

Mikroelem-terhelés hatása a céklára karbonátos csernozjom talajon

¹KÁDÁR IMRE, ¹KONCZ JÓZSEF és ²RADICS LÁSZLÓ

¹ MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest és

² Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar, Budapest

A cékla vetésterülete mindössze 300–400 ha hazánkban. Táplálkozási jelentőségét, mint zöldségnövénynek, gyökerének vitamin- (B-, C-, P-), ásványi só- és cukortartalma (6–9 %) adja. Megemlíthető, hogy a takarmányrépa, cukorrépa, mangold és a cékla egyetlen faj, a *Beta vulgaris* termesztett változata. Ősalakjuk feltehetően a *Beta maritima* vadon termő egyéves libatopfélé, mely egyaránt megtalálható a Földközi-tenger és a Fekete-tenger partvidékén, a Nílus, valamint a Tigris és Eufrátesz folyók menti sós talajokon.

A répafélék, ill. a cékla karógyökere 1–2 m-re is lehatol, így jól képes hasznosítani a talaj víz- és tápelemkészletét. Ebből adódóan víz- és tápelemigénye közepesnek minősül. SZABÓ (1994) szerint a 10 t betakarításkori friss gyökér + a hozzá tartozó lomb fajlagos elemigénye 24 kg N, 14 kg P₂O₅, 60 kg K₂O. Kiemelkedő tehát K-igénye. A nagyobb termésekkel az egy ha-ról felvett elemek mennyisége elérheti a 135 kg N-, 50 kg P₂O₅-, 260 kg K₂O-mennyiséget (FILIUS, 1994). A cékla optimális tápláltsági állapotának jellemzésére az alábbi határkoncentrációkat javasolják a lomb középtájáról vett, éppen kifejlett levél összetétele alapján: 3–5 % N, 2,8–5 % K, 1,5–2,5 % Ca, 0,3–0,8 % Mg, 0,25–0,50 % P, 50–120 mg Mn, 35–80 mg B, 20–60 mg Zn, 7–15 mg Cu, 0,2–1,0 mg Mo/kg szárazanyag (BERGMANN, 1988).

A zöldségfélék vegetatív részeit fogyasztjuk, ezért különösen fontos megismerni elemfelvételüket szennyezett/terhelt talajon. Az ez irányú hazai kutatások is kiszélesedtek, egyre több közlemény foglalkozik a talaj–növény rendszer nitrát-, nehézfém- és egyéb károsanyag-forgalmával (CSATHÓ, 1994; FILEP, 1988; LOCH, 1992; VERMES, 1994; SIMON, 1998; NÉMETH et al., 1993). A saláta, hagyma és a kukorica elemdúsulásait pl. savanyú és meszes talajon is elemzik tenyészedény-kísérleteikben LEHOCZKY és munkatársai (1988, 1998, 1998a, 1996). Céklával tudomásunk szerint ilyen kísérletek nem folytak még hazánkban, így a továbbiakban ez irányú eredményeinket mutatjuk be.

Anyag és módszer

Kísérletünket 1991 tavaszán állítottuk be az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén. A termőhely löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaja a szántott rétegben átlagosan 5 % 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 $\text{pH}(\text{KCl})$ 7,3, $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ - 80–100, $\text{AL-K}_2\text{O}$ - 140–160, KCl-Mg - 150–180, a KCl+EDTA -oldható Mn - 80–150, Cu - 2–3, Zn -tartalom 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.

Az alkalmazott kezelések olyan talajszennyezettségi viszonyokat modelleznek, melyek ipari létesítmények, autóutak és települések szennyezett környezetében, városi kiskertekben ma is előfordulnak vagy a jövőben előfordulhatnak. A 13 vizsgált mikroelem sóját 4–4 szinten egyszer alkalmaztuk 1991 tavaszán, az első évben vetett kukorica alá. A $13 \times 4 = 52$ kezelést 2 ismétlésben állítottuk be összesen 104 parcellán, split-plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270, 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl_3 , NaAsO_2 , BaCl_2 , CdSO_4 , K_2CrO_4 , CuSO_4 , HgCl_2 , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, NiSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , SrSO_4 , ZnSO_4 formájában. Az alaptrágyázást évente végeztük 100–100–100 kg/ha N , P_2O_5 és K_2O hatóanyag alkalmazásával ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisó-műtrágyákkal.

A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat nyújt áttekintést. A vetés április 25-én történt Detroit Standard fajtával, Nibex szemkenéti vetőgéppel, 2–3 cm mélyre helyezve a monogerm magvakat. A választott fajta friss fogyasztásra és konzervipari feldolgozásra egyaránt alkalmas. Gyökértermése 10–25 t/ha között ingadozik, de öntözve 2–3-szoros mennyiségre is képes. A sor \times tő távolságot többszöri egyelést követően 50 \times 10 cm-re állítottuk be, mely 200 ezer db/ha tőszámot jelent.

Bonitálást végeztünk állományfejletségre május végén 2–4 leveles korban és betakarítás előtt (1–5 skálán). Levélanalízis céljából parcellánként 20–20 növény föld feletti hajtását gyűjtöttük a tenyészidő közepén, június 21-én. Betakarításkor (szeptember 8-án) 20–20 leveles gyökeret vettünk parcellánként a laboratóriumi vizsgálatokra. Megmértük az átlagminták friss és légszáraz tömegét (40–50 °C-on történt szárítást követően), majd a 300 db átlagmintát finomra daráltuk és $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ roncsolás után 20–24 elemre analizáltuk, ICP-technikát alkalmazva.

