

Mikroelem-terhelés hatása a burgonya termésére és elemtartalmára karbonátos csernozjom talajon

KÁDÁR IMRE és PROKISCH JÓZSEF

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest és
Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum, Debrecen

Korábban részletesen áttekintettük a talajszennyezés, ill. az egész tápláléklánc szennyeződésének problémáit és megfogalmazzuk a hazai nehézfém-kutatók jelenkori feladatait (KÁDÁR, 1995, 1999). Ismertettük a karbonátos csernozjom talajon beállított mikroelem-terhelési kísérlet módszerét, célját, valamint az első évben kukoricával és a második évben sárgarépával végzett vizsgálatok eredményeit (KÁDÁR et al., 1999, 2000). A gyökérgumós növények közvetlen emberi fogyasztásra szolgálnak, ezért kiemelt figyelmet érdemelnek. Az említett megfontolások alapján a kísérlet 3. évében burgonyát termesztettünk.

Anyag és módszer

Az alkalmazott kezelések olyan talajszennyezettségi szituációkat reprezentálnak, amelyek ipari létesítmények, autópályák és települések szennyezett környezetében, városi kísérletekben ma is előfordulnak, vagy a jövőben előfordulhatnak. A 13 vizsgált mikroelem sóját 4–4 szinten egyszer alkalmaztuk 1991 tavaszán, a kukorica vetése előtt. A $13 \times 4 = 54$ 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 és ZnSO_4 formájában. Az alaptrágyázást évente végeztük 100–100–100 kg/ha N-, P_2O_5 - és K_2O -hatóanyag alkalmazásával ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisóműtrágyákkal.

A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat nyújt áttekintést. A vetés ápr. 6-án, a betakarítás szept. 16-án történt Desirée fajtával. A tenyészterület 50×25 cm sor \times tötvávolságot jelentett a $3,5 \times 6 = 21$ m²-es parcellákon. Csak a belső 4–4 sort értékeltük ill. mintáztuk az oldalirányú áthordások elkerülése érdekében. (Hosszirányban 1–1 m-es utak védik, ill. szigetelik el a parcellákat egymástól.) A parcellák nettó értékelt területe 4 sor \times 6 fm

1. táblázat
A kísérletben végzett műveletek és megfigyelések
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1992/1993)

(1) Műveletek megnevezése	(2) Időpontja (év, hó, nap)	(3) Megjegyzés
1. Őszi műtrágyázás	1992. 11. 09.	a) NPK kézzel szórva
2. Őszi egyirányú szántás	1992. 11. 09.	b) MTZ Lajta ekével
3. Fogasolás	1993. 03. 15.	c) MTZ-50+fogas
4. Kísérlet kitűzése	1993. 04. 01.	d) Karózás parcellánként
5. Tavaszi műtrágyázás	1993. 04. 02.	e) N kézzel szórva
6. Kombinátorozás	1993. 04. 05.	f) MTZ-50 traktorral
7. Sorok kijelölése és vetés	1993. 04. 06.	g) Kézzel 8 sor/parcella
8. Kerítés visszahelyezése	1993. 04. 25.	h) Drótháló kifeszítése
9. Sorok töltögetése	1993. 05. 15.	i) Kézi kapálás
10. Állomány-bonítálás	1993. 05. 20.	j) Parcellánként
11. Kísérleti bemutató	1993. 05. 27.	k) Országos, nyilvános
12. Állománybonítálás	1993. 06. 14.	j) Parcellánként
13. Levélmintavétel (virágzás elején)	1993. 06. 14.	j) Parcellánként
14. Bonítálás (virágzás, burgonyabogár)	1993. 06. 15.	j) Parcellánként
15. Gyomirtás	1993. 06. 16.	i) Kézi kapálás
16. Levélmintavétel (virágzás végén)	1993. 07. 12.	j) Parcellánként
17. Tőszámlálás	1993. 09. 16.	l) Parcellánként 4–4 sor
18. Betakarítás	1993. 09. 06.	l) Parcellánként 4–4 sor
19. Talajmintavétel (0–60 cm)	1993. 10. 10.	m) 28 parcellán
20. Tárcsázás	1993. 10. 11.	f) MTZ-50 traktorral

Megjegyzés: A burgonyabogár ellen kb. 10 naponta védekezünk május végétől kezdve háti permetezéssel, Dimecron vegyszerrel

= 24 fm = 12 m² volt. Lombanalízisre virágzás kezdetén (jún. 14-én) és virágzás végén (júl. 12-én) került sor diagnosztikai céllal. A betakarítás idejére a lomb elszáradt és a talajjal keveredett, így a mintavételtől eltekintettünk.

Lombanalízis céljából 20–20 db felső, éppen kifejlett levélzetet vettünk nettó parcellánként (104–104 átlagminta). A gumótermés analízisére szintén 20–20 db átlagos gurró/nettó parcella anyaga szolgált alapul (104 átlagminta). A betakarítást követően talajmintákat vettünk a kontroll- és a maximális terhelésű parcellák 0–20, 20–40 és 40–60 cm-es rétegéből botfúróval, kézzel, 20–20 db lefűrés/nettó parcella anyagát átlagolva. A 13 kezelt + 1 kontroll = 14 x 2 ismétlés = 28 parcella x 3 mélység = 84 db átlagminta elemzésével kíséreltük meg az egyes szennyezők esetleges vertikális elmozdulását, kilúgozását megbecsülni. A felvehetőnek vagy mobilisnak minősülő NH₄-acetát+EDTA frakciókat LAKANEN és ERVIÖ (1971) módszerével vizsgáltuk.

A megmaradt gumótermést átadtuk az Állatorvostudományi Egyetem Takarmányozástani Tanszékének etetési kísérletekre, melyet nyulakkal végeztek el.

Kísérleti eredmények

A virágzáskori burgonyalomb vizsgálata

A máj. 20-án, ill. jún. 14-én végzett bonitálások szerint kifejezett toxicitást a Se- és a Cr-kezelés mutatott, míg az As- és a Hg-terhelés mérsékeltabb depressziót jelzett. Virágzás végén (júl. 12-én) a 20–20 db levél 12–14 g/parcella szárazanyag-tömeget adott a kezeletlen talajon. A lomb szárazanyag-tartalma 16–18 %-ról 21–22 %-ra nőtt az erősen mérgezett Se- és Cr-kezelésekben.

