

Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépára (*Daucus carota* L.) karbonátos homoktalajon

KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

Összefoglalás

Karbonátos Duna-Tisza közti homoktalajon vizsgáltuk a 0, 30, 90, 270 kg/ha mikroelemterhelés hatását a sárgarépára. A mikroelemek sóit egyízben a kísérlet indulásakor 1995. tavaszán szórtuk ki $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CuSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , ZnSO_4 formájában. A 6 elem \times 4 terhelés = 24 kezelés \times 3 ismétlés = 72 parcellát jelentett $7 \times 5 = 35 \text{ m}^2$ parcellákkal. Termőhely a homoktalajokra jellemzően rossz vízgazdálkodású, aszályérzékeny és az NPK főbb tápelemekkel gyengén ellátott. A szántott réteg 0,7–1,0% humuszt, 2–3% CaCO_3 -ot tartalmaz, a talajvíz 5–10 m mélyen található. Alaptrágyaként 100 kg/ha N, 100 kg/ha P_2O_5 és 100 kg/ha K_2O hatóanyagot alkalmazunk évente az egész kísérletben. Főbb eredmények:

1. A sárgarépa 6 hónapos tenyészideje alatt mindössze 234 mm csapadékot kapott. Aszályos volt a július és augusztus, tehát az intenzív gyökerfejlődés időszaka. Az alkalmazott mikroelemek közül hatástalan volt a Cr(III), Cu és Pb. A Zn depresszív hatása a nagyobb 90 kg/ha, illetve 270 kg/ha terhelésnél jelentkezett. A Cr(VI) és Se toxicitása már kifejezett volt a 30 kg/ha terhelésnél, illetve az e feletti adagok a növényállomány kiritkulásához és pusztulásához vezettek. A nagyobb Cr(VI) és Se terhelés nyomán a gyomfajok is eltűntek, a talaj terméketlenné vált.
2. A június 6-án vett fiatal lombban egy nagyságrenddel nőtt a Se, Cr, Cu, Pb koncentrációja a kontrollhoz viszonyítva, míg a hajtás Zn-tartalma megőszöröződött. Beta-karítás idején szeptember 11-én a koncentrációk általában csökkentek. Kivételt a Se jelentett, mely mintegy 3-szorosára emelkedett a megfelelő kezelésekben. A gyökér Cr, Cu, Se tartalma kisebb volt mint a lombé, némileg védettebb volt az elemdúsulásokkal szemben. Az Pb és Zn átlagos tartalma viszont a lomb összetételétől érdemben

- nem különbözött. A toxikus Cr(VI) kezelésben termett gyökér és lomb Cr-tartalma átlagosan 50%-kal meghaladta a Cr(III) kezelésben fejlődött répáét.
3. Szennyezetlen kontroll talajon a 20 t/ha körüli gyökér + 5 t/ha friss lombtermés 88 kg K; 57 kg Ca; 54 kg N; 14 kg Mg, Na és P; 11 kg S; 5–6 kg Fe és Al felvételt mutatott. A B 145 g, Zn 41 g, Cu 27 g mennyiségnek adódott. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a sárgarépa elemigényének számításakor a szaktanácsadásban.
 4. A szántott réteg cc.HNO₃+cc.H₂O₂ feltárással becsült „összes” Cr, Pb, Cu és Zn tartalma jól tükrözte a bevitt mennyiségeket, a terhelést. A Se esetében mintegy 50%-os dúsulást jelzett a talajvizsgálat az 1. év után. A vízdoldható szelenát esővízzel a szántott réteg alá mosódhatott, illetve részben légköri elillanást szenvedhetett. A téma további vizsgálatokat igényel.
 5. Szennyezett talajon, a Cr(VI) és Se kezeléseknél, a 3 g/ha Cr és 51 g/ha Se felvételi maximumokat a 30 kg/ha kezelésben kaptuk. Változatlan feltételek esetén a 30 kg/ha Cr fitoremediációja 10 ezer, a 30 kg/ha Se felvétele 585 évet venne igénybe. A termésökkenést nem okozó Cr(III), Pb, Cu, Zn kezeléseknél a 270 kg/ha elemfelvétel kereken 17 ezer Cr-évet, 10 ezer Pb-évet, 4 ezer Cu-évet és 1570 Zn-évet igényelne. A pontszerű erősebb szennyezéskor a fitoremediáció nem lehet reális alternatíva még megfelelő hiperakkumulátor növényi faj esetében sem.
 6. A sárgarépa gyökere mind élelmezési, mind takarmányozási célokra alkalmatlanná vált a káros Pb és Se elem dúsulás miatt.

Kulcsszavak: sárgarépa, mikroelemterhelés, karbonátos homoktalaj, toxicitás, elem dúsulások

The effect of microelement load on carrot (*Daucus carota* L.) on calcareous sandy soil

I. KÁDÁR

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

Summary

We examined the effect of 0, 30, 90, 270 kg ha⁻¹ microelement loads on carrot on calcareous sandy soil in the Danube-Tisza mid-region. We applied the salts of microelements at the

beginning of the experiment in $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CuSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 and ZnSO_4 forms in the spring of 1995. 6 elements \times 4 loads = 24 treatments \times 3 replications meant 72 plots of $7 \times 5 = 35 \text{ m}^2$ size. As it can be expected of sandy soils, the production site has bad water management, it is drought-sensitive and it is weakly supplied with NPK. The ploughed layer contains 0.7–1.0% humus, 2–3% CaCO_3 . The soil water is at a depth of 5–10 m. As a basic fertiliser, we applied $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ and $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ in the whole experiment every year. Main results:

1. During the six months long growing period of carrot, there was only 234 mm precipitation. July and August (the period of intensive root development) were droughty. Of the applied microelement salts, Cr (III), Cu and Pb were ineffective. The depressive effect of Zn could be observed in the case of 90 kg ha^{-1} and 270 kg ha^{-1} loads. The toxicity of Cr (VI) and Se was more expressed in the case of 30 kg ha^{-1} load, whereas doses above this led to the reduction of plant number and dying out of plants. As a result of higher Cr (VI) and Se loads, even weed species disappeared and the soil became infertile.
2. In the sample taken from a young leaf on 6th June, the amount of Se, Cr, Cu and Pb was higher by one magnitude than the control plant, whereas the Zn content of the shoot became five times higher. During harvest, on 11th September, the concentrations decreased in general. Se was an exception, as its amount increased by three times its previous value in the respective treatments. The Cr, Cu and Se content of the root was lower than that of the leaves, it was somewhat more protected from element enrichment. Nonetheless, the average Pb and Zn content did not significantly differ from the leaves' Pb and Zn content. The Cr content of the roots and leaves produced in the toxic Cr (VI) treatment exceeded the Cr content of the carrot grown in the Cr (III) treatment.
3. On unpolluted control soil, the root yield around 20 t ha^{-1} + 5 t ha^{-1} fresh leaf yield indicated the following uptakes: 88 kg K; 57 kg Ca; 54 kg N; 14 kg Mg, Na and P; 11 kg S; 5–6 kg Fe and Al. Furthermore, we measured the following amounts: B: 145 g, Zn: 41 g, Cu: 27 g. Our data can serve as a guide in calculating the element demand of carrot in technical advice.
4. The "total" Cr, Pb, Cu and Zn content of the ploughed layer estimated with $\text{cc. HNO}_3 + \text{cc. H}_2\text{O}_2$ exploration well represented the amounts applied, the load. As for Se, the soil analysis indicated a 50% enrichment after the first year. The watersoluble selenate might have leached under the ploughed layer or it might have partially escaped into the air. This issue calls for further analyses.
5. On polluted soil in Cr (VI) and Se treatments, we obtained the uptake maxima of