1. táblázat

A kísérletben végzett műveletek és megfigyelések, 1995
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Műveletek megnevezése	(2) Időpontja (év, hónap, nap)	(3) Megjegyzés
1. Őszi NPK-műtrágyázás	1994. 10. 21.	Parcellánként kézzel szórva
2. Egyirányú szántás	1994. 10. 21.	MTZ-80 + Lajta eke
3. Fogasolás	1995. 04. 06.	MTZ-80 + fogas
4. Tavaszi N-műtrágyázás	1995. 04. 06.	Parcellánként kézzel
5. Kombinátorozás	1995. 04. 06.	MTZ-80 + kombinátor
6. Vetés, hengerezés	1995. 04. 25.	Szemenként vetőgéppel
7. Kísérlet karózása	1995. 05. 15.	Parcellánként kézzel
8. Bonitálás gyomosságra	1995. 05. 24.	Parcellánként 1–5 skálán
9. Bonitálás fejlettségre	1995. 05. 29.	Parcellánként 1–5 skálán
10. Kapáló gyomirtás	1995. 05. 31.	Az egész kísérletben
11. Kapáló gyomirtás	1995. 06. 14.	Az egész kísérletben
12. Növénymintavétel	1995. 06. 21.	20 hajtás parcellánként
13. Tőszámbeállítás	1995. 06. 27.	Parcellánként kézzel
14. Növénymintavétel	1995. 09. 08.	20 db leveles gyökér parcellánként
15. Bonitálás fejlettségre	1995. 09. 11.	Parcellánként 1–5 skálán
16. Betakarítás	1995. 09. 11.	Parcellánként 24–24 fm

A parcellák bruttó területe $3,5 \times 6 = 21 \text{ m}^2$. Betakarításkor a belső 4–4 sor állományát emeltük ki, tehát a nettó értékelt terület $6 \times 4 = 24 \text{ fm}$, azaz 12 m^2 -t tett ki. Talajmintavételre, ill. talajvizsgálatokra 1994. évben került sor. Ekkor parcellánként 20–20 pontminta egyesítésével átlagmintákat képeztünk a szántott rétegből és meghatároztuk az „összes” készletet $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ roncsolásból, ill. a „könnyen oldható” tartalmakat NH_4 -acetát + EDTA kioldásból LAKANEN és ERVIÖ (1971) szerint. A kísérlet első évében kukoricát, a 2. évben sárgarépát, a 3. évben burgonyát, a 4. évben borsót termesztettünk. A kísérlet célját, módszerét, valamint a megelőző évek főbb eredményeit korábbi közleményeink foglalják össze (KÁDÁR et al., 2000, 2000a; KÁDÁR & PROKISCH, 2000; KÁDÁR, 2001).

A termőhely csapadékadatát az 1991–1994. évek időszakára korábbi közleményünk tartalmazza (KÁDÁR et al., 2000). Az 1995–2000. évek havi, negyedéves, éves és a fő tenyészidőre vetített csapadékösszegek eredményeit a 2. táblázatban foglaltuk össze. Az 1995. évben 107 mm-rel kevesebb csapadék hullott, mint a sokéves átlag. Augusztusban a cékla mindössze 7 mm csapadékot kapott, így a termés is mérsékelt maradt. A száraz, forró július és augusztus nem kedvezett a cékla fejlődésének.

2. táblázat

A havi, negyedéves, éves és a tenyészidő alatti csapadékösszegek adatai, mm
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1995–2000)

(1) Hónapok	1995	1996	1997	1998	1999	2000	(2) Átlag*
a) január	12	4	0	54	15	31	34
b) február	53	15	8	0	44	19	36
c) március	33	3	13	28	17	32	37
d) április	38	11	8	104	87	53	48
e) május	37	63	53	79	77	20	64
f) június	89	41	60	36	192	10	61
g) július	30	15	50	63	129	44	54
h) augusztus	7	25	8	61	60	11	55
i) szeptember	87	160	4	114	19	43	49
j) október	7	0	37	73	53	32	53
k) november	22	28	28	48	95	34	57
l) december	68	42	51	22	42	57	42
m) I. negyedév	98	22	21	82	76	82	107
n) II. negyedév	164	115	120	220	356	82	173
o) III. negyedév	124	201	63	239	208	98	158
p) IV. negyedév	98	69	115	142	190	122	152
r) Éves összeg	483	407	319	682	830	384	590
s) IV–IX. havi	287	316	183	458	564	180	331
t) X–VI. havi	329	234	211	417	574	355	432

* Sokéves átlag a legközelebbi állomás, Sárbogárd 50 éves átlaga

Kísérleti eredmények

Mikroelem-terhelés hatása a talajra 1994-ben

Az „összes” tartalmakat kémiai módszerekkel, általában tömény savakkal becsüljük. Kérdés, hogy a talajba került szennyezés mennyire mutatható ki kémiai eljárásainkkal, mekkora a visszamérés %-a? Minderre konkrét választ csak a terhelési kísérletekben kaphatunk. A könnyen oldható tartalmakat, ill. határkoncentrációkat ugyancsak kísérletesen lehet megállapítani eltérő talajokon és növénykultúrákban. A növények reakciója, károsanyag-felvétele fajonként változó. E téren a hazai vizsgálatok alapvető fontosságúak a mobilis szennyezettségi kritikus koncentrációk megismerésében, melyeket a talajhasználati céloktól függően differenciálva állapíthatunk meg.

A visszanyerési/visszamérési %-ok megállapításánál abból indultunk ki, hogy a kb. 20 cm szántott talajréteg (1,5 átlagos térfogattömeggel számolva) hektáronként mintegy 3 millió kg tömeget jelent, azaz 3 kg/ha terhelés 1 mg/kg mennyiségnek felel meg. Ebben a kísérletben 0, 90, 270, 810 kg/ha terhelést/adagokat alkalmaztunk elemenként, mely 0, 30, 90 ill. 270 mg/kg talajszennyezést jelent.

3. táblázat

Kezelések hatása a szántott réteg összetételére, mg/kg
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. cc.HNO₃ + cc.H₂O₂ kioldás 1994-ben*</i>						
As	7	28	81	210	34	86
Ba	80	111	154	398	54	221
Cd	0.3	18	50	162	18	62
Cr	18	48	64	121	57	63
Cu	17	43	85	230	24	120
Hg	0	26	67	157	33	66
Mo	0	10	20	114	24	36
Ni	28	63	112	248	18	113
Pb	10	49	142	264	33	117
Se	7	29	81	224	22	88
Sr	60	90	158	352	28	165
Zn	40	71	118	274	26	127
<i>B. NH₄-acetát+EDTA kioldás 1994-ben**</i>						
As	0	4	21	80	9	26
Ba	18	27	40	67	16	38
Cd	0	14	44	164	13	56
Cr	0	1	2	4	1	2
Cu	4	23	65	192	12	71
Hg	0	2	12	41	2	14
Mo	0	3	7	25	4	9
Ni	4	22	48	86	9	40
Pb	5	29	101	260	19	99
Se	0	8	33	89	11	32
Sr	40	57	99	314	32	118
Zn	1	19	44	147	11	53

* Hg és Mo 0,1 ppm körül, B 1, Co 8, Na 61, S 432, Mn 684, P 1127, K 1555, Mg 8446, Al 10796, Fe 15789 ppm átlagosan. ** As, Cd, Cr, Hg, Mo, Se 0,1 ppm körül, Co és B 2, Na és S 40, Al 67, Fe 71, P 100, K 266, Mn és Mg 400 ppm átlagosan

Amint a 3. táblázat adataiból kitűnik, a szántott réteg elemtartalma az alumíniumot kivéve egy vagy több nagyságrenddel dúsult a terhelés nyomán. Ez a változás mind az „összes”, mind a mobilis vagy felvehető koncentrációkban nyomon követhető. Az alumínium esetén a terhelés egyáltalán nem mutatható ki egyik módszerrel sem. Az Al-szilikátok az egyik legfőbb talajalkotók, tömegükhez képest elenyésző az Al-bevitel.