2. táblázat

Toxicitást jelző kezelések hatása a burgonya fejlődésére és termésére
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök, 1993)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Bonitálás máj. 20-án állományfejllettségre*</i>						
As	4,0	4,0	4,5	3,5	1,1	4,0
Cr	4,0	4,0	3,5	2,5		3,5
Hg	4,0	3,0	3,0	2,5		3,1
Se	4,5	2,5	1,0	1,0		2,2
<i>B. Bonitálás jún. 14-én állományfejllettségre*</i>						
As	4,0	4,0	4,5	3,5	1,4	4,0
Cr	4,5	4,0	3,0	2,0		3,4
Hg	4,5	4,5	4,0	3,0		4,0
Se	5,0	4,0	1,5	1,0		2,9
<i>C. Légszáraz súly, g/20 db levél júl. 12-én</i>						
As	12	15	9	13	4	12
Cr	14	13	9	8		11
Hg	13	12	11	9		12
Se	13	12	8	8		10
<i>D. Levélzet szárazanyag %-a júl. 12-én</i>						
As	13	14	15	17	4	16
Cr	18	15	15	22		17
Hg	16	16	15	13		15
Se	18	16	17	21		8
<i>E. Friss gumótermés, t/ha, szept. 7-én</i>						
As	12,1	14,4	11,1	10,2	3,5	12,0
Cr	12,0	11,3	7,9	4,9		9,0
Hg	11,2	9,3	8,0	7,9		9,1
Se	12,5	10,5	3,8	1,5		7,1

* 1 = igen gyenge, 2 = gyenge, 3 = közepes, 4 = jó, 5 = igen jó fejlettségű állomány
Megjegyzés: A gumó átlagosan 18 % szárazanyagot tartalmazott és a szennyeztelen talajon 2–2,5 t/ha szárazanyaghozamot adott

A lomb itt elsárgult és kiritkult, ill. alacsony maradt. A növények vontatottan fejlődtek, később virágoztak, kisebb lombtömeget képeztek (2. táblázat).

A betakarításkori gumótermés átlagosan 18 % szárazanyagot tartalmazott, a szennyezetlen talajon 12–14 t/ha friss, ill. 2–2,5 t/ha légszárazanyag-hozamot adott. A száraz 1993. év nem kedvezett a burgonya termesztésének. A csapadékszegény 1992. évet követően 1993 tele és tavasza is vízhiánnyal zárult. Az I. negyedévben mindössze 29, míg a II. negyedévben 46 mm csapadék hullott 1993-ban. A tenyészidő egész ideje alatt (április–augusztus hónapokban)

3. táblázat
Kezelések hatása a légszáraz lombtermés összetételére, mg/kg
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1993)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Virágzás kezdetén, jún. 14-én</i>						
Al	89,0	92,0	78,8	96,8	20,0	89,0
As	0,0	0,0	0,1	3,0	0,5	0,8
Ba	11,0	15,0	13,7	45,8	4,9	21,4
Cd	0,0	19,2	22,9	27,7	3,0	17,4
Cr	0,0	0,5	3,5	12,2	0,8	4,0
Cu	8,0	15,0	19,0	23,0	2,9	16,2
Hg	0,0	0,4	6,5	18,7	4,0	6,4
Mo	0,0	71,0	236,5	357,5	13,4	166,2
Ni	0,7	7,8	15,2	18,8	4,9	10,6
Pb	0,0	0,1	1,0	0,7	0,6	0,4
Se	1,0	132,3	201,0	243,5	19,6	144,4
Sr	65,0	89,8	184,0	669,0	98,0	252,0
Zn	14,0	22,4	28,0	31,0	9,6	23,8
<i>B. Virágzás végén, júl. 12-én</i>						
Al	66,9	67,6	66,4	66,7	11,0	66,9
As	0,0	0,0	0,4	0,5	0,3	0,2
Ba	12,2	15,2	20,0	26,1	3,8	18,4
Cd	0,0	12,6	17,2	25,0	2,0	13,7
Cr	0,0	2,1	8,8	14,8	1,1	6,4
Cu	6,1	12,9	17,5	19,1	3,0	6,4
Hg	0,0	0,5	4,6	9,9	1,0	3,8
Mo	0,0	66,7	131,0	284,5	16,5	120,6
Ni	0,5	6,0	12,0	16,2	1,5	8,6
Pb	0,0	0,2	1,1	4,5	0,5	1,5
Se	1,0	154,5	208,0	253,5	23,2	158,1
Sr	77,2	127,0	134,0	419,0	26,8	189,3
Zn	9,1	15,8	18,6	27,6	4,4	17,8

Megjegyzés: Kontrolltalajon az As-, Cd-, Cr-, Hg-, Mo- és Pb-koncentráció 0,1 mg/kg alatt maradt

a csapadékösszeg 138 mm-t tett ki. A részletes csapadékatokat előző közleményünk taglalja az 1991–1994. közötti évekre (KÁDÁR et al., 2000).

Megemlítjük, hogy a Cr- és Se-kezelésekben a gumó szárazanyag-tartalma 20–22 %-ra emelkedett. Összességében a maximális As-terhelés 29 %-os csökkenést okozott a 90 kg/ha kezeléshez viszonyítva, míg a kontrollon mért gumótermés 29 %-kal süllyedt a Hg-, 59 %-kal a Cr- és 88 %-kal a növekvő Se- mérgezés nyomán. A vizsgált 13 elem sójából tehát 4 mutatott fitotoxikus hatást ezen a talajon. Megfigyeléseink szerint az extrém Cr- és Se-adagolás 3. évi utóhatása nemcsak a burgonya termésének nagy részét semmisítette meg, hanem az előforduló kétszikű gyomokat is.

