

Kadmium-akkumuláció napraforgóban

¹ SIMON LÁSZLÓ, ¹ VÁGVÖLGYI SÁNDOR és ² GYŐRI ZOLTÁN

¹ GATE Mezőgazdasági Főiskolai Kar, Mezőgazdasági Tanszék, Nyíregyháza és
² DATE Műszerközpont, Debrecen

Bevezetés és irodalmi áttekintés

Mezőgazdasági talajaink a bányászat, kohászat, ipari termelés, szemétegetés, fosszilis tüzelőanyagok elégetése és a közlekedés következtében, illetve a szennyvíziszap-elhelyezés, foszfátműtrágyák, meszező-, és más vegyi anyagok kijuttatásával szennyeződhetnek kadmiummal (ADRIANO, 1986; KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992). A kadmium (Cd) a bioszférába kerülő nehézfémek közül humán-egészségügyi szempontból a legveszélyesebbek közé tartozik (ALLOWAY, 1990).

A kadmiumnak a táplálékláncban játszott szerepe az elmúlt évtizedekben végzett számos vizsgálatnak köszönhetően jól ismert. A hazai tenyészedényes és szabadföldi kísérletek ellenére viszonylag kevés adat áll azonban rendelkezésünkre a napraforgó növény, illetve a hazai napraforgófajták Cd-akkumulációjára vonatkozóan (JÁSZBERÉNYI, 1979 cit. CSATHÓ, 1994; GYŐRI et al., 1992; KÁDÁR & SZEMES, 1994; KÁDÁR, 1995). Mivel lakosságunk nagy mennyiségben fogyaszt napraforgómagot, étolajat és margarint, fontos tudnunk, hogy hazai körülmények között a napraforgó milyen mértékben veszi fel ezt a nehézfémet a talajból.

Az OÉTI rendszeresen ellenőrzi a kadmiumtartalmat a hazai és az import napraforgómintákban. 1991–1996 között 11 olajnapraforgó-, étkezési napraforgó-, hántolatlan és hántolt (pirított) napraforgó-, illetve extrahált napraforgómag-mintában a Cd-koncentráció medián értéke 280 $\mu\text{g kg}^{-1}$, a legkisebb és a legnagyobb érték 3, ill. 635 $\mu\text{g kg}^{-1}$ volt. A legmagasabb mért értékek az extrahált napraforgódarabban fordultak elő. A napraforgómag Cd-koncentrációjára vonatkozó hazai határérték nincs megállapítva, a német 600 $\mu\text{g kg}^{-1}$ -os értéket vesszük alapul. 99 hazai napraforgóolaj-mintában 1992–1996 között a Cd-koncentráció medián értéke < 4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ volt, a legkisebb érték 1, a legnagyobb mért érték 270 $\mu\text{g kg}^{-1}$ volt. Egy másik vizsgálatsorozatban 108 napraforgóolaj-mintában átlagosan 5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ volt a Cd-koncentráció, a minimális és maximális

mért érték 1, ill. $18 \mu\text{g kg}^{-1}$ volt. A napraforgóolaj Cd-tartalmára vonatkozó hazai határérték $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ (a fenti adatokat az OÉTI hozzájárulásával közöltük).

A téma aktualitását támasztja alá továbbá az a tény is, hogy a napraforgómag természetes Cd-tartalma nagyobb sok más magjáért termesztett mezőgazdasági növényünkhöz képest (ANDERSEN & HANSEN, 1984; RADKE, 1993; REEVES et al., 1994; LI et al., 1994, 1995, 1996). Különböző típusú talajokon termesztett 200 ipari napraforgó genotípust megvizsgálva LI és munkatársai (1995) a napraforgómagban átlagosan $0,31\text{-}1,34 \text{ mg kg}^{-1}$ kadmiumot mértek. Egy másik vizsgálatsorozatuk során három különböző talajtípus DTPA kivonatában a Cd-tartalom $0,069\text{-}0,165 \text{ mg kg}^{-1}$ volt, az itt termesztett ipari napraforgófajták magjában $0,35\text{-}1,45 \text{ mg kg}^{-1}$ kadmiumot találtak (LI et al., 1996). Különböző országokból származó étkezési napraforgómag-mintákban a Cd-tartalom $0,32 - 0,54 \text{ mg kg}^{-1}$ között változott, a Magyarországról származó mintákban $0,25\text{-}0,45 \text{ mg kg}^{-1}$ kadmiumot mértek (ANDERSEN & HANSEN, 1984). A takarmányozási célra szánt mintákban ez az érték némileg magasabbnak bizonyult, a magyar napraforgóminták átlagos Cd-tartalma ez esetben $0,41 \text{ mg kg}^{-1}$ volt. A szennyezetlen talajon termesztett hazai Viki fajta magjában átlagosan $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ volt a Cd-tartalom (KOVÁCS et al., 1996). Szennyezett talajból jelentős mennyiségű kadmium kerülhet be a napraforgókaszatba (STOEWSAND et al., 1986; RADWAN, 1991). Szabadföldi kísérletben, szennyvíziszappal kezelt csernozjom talajon például a napraforgó (Viki fajta) tányérjában a Cd-tartalom a júliusi $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ értékről szeptemberre $250 \mu\text{g kg}^{-1}$ -ra nőtt (GYŐRI et al., 1992).

