

## Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon I. Termés és ásványi összetétel

KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

### Bevezetés és irodalmi áttekintés

A nehézfémek és káros elemek döntően élelemmel jutnak az emberi szervezetbe. A nem kívánt terheléshez a növényi eredetű táplálék alapvetően járulhat hozzá. Különös figyelmet érdemelnek azon nehézfémek, amelyek biológiai felezési ideje hosszú, a szervezetből való kiürülésük éveket vagy évtizedeket vehet igénybe. Nem véletlenül került a nemzetközi és hazai kutatások homlokterébe ebből adódóan a kadmium (Cd) és az ólom (Pb) vizsgálata az elmúlt évtizedekben (PURVES, 1985; FERGUSSON, 1991; JÁSZBERÉNYI, 1979; REGIUSNÉ et al., 1985; LEHOCZKY et al., 1996, 1998, 1999; SIMON, 1998; LOCH, 1992; VERMES, 1994; VERMES et al., 1993; NÉMETH et al., 1993; SZABÓ et al., 1994; CSATHÓ, 1994a,b stb.).

A kadmium tömeges mérgezést okozott Japánban a II. Világháború utáni években, mely az itai–itai tünetegyüttes révén vált ismertté. A Cd-akkumuláció csontlágylúshoz vezetett, gyakran halálos kimenetelű vesebántalmakkal. Sérültek a vesecsatornák, észleltek akut neurózist, krónikus bronchitist, magas vérnyomást, érrendszeri betegségeket, az észlelési funkció zavarait. Egy vizsgálat-sorozatban összefüggést találtak a máj Cd-szintje és az infarktuszos halálokok között É-Karolinában (PURVES, 1985; FERGUSSON, 1991).

A legfőbb, legelterjedtebb környezetszennyező elemnek az ólom minősült a XX. században. Az ipari akut Pb-mérgezések száma az évekkel lassan csökkent. E század elején PURVES (1985) szerint még mintegy ezer mérgezés fordult elő pl. Angliában, míg a 80-as években csupán 70 esetet regisztráltak évente. Halálos mérgezésekre csak elvétve kerül sor a fejlett országokban. Nem úgy a fejlődő világban. Megemlíthető, hogy tömeges Pb-mérgezés történt Magyarországon is 1994-ben a hamisított paprikaőrlemények forgalomba kerülésével. A hazai, kistermelői mintákban az ólom koncentrációja általában 1 mg/kg alatt maradt, míg a hamisított őrleményekben gyakran 10 ezer mg/kg feletti Pb-tartalmakat

mértünk, tehát a szabványban megengedett 5 mg/kg Pb 2000-szerese is előfordult. A megbetegedett egyének vérében 25–50 µg/dl Pb-szintet találtunk a „normális” 0,5–5, ill. az „emelkedett” 5–10 µg/dl helyett (KÁDÁR, 1995).

Mivel ezek a fémek világviszonylatban is a figyelem középpontjába kerültek, a környezet terhelése rohamosan csökken. Legalábbis a fejlett világban. Ennek oka az Pb-mentes benzin bevezetése, szennyező ipari üzemek leállítása vagy rekonstrukciója, szigorodó emissziós határértékek bevezetése stb. A környezetben, ill. elsősorban a talajban felhalmozódott szennyezők azonban még hosszú ideig kifejthetik hatásukat akkor is, ha a terhelés megszűnik. Környezetünk már nem lehet újra tiszta és szennyeztelen. Az alábbiakban az eltérő mikroelem-szennyezettségű talajon fejlődő zöldborsó vizsgálatával foglalkozunk.

A borsó magja közvetlen emberi fogyasztásra szolgál, míg a hüvelye és a szára fehérjében gazdag takarmány. Kérdés, vajon e fontos szántóföldi növényünk hogyan reagálhat a talajszennyezésre, mennyiben akkumulálja szerveiben a talaj káros elemeit és ezáltal hogyan módosul minősége? Mikroelemterhelési szabadföldi tartamkísérletünk 4. évében borsót termesztettünk, választ keresve a felvetett kérdésekre. A kísérlet célját, módszereit, valamint az első három év eredményeit korábbi közleményeink foglalják össze (KÁDÁR et al., 2000a,b; KÁDÁR & PROKISCH, 2000).

### Anyag és módszer

Az alkalmazott kezelések olyan talajszennyezettségi viszonyokat modelleznek, melyek ipari létesítmények, autópályák és települések szennyezett környezetében, városi kiskertekben ma is előfordulnak vagy előfordulhatnak a jövőben. A 13 vizsgált mikroelem sóját 4–4 szinten egyszer alkalmaztuk 1991 tavaszán, az első évben vetett kukorica alá. A 13x4=52 kezelést 2 ismétlésben állítottuk be, összesen 104 parcellán split-plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270 ill. 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl<sub>3</sub>, NaAsO<sub>2</sub>, BaCl<sub>2</sub>, CdSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, HgCl<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>, NiSO<sub>4</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, SrSO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub> formájában. Az alaptrágyázást évente végeztük 100–100–100 kg N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> és K<sub>2</sub>O/ha hatóanyag alkalmazásával ammon-nitrát-, szuperfoszfát- és kálisó-műtrágyákkal.

A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat nyújt áttekintést. A vetés Smaragd fajtával március 11-én, a betakarítás zöldborsóként június 14-én, a kombájnolás szárazborsóként július 18-án történt. A gabona sorszára való vetés 14–17 db/fm, azaz 240–260 kg/ha vetőmag mennyiséget jelentett. A parcellák bruttó területe 3,5x5=21 m<sup>2</sup>, nettó értékelte területe 2,1x6=12,6 m<sup>2</sup> volt. Április végén talajmintákat vettünk a szántott rétegből botfúróval, 20-20 lefűrés anyagát átlagolva nettó parcellánként (104 db átlag-

minta). Levélanalízis céljából a felső kifejtett leveleket gyűjtöttük be virágzás kezdetén május 25-én, majd a teljes föld feletti növényt mintáztuk zöldborsó állapotban június 14-én, valamint kombájnolás előtt július 18-án szárazborsóként.

*1. táblázat*

**A kísérletben végzett műveletek és megfigyelések  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1993–1994)**

(1) Műveletek, megfigyelések	(2) Időpontja	(3) Megjegyzés
1. Őszi műtrágyázás	1993. X. 22.	NPK-műtrágya kézzel kiszórva
2. Egyirányú szántás	1993. X. 26.	MTZ Lajta ekével
3. Kombinátorozás	1994. III. 11.	MTZ-50 + fogas
4. Vetés + magtakarás	1994. III. 11.	Gépi vetés + fogasolás
5. Hengerezés	1994. III. 11.	T4K simahenger
6. Kelés, egyenletesen sorol	1994. III. 31.	Egész kísérletben
7. Kísérlet kitűzése	1994. IV. 19.	Karók lehelyezése parcellánként
8. Hajtások elszáradása	1994. IV. 20.	Se-, As-kezelésekben
9. Talajmintavétel, 0–20 cm	1994. IV. 25.	20–20 pont/parcella
10. Bonitálás állománya	1994. V. 5.	Parcellánként
11. Levélminta virágzás elején	1994. V. 25.	20–20 db/parcella
12. Bonitálás állománya	1994. V. 26.	Parcellánként
13. Kerítés lehelyezése	1994. V. 30.	Drótháló a kísérlet körül
14. Kísérleti bemutató	1994. VI. 7.	Nyilvános, országos
15. Virágzás befejeződött	1994. VI. 7.	Kezdődő hüvelyképződés
16. Zöldborsó mintavétel	1994. VI. 14.	20–20 db/parcella
17. Mintakéve aratás előtt	1994. VII. 18.	1–1 m <sup>2</sup> /nettó parcella
18. Bonitálás állománya	1994. VII. 18.	Parcellánként
19. Szárazborsó betakarítása	1994. VII. 18.	Parcellakombájn

