

Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépatermésre karbonátos csernozjom talajon

¹KÁDÁR IMRE, ²RADICS LÁSZLÓ és ³DAOOD HUSSEIN

¹MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest,

²Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar, Budapest és

³Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet, Lipidlaboratórium, Budapest

Az ország környezeti állapotában beálló változásokat a levegő, víz, talaj és a növényzet károsanyag-tartalmának folyamatos vizsgálatával, monitoring rendszerben követjük nyomon (VÁRALLYAY, 1990). Bizonyos elemeknek a táplálékláncban való dúsulását a talaj-növény rendszer kiküszöböli, természetes szűrőként működve. A talaj az elemek egy részét különböző formákban megköti, ill. a növényi növekedés megáll a szennyezett talajon mielőtt extrém elem-dúsulás következne be (FILEP, 1988; SZABÓ et al., 1993; CSATHÓ, 1994). Magyarországon az évente termőföldön kihelyezett szennyvíziszap becsült mennyisége 100 ezer tonna, azonban a talajokra és növényekre gyakorolt hosszútávú hatások sajnos nem kellően ismertek (VERMES, 1992, 1994).

CSILLAG és munkatársai (1994) a kadmium, króm, nikkel, ólom és cink elmozdulását vizsgálták nagyméretű bolygatatlan talajoszlopokon, a szabványban megadott maximális terhelés százszorosát is alkalmazva. A szennyező elemeket fémmel dúsított kommunális szennyvíziszapban, ill. a fémek nitrátsóiban adták. A fémek elmozdulása nem haladta meg az 5–10 cm-t három hónapos expozíciós idő után és a talajoldatban átlagosan három nagyságrenddel kisebb volt az elemek koncentrációja, mint a szilárd fázisban. További vizsgálatok során NÉMETH és munkatársai (1993, 1994) megállapították, hogy a talaj kiszáritása és újranedvesítése csökkenti az elemek talajoldatba kerülést. A vizsgált talajok folyadékfázisában a króm és ólom kevésbé volt kimutatható, mint a mobilisabb cink és kadmium.

A szennyvíziszapok szerves és ásványi összetevői általában jól megkötik a nehézfémeket és a növényi felvételben minimális változások észlelhetők a hazai tapasztalatok szerint (VERMES, 1992; SIMON, 1998). Mi történik azonban, ha az iszap szerves anyagai idővel részben lebomlanak és a káros elemek felszabadulnak? A fitoremediáció során különleges, a fémek hiperakkumulációjára képes növényeket alkalmaznak, melyek az enyhén szennyezett talajok „karbantartását” végezhetnék. Az ilyen növényekben a káros elem koncentrációja jelen-

tősen meghaladja a talajbeli tartalmat, tehát talajtisztítást eredményezhet. A mérsékelt égövben főként a keresztesvirágúak (Brassicaceae) egyes fajai jöhetnek szóba 1000 mg/kg, azaz 0,1 % elemakkumulációval. A hiperakkumuláció elemenként és fajonként változik, ezért hosszú kutatásokat kell végeznünk eltérő növényfajokkal, különböző talajokon. Saját vizsgálatainkban a mikroelemterhelés talajra és növényre gyakorolt hatásait elemezzük szabadföldi kísérletben, karbonátos csernozjom talajon.

Korábban részletesen áttekintettük a talajszennyezés, ill. tágabban az egész tápláléklánc szennyeződésének problémáit és megfogalmaztuk a hazai nehézfémkutatások jelenkori feladatait (KÁDÁR, 1995, 1999). Ismertettük a karbonátos csernozjom talajon beállított mikroelem-terhelési kísérlet módszerét, célját és 1. éves eredményeit. A kísérlet olyan talajszennyezettségi szinteket reprezentál, melyek ipari létesítmények, autótutak és települések szennyezett környezetében ma is előfordulnak, vagy a jövőben előfordulhatnak. Szennyező forrásul ásványi sókat alkalmaztunk, lehetőleg oldható formákban, hogy a potenciális toxicitás jobban vizsgálhatóvá váljon. Döntő jelentőségű ugyanis az ion formák talajbani átalakulásának megismerése (KÁDÁR et al., 1999; KÁDÁR, 1999).

Ismeretes, hogy a káros elemek felhalmozódása elsősorban a gyökérben és a fiatal hajtásban kifejezett. A gyökérgumós zöldségnövények közvetlen emberi fogyasztásra kerülnek, vizsgálatuk ezért különösen indokolt. Az említett megfontolások alapján a kísérlet 2. évében sárgarépat termesztettünk.

Anyag és módszer

Kísérletünket az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet nagyhőrcsöki kísérleti telepén állítottuk be 1991 tavaszán. A termőhely löszön képződött karbonátos csernozjom talaja a szántott rétegben mintegy 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. SZÚCS (1965) részletes talajföldrajzi feltárása alapján a területet a duna-völgyi mészlepedékes csernozjomok közepes humuszréteggű változatába sorolja 50–100 cm-es humuszréteggel. A talajvíz tükre kb. 15 m mélyen helyezkedik el, szennyeződése felszíni kilúgozással gyakorlatilag kizárt. A telep éghajlata az Alföldéhez hasonlóan csapadékszegény és aszályra hajló.

A kísérlet kezeléseit és az alkalmazott sók formáját az 1. táblázat ismerteti. Az extrém adagok a talajszennyezési szintek modellezését szolgálták. Az osztott parcellás elrendezésben a vizsgált 13 elem jelenti a főparcellát, míg a 4–4 terhelési szint (adag) az alparcellát $13 \times 4 = 52$ kezeléssel és két ismétléssel, azaz összesen 104 parcellával. A 21 m² területű parcellákat 1–1 m-es utak határolják hosszirányban a jobb megközelíthetőség és a talajáthordás megakadályozása érdekében. A parcellák teljes területe 2184, az utak és szegélyek területe 2008, a kísérlet bekerített összes területe 4192 m². A növényi sorrend az első négy évben kukorica–sárgarépa–burgonya–borsó volt.