3 g ha⁻¹ Cr and 51 g ha⁻¹ Se in the 30 kg ha⁻¹ treatment. In the case of unchanged conditions, the phytoremediation of 30 kg ha⁻¹ Se, Cr would take ten thousand years, whereas the uptake of 30 kg ha⁻¹ would require 585 years. In the Cr (III), Pb, Cu and Zn treatments (which do not cause yield loss), the 270 kg ha⁻¹ element uptake would take 17 thousand Cr years, ten thousand Pb years, four thousand Cu years and 1570 Zn years. As regards a stronger, point source pollution, phytoremediation cannot be a real alternative, even in the case of a suitable hyperaccumulator plant species.

6. The carrot root became unsuitable both for human and animal consumption, due to the harmful Pb and Se element enrichment.

Key words: carrot, microelement loads, calcareous sandy soil, toxicity, element accumulation

Bevezetés és irodalmi áttekintés

Korábban részletesen áttekintettük a talajszennyezés, illetve tágabb értelemben a tápláléklánc szennyeződésének problémáit és megfogalmaztuk a nehézfémkutatások jelenkori feladatait Magyarországon (Kádár 1999). A mezőföldi mészlepedékes csernozjom vályogtalajon 13 mikroelemmel beállított szabadföldi tartamkísérletben egy sor szántóföldi kultúra reakcióját kísértük figyelemmel az elmúlt évtizedben. A kísérlet 10. évét követően a mikroelemek talajbani bemosódását is nyomon követtük a talajprofilban (Kádár és Németh 2003).

Sajnos a hasonló tartamjellegű kísérletek a nemzetközi irodalomban is szinte hiányoznak. A szennyvíziszapokkal folyó kísérletekben ugyanis nem választható szét szabatosan az egyes komponensek hatása, nem állapíthatók meg toxicitási határértékek az egyes elemekre vagy ionformákra stb. Ehhez tiszta hatásgörbe kísérletekre van szükség elemenként, ahol végigkísérhető a növény fejlődése a mérgezés során, a termés és a növényanalízis adataiból pedig a transzfer-koefficiens is megállapítható. Tenyészedény kísérleteket ugyan nagy számban végeztek fémsókkal, de ezekben a veszélyt túlbecsülik, hiszen a szűk talaj/gyökér arány miatt intenzívebb a felvétel. A kommunális iszapoknál viszont szabadföldön még extrém, 500 t/ha adag felett is ritka a toxicitás, amennyiben a talaj pH értéke 5,5 feletti (Chang *et al.* 1992, Bridge 1995, Schmidt 1997, McGrath *et al.* 1994, Kádár és Morvai 2008).

Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (USEPA) a Mezőgazdasági Minisztériummal (USDA) egyetértésben újraszabályozta a szennyvíziszapok

elhelyezésének előírásait. 1993 óta az USEPA-503 sz. rendelete a talajterhelési határértékeket számos esetben megemelte és olyan mérvű fémakkumulációt engedélyez, mely 1 vagy 2 nagyságrenddel lépi túl a talajok természetes készletét, ill. amely az európai szabályok szerint már szennyezésnek minősül és beavatkozást igényelne. Így pl. 40 kg/ha körüli As és Cd, 100 kg/ha Se, 1500 kg/ha Cu, 3000 kg/ha körüli Zn és Cr terhelés még elfogadható (*Bridge* 1995).

A túl liberális szabályozást számosan megkérdőjelezzik. Érvelésük szerint az iszapok adszorpcióis tulajdonságai csak átmenetileg gátolják a legtöbb mikroelem extrémebb növényi felvételét a szervesanyagbani megkötődés miatt. Ez a védelem nem állandó és nem effektív minden elemre, növényre, talajra. Az USEPA főként a kukoricát vette alapul, amelyre sok adat gyűlt össze. Ezzel alábecsülte a többi növény érzékenységét, hiszen a kukorica viszonylag fémtűrő és képes mély gyökereket fejleszteni, áthatolva a szennyezett talajrétegen. Az iszapokkal bevitt fémek idővel felvehetőbbekké válhatnak esetleg a még el nem savanyodott talajban is (amikor az összes elemkészlet határérték alatti), az érzékeny növényeket és talajmikroorganizmusokat károsítva.

Saját vizsgálataink többirányú célt követnek. A társtudományok képviselőinek bevonásával az alábbi problémák felvetését kezdeményeztük:

- Egyes elemek viselkedése a talajban: megkötődés, kilúgzás, talajbani átalakulás;
- Egyes elemek hatása a talajéletre: talajbiológiai aktivitás változása, talajlakó mikroszervezetek populációjának alakulása, rhizoszféra vizsgálatok stb.;
- Egyes elemek hatása a növényekre: termés, minőség, betegség-ellenállóság, gyomosodás alakulása; szárazság- és fagytürés, megdőlési hajlam változása;
- Egyes elemek akkumulációja a növényi szövetekben, transzportja. Fitotoxicitási határkoncentrációk megállapítása növényfajra;
- A kísérletben termelt szennyezett növényi anyaggal állatetelési kísérletek végzése, ill. az egyes elemek mozgásának figyelemmel kísérése a talaj-növény-állat rendszerben.

Ezúton a karbonátos homoktalajon beállított terhelési kísérletet ismertetjük. A kísérlet olyan talajszennyezettségi szinteket reprezentál, melyek ipari létesítmények, autópályák és települések szennyezett környezetében ma is előfordulnak, vagy a jövőben előfordulhatnak. Szennyező forrásul ásványi sókat alkalmaztunk lehetőleg oldható formában, hogy a potenciális toxicitás jobban

vizsgálható legyen. Döntő jelentőségű ugyanis az ionos formák talajbani átalakulásának megismerése. Az első évben a sárgarépa fejlődését, termésének és összetételének alakulását vizsgáljuk szennyezett talajon, növekvő Cr(VI), Cr(III), Cu, Pb és Zn sóterhelést alkalmazva. Kiemelt figyelmet fordítunk a sóformákra. Ismert, hogy a Cr(III) vegyületei nem mérgezőek.