A kadmiumnak a napraforgó szárazanyag-akkumulációjára, valamint makro- és mikroelem-felvételére gyakorolt hatására vonatkozó megfigyelések ellentmondásosak. Tenyészedény-kísérletben 8 mg kg^{-1} kadmium más nehézfémekkel (Cu, Ni, Pb és Zn) együtt kijuttatva már jelentősen csökkentette a napraforgó hozamát (GORLACH & GAMBUS, 1992). Egy másik tenyészedény-kísérletben viszont a Cd-kezelések hatására a napraforgó szárazanyag-akkumulációja és esszenciális mikroelem-felvétele nem változott meg (GINGAS et al., 1988), és fitotoxicitási tünetek sem alakultak ki. A növények általában a gyökérben vagy a levélben akkumulálják a kadmium jelentős részét, és a generatív szervekbe abból csak kisebb mennyiség jut be (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992). Napraforgóval végzett tenyészedény-kísérletekben a kadmium elsősorban a gyökerekben dúsult fel (GINGAS et al., 1988; KASTORI et al., 1992; GORLACH & GAMBUS, 1992). A kadmiumra érzékeny növények (szója, lucerna, bab, árpa) hozama 10 %-kal csökken, ha a hajtásukban vagy levelükben a Cd-koncentráció meghaladja az $5\text{-}10 \text{ mg kg}^{-1}$ -os értéket. Napraforgóra vonatkozóan nem találtunk hasonló adatot (MACNICOL & BECKETT, 1985).

A fenti tények ismeretében vizsgálataink során az alábbi kérdésekre kerestük a választ:

– milyen mértékben akkumulálódik a kadmium gyengén savanyú, vályogos homok jellegű, szennyezetlen barna erdőtalajon termesztett napraforgó magtermésében;

– a talajba mesterségesen bejuttatott kadmium milyen arányban akkumulálódik a napraforgó növény különböző szerveiben üvegházi, tenyészédesényes körülmények között;

– a fenti Cd-kezelés miként hat a napraforgó szárazanyag-akkumulációjára, valamint makro- és mikroelem-felvételére?

Kísérleti anyag és módszer

Szennyezetlen talaj és napraforgómag természetes kadmiumtartalmának vizsgálata

A szennyezetlen talaj természetes Cd-tartalmának vizsgálatát a DATE Kutató Központjának nyíregyházi telepéről származó talajmintákból végeztük el. A megmintázott vályogos-homok jellegű barna erdőtalajú parcellákon 1994-ben a HA-89 nyílt vonalat (North Dakota University, Fargo, USA) természetették magas olajtartalmú napraforgó hibridek előállítására céljából. A terület átlós bejárásával standard talajfúróval a 0-20 cm-es rétegből 20-20 leszúrásból 2 párhuzamos talajmintát vettünk 1994 őszén. A légszáraz talajt 2 mm-es szitán átszitáltuk, majd 10-10 g mintát cc. HNO_3 és H_2O_2 (3:1 v/v) elegyével 2 óráig rázatva feltártunk az elemanalízist megelőzően (KOVÁCS et al., 1996).

A fenti parcellákon természetett napraforgó (*Helianthus annuus* L., HA-89 nyílt vonal) magvait véletlenszerű mintavétellel gyűjtöttük be 1994 őszén. A magvakat héjtalánítottuk, szárítószekrényben megszártítottuk (70 °C, 24 óra), majd mintánként 1-1 g-ot cc. HNO_3 és H_2O_2 (3:1 v/v) elegyével roncsoltunk el, mielőtt az elemanalízist elvégeztük volna.