I. táblázat
A kísérletben alkalmazott egyszeri terhelések 1991-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörccsök)

(1) Elem jele	(2) Adagok 1991 tavaszán, kg/ha				(3) Alkalmazott sók formája
	0	1	2	3	
Al	0	90	270	810	AlCl ₃
As	30	90	270	810	As ₂ O ₃ /NaAsO ₂
Ba	0	90	270	810	BaCl ₂
Cd	30	90	270	810	CdSO ₄
Cr	0	90	270	810	K ₂ CrO ₄
Cu	0	90	270	810	CuSO ₄
Hg	30	90	270	810	HgCl ₂
Mo	0	90	270	810	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄
Ni	0	90	270	810	NiSO ₄
Pb	0	90	270	810	Pb(NO ₃) ₂
Se	30	90	270	810	Na ₂ SeO ₃
Sr	0	90	270	810	SrSO ₄
Zn	0	90	270	810	ZnSO ₄

A sárgarépa fajtája a Vörös óriás, melynek vetésére 1992. ápr. 8-án került sor. A gyomfelvételezés, első bonitálás és gyommintavétel jún. 9. és 11. között történt. A lombot jún. 29-én a gyökérképződés előtti stádiumban megmintáztuk, majd a betakarításkor (okt. 7-én) lomb- és gyökérmintavételt végeztünk nettó parcellánként 40–40 db növény felhasználásával. A megmaradt teljes gyökértermést átadtuk az Állatorvostudományi Egyetem Takarmányozástani Tanszékének nyúletetési kísérletek céljaira. A nettó parcella mérete 6 fm x 6 sor = 36 fm = 18 m²-t tett ki, a sor x tőtávolság 50 x 10 cm, a vetés mélysége 2–3 cm volt. Megemlítjük, hogy betakarítás előtt a gyökerek számát és súlyát egyaránt meghatároztuk nettó parcellánként.

A száraz tavaszon a répa kelése elhúzódott és csak máj. 10-e körül fejeződött be. A Cr- és Se-kezelésekben különösen vontatott volt a növényké kelése, részleges pusztulással. Az aszályos 1992. esztendő összességében nem kedvezett a sárgarépa fejlődésének. A kísérleti telepen az 1991–1994. években mért csapadékadatokat a 2. táblázatban foglaltuk össze havi, negyedéves, éves és a tenyészidőszakra vetített bontásban. Amint a táblázatban látható, a sokéves átlaghoz viszonyítva 1992-ben 119 mm-rel kevesebb eső hullott és szárazság lépett fel, mely a június hó kivételével az egész évet jellemezte.

A betakarítást követően (nov. 2-án) 20–20 pontminta (leszúrás) egyesítésével átlagmintákat vettünk a szántott rétegből parcellánként és meghatároztuk az oldható elemtartalmakat NH₄-acetát + EDTA módszerrel LAKANEN és ERVIÖ (1971) szerint.

2. táblázat

A havi, negyedéves, éves és tenyészidő alatti csapadékösszegek adatai (mm)
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1991–1994)

(1) Hónapok	1991	1992	1993	1994	(2) Sokéves átlag*
január	18	0	10	37	34
február	17	11	4	10	36
március	20	26	15	13	37
a) I. negyedév	55	37	29	60	107
április	20	18	28	50	48
május	58	9	8	35	64
június	22	156	11	17	61
b) II. negyedév	100	183	46	102	173
július	98	14	60	22	54
augusztus	93	3	32	81	55
szeptember	16	17	66	36	49
c) III. negyedév	208	34	158	140	158
október	90	124	91	46	53
november	52	64	103	22	57
december	17	28	60	0	42
d) IV. negyedév	160	217	254	68	152
e) Éves összeg	522	471	487	370	590
f) ápr.–szept.	308	217	205	242	259

* A legközelebbi állomás (Sárbogárd) 50 éves átlaga

Kísérleti eredmények

Talajvizsgálatok eredményei

A szennyezetlen kontrollparcellákon 0,1 ppm körül vagy alatt volt az As-, Cd-, Cr-, Hg-, Mo- és Se-koncentráció. Az oldható Zn- és Ni-tartalom 3–5 ppm közötti értéket mutatott. Jelentősnek bizonyult a talaj eredeti oldható Al-, Sr-, Ba-, Pb- és Cu-készlete 85, 39, 33, 8 és 4 mg/kg tartalommal. Az alumínium kivételével minden elem készlete egy nagyságrenddel vagy nagyságrendekkel dúsult a növekvő terhelés nyomán. A sok száz- ill. sok ezerszeres dúsulás a nyomokban előforduló elemekben (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Se) kifejezett (3. táblázat).

Vajon milyen arányban mutathatók ki az egyes elemek NH₄-acetát+EDTA-oldható formában a talajban? A visszamérési %-ok megállapításánál abból indultunk ki, hogy az 1991 tavaszán adott egyszeri terhelés (a 0, 90, 270 ill. 810 kg/ha adagok) 0, 30, 90 ill. 270 mg/kg koncentrációemelkedéshez vezethetnek elméletileg a szántott rétegben. A 3 kg/ha terhelés 1 mg/kg növekedést okozhat

3. táblázat

Kezelések hatása a szántott réteg felvehető elemtartalmára (NH₄-acetát + EDTA kioldás, mg/kg 1992. nov. 2-án) (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhorcsök)

(1) Elem jele	(2) Adott mennyiség 1991 tavaszán, mg/kg				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	30	90	270		
Al	85	90	89	99	23	91
As	0	6	31	93	17	33
Ba	33	47	81	285	37	111
Cd	0	18	62	228	24	80
Cr	0	2	5	10	2	4
Cu	4	34	94	270	22	133
Hg	0	1	13	61	4	19
Mo	0	12	22	43	16	20
Ni	5	33	65	224	16	82
Pb	8	65	131	280	23	121
Se	0	7	66	81	13	39
Sr	39	52	116	257	24	116
Zn	3	29	68	213	24	78

Megjegyzés: A kontrolltalajon mért As-, Cd-, Cr-, Hg-, Mo- és Se-tartalom 0,1–0,2 mg/kg körül, ill. mérés határ alatt

a feltalajban. Amint a 3. táblázat számított adataiból megítélhető, az átlagos visszamérési sorrend az alábbi volt elemenként: Pb, Cu, Ni, Zn, Cd, Sr, Ba, Se, As, Mo, Hg, Al, Cr, azaz:

- gyakorlatilag teljesen visszamérhető, azaz oldatban maradt: Pb, Cu;
- viszonylag jól visszamérhető (60–90 % között): Ni, Zn, Cd, Sr, Ba;
- közepesen visszamérhető (30–60 % között): Se;
- gyengén visszamérhető (10–30 % között): As, Mo, Hg; és
- alig visszamérhető, azaz más formákká alakult: Cr, Al.

Az egyes elemek NH₄-acetát+EDTA oldhatósága eltérő, tehát a talajbani megkötődés nem azonos sebességgel megy végbe. Az első évben vett minták adataival összevetve megállapítható, hogy az 1991. és 1992. évi analízisek eredményei összességükben egybecsengenek.