A visszamérési %-ok elemenként és természetesen módszerenként eltérőek a táblázatokban közöltek alapján. Ami az „összes” tartalmakat illeti látható, hogy – a szórásokat figyelembe véve – az átlagos visszamérhetőségi sorrend az alábbi: Pb, Sr, Ba, Ni, Zn, Cu, Se, As, Hg, Cr, Cd, Mo, Al. Azaz, a talajba jutott szennyező elemek közül 1994-ben (4 év után) a szántott rétegben kimutatható:

- Pb, Sr, Ba, Ni, Zn 90 % felett,
- Cu, Se, As, Hg 60–90 % között,
- Cr, Cd, Mo 30–60 % között,
- Al 10 % alatt.

A 3. táblázatban bemutatott könnyen oldható tartalmakat illetően, ugyanazon mintákban az átlagos visszamérési sorrend az alábbiak adódott: Pb, Sr, Cu, Zn, Cd, Ni, Se, Ba, As, Mo, Hg, Cr, Al. Azaz a talajba jutott szennyező elemek közül 1994-ben (4 év után) a szántott rétegben kimutatható:

- Pb 90 % felett,
- Sr 60–90 % között,
- Cu, Zn, Cd, Ni, Se 30–60 % között,
- Ba, As, Mo, Hg 10–30 % között,
- Cr, Al 10 % alatt.

Figyelemre méltó, hogy az Pb-szennyezés mindkét módszerrel jól jelezhető. A másik elem, amely esetében az „összes” és az oldható koncentrációk átlagai jól egyeznek a Cd, melynél a visszanyerési értékek 50–60 % közöttinek adódtak. Az ólom és a kadmium két kulcsfontosságú környezetszennyező. Ezen elemek nyomon követésére elégséges csupán a felvehető koncentrációkat meghatározni ahhoz, hogy hasonló tulajdonságú talajokon egy szennyezést utólag minősítsünk, a terhelést számszerűen is kifejezzük. A minősítésnél figyelembe veendő a szennyezés kora vagy időtartama, mert a friss szennyezők általában jobban kimutathatók a mobilis frakciókban. Másrészt az adott sók oldhatósága eredendően sem azonos, ill. különböző módon alakulnak át a talajban, a talajösszetevőkkel kölcsönhatásba lépve.

Mikroelem-terhelés hatása a cékla és a gyomok fejlődésére

A 4. táblázatban bemutatott adatok szerint négy elem okozott termésnövekedést: As, Cd, Cr és Se. A bonitálási eredmények arra utalnak, hogy az arzén által okozott mérgezés idővel mérséklődött, sőt a gyökér és a lombtermés sem jelezte már igazolhatóan betakarításkor. Ezzel szemben a króm depresszív hatása drasztikusan erősödött a korrallal, betakarítás idejére már a 810 kg/ha terhelésű

4. táblázat
Termésnövekedést okozó toxikus elemek hatása a céklára, 1995
(Karbonátos csernozjom, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Bonitálás fejlettségre máj. 29-én</i>						
As	5,0	5,0	5,0	2,0	1,3	4,3
Cd	4,5	2,5	1,5	1,5		
Cr	4,5	4,5	4,0	3,5		
Se	4,5	1,0	1,0	1,0		
<i>B. Bonitálás fejlettségre szept. 11-én</i>						
As	4,5	4,0	4,0	2,5	1,9	3,8
Cd	4,0	4,0	2,5	1,5		
Cr	4,5	4,0	4,0	1,5		
Se	5,0	3,5	1,0	1,0		
<i>C. Friss lomtömeg, g/20 növény jún. 21-én</i>						
As	328	232	269	241	144	268
Cd	283	268	112	101		
Cr	314	318	259	221		
Se	352	159	0	0		
<i>D. Friss lomtömeg, t/ha szept. 11-én</i>						
As	4,5	4,6	4,3	5,2	2,8	4,6
Cd	4,2	4,3	3,1	1,2		
Cr	6,0	4,7	6,3	2,0		
Se	4,6	3,2	0,0	0,0		
<i>E. Friss gyökértömeg, t/ha szept. 11-én</i>						
As	14,7	17,1	17,6	12,3	8,7	15,4
Cd	16,2	12,9	5,3	1,5		
Cr	19,1	16,6	12,0	3,5		
Se	16,7	11,4	0,0	0,0		

Megjegyzés: Légszáraz anyag a lombban jún. 21-én 9 %; betakarításkor 18 % (a gyökérben 14 % átlagosan). Bonitálás: 1= igen gyenge, pusztuló állomány, 5= jól fejlett állomány

parcellákon jórészt kipusztultak a növények. Korábbi vizsgálataink szerint a kromát formában adott Cr(VI) a szántott réteg alatt dúsult fel, míg az arzén a szántott rétegben maradt. Feltehető, hogy míg az arzénnal szennyezett réteget a cékla idővel kinőtte, addig a krómmal szennyezettbe „belenőtt”.

A növekvő Cd-terheléssel a növény tömege az egész tenyészidő folyamán alacsony maradt, különösen a betakarításkori gyökértermés csökkent drasztikusan (a kontrolltalajon mért érték 1/10-ére). A Se-toxicitás volt a leginkább kifejezett, mely a 270, ill. 810 kg/ha kezelésben már a keléskori állomány elszáradásához, pusztulásához vezetett. A lomb légszáraz anyaga jún. 21-én 9 %-ot, szept. 6-án (betakarításkor) 18 %-ot tett ki. A betakarításkori gyökér átlagosan 14 % légszáraz anyagot tartalmazott (4. táblázat).