Parcellánként 20–20 db levél, ill. föld feletti növény jelentett egy-egy átlagmintát. A terméselemek megállapítása és az egyes növényi szervek elemzése céljából külön mértük és elemeztük a szár-, hüvely- és magtermést. Összesen  $7 \times 104 = 728$  db növényi átlagmintát analizáltunk 20–24 elemre, cc.  $\text{HNO}_3 + \text{cc. H}_2\text{O}_2$  roncsolást követően és ICP technikát alkalmazva. Talajmintákban a mobilisnak tekintett  $\text{NH}_4$ -acetát + EDTA frakciókat vizsgáltuk LAKANEN és ERVIÖ (1971) módszerével, valamint az „összes” elemtartalmakat cc.  $\text{HNO}_3 + \text{cc. H}_2\text{O}_2$  kioldással. A kísérletben több mint 20 ezer mért adattal dolgoztunk, hogy a növénybeni és talajbani változásokat szabatosan jellemezzük.

Az 1994. évben szárazság uralkodott. Kísérleti telepünkön márciusban 13, áprilisban 50, májusban 35, júniusban 17, júliusban 22 mm csapadékot mérünk. Április kivételével az egyes hónapokban, ill. a tenyészidő egésze alatt mindössze fele annyi eső hullott, mint a sokévi átlag. A termőhely havi, negyedévi és éves csapadékösszegeinek adatait az 1991–1994. időszakra előző közleményünk tartalmazta (KÁDÁR et al., 2000a). Az aszályos nyár következtében a júniusi zöldborsó és a júliusban betakarított szárazborsó légszáraz hozama közelálló maradt és ásványi összetételében sem különbözött érdemben. A borsó szárazanyag-gyarapodása, ill. elemfelvétele június közepére befejeződött.

Kísérletünket 1991 tavaszán állítottuk be az MTA TAKI Nagyhorcsóki Kísérleti Telepén. A termőhely löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaja a szántott rétegben 5 %  $\text{CaCO}_3$ -ot és 3 % humuszt tartalmaz. Fizikai féleségét tekintve vályog, 20 % agyag, ill. 40 % leiszapolható rész frakcióval. Agyagásványainak közel felét illit, 1/3-át klorit, kisebb részét szmektit alkotja. A talajvíz tükre kb. 15 m mélyen helyezkedik el, szennyeződése felszíni kilúgozással gyakorlatilag kizárt. A telep éghajlata az Alföldéhez hasonlóan száraz, aszályra hajló. Szántott rétegében a pH(KCl) 7,3, AL- $\text{P}_2\text{O}_5$  80–100, AL- $\text{K}_2\text{O}$  140–160, KCl-Mg 150–180, a KCl+EDTA-oldható Mn 80–150, Cu 2–3, Zn 1–2 mg/kg értéket mutat. A MÉM NAK (1979) által bevezetett módszerek és határértékek alapján ezek az adatok a talaj igen jó Mn-, kielégítő Mg- és Cu-, közepes N- és K-, valamint gyenge P- és Zn-ellátottságáról tanúskodnak.

### Eredmények és következtetések

A tenyészidő folyamán végzett állomány-bonítási kísérletek szerint az As-, Cr- és Se-kezelések bizonyultak fitotoxikusnak a borsóra. Elsősorban a Se-, valamint a nagyobb As-terhelésű parcellákon az állomány vontatottan kelt, elsárgult és alacsony maradt. A kontrollhoz képest a zöldlevélsúly virágzás elején töredékére esett vissza e kezelésekben. A 2. táblázat adataiból az is látható, hogy a levelek 10 % körüli szárazanyag-tartalma 14 %-ra emelkedik az As- és Se-terhelés nyomán, a levelek élettani aktivitása csökkent, előrehaladt az elöregedés, az elszáradás. A bonítási kísérletek, a levélsúly és szárazanyag %-ok eredményei mérgezésre utalnak. A 13 vizsgált szennyező elem közül 3 elem (As, Cr és Se) bizonyult toxikusnak a kísérlet 4. évében. A továbbiakban csak e három kezelés hatását mutatjuk be részletesebben.

A zöldborsó termésének változását 20–20 db/parcella föld feletti növény eredményei alapján foglaltuk össze a 3. táblázatban. A 20 föld feletti növény friss tömege 400–500 g között, míg légszáraz tömege 100–120 g között ingadozott a szennyezetlen talajon, 25 % körüli átlagos légszáraz anyagtartalommal. A szárban 22–25, a hüvelyben 20–22, a magban 35–40% volt a légszáraz anyag.

2. táblázat  
**Toxicitást okozó kezelések hatása a borsóra**  
**(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1994)**

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Bonitálás V. 5-én (korai fejlettség)</i>						
As	5,0	5,0	4,5	2,0	0,8	4,1
Cr	4,0	5,0	5,0	4,5		4,6
Se	4,0	3,0	2,0	1,0		2,5
<i>B. Bonitálás V. 26-án (virágzás kezdete)</i>						
As	5,0	5,0	3,0	1,0	0,7	3,5
Cr	4,5	4,5	4,0	3,0		4,0
Se	4,0	3,5	1,0	1,0		2,4
<i>C. Bonitálás VII. 18-án (szárazborsó aratása)</i>						
As	4,5	4,5	4,0	1,0	0,9	3,5
Cr	5,0	4,5	4,5	4,5		4,6
Se	5,0	3,5	1,0	1,0		2,6
<i>D. Zöld levél g/20 db (virágzás kezdetén)</i>						
As	16	16	15	4	5	13
Cr	20	17	16	10		16
Se	19	13	4	2		9
<i>E. Levél szárazanyag %-a (virágzás kezdetén)</i>						
As	10	10	11	14	3	11
Cr	12	12	12	11		11
Se	10	11	13	14		12

Bonitálás: 1 = fejletlen sárguló állomány, 5 = jól fejlett zöld állomány

A termés elemek aránya az összes föld feletti légszáraz hozamon belül az alábbi megoszlást mutatta: szár 50 %, mag 35 %, hüvely 15 %, míg a friss föld feletti tömeg arányok a szár, mag és hüvely esetében 55 %, 27 % és 18 % értékekkel voltak jellemezhetők a kontrollparcellákon 1994. június 14-én.