A gyomosodás és a korai lombtermés vizsgálata

A gyomok és a sárgarépa együttesen 40–60 % közötti talajfedettséget eredményezett jún. 9-én, mely a Cr-, Hg- és Se-terheléssel igazolhatóan csökkent. A sárgarépalomb ekkor, gyomirtás előtt, mindössze 3–5 % talajborításra volt képes. A maximális Cr- és Se-adagok teljes növénypusztulást eredményeztek, azaz e két elem sója totális gyomirtóként viselkedett. Az előforduló 5–6 gyomfaj közül döntően az Amaranthus és kisebb részben a Chenopodium fajok ural-

4. táblázat

Toxikus kezelések hatása a sárgarépa és a gyomosodásra
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörösök, 1992. jún. 9.)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	30	90	270		
<i>A. Gyom + sárgarépa borítottság, %</i>						
Cr	63	55	9	0	29	32
Hg	49	33	8	4		24
Se	49	52	3	0		26
<i>B. Gyomborítottság, %</i>						
Cr	58	52	8	0	29	30
Hg	45	29	6	2		20
Se	46	49	2	0		24
<i>C. Sárgarépa borítottság, %</i>						
Cr	5	3	1	0	3	2
Hg	4	4	2	2		3
Se	3	3	1	0		2
<i>D. Amaranthus blitoides, %</i>						
Cr	50	32	0	0	29	21
Hg	32	21	3	1		14
Se	30	44	2	0		19
<i>E. Zöld sárgarépalomb, t/ha*</i>						
Cr	3,6	2,4	0,5	0	1,7	1,6
Hg	5,0	5,0	2,7	3,7		4,0
Se	4,0	4,6	2,7	0		2,8

* Mintavétel a gyomirtás után 2 héttel, 1992. jún. 29-én történt

kodtak. Az Amaranthus blitoides %-os fedettségi arányát külön is értékeltük (4. táblázat).

Átlagosan 1–1 m² területen, parcellánként, gyommintákat vettünk a föld felletti hajtás felhasználásával és meghatároztuk azok összetételét. Ezt követően történt a kézi gyomirtás, majd jún. 29-én a sárgarépalomb mintavétele kb. 2,5 hónapos korban. A sárgarépa fejlődésének fontos fázisa a gyökérképződés kezdetének ideje. Az ekkor végzett lombanalízis adatai iránymutatóul szolgálhatnak a növény tápláltsági/szennyezettségi állapotának jellemzésére és részben előrejelezhetik a termés minőségének várható alakulását is. A gyomok és a répa hajtásának összetételét az 5. táblázatban tanulmányozhatjuk a kezelések függvényében.

Az 5. táblázat adataiból látható, hogy a kétszikű gyomok a répalombhoz képest egy nagyságrenddel több Al és Cr elemet akkumuláltak és lényegesen (esetenként többszörösen) nagyobb az átlagos As-, Hg-, Ni-, Pb- és Sr-tartalmuk is. Az átlagos Mo- és Se-koncentrációk viszont a sárgarépa levelében nagyobbak.

5. táblázat
Kezelések hatása a gyomok és a sárgarépa hajtásának összetételére
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök, 1992)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Légszáraz gyomhajtás jún. 11-én, mg/kg</i>						
Al	404,0	321,0	796,0	482,0	565,0	533,0
As	0,0	0,0	0,5	4,6	2,0	1,3
Ba	24,4	38,6	66,0	124,2	25,0	63,1
Cd	0,1	16,2	17,8	18,6	1,3	13,2
Cr	0,2	4,5	10,8	-	1,5	5,1
Cu	8,2	9,5	12,4	23,0	3,5	13,3
Hg	0,0	12,5	22,0	23,4	5,7	12,0
Mo	0,0	146,0	286,0	550,0	43,0	245,0
Ni	1,4	7,9	10,5	19,2	2,7	9,8
Pb	0,9	3,4	4,2	5,2	2,5	3,4
Se	0,0	40,8	56,4	-	15,5	24,3
Sr	161,0	244,0	382,0	578,0	63,0	401,0
Zn	29,4	43,6	72,4	123,6	10,2	68,1
<i>B. Légszáraz sárgarépalomb jún. 29-én, mg/kg</i>						
Al	33,0	40,0	27,8	30,2	31,2	32,7
As	0,0	0,0	0,0	1,3	1,0	0,4
Ba	35,4	56,0	79,7	148,5	17,4	79,9
Cd	0,1	7,8	11,4	18,8	4,1	9,5
Cr	0,1	0,4	-	-	0,2	0,2
Cu	7,5	10,2	8,5	10,6	5,2	9,2
Hg	0,0	0,0	5,0	8,8	1,6	3,4
Mo	0,0	441,5	830,0	1567,0	445,7	709,8
Ni	0,2	2,2	4,6	6,7	1,2	3,4
Pb	0,2	0,8	0,8	4,2	3,0	1,5
Se	0,0	103,3	161,0	-	81,3	66,1
Sr	99,7	142,0	194,5	280,0	40,3	179,0
Zn	28,6	49,0	88,4	149,5	19,5	78,9

Megjegyzés: - A növényzet kipusztult

A kezeletlen talajon az As, Cd, Hg, Mo és Se elemek 0,1 ppm körüli értéken maradtak a gyomok hajtásában és a sárgarépalombban egyaránt. Összességében az is megállapítható, hogy a talajterhelés mértékét az uralkodó kétszikű gyomok is jelezni képesek, amennyiben a szennyezés összetételükben tükröződik, esetenként kifejezettebben mint a répa levelében. Mind a répa, mind a gyomok hajtásában nagyságrendi vagy több nagyságrendbeli dúsulást azon elemek mutatnak, melyek csak nyomokban fordulnak elő a szennyezetlen növényekben (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Se).

A sárgarépa gyökér- és lombtermésének vizsgálata betakarításkor

Az aszályos év eredményeképpen kicsi terméseket kaptunk. A friss gyökér tömege 14–18 t/ha, a lomb tömege 4–5 t/ha között ingadozott a kezeletlen talajon. A gyökér átlagosan 18 %, a lomb 30 % légszáraz anyagot tartalmazott. Az összes légszáraz hozam 1,3 t/ha lomb + 2,7 t/ha gyökér = 4 t/ha mennyiséget jelentett. A lomb/gyökér tömegarány nem változott érdemben a kezelések függvényében. Mérsékelt termésdepressziót jelzett a maximális adagú As-kezelés, közepesen toxikusnak mutatkozott a higany, míg a króm és szelén nagyobb terhelése a répa teljes állományának pusztulásához vezetett (6. táblázat).