5. táblázat

Terméscsökkenést okozó toxikus elemek hatása a cékla és a gyom fejlettségére, 1995. május 31. (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Céklafedettség %-a</i>						
As	3,5	4,5	5,0	3,0	2,9	4,0
Cd	4,0	3,0	2,2	1,8		2,7
Cr	5,5	5,5	4,5	3,0		4,6
Se	4,5	1,3	0,0	0,0		1,5
<i>B. Gyomfedettség %-a</i>						
As	74	71	56	6	21	52
Cd	89	96	46	74		76
Cr	85	89	73	30		69
Se	78	29	1	0		27
<i>C. Összes fedettség %-a</i>						
As	78	75	61	9	21	56
Cd	93	99	48	75		79
Cr	91	94	78	33		74
Se	80	30	1	0		28
<i>D. Amaranthus blitoides fedettség %-a</i>						
As	53	55	52	0	24	40
Cd	88	95	45	73		75
Cr	83	82	68	28		65
Se	70	28	1	0		25

Megjegyzés: A Chenopodium fajok 3–4 % borítottsága mellett még 13 gyomfaj jelenléte volt azonosítható

A cékla lassan indult fejlődésnek. Május végén a talajt mindössze 4–5 %-ban borította. A gyomborítottság viszont elérte a 80–90 %-ot a gyomirtó kapálás előtt. Domináns gyomfaj az *Amaranthus blitoides* volt. A *Chenopodium* fajok 3–4 %-os fedettségén túl még 13 gyomfajt azonosítottunk a kísérletben. Gyomokra a nagyobb As-, Cr- és főként a Se-kezelés hasonlóképpen toxikus hatású volt, mint a céklára (5. táblázat).

A kísérletes gyombiológiai kutatások előtérbe kerülésével lehetővé válik a kultúrnövény és gyomok versengésének részletes megismerése és ezen keresztül a gyomszabályozás lehetőségének feltárása is. A tápanyagokért és a vízárt folyó versengés mellett újabb területet jelenthet a gyomok és a főbb kultúrnövények talajszennyezőkkel szembeni érzékenysége. Kevésbé szennyezett talajon felvetődhet a fitoremediáció, mint reális alternatíva. A kétszikű, nagytestű gyomfajokat ugyanis intenzív anyagcsere jellemzi és kimagasló mikroelem-felvételekre képesek (KÁDÁR et al., 2000; LEHOCZKY et al., 1988; LEHOCZKY, 1994).

Mikroelem-terhelés hatása a cékla elemösszetételére

A kezelések hatását a légszáraz cékla összetételére a 6. táblázatban tanulmányozhatjuk. Az arzén mozgása szemmel láthatóan gátolt a talaj–növény rendszerben, az akkumuláció mérsékelt maradt. A 8/1985. (X. 21.) EüM rendelet szárított zöldségre maximálisan 4 mg/kg As-, 2 mg/kg Pb-, 0,3 mg/kg Cd- és 0,05 mg/kg Hg-koncentrációt engedélyez. Egyéb elemekre nem ad meg határértékeket. Takarmánykeverékek a következő mennyiségeket tartalmazhatnak: As 2, Pb 5, Cd 0,5, Hg 0,1 mg/kg. A cékla levele tehát már 270, míg a gyökere a 810 kg/ha terhelésnél eredményezhet állati vagy emberi fogyasztásra alkalmas terméket ezen a talajon.

A Ba-koncentráció is mérsékelten növekedett, mindössze megduplázódott a maximális Ba-terhelés nyomán. A Cd-dúsulás aggodalomra adhat okot, hiszen két nagyságrendet elérve a növényi részekben erősen szennyezett termést adott. A gyökér sem védett a káros hatás ellen. Egy nagyságrenddel dúsult a króm és már a szennyeztelen talajon 1–4 mg/kg közötti értéket mutatott. A Cu-tartalom átlagosan mindössze megkétszereződött a növényi részekben, a termés még nem tekinthető szennyezettnek. Ezzel szemben már a 90 kg/ha Hg-terhelésnél a növényi minőség kifogásolható, ill. a határérték felett szennyezetté válik (6. táblázat).

A molibdén extrém mértékben halmozódik, az akkumuláció három nagyságrendbeli. Ismeretes, hogy a molibdén – a transzspirációs árammal bejutva – főként a föld feletti hajtásban, ill. levelekben dúsulhat. Ez a jelenség nem jár együtt termésnövekedéssel, az extrém Mo-túlsúly nem okoz fitotoxicitást. A növényevő ember vagy állat számára az ilyen összetételű termék azonban már elfogadhatatlan. Az 5 mg/kg feletti Mo-koncentrációt károsnak minősítjük, mert

6. táblázat

Kezelések hatása a légszáraz cékla elemtartalmára 1995-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. As-terhelés hatására, mg As/kg</i>						
a) levél ¹	0,0	0,0	2,0	13,4	1,0	3,8
b) levél ²	0,0	0,0	5,6	12,2	1,5	4,4
c) gyökér ²	0,0	0,0	0,0	9,2	1,2	2,3
<i>B. Ba-terhelés hatására, mg Ba/kg</i>						
a) levél ¹	62	79	109	144	18	99
b) levél ²	75	88	112	118	24	98
c) gyökér ²	23	33	38	43	7	34
<i>C. Cd-terhelés hatására, mg Cd/kg</i>						
a) levél ¹	0,4	31	56	68	3	39
b) levél ²	0,4	27	47	80	9	38
c) gyökér ²	0,4	18	47	55	10	30
<i>D. Cr-terhelés hatására, mg Cr/kg</i>						
a) levél ¹	1,5	5	15	18	2	10
b) levél ²	4,1	10	29	38	3	20
c) gyökér ²	1,0	4	8	13	2	6
<i>E. Cu-terhelés hatására, mg Cu/kg</i>						
a) levél ¹	10	11	14	18	3	13
b) levél ²	8	13	17	22	3	15
c) gyökér ²	9	11	12	15	2	12
<i>F. Hg-terhelés hatására, mg Hg/kg</i>						
a) levél ¹	0,0	0,6	5,1	8,9	1,3	3,8
b) levél ²	0,0	1,6	4,6	14,2	2,8	5,1
c) gyökér ²	0,0	0,5	1,2	6,8	1,6	2,1
<i>G. Mo-terhelés hatására, mg Mo/kg</i>						
a) levél ¹	0,1	243	459	916	35	405
b) levél ²	0,0	182	451	852	15	371
c) gyökér ²	0,0	37	70	114	8	55
<i>H. Ni-terhelés hatására, mg Ni/kg</i>						
a) levél ¹	0,9	2,1	3,5	14,0	1,0	5,1
b) levél ²	3,0	5,0	8,9	27,2	1,9	11,0
c) gyökér ²	1,5	3,3	5,1	8,4	0,6	4,6

