

Kadmium a talaj-növény rendszerben

Fodor László – Láposi Réka

Károly Róbert Főiskola, Környezetgazdálkodási és Agronómiai Tanszék

3200 Gyöngyös, Mátrai u. 36.

E-mail: lfodor@karolyrobert.hu

Összefoglalás

A mikroelem terhelések talajra és növényre gyakorolt hatását, valamint a mikroelemek mobilitásának időbeni változását tartamkísérletben vizsgáljuk a Károly Róbert Főiskola tangazdaságában barna erdőtalajon. A kísérleti eredmények alapján a kadmium (Cd) hosszú ideig megtartja mobilitását a talaj – növény rendszerben. A talaj nagy adagú kadmium-szulfáttal történő kezelését követően két évvel a kiadott kadmium 67%-a, és hét év múltán is még 43%-a volt a növény számára felvehető (ammónium-acetát + EDTA oldható) formában. A talaj magas Cd tartalma toxikus tüneteket nem okozott a növényeken, de a Cd dúsulás a növények hajtásrendszerében és termésében is igazolható volt, ami élelmiszer biztonsági szempontból reális veszélyt jelent.

Summary

Effects of microelement loads on the soil as well as on cultivated crops and change of mobility and availability of microelements in the soil have been studying for more than ten years at the model farm of Károly Róbert College on brown forest soil. Results of the field experiment show that cadmium (Cd) remain mobile in the soil-plant system for a long time. In two years of soil treatment with high dose of cadmium sulfate, 67% of added cadmium was detectable in mobile/available form (ammonium-acetate + EDTA soluble fraction). In even years the ammonium-acetate + EDTA extracted fraction represented 43% of the total amount of cadmium in the soil, which is still available for crop plants. The high cadmium concentration of the soil resulted no toxic symptoms to the test plants, however the cadmium accumulation was detectable both in vegetative and generative parts of crops, which is a real risk for the food safety.

Bevezetés

Talajaink kadmium szennyezését az ipari tevékenység (bányászat, kohászat, acélgyártás, festékgyártás, galvanizálás, szemétegetés) mellett a foszfát műtrágyák, az istállótrágya és a szennyvíziszapok nagy kadmium tartalma okozhatja. A foszfát műtrágyák átlagos kadmium koncentrációja 0,1-170 mg/kg. A szerves trágyák 0,3-1,8 mg/kg, a szennyvíziszapok átlagosan 10 mg/kg kadmiumot tartalmaznak (BOCKMAN et al., 1990; CSATHÓ, 1994; KÁDÁR 1995).

A kadmium mobilitása és növények általi felvehetősége függ annak kémiai formáitól. A talajban előfordulhat oldott formában, kolloidokhoz kötve, talajásványokba zárva és oldhatatlan csapadék formában. Talajszennyeződés során a talajoldat könnyen felvehető tartalma megnő. Savanyú talajokon

fokozódik a kadmium mobilitása, és a növények több kadmiumot tudnak felvenni és termésükbe beépíteni. A talaj meszezésével és szerves anyag tartalmának növelésével csökkenthetjük a termesztett növények kadmium felvételét (LEHOCZKY et al. 1996, 1999). A kadmium a talajban nem mozog, nem mosódik ki, ezért a felső szántott rétegben feldúsulhat (FILEP, 1998; FODOR & SZABÓ, 2004).

A kadmium a növények számára könnyen felvehető és a növényen belül is gyorsan szállítódik. Általában lineáris összefüggés van a talajok és a növények kadmium tartalma között. A növények sokszor látható tünetek nélkül, nagy mennyiségben halmozzák fel a kadmiumot, így könnyen a táplálékláncba kerül. Főleg a levélzöldségek (saláta, sóska, spenót) akkumulálnak sok kadmiumot, de a magjukért termesztett szántóföldi növényekben is megfigyeltek kadmium dúsulást a talaj kadmium tartalmának növelésével (LEHOCZKY et al., 1996a, 1998; SIMON et al. 1999).

A kadmium pozitív élettani hatása még nem bizonyított. A szennyezetlen talajokon termesztett növényekben általában 0,3 – 0,5 mg/kg-nál kevesebb kadmium található. Az 5 – 20 mg/kg kadmium tartalom általában már toxikus tüneteket okoz, a növények növekedése gátolt, gyökérzetük károsodik, a levelek klorotikusak, a levélszélek vagy a levél erek vörösbarnára színeződnek. A kadmium gátolja a fotoszintézist és a transzspirációt, akadályozza az esszenciális mikroelemek felvételét és szállítását (PAIS, 1980).