6. táblázat

Kezelések hatása a sárgarépa gyökértermésére betakarításkor
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1992. okt. 7.)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _s %	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Friss gyökértömeg, t/ha</i>						
As	17,6	15,1	19,0	13,3	4,8	16,2
Cr	13,0	7,1	0,0	0,0		5,0
Hg	15,5	15,3	13,8	10,8		13,8
Se	14,0	14,4	7,2	0,0		8,9
<i>B. Gyökér, 1000 db/ha</i>						
As	174	164	184	112	57	158
Cr	170	77	0	0		62
Hg	190	152	96	136		144
Se	162	129	62	0		88
<i>C. Friss gyökér, g/db</i>						
As	101	92	103	118	33	104
Cr	76	92	0	0		84
Hg	98	100	143	79		105
Se	79	112	116	0		102

Megjegyzés: A gyökér átlagosan 18 %, a lomb 30 % légszáraz anyagot tartalmazott. A lomb friss tömege 4–5 t/ha mennyiséget ért el átlagosan

Ugyanakkor figyelemre méltó, hogy a 13 vizsgált elemből csak 4 okozott bizonyíthatóan károsodást a répában ezen a talajon. Olyan közismerten mérgezőnek tekintett szennyező nehézfémek, mint a kadmium, réz, molibdén, nikkel, ólom és cink nem, vagy alig csökkentették a gyökér és a lomb termését az extrém terhelés ellenére. A négy toxikus elem depresszív hatása elsősorban az egyedszám mérséklésében nyilvánult meg. A növénykék pusztulása már a kelés idején megfigyelhető volt. E téren a Cr(VI) bizonyult a leginkább mérgezőnek, a 90 kg/ha terhelésnél az egyedszám a felére zuhant. A gyökerek átlagos tömege 80–100 g/db körül alakult a kezeletlen parcellákon és kezelés hatására

nem módosult egyértelműen. A korán kiritkult állomány részben a megmaradt egyedek növekedésének kedvezett, hiszen az élettér megnőtt. Ez a tendencia a Hg- és Se-kezelésekben nyilvánult meg a terhelés 270 kg/ha szintjéig (6. táblázat).

A betakarításkori lomb és gyökér elemtartalmának változását a 7. táblázat közli. A táblázat adatai szerint a lombban mérsékelt akkumulációt mutat az alumínium, bárium, króm, réz, stroncium és cink, bár esetenként néhány-szoros koncentráció-növekedés is előállhat. Bár nagyságrendi a dúsulás, 10 ppm körüli

7. táblázat
Kezelések hatása a sárgarépa összetételére betakarításkor
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Légszáraz lomb 1992. okt. 7-én, mg/kg</i>						
Al	400,0	457,5	466,0	800,0	345,0	530,9
As	0,0	0,0	0,9	3,6	1,2	1,2
Ba	88,0	99,1	115,5	131,0	7,4	108,4
Cd	0,0	2,9	6,6	11,2	1,8	5,2
Cr	0,5	4,0	-	-	0,6	2,2
Cu	5,1	7,1	8,0	17,4	2,0	9,4
Hg	0,0	1,2	9,3	16,9	4,4	6,8
Mo	0,0	116,7	269,5	434,0	33,3	204,9
Ni	0,7	1,8	4,3	11,9	1,5	4,6
Pb	0,8	3,1	5,3	7,8	3,1	3,9
Se	0,0	38,2	64,1	-	15,0	34,1
Sr	130,5	182,5	216,0	340,0	41,5	217,3
Zn	15,0	26,8	30,5	83,3	15,1	38,9
<i>B. Légszáraz gyökér 1992. okt. 7-én, mg/kg</i>						
Al	32,0	29,7	35,2	31,1	16,7	32,0
As	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ba	17,2	21,9	21,6	26,9	4,8	21,9
Cd	0,0	3,1	5,4	5,8	0,7	3,6
Cr	0,0	0,2	-	-	0,3	0,1
Cu	7,9	10,4	10,4	12,3	3,7	10,2
Hg	0,0	0,5	13,4	23,8	7,4	9,1
Mo	0,0	20,6	54,5	99,3	18,9	43,6
Ni	0,3	1,7	2,2	3,1	1,2	1,9
Pb	0,5	3,6	4,1	4,1	2,3	3,1
Se	1,0	32,8	62,9	-	6,8	32,2
Sr	20,1	25,3	24,7	37,2	12,0	26,8
Zn	18,2	19,5	23,4	34,3	4,8	23,8

Megjegyzés: - A növény kipusztult

maximumon maradt az arzén, kadmium, nikkell és ólom. Ezen elemek mozgása tehát erősen korlátozott a talaj-növény rendszerben kísérleti körülményeink között. A higany elérte a kereken 17, míg a molibdén a 434 ppm értéket. Megemlíthető, hogy a jún. 29-én vett lomb kereken 9 ppm Hg-, 161 ppm Se- és 1567 ppm Mo-koncentrációt jelzett. A lomb szennyezettsége tehát nőtt a korral a higany, ill. mérséklődött a szelén és molibdén esetében.

A gyökér egy nagyságrenddel kevesebb Al-ot tartalmaz és jelentősen kisebb az átlagos As-, Ba-, Cd-, Cr-, Mo-, Ni-, Sr- és Zn-koncentrációja is. A réz átlagos mennyisége közel álló a föld alatti és a föld feletti növényi szövetekben, míg a Hg-akkumuláció a gyökérben kifejezettebb. Összességében megállapítható, hogy a gyökér kevésbé szennyeződik, genetikailag védettebb. Az As- és a Cr-mérgezés szinte abszurdnak tűnik a gyökérelmézés alapján, hiszen a gyökerekben ezek a szennyezők ki sem mutathatók. Mérsékeltén dúsul a többi elem is, (pl. a Cd, Ni, Pb). Utóbbi elemek abszolút tartalma ugyan kicsinek tűnik, de ez valójában nagyságrendi dúsulásokat takar és a terméket emberi vagy állati fogyasztásra már alkalmatlanná teheti (7. táblázat).

Emlékeztetőül: A 8/1985. (X.21) EüM rendelet friss vagy fagyasztott zöldségre az alábbi maximális tartalmakat engedélyezi: Hg 0,01, Cd 0,03, Pb 0,3, As 0,5 mg/kg. A gyökér 18 % körüli légszáranyag-tartalmát alapul véve és a 7. táblázat adatait öttel osztva becsülhető a termés szennyezettsége, ill. fogyasztásra való alkalmassága. A rendelet más elemekre hasonló orientáló határértékeket nem közöl.