A bõrgyári szennyvíziszap akár %-os mennyiségben tartalmazhat Cr-ot, melyet trágyaként adva még az extrém nagy, több száz kg/ha Cr-terhelés sem okoz termésesökkenést vagy érdemi Cr-dúsulást a növényben (*Debreczeni és Izsáki 1985, Izsáki és Debreczeni 1987, Kádár és Morvai 2007, 2008*). A Cr(III) forma az általános vélemény szerint nem jelent veszélyt a tápláléklánra, a kilúgzásnak sincs alávetve.

Mi történik azonban, ha idővel az iszap szervesanyaga elbomlik a talajban? Mennyiben alakulhat át idővel, oxidatív körülmények között mobilis és toxikus Cr(VI) formává? Pl. egy jól szellőzött meszes homoktalajban? A választ csak a szabadföldi tartamkísérletekben végzett vizsgálatok adhatják meg. A kérdés a nemzetközi irodalomban sem tisztázott.

Mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon a Cr(VI) formát alkalmaztuk K_2CrO_4 só alakjában. A Cr(VI) a humuszos feltalajban részben Cr(III) formában megkötődött, redukálódott. Más része viszont a mélyebb rétegekbe mosódott, ahol kicsi a szervesanyag mennyisége és mészben igen gazdag, ezért nem tud Cr(III) formává alakulni. Idővel ha eléri a talajvizet, ott évtizedeken keresztül potenciálisan mérgező maradhat.

Cr(VI) keletkezhet a Cr(III) tartalmú hulladékok elégetésekor, ezért nem javasolt pl. a bõrgyári hulladékok égetése (*Prokisch 2007*).

Anyag és módszer

Kísérletünket 1995. tavaszán állítottuk be az MTA TAKI Órbottyán kísérleti telepén, mely a Duna-Tisza közi homokhátság északi részén, gödöllői dombvidék pereméhez közel helyezkedik el. A talajvíz tükre 5–10 m mélyen található, a talajképződési folyamatokat, illetve a trágyahatásokat nem befolyásolja. Termőhely a homoktalajokra jellemzően rossz vízgazdálkodású, aszály-érzékeny, heterogén és az NPK főbb tápelemekkel gyengén ellátott. A szántott réteg 0,7–1,0% humuszt és 2–3% $CaCO_3$ -ot tartalmaz. A humuszos réteg az 1 m mélységig terjed. A $CaCO_3$ mennyisége a 2 m körüli mélységben elérheti a 10%-ot. A pH (H_2O) 7,2–7,3, a pH (KCl) 7,0 körüli átlagosan a feltalajban, a KA 25–26.

Az alkalmazott mikroelemek sóit egy ízben, a kísérlet indulásakor 1995. tavaszán juttattuk ki $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CuSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , ZnSO_4 formájában. Az adagok 0, 30, 90, 270 kg/ha elemterhelést jelentettek. A 6 elem \times 4 terhelési szint = 24 kezelést 3 ismétlésben állítottuk be 72 parcellán. A parcellák mérete $7 \times 5 = 35 \text{ m}^2$, összes területük 2520 m². A parcellákat oldalirányban 1-1 m, hosszirányban (művelés iránya) 2-2 m út választja el egymástól a jobb megközelíthetőség és a talajáthordás megakadályozása céljából. Az utak és szegélyek területe 1736 m², a kísérlet teljes területe 4256 m². Kezeléseket és az alkalmazott sóformákat, adagokat az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat. A mikroelem-terhelési kísérlet kezelései 1995-ben
(Karbonátos homoktalaj, Örbottyán, Duna-Tisza köze)

Elem jele (1)	Terhelés elemben, kg/ha 1995 tavaszán (2)				Alkalmazott sók formája (3)
	1	2	3	4	
Cr(III)	0	30	90	270	$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$
Cr(VI)	0	30	90	270	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Cu	0	30	90	270	CuSO_4
Pb	0	30	90	270	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
Se	0	30	90	270	Na_2SeO_3
Zn	0	30	90	270	ZnSO_4

Kísérleti növény: sárgarépa. Összes parcellaszám: $6 \times 4 = 24$ kezelés \times 3 ismétlés = 72. Parcellák mérete 35 m.

Table 1. The treatments of microelement load experiment in 1995 (Calcareous sandy soil, Örbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Element, (2) Element load, kg ha⁻¹, spring, 1995, (3) Form of applied salts. Experimental crop: carrot. Total number of plots: $6 \times 4 = 24$ treatments \times 3 replications = 72. Plot sizes: 35 m.

Alaptrágyaként évente 100 kg N, 100 kg P₂O₅ és 100 kg K₂O hatóanyagot alkalmazunk egységesen az egész kísérletben NH₄NO₃, szuperfoszfát, illetve kálics formájában. A N műtrágyát megosztva felét ősszel a PK műtrágyával együtt szántás előtt szórjuk ki, míg a N másik felét tavasszal vetés előtt (tavaszi növények) vagy fejtrágyaként (őszi vetésű növények) juttatjuk ki. Talajművelés az üzemekben szokásos módon történik. Talajfertőtlenítést és vegyszeres gyomirtást általában nem végzünk. A növényállomány fejlődését, illetve a kezelés hatásokat nyomon követve többszöri bonitálásra is sor kerülhet a tenyészdő során. A Vörös Óriás fajtájú sárgarépat március 22-én vetettük el 4 kg/ha vető-

maggal 40 cm sortávra, majd kelés után 10–15 cm tőtávolságra egyeltük és sor-
közök kapálásával az állományt gyommentesen tartottuk. A betakarítás szeptem-
ber 14-én történt. A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről
a 2. táblázat tájékoztat.