A 3. táblázat adatai szerint a lomb átlagos mikroelem-tartalma virágzás elején nagyobbak mutatkoztak, mint a virágzás végén. Ez alól kivételt képez a króm, ólom és szelén, melyek akkumulációja folytatódott a levélben. A króm és szelén erős toxicitásához ez a jelenség is hozzájárulhatott. Általános azonban a hígulási effektus a tenyészidő folyamán, a növekvő terméssel. Mivel a Cr- és Se-mérgezés akadályozta a szárazanyag gyarapodását, a hígulási effektus nem érvényesülhetett. Az As-, Cd-, Cr-, Hg-, Mo- és Pb-koncentráció szennyeztelen talajon mindkét időpontban 0,1 mg/kg alatt maradt. Ami a dúsulásokat illeti, a kezelések nyomán megállapítható, hogy az Al-tartalom igazolhatóan nem változik. Néhányszorosára nő a Ba-, Cu- és Zn-koncentráció. A nagyságrendi akkumuláció ellenére 10 ppm alatt marad az As- és Pb-tartalom. A Sr 5–10, a Se 200, a Mo és az egyébként 0,1 ppm alatti Cd, Cr, Hg valójában sokezereszeres emelkedést jeleznek.

A Se-mérgezés jelentős változásokat okozott az egyéb elemek levélbeni koncentrációjában virágzás elején és végén. Eredményeinket a 4. táblázatban foglaltuk össze. Virágzás kezdetén pl. statisztikailag is igazolhatóan süllyedt a $\text{NO}_3\text{-N}$ -, K-, Ca- és Mg-tartalom, míg a S % emelkedett. Virágzás végén mérséklődött a N, $\text{NO}_3\text{-N}$, K, Ca és P %-a. Változásokat jeleznek a mikroelemek is. Mindkét vizsgált időpontban nőtt a Fe- és Al-készlet a lombban. A Sr-, Mn-, B- és Ba-mennyiség viszont csökkent a Se-terheléssel, különösen a korai mintavétel idején. A három elem kivételével (S, Fe, Al) koncentrációcsökkenés lépett fel tehát a Se-mérgezés nyomán.

A mérgezést termésnövekedés (tehát nem hígulási, hanem elvileg töményedési effektus) kísérte. A felvétel gátlása ezért szembetűnő. A jelenség magyarázatra szorul és további vizsgálatokat igényel, hiszen egyaránt érinti a kationokat és az anionokat. A szelén mobilis maradhat e talajon szelenátanion formájában, míg a nitrát-, foszfát-, borát- stb. anionok felvételének gátlásában az anion-antagonizmus szerepet játszhat. A S % viszont mérsékelten emelkedett a levélben, tehát a szulfátanionnal szemben az antagonizmus nem érvényesült. Másik oldalról a kationfémekkel szembeni szinergizmus csak a Fe- és Al-felvétel serkentésében nyilvánult meg, míg a többi kation (K, Ca, Mg, Sr, Ba, Mn) koncentrációja csökkent, felvételük visszaszorult. Főképpen az alkáliföldfémeké.

A két mintavételi időpontban vett levelek átlagos összetételét szembeállítva a 4. táblázatban az is látható, hogy a lomb N-, $\text{NO}_3\text{-N}$ - és K-készlete lecsökken

4. táblázat

Egyéb elemek változása a légszárz burgonyalevélben Se-toxicitás hatására
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1993)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Virágzás kezdetén, jún. 14-én</i>						
N, %	4,48	5,40	5,19	5,31	0,96	5,09
NO ₃ -N, %	0,56	0,50	0,41	0,31	0,13	0,45
K, %	3,26	3,14	2,65	2,34	0,44	2,85
Ca, %	2,48	1,59	1,26	0,81	0,63	1,54
Mg, %	0,56	0,45	0,40	0,28	0,13	0,42
P, %	0,50	0,50	0,42	0,39	0,12	0,45
S, %	0,30	0,35	0,36	0,36	0,05	0,34
Fe, mg/kg	136	170	190	236	65	183
Al, mg/kg	85	108	112	173	69	120
Sr, mg/kg	96	47	42	24	27	52
Mn, mg/kg	69	55	50	34	14	52
B, mg/kg	29	25	21	18	4	23
Ba, mg/kg	11	8	11	4	5	9
<i>B. Virágzás végén, júl. 12-én</i>						
N, %	4,61	4,55	3,95	3,44	0,59	4,14
NO ₃ -N, %	0,39	0,34	0,30	0,29	0,10	0,33
K, %	1,86	1,68	1,63	1,55	0,30	1,68
Ca, %	2,95	2,91	2,52	2,52	0,48	2,73
Mg, %	0,70	0,78	0,74	0,77	0,13	0,75
P, %	0,43	0,32	0,28	0,24	0,06	0,32
S, %	0,31	0,33	0,36	0,32	0,04	0,33
Fe, mg/kg	139	152	212	277	30	195
Al, mg/kg	74	92	124	169	32	114
Sr, mg/kg	82	72	63	57	26	68
Mn, mg/kg	76	74	68	70	10	72
B, mg/kg	28	28	23	22	3	25
Ba, mg/kg	10	10	10	11	4	10

Optimális ellátottság virágzás kezdetén BERGMANN és NEUBERT (1976) szerint: N = 5–6 %, K = 3–4 %, Ca = 0,7–3,0 %, Mg = 0,2–0,8 %, P = 0,3–0,4 %. Fe = 65–300, Mn = 80–250, Zn = 30–90, B = 21–50, Cu = 5–30 mg/kg szárazanyag

a virágzás végére, míg a Ca- és Mg-készlet megemelkedik. A kalcium és magnézium az öregedés elemei, melyek felhalmozódnak a korral. A Se-mérgezés megváltoztathatja az esszenciális tápelemek egymáshoz viszonyított arányát is, amennyiben gátolja a növény normális fejlődését. Például, a virágzás elején szennyeztelen talajon 1,3 a K/Ca aránya. A kálium túlsúlya azonban 2,9-re emelkedik az erősen mérgezett növényben. Később az előregedő levél ilyen

mérvű arányeltolódást már nem mutat. A mikroelemek koncentrációja lényegesen nem tért el a két mintavétel idején szennyezetlen kontrolltalajon, azaz az előregedés itt sem akkumulációt, sem hígulást nem eredményezett. Ez részben azzal is magyarázható, hogy a virágzás elején és végén a lomb tömege és szárazanyag %-a közel álló volt.