A fentiek alapján megállapítható, hogy az As-terhelés nem eredményezett As-szennyezést a gyökérben. A higany gyökérben mért maximális értékei azonban 4-5000-szeresen meghaladhatják az engedélyezettet. Az ólom esetében maximálisan 2-3-szoros túllépés következne be, míg a Cd esetén 40-50-szeres. Az elmondottakon túlmenően mérgezőnek és élettanilag elfogadhatatlannak minősíthető a sok ezerszeresére nőtt Mo- és Se-tartalom a gyökérben. Mindkét elem esszenciálisnak minősül az állatvilág és az ember számára, hiperakkumulációjuk külön figyelmet érdemel e talajon.

A 8. táblázatban a fiatal gyom és répa hajtásának, valamint a betakarításkori répalomb és -gyökér átlagos elemösszetételének számos tanulsággal szolgáló adatait mutatjuk be szennyezetlen talajon. A gyomok hajtása a hasonló korú répa hajtásához képest kitűnik nagyobb N-, Ca-, K-, Mg-, P-, Fe-, Al- és Sr-tartalmával. A répákra jellemzően kiugró viszont a Na-akkumuláció a sárgarépa terméseiben. A korai répalomb adatainak értelmezéséhez lábjegyzetben fel-tüntetjük a hozzávetőleges irodalmi optimumokat az esszenciális elemekre BERGMANN és NEUBERT (1976) összeállítása nyomán. Az aszályos 1992. évben viszonylag nagy N-, NO₃-N-, S-, Ca- és Na-tartalmakat mértünk, a növényi szövetek betöményedtek, míg a Zn- és Mo-tartalom az irodalmi optimum alatt maradt.

A korai és a betakarításkori lombelemzést összevetve látható, hogy az elöregedő lombban drasztikusan csökken a K-, P-, S-, Na-, Zn- és B-koncentráció. Az öregedés elemei viszont a Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Sr, Ba, valamint a nyo-

mokban kimutatható elemek (mint a Ni, Pb, Cr), bár meghatározásuk némi bizonytalansággal terhelt. A betakarításkori lomb és gyökér összetételét tekintve kiemelhető a gyökér mérsékelt N-, NO₃-N-, Ca-, Mg-, S-, Fe-, Al-, Mn-, Sr- és Ba-készlete. Dúsabb viszont K, P, Na, Cu és Se elemekben (8. táblázat).

8. táblázat

A légszáraz gyom és a sárgarépa átlagos összetétele szennyezetlen talajon
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhöröcsök, 1992)

(1) Elem jele	(2) Gyom hajtás* jún. 11-én	(3) Sárgarépalomb		(4) Srépa gyökér okt. 7-én
		jún. 29-én	okt. 7-én	
N, %	4,00	3,47	3,48	1,95
NO ₃ -N, %	0,10	0,87	0,88	0,13
Ca, %	3,86	3,15	4,99	0,35
K, %	4,10	2,51	0,42	1,24
Mg, %	0,86	0,57	0,73	0,21
P, %	0,52	0,37	0,14	0,35
S, %	0,34	0,55	0,32	0,18
Fe, mg/kg	823	113	633	58
Al, mg/kg	404	33	400	32
Na, mg/kg	170	4800	3090	6610
Mn, mg/kg	101	145	181	19
Sr, mg/kg	161	85	130	20
Zn, mg/kg	29	39	15	18
Ba, mg/kg	24	37	88	17
B, mg/kg	21	36	23	17
Cu, mg/kg	8	8	5	8
Co, mg/kg	0,5	0,0	0,4	0,3
Ni, mg/kg	1,4	0,2	0,7	0,3
Pb, mg/kg	0,9	0,3	0,8	0,5
Cr, mg/kg	0,2	0,1	0,5	0,0
Se, mg/kg	0,0	0,0	0,0	1,0

Megjegyzés: Az As-, Cd-, Hg- és Mo-koncentráció 0,1 mg/kg körül vagy alatt maradt. A sárgarépalomb optimális összetétele jún. 29-én gyökérvégződés előtt BERGMANN és NEUBERT (1976) szerint: N = 2–3 %, NO₃-N = 0,1–0,3 %, P = 0,2–0,4 %, K = 2,5–3,5 %, Ca = 1,5–3,5 %, Mg = 0,4–0,5 %, B = 30–200 ppm, Cu = 7–9 ppm, Fe = 120–300 ppm, Mn = 70–200 ppm, Mo = 0,5–1,5 ppm, Zn = 50–200 ppm.

* Uralkodó gyomfaj: *Amaranthus blitoides*, *Chenopodium album*

Kezelések hatása a sárgarépa gyökerének minőségére

A sárgarépa kiváló étrendi hatású gyökérvégződés és állati takarmány jelentős karotintartalommal, mely A-vitamin forrásul szolgálhat. Kérdés, vajon némely esszenciális elem, mely szennyezőként felhalmozódik a gyökérben, mennyiben

befolyásolja a karotinoidok mennyiségét és összetételét? A Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet Lipidkémiai Laboratóriumában elvégeztük a Mo-, Se- és Zn-kezelésekben termelt friss répagyökerek elemzését. Az elemzések céljára parcellánként 20–20 gyökeret választottunk (3 elem x 4 terhelési szint = 12 kezelés x 2 ismétlés = 24 parcella).

9. táblázat

A Mo-, Se- és Zn-terhelés hatása a sárgarépa gyökerének karotinoid-tartalmára, mg/kg friss anyagban
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1992. okt. 7.)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Béta-karotin</i>						
Mo	56	61	56	47	16	55
Se	55	64	75	66		65
Zn	54	57	79	71		65
<i>B. Alfa-karotin</i>						
Mo	35	43	38	28	14	36
Se	35	37	39	51		40
Zn	34	38	45	54		43
<i>C. Lutein</i>						
Mo	5,4	7,0	4,1	3,4	1,9	5,0
Se	5,2	5,4	6,0	6,3		5,7
Zn	5,0	5,6	6,5	9,2		6,6
<i>D. Összes karotinoid</i>						
Mo	96	109	98	79	23	96
Se	98	103	111	132		111
Zn	99	114	139	122		119

A karotinoidok vizsgálata előtérbe került sokoldalú biológiai funkciójukból eredően. Az újabb kutatások szerint ezek az anyagok nemcsak a fotoszintézist segítik elő a fény abszorpciójával és a fényenergia szállításával, hanem a klorofill oxidatív károsodása ellen is védelmet nyújtanak. Együtt képződnek a klorofillal és, mint antioxidánsok (H⁺ donorok), a telítetlen zsírsavakra is hatnak. Ezek a pigmentek zsírban oldódnak. A béta-karotin szimmetrikus felépítésű és így optikailag inaktív. Széthasítva két A-vitamint képezhet. Az alfa-karotin aszimmetrikus, optikailag aktív, a polarizált fényt jobban forgatja, de 50 %-kal kevesebb A-vitamin forrást jelent (BIACS et al., 1995).