Munkánk célja megvizsgálni, hogy az oldható kadmium tartalom hogyan változik a talajban az idő múlásával, és ez milyen kapcsolatban van a növények általi felvehetőséggel, illetve az egyes szervekben történő akkumulációval.

Anyag és módszer

Nehézfém-terhelési tartamkísérletünket 1994 őszén állítottuk be a Károly Róbert Főiskola Tangazdaságában. A kísérleti terület talaja gyengén savanyú kémhatású csernozjom barna erdőtalaj, a következő paraméterekkel jellemezhető: $pH_{(H_2O)}=6,4$; $pH_{(KCl)}=5,4$; $Y_1=9,5$; $CaCO_3=0$ %; humusz= 3 %, $K_A=45$; $L=70$ %; $hy=4,8$. Szemcseösszetételében az agyag és az iszap frakció dominál. Fizikai talajféleség szerinti besorolása agyagos-vályog, térfogattömege $1,21$ g/cm³.

Az osztott parcellás (split-plot) elrendezésű kísérletben nyolc mikroelem szerepel, három terhelési szinttel. A vizsgált elemek (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) jelentik a főparcellákat és a három terhelési szint (0/30, 90 és 270 kg elem/ha) az alparcellákat (1. táblázat). A parcellákra az elemek vízzoldható sóit a kísérlet beállításakor juttatunk ki, és egyenletesen a talaj 0-30 cm-es rétegébe dolgoztuk. A kezdések három ismétlésben szerepelnek a kísérletben.

1. táblázat. A szabadföldi kísérlet kezelése

Elem	Terhelési szintek, kg elem/ha			Alkalmazott sók
	1	2	3	
Al	0	90	270	Al(NO ₃) ₃ · 9H ₂ O
As	30	90	270	NaAsO ₂
Cd	30	90	270	3CdSO ₄ · 8H ₂ O
Cr	30	90	270	K ₂ CrO ₄
Cu	30	90	270	CuSO ₄ · 5H ₂ O
Hg	30	90	270	HgCl ₂
Pb	30	90	270	Pb(NO ₃) ₂
Zn	30	90	270	ZnSO ₄ · 7H ₂ O

Évente más-más tesztnövényt vizsgáltunk. 1995-ben őszi búza jelzőnövényvel kezdődött a kísérlet, majd hat év elteltével (2001-ben) újra őszi kalászos (őszi árpa) jelzőnövényvel dolgoztunk. A növénymintákat a bokrosodás végén (4 x 0,5 fm-ről a teljes föld feletti növény) és betakarításkor (8 x 1 fm-ről szalma és kalász) vettünk. Súlymérést követően a mintákat finomra daráltuk és cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ roncsolás után 25 elemre analizáltuk, ICP-technikát alkalmazva. A növények betakarítását követően parcellánként talajmintát vettünk a 0-30 cm-es szántott rétegből. Az átlagmintákat 20-20 pontminta egyesítésével kaptuk. A talajminták NH₄-acetát + EDTA – oldható elemtartalmát LAKANEN és ERVIÖ (1971) módszerével határoztuk meg. Az összes elemtartalom mérése töménysavas feltárás (cc. HNO₃ + cc. H₂O₂) után történt ICP atomabszorpciós spektrofotométerrel. Az adatok matematikai, statisztikai, értékelését variancia-analízissel végeztük. Az SzD értékeket P=5 %-os szignifikancia szinten adtuk meg.

Eredmények értékelése

A kísérlet első évében a növekvő kadmium adagok kismértékben gátolták a bokrosodó búza fejlődését, de ez a depresszív hatás statisztikailag nem volt igazolható. A kadmium terhelések a tenyészidőszak későbbi szakaszában sem mutattak negatív hatást a növények fejlődésére. A maximális kadmium terhelés szemtermést csökkentő hatása kevesebb, mint 10% volt a kontrollhoz viszonyítva.

Az őszi búza kadmiumtartalmát kezelésként és növényi szervenként a 2. táblázat tartalmazza. Betakarításkor a búzánál a szalmában találtuk a beépült kadmium döntő tömegét, így a szennyezés a melléktermék talajba dolgozásával visszakerülhet a talajba. Sajnos azonban a szembe is bekerült és ezzel a táplálékláncot terhelheti. A kezelések egy nagyságrendnyi kadmium dúsulást eredményeztek a bokrosodó búza hajtásában. A szalma elemakkumulációja még kifejezettebb volt: 0,2 mg/kg-ról 7,7 mg/kg-ra, azaz mintegy 40-szeresére nőtt a kadmiumtartalom a szalmában. Ezek statisztikailag is igazolható változások. A

kezelések a szem kadmiumtartalmát is szignifikánsan növelték. A 0,1 mg/kg kadmiumtartalmú búzaszem szennyezettsége 0,6–0,9–1,0 mg/kg-ra emelkedett és ezzel fogyasztásra alkalmatlanná vált. A 8/1995. (X .21.) EüM rendelet szerint gabonaőrleményekben a megengedhető kadmiumtartalom 0,1 mg/kg.