A 4. táblázat lábjegyzetében közöljük a burgonyalomb virágzás kezdeti kielégítő ellátottságának koncentrációit BERGMANN és NEUBERT (1976) összeállítására nyomán, melyeket hazai szabadföldi kísérletben mi is ellenőriztünk. A kontrolltalajon a növények kielégítő ellátottságot mutattak a cink kivételével. A termőhely Zn-ellátottsága alacsony, a virágzaskori lomb 14 mg/kg Zn-tartalmat jelzett. A Se-mérgezéssel alacsony ellátottságúvá vált a kálium, mangán és némileg a bór. A szelénnel szennyezett talaj termékenységét elveszítheti, a rajta termő növény ásványi táplálásának egyensúlya megbomlik.

5. táblázat

Egyéb elemek változása a légszárz burgonyalevélben Cr-toxicitás hatására (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörscök, 1993)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Virágzás kezdetén, jún. 14-én</i>						
N, %	5,56	5,13	5,22	4,39	0,96	5,07
NO ₃ -N, %	0,61	0,62	0,52	0,53	0,13	0,57
K, %	3,40	3,56	3,72	3,72	0,44	3,60
Ca, %	1,67	1,91	1,65	2,19	0,63	1,86
Mg, %	0,46	0,48	0,41	0,42	0,13	0,44
Fe, mg/kg	139	152	154	300	65	186
Al, mg/kg	23	28	126	225	69	101
Sr, mg/kg	54	71	71	128	99	81
Ba, mg/kg	8	12	13	19	5	13
Cu, mg/kg	9	8	7	5	2	8
<i>B. Virágzás végén, júl. 12-én</i>						
N, %	4,33	4,62	4,54	5,02	0,59	4,62
NO ₃ -N, %	0,36	0,37	0,48	0,61	0,10	0,46
K, %	2,22	2,24	2,89	2,67	0,30	2,51
Ca, %	3,18	3,37	2,85	1,89	0,49	2,82
Mg, %	0,70	0,66	0,48	0,36	0,13	0,55
Fe, mg/kg	142	143	168	189	30	161
Al, mg/kg	57	64	76	98	32	74
Sr, mg/kg	89	101	102	107	27	100
Ba, mg/kg	12	13	15	12	4	13
Cu, mg/kg	7	6	5	5	3	6

6. táblázat

Kezelések hatása a légszáraz gumótermés összetételére és a gumóterméssel kivont elemek mennyiségére (Desirée fajta)
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1993. szept. 7.)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Gumótermésben, mg/kg</i>						
Al	14,2	21,9	15,6	29,5	9,2	20,3
As	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ba	2,0	2,3	2,0	4,7	0,7	2,8
Cd	0,0	0,9	1,3	3,7	0,3	1,7
Cr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cu	5,0	6,6	7,3	7,7	1,3	6,6
Hg	0,0	0,0	3,0	5,8	1,3	2,2
Mo	0,0	11,4	24,2	61,0	11,9	29,2
Ni	0,3	0,9	1,9	2,8	1,3	1,5
Pb	0,6	3,5	4,5	8,1	2,2	4,2
Se	3,4	46,9	84,0	75,4	9,6	52,4
Sr	3,4	4,0	6,3	10,0	2,0	5,9
Zn	14,7	20,5	19,4	25,6	4,8	20,0
<i>B. Gumótermésben, g/ha</i>						
Al	30,9	36,4	31,8	61,9	18,0	40,2
As	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ba	4,5	5,2	5,0	12,4	6,7	6,8
Cd	0,0	1,4	2,2	6,0	0,6	2,4
Cr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cu	10,1	13,8	16,6	16,7	4,6	15,7
Hg	0,0	0,0	4,2	9,0	2,0	3,3
Mo	0,0	17,4	48,4	120,4	20,0	46,6
Ni	0,6	1,8	5,2	7,7	2,6	3,8
Pb	1,2	8,8	13,4	22,7	5,8	11,5
Se	9,2	100,4	66,8	22,8	28,4	49,8
Sr	7,5	9,5	13,2	20,0	4,8	12,6
Zn	30,7	50,5	48,3	58,9	15,1	47,1

Megjegyzés: Az As, Cd, Cr, Hg, Mo 0,1 mg/kg alatt, ill. a gumóterméssel kivont mennyiség 1 g/ha alatt van a szennyezetlen talajon

A másik erősen fitotoxikus elem a króm, amely a Se-mérgezéssel részben ellentétesen a legtöbb elem koncentrációját növelte a levélben. Ez alól a réz, valamint virágzás végén a kalcium és magnézium volt kivétel. Ami a mikroelemeket illeti, különösen a korai mintákban nőtt jelentősen a tartalom. Nagyságrenddel emelkedett az Al-, valamint megkétszereződött a Fe-, Sr- és Ba-mennyiség. Az előregedő levelekben ezek a változások már kevésbé jelentkez-

tek. A kromát/nitrát antagonizmus sem mutatható ki. A $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyisége látványosan nőtt a csökkenő termésben, töményedési effektust mutatva. A K-túlsúly növekedése, a K/Ca és K/Mg arányok tágulása jelzi, hogy a Cr-mal szennyezett talajon a növények fejlődésben visszamaradtak, az előregedés elemei kevésbé halmozódtak fel (5. táblázat).

A gumótermés mikroelemekben szegényebb és genetikailag védettebb a káros elemakkumulációval szemben. A kezelések hatására nem változott igazolhatóan az As-, Ba- és Cr-koncentráció. Általában 5–10 mg/kg alatt maradt még az extrém terhelésű parcellákon is a Ba-, Cd-, Cu-, Hg-, Ni- és Pb-tartalom. Igaz, hogy a 0,1 mg/kg alatti koncentrációhoz képest ez legalább két nagyságrendi dúsulást jelenthet a kadmium és higany esetében. Az As- és Cr-tartalom még a 810 kg/ha terhelésnél is 0,1 mg/kg alatt maradt, akkumulációt egyáltalán nem tudtunk igazolni. Kevésbé nőtt a Cu- és Zn-mennyiség is a levélben, míg a stroncium megháromszorozódott, a szelén pedig húszszorozódott (6. táblázat).