6. táblázat folytatása

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>I. Pb-terhelés hatására, mg Pb/kg</i>						
a) levél ¹	0,5	1,8	2,6	6,9	1,5	2,9
b) levél ²	1,0	3,6	8,1	14,6	1,9	6,8
c) gyökér ²	0,0	0,2	1,6	3,0	0,8	1,2
<i>J. Se-terhelés hatására, mg Se/kg</i>						
a) levél ¹	1	434	(-)	(-)	23	218
b) levél ²	1	608	(-)	(-)	39	305
c) gyökér ²	1	143	(-)	(-)	10	72
<i>K. Sr-terhelés hatására, mg Sr/kg</i>						
a) levél ¹	98	149	223	552	42	256
b) levél ²	140	270	298	778	47	372
c) gyökér ²	45	63	67	161	18	84
<i>L. Zn-terhelés hatására, mg Zn/kg</i>						
a) levél ¹	20	42	51	83	15	49
b) levél ²	12	24	42	72	7	38
c) gyökér ²	18	46	70	96	8	58

¹ – tenyésztés közepén 1995. jún. 21-én, ² – betakarításkor 1995. szept. 7-én; (-): növényzet károsult. As- és Hg-tartalom 0,1 mg/kg alatt szennyezetlen talajon

Cu-hiányt indukálhat, míg az extrém Mo-túlsúly toxikózist okozhat. A Ni-felvétel egy nagyságrendbeli dúsulással járt a levélben, némileg mérsékeltebb volt a gyökérben.

A Pb-koncentráció a gyökér esetében és a fiatal levélben csak a maximális 810 kg/ha terhelésnél haladta meg a határértéket. A Se-tartalom főként az előregedő levélben már a 90 kg/ha adagnál több százszorosára nőtt. Az e feletti terhelésnél a cékla kipusztult. Tehát a molibdenát és szelenát anion-formák fél év-tized után is mobilisak maradhatnak ebben a meszes, jól szellőző talajban. A molibdéntől eltérően azonban a szelén fitotoxicitása kifejezett. A stroncium átlagosan 4–5-szörös maximális felhalmozást jelez a növényi részekben. A kevésbé veszélyes jelleg miatt a szabványok nem közölnek határértékeket a Sr elemre. Az extrém Se-túlsúly természetesen toxikózishoz vezethet állatban és emberben. A Zn-koncentráció a Sr-hoz hasonlóan 4–5-szörös dúsulást mutatott (6. táblázat).

Megemlítjük, hogy a szárazság miatt a cékla fiatal lombja, ill. a betakarítási gyökere egyaránt nagy NO₃-N-koncentrációkat tükrözött. Amint a 7. táblázat adatai mutatják, az As-terheléssel igazolhatóan emelkedett a NO₃-N-tartalom mind a levélben, mind a gyökérben, elérve a 3400–4000 mg/kg értékeket.

Szignifikánsan nőtt a szelénrel szennyezett gyökér $\text{NO}_3\text{-N}$ -készlete is. A nitrát közismerten tartaléktápanyag, melyet a növény aminosavakba és fehérjékbe épít be. Úgy tűnik, hogy a $\text{NO}_3\text{-redukciót}$ mind az As-, mind a Se-túlsúlya gátolhatja, anyagcserezavarokat okozva.

7. táblázat

**Kezelések hatása a légszáraz cékla $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmára, 1995
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Levélben jún. 21-én, mg/g</i>						
As	1,41	1,38	2,17	3,42	1,09	2,09
Cd	1,74	2,69	2,59	2,61		2,41
Cr	1,88	1,31	1,36	2,91		1,86
Se	1,81	1,66	(-)	(-)		1,44
<i>B. Gyökérben szept. 7-én, mg/g</i>						
As	1,73	2,34	2,50	3,99	0,99	2,98
Cd	1,72	2,22	1,95	2,50		2,10
Cr	1,78	2,53	1,43	2,14		1,97
Se	1,95	3,42	(-)	(-)		2,68

(-): növényzet kipusztult

A cékla átlagos összetételét szennyezetlen talajon a 8. táblázatban vizsgálhatjuk. Megállapítható, hogy a répafelekre jellemzően a lombban kiugróan nagy lehet a K, Ca, Na, Mg elemekben való dúsulás. Más kultúrákhoz (kalászosok, kukorica) viszonyítva emelkedett koncentrációt mutat a levélben a S és P is, valamint egy nagyságrenddel gazdagabb Cr, Co, Ni, Cd, Se, Pb, Mo nyomelemekben. A gyökér ásványi elemekben szegényebb, mint a lomb. Ez alól kivételt a K, N, $\text{NO}_3\text{-N}$, Zn, Cu jelentett. A 25 vizsgált elemből mérés határ, ill. 0,1 mg/kg koncentráció alatt maradt az As, Hg, Mo.

Az összes felvett K, N, $\text{NO}_3\text{-N}$, P, B, Zn, Cu, Ni, Cd, Se elemek nagyobb része a gyökérben, míg a Ca, Mg, Na, S, Al, Fe nagyobb tömege a föld feletti levélben akkumulálódott. A mérsékelt 15–20 t/ha friss, ill. 2,5–3,0 t/ha légszáraz gyökértömeg a hozzá tartozó lombbal együtt 112 kg K- (134 kg K_2O), 89 kg N-, 12 kg P- (28 kg P_2O_5), 50 kg Ca-, 35 kg Mg-, 28 kg Na-, 13 kg S-, ill. 3–3 kg Al- és Fe-készlettel rendelkezett betakarításkor. A szaktanácsadásban használatos fajlagos, azaz 10 t tervezett főtermés elemigénye lombbal együtt az alábbiaknak adódott: 44 kg N, 6 kg P (14 kg P_2O_5), 56 kg K (67 kg K_2O), 25 kg Ca, 18 kg Mg. A kiugróan nagy fajlagos N-tartalom az aszályos évnek tulajdonítható.

A kísérletünkben talált fajlagos mutatók közül a nitrogén 25 %-kal nagyobb, míg a foszfor 34 %-kal, a kálium 25 %-kal kisebb értéket mutatott, mint a SZABÓ (1994) által megadott. Száraz évben a növények közismerten több nitrogént tartalmaznak és a tápoldat is betöményedik, nincs kilúgozás, ill. a növényben hígulás sem lép fel. A szaktanácsadás számára a 25 kg N, 10 kg P₂O₅, 45 kg K₂O fajlagos értékekkel számolhatunk hasonló körülmények között, ill. hasonló talajon (9. táblázat).