Üvegházi tenyészédesény-kísérlet napraforgóval, a növények kadmiumkezelése

Az 1995. május-július közötti időszakban tenyészédesény-kísérletet állítottunk be a GATE Mezőgazdasági Főiskolai Karának (Nyíregyháza) üvegházában napraforgó (*Helianthus annuus* L., HA-89 nyílt vonal) növényekkel. A HA-89 citoplazmás hímsteril vonal rövid tenyészideje (120-125 nap), kis magassága (80-120 cm), és a talajjal szembeni igénytelensége miatt alkalmasnak tűnt a kadmiummal történő interakció tenyészédesény-kísérletben történő tanulmányozására.

A kísérlethez növénynevelő közegként a Főiskola bemutatókertjéből származó barna erdőtalajt használtunk fel, melyet 0-20 cm-es mélységből gyűjtöttünk. A légszáraz talajt felhasználás előtt 2 mm-es lyukbőségű szitán átszitáltuk. A talaj néhány alaptulajdonságának (fizikai talajféleség, leiszapolható rész %, K_A , pH, T-érték (kationcserélő kapacitás), humusz %) meghatározását a hazai szabványok alapján végeztük el (BUZÁS, 1988).

A növényneveléshez használt 22 cm átmérőjű műanyag tenyészédesényekbe 7-7 kg légszáraz talajt töltöttünk. A talajt a szántóföldi vízkapacitás felső határáig telítettük desztillált vízzel. A kísérlet indításakor tenyészédesényenként

3-3 db 10 napos napraforgópalántát ültettünk. Két hét múlva a napraforgóból 1-1 jól fejlett növényt hagyunk meg tenyészedenyenként.

A kísérlet indítása után 21 nappal a növényeket $3 \text{ CdSO}_4 \cdot 8 \text{ H}_2\text{O}$ formájában kadmiummal kezeltük. A kadmium-szulfátból $1000 \text{ mg Cd dm}^{-3}$ koncentrációjú törzsoldatot készítettünk, majd tenyészedenyenként 1000 cm^3 vízzel (a szántóföldi vízkapacitás 70 %-ának eléréséig) 0, 1, illetve 10 mg Cd kg^{-1} értékkel növeltük a talaj természetes kadmiumtartalmát. A kontrollkezelést desztillált vízzel végeztük. A kezeléseket 4-4 ismétléssel állítottuk be.

Két héttel a Cd-kezelés után a talajba 17 mg kg^{-1} nitrogént és $33\text{-}33 \text{ mg kg}^{-1}$ káliumot és foszfort juttattunk ki NH_4NO_3 illetve KH_2PO_4 formájában. A kísérlet során a növényeket konstans tömeg eléréséig a talajba szűrt perforált műanyag csövön át 3-4 naponta desztillált vízzel öntöztük. Az üvegházban a hőmérséklet $28 \pm 7 \text{ }^\circ\text{C}$ között ingadozott, a páratartalmat ($\varphi \approx 40 \%$) nem szabályoztuk, a növények kiegészítő megvilágítást nem kaptak.

A napraforgó szárazanyag-akkumulációjának és elemösszetételének vizsgálata

A kísérletet 35 nappal a növények Cd-kezelése után értékeltük, mértük az egyes növényi részek zöldtömegét, szárazanyag-tartalmát és elemösszetételét. A növények zöldtömegét növényegyenként külön-külön határoztuk meg: gyökér, szár, levél és virágkezdemény részekre bontva a mintákat. A mintákat alapos csapvízes mosás után háromszor cserélt desztillált vízbe merítve öblítettük. A növényi szövetek szárazanyag-akkumulációját $70 \text{ }^\circ\text{C}$ -on 24 órán át szárítószekrényben történő szárítás után határoztuk meg automata táramérleggel. A növénymintákat $< 1 \text{ mm}$ -es részekre aprítottuk, majd mintánként $1\text{-}1 \text{ g}$ -ot cc. HNO_3 és H_2O_2 (3:1 v/v) elegyével elroncsoltunk (KOVÁCS et al., 1996) az elemanalízist megelőzően.

Talaj- és növényminták elemanalízise

A talaj- és növényminták elemanalízisét induktív csatolású plazma atomemissziós spektrometria (ICAP, Labtam 8840 M típus, Ausztrália) technika alkalmazásával végeztük el a Debreceni Agrártudományi Egyetem Műszerközpontjában 3-3 ismétléssel. A minták kadmiumtartalmát grafitkemencés atomabszorpciós spektrometria (GF-AAS, Unicam 939 QZ típus, Anglia) technikával is meghatároztuk. Referenciaként a CRM 281 jelű angolperje (Commission of the European Communities, Community Bureau of Reference, Brüsszel) szolgált. A növényminták N-tartalmát Kjeldahl módszerrel Kjelfoss készülékkel mértük (BUZÁS, 1988).