A gumótermésbe épült mikroelemek mennyisége összességében elenyésző. Az erősen szennyezett és maximális felvételt jelző kezelésekben 120 g Mo,

7. táblázat

A légszáras burgonya átlagos összetétele szennyeztelen talajon
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1993)

(1) Elem jele	(2) Mérték- egység	(3) Lomb		(4) Gumótermés szept. 7-én
		jún. 14-én	júl. 12-én	
N	%	5,18	4,37	1,95
$\text{NO}_3\text{-N}$	%	0,53	0,38	0,10
K	%	3,51	2,23	2,12
Ca	%	1,88	2,95	0,05
Mg	%	0,46	0,63	0,08
P	%	0,49	0,34	0,32
S	%	0,32	0,31	0,11
Fe	mg/kg	158	152	39
Al	mg/kg	92	84	14
Sr	mg/kg	65	77	3
Mn	mg/kg	60	75	3
Na	mg/kg	59	65	51
B	mg/kg	26	26	5
Zn	mg/kg	14	10	14
Ba	mg/kg	11	12	4
Cu	mg/kg	9,0	6,7	5,0
Se	mg/kg	1,0	1,0	3,5
Ni	mg/kg	0,7	0,5	0,4
Pb	mg/kg	0,0	0,0	0,6

Megjegyzés: Az As-, Hg-, Mo-, Cr-, Cd- és Co-tartalom 0,1 mg/kg alatt maradt

100 g Se, 60 g körüli Al és Zn, 20 g körüli Pb és Sr, 12–17 g Ba és Cu, 8–9 g Ni és Hg található. Az As, Cd, Cr, Hg, Mo elemek kivont mennyisége a szennyezetlen talajon 1 g/ha értékhatár alatt maradt. Mindez abból ered, hogy – a sárgarépa gyökeréhez hasonlóan – a burgonya gumója is kizárja a káros elemek zömét, ill. az akkumuláció fő szerve a lomb.

A szennyezetlen talajon fejlődött burgonya lomb- és gumótermésének összetételét a 7. táblázatban foglaltuk össze. Az adatokból megállapítható, hogy a N- és a $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalom csökken a korral, a nitrogén beépül a gumó fehérje anyagaiba. A kis termés, az aszályos éghajlat miatt azonban jelentős maradt a gumó $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma, mely a 0,1 %-ot is elérte. A fehérjék dúsulását jelzi a nagy P %. A mikroelemek közül említésre méltó a 3,5 mg/kg Se-koncentráció, mely a burgonyát a Se-kedvelő növények közé sorolja. Az általunk eddig vizsgált kultúrák és gyomok 0,1 mg/kg alatti vagy körüli Se-tartalmakat mutattak.

A 10 t/ha nyers gumóterméssel mintegy 35 kg N, 40 kg K_2O , 15 kg P_2O_5 , 2 kg S, 1,5 kg Mg, 1 kg Ca távozott a tábláról. A fajlagos tápelemtartalomra vonatkozó eredményeink iránymutatóul szolgálhatnak a műtrágyázási szaktanácsadásban. Megemlítjük még, hogy a fajlagos mikroelem-tartalmak az alábbiak voltak (10 t/ha friss gumótermésre számolva): 90 g Na, 70 g Fe, 25 g Al és Zn, 9 g B és Cu, 5–6 g Ba, Sr, Mn és Se, valamint 1 g körüli Ni és Pb.

Talajvizsgálatok eredményei

A szennyezetlen és a maximális (810 kg/ha) adagú kezelések 0–20, 20–40, 40–60 cm-es rétegének $\text{NH}_4\text{-acetát+EDTA}$ -oldható elemtartalmait a 8. táblázatban tanulmányozhatjuk. Hangsúlyozni kell, hogy az 1993. évi vizsgálatok súlyos korlátokkal terheltek, melyek egyaránt jelentkeznek a kísérleti technikában, térben és időben:

1. Bármilyen gondosan történt a mintavétel, az altalajból származó minták bizonyos mérvű szennyeződése nem zárható ki a fúrások és az előkészítés során.

2. A mintavétel 60 cm mélységig terjedt, térben korlátozott volt. A 20–40 cm-es réteg dúsulásához természetesen a mélyszántás is hozzájárulhatott.

3. Mintavételre a kísérlet 3. évét követően került sor időbeni korlátot jelentve. Megemlítjük, hogy pl. a nitrát kilúgozási profiljának szabatos leírására 10–15 éve volt szükség ezen a talajon (NÉMETH et al., 1987; KÁDÁR & NÉMETH, 1993; NÉMETH, 1996).

A fentiek alapján nyilvánvaló, hogy az első korai talajvizsgálatokkal csupán tájékoztató jellegű információkat szerezhettünk. Amint a 8. táblázatban látható, egyértelmű és gyors kilúgozást az $\text{NH}_4\text{-acetát+EDTA}$ -oldható króm mutatott, melynek legfőbb akkumulációs rétegét a 40–60 cm képezte már 1993-ban. Valószínűsíthető a kadmium és ólom vertikális elmozdulása. Hosszú távon nem zárható ki – az Al kivételével – a többi elem lassú kilúgozása sem. A talajvíz e termőhelyen azonban nem veszélyeztetett, mivel 15–20 m mélységben talál-

8. táblázat

A maximális (810 kg/ha) mikroelem-terhelés 3. éves utóhatása a talajszelvény 0–60 cm-es rétegének NH_4 -acetát+EDTA-oldható elemtartalmára (mg/kg) (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1993 ősz)