Amint a 9. táblázatban látható, a gyökér viszonylag gazdag karotinoidokban, különösen a béta-karotin mennyisége számottevő. Mennyiségét a Mo-terhelés nem befolyásolta érdemben. Az extrém Se- és Zn-terhelés nyomán nőtt a koncentrációja a gyökér szöveteiben. Hasonló tendenciát mutat az alfa-karotin és a

lutein is, így az összes karotinoidok készlete emelkedő a Se- és Zn-adagokkal. Az extrém Mo-túlsúly ugyanakkor átlagosan mintegy 20 %-kal mérsékelte mind a béta- és alfa-karotin, mind a lutein mennyiségét, így az összes karotinoidok készletét is. Összefoglalóan megállapítható, hogy a mikroelemek túlsúlya, a szennyezés nemcsak a termés mennyiségét, ásványi összetételét változtathatja meg, hanem tükröződhet a termék egyéb minőségi jellemzőin is.

10. táblázat
Kezelések hatása a sárgarépa elemfelvételére betakarításkor
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{g%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Gyökérterméssel felvett, g/ha, 1992. okt. 7-én</i>						
Al	86	84	96	79	43	86
As	0	0	0	0	0	0
Ba	50	62	67	85	22	66
Cd	0	8	15	18	2	10
Cr	0	0	-	-	0	0
Cu	22	30	27	27	9	26
Hg	0	1	26	56	4	21
Mo	0	37	122	208	25	92
Ni	0	5	6	7	4	5
Pb	1	4	6	11	4	6
Se	2	90	80	-	10	64
Sr	70	66	70	109	22	79
Zn	48	50	65	100	20	66
<i>B. Lombterméssel felvett, g/ha, 1992. okt. 7-én</i>						
Al	472	680	745	918	494	704
As	0	0	2	6	2	2
Ba	92	119	125	137	44	119
Cd	0	4	8	18	3	8
Cr	1	3	-	-	1	2
Cu	7	11	11	19	4	14
Hg	0	2	7	19	4	7
Mo	0	111	294	476	32	220
Ni	0	2	6	13	3	5
Pb	1	4	6	11	4	6
Se	0	49	43	-	14	23
Sr	206	218	274	434	77	283
Zn	29	34	35	102	20	50

Megjegyzés: Az As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni és Se elemek felvett mennyisége 1 g/ha körüli mennyiséget tehet ki szennyezetlen talajon

A sárgarépa termésébe épült elemek mennyisége

A gyökér és a lomb termésébe épült elemek mennyiségéről a 10. táblázat nyújt áttekintést. A táblázat adatai iránymutatóul szolgálhatnak a divatos fitoremediáció témaköréhez, a talajtisztítás növények által történő végrehajtásához. A gyökér + hajtás együtt az alábbi maximális elemmennyiségeket vonta ki a talajból kísérleti körülményeink között: As és Cr: 3–6 g, Ni és Pb: 20–22 g, Cd: 36 g, Cu: 45 g, Hg: 75 g, Se: 140 g, Zn: 200 g, Ba: 280 g, Sr: 500 g, Mo: 700 g és Al: 1000 g/ha. A 810 kg/ha adaggal szennyezett talaj bioremediációjához tehát elvileg 810 kg:36 g = 22 500 esztendőre volna szükség. Nagyobb termésű és akkumulációs képességű növények esetén is hosszú évszázadokat je-

11. táblázat

A sárgarépa termésébe épült elemek átlagos és fajlagos mennyiségei szennyeztelen talajon betakarításkor, 1992. okt. 7-én (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Mérték- egység	(3) Lomb- termésben	(4) Gyökér- termésben	(5) Összes termésben	(6) Fajlagos* elemigény
N	kg/ha	44,4	51,7	96,1	53
NO ₃ -N	kg/ha	11,0	3,4	14,4	8
Ca	kg/ha	63,7	9,3	73,0	41
Mg	kg/ha	9,4	5,6	15,0	8
K	kg/ha	5,3	32,9	38,2	21
S	kg/ha	4,1	4,8	8,9	5
Na	kg/ha	3,9	17,5	21,4	12
P	kg/ha	1,8	9,3	11,1	6
Fe	g/ha	807	154	961	534
Al	g/ha	510	85	595	331
Mn	g/ha	231	50	281	156
Sr	g/ha	166	53	219	122
Ba	g/ha	112	45	157	87
Zn	g/ha	19	48	67	37
B	g/ha	29	45	74	41
Cu	g/ha	6	21	27	15
Pb	g/ha	1,0	1,3	2,3	1,3
Ni	g/ha	0,9	0,8	1,7	0,9
Cr	g/ha	0,6	0,0	0,6	0,3
Co	g/ha	0,5	0,8	1,3	0,7
Se	g/ha	0,0	2,6	2,6	1,4

Megjegyzés: 1,3 t/ha lomb, ill. 2,7 t/ha gyökér, azaz összesen 4 t/ha légszáraz hozammal számolva. Az As, Cd, Hg és Mo elemek felvett mennyisége feltehetően 1 g/ha körül vagy alatt. * Fajlagos elemigény: 10 t friss gyökértermés + a hozzá tartozó lombtermés elemigénye

lenthette az erősebben szennyezett területek ilyen módon való tisztítása. Problémát jelentene úgyszintén a szennyezett biomassza kezelése is, tehát ez az út csak kivételes körülmények között lehet reménykeltő. (Például enyhén szennyezett talajon hiperakkumulációra képes növényfaj termesztésével.)

A sárgarépa elemforgalmára vonatkozó adatainkat a 11. táblázatban foglaltuk össze. A mérések 25 tulajdonságra terjedtek ki a betakarításkori termés alapján, szennyezetlen talajviszonyok között. Az eredmények arra utalnak, hogy ha csak a gyökereket takarítjuk be, ill. a lombot a táblán leszántjuk, úgy a talaj csak mérsékelten szegényedik tápelemekben. Hasonló termés esetén a gyökérterméssel mindössze 52 kg N, 33 kg K, 18 kg Na, 9 kg Ca és P, 5–6 kg körüli Mg és S távozik a tábláról ha-onként. Az esszenciális makroelemek közül a N közel fele, a Mg nagyobb része, a Ca csaknem 4/5-e a lombtermésben van. A mikroelemek esetén csak a Zn, B és Cu épült be nagyobb mennyiségben a gyökérbe, míg a Fe, Al, Mn, Sr, Ba elemeket döntően a lomb tartalmazza.