Statisztikai értékelés

A kísérleti adatok feldolgozását Excel programmal, a statisztikai értékelést Student-féle kétmintás t-próbával Statistix szoftver segítségével végeztük el.

A kísérleti eredmények ismertetése és értékelése

Kadmium a szennyezetlen talajban és a napraforgómagban

Munkánk első szakaszában arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a szabadföldi körülmények között szennyezetlen talajon termesztett napraforgó magjában mennyi kadmium akkumulálódik hazai körülmények között.

1. táblázat

Napraforgó nemesítéshez alkalmazott barna erdőtalaj és a rajta termesztett napraforgómag (*Helianthus annuus* L., HA-89 vonal) makro- és mikroelem-összetétele (Nyíregyháza, 1995)

(1) Elem*	(2) Talaj		(3) Napraforgómag		
P	g kg ⁻¹	0,6	(<0,1)	9,7	(0,3)
K	g kg ⁻¹	1,3	(<0,1)	9,7	(0,1)
Ca	g kg ⁻¹	3,7	(0,3)	1,9	(0,5)
Mg	g kg ⁻¹	2,0	(0,1)	4,3	(0,1)
Cu	mg kg ⁻¹	16,1	(1,5)	20,5	(0,5)
Fe	mg kg ⁻¹	11867	(586)	54,4	(7,4)
Mn	mg kg ⁻¹	27,7	(1,2)	23,9	(0,8)
Zn	mg kg ⁻¹	55,7	(2,1)	63,3	(2,3)
Cd**	µg kg ⁻¹	162	(31)	114	(12)

* A fenti adatok 4-4 ismétlés átlagai, zárójelben a szórásértéket tüntettük fel, az elemkoncentrációk légszáraz talajra, illetve mag szárazanyag-tartalomra vonatkoznak és HNO₃/H₂O₂ kivonatból lettek meghatározva.

** grafitkemencés atomabszorpciós spektrométerrel (GF-AAS) meghatározva

A napraforgó nemesítéshez alkalmazott, a DATE nyíregyházi Kutató Központjából származó barna erdőtalaj (leiszapolható rész: 16,0 %; pH (KCl): 7,3; humusz: 1,4 %, T-érték: 19,9 me/100 g) és a rajta termesztett napraforgó (*Helianthus annuus* L., HA-89 vonal) héjtalán magjának makro- és mikroelem-összetételét az 1. táblázatban mutatjuk be.

A barna erdőtalajban mért Cd-koncentráció (valamint a makro- és mikroelem-koncentrációk is) normálisnak tekinthető, ha összehasonlítjuk azt a szennyezetlen talajokra jellemző átlagos értékekkel. Ebből a 162 µg kg⁻¹ kadmiumot tartalmazó talajból a napraforgó magjában 114 µg Cd kg⁻¹ akkumulálódott. Ez utóbbi érték mindenképpen alacsonynak tekinthető, ha összehasonlítjuk azt más szerzők által megadott értékekkel. A vizsgált HA-89 vonal magjának makro- és mikroelem-koncentrációi hasonlóak a mások által mért értékekhez.

Kadmium hatása a napraforgó szárazanyag-akkumulációjára üvegházi tenyészedény-kísérletben

A tenyészedenyekből kimosva a növényeket a kadmiummal kezelt csoportok egyedeinél a napraforgó levelén toxicitásra utaló tüneteket nem tapasztaltunk. (Korábbi vizsgálatok alapján tipikus kadmium toxicitási tünetnek tekinthetők a klorotikus levelek, melyeket elhalt foltok tarkítanak. Esetünkben ilyen nem figyeltünk meg.) Az 1 mg kg^{-1} kadmiummal kezelt növények hajszálgökörei jól fejlettek, dúsan elágazóak voltak, és a gyökércsúcsok vége nem feketedett meg. A 10 mg kg^{-1} kadmiummal kezelt növényegyedek gyökerei azonban durvább szerkezetűek voltak, felépítésüket tekintve kevesebb hajszálgököret tartalmaztak. Ezek általában már nehézfém toxicitásra utaló jelek.