(1) Elem jele	(2) Kezelés jele	(3) Mintavétel mélysége, cm			(4) Kilúgzás megítélése
		0–20	20–40	40–60	
Al	a) Kontroll	77	56	41	c) Egyértelműen kizárható
	b) Kezelt	99	52	39	
As	a) Kontroll	0	0	0	d) Kérdéses
	b) Kezelt	93	19	0	
Ba	a) Kontroll	30	34	37	d) Kérdéses
	b) Kezelt	285	50	44	
Cd	a) Kontroll	0,4	0,1	0,1	e) Valószínű
	b) Kezelt	227,5	21,3	6,6	
Cr	a) Kontroll	0,0	0,1	0,1	f) Kifejezett
	b) Kezelt	7,2	9,7	14,3	
Cu	a) Kontroll	4,2	2,4	1,6	d) Kérdéses
	b) Kezelt	270,5	16,8	6,9	
Hg	a) Kontroll	0,1	0,0	0,0	d) Kérdéses
	b) Kezelt	60,9	0,4	1,6	
Mo	a) Kontroll	0,0	0,0	0,0	d) Kérdéses
	b) Kezelt	43,3	3,8	2,0	
Ni	a) Kontroll	3,5	2,7	0,9	d) Kérdéses
	b) Kezelt	223,5	11,2	4,4	
Pb	a) Kontroll	6,8	4,2	2,9	e) Valószínű
	b) Kezelt	280,5	40,4	23,2	
Se	a) Kontroll	0,2	0,3	0,0	d) Kérdéses
	b) Kezelt	81,0	19,3	1,1	
Sr	a) Kontroll	32,3	33,8	45,4	d) Kérdéses
	b) Kezelt	257,0	63,7	51,4	
Zn	a) Kontroll	1,8	1,8	1,5	d) Kérdéses
	b) Kezelt	213,0	18,0	4,5	

ható. A főbb talajszennyező elemek kimosódásának megismerése hosszabb időt vesz igénybe.

A króm különös érdeklődésre tarthat számot, amennyiben hazánkban az egyik legfontosabb szennyező és a Cr(VI) erős mérgező az élővilágra. Gyors kilúgozása mobilis kromát, bikromát formájában a nitráthoz hasonló és bizonyos termőhelyeken a talajvizet veszélyeztetheti. További vizsgálatokat folytattunk ezért a talajbani átalakulás nyomon követésére. Elemeztük az ún. összes, fel-

vehető és vízdoldható Cr(VI) frakciót az első két évben vett talajminták anyagát felhasználva. A 9. táblázat eredményei szerint ekkor még a vízdoldható Cr(VI) frakció is kimutatható volt a szántott felső rétegben.

A szennyeztelen talaj eredeti „összes” Cr-készlete 24–26 ppm, míg a 810 kg/ha adagú 270 ppm terhelésnél 98–122 ppm értéket mértünk. Azaz e módszerrel meghatározott „összes” króm csupán 1/3-át képes kimutatni a talajba vitt Cr-mennyiségnek. Az NH_4 -acetát+EDTA kioldással kapott koncentráció

9. táblázat
Cr-terhelés hatása a talaj szántott rétegének Cr formáira (mg/kg)
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Mintavétel ideje	(2) Terhelés 1991. ápr. 22-én, mg/kg				(3) Átlag
	0	30	90	270	
A. „Összes” Cr: cc HNO_3 + cc. H_2O_2 feltárás					
1991. júl. 4.	24	44	57	116	60
1991. aug. 12.	24	40	62	98	56
1992. nov. 2.	26	50	77	122	69
B. „Oldható” Cr: NH_4 -acetát + EDTA kioldás					
1991. júl. 4.	0	2	6	30	10
1991. aug. 12.	0	1	3	9	3
1992. nov. 2.	0	2	5	10	4
C. Cr(VI): 0,01 M CaCl_2 kioldás					
1991. júl. 4.	0,0	0,7	1,0	6,8	2,1
1991. aug. 12.	0,0	0,4	0,7	2,4	0,9
1992. nov. 2.	0,0	0,0	0,2	0,4	0,2

ugyanitt 9–30 ppm közötti volt, tehát ebben a formában maradt a bevitt króm 5–10 %-a. A bevitel K_2CrO_4 vízdoldható Cr(VI) formában történt. A 0,01 M CaCl_2 -oldható Cr(VI) frakció azonban gyorsan eltűnt a szántott rétegből, az első év végén mindössze 2,4 ppm található a 270 ppm terhelésű parcellán (9. táblázat).

A 10. táblázat adatai szerint a 3. év végén, a maximális terhelésű kezelésben, a Cr-formák aránya megváltozik a mélységgel. A 0–20 cm-es rétegben az „összes” Cr 6 %-át találjuk felvehető, ill. 1 %-át 0,01 M CaCl_2 -oldható formában. A 20–40 cm-es rétegben a felvehető frakció 14, a vízdoldható 5 %-ra emelkedik. A 40–60 cm-es rétegben az „összes” Cr-készlet a felére csökken, melynek 1/4-ét már a vízdoldható frakció adta. Nem elégséges tehát a feltalaj vizsgálatára szorítkoznunk. Szennyezett ipari területeink egy részén a talajprofil Cr-tartalmának dúsulása azért tűnhet riasztónak, mert nem kizárt a toxikus, rákkeltő Cr(VI) jelenléte. Utóbbi reális veszélyt jelent a talajvízre.

Bőrgyári szennyvizeinkben megjelenik a cserzésnél alkalmazott Cr-só, mely a szennyvíz öntözésekor a talajba kerülhet. Amennyiben az adott talaj nem köti

10. táblázat

A maximális (810 kg/ha) Cr-terhelés 3. éves utóhatása a talajszelvény Cr-formáira (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Mintavétel mélysége, cm	(2) Terhelés 1991-ben, 270 mg/kg (810 kg/ha)		
	(3) „Összes” Cr	(4) „Oldható” Cr	(5) Cr(VI)
<i>A. mg/kg légszáraz talajban, 1993</i>			
0-20	122	7,2	0,8
20-40	65	9,7	3,6
40-60	57	14,3	13,8
<i>B. %-ban</i>			
0-20	100	6	1
20-40	100	14	5
40-60	100	25	24
a) Átlag	100	13	7

meg a Cr(VI) formát Cr(III) formává alakítva, a talaj gyorsan elveszítheti termékenységét. Kísérletünkben pl. a sárgarépa kipuštult a gyomnövényzettel együtt a 2-4 ppm körüli vízoldható Cr(VI)-tartalomnál. A FAO és egyéb ajánlásokban szereplő 0,1 mg/l, azaz 0,1 g/m³ engedélyezett Cr(összes) koncentráció 10 ezer m³/év öntözőnorma esetén 1 kg/ha/év terhelést jelentene. Ez a szántott rétegben 0,3 ppm dúsulásnak felelne meg 1 év alatt. Igaz, hogy az iszapokban és a talajokban a Cr általában Cr(III) formává alakulhat és elveszítheti toxicitását.

