0,05*, p<0,01**, p<0,001***

Figure 2: Changes in absolute chlorophyll contents (mg g⁻¹) influenced by different Cd treatments 21 days old sunflower plants on 3.leaf (n=12 ±s.e)

Treatments(1), absolute chlorophyll content (mg g⁻¹), Note: cadmium treatments: (1: control, 2: 1 mg l⁻¹ CdSO₄, 3: 5 mg l⁻¹ CdSO₄, 4: 10 mg l⁻¹ CdSO₄) p<0.05*, p<0.01**, p<0.001***

1. kép: A különböző kadmium kezelések hatása a napraforgó gyökér morfológiájára



Picture 1: Effects of different cadmium treatments on sunflower root morphology

Az 5. táblázat eredményei szerint csak a kukorica és a napraforgó gyökérhossza is szignifikánsan csökkent a kadmium kezelések hatására kontrollhoz képest. A napraforgó gyökérfotókkal egybevetve a gyökerek átlagos hosszára vonatkozó értékeket látható, hogy a kadmium, hatására inkább a hajszálgökerek mennyisége csökkent erőteljesebben, mint a gyökérhossz. Ez releváns Barceló és Poschenreider (1990) megállapításával, miszerint a

nehézfémek a növények vízháztartására is jelentős hatással vannak, mivel a hajszálygyökér képzés gátlásával jelentősen csökkentik a felszívó felületet.

5. táblázat

Napraforgó és kukorica gyökérhosszúsága (cm) a különböző kadmium kezelések függvényében (n=8±s.e.)

	Kontroll(3)	1 mg/l Cd(4)	5 mg/l Cd(5)	10 mg/l Cd(6)	20 mg/l Cd(7)
Napraforgó(1)	60,0±15,70	49,8±7,38	39,2±12,64*	37,1±18,07**	-
Kukorica(2)	54,3±14,80	-	-	41,7±12,90*	40,5±8,80**

Megjegyzés: p<0,05*, p<0,01**, p<0,001***

Table 5: Sunflower (1) and maize (2) rooth lenght (cm) influenced by different Cd treatments (n=8±s.e.)
Sunflower(1), Maize(2), Control(3), 1mg l⁻¹ CdSO₄(4), 5 mg l⁻¹ CdSO₄(5), 10 mg l⁻¹ CdSO₄(6), 20 mg l⁻¹ CdSO₄(7), Note: p<0.05*, p<0.01**, p<0.001***

Vizsgálataink alapján megfigyeltük, hogy a klorofill tartalom, és a gyökér növekedés csökkenése intenzívebb volt a napraforgónál, összehasonlítva a kukorica eredményekkel. Az összesített kísérleti adatok alapján a kukoricánál az összes alkalmazott kadmium koncentrációnál szignifikáns csökkenést figyelhetünk meg a klorofill-a, klorofill-b és a karotinoidok mennyiségében egyaránt, a kontrollhoz képest. Míg a napraforgónál nem volt minden koncentrációnál szignifikánsan kimutatható ez a csökkenés. A három vizsgált pigment csoport közül mindkét növénynél a klorofill-b reagált a legérzékenyebben a 10 mg/l kadmium kezeléseknél összevetve az eredményeket.

Mindezekből arra következtethetünk, hogy a kadmium érzékenység a két növénynél különböző. Ennek oka valószínűleg az eltérő tápanyag-felvételi mechanizmuson alapszik. A kétszikűek több szerves savat bocsátanak ki, amelyek komplexet képeznek a kadmiummal, ezáltal elősegítve a Cd felvételét. Azonban az így felvett kadmium egy része kiválasztódik a vakuólumba, ezáltal kirekesztődik az anyagcseréből is. Ez lehet az oka, hogy az eredmények kevésbé voltak szignifikánsak a napraforgóban a kadmium stressz hatására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- Barceló, J.–Poschenrieder, C. (1990): Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *J. Plant Nutr.* 13: 1–37.
- Clemens, S. (2006): Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanism of tolerance in plants. *Biochemie.* 88: 1707–1719.
- Di Tioppi, S. L.–Gabbriellini, R. (1999): Response to cadmium in higher plants. *Environ. Exp. Bot.* 41: 105–130.
- Ferretti, M.–Ghishi, R.–Merli, L.–Dalla Vecchia, F.–Passera, C. (1993): Effect of cadmium on photosynthesis and enzymes of photosynthetic sulphate and nitrate assimilation pathways in maize (*Zea mays* L.). *Photosynthetica.* 29: 49–54.
- Gupta, V. K.–Dixit, M. L. (1992): Influence of soil applied cadmium on growth and nutrient composition of plant species. *Journal of The Indian Society of Soil Science.* 40. 4: 878–880.
- Hendry, G. A. F.–Baker, A. J. M.–Ewart, C. F. (1992): Cadmium tolerance and toxicity, oxygen radical processes and molecular damage in cadmium-tolerant and cadmium-sensitive clones of *Holcus lanatus* L. *Acta Bot. Neerl.* 41: 271–281.
- Kádár, I. (1993): Effects of heavy metal load on crop and soil. *Acta Agronomica Hungarica.* 43: 3–9.
- López-Bucio, J.–Nieto-Jacobo, M. F.–Ramírez-Rodríguez, V.–Herrera-Estrella, L. (2000): Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant. Sci.* 160: 1–13.
- Mench, M. J.–Martín, E.–Solda, P. (1994): After effects of metals derived from a highly metal-polluted sludge on maize (*Zea mays* L.). *Water, Air and Soil Pollution.* 75. 3–4 :277–291.
- Moran, R.–Porath, D. (1980): Chlorophyll determination in intact tissues using N, N-Dimethylformamide. *Plant Physiology.* 65: 478–479.
- Mortvedt, J. J. (1987): Cadmium levels in soils and plants from some long-term soil fertility experiments in The United States of America. *Journal of Environmental Quality.* 16. 2: 137–142.
- Narwal, R.–Mahendra, P.–Sinh-Singh, M. (1993): Effects of cadmium and zinc application on quality of maize. *Indian Journal of Plant Physiology.* 36. 3: 170–173.
- Reddy, G. N.–Prasad, M. N. V. (1993): Tyrosine is not phosphorylated in cadmium induced HSP70 cognate in maize (*Zea mays* L.) seedlings: role in chaperone function? *Biochemical Archives.* 9. 1: 27–32.
- Tamás J. (1993): Potenciálisan toxikus nehézfémkészlet változása szennyvíziszapokkal kezelt talajokban. Kandidátusi értekezés. MTA Budapest. 1–145.