A növekvő As- és Cr-terheléssel a szár tömege kevesebb mint a felére, míg a Se-terheléssel 1/20-ára csökkent. A 810 kg/ha Se-terhelés nyomán a hüvelyek száma is 1/10-ére, míg tömege 3 %-ára zuhant, tehát a talaj elvesztette termőképességét. Magvak már egyáltalán nem képződtek a Se-parcellákon, a hüvely és a szár 20–25 % közötti eredeti szárazanyag-tartalma 50–60 %-ra ugrik, jelezve a mérgezett, elhaló, elszáradó növényi szöveteket. Van egy termés elem, amely nem jelez depressziót az As-, Cr- és Se-kezelésekben: az 1000-mag tö-

mege a Cr-kezelésekben nem változott, míg az As- és Se-terheléssel nőtt. Ez a jelenség a terméselemek közötti „kiegyenlítődés” törvényét tükrözi, mérsékeltebb mérgezés esetén a megmaradt kevesebb hüvely nagyobb magtömeeggel kísérel meg kompenzálni a termésvesztést.

3. táblázat  
Toxicitást okozó kezelések hatása a zöldborsóra 1994. június 14-én  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Szár, g/20 db növény</i>						
As	214	244	154	88	60	175
Cr	250	290	204	93		210
Se	239	206	23	10		120
<i>B. Szár, légszáraz anyag %-a</i>						
As	22	23	21	59	17	31
Cr	25	24	25	26		25
Se	25	26	45	51		37
<i>C. Hüvely, db/20 növény</i>						
As	69	84	53	43	20	62
Cr	72	81	59	45		64
Se	91	86	27	9		53
<i>D. Hüvely, g/20 növény</i>						
As	67	88	49	38	26	60
Cr	73	86	52	29		60
Se	93	94	12	3		50
<i>E. Hüvely, légszáraz anyag %-a</i>						
As	22	21	22	26	4	23
Cr	21	20	23	26		22
Se	19	19	32	62		33
<i>F. Mag, g/20 növény</i>						
As	107	105	69	44	29	81
Cr	110	121	86	48		91
Se	121	121	0	0		60
<i>G. 1000-mag tömege, g</i>						
As	242	248	239	292	18	255
Cr	248	253	250	242		248
Se	250	272	0	0		130

A kombajnolt júliusi légszáraz szárazborsó 2,5 t magot és 5,0 t légszáraz hüvely+szár melléktermést adott szennyezetlen talajon, tehát a 7,5 t/ha összes légszáraz föld feletti hozamnak 35 %-át képezte a magtermés és 65 %-át a melléktermés. A júniusi zöldborsó magtermése júliusban ugyanitt 6–7 t/ha között ingadozott 60–65 % nedvességtartalommal, azaz a júniusi és a júliusi magtermések érdemben nem különböztek szárazanyaghozamukat tekintve. A terméselemek aránya módosult a mérgezés nyomán: az extrém As-terhelésnél a mag részaránya csupán 25 %-ot képviselt, ill. az extrém Se-terhelésnél mag már nem is képződött, a hüvely+szár melléktermés aránya 100 %-ra emelkedett (4.táblázat).

Megemlítjük még, hogy a 3 t körüli maximális mag-, ill. 6 t feletti mellékterméseket az áthordással enyhén szennyezett Mo-, Pb- és Se-kontrollparcellákon nyertük. Ezek a terméstöbbletek statisztikailag nem igazolhatók egyértelműen, de figyelemre méltóak és további vizsgálatokat igényelnek. A növekvő As- és Se-terheléssel a mag részaránya csökken, azaz az agronómiai szempontból fontos „harvest index” mutató kedvezőtlené válik. Mérsékelt mérgezés esetén nem módosítja a főtermés/melléktermés arányát, azaz a toxicitás egyaránt jelentkezik a vegetatív és a generatív szervekben, ill. a vegetatív és a generatív fejlődési fázisban.

## 4. táblázat

**Toxicitást okozó As-, Cr- és Se-kezelések hatása a szárazborsóra  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1994. július 18.)**

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Légszáraz mag, t/ha</i>						
As	2,40	2,59	2,34	0,43	0,79	1,94
Cr	2,51	1,98	1,93	1,55		1,99
Se	2,41	2,35	0,00	0,00		1,19
<i>B. Légszáraz hüvely+szár, t/ha</i>						
As	4,63	5,13	4,08	1,98	1,96	3,96
Cr	4,64	3,90	3,74	2,33		3,87
Se	5,44	4,79	1,88	0,55		3,17
<i>C. Összes föld feletti légszáraz hozam, t/ha</i>						
As	7,03	7,72	6,42	2,41	2,67	5,90
Cr	7,15	5,88	5,67	3,88		5,64
Se	7,85	7,14	1,88	0,55		4,36
<i>D. Légszáraz mag, az összes %-ában</i>						
As	34	34	36	18	6	30
Cr	35	34	34	40		36
Se	31	33	0	0		16

5. táblázat

As-, Ba- Cd- és Cr-terhelések hatása a légszárász borsó összetételére  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. As mg/kg 1994-ben, As-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
b) szár <sup>2</sup>	0,0	0,0	2,4	7,2	1,5	2,4
b) szár <sup>3</sup>	0,0	0,8	2,6	12,1	1,6	3,9
c) hüvely <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
d) mag <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
d) mag <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>B. Ba mg/kg 1994-ben, Ba-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	5,0	8,0	9,9	16,0	3,7	9,7
b) szár <sup>2</sup>	7,6	11,7	16,7	31,0	4,7	16,8
b) szár <sup>3</sup>	9,0	20,4	30,0	53,5	8,2	28,2
c) hüvely <sup>2</sup>	3,4	4,9	8,9	17,6	2,4	8,7
d) mag <sup>2</sup>	0,7	1,0	1,4	2,4	1,2	1,4
d) mag <sup>3</sup>	0,6	0,7	2,9	2,3	1,2	1,6
<i>C. Cd mg/kg 1994-ben, Cd-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,1	0,8	0,4	0,2
b) szár <sup>2</sup>	0,0	1,6	1,9	3,2	0,3	1,7
b) szár <sup>3</sup>	0,0	2,5	3,2	9,3	1,3	3,8
c) hüvely <sup>2</sup>	0,1	1,5	1,6	2,4	1,3	1,4
d) mag <sup>2</sup>	0,0	1,2	1,2	1,5	0,6	1,0
d) mag <sup>3</sup>	0,0	1,1	1,1	1,6	0,6	1,0
<i>D. Cr mg/kg 1994-ben, Cr-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,1	0,8	0,4	0,2
b) szár <sup>2</sup>	0,2	0,7	3,2	4,2	0,4	2,1
b) szár <sup>3</sup>	0,1	2,0	4,7	9,2	0,8	4,1
c) hüvely <sup>2</sup>	0,0	0,1	0,5	0,9	0,2	0,4
d) mag <sup>2</sup>	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
d) mag <sup>3</sup>	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3

Megjegyzés: <sup>1</sup>- virágzás kezdetén V. 25-én; <sup>2</sup>- zöldborsó VI. 14-én; <sup>3</sup>- szárazborsó VII. 18-án; Az Al átlagos koncentrációja a zöldborsólevélben, -szárban, -hüvelyben ill. -magban 13, 44, 6 ill. 3 mg/kg volt és nem módosult az Al-terhelés nyomán

Az 5. táblázatban tanulmányozhatjuk a kezelések hatását a légszárász borsó szerveinek összetételére. Az arzén mozgása gátolt a talaj–növény rendszerben.



Csupán a szár mutatott némi akkumulációt, míg a levél, hüvely és mag nem szennyeződött.