2. táblázat. A sárgarépa kísérletben végzett műveletek és megfigyelések
1995-ben

(Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)

Műveletek és megfigyelések (1)	Hónap nap (2)	Megjegyzés (3)
1. Alapműtrágyázás (4)	03. 06.	Parcellánként kézzel (16)
2. Mikroelem-sók kiszórása (5)	03. 06.	Parcellánként kézzel (16)
3. Kombinátorozás (6)	03. 09.	MTZ-50 + kombinátor (17)
4. Vetés + magtakarás (7)	03. 22.	Kézi vetőgép + kézi henger (18)
5. Bonitálás fejlettségre (8)	05. 30.	Parcellánként 1–5 skálán (19)
6. Gyomfelvételezés (9)	06. 01.	Parcellánkénti borítottóság, % (20)
7. Gyomtalanítás (10)	06. 02.	Kézi kapálás parcellánként (21)
8. Hajtás mintavétel (11)	06. 06.	Nettó parcellánként 20–20 db (22)
9. Bonitálás fejlettségre (8)	07. 03.	Parcellánként 1–5 skálán (19)
10. Gyomtalanítás (10)	09. 05.	Kézi kapálás parcellánként (21)
11. Bonitálás fejlettségre (8)	09. 11.	Parcellánként 1–5 skálán (19)
12. Mintavétel betakarításkor (12)	09. 12.	Parcellánként 20–20 db lomb + gyökér (23)
13. Betakarítás (teljes termés) (13)	09. 14.	Parcellánként kézzel lomb + gyökér (24)
14. Talajmintavétel (0–20 cm) (14)	09. 25.	Nettó parcellánként 20–20 pontban (25)
15. Növényminták feldolgozása (15)	10. 04.	Szárítás, darálás, mérés (26)

Vetés: Vörös Óriás fajttal, 4 kg/ha vetőmagnorma felhasználásával, 40 cm sor és egyelés után 10–12 cm tőtávra beállítva.

Table 2. Operations and observation in the carrot experiment carried out in 1995, (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Operations and observations, (2) Month, day, (3) Notes, (4) Basic fertilisation, (5) Application of microelement salts, (6) Using combinator, (7) Sowing + preparation of seed cover, (8) Classification in terms of development stage, (9) Observing weed status, (10) Weeding, (11) Taking shoot samples, (12) Taking samples during harvest, (13) Harvesting (total yield), (14) Taking soil samples (0–20 cm), (15) Processing crop samples, (16) Manually per plot, (17) MTZ-50 + combinator, (18) Manual sowing machine + manual roll, (19) On a scale from 1–5 per plot, (20) Coverage per plot, %, (21) Manual hoeing per plot, (22) 20–20 pcs per net plot, (23) 20–20 leaves + roots per plot, (24) Manually, leaves+roots per plot, (25) In 20–20 points per net plot, (26) Drying, grinding, measurement. Sowing: Using Vörös Óriás cultivar, 4 kg ha⁻¹ sowing seed, 40 cm wide rows and 10–12 cm stem distance after rarefying.

Mintafelvétel az alábbiak szerint történik. Kapás kultúrákban a nettó parcella területéről szedett átlagminta minimum 20 egyedből vagy növényi részből áll. Kalászos kultúrákban $2 \times 4 = 8 \text{ fm} = 1 \text{ m}^2$ földfeletti növényi anyag képviseli az átlagmintát, reprezentálva a nettó parcella állományát a szem/szalma arány, illetve a növényi összetétel megállapítása céljából. Talajmintavétel a szántott rétegből 20 pontminta/lefűrés egyesítésével történik a nettó parcellák területéről. A mikroelemek kilúgzásának nyomon követésére esetenként mélyfűrésokra kerül sor. Megemlítjük, hogy a növényminták mosására nem kerül sor, így a porszennyezés lehetősége nem zárható ki a szennyezett talajfelszínből eredően.

A talajok alapvizsgálatait a *MÉM NAK* (1978), illetve *Baranyai et al.* (1987) által ismertetett módon végezzük. A $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ feltárással becsült „összes” elemtartalmat az *MSZ 21470-50* (2006) sz. szabvány szerint határozzuk meg. Az NH_4 -acetát+EDTA oldható elemtartalmakat *Lakanen és Erviö* (1971) módszerével, a N-t $\text{cc.H}_2\text{SO}_4 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ feltárással az *ISO 11261* (1995) szerint módosított *Kjeldahl* (1891) eljárással vizsgáljuk. A növénymintákat szintén $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ elegyével roncsoljuk, illetve a N-tartalmat *Kjeldahl* módszere nyomán határoztuk meg. Rutinszerűen 20–25 elemet vizsgálunk a talajban és a növényi anyagban ICP technikát alkalmazva. A laborvizsgálatokat megelőzően a talaj- és növényminták 40–50 °C-on való szárítását és homogenizálását a kísérleti telepen végzik.

A kísérleti terület márciusban 33, áprilisban 38, májusban 37, júniusban 89, júliusban 30, augusztusban 7 mm, azaz a tenyészidő 6 hónapja alatt mindösszesen 234 mm esőt kapott. A nyári szárazság miatt a sárgarépa fejlődésben visszamaradt és a szennyezetlen talajon is csak mérsékelt 20 t/ha körüli friss gyökértermést adott. Ismert, hogy a növény maximális víz- és tápelemigénye éppen az intenzív gyökérfejlődés idején július, augusztus, szeptember hónapokban jelentkezik. A tenyészidő alatt kívánatos a 400 mm körüli csapadékellátottság.

Eredmények értékelése

Az alkalmazott 6 mikroelemsó közül a sárgarépa fejlődésére toxikusnak a Cr(VI), Se és Zn kezelés mutatkozott. A Cr(III) és a Zn depresszív hatása csak a legnagyobb 270 kg/ha terhelésnél volt szignifikáns az állománybonitálások és a növényborítás adatai szerint. A Cr(VI) és a Se kezelések mérgező hatása

már a legkisebb 30 kg/ha adagnál nyomon követhető, a 90 kg/ha terhelés pedig az állomány kiritkulásához és részbeni pusztulásához vezetett a fiatal korban. Amint a 3. táblázatban megfigyelhető, június elején a növényborítás szennyeztelen talajon 16–18%-ot ért el, mely a 30 kg/ha Cr(VI) és Se terhelésnél 5% körüli értékre zuhant. A Zn-terhelés depresszív hatása csak a 270 kg/ha adagnál igazolható. A gyomborítás 4% volt a kontroll talajon. Az előforduló főbb gyomfajok átlagos borítottsága csökkenő sorrendben az alábbiak adódott: disznóparéj fajok 1,2%, újjas muhar 1,1%, parlagfű 0,5%, fehér libatop 0,5%, ugari szulák 0,4%. A sárgarépához hasonlóan a Cr(VI) és Se kezelés 90 kg/ha, illetve a 270 kg/ha adagja a gyomok teljes pusztulását eredményezte. A Cr(III) és a Zn kezeléseknél ugyanakkor a gyomborítottság igazolhatóan nem mérséklődött (3. táblázat).