Összehasonlítva a kontroll, illetve az 1 és 10 mg kg^{-1} Cd-dózissal kezelt napraforgó egyes szerveinek zöldtömegét és szárazanyag-akkumulációját megállapítottuk, hogy a különbség csekély és statisztikailag nem szignifikáns (nem közölt adatok). A talaj $5\text{-}15 \text{ mg kg}^{-1}$ kadmium koncentrációjára az érzékenyebb mezőgazdasági növények már hozamcsökkenéssel reagálnak, napraforgó esetén ez esetben ezt a jelenséget nem tapasztaltuk. A napraforgó levelének 3 mg kg^{-1} -os Cd-koncentrációja esetén (3. táblázat) nem figyelhettünk meg csökkenést a szárazanyag-felhalmozásban. A kadmiumra érzékeny növényfajok $5\text{-}10 \text{ mg kg}^{-1}$ kadmium levélkoncentrációra már 10% -os hozamcsökkenéssel reagálnak. További kísérletekkel célszerű lenne tehát a napraforgó esetében is meghatározni azt a levélben mért Cd-koncentrációt, amely már 10% -os hozamcsökkenést okoz.

A kadmium fő veszélye a mezőgazdasági termőtalajokba bekerülve nem annyira fitotoxikusságában és termés-csökkentő hatásában van, hanem abban, hogy a növények sokszor látható tünetek nélkül halmozzák fel a kadmiumot, és így az könnyen bekerül a táplálékláncba. Vizsgálataink napraforgó esetében alátámasztani látszanak ezt a korábbi megfigyelést.

Kadmium hatása a napraforgó makro- és mikroelem-felvételére üvegházi tenyészedeny-kísérletben

A tenyészedeny-kísérletünkben felhasznált barna erdőtalaj pH-ja gyengén savanyú (pH (KCl) 6,6), humusztartalma $1,3 \pm 0,1\%$ volt. A vályogos homok jellegű talaj további jellemzői: leiszapolható rész = $15,8\%$; T-érték = $18,1 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$; P = 1,2; K = 3,2; Ca = 28,8; Mg = 6,5 és Fe = $15,7 \text{ g kg}^{-1}$; Cu = 15,0; Mn = 530; Zn = 41,0 és Cd = $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

Sem az 1, sem pedig a 10 mg kg^{-1} -os Cd-dózis nem gyakorolt jelentős hatást a napraforgó szárának és levelének N-felvételére. A napraforgó szárának N-tartalma 0,66; 0,69; 0,80 %, levelének N-tartalma 2,67; 2,75; 2,66 % volt a 0, 1, illetve 10 mg kg^{-1} kadmiummal kezelt kultúrákban (a gyökér és virágkezdemény N-tartalmára vonatkozóan a rendelkezésre álló kis mintatömeg miatt nem voltak mérési adataink). A nitrogén kulcsszerepet tölt be a mezőgazdasági

növények növekedésében. Mivel a tesztnövény N-felvétele a Cd-kezelés hatására nem változott meg, ez magyarázatul szolgálhat arra a jelenségre, hogy a növények szárazanyag-akkumulációjában sem tapasztaltunk változást.

Hasonlóan a nitrogénhez, a kadmium a napraforgó szerveinek P-, K-, Ca- és Mg-felvételét sem befolyásolta (2. táblázat). Egyedüli kivételt a 10 mg Cd kg⁻¹ kezelés jelentett, mely szignifikánsan csökkentette a virágkezdemény Ca-felvételét.

2. táblázat

Kadmiumkezelés hatása a napraforgó (*Helianthus annuus* L., HA-89 vonal) makroelem-felvételére üvegházi tenyészedény-kísérletben (Nyíregyháza, 1995)

(1) Cd-kezelés mg kg ⁻¹	P	K	Ca	Mg
g kg ⁻¹				
	<i>A. Gyökér</i>			
0	2,72	49,85	10,34	3,25
1	2,73 ^{nsz}	47,01 ^{nsz}	10,56 ^{nsz}	3,34 ^{nsz}
10	2,40 ^{nsz}	53,74 ^{nsz}	10,11 ^{nsz}	3,22 ^{nsz}
	<i>B. Szár</i>			
0	1,64	44,38	5,59	1,83
1	1,72 ^{nsz}	48,28 ^{nsz}	5,90 ^{nsz}	2,07 ^{nsz}
10	1,61 ^{nsz}	46,89 ^{nsz}	5,74 ^{nsz}	1,96 ^{nsz}
	<i>C. Levél</i>			
0	2,90	53,12	30,12	6,00
1	2,94 ^{nsz}	56,15 ^{nsz}	31,28 ^a	5,81 ^{nsz}
10	2,89 ^{nsz}	55,21 ^{nsz}	31,20 ^{nsz}	6,17 ^{nsz}
	<i>D. Virágkezdemény</i>			
0	5,47	32,63	7,53	2,54
1	5,03 ^{nsz}	30,57 ^{nsz}	7,26 ^{nsz}	2,35 ^{nsz}
10	5,47 ^{nsz}	32,65 ^{nsz}	6,60*	2,42 ^{nsz}