A szaktanácsadás során, a tervezett termés tápelemigényének becslésekor a fajlagos, azaz a 10 t főtermés + a hozzá tartozó melléktermés elemigényével számolunk. Adataink szerint a sárgarépa fajlagos igényét az alábbiakban jellemezhetjük: 53 kg N, 41 kg Ca, 21 kg K (25 kg K₂O), 12 kg Na, 8 kg Mg és 6 kg P (15 kg P₂O₅).

Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet nagyhőrcsöki kísérleti telepén szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérletet állítottunk be 1991 tavaszán. A termőhely talajának szántott rétege mintegy 5 % CaCO₃-ot és 3 % humuszt tartalmazott, felvehető tápelemekkel való ellátottsága az alábbi volt: Ca és Mn igen jó, Mg és Cu kielégítő, N és K közepes, P és Zn gyenge. 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 x 4 = 52 kezelést két ismétlésben állítottuk be, összesen 104 parcellán, split-plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270, 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl₃, NaAsO₂, BaCl₂, CdSO₄, K₂CrO₄, CuSO₄, HgCl₂, (NH₄)₆Mo₇O₂₄, NiSO₄, Pb(NO₃)₂, Na₂SeO₃, SrSO₄ és ZnSO₄ formájában. A kísérlet 2. évében sárgarépát termesztettünk.

Eredményeinket az alábbiakban foglaljuk össze:

– A talaj eredeti NH₄-acetát + EDTA-oldható mikroelem készlete a terhelés nyomán megváltozott. Sok száz- vagy ezerszeres dúsulás a nyomokban előforduló elemeket érintette (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Se). A kísérlet olyan szennyezett-ségi szituációkat modellez, melyek ipari létesítmények, autóutak és települések szennyezett környezetében található, vagy fordulhatnak elő a jövőben.

– Erősen fitotoxikusnak mutatkozott a króm és a szelén növekvő terheléssel, mely a répa és a gyomállomány teljes pusztulását eredményezte már

fiatal korban. Mérsékelt toxicitást mutatott még az extrémebb As- és Hg-terhelés.

– Mind a répalomb és -gyökér, mind a gyomok hajtásában nagyságrendi vagy több nagyságrendi dúsulást azon elemek mutattak, melyek csak nyomokban fordulnak elő a szennyezetlen növényben: As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Se. Az uralkodó *Amaranthus* és *Chenopodium* gyomfajok alkalmasak a talajszennyezettség jellemzésére.

– A répa gyökere emberi és állati fogyasztásra alkalmatlanná vált a Cd-, Hg-, Mo-, Se- és Pb-kezelésekben. A normális összetételtől való eltérés, ill. az élelmiszerszabvány határkoncentrációinak túllépése a maximális Hg-, Mo- és Se-terhelés nyomán több ezerszeres, a Cd esetén 40–50-szeres, az Pb esetén 2–3-szoros volt.

– A Se- és Zn-terhelés nyomán nőtt mintegy 20 %-kal a répagyökér karotin-tartalma, míg az extrém Mo-túlsúly hasonló arányú csökkenést eredményezett. A talajszennyezés a termés minőségét, szerves összetevőit is befolyásolhatja.

– A szennyezett talajon termett répa gyökere és hajtása együtt mindössze 36 g/ha Cd-akkumulációra volt képes. Hasonló körülmények között a 810 kg/ha Cd-terhelés megszüntetése „bioremediációs” úton mintegy 22 ezer évet venne igénybe. Mivel az As- és Cr-felvétel pl. csak 3–6 g/ha közötti volt, ezen elemeknél a talajtisztítás már százezer év távlatába kerülhetne.

– A sárgarépa fajlagos tápelemigénye (10 t friss gyökértermés + a hozzá tartozó lomb összetétele alapján) az alábbiak adódott: 53 kg N, 41 kg Ca, 21 kg K (25 kg K₂O), 12 kg Na, 8 kg Mg, 6 kg P (15 kg P₂O₅). Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a műtrágyázási szaktanácsadás számára.

Irodalom

- BERGMANN, W. & NEUBERT, P., 1976. Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BIACS, P., DAOOD, H. G. & KÁDÁR, I., 1995. Effect of Mo, Se, Zn and Cr treatments on the yield, element concentration and carotenoid content of carrot. *J. Agric. Food Chem.* 43. 589–591.
- CSATHÓ P., 1994. A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA TAKI. Budapest.
- CSILLAG, J. et al., 1994. Study of heavy metal loading of soils in a model experiment. *Agrokémia és Talajtan.* 43. 196–210.
- FILEP Gy., 1988. Talajkémia. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- 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.

- 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. et al., 1993. Mobility of some heavy metals in soil–plant system studied on soil monoliths. *Water Sci. Tech.* **28**. 389–398.
- NÉMETH, T. et al., 1994. Model experiments to assess the fate of heavy metals in soils. *J. Environ. Geochem. Health.* **16**. 505–514.
- SIMON L., 1998. Talajszennyeződés, talajtisztítás. GATE Mezőgazdasági Főiskolai Kar. Nyíregyháza.
- SZABÓ S. A., GYÓRI D. & RÉGIUSNÉ M. Á., 1993. Mikroelemek a mezőgazdaságban. II. (Stimulatív hatású mikroelemek.) Akadémiai Kiadó. Budapest.
- SZÚCS L., 1965. A mészlepedékes csernozjomok osztályozásának továbbfejlesztése és alkalmazása. *Agrokémia és Talajtan.* **14**. 153–170.
- VÁRALLYAY, GY., 1990. Soil quality and land use. In: *State of the Hungarian Environment.* (Eds: HINRISCHEN, D. & ENYEDI, GY.) 91–124. Stat. Publ. House. Budapest.
- VERMES L., 1992. Hulladékgazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- VERMES L., 1994. A talajszennyezés néhány kérdése. *Talajvédelem.* II. (2) 86–93.

Érkezett: 1999. november 1.