Szennyezett talajon a maximális mikroelem-felvétel (gyökér+lomb betakarításkor) 1600 g Sr, 1200 g Mo, 800 g Se, 360 g Zn, 240 g Ba, 80 g Cd, 70 g Cu,

8. táblázat

A légszáraz cékla átlagos elemtartalma szennyezetlen talajon, 1995
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Mérték- egység	(3) Levél		(4) Gyökér szept. 11-én
		jún. 21-én	szept. 7-én	
K	%	7,99	2,74	2,83
N	%	3,46	2,40	2,17
Ca	%	2,10	3,42	0,52
Na	%	1,37	1,80	0,35
Mg	%	1,02	2,20	0,50
S	%	0,62	0,71	0,19
P	%	0,51	0,42	0,27
Al	%	0,11	0,24	0,05
NO ₃ -N	%	0,17	0,24	0,23
Fe	%	0,08	0,24	0,05
Mn	mg/kg	205	342	102
Sr	mg/kg	93	140	45
Ba	mg/kg	62	75	22
B	mg/kg	49	30	25
Zn	mg/kg	24	11	18
Cu	mg/kg	10	8	8
Cr	mg/kg	1,40	3,40	1,15
Co	mg/kg	0,54	1,12	0,28
Ni	mg/kg	0,50	3,02	1,80
Cd	mg/kg	0,33	0,35	0,20
Se	mg/kg	0,33	0,23	0,20
Pb	mg/kg	0,28	0,99	0,30

Megjegyzés: As, Hg és Mo 0,1 mg/kg alatt. A levél jún. 21-én átlagosan 9 %, szept. 7-én 18 %, a gyökér szept. 11-én 14 % légszáraz anyagot tartalmazott

9. táblázat

A cékla átlagos és fajlagos (10 t betakarításkori friss gyökér + a hozzá tartozó lomb) elemfelvétele szennyezetlen talajon, 1995
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Mérték- egység	(3) Felvett elemek betakarításkor			(7) Fajlagos kg/10 t
		(4) Lomb	(5) Gyökér	(6) Összesen	
K	kg/ha	27	85	112	56
N	kg/ha	24	65	89	44
Ca	kg/ha	34	16	50	25
Mg	kg/ha	22	15	37	18
Na	kg/ha	18	10	28	14
S	kg/ha	7.1	5.7	13	6
P	kg/ha	4.2	8.1	12	6
NO ₃ -N	kg/ha	2.4	6.9	9	4
Al	kg/ha	2.4	0.2	3	1
Fe	kg/ha	2.4	0.2	3	1
Mn	g/ha	342	306	648	324
Sr	g/ha	140	135	275	137
Ba	g/ha	76	66	142	70
B	g/ha	30	75	105	52
Zn	g/ha	11	54	65	32
Cu	g/ha	8	24	32	16
Cr	g/ha	3.4	3.4	6.8	3
Ni	g/ha	3.0	5.4	8.4	4
Co	g/ha	1.1	0.8	1.9	1
Pb	g/ha	1.0	0.9	1.9	1
Cd	g/ha	0.4	0.6	1.0	0.5
Se	g/ha	0.2	0.6	0.8	0.4

Megjegyzés: As, Hg, Mo felvétele mérés határ alatt maradt. Maximális felvétel szennyezett talajon: Sr 1600, Mo 1200, Se 800, Zn 360, Ba 240, Cd 80, Cu 70, Cr és Ni 50, As és Hg 40, Pb 24 g/ha

50 g Cr és Ni, 40 g As és Hg, valamint 24 g Pb mennyiséget tett ki hektáronként. Az erősen szennyezett talajok tisztítása tehát fitoremediációval nem jelenthet perspektívát. Ha feltesszük, hogy a termés tömegét öntözéssel, jobb agrotechnikával, új fajtával megtízszerezhetjük a jövőben, a 910 kg/ha Cd-terhelés eltüntetéséhez (az évenkénti 800 g/ha kivonással számolva) pl. egy évezredre lenne szükség.

Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet Nagyhőrcsöki Kísérleti Telepén szabadföldi kispárcellás mikroelem-terhelési kísérletet állítottunk be 1991 tavaszán. A termőhely talajának szántott rétege mintegy 5 % CaCO_3 -ot és 3 % humuszt tartalmazott, felvehető tápelemekkel való ellátottsága: Ca, Mg, Mn, Cu kielégítő, N és K közepes, P és Zn gyenge volt. A talajvíz 15 m mélyen helyezkedik el, a terület vízmérlege negatív, aszályra hajló. A 13 vizsgált mikroelem sőt 4–4 szinten alkalmaztuk 1991 tavaszán, a kukorica vetése előtt. A $13 \times 4 = 52$ kezelést 2 ismétlésben állítottuk be, összesen 104 parcellán, splitplot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270, 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl_3 , NaAsO_2 , BaCl_2 , CdSO_4 , K_2CrO_4 , CuSO_4 , HgCl_2 , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, NiSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , SrSO_4 , ZnSO_4 formájában. A 100–100–100 kg/ha N– P_2O_5 – K_2O alaptrágyázás egységesen történt az egész kísérletben ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisóműtrágyákkal. A növényi sorrend kukorica, sárgarépa, burgonya és borsó volt. Az 5. évben végzett cékla kísérletünk eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

1. Talajvizsgálatokkal a terhelés csak részben és elemenként eltérő módon jelezhető utólag. A $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ feltárásból az alábbi visszamérhetőség adódott: 90 % felett kimutatható volt az Pb, Sr, Ba, Ni, Zn; 60–90 % között a Cu, Se, As, Hg; 30–60 % között a Cr, Cd, Mo. Az NH_4 -acetát + EDTA-oldható frakcióból 90 % felett az Pb; 60–90 % között a Sr; 30–60 % között a Cu, Zn Cd, Ni, Se; 10–30 % között az As, Ba, Mo, Hg; 10 % alatt a Cr volt detektálható öt év után a szántott rétegben. Az Al-dúsulás egyik módszerrel sem volt igazolható. Külön vizsgálatot igényel majd a veszteségforrások feltárása (megkötődés, kilúgozás, elillanás, felvétel).

2. A 13 vizsgált elemből az As, Cd, Cr, Se bizonyult toxikusnak a céklára. A száraz évben szennyezetlen talajon 15–20 t/ha gyökér termett, mely a maximális Cd-terheléssel 1,5 t/ha, a maximális Cr-terheléssel 3,5 t/ha mennyiségre csökkent. Az 5 évvel ezelőtt adott 270, ill. 810 kg/ha Se-terhelés a cékla és a gyomok teljes pusztulását eredményezte. Az As-terhelés negatív hatása a betakarításkori gyökértermésben már nem jelentkezett.