Megjegyzés: Student-féle t-próba, a mérési adatok 4 ismétlés átlagai. nsz: Statisztikailag nem szignifikáns a kontrollhoz viszonyítva. a: P<0,1; *: P<0,05 szinten statisztikailag szignifikáns a kontrollhoz viszonyítva

A mikroelemeket illetően a réz felvétele nem függött a Cd-kezeléstől egyetlen növényi szervben sem (3. táblázat). Hasonló jelenséget tapasztaltunk a Fe- és Mn-felvétel esetében is, kivéve a napraforgó virágkezdeményét, ahol a nagyobb Cd-dózis csökkentette ezen elemek felvételét (3. táblázat). A mezőgazdasági növényekben a Cd- és a Zn-felvétel antagonizmusa (egyres esetekben szinergizmusa) jól ismert jelenség. Statisztikailag nem szignifikáns mértékben ugyan, de a kezelt növények gyökerében csökkent a cink felvett mennyisége (3. táblázat).

3. táblázat

Kadmiumkezelés hatása a napraforgó (*Helianthus annuus* L., HA-89 vonal) mikroelem-felvételére üvegházi tenyésztedény-kísérletben (Nyíregyháza, 1995)

(1) Cd-kezelés mg kg ⁻¹	Cd	Cu	Fe	Mn	Zn
	µg g ⁻¹				
<i>A. Gyökér</i>					
0	1,21	15,0	1398	46,2	84,9
1	4,37**	20,7 ^{nsz}	1739 ^{nsz}	53,3 ^{nsz}	70,1 ^{nsz}
10	3,69***	15,8 ^{nsz}	1309 ^{nsz}	41,6 ^{nsz}	62,9 ^{nsz}
<i>B. Szár</i>					
0	0,43	2,2	23,4	11,6	22,7
1	1,05**	2,7 ^{nsz}	13,6 ^a	12,3 ^{nsz}	28,6 ^{nsz}
10	1,76**	2,8 ^{nsz}	19,9 ^{nsz}	11,8 ^{nsz}	22,0 ^{nsz}
<i>C. Levél</i>					
0	1,23	10,8	93,1	84,3	24,8
1	1,90***	11,4 ^{nsz}	106,2 ^{nsz}	89,3 ^{nsz}	24,7 ^{nsz}
10	3,17***	10,6 ^{nsz}	76,3 ^{nsz}	84,4 ^{nsz}	23,2 ^{nsz}
<i>D. Virágkezdemény</i>					
0	0,78	11,2	65,6	19,6	42,9
1	1,34 ^a	10,7 ^{nsz}	44,9 ^{nsz}	17,5 ^a	41,3 ^{nsz}
10	3,02***	11,7 ^{nsz}	36,2 [*]	15,5 ^{**}	42,7 ^{nsz}

Megjegyzés: Student-féle t-próba, a mérési adatok 4 ismétlés átlagai. nsz: Statisztikailag nem szignifikáns a kontrollhoz viszonyítva. a: P<0,1; *:P<0,05; **: P<0,01; ill. ***: P<0,001 szinten statisztikailag szignifikáns a kontrollhoz viszonyítva

A napraforgó Cd-akkumulációját vizsgálva megállapíthatjuk, hogy minden növényi szerv esetében, 1 és 10 mg Cd kg⁻¹ dózisonál egyaránt, statisztikailag szignifikáns mértékben nőtt a felvett kadmium mennyisége (3. táblázat). A napraforgó valamennyi növényi szervében a Cd-akkumuláció mértéke arányos a talajba juttatott kadmium mennyiségével – ezt a jelenséget számos más mezőgazdasági növény esetében is megfigyelték már.