A 8/1985. (X. 21.) EüM rendelet száraz hüvelyesekben 0,02 Hg, 0,1 Cd és As, valamint 0,5 Pb mg/kg maximális koncentrációt engedélyez, míg a 4/1990. (II. 28) MÉM rendelet takarmánykeverékekben 0,1 Hg, 0,5 Cd, 2 As és 5 Pb mg/kg határkoncentrációkat ad meg. A nagyobb As-terhelésű kezelésekből származó borsó szára tehát takarmányozásra már nem használható. Az egyes növényi szervek Ba-tartalma átlagosan 3–5-szörösére nőtt a maximális Ba-terheléssel. A magtermésben egy nagyságrenddel kevesebb Ba-ot mutattunk ki, mint a melléktermésben. Mivel a bárium nem minősül e téren veszélyes elemnek, a szabványok limit-koncentrációkat nem közölnek.

A kadmium mérsékelt koncentrációkat mutat, elsősorban az öregedő szárban halmozódott fel. Mind a mag, mind a melléktermés azonban fogyasztásra alkalmatlanná vált, hiszen száraz hüvelyesekben 0,1 mg/kg, takarmányokban 0,5 mg/kg a megengedett maximális Cd-koncentráció a hazai és nemzetközi szabványok szerint. A króm az arzénhoz hasonlóan nem mobilis a talaj–növény rendszerben, akkumulációja a generatív szervekben csak gyengén volt igazolható. A szárban mérsékeltén dúsult. Határkoncentrációkat a szabványok élelmiszerekre és takarmányokra általában nem közölnek.

Közismerten nehezen mozog a réz a gyökérből a föld feletti szervekbe. Az al-kalmazott hatalmas Cu-adagok ellenére a növényi föld feletti szervek Cu-felvételében alig igazolható változás. Hasonló talajokon tehát a Cu-hiány talajon keresztüli  $\text{CuSO}_4$ -trágyázással nem orvosolható. A higany az arzénhoz hasonló képet mutat, felhalmozódása csak az előregedő szárban érdemi. Száraz hüvelyesekre a hivatkozott rendelet 0,02 mg/kg, takarmánykeverékekre 0,1 mg/kg maximális Hg-koncentrációt engedélyez, így a nagyobb Hg-terhelés minőségileg kifogásolható terményt eredményezett (6. táblázat).

A molibdén molibdenát-anionként mobilis maradt ezen a jól szellőzött meszes talajon és aktív dúsulást mutatott a növényi szervekben a talajbani koncentrációkhoz viszonyítva – legalábbis ami a vegetatív növényi szerveket illeti. A magban mintegy 100-szoros akkumulációt mértünk a kontrollhoz képest, míg a vegetatív részekben ennek többszörösét. A borsó magja és melléktermékei emberi és állati fogyasztásra alkalmatlanná váltak, hiszen 5–10 mg/kg Mo-koncentráció már élettanilag elfogadhatatlan mind az ember, mind a növényevő állat számára. Közismerten fontos mutató takarmányokban a Cu/Mo aránya, mely 5 felett tekinthető ideálisnak. A molibdén túlsúlya ugyanis Cu-hiányt indukál a növényevő állatban, ill. extrém túlsúlya toxikózist eredményezhet (PAIS, 1980).

A nikkellel mennyisége elsősorban a magban és a hüvelyben emelkedett meg és általában egy nagyságrenddel nőtt a szennyezett talajon. A mag tehát genetikailag nem védett a szennyezéstől, a genetikai szűrő nem működik, s ez a nikkellel

6. táblázat

**Cu-, Hg-, Mo- és Ni-terhelések hatása a légszáraz borsó összetételére  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Cu mg/kg 1994-ben, Cu-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	6,0	8,3	8,7	9,0	2,3	8,0
b) szár <sup>2</sup>	4,2	6,2	6,8	6,8	2,4	6,0
b) szár <sup>3</sup>	3,4	5,5	7,8	7,3	2,4	6,0
c) hüvely <sup>2</sup>	4,9	6,9	6,8	6,6	2,0	6,3
d) mag <sup>2</sup>	6,7	9,1	8,1	9,0	2,4	8,2
d) mag <sup>3</sup>	7,6	9,3	10,1	9,5	2,4	9,1
<i>B. Hg mg/kg 1994-ben, Hg-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,0	2,2	1,1	0,6
b) szár <sup>2</sup>	0,0	0,0	1,0	5,9	1,5	1,8
b) szár <sup>3</sup>	0,0	0,0	3,8	15,6	2,9	4,9
c) hüvely <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
d) mag <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
d) mag <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,1
<i>C. Mo mg/kg 1994-ben, Mo-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,0	180	380	502	61	266
b) szár <sup>2</sup>	0,1	262	482	598	80	336
b) szár <sup>3</sup>	0,2	172	315	427	75	228
c) hüvely <sup>2</sup>	0,2	100	124	176	44	100
d) mag <sup>2</sup>	1,5	89	136	148	42	94
d) mag <sup>3</sup>	1,5	102	144	172	48	105
<i>D. Ni mg/kg 1994-ben, Ni-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,0	0,0	1,7	3,3	0,3	1,2
b) szár <sup>2</sup>	0,1	0,3	0,6	1,8	0,3	0,7
b) szár <sup>3</sup>	0,3	1,1	2,5	6,5	0,9	2,6
c) hüvely <sup>2</sup>	0,1	2,6	3,8	9,0	1,4	3,9
d) mag <sup>2</sup>	1,4	5,9	8,8	13,1	2,8	7,3
d) mag <sup>3</sup>	1,2	4,4	10,2	12,0	2,6	7,0

Megjegyzés: <sup>1</sup> – virágzás kezdetén V. 25-én; <sup>2</sup> – zöldborsó VI. 14-én; <sup>3</sup> – szárazborsó VII. 18-án

esszenciális voltát igazolja. Nem tekinthető kiemelten veszélyes elemnek, ezért határkoncentrációkat a szabványok nem adnak meg (6. táblázat).

Az ólom felhalmozódása általában egy nagyságrenddel nagyobb szennyezett talajon, de még így sem lépte túl igazolhatóan a megengedett határértékeket. Az

ólom nem mobilis a talaj–növény rendszerben, felvehetősége gátolt ezen a mezés vályog csernozjomon. A szelén a molibdénhez hasonlóan hiperakkumulációt mutat. A 90 kg/ha, azaz 30 mg/kg Se-terhelés nyomán a növényi szövetekben 100–200 mg/kg Se-koncentráció jelentkezett. A Mo-tól eltérően igen erős