3. Maximális elemdúsulásokat általában a betakarításkori levél mutatott, de a gyökérben is közelálló tartalmak alakultak ki. A kontrollhoz képest 2–3 nagyságrendbeli dúsulást jeleztek a növényi szervek az As, Cd, Hg, Mo és Se esetén. Mérsékelt, néhányszoros koncentrációnövekedés fordult elő a Ba, Cu, Sr és Zn elemekben. Átlagosan egy nagyságrenddel nőtt viszont a Cr-, Ni- és Pb-tartalom az erősen szennyezett talajon.

4. A 10 t gyökér + a hozzá tartozó lombtermés fajlagos elemigénye kg-ban az alábbiak adódott: 44 kg N, 6 kg P (14 kg P_2O_5), 56 kg K (67 kg K_2O), 25 kg Ca, 18 kg Mg. A kiugróan nagy fajlagos N-tartalom az aszályos évnek tulajdonítható. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a szaktanácsadás számára.

5. Szennyezett talajon a maximális elemfelvétel (gyökér + lomb betakarítás-kor) 1600 g Sr, 1200 g Mo, 800 g Se, 360 g Zn, 240 g Ba, 80 g Cd, 70 g Cu, 50 g Cr és Ni, 40 g As és Hg, valamint 24 g Pb mennyiséget tett ki hektáronként. Erősen szennyezett talajokon a fitoremediáció nem lehet igazi perspektíva. Ha pl. az intenzív elemakkumulációra képes cékla termését egy nagyságrenddel növelhetnénk a jövőben (évenként 800 g/ha Cd-felvételt elérve), egy évezredre volna szükség a talaj remediációjára.

Irodalom

- BERGMANN, W., 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- CSATHÓ P., 1994. A környezet nehézfém-szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA TAKI. Budapest.
- FILEP GY., 1988. Talajkémia. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- FILIUS I., 1994. A zöldségnövények tápanyagai. In: Zöldségtermesztők kézikönyve. 2. jav. kiadás. (Szerk.: BALÁZS S.) 73–91. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- EüM 1985. Az egészségügyi miniszter 8/1985. (X.21.) EüM sz. rendelete az élelmiszerek vegyi szennyeződésének elhárításáról. Egészségügyi Közlöny. **20.** 642–644.
- KÁDÁR I., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon. I. Termés és ásványi összetétel. Agrokémia és Talajtan. **50.** 62–82.
- KÁDÁR I. & PROKISCH J., 2000. Mikroelem-terhelés hatása a burgonya termésére és elemtartalmára karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **49.** 447–464.
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K-NÉ, 2000. Mikroelem-terhelés hatása a kukoricára karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **49.** 181–204.
- KÁDÁR I., RADICS L. & DAOOD, H., 2000a. Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépa termésére 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., 1994. A gyomnövények és a kultúrnövények versengése a tápanyagokért. In: Trágyázási kutatások. (Szerk.: DEBRECZENI B. & DEBRECZENI B-NÉ) 355–360. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- LEHOCZKY É., DEBRECZENI B-NÉ & KARAMÁN J., 1988. Az őszi búza és néhány gyomnövény tápanyagtartalmának és felvételének vizsgálata üzemi táblákon. Növénytermelés. **37.** 115–123.

- LEHOCZKY, É., SZABADOS, I. & MARTH, P., 1996. Cadmium content of plants as affected by soil cadmium concentration. In: Soil and Plant Analysis in Sustainable Agriculture and Environment. (Ed.: HOOD, T. M. & JONES, J. B.). 827–839. Marcel Dekker, Inc. New York.
- LEHOCZKY, É. et al., 1998. Cadmium uptake by lettuce in different soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **29**. 1903–1912.
- LEHOCZKY, É. et al., 1998a. Effect of liming on the heavy metal uptake of lettuce. Agrokémia és Talajtan. **47**. 229–234.
- LOCH, J., 1992. Ermittlung optimaler Düngergaben und Nährstoffverhältnisse als Voraussetzung für eine umweltschonende Düngung. 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. Mobility of some heavy metals in soil–plant system studied on soil monoliths. Water Sci. Tech. **28**. 389–398.
- SIMON L., 1998. Talajszennyeződés, talajtisztítás. GATE Mezőgazdasági Főiskolai Kara. Nyíregyháza.
- SZABÓ L., 1994. Cékla. In.: Zöldségtermesztők kézikönyve. 2. jav. kiadás. (Szerk.: BALÁZS S.) 578–284. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- VERMES L., 1994. A talajszennyezés néhány kérdése. Talajvédelem. **2**. 86–93.

Érkezett: 2001. április 17.

Effect of Microelement Loads on Beetroot Grown on Calcareous Chernozem Soil

¹I. KÁDÁR, ¹J. KONCZ and ²L. RADICS

¹Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and ²Faculty of Horticultural Science, Szent István University, Budapest

Summary

A small-plot field experiment was set up in spring 1991 at the Nagyhörcsök Experimental Station of the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences on a calcareous chernozem soil with loam texture, formed on loess, in order to study the effect of microelement contamination. The ploughed layer of the experimental site contained around 5% CaCO₃ and 3% humus, and was well-supplied with 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, being prone to drought. The salts of the 13 microelements examined were applied at four levels prior to the sowing of maize in spring 1991. The 13×4=52 treatments were set up in 2 replications on a total of 104 plots arranged in a split-plot design. The loads were 0, 90, 270 and 810 kg/ha for each element, applied in the form of AlCl₃, NaAsO₂, BaCl₂, CdSO₄, K₂CrO₄, CuSO₄, HgCl₂, (NH₄)₆Mo₇O₂₄, NiSO₄, Pb(NO₃)₂, Na₂SeO₃, SrSO₄ and ZnSO₄. The whole experiment was uniformly supplied with basic N–P₂O₅–K₂O (100–100–100 kg/ha) fertilizer in the form of ammonium nitrate, superphosphate and potassium chloride. The crop sequence was maize, carrots, potatoes and peas. The results of the beetroot experiment carried out in the 5th year can be summarized as follows:

1. The contamination could only be partially detected by soil analyses, to a different extent for each element. After digestion with cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ over 90% of the Pb, Sr, Ba, Ni and Zn, 60–90% of the Cu, Se, As and Hg, and 30–60% of the Cr, Cd and Mo could be detected in the ploughed layer. The NH₄-acetate + EDTA-soluble fraction was found to contain over 90% of the Pb, 60–90% of the Sr, 30–60% of the Cu, Zn, Cd, Ni and Se, 10–30% of the As, Ba, Mo and Hg, and less than 10% of the Cr. The accumulation of Al could not be detected with either method. Further studies will be required to determine the sources of the losses (adsorption, leaching, evaporation, uptake).