Napraforgóval végzett más kísérletekhez hasonlóan a kadmium elsősorban a gyökerekben akkumulálódott, 10 mg Cd kg⁻¹ dózis esetén közel 13,69 mg kg⁻¹ került be a gyökerekbe. Ez a koncentráció néhány növényfajnál már termés-csökkenést okozhat (ld. fenn).

Jelentős mennyiségű kadmiumot mértünk a napraforgó szárában és levelében is, és figyelemre méltó jelenség, hogy a kadmium kijuttatását követő 35 napon belül ez a nehézfém már a napraforgó virágkezdeményében is megjelent (3. táblázat). A napraforgó virágkezdeményében közel ugyanannyi kadmium akkumulálódott, mint a levelekben. A rövid interakciós időtartamot figyelembe véve ez az adat is arra utal, hogy a kadmiumot a növények könnyen felveszik,

és ez a nehézfém túljutva a gyökérzet szűrőjén bejuthat a generatív szervekbe. A napraforgó esetében fennáll tehát annak a veszélye, hogy hosszabb interakciós idő alatt (pl. szabadföldi körülmények között szennyvíziszap kijuttatás esetén) a kadmium a tányérba és így a magvakba is bekerülhet.

Összefoglalás

Az OTKA F 016906 számú kutatási pályázat támogatásával végzett vizsgálataink eredményeit összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a szennyeztetlen barna erdőtalajon szabadföldi körülmények között termesztett napraforgó magjában viszonylag kevés kadmium akkumulálódott. Üvegházi tenyészedény-kísérletben a barna erdőtalajhoz adott 1, illetve 10 mg kg⁻¹ kadmium hatására a napraforgó szerveinek zöldtömege, szárazanyag-akkumulációja és nitrogénfelvétele nem változott meg. A kadmium hatására csökkent a virágkezdemény Ca-Fe- és Mn-felvétele, és hasonló jelenséget figyeltünk meg a gyökerek Zn-felvétele esetén is. A kadmium elsősorban a gyökerekben akkumulálódott, de a viszonylag rövid interakciós idő ellenére a virágkezdeményekben is megjelent. A napraforgó esetében fennáll tehát annak a veszélye, hogy extrém körülmények között (pl. talajszennyezés esetén, elsavanyodott vagy kolloidban szegény talajból) a kadmium a napraforgókaszatba is bekerül.

Irodalom

- ADRIANO, D. C., 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York.
- ALLOWAY, B. J. (Ed), 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie & Son Ltd. Glasgow-London and John Wiley & Sons, Inc. New York.
- ANDERSEN, A. & HANSEN, H. N., 1984. High cadmium and nickel contents in sunflower kernels. Z. Lebensm. Untes. Forsch. 179. 399-400.
- BUZÁS I., (Szerk.), 1988. Talaj- és agrokémiai módszertan 2. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- CSATHÓ P., 1994. A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA TAKI. Budapest.
- GINGAS, V. M., SYNDOR, T. D. & WEIDENSAUL, T. C., 1988. Effects of simulated acid rain on cadmium mobilization in soils and subsequent uptake and accumulation in poplar and sunflower. J. Am. Soc. Horticult. Sci. 113. 258-261.
- GORLACH, E. & GAMBUS, F., 1992. A comparison of sensitivity to the toxic reaction of heavy metals in various plant species. Polish J. Soil Sci. 25. 207-213.
- GYÓRI, Z. et al., 1992. Distribution of the different trace and toxic elements in the plants of sunflower. Proc. Intern. Symp. on Ecological Approaches of Environmental Chemicals, Debrecen, Hungary, April 15-17, 1991. (Eds.: MÉSZÁROS, I., GEBEFÜGI, I. & LÓRINCI, G.) GSF-Bericht 4/92. Poster Section.