7. táblázat

**Pb-, Se-, Sr- és Zn-kezelések hatása a légszáraz borsó összetételére  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Pb mg/kg 1994-ben, Pb-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,0	0,8	1,0	1,6	0,6	0,8
b) szár <sup>2</sup>	0,1	0,2	0,4	1,1	0,6	0,4
b) szár <sup>3</sup>	0,2	1,3	2,3	4,4	1,3	2,0
c) hüvely <sup>2</sup>	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,1
d) mag <sup>2</sup>	0,1	0,3	1,4	1,4	0,8	0,8
d) mag <sup>3</sup>	0,0	0,2	0,3	0,6	0,5	0,3
<i>B. Se mg/kg 1994-ben, Se-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,5	190	291	330	40	203
b) szár <sup>2</sup>	0,0	228	362	332	42	230
b) szár <sup>3</sup>	0,0	126	-	-	36	-
c) hüvely <sup>2</sup>	0,0	104	434	382	85	230
d) mag <sup>2</sup>	0,2	176	-	-	38	-
d) mag <sup>3</sup>	0,2	124	-	-	34	-
<i>C. Sr mg/kg 1994-ben, Sr-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	64	87	174	492	41	204
b) szár <sup>2</sup>	88	168	198	572	47	256
b) szár <sup>3</sup>	92	193	289	682	74	314
c) hüvely <sup>2</sup>	60	98	159	406	50	181
d) mag <sup>2</sup>	3	5	8	22	2	10
d) mag <sup>3</sup>	3	5	7	17	2	8
<i>D. Zn mg/kg 1994-ben, Zn-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	8	36	42	56	9	36
b) szár <sup>2</sup>	4	19	35	57	8	29
b) szár <sup>3</sup>	5	13	22	46	7	22
c) hüvely <sup>2</sup>	6	21	43	41	14	28
d) mag <sup>2</sup>	21	45	49	59	7	44
d) mag <sup>3</sup>	19	46	51	55	9	43

Megjegyzés: <sup>1</sup> – virágzás kezdetén V. 25-én; <sup>2</sup> – zöldborsó VI. 14-én; <sup>3</sup> – szárazborsó VII. 18-án; - Nagyobb Se-terhelésnél a növényzet kipuhtult

fitotoxicitás kíséri a hiperakkumulációt. Mind a fő-, mind a melléktermés erősen szennyeződik és fogyasztásra alkalmatlanná válik (7. táblázat).

A 7. táblázat adatai szerint a Sr-tartalom átlagosan közel egy nagyságrenddel dúsult a növényi szövetekben a Sr-terhelés nyomán. A magtermés szegény Sr-ban, míg a borsó vegetatív szervei 20–30-szoros akkumulációt mutattak a maghoz viszonyítva. A kevéssé veszélyes jelleg miatt a szabványok nem közölnek limit értékeket a Sr-ra. A cink esszenciális jellege miatt a magban dúsul szennyezetlen talajon, a Zn-terhelést viszont főként a vegetatív szervek tükrözik, nagyságrendi emelkedést mutatva. A korábban említett EüM-rendelet határkon-

8. táblázat  
Se-toxicitás hatása a légszáraz borsó összetételére – Makroelemek 1994-ben  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Se-terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
	<i>K %</i>					
a) levél <sup>1</sup>	1,55	1,37	0,93	0,63	0,46	1,12
b) szár <sup>2</sup>	1,31	0,88	0,70	0,57	0,28	0,87
c) hüvely <sup>2</sup>	1,32	0,89	0,87	0,98	0,19	1,02
	<i>Ca %</i>					
a) levél <sup>1</sup>	1,30	1,32	0,70	0,78	0,32	1,03
b) szár <sup>2</sup>	1,71	1,78	1,21	1,40	0,36	1,53
c) hüvely <sup>2</sup>	1,21	1,05	0,69	0,84	0,20	0,95
	<i>Mg %</i>					
a) levél <sup>1</sup>	0,24	0,23	0,16	0,14	0,05	0,19
b) szár <sup>2</sup>	0,22	0,23	0,17	0,16	0,06	0,20
c) hüvely <sup>2</sup>	0,27	0,25	0,17	0,21	0,06	0,23
	<i>S % 1994-ben</i>					
a) levél <sup>1</sup>	0,39	0,53	0,32	0,32	0,10	0,39
b) szár <sup>2</sup>	0,32	0,40	0,34	0,35	0,07	0,35
c) hüvely <sup>2</sup>	0,19	0,17	0,26	0,37	0,05	0,25
	<i>P % 1994-ben</i>					
a) levél <sup>1</sup>	0,28	0,24	0,27	0,32	0,07	0,28
b) szár <sup>2</sup>	0,17	0,15	0,16	0,21	0,04	0,17
c) hüvely <sup>2</sup>	0,24	0,20	0,38	0,47	0,05	0,32

<sup>1</sup> – virágzás kezdetén V. 25-én; <sup>2</sup> – zöldborsó VI. 14-én;

Megjegyzés: Irodalmi optimum a levélben virágzás kezdetén (BERGMANN, 1988):

N 3,0–4,0 %; P 0,25–0,50 %; K 2,2–3,5 %; Mg 0,25–0,60 %; Ca 0,5–2,0 %; B 30–70 mg/kg; Zn 25–70 mg/kg; Mn 30–100 mg/kg; Cu 7–15 mg/kg

centrációt nem ad meg a Zn-re. Feltehetően a Zn-szennyezés esetünkben nem okozott olyan problémát, mely a borsó fogyasztását akadályozná, hiszen savanyú talajokon az ilyen Zn-tartalom meglehetősen gyakori a fogyasztásra kerülő növényekben.

A Se-toxicitás nyomán megváltozhat egy sor fontos makro- és mikroelem felvétele. Vajon a fontosabb tápelemek felvételének gátlásával magyarázható-e a Se-mérgezés mechanizmusa? Mely elemnél léphet fel olyan mérvű hiány, mely komoly terméscsökkenéshez vezethet? Ehhez ismernünk kell a növényi optimumokat. A 8. és 9. táblázatban bemutatjuk a Se-toxicitás hatását a légszár borsó makro- és mikroelem-tartalmának változására és a 8. táblázat lábjegyzetében közöljük a borsó virágzás kezdetén vett levelének optimumait BERGMANN (1988) nyomán.

Amint a 8. táblázatban látható, elsősorban a K-, Ca-, ill. Mg-mennyiség csökken a növényben, míg a S- és P-tartalom növekszik, különösen a hüvelyben. A virágzás elejei optimumok szerint a K és Mg %-ai kifejezett hiányzónát jeleznek. Az extrém Se-mérgezés nyomán a kálium koncentrációja a még kielégítőnek tekinthető 3 % közbülső érték 1/5-ét mutatja. Ilyen mérvű hiány már megállíthatja a növekedést, ill. a növény elszáradásához és pusztulásához vezethet. A Se-túlsúly tehát a makroelemek közül elsősorban a kálium felvételét blokkolja és ez önmagában is magyarázatul szolgálhat a növény pusztulására. Megemlítjük, hogy 1993-ban a burgonya levele virágzaskor hasonlóképpen mutatta a K-, Ca- és Mg-kationok, valamint a B felvételének gátlását Se-terhelés nyomán (KÁDÁR & PROKISCH, 2000).

A mikroelemek terén a csökkenő terméssel fellépő töményedési effektus részben megvilágíthatja a Na-, Fe-, Al-, Zn- és Ni-koncentrációk emelkedését a növekvő Se-terheléssel. A B felvétele viszont szemmel láthatóan gátoltá válik és az irodalmi optimum küszöbértékének 1/4–1/5-ére süllyed. Fennállhat a bórát-szelenátanion antagonizmus jelensége. Úgy tűnik, hogy a szulfát- és foszfát-anionok felvételét a szelenátanion kevésbé gátolta, ill. esetünkben a töményedési effektus volt a meghatározó, hiszen a Se-terheléssel inkább emelkedett koncentrációjuk.