Mindenesetre előzetes vizsgálatok szükségesek a szennyvizek és -iszapok mezőgazdasági felhasználásánál. Meg kell győződni a szennyezők mennyiségi viszonyairól, formáiról. Ismerni szükséges a befogadó talaj kémiai és vízgazdálkodási tulajdonságait. A szennyvízzel való öntözés, valamint a szennyvíz-iszapokkal való trágyázás gyakorlatát folyamatosan ellenőrizni kell, nyomon követve a talajban és a természetett növényben beálló változásokat. Szigorúan be kell tartani a szennyvíziszapok és szennyvizek elhelyezésére vonatkozó előírásokat, irányelveket.

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 % CaCO₃-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 sóit 4–4 szinten alkalmaztuk 1991 tavaszán, a kukorica vetése előtt. A $13 \times 4 = 52$ kezelést két ismétlésben állítottuk be összesen 104 parcellán split-plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270 és 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 és ZnSO_4 formájában. A 100–100–100 kg/ha N– P_2O_5 – K_2O alaptrágyázás egységiesen történik az egész kísérletben ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisóműtrágyákkal. A második évben sárgarépat, a harmadik évben Desirée fajtájú burgonyát termesztünk. A burgonya kísérlet eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

– A száraz 1993. évben szennyeztelen talajon 12–14 t/ha friss gumótermést kaptunk 18 % átlagos szárazanyag-tartalommal, 2,0–2,5 t/ha légszárazanyag-hozammal. A maximális As- és Hg- 29, a Cr- 59, a Se-terhelés 88 %-kal csökkentette a gumó hozamát.

– A takarmányozásra és emberi fogyasztásra szolgáló gumó kevésbé halmozta fel a káros elemeket, mint a virágzaskori lomb. Az As- és Cr-koncentráció még a legnagyobb terhelésnél is 0,1 mg/kg alatt maradt. Kevésbé változott az Al-, Ba- és Cu-mennyiség is a gumóban. A kadmium, nikkel, higany és ólom 3–8 mg/kg akkumulációt jelzett és ezzel a gumó fogyasztásra alkalmatlanná vált az erősen szennyezett talajon. Kiemelkedett a szelén mintegy húszszoros, ill. a molibdén ezerszeres akkumulációja.

– Az erősen szennyezett talajon gumótermésbe épült elemek mennyisége: 120 g Mo, 100 g Se, 60 g körüli Al és Zn, 20 g körüli Pb és Sr, 12–17 g Ba és Cu, 8–9 g Ni és Mg volt.

– A Se-mérgezés nyomán igazolható koncentrációcsökkenés lépett fel a legtöbb esszenciális makro- és mikroelem esetén a virágzaskori lombban. Kivételt képezett három elem (S, Fe, Al), melyek tartalma emelkedett. Ezzel némileg ellentétesen a Cr-terhelés általában növelte a legtöbb elem tartalmát a burgonya leveleiben.

– A talajba vitt 810 kg/ha, azaz 270 mg/kg króm mennyiségének mindössze 1/3-át tudtuk kimutatni a szántott rétegben cc. HNO_3 +cc. H_2O_2 feltárással, mint „összes” készletet. Az NH_4 -acetát+EDTA módszerrel meghatározott oldható Cr-tartalom a bevitt Cr 5–10 %-át adta. A 0,01 M CaCl_2 -oldható Cr(VI) frakció gyorsan bemosódott a mélyebb rétegekbe és a 3. év végén a 40–60 cm-es réteg „összes” Cr-készletének 24 %-át adta.

Irodalom

- BERGMANN, W. & NEUBERT, P., 1976. Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- KÁDÁR I. & NÉMETH T., 1993. Nitrát bemosódásának vizsgálata műtrágyázási tartamkísérletben. Növénytermelés. 42. 331–338.
- KÁDÁR I., 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM-MTA TAKI, Budapest.

- KÁDÁR I., 1999. A tápláléklánc szennyeződése nehézfémekkel. *Agrokémia és Talajtan.* 48. 561–581.
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K-NÉ, 2000. Mikroelem-terhelés hatása a kukorica-állományra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* 49. 181–204.
- KÁDÁR I., RADICS L. & DAOOD, H. 2000. Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépa-termésre 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.
- NÉMETH T., KOVÁCS G. & KÁDÁR I., 1987. A nitrát, a szulfát és a vízoldható sók be-mosódásának vizsgálata műtrágyázási kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* 36–37. 110–126.
- NÉMETH T., 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI. Budapest.

Érkezett: 1999. november 1.

Effect of Microelement Loads on the Yield and Element Contents of Potato on Calcareous Chernozem Soil

I. KÁDÁR and J. PROKISCH

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and Debrecen University, Agricultural Centre, Debrecen (Hungary)

Summary

A small-plot microelement stress experiment was set up in spring 1991 on calcareous chernozem soil at the Experimental Station of the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences in Nagy-hörcsök. The ploughed layer of the growing site contained around 5% CaCO₃ and 3% humus, and was satisfactorily supplied with Ca, Mg, Mn and Cu, moderately well with N and K, and poorly with P and Zn. The groundwater depth was 15 m and the water balance was negative, tending to drought. Salts of the 13 microelements tested were applied at four levels in spring 1991, prior to maize sowing. The 13x4=52 treatments were set up in two replications on a total of 104 plots in a split-plot design. The loads were 0, 90, 270 and 810 kg/ha for each element 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 treated uniformly with 100–100–100 kg/ha N–P₂O₅–K₂O basic fertilizer in the form of ammonium nitrate, superphosphate and potassium chloride. In the second year carrots were grown and in the third year potato, variety Desirée.

The results of the potato experiment are summarized below:

– On unpolluted soil in the dry year 1993 a fresh tuber yield of 12–14 t/ha was obtained with an average dry matter content of 18% and an air-dry matter yield of 2.0–2.5 t/ha. The maximum As and Hg load reduced the tuber yield by 29%, Cr by 59% and Se by 88%.