- KÁDÁR I., 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I. & SZEMES I., 1994. A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA TAKI. Budapest.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H., 1992. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press. Boca Raton.
- KASTORI, R., PETROVIC, M. & PETROVIC, N., 1992. Effect of excess lead, cadmium, copper, and zinc on water relations in sunflower. *J. Plant Nutr.* **15**. 2427–2439.
- KOVÁCS, B. et al., 1996. A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **27**. 1177–1198.
- LI, Y. M., CHANEY, R. L. & SCHNEITER, A. A., 1994. Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant and Soil.* **167**. 275–280.
- LI, Y. M. et al., 1995. Genotypic variation in kernel cadmium concentration in sunflower germplasm under varying soil conditions. *Crop Sci.* **35**. 137–141.
- LI, Y. M. et al., 1996. Effect of field limestone applications on cadmium content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves and kernels. *Plant and Soil.* **180**. 297–302.
- MACNICOL, R. D. & BECKETT, P. H. T., 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant and Soil.* **85**. 107–129.
- RADKE, M., 1993. Schwermetalle und Kohlenwasserstoff in unserer Nahrung. *Forderungsdienst.* **41**. (3) 64–68.
- RADWAN, F. I., 1991. Effect of sewage sludge on some sunflower and barley characteristics. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor.* **29**. 1333–1344.
- REEVES, P. G., JOHNSON, P. E. & ROSSOW, K. L., 1994. Absorption and organ content of cadmium from the kernels of confectionary sunflowers (*Helianthus annuus*) fed to male rats. *J. Agric. Food Chem.* **42**. 2836–2843.
- STOEWSAND, G. S. et al., 1986. Response of Japanese quail fed seed meal from sunflowers grown on a municipal sludge-amended soil: elevation of cadmium in tissues. *J. Toxicol. Environm. Health.* **17**. 91–100.

Érkezett: 1998. március 2.

Investigation of Cadmium Accumulation in Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Plant

¹ L. SIMON, ¹ S. VÁGVÖLGYI and ² Z. GYŐRI

¹ College of Agriculture of the Gödöllő University of Agricultural Sciences, Nyíregyháza and ² Central Chemical Laboratory, Debrecen University of Agricultural Sciences, Debrecen (Hungary)

Summary

Cadmium (Cd) accumulation and distribution were studied in sunflower (*Helianthus annuus* L., public line HA-89) plant. From an uncontaminated loamy sandy brown forest soil with 162 $\mu\text{g kg}^{-1}$ $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ extractable Cd the HA-89 sunflower public line accumulated 114 $\mu\text{g kg}^{-1}$ Cd in its kernels under open field conditions. This value is fairly low compared to data reported by other authors.

The loamy, sandy brown forest soil was treated with 0, 1 or 10 mg kg^{-1} of Cd to study the interaction of this heavy metal with young sunflower plants in a greenhouse pot experiment.

The fresh weight and dry matter accumulation of sunflower plant organs (roots, shoots, leaves or heads) was unaffected by cadmium treatment of the soil.

The N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn uptake of sunflower plant organs was not influenced by lower or higher Cd doses, except for sunflower heads where 10 mg kg^{-1} Cd treatment to the soil significantly reduced the uptake of Ca, Fe and Mn. Although Cd reduced the Zn uptake of the roots, the difference was not significant statistically. Cadmium was accumulated prevalently in the roots (1.21 mg kg^{-1} , 4.97 mg kg^{-1} , or 13.69 mg kg^{-1} depending on the Cd dose), and its concentration also increased in the shoots and leaves.

In spite of the short interaction time, elevated concentrations of cadmium (0.78 mg kg^{-1} , 1.34 mg kg^{-1} , or 3.02 mg kg^{-1} depending on the Cd dose) were detected in newly emerged generative organs (heads) of young sunflower plants.

Table 1. Macro- and microelement composition of brown forest soil and sunflower seeds (*Helianthus annuus* L., line HA-89) grown on it (Nyíregyháza, 1995). (1) Element. (2) Soil. (3) Sunflower seed. Note: *Data are the means of 4 replications, numbers in brackets are the standard deviation values, element concentrations are expressed in terms of air-dry soil or seed dry matter content and were determined from a $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ extract. **Determined using a graphite furnace atomic absorption spectrometer (GF-AAS).

Table 2. Effect of cadmium treatment on the macroelement uptake of sunflower (*Helianthus annuus* L., line HA-89) in a greenhouse pot experiment (Nyíregyháza, 1995). (1) Cd treatment, mg kg^{-1} . A. Root. B. Stem. C. Leaf. D. Flower primordium. Remarks: Student's t-test was used; the data are the means of 4 replications. nsz: Non-significant compared with the control. Significant at the a: $P < 0.1$; *: $P < 0.05$ level compared with the control.

Table 3. Effect of cadmium treatment on the microelement uptake of sunflower (*Helianthus annuus* L., line HA-89) in a greenhouse pot experiment (Nyíregyháza, 1995). (1) Cd treatment, mg kg⁻¹. A. Root. B. Stem. C. Leaf. D. Flower primordium. Note: Student's t-test was used; the data are the means of 4 replications. nsz: Non-significant compared with the control. Significant at the a: P < 0.1; *: P < 0.05; **: P < 0.01 and ***: P < 0.001 level compared with the control.