2. táblázat. Kezelések hatása az őszi búza kadmiumtartalmára, mg/kg (1995)

Minták	Kontrol talajon	Terhelések 1994 őszén kg/ha			SzD _{5%}	Átlag
		30	90	270		
Hajtás	0,5	4,6	2,7	13,1	8,8	6,8
Szalma	0,4	0,4	2,6	6,9	0,7	2,6
Szem	0,4	0,6	0,4	0,7	0,3	0,5

A kísérlet hatodik évében a kadmium nem volt toxikus az őszi árpára, még a legnagyobb terhelési szinten (270 kg elem/ha) alkalmazva sem. A kezelések nem gátolták a növények fejlődését és a termésképzést. A tesztnövények minden parcellán egészségesek és jól fejlettek voltak. A bokrosodáskori hajtásminták zöldtömege és légszáraz tömege lényegesen nem változott a kezelések hatására (zöldtömeg 2,8–3,2 kg/m², légszáraz tömeg 400–480 g/m²) (0,40 – 0,48 kg/m²). A szemtermés mennyiségében sem tapasztaltunk lényegi változásokat. A parcellánkénti termésátlag 5,8–6,4 t/ha között alakult. Igazolható terméscsökkenés egyik kezelésben sem volt kimutatható.

Mikroelem terhelések őszi árpára gyakorolt hatását vizsgálta KÁDÁR (2003) mészlepedékes csernozjom talajon, az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti telepén. A nagyhorcsöki tartamkísérlet 10. évében a As és a Cd maximális dózisa (810 kg ha⁻¹) okoztak károsodást a tenyészidő folyamán. Az As depresszív hatása az állomány előregedésével egyre kifejezettebbé vált. 270 kg/ha-os terhelésnél igazolható fitotoxikus hatás nem volt.

Az őszi árpa hajtás-, szalma- és szemminták kadmiumtartalmát a 3. táblázatban tanulmányozhatjuk.

3. táblázat. Kezelések hatása az őszi árpa kadmiumtartalmára, mg/kg (2001)

Minták	Kontrol talajon	Terhelések 1994 őszén kg/ha			SzD _{5%}	Átlag
		30	90	270		
Hajtás	0	0,09	0,10	1,18	0,21	0,43
Szalma	0,07	0,50	1,00	1,73	0,23	1,07
Szem	0,04	0,17	0,33	0,50	0,05	0,33

A környezet- és egészségvédelmi szempontokat figyelembe véve a kadmium veszélyes elem. A kezeletlen parcellán termelt árpa kadmiumtartalma nem jelentős, de a vizsgált növényi részek kadmiumtartalma a növekvő talajterhelések hatására lényegesen és igazolhatóan nőtt. A legnagyobb terhelési

szintű kezelésben a bokrosodáskori árpa zöld hajtásában a kadmiumkoncentráció tízszer nagyobb volt, mint másik két kezelésben. A legnagyobb kadmiumtartalom betakarításkor a szalmában volt kimutatható, tehát a növények öregedésével nőtt. A vegetatív szervek kadmiumtartalmának növekedése közel egyenes arányban állt a talajterhelési dózisok emelkedésével. Hasonló tendencia figyelhető meg az árpaszemben mért kadmiumkoncentráció vonatkozásában is. A megtermelt árpa legnagyobb része takarmánnyként kerül felhasználásra. A 4/1990. (II. 28.) MÉM rendelet a takarmányokban $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ kadmiumkoncentrációt tart elfogadhatónak a szárazanyagra vonatkozóan. A Cd-tartalom egyik kezelésben sem haladta meg a határértéket, így a termett árpa, takarmányozási célra hasznosítható.