2. Of the 13 elements examined, As, Cd, Cr and Se proved to be toxic to beetroot. In this dry year the crop produced a beet yield of 15–20 t/ha on untreated soil, which was reduced to 1.5 t/ha at the maximum Cd level and to 3.5 t/ha at the highest Cr rate. The application of 270 or 810 kg/ha Se five years before led to the complete destruction of both the beetroot and the weeds. The negative effect of As loads did not affect the beet yield at harvest.

3. The maximum concentrations of the elements were generally found in the leaves at harvest, but similar contents were also observed in the roots. The contents of As, Cd, Hg, Mo and Se in the plant organs were 2–3 orders of magnitude greater than in the control, while the increase in the concentration of Ba, Cu, Sr and Zn was more moder-

ate, the values being several times that of the control. On average the Cr, Ni and Pb contents increased by an order of magnitude on heavily contaminated soil.

4. The specific element requirements of 10 t beets + the relevant foliage were as follows: 44 kg N, 6 kg P (14 kg P_2O_5), 56 kg K (67 kg K_2O), 25 kg Ca and 18 kg Mg. The extremely high specific N content can be attributed to the dry year. These data could be used as guidelines by the extension service.

5. On contaminated soil the maximum element uptake (roots+foliage at harvest) amounted to 1600 g Sr, 1200 g Mo, 800 g Se, 360 g Zn, 240 g Ba, 80 g Cd, 70 g Cu, 50 g Cr and Ni, 40 g As and Hg, and 24 g Pb per hectare. On heavily loaded soils phytoremediation is not a real answer to the problem. Even if the yield of beetroot, which is capable of intensive element accumulation, could be increased by an order of magnitude (to achieve a Cd uptake of 800 g/ha/year) a thousand years would be required to clean the soil.

Table 1. Agronomic measures and observations (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1995). (1) Agronomic measures. (2) Date (year, month, day). (3) Note. 1. Autumn NPK fertilization – applied by hand per plot. 2. One-way ploughing – MTZ 80 + Lajta plough. 3. Harrowing – MTZ 50 + Lajta harrow. 4. Spring application of N fertilizer – applied by hand per plot. 5. Combined soil cultivation – MTZ 80. 6. Sowing, rolling – individual seeds, with a drill. 7. Staking out of the experiment – manual placement of stakes in each plot. 8. Scoring for weed cover – on a 1–5 scale for each plot. 9. Scoring for plant development – on a 1–5 scale for each plot. 10. Hoeing to control weeds – in the whole experiment. 11. Hoeing to control weeds – in the whole experiment. 12. Plant sampling – 20 shoots/plot. 13. Plant density adjustment – manually for each plot. 14. Plant sampling – 20 leafy beets/plot. 15. Scoring for plant development – on a 1–5 scale for each plot. 16. Harvesting – on 24 running metres per plot.

Table 2. Monthly, quarterly, annual and vegetation period precipitation sums, mm (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1995–2000). (1) Months a)–l) January–December; m)–p) 1st–4th quarters; r) annual sum; s) monthly, Apr.–Sept.; t) monthly, Oct.–Jun. (2) Mean. Note: the many years' mean was the 50-year mean measured at the closest meteorological station in Sárbogárd.

Table 3. Effect of treatments on the composition of the ploughed layer, mg/kg (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Element. (2) Loads in spring 1991, kg/ha. (3) $LSD_{5\%}$. (4) Mean. A. Digestion with cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 . B. Digestion with NH_4 -acetate + EDTA in 1994.

Table 4. Effect of toxic elements causing yield reductions in beetroot (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1995). (1)–(4): see Table 3. A. Scoring for plant development, May 29th. B. Scoring for plant development, Sep. 11th. C. Fresh foliage mass, g/20 plants, Jun. 21st. D. Fresh foliage mass, t/ha, Sep. 11th. E. Fresh root mass, t/ha, Sep. 11th. Note: air-dry matter in the foliage on Jun. 21st: 9 %, at harvest: 18 % (14 % in the roots on average). Scoring: 1: very weak, dying stand, 5: well-developed stand.

Table 5. Effect of toxic elements causing yield reductions on the development of beetroot and weeds, May 31st 1995 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1)–(4): see Table 3. A. % beetroot cover. B. % weed cover. C. Total % cover. D. % cover with

Amaranthus blitoides. Note: In addition to 3–4% cover with *Chenopodium* species, a further 13 weed species were identified.

Table 6. Effect of treatments on the element content of air-dry beetroot (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1995). (1) Plant organ. a) leaf¹, b) leaf², c) root². (2)–(4): see Table 3. A–L. As the result of As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Sr and Zn loads, respectively, mg/kg. ¹: in the middle of the vegetation period, on Jun. 21st 1995; ²: at harvest, on Sep. 7th 1995. Note: The As and Hg contents were below 0.1 mg/kg on untreated soil.

Table 7. Effect of treatments on the NO₃-N content of air-dry beetroot (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1995). (1)–(4): see Table 3. A. In the leaf on Jun. 21st, mg/g. B. In the root on Sep. 7th, mg/g.

Table 8. Mean element contents of air-dry beetroot on untreated soil (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1995). (1) Element. (2) Units. (3) Leaf on Jun. 21st and Sep. 7th. (4) Root on Sep. 11th. Note: As, Hg and Mo below 0.1 mg/kg. The air-dry matter content averaged 9% on Jun. 21st and 18% on Sep. 7th in the leaves and 14% on Sep. 11th in the roots.

Table 9. Mean and specific (10 t fresh beet at harvest + the relevant foliage) element uptake of beetroot on untreated soil (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1995). (1)–(2): see Table 8. (3) Element uptake at harvest. (4) Foliage. (5) Roots. (6) Total. (7) Specific element uptake, kg/10 t. Note: the As, Hg and Mo uptake was below the measurement limit. Maximum uptake on contaminated soil: Sr 1600, Mo 1200, Se 800, Zn 360, Ba 240, Cd 80, Cu 70, Cr and Ni 50, As and Hg 40, Pb 24 g/ha.