A betakarításkori gyökertermés 16–23 t/ha között ingadozott a szennyeztelen talajon. A 90 kg/ha terhelésnél a termések látványosan csökkentek, főként a Cr(VI) és Se kezeléseknél. A lombtermés 4–6 t/ha volt a kontroll talajon és szintén drasztikus csökkenést mutatott a 90 kg/ha Cr(VI) és Se kezeléseknél, míg a 270 kg/ha terhelés mind a gyökér, mind a hajtás pusztulását eredményezte. Utóbbi esetben a talaj teljesen terméketlenné vált. A gyökér/lomb arányának szűkülése arra utal, hogy a mérgezést a gyökér kifejezettebben jelzi mindhárom kezelésben. A gyökér és a lomb szárazanyag tartalma kisebb volt a mérgezett növényekben, amennyiben ezek a növények kicsik, ritkák és fejlődésben visszamaradtak voltak. A toxicitást főként a tőszámcsökkenés, a kiritkulás mutatta. A Se esetében a mérsékelt mérgezésnél a megmaradt gyökerek tömege megkétszereződött a kontrollhoz képest. A Zn szennyezés nem módosította a gyökértömeget. Csupán a 270 kg/ha Cr(VI) és Se adagú parcellán talált néhány túlélő gyökér tömege csökkent látványosan. A Cr(III), Cu és Pb kezeléseknél hatástalannak bizonyultak a növények fejlődésére és termésének alakulására. Szignifikánsan nem tértek el a kontrolltól, ezért részletes közléstől eltekintünk (4. táblázat).

A fiatal lomb június 6-án, a gyökérbővízés kezdetén nagymennyiségű mikroelemet halmozott fel. A Cr(VI) toxikusabb forma mintegy 50%-kal több Cr-felvétellel járt együtt a Cr(III) formához viszonyítva, a kezeléseknél átlagában. Nagyságrenddel nőtt a Cu, Pb, Se elemek koncentrációja is a kontrollhoz viszonyítva. A Se-tartalom 56-szorosára, míg a Zn-tartalom 4–5-szörösére emelkedett. Betakarítás idején a koncentrációk általában hígulnak. Kivételt a Se képez, mely mintegy megháromszorozódik a megfelelő kezeléseknél.

3. táblázat. *Toxikus kezelések hatása a sárgarépa fejlődésére, gyomosodására és termésére*
(Karbonátos homoktalajon, Órbottyán, Duna-Tisza köze)

Kezelés jele (1)	Terhelés kg/ha 1995 tavaszán (2)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
Bonitálás fejlettsége 1995. 05. 30-án (5)						
Cr(III)	3,3	3,3	3,3	2,0		3,0
Cr(VI)	3,0	2,0	1,0	1,0	1,3	1,8
Se	3,7	2,0	1,0	1,0		1,9
Zn	3,7	4,0	2,7	1,7		3,0
Bonitálás fejlettsége 1995. 07. 03-án (6)						
Cr(III)	4,0	4,0	3,7	3,3		3,8
Cr(VI)	4,0	2,0	1,0	1,0	1,3	2,0
Se	4,3	2,7	1,3	1,0		2,3
Zn	4,0	4,3	3,7	2,0		3,5
Bonitálás fejlettsége 1995. 09. 11-én (7)						
Cr(III)	3,7	4,3	4,0	2,7		3,7
Cr(VI)	3,7	2,0	1,0	1,0	1,8	1,9
Se	4,0	3,0	1,3	1,0		2,3
Zn	4,3	4,3	2,3	1,7		3,2
Növényborítottság 1995. 06. 01-én, % (8)						
Cr(III)	17	19	16	15		17
Cr(VI)	17	5	1	1	8	6
Se	16	5	1	1		8
Zn	18	18	13	7		14
Ebből gyomborítottság 1995. 06. 01-én, % (9)						
Cr(III)	3,7	3,6	3,5	2,4		3,3
Cr(VI)	4,7	1,0	0,0	0,0	2,0	1,4
Se	4,0	2,1	0,0	0,0		1,5
Zn	4,0	3,8	2,8	3,5		3,4

Bonitálás: 1=igen gyengén fejlett pusztuló állomány, 5=jól fejlett állomány. Előforduló főbb gyomfajok átlagos borítottsága: AMA spp. 1,2%, DIG SA 1,1%, AMB EL 0,5%, CHE AL 0,5%, BIL CO 0,4% (dr. Radics László felvételezése).

Table 3. The impact of toxic treatments on the development weed status and yield of carrot, (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Treatment, (2) kg ha⁻¹ load in spring 1995, (3) LSD_{5%}, (4) Average, (5) Classification in terms of development stage on 30/05/1995, (6) Classification in terms of development stage on 03/07/1995, (7) Classification in terms of development stage on 11/09/1995, (8) Plant cover on 01/06/1995, %, (9) Weed cover on 01/06/1995, %. Classification: 1=very underdeveloped, perishing crop population, 5=well developed crop population. The average coverage of main weed species: AMA spp. 1,2%, DIG SA 1,1%, AMB EL 0,5%, CHE AL 0,5%, BIL CO 0,4% (Observations of dr. László Radics).

4. táblázat. *Toxikus kezelések hatása a sárgarépa betakarításakor 1995-ben (Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)*

Kezelés kód (1)	Elemterhelés 1995 tavaszán, kg/ha (2)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
Friss gyökértermés t/ha (5)						
Cr(VI)	15,9	6,4	1,5	0,1		6,0
Se	18,5	12,5	3,3	0,2	13,0	8,6
Zn	22,9	22,7	9,6	6,6		15,5
Friss lombtermés t/ha (6)						
Cr(VI)	6,3	2,3	0,7	0,1		2,3
Se	5,8	3,0	1,3	0,1	2,9	2,4
Zn	4,0	4,4	4,2	3,4		4,0
Gyökér/lomb tömegaránya (7)						
Cr(VI)	2,5	2,8	2,1	1,0		2,1
Se	3,2	4,2	2,5	2,0	1,1	3,0
Zn	5,7	5,2	2,3	1,9		3,8
Gyökér légszárazanyag %-a (8)						
Cr(VI)	13,3	14,6	14,8	9,4		13,0
Se	15,1	14,7	13,2	4,4	4,2	11,8
Zn	14,4	14,8	13,1	13,2		13,9
Lomb légszárazanyag %-a (9)						
Cr(VI)	20,1	22,6	24,5	14,3		20,4
Se	25,3	25,0	18,9	6,8	9,2	19,0
Zn	25,9	26,9	20,6	19,3		23,2
Friss gyökér g/db (10)						
Cr(VI)	29	22	22	7		20
Se	29	56	62	9	22	39
Zn	36	37	34	31		34

Megjegyzés: Cr(III), Cu és Pb kezelések hatástalanok voltak.

Table 4. The effect of toxic treatments on carrot during harvest in 1995, (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Treatment, (2) kg ha⁻¹ element load in spring 1995, (3) LSD_{5%}, (4) Average, (5) Fresh root yield, t ha⁻¹, (6) Fresh leaf yield, t ha⁻¹, (7) Mass ratio of root/leaf, (8) Air dry matter % of root, (9) Air dry matter % of leaf, (10) Fresh root g pcs⁻¹. Note: The Cr(III), Cu and Pb treatments were ineffective.