Ismert, hogy a fiatal nedvdús növényi szövetek káliumban gazdagok, a K hiánya hervadást, elszáradást, rossz vízháztartást eredményez. A bór szintén fontos szerepet játszik a vízháztartás szabályozásában és a káliummal együtt a szénhidrát-anyagcserében, a szénhidrátok szállításában (cukor-borát észterek), a növekedés serkentésében. Magnézium hiányában a klorofill képződése megáll, a növény elsárgul. A három elem funkciója összefügg. A Se-mérgezéssel kiváltott extrém K-, Mg- és B-hiány következtében a borsó levelei elsárgultak, kicsik maradtak és elhaltak. A generatív fejlődésben is zavar következett be, a növények nem vagy alig képeztek virágot és terméketlenek maradtak. A tenyésztés során végzett megfigyelések, bonitálások és mérések eredményei összhangban vannak az említett elemek funkcionális hiánytüneteivel.

9. táblázat

Se-toxicitás hatása a légszáraz borsó összetételére – Mikroelemek 1994-ben  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörccsök)

(1) Növényi rész	(2) Se-terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
	<i>Na mg/kg</i>					
a) levél <sup>1</sup>	68	82	76	106	27	83
b) szár <sup>2</sup>	72	82	212	290	74	164
c) hüvely <sup>2</sup>	60	46	46	46	32	50
	<i>Fe mg/kg</i>					
a) levél <sup>1</sup>	56	50	76	192	31	93
b) szár <sup>2</sup>	62	79	583	550	101	318
c) hüvely <sup>2</sup>	1	1	2	3	1	2
	<i>B mg/kg</i>					
a) levél <sup>1</sup>	18	14	9	7	6	12
b) szár <sup>2</sup>	21	14	13	12	4	15
c) hüvely <sup>2</sup>	12	13	9	8	3	10
	<i>Al mg/kg</i>					
a) levél <sup>1</sup>	9	8	26	116	13	40
b) szár <sup>2</sup>	28	39	402	388	70	214
c) hüvely <sup>2</sup>	8	6	15	27	4	14
	<i>Zn mg/kg</i>					
a) levél <sup>1</sup>	6	5	10	22	9	11
b) szár <sup>2</sup>	5	6	10	13	5	8
c) hüvely <sup>2</sup>	6	6	15	66	14	23
	<i>Ni mg/kg</i>					
a) levél <sup>1</sup>	0,0	0,0	0,2	0,5	0,4	0,2
b) szár <sup>2</sup>	0,2	0,8	1,3	1,5	0,4	1,0
c) hüvely <sup>2</sup>	0,5	0,3	1,9	2,7	0,5	1,4

Megjegyzés: <sup>1</sup> – virágzás kezdetén; <sup>2</sup> – zöldborsó állapot

Bár kevésbé kifejezetten, de a terméscsökkenést okozó másik két elem esetében, az As- és Cr-kezelésekben is előálltak bizonyos változások a növényi szövetek összetételében. Adatainkat a 10. táblázat foglalja össze. A töményedési effektus nyomán igazolhatóan emelkedett a S- és Mn-koncentráció a terméscsökkenést okozó As-terheléssel. Ezzel szemben a Cr-terhelés csökkentette a S- és Cu-tartalmakat, főképpen a virágzás elejei levélben. A borsó Cu-ellátása hiányzónába kerülhetett az irodalmi határkoncentrációk alapján, hiszen a 7 körüli küszöbérték helyett 2,6 mg/kg tartalmat mutatott az extrém Cr-terheléses ke-

zelésben. Réz hiányában az enzimek inaktiválódnak és a klorofill szétesik, a levélcúcsok elszáradnak, csökken a virág ill. magvak képződése, sérül a pillangósok N-metabolizmusa, fehérjeszintézise. Mindez hozzájárulhatott a Cr-toxicitással együtt járó növényi elszáradáshoz és termés-csökkenéshez.

10. táblázat  
As- és Cr-kezelések hatása a légszáraz borsó összetételére  
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1994)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. S %, As-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,38	0,34	0,46	0,62	0,10	0,45
b) szár <sup>2</sup>	0,27	0,31	0,36	0,55	0,07	0,37
c) hüvely <sup>2</sup>	0,19	0,21	0,21	0,26	0,05	0,22
<i>B. S %, Cr-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	0,42	0,32	0,36	0,22	0,10	0,33
b) szár <sup>2</sup>	0,32	0,28	0,30	0,25	0,07	0,29
c) hüvely <sup>2</sup>	0,21	0,20	0,22	0,21	0,05	0,21
<i>C. Mn mg/kg, As-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	62	60	84	100	15	76
b) szár <sup>2</sup>	50	56	74	101	18	70
c) hüvely <sup>2</sup>	22	20	26	33	8	25
<i>D. Cu mg/kg, Cr-terhelés hatására</i>						
a) levél <sup>1</sup>	5,4	5,6	5,0	2,6	2,0	4,6
b) szár <sup>2</sup>	4,0	4,1	3,6	2,6	1,0	3,6
c) hüvely <sup>2</sup>	5,3	6,0	4,6	3,6	1,7	4,9

<sup>1</sup> – virágzás kezdetén V. 25-én; <sup>2</sup> – zöldborsó állapot VI. 14-én

### Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén szabadföldi kispárcellás mikroelem-terhelési kísérletet állítottunk be 1991 tavaszán. A termőhely talajának szántott rétege mintegy 5 % CaCO<sub>3</sub>-ot és 3 % humuszt tartalmazott, felvehető Ca-, Mg-, Mn- és Cu-ellátottsága kielégítő, N- és K-ellátottsága közepes, P- és Zn-ellátottsága gyenge volt. A talajvíz 15 m mélyen helyezkedik el, a terület vízmérlege negatív, aszályra hajló. A 13 vizsgált mikroelem sóit 4–4 szinten alkalmaztuk 1991 tavaszán, a kukorica vetése előtt. A 13x4=52 kezelést 2 ismétlésben állítottuk be összesen 104 parcellán

split-plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270 és 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NaAsO}_2$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ,  $\text{SrSO}_4$  és  $\text{ZnSO}_4$  formájában. A 100–100–100 kg/ha N–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–K<sub>2</sub>O alaptrágyázás egységesen történt az egész kísérletben ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisóműtrágyákkal. Az 1. évben kukoricát, a 2. évben sárgarépát, a 3. évben Desirée fajtájú burgonyát termesztettünk. A 4. évben végzett borsó kísérletünk eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

– A 13 vizsgált mikroelemből az As, Cr és Se bizonyult fitotoxikusnak a borsóra. Szennyezetlen talajon 2,5 t/ha légszáraz magtermést kaptunk, mely a maximális As-terhelés esetén 0,4 t/ha, Cr-terheléssel 1,6 t/ha mennyiségre csökkent. A 270 és 810 kg/ha Se-terhelés a borsó és a gyomok teljes pusztulását eredményezte.