Effect of Microelement Loads on the Yield of Carrots on Calcareous Chernozem Soil

¹I. KÁDÁR, ²L. RADICS and ³H. DAOOD

¹Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, ²Faculty of Horticulture, Szent István University, Budapest and ³Lipid Laboratory, Central Food Industry Research Institute, Budapest

Summary

A small-plot microelement 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 Nagyhorcsök. The ploughed layer of the growing site contained around 5% CaCO₃ and 3% humus, and was very well supplied with Ca and Mn, satisfactorily supplied with Mg 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. In the second year of the experiment carrots were grown.

The results of the experiment are summarized below:

– The original NH₄-acetate + EDTA-soluble microelement content of the soil changed as a result of the loads. The concentration of trace elements, such as As, Cd, Cr, Hg, Mo and Se, rose several hundred- or a thousandfold. The experiment models pollution situations already found or expected to occur in the future in the contaminated neighbourhood of industrial facilities, motorways and towns.

– Increasing doses of Cr and Se proved to be extremely phytotoxic, causing the complete destruction of both the carrot crop and the weed stand in the seedling stage. Higher rates of As and Hg also exhibited moderate toxicity.

– In both the foliage and roots of carrot and in the shoots of weeds the concentrations of elements present only in traces in unpolluted plants (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni and Se) increased by an order or several orders of magnitude. The dominant weed species, *Amaranthus* and *Chenopodium* were suitable for the indication of soil pollution.

– The carrots became unfit for human or animal consumption in the Cd, Hg, Mo, Se and Pb treatments. The deviation from the normal composition, or from the concentration limits laid down in the food standards was several thousandfold after the maximum dose of Hg, Mo and Se, 40–50-fold for Cd and 2–3-fold for Pb.

– In the Se and Zn treatments there was an increase of some 20% in the carotene content of the carrots, while the extreme rate of Mo caused a decrease of a similar extent. Soil pollution also influenced the quality and organic components of the yield.

– The roots and shoots of carrots grown on polluted soil only accumulated a total of 36 g/ha Cd. This means that some 22,000 years would be required to eliminate 810

kg/ha Cd pollution through bioremediation. Since the uptake of As and Cr was only 3–6 g/ha, cleansing the soil from these pollutants would take something like a hundred thousand years.

– The specific nutrient requirements of carrot (in terms of 10 t fresh carrots + the relevant foliage) were found to be: 53 kg N, 41 kg Ca, 21 kg K (25 kg K₂O), 12 kg Na, 8 kg Mg, 6 kg P (15 kg P₂O₅). These data could serve as guidelines for the fertilization advisory service.

Table 1. Single rates of loads applied in the experiment in 1991 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Element symbol. (2) Rates in spring 1991, kg/ha. (3) Form of applied salts.

Table 2. Precipitation sums for months, quarters, years and vegetation periods (mm) (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1991–1994). (1) Months. a) First quarter; b) second quarter; c) third quarter; d) fourth quarter; e) Annual sum; f) between April and September. (2) Average over many years. Note: 50-year average at the nearest meteorological station (Sárbogárd).

Table 3. Effect of the treatments on the available element contents of the ploughed layer (NH₄-acetate+EDTA dissolution, mg/kg on Nov. 2 1992) (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Element. (2) Quantity applied in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. Note: The values of As, Cd, Cr, Hg, Mo and Se measured on the control soil were around 0.1–0.2 mg/kg or below the detection limit.

Table 4. Effect of toxic treatments on the carrots and on the weed cover (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, June 9 1992). (1)–(4): see Table 3. A. Weed + carrot cover, %. B. Weed cover, %. C. Carrot cover, %. D. *Amaranthus blitoides*, %. E. Green carrot foliage, t/ha. Note: Sampling 2 weeks after herbicide treatment, on June 29 1992.

Table 5. Effect of the treatments on the composition of the weeds and the carrot shoots (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, 1992). (1)–(4): see Table 3. A. Air-dry weed shoots, June 11, mg/kg. B. Air-dry carrot foliage, June 29, mg/kg. Note: - the vegetation died.

Table 6. Effect of the treatments on the root yield of carrot at harvesting (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök, Oct. 7 1992). (1)–(4): see Table 3. A. Fresh root mass, t/ha. B. Carrots, 1000/ha. C. Fresh root, g/carrot. Note: The carrots contained an average of 18% air-dry matter and the foliage 30%. The fresh mass of the foliage averaged 4–5 t/ha.

Table 7. Effect of the treatments on the composition of carrot at harvesting (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1)–(4): see Table 3. A. Air-dry foliage, Oct. 7 1992, mg/kg. B. Air-dry roots, Oct. 7 1992, mg/kg. Note: - the plant died.

Table 8. Mean composition of air-dry weeds and carrots on unpolluted soil (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Element. (2) Weed shoot, June 11. (3) Carrot foliage, June 29 and Oct. 7. (4) Carrot root, Oct. 7. Note: The concentrations of As, Cd, Hg and Mo were around or below 0.1 mg/kg. According to BERGMANN and NEUBERT (1976), the optimum composition of carrot foliage on June 29 prior to root formation is: N = 2–3 %, NO₃-N = 0.1–0.3 %, P = 0.2–0.4 %, K = 2.5–3.5 %, Ca = 1.5–3.5 %, Mg = 0.4–0.5 %, B = 30–200 ppm, Cu = 7–9 ppm, Fe = 120–300 ppm, Mn = 70–200 ppm, Mo = 0.5–1.5 ppm, Zn = 50–200 ppm. *Dominant weed species: *Amaranthus blitoides*, *Chenopodium album*.

Table 9. Effect of Mo, Se and Zn loads on the carotenoid content of carrot roots, mg/kg fresh material (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, Oct. 7 1992). (1)–(4): see Table 3. A. Beta-carotene. B. Alpha-carotene. C. Lutein. D. Total carotenoids.

Table 10. Effect of the treatments on the element uptake of carrots at harvesting (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 3. A. Taken up by the root yield, g/ha, Oct. 7 1992. B. Taken up with the foliage yield, g/ha, Oct. 7 1992. Note: The quantities of As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni and Se absorbed was around 1 g/ha on unpolluted soil.

Table 11. Mean and specific quantities of elements incorporated into the carrot yield on unpolluted soil at harvesting, Oct. 7 1992 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, 1992). (1) Element. (2) Unit. (3) In the foliage. (4) In the roots. (5) In the whole yield. (6) Specific element requirements. Note: Calculated for 1.3 t/ha foliage and 2.7 t/ha roots, i.e. a total of 4 t/ha air-dry yield. The quantities of As, Cd, Hg and Mo taken up were presumably below or around 1 g/ha. *Specific element requirements: element requirements of 10 t fresh carrots + the relevant foliage.