Úgy tűnik a gyökér némileg védett az elemdúsulásokkal szemben, összevetve a földfeletti lombbal. Kiseb a gyökér átlagos Cr és Cu tartalma, a Se-dúsulás pedig csak 30–50%-os a megfelelő kezelésekből a lombban mérthez képest. Az Pb és a Zn átlagok viszont érdemben nem különböznek (5. táblázat).

5. táblázat. *Kezelések hatása a légszáraz sárgarépa összetételére 1995-ben, mg/kg (Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)*

Kezelés jele (1)	Terhelési szintek 1995 tavaszán, kg/ha (2)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
Lomb 06. 06-án (5)						
Cr(III)	1	2	5	7	6	4
Cr(VI)	1	5	10	19	6	9
Cu	7	14	61	89	16	43
Pb	1	5	8	9	5	6
Se	1	29	48	56	18	34
Zn	23	32	48	102	17	51
Lomb 09. 11-én betakarításkor (6)						
Cr(III)	1	2	3	7	5	3
Cr(VI)	1	3	10	16	5	8
Cu	9	14	44	47	9	29
Pb	1	3	5	9	5	5
Se	<1	58	149	*	46	69
Zn	30	38	50	48	9	42
Gyökér 09. 11-én betakarításkor (7)						
Cr(III)	1	2	4	6	4	3
Cr(VI)	1	3	6	13	4	6
Cu	7	9	19	24	5	15
Pb	1	3	6	10	5	5
Se	<1	27	56	103	32	35
Zn	20	36	46	66	12	42

*Lomb kipusztult

Table 5. The effect of treatments on the composition of air-dry carrot in 1995, mg kg⁻¹, (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Treatment, (2) kg ha⁻¹ load levels in spring 1995, (3) LSD_{5%}, (4) Average, (5) Leaves on 06/06, (6) Leaves on 11/09, at harvesting, (7) Root on 11/09, at harvesting. *Leaves died out.

Összehasonlításuképpen megemlítjük, hogy a mezőföldi mészlepedékes csernozjom vályogtalajon korábban beállított kísérletben a Cr(VI) kezelés toxicitása ellenére a sárgarépa gyökerében és lombjában a Cr koncentrációja 1 mg/kg alatt maradt. A Cu 10 mg/kg, Pb 4 mg/kg, Se 63 mg/kg, Zn 23 mg/kg koncentrációt mutatott a 270 kg/ha terhelés esetén. A sárgarépát 1992-ben, a kísérlet 2. évében termesztettük. A Cr(VI) forma egy része Cr(III) formává alakult a humusos feltalajban, a vízoldható kromát (VI) nagyobb része pedig a szántott réteg alá mosódott. A Na₂SeO₃ szelenit forma CaSeO₄ szelenát formává alakult és a csapadékkal részben szintén a szántott réteg alá került. A Cr, Se, Mo

(kromát, szelenát, molibdenát anionformák) rendkívüli mobilitást mutattak a karbonátos mezőföldi csernozjom talajban. A 10. év végén végzett mélyfúrásaink szerint a Mo bemosódása elérte a 160 cm-t, míg a Cr és Se vertikális mozgása meghaladta a 290 cm-t, a mintavétel maximális mélységét (Kádár és Prokisch 2000, Kádár és Németh 2003, Kádár et al. 2000, Széles et al. 2006).

A sárgarépa szerveit 24 elemre analizáltuk. A szennyezetlen talajon mért átlagos elemtartalmakat és a felvett elemek mennyiségeit a 6. táblázatban közöljük. A bemutatott adatokból látható, hogy a fiatal hajtás a leggazdagabb a K, N, Fe, Al, Sr, Mn, Ni, Pb, Co elemekben. Az előregedő lombban dúsult a Ca, Mg, S, P, Ba, Zn és Mo, míg a gyökérben a Na. A répafélék közismerten Na-kedvelők. Amennyiben a betakarításkori felvett mennyiségeket vizsgáljuk megállapítható, hogy a lombba épült a Ca, S, Zn és a Mo nagyobb része. Egyéb vizsgált elemek tömege viszont a gyökérben található. Az As, Hg, Se általában 0,1 mg/kg mérés-határ körül vagy az alatt maradt.

Megemlíthető, hogy a levéldiagnosztikai ellátottsági határértékek szerint (Bergmann 1992) ebben a fejlődési stádiumban optimális ellátottságát a sárgarépának az alábbi koncentrációtartományok jelezhetik: N 2–3,5%, P 0,3–0,5%, K 2,7–4,0%, Ca 1,2–2,0%, Mg 0,3–0,6%, Mo 0,5–1,5 mg/kg, Cu 7–15 mg/kg, Zn és B 30–80 mg/kg, Mn 50–100 mg/kg. A 6. táblázatban közölt és a június 6-án vett hajtásban talált átlagos elemtartalmak általában kielégítő ellátottságról tanúskodnak a legtöbb tápelem tekintetében. Alacsony vagy hiányközeli ellátottság állhat fenn, viszont a B, Zn és Mo elemekben.

A 20 t/ha körüli friss gyökértermés a hozzátartozó 5 t/ha lombterméssel mindössze 88 kg K, 57 kg Ca, 54 kg N, 14 kg Mg, Na és P, 11 kg S és 5–6 kg Fe és Al felvételt mutatott. A répafélék viszonylag igényesek a B, Zn és Cu kínálattal szemben. A B 145 g, Zn 41 g, Cu 27 g beépülést jelzett. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a tervezett termés elemigényének számításakor a szaktanácsadásban. Az egyéb mikroelemek közül a Ni kereken 10 g/ha, a Cr, Pb és Co 2–4 g/ha közötti, míg a Mo és Cd becsléseink szerint kevesebb mint 1 g/ha felvételt mutatott. Ezek után lássuk miképpen változott a szántott réteg cc.HNO₃+cc.H₂O₂ feltárással becsült „összes” elemkészlete a kezelések függvényében. Feltesszük, hogy a talajba vitt 3 kg/ha elem a szántott réteg 3 millió kg/ha tömegében 1 mg/kg növekményt okozhat elvileg.

Amint a 7. táblázatban látható, a talaj eredeti 20 mg/kg Zn készlete a 270 kg/ha, azaz 90 mg/kg hozzáadott Zn terhelés nyomán 100 mg/kg érték fölé emelkedik.