– The tubers, which are used for feeding and for human consumption, accumulated less pollutants than the foliage at flowering. The concentrations of As and Cr remained below 0.1 mg/kg even at the highest loads. The quantities of Al, Ba and Cu in the tubers also showed little change. An accumulation of 3–8 mg/kg was observed for Cd, Ni, Hg and Pb, making the tubers unfit for consumption on heavily polluted soil. Outstanding values were recorded for the accumulation of Se (approx. 20x) and Mo (1000x).

– On heavily loaded soil the quantities of microelements incorporated in the tuber yield were: 120 g Mo, 100 g Se, around 60 g Al and Zn, around 20 g Pb and Sr, 12–17 g Ba and Cu, and 8–9 g Ni and Mg.

– As the result of Se poisoning a significant reduction was observed in the concentrations of the majority of essential macro- and microelements in the foliage at flowering, with the exception of three elements (S, Fe, Al), the contents of which rose. By contrast, Cr load generally increased the content of most of the elements in potato leaves.

– Only a third of the 810 kg/ha, i.e. 270 mg/kg Cr added to the soil could be demonstrated as „total” reserves in the ploughed layer by digestion with

cc.HNO₃+cc.H₂O₂. The soluble Cr content determined with the NH₄-acetate+EDTA method gave 5–10% of the added Cr. The Cr(VI) fraction soluble in 0.01 M CaCl₂ was rapidly leached into the deeper layers and by the end of the third year it made up 24% of the „total” Cr reserves in the 40–60 cm layer.

Table 1. Cultivation operations and observations carried out in the experiment (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1992/1993). (1) Cultivation operations. 1. Autumn fertilization; 2. Autumn ploughing in one direction; 3. Harrowing; 4. Staking out of the experiment; 5. Spring fertilization; 6. Combination; 7. Staking out of rows, sowing; 8. Replacement of fencing; 9. Hilling up the rows; 10. Stand scoring; 11. Experiment demonstration; 12. Stand scoring; 13. Leaf sampling (at the beginning of flowering); 14. Scoring (flowering, Colorado beetles); 15. Weed control; 16. Leaf sampling (at the end of flowering); 17. Counting the number of plants; 18. Harvesting; 19. Soil sampling (0–60 cm); 20. Disking. (2) Date (year, month, day). (3) Remarks: a) NPK distributed by hand; b) with an MTZ Lajta plough; c) MTZ-50+harrow; d) Staking for each plot; e) N distributed by hand; f) with an MTZ-50 tractor; g) by hand, 8 rows/plot; h) spreading wire nets; i) hoeing by hand; j) per plot; k) national, public; l) 4 rows per plot; m) on 28 plots. *Note:* To control Colorado beetles Dimecron was sprayed from a backpack sprayer approx. every 10 days from the end of May.

Table 2. Effect of toxicity-indicating treatments on the development and yield of potato (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1993). (1) Element. (2) Element load in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. A. Scoring for stand development on May 20*. B. Scoring for stand development on June 14*. C. Air-dry weight, g/20 leaves on July 12. D. Foliage dry matter % on July 12. E. Fresh tuber yield, t/ha, on September 7. *1 = very poor, 2 = poor, 3 = moderate, 4 = good, 5 = very well developed stand. *Note:* The tubers had a mean dry matter content of 18% and gave a dry matter yield of 2.0–2.5 t/ha on unpolluted soil.

Table 3. Effect of treatments on the composition of the air-dry foliage yield, mg/kg (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1993). (1)–(4): see Table 2. A. At the beginning of flowering on June 14. B. At the end of flowering on July 12. *Note:* On the control soil the concentrations of As, Cd, Cr, Hg, Mo and Pb remained below 0.1 mg/kg.

Table 4. Changes in other elements in air-dry potato leaves as the result of Se toxicity (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1993). (1)–(4): see Table 2. A. At the beginning of flowering on June 14. B. At the end of flowering on July 12. *Note:* The optimum supplies at the beginning of flowering, according to BERGMANN and NEUBERT (1976), are: N = 5–6 %, K = 3–4 %, Ca = 0.7–3.0 %, Mg = 0.2–0.8 %, P = 0.3–0.4 %; Fe = 65–300, Mn = 80–250, Zn = 30–90, B = 21–50, Cu = 5–30 mg/kg dry matter.

Table 5. Changes in other elements in air-dry potato leaves as the result of Cr toxicity (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1993). (1)–(4): see Table 2. A. At the beginning of flowering on June 14. B. At the end of flowering on July 12.

Table 6. Effect of treatments on the composition of the air-dry tuber yield and the quantity of elements extracted with the tuber yield (variety Desirée) (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, Sept. 7, 1993). (1)–(4): see Table 2. A. In the tuber yield, mg/kg. B. In the tuber yield, g/ha. *Note:* On unpolluted soil the values of As, Cd, Cr, Hg and Mo were below 0.1 mg/kg and the quantities extracted with the tuber yield were below 1 g/ha.

Table 7. Mean composition of air-dry potato on unpolluted soil (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, 1993). (1) Element. (2) Unit. (3) Foliage on June 14 and July 12. (4) Tuber yield on Sept. 7. Note: The As, Hg, Mo, Cr, Cd and Co contents remained below 0.1 mg/kg.

Table 8. After-effect of maximum (810 kg/ha) microelement load in the third year on the NH_4 -acetate+EDTA-soluble element contents in the 0-60 cm soil profile (mg/kg) (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, autumn 1993). (1) Element. (2) Treatment code. a) Control; b) treated. (3) Sampling depth, cm. (4) Degree of leaching. c) highly unlikely; d) doubtful; e) probable; f) pronounced.

Table 9. Effect of Cr loads on the Cr forms in the ploughed soil layer (mg/kg) (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Sampling date. (2) Pollution on Apr. 22 1991, mg/kg. (3) Mean. A. „Total” Cr: cc. HNO_3 +cc. H_2O_2 digestion. B. „Soluble” Cr: NH_4 -acetate+EDTA dissolution. C. Cr(VI): 0.01 M CaCl_2 dissolution.

Table 10. After-effect of maximum (810 kg/ha) Cr load in the third year on the Cr forms in the soil profile (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Sampling depth, cm. a) Mean. (2) Load in 1991, 270 mg/kg (810 kg/ha). (3) „Total” Cr. (4) „Soluble” Cr. (5) Cr(VI). A. As mg/kg air-dry soil, 1993. B. As a %.