– Az adott meszes vályog csernozjom talajon az arzén, króm és higany dúlulása az extrém terhelés ellenére is csak a borsó vegetatív szerveiben volt igazolható, a magban nem. A Ba, Cd, Cu és Pb elemek mozgása is gátolt a talaj-növény rendszerben, a magtermésben mindössze néhány, vagy néhány tized mg/kg mennyiségben halmozódtak fel. Mérsékeltén dúsult a nikkell, mely a magtermésben akkumulálódott döntően. A stroncium nagyságrendi emelkedést mutatott, a maximális koncentrációk a borsó vegetatív részeiben jelentkeztek. A Zn-szennyezést elsősorban szintén a melléktermés képes jelezni nagyságrendi felhalmozással, míg a mag Zn-tartalma állandóbbnak bizonyult.

– Extrém dúlulásra, 2–3 nagyságrendi akkumulációra a molibdén és szelén volt képes mind a vegetatív részekben, mind a magban. Mivel esszenciális elemek, a mag genetikailag nem védett a szennyezéstől és e két elem döntően a transzspirációs árammal mozog, ezért könnyen felhalmozódhat a föld feletti szervekben. Molibdenát- és szelenátanionként mobilisak maradnak a jól szellőzőtt meszes talajban. A szelén különös figyelmet érdemel fitotoxicitása miatt. A Ny-európai tapasztalatoktól eltérően hazai termőhelyeink jelentős részén a legveszélyesebb talajszennyezők nem az ismertebb nehézfémek kationjai lehetnek (Pb, Cd, Hg, Cu, Zn) hanem a mobilis és/vagy toxikus anion formák, mint az arzenát, szelenát, kromát, molibdenát.

– A Se-túlsúly elsősorban a K, kisebb részben a Ca ill. Mg fémek és a B felvételét gátolja és olyan mérvű hiányt (főként K-hiányt) indukálhat, amely megállíthatja a növény növekedését, ill. elszáradásához és pusztulásához vezethet. A Cr-túlsúly hasonló módon Cu-hiányt okozott, mely hozzájárulhatott a Cr-toxicitás kifejlődéséhez, a növény elszáradásához és terméseszkökenéshez.



**Irodalom**

- CSATHÓ P., 1994a. A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. MTA TAKI. Budapest.
- CSATHÓ P., 1994b. Nehézfém és egyéb toxikus elemforgalom a talaj–növény rendszerben. *Agrokémia és Talajtan*. **43**. 371–398.
- FERGUSSON, J. E., 1991. *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects*. Pergamon Press. Oxford–New York–Seoul–Tokyo.
- JÁSZBERÉNYI I., 1979. Kadmium hatásvizsgálatok tenyészedény-kísérletekben. Doktori értekezés. DATE. Debrecen.
- KÁDÁR I., 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM–MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I. & PROKISCH J., 2000. Mikroelem-terhelés hatása a burgonyára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 447–464.
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K-NÉ, 2000a. Mikroelem-terhelés hatása a kukorica-állományra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 181–204.
- KÁDÁR I., RADICS L. & DAOOD, H.G., 2000b. Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 427–446.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn*. **123**. 223–232.
- LEHOCZKY, É., SZABADOS, I. & MARTH, P., 1996. Cd-content of plants as affected by soil Cd concentration. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*. **27**. 1765–1777.
- LEHOCZKY, É. et al., 1998. Cadmium uptake by lettuce in different soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. **29**. 1903–1912.
- LEHOCZKY, É. et al., 1999. Effect of different soil pH on cadmium uptake by the plants. *Z. Probl. Postepow Nauk Rolniczych*. **456**. 409–414.
- LOCH, J., 1992. Ermittlung optimaler Düngergaben und Nährstoffverhältnisse als Voraussetzung für eine umweltschonende Düngung. In: 104. VDLUFA Kongressband. 195–198. Göttingen.
- MÉM NAK., 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- NÉMETH, T. et al., 1993. Fate and plant uptake of some heavy metals in soil–plant system studied on soil monoliths. *Agrokémia és Talajtan*. **42**. 195–206.
- PAIS I., 1980. A mikrotápelemek szerepe a mezőgazdaságban. *Mezőgazdasági Kiadó*. Budapest.
- PURVES, D., 1985. *Trace Element Contamination of the Environment*. Elsevier. Amsterdam–Oxford–New York–Tokyo.
- REGIUSNÉ M. Á. et al., 1985. Kadmiumtartalom és -feldúsulás hatása növényeknél és állatoknál. *Állattenyésztés és Takarmányozás*. **34**. 449–456.
- SIMON L., 1998. Talajszennyeződés, talajtisztítás. Oktatási segédlet. GATE Mezőgazdasági Főiskolai Kar. Nyíregyháza.
- SZABÓ S. A., REGIUSNÉ M. Á. & GYÖRI D., 1994. Mikroelemek a mezőgazdaságban. III. Toxikus mikroelemek. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- VERMES L., 1994. A talajszennyezés néhány kérdése. *Talajvédelem*. **2**. 86–93.

- VERMES L. et al., 1993. A kadmium előfordulásának vizsgálata Pest megyében. *Agrokémia és Talajtan*. **42**. 229–244.
- Az egészségügyi miniszter 8/1985. (X.21.) EüM számú rendelete az élelmiszerek ártalmatlan vegyi szennyeződésének elhárításáról. (Maximálisan megengedhető fémtartalmak) *Egészségügyi Közlöny*. **20**. 642–644.

*Érkezett: 2000. augusztus 30.*

## Effect of Microelement Loads on Peas Grown on Calcareous Chernozem Soil I. Yield and Mineral Composition

I. KÁDÁR

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the  
Hungarian Academy of Sciences, Budapest

### Summary

A small-plot field experiment was set up in spring 1991 on a loamy-textured calcareous chernozem soil formed on loess at the Nagyhörcsök Experimental Station of the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry to investigate the effect of microelement loads. The ploughed layer of the growing site contained approx. 5% CaCO<sub>3</sub> and 3% humus, was satisfactorily supplied with available Ca, Mg, Mn and Cu, moderately with N and K and poorly supplied with P and Zn. The groundwater was at a depth of 15 m and the area had a negative water balance, tending to drought. Salts of the 13 microelements examined were each applied at 4 levels in spring 1991 prior to maize sowing. The 13×4=52 treatments were set up in two replications, giving a total of 104 plots in a split-plot design. The microelement levels were 0, 90, 270 and 810 kg/ha in the form of AlCl<sub>3</sub>, NaAsO<sub>2</sub>, BaCl<sub>2</sub>, CdSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>, CuSO<sub>4</sub>, HgCl<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>, NiSO<sub>4</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, SrSO<sub>4</sub> and ZnSO<sub>4</sub>. All the plots received basic fertilization with 100 kg/ha each of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O in the form of ammonium nitrate, superphosphate and potassium chloride. Maize was grown in the first year, carrots in the second and potatoes (Desirée) in the third. In the present paper the results of experiments on peas in the fourth year are summarized as follows:

– Of the 13 microelements examined, As, Cr and Se proved to be phytotoxic to peas. On unpolluted soil an air-dry seed yield of 2.5 t/ha was achieved, which decreased to 0.4 t/ha and 1.6 t/ha in the case of maximum As and Cr loads, respectively. 270 and 810 kg/ha Se loads led to the complete destruction of both peas and weeds.