6. táblázat. A sárgarépa légszáráz szerveinek átlagos összetétele és elemfelvétele szennyezetlen talajon 1995-ben
(Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)

Elem jele (1)	Mérték-egység (2)	Hajtás (3)	Lomb (4)	Gyökér (5)	Mérték-egység (2)	Lomb (4)	Gyökér (5)	Együtt (6)
		06. 06-án (7)	09. 11-én (8)	09. 11-én aratáskor (9)				
K	%	3,97	2,39	2,27	kg/ha	29	59	88
N	%	2,46	2,36	0,99	kg/ha	28	26	54
Ca	%	2,20	3,38	0,62	kg/ha	41	16	57
Mg	%	0,48	0,51	0,32	kg/ha	6	8	14
S	%	0,57	0,59	0,15	kg/ha	7	4	11
P	%	0,34	0,39	0,36	kg/ha	5	9	14
Na	%	0,04	0,15	0,46	kg/ha	2	12	14
Fe	%	0,21	0,10	0,18	kg/ha	1	5	6
Al	%	0,17	0,08	0,14	kg/ha	1	4	5
Sr	mg/kg	130	107	47	g/ha	128	122	250
Mn	mg/kg	129	142	67	g/ha	170	174	344
Ba	mg/kg	43	52	31	g/ha	62	81	143
B	mg/kg	26	52	32	g/ha	62	83	145
Zn	mg/kg	23	30	20	g/ha	36	52	88
Cu	mg/kg	7	9	7	g/ha	10	17	27
Cr	mg/kg	0,8	0,9	0,9	g/ha	1,1	2,3	3,4
Ni	mg/kg	8,8	2,0	2,8	g/ha	2,4	7,3	9,7
Pb	mg/kg	0,9	0,6	0,7	g/ha	0,7	1,8	2,5
Co	mg/kg	0,9	0,5	0,7	g/ha	0,6	1,8	2,4
Mo	mg/kg	0,4	0,6	<0,1	g/ha	0,7	<0,1	0,7
Cd	mg/kg	0,2	0,2	0,1	g/ha	0,2	0,3	0,5

Megjegyzés: As, Hg, Se 0,1 g méréshatár körül vagy alatt. A gyökér 2,6 t/ha, lomb 1,2 t/ha betakarításkori légszárázanyag hozammal számolva.

Table 6. The average composition of the air-dry organs of carrot, as well as its element uptake on unpolluted soil in 1995, (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Element, (2) Measurement unit, (3) Shoot, (4) Leaves, (5) Root, (6) Together, (7) On 06/06, (8) On 11/09, (9) On 11/09, at harvesting. Note: The amounts of As, Hg and Se were around or under limit of determination (0.1 g). The following air-dry harvesting yields were considered: root: 2.6 t ha⁻¹, leaves 1.2 t ha⁻¹.

7. táblázat. *Kezelések hatása a szántott réteg cc.HNO₃+cc.H₂O₂ oldható „összes” elemtartalmára 1995. 09. 25-én*
(Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)

Kezelés jele (1)	Terhelés kg/ha 1995 tavaszán (2)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
Zn	20	34	57	103	25	53
Cr(III)	10	24	44	138	42	54
Cr(VI)	10	15	35	109	40	42
Pb	8	18	36	85	20	37
Cu	5	23	49	124	46	50
Se	<1	6	17	43	13	16

Egyéb elemek átlagos tartalma: Fe 0,89%, Al 0,56%, Ca 0,54%, Mg 0,28%. A K 862, P 426, Mn 243, S 97, Na 37, Ba 30, Sr 20, Ni 9, Co 3, B 1, Cd és Mo 0,2 mg/kg.

Table 7. The effect of treatments on the "total" cc.HNO₃+cc.H₂O₂-soluble element content of the ploughed layer on 25/09/1995, (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Treatment, (2) kg ha⁻¹ load in spring 1995, (3) LSD_{5%}, (4) Average. Average amount of other elements: Fe 0,89%, Al 0,56%, Ca 0,54%, Mg 0,28%. A K 862, P 426, Mn 243, S 97, Na 37, Ba 30, Sr 20, Ni 9, Co 3, B 1, Cd Mo 0,2 mg kg⁻¹.

A vizsgálatok hibáját is figyelembe véve megállapítható, hogy a bevitt Zn közel teljes mennyisége e módszerrel kimutatható a bevitel helyén az 1. év után. Hasonló mondható el lényegében a Cr(III), Cr(VI), Pb és Cu elemekre. A Se esetében mintegy 50%-ra becsülhetjük a szántott réteg Se-dúsulását. A másik 50% körüli mennyiség részben a szántott réteg alá mosódhatott az esővízzel, illetve részben légköri elillanást szenvedhetett. A növényi felvétel ugyanis elhanyagolható volt.

A 8. táblázatban közölt részletes számításaink szerint a Cr(VI) és a Se kezeléseknél a 30 kg/ha terhelésnél kaptuk a maximális Cr és Se elemfelvételeket. A Cr 3,0 és a Se 51,3 g/ha maximumokat ért el. Ez azt is jelenti, hogy a hasonló szennyezettségű talaj tisztításához, azaz a 30 kg/ha Cr fitoremediációjához változatlan körülményeket feltételezve 10 ezer esztendő, míg a 30 kg/ha Se kivonásához 585 évre volna szükség. A fitoremediáció jelentősebb, pontszerű szennyezés esetén tehát nem minősíthető járható útnak. Még ha rendelkezni is hiperakkumuláló növényfajokkal az egyes szennyezőket tekintve, a talajtisztítás ilyen módon körülményes és hosszantartó folyamatot feltételezne. A Cr esetében azonban mint ismeretes a növényi felvétel, illetve a táplálékláncban való mozgás is gátolt.

8. táblázat. *Kezelések hatása a sárgarépa becsült elemfelvételére betakarításkor szennyezett talajon 1995-ben (Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)*

Kezelés jele (1)	Terhelési szintek 1995 tavaszán, kg/ha (2)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
Gyökérben, g/ha (5)						
Cr(VI)	2,6	5,2	10,4	15,6	5,8	8,4
Cr(III)	2,1	3,0	1,2	0,1	2,0	1,6
Cu	18,2	23,4	49,4	62,4	22,2	36,4
Pb	2,6	7,8	15,6	26,0	10,4	13,0
Se	1,4	51,3	28,0	8,0	23,3	22,2
Zn	52,0	94,6	119,6	171,6	34,7	105,4
Lombban, g/ha (6)						
Cr(VI)	1,2	2,4	3,2	8,4	2,4	3,9
Cr(III)	1,3	1,5	2,0	1,0	0,8	1,4
Cu	10,8	16,8	52,8	56,4	24,0	34,2
Pb	1,2	3,6	6,0	10,8	4,4	5,4
Se	0,8	46,4	29,8	<0,1	30,5	15,2
Zn	36,0	45,6	60,0	57,6	10,4	49,8
Összesen, g/ha (7)						
Cr(VI)	3,8	7,6	14,0	24,0	8,8	12,4
Cr(III)	3,4	4,5	3,2	1,0	2,9	3,0
Cu	29,0	40,2	102,2	118,8	30,0	70,6
Pb	3,8	11,4	21,6	36,8	10,7	18,4
Se	2,2	97,7	37,8	8,0	44,4	37,4
Zn	88,0	140,2	179,6	229,2	46,0	155,2

Megjegyzés: A gyökér átlagosan 2,6 t/ha, a lomb 1,2 t/ha légszáranyag hozammal számolva a depressziót nem okozó Cr(III), Cu és Pb kezelésekben.