A talajvizsgálati eredményeket a 4. táblázatban tanulmányozhatjuk. A talajmintákban az „összes” (tömény savval kioldható) és a „felvehető” (NH_4 -acetát + EDTA oldható) elemtartalmakat is meghatároztuk. Élettani szempontból a „felvehető” elemtartalmaknak van jelentősége, de környezetvédelmi megközelítésben az „összes” elemtartalmat is fontos tudnunk, hiszen a környezet változásával (pl. talajsavanyodás) potenciálisan azok is felvehetővé válhatnak. A kadmium oldhatósági viszonyainak tanulmányozása kapcsán érdekes megvizsgálni, hogy az 1994 őszén kiadott mennyiség milyen arányban mutatható ki NH_4 -acetate + EDTA oldható formában a talajban. Kísérletünkben alkalmazott 30, 90 és 270 kg/ha-os terhelések elméletileg 10, 30, 90 mg/kg koncentráció növekedést eredményeztek a szántott talajrétegben.

4. táblázat. Kezelések hatása a 0- 30 cm-es talajréteg „összes” és „felvehető” elemtartalmára

Év	Kontrol talajban	Talaj terhelés 1994 őszén mg/kg			SzD _{5%}	Kezelések átlaga
		10	30	90		
“Összes” kadmiumtartalom mg/kg (cc.HNO ₃ + cc.H ₂ O ₂ feltárás)						
1996	0,6	-	-	90	-	-
2001	0,5	6,2	16,5	41,9	8,5	21,5
“Felvehető” kadmium tartalom mg/kg (NH ₄ -acetate + EDTA kivonás)						
1996	0,3	-	-	76,6	-	-
1997	0,2	8	22	43	12	24,3
2001	0,3	4,7	13,3	35,2	7,4	17,7

A növényvizsgálatokhoz hasonlóan, a talajvizsgálati eredménynek is igazolták a Cd fokozott mobilitását a talaj-növény rendszerben. 2006-ban csak a maximális adagú parcellákat mintáztuk és meghatároztuk a talajminták „összes” és a „felvehető” kadmiumtartalmát is. Az NH_4 -acetát + EDTA oldható frakció 85%-át tette ki az „összes” készletnek. Ez az arány 2001-re sem csökkent

jelentősen. Ekkor a kezelések átlagában vizsgálva, az „összes” készlet 80%-a volt kimutatható „felvehető” formában. Ha a vízoldható só formában kiadott kadmium visszamérhetőségét vizsgáljuk, akkor az mondható, hogy 2007-ben a három kezelés átlagában annak 2/3 része (67%) volt visszamérhető a növények számára felvehető (NH₄-acetát + EDTA oldható) formában. 2001-re ez az arány 43%-ra csökkent, ami még mindig magas a többi mikroelemhez képest.

Irodalomjegyzék

- BOCKMAN et al., (1990): Agriculture and Fertilizers. Norks Hydro a. s, Oslo, Norway.
- CSATHÓ, P. (1994): A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Akaprint Kiadó. Budapest.
- FILEP, GY. (1998): Soil Pollution. Debrecen Agricultural University. Debrecen, Hungary.
- FODOR, L. & SZABÓ, L. (2004): Study of heavy metal leaching into the soil. Proc. of the 13th ISCO Conference. Brisbane, Australia.
- KÁDÁR, I. (1995): A talaj – növény – állat – ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM – MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR, I., (2003): Mikroelem-terhelés hatása az őszi árpára karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan **52**.105-120.
- LAKANEN, E. & ERVIÓ, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. Acta Agr. Fenn. **123**. 223-232.
- LEHOCZKY, É. SZABADOS, I. & MARTH, P. (1996): Cadmium content of plants affected by soil cadmium concentration. Soil. Sci. Plant Anal. **27**. (5-8). 1765-1777.
- LEHOCZKY, É. SZABADOS, I. & MARTH, P. (1996a): Effect of cadmium contamination on spinach (*Spinacea oleracea* L.). Plant Physiology and Biochemistry. Spec. Issue.
- LEHOCZKY, É., MARTH, P., SZABADOS, I., SZOMOLÁNYI, A. (1998): Effect of liming on the heavy metal uptake of lettuce. Agrokémia Talajtan **47**. 229-234.
- LEHOCZKY, É., SZABÓ, L., & ALBRECHT, G. (1999): Cadmium uptake by maize as influenced by soil pH and cadmium content. Proc. of the 5th Int. Conf. On Biochemistry of Trace Elements. Vol. 1. (Ed. WENZEL, W. W. et al.) 566-567. Vienna, Austria.
- SIMON, L., VÁGVÖLGYI, S. & GYŐRI, Z. (1999): Kadmium-akkumuláció napraforgóban. Agrokémia és Talajtan **48**.1-2. 99-109.
- PAIS, I. (1980). A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó. Budapest.