– On the given loamy-textured calcareous chernozem soil, the accumulation of arsenic, chromium and mercury was only significant in the vegetative organs of pea plants, and not in the seed, despite the extreme pollution. The mobility of Ba, Cd, Cu and Pb was also inhibited in the soil–plant system, and these elements only accumulated in the seed yield at rates of a few mg or a few tenths of mg/kg. There was a moderate accumulation of nickel, especially in the seed. There was an order of magnitude rise in the quantity of strontium, with maximum concentrations in the vegetative organs of pea. Zinc pollution was also signalled primarily by an accumulation of an order of magnitude in the by-products, while the Zn content of the seed was relatively stable.

– Molybdenum and selenium were capable of accumulating by 2–3 orders of magnitude in both the vegetative organs and the seed. Since these are essential elements, the seed is not protected genetically from pollution and these two elements move chiefly with the transpiration flow, so they are easily accumulated in the aboveground organs. In the form of molybdenate and selenate ions they remain mobile in a well-aerated calcareous soil. Selenium requires special attention due to its phytotoxicity.

Unlike experience in Western Europe, the most dangerous soil pollutants in most growing regions in Hungary are not the cations of the better-known heavy metals (Pb, Cd, Hg, Cu, Zn), but the mobile and/or toxic anion forms, such as arsenate, selenate, chromate and molybdenate.

– Se dominance inhibits the uptake of K, and to a lesser extent that of Ca, Mg and B, and may induce such a serious deficiency, especially in the case of K, that plant growth ceases and the plants may wither and die. In the same way, Cr accumulation leads to Cu deficiency, which in turn contributes to the development of Cr toxicity and thus to plant withering and yield losses.

*Table 1.* Agronomic measures and observations (Calcareous chernozem soil, Nagy-hörcsök, 1993–1994). (1) Agronomic measures, observations. (2) Date. (3) Note. 1. Autumn fertilization – NPK fertilizer applied by hand. 2. One-way ploughing – using an MTZ Lajta plough. 3. Combined soil cultivation – MTZ 50 + harrow. 4. Sowing + seed covering – Mechanical sowing + harrowing. 5. Rolling – T4K smooth roller. 6. Emergence, uniform rowing – in the whole experiment. 7. Staking out of the experiment – placement of stakes in each plot. 8. Withering of the shoots – in the Se and As treatments. 9. Soil sampling, 0–20 cm – at 20 points of each plot. 10, 12, 18. Scoring of plant stand – for each plot. 11. Leaf sampling at the beginning of flowering – 20 leaves/plot. 13. Fencing – placing of wire netting around the experiment. 14. Open day – national. 15. End of flowering – Beginning of pod formation. 16. Pea sampling – 20 peas/plot. 17. Plant sampling prior to harvest – 1 m<sup>2</sup>/net plot. 19. Harvesting of dry peas – plot combine harvester.

*Table 2.* Effect of treatments causing toxicity to peas (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, 1994). (1) Element symbol. (2) Loads in spring 1991, kg/ha. (3) LSD<sub>5%</sub>. (4) Mean. A. Scoring on May 5<sup>th</sup> (early development). B. Scoring on May 26<sup>th</sup> (at the beginning of flowering). C. Scoring on July 18<sup>th</sup> (dry pea harvest). D. Green leaves, g/20 leaves (at the beginning of flowering). E. Leaf dry matter % (at the beginning of flowering). Scores: 1 = poorly developed, yellowing stand, 5 = well developed green stand.

*Table 3.* Effect of treatments causing toxicity to green peas on June 14<sup>th</sup> 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 2. A. Stalks, g/20 plants. B. Stalks, air-dry matter %. C. Pods, No./20 plants. D. Pods, g/20 plants. E. Pods, air-dry matter %. F. Seeds, g/20 plants. G. 1000 seed mass, g.

*Table 4.* Effect of As, Cr and Se treatments causing toxicity to dry peas (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, July 18<sup>th</sup> 1994). (1)–(4): see Table 2. A. Air-dry seed, t/ha. B. Air-dry pod + stalk, t/ha. C. Total aboveground air-dry yield, t/ha. D. Air-dry seed as a % of the total yield.

*Table 5.* Effect of As, Ba, Cd and Cr loads on the composition of air-dry peas (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Plant organ. a) leaf, b) stalk, c) pod, d) seed. (2)–(4): see Table 2. A. As, mg/kg in 1994 as the result of As loads. B. Ba, mg/kg in 1994 as the result of Ba loads. C. Cd, mg/kg in 1994 as the result of Cd loads. D. Cr, mg/kg in 1994 as the result of Cr loads. Note: <sup>1</sup> – at the beginning of flowering on May 25<sup>th</sup>; <sup>2</sup> – green peas on June 14<sup>th</sup>; <sup>3</sup> – dry peas on July 18<sup>th</sup>. The mean concentration of Al in the leaves, stalks, pods and seeds of green peas was 13, 44, 6 and 3 mg/kg, respectively, and was not modified by Al loads.

*Table 6.* Effect of Cu, Hg, Mo and Ni loads on the composition of air-dry peas (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4) a)–d): see Table 5. A. Cu, mg/kg in 1994 as the result of Cu loads. B. Hg, mg/kg in 1994 as the result of Hg loads. C. Mo, mg/kg in 1994 as the result of Mo loads. D. Ni, mg/kg in 1994 as the result of Ni loads. Note: <sup>1</sup> – at the beginning of flowering on May 25<sup>th</sup>; <sup>2</sup> – green peas on June 14<sup>th</sup>; <sup>3</sup> – dry peas on July 18<sup>th</sup>.

*Table 7.* Effect of Pb, Se, Sr and Zn loads on the composition of air-dry peas (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4) a)–d): see Table 5. A. Pb, mg/kg in 1994 as the result of Pb loads. B. Se, mg/kg in 1994 as the result of Se loads. C. Sr, mg/kg in 1994 as the result of Sr loads. D. Zn, mg/kg in 1994 as the result of Zn loads. Note: <sup>1</sup> – at the beginning of flowering on May 25<sup>th</sup>; <sup>2</sup> – green peas on June 14<sup>th</sup>; <sup>3</sup> – dry peas on July 18<sup>th</sup>. Plants died due to the effect of larger Se loads.

*Table 8.* Effect of Se toxicity on the composition of air-dry peas – Macroelements in 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 5. a) leaves, b) stalks, c) pods. <sup>1</sup> – at the beginning of flowering on May 25<sup>th</sup>; <sup>2</sup> – green peas on June 14<sup>th</sup>; Note: Optimum in the leaves at the beginning of flowering (BERGMANN, 1988): N 3.0–4.0%; P 0.25–0.50%; K 2.2–3.5%; Mg 0.25–0.60%; Ca 0.5–2.0%; B 30–70 mg/kg; Zn 25–70 mg/kg; Mn 30–100 mg/kg; Cu 7–15 mg/kg.

*Table 9.* Effect of Se toxicity on the composition of air-dry peas – Microelements in 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4) a)–c): see Table 5. Note: <sup>1</sup> at the beginning of flowering, <sup>2</sup> green peas

*Table 10.* Effect of As and Cr treatments on the composition of air-dry peas (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4) a)–c): see Table 5. A. S % as the result of As loads. B. S % as the result of Cr loads. C. Mn mg/kg as the result of As loads. D. Cu mg/kg as the result of Cr loads in 1994. <sup>1</sup> at the beginning of flowering on May 25<sup>th</sup>, <sup>2</sup> green peas on June 14<sup>th</sup>.