Table 8. The effect of treatments on the estimated element uptake of carrot at harvesting on polluted soil in 1995, (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Treatment, (2) kg ha⁻¹ load levels in spring 1995, (3) LSD_{5%}, (4) Average, (5) In the root, g ha⁻¹ (6) In the leaf, g ha⁻¹, (7) Total, g ha⁻¹. Note: Average air-dry root yield: 2.6 t ha⁻¹, average air-dry leaf yield: 1.2 t ha⁻¹ in Cr(III), Cu and Pb treatments (which do not cause depression).

A termés csökkenést nem okozó Cr(III) kezelésben az elért maximális Cr-felvétel 24 g/ha a 270 kg/ha kezelésben. A fitoremediáció időigénye ez esetben 17 308 év. A maximális Pb-terhelésnél 10 385, a Cu-terhelésnél 4327, a Zn-terhelésnél 1573 év. Ami a termés szennyezettségét illeti, a 9/2003. (III.13.) ESZCSM (2003) rendelet szárított zöldségre 0,05 mg/kg Hg; 0,5 mg/kg Cd; 1,0 mg/kg

Pb és 2 mg/kg As határértéket ír elő. A Cu és Zn elemekre nincs előírás ... „mivel e termények és termékek réz- és cink-tartalmát döntő mértékben a természetes réz- és cinktartalom határozza meg. Kivételt képez a réztartalmú növényvédő szerekkel kezelt friss gyümölcs és zöldség, melyekre a réztartalom határértéke 10 mg/kg.” A rendelet a Cr és Se elemre sem tartalmaz útmutatást.

Chaney (1982) szerint a növényi hajtásban már toxikus lehet 20 mg/kg felett a Cr, 25–40 mg/kg felett a Cu, 100 mg/kg felett a Se és 500 mg/kg felett a Zn. A tömegtakarmányokban és az abrakban az egészségügyi maximum: 2 mg/kg Se; 25 mg/kg Cu a juhokra, 100 mg/kg a marhára, 250 mg/kg a sertésre; Zn 300 mg/kg juhokra, 500 mg/kg a marhára, 1000 mg/kg a sertésre. A Cr elemre nem találtunk útmutatást az egészségügyi maximumra, bár *Chaney* (1982) feltételezi, hogy az állatok abrakjához akár 3000 mg/kg, azaz 0,3% Cr is adható Cr(III) oxid formában. A fentiek alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a kezelt talajon termett sárgarépagyökér élelmezési vagy takarmányozási célokra egyaránt alkalmatlan lehet az Pb és Se elemdúsulásai miatt.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a 49042 és 68665 sz. OTKA, valamint a CRO-13/2006 sz. pályázat eredményeként az NKTH és a KPI támogatásával jött létre, mely támogatás forrása a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap.

IRODALOM

- Baranyai F.–Fekete A.–Kovács I.*: 1987. A magyarországi talaj tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Bergmann, W.*: 1992. Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer Verlag. Jena-Stuttgart-New York.
- Bridge, M. B.*: 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? J. Environ. Qual. 24: 5–18.
- Chaney, R. L.*: 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. [In: Land Application of Sewage Sludge. Intern. Symp. Proc.] Tokyo. Japan. 259–324.
- Chang, A. C.–Granato, T. C.–Page, A. L.*: 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for Cr, Cu, Ni and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludges. J. Environ. Qual. 21: 521–536.
- Debreczeni I.–Izsáki Z.*: 1985. Bőrgyári szennyvíziszap hatása a növények elemi összetételére. Növénytermelés. 31. 4: 551–559.

- ESZCSM*: 2003. Az egészségügyi, szociális és családügyi miniszter 9/2003. (III.13.) ESZCSM rendelete az élelmiszerek vegyi szennyezettségének megengedhető mértékéről szóló 17/1999. (VI.16.) EüM rendelet módosításáról. Magyar Közlöny. 2003. 25: 1960–1966.
- ISO 11261*: 1995. Soil Quality. Determination of total nitrogen. Modified Kjeldahl method.
- Izsáki Z.–Debreczeni I.*: 1987. Bőrgyári szennyvízzel végzett trágyázás hatásának vizsgálata homoktalajon. Növénytermelés. 36. 4: 481–489.
- Kádár I.*: 1999. A tápláléklánc szennyeződése nehézfémekkel. Agrokémia és Talajtan. 48: 561–581.
- Kádár I.–Radics L.–Daood H.*: 2000. Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépa termésére karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 49: 427–446.
- Kádár I.–Prokisch J.*: 2000. Mikroelem-terhelés hatása a burgonya termésére és elem-tartalmára karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 49: 447–464.
- Kádár I.–Németh T.*: 2003. Mikroelem-szennyezők kimosódásának vizsgálata szabadföldi terheléses tartamkísérletben. Agrokémia és Talajtan. 52: 315–330.
- Kádár I.–Morvai B.*: 2007. Ipari-kommunális szennyvíziszap-terhelés hatásának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 56: 333–352.
- Kádár I.–Morvai B.*: 2008. Bőrgyári szennyvíziszap vizsgálata tenyészedényes kísérletben. A Ca, Na, Cr elemek forgalma. Növénytermelés. 57. 1: 35–48.
- Kjeldahl, J.*: 1891. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Zeitschr. F. Analyt. Chemie. 22: 366–382.
- Lakanen, E.–Erviö, R.*: 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available microelements in soils. Acta Agr. Fenn. 123: 223–232.
- McGrath, S. P.–Chang, A. C.–Page, A. L.*: 1994. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and in the United States. Environ. Rev. 2: 1–11.
- MÉM NAK*: 1978. A TVG tápanyagvizsgáló laboratórium módszerfüzete. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest. 48.
- MSZ 21470–50*: 2006. Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és oldható toxikus elem, nehézfém és Cr(VI) tartalmának meghatározása. Magyar Szabványügyi Testület. Budapest. 33.
- Prokisch J.*: 2007. A nagy 5. Az öt legveszélyesebb mérgező fém a környezetünkben: arzén, ólom, higany, kadmium és króm (VI). Egészségporta Egyesület. Debrecen. 1–105.
- Széles É.–Kovács B.–Prokisch J.–Győri Z.*: 2006. Szelén-speciációs vizsgálatok talajmintákból ionkromatográffal összekapcsolt induktív csatolású ICP-MS alkalmazásával. DATE Agrártud. Közl. 23: 106–111.
- Schmidt, J. P.*: 1997. Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage sludge. J. Environ. Qual. 26: 4–10.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Kádár Imre
MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet
Budapest
Herman O. u. 15.
H-1022