

Mikroelem-terhelés hatása a sóskára karbonátos csernozjom talajon

KÁDÁR IMRE és DAOOD HUSSEIN

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest és
Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet Lipidlaboratóriuma, Budapest

A keserufufélék családjába tartozó közönséges vagy kerti sóska (*Rumex rugosus* L.) foként a korai vitamin- és ásványisó-ellátásban játszik szerepet. Termotájai nem alakultak ki, viszont kertekben az ország egész területén előfordul. Eroteljes gyökértörzse 40–50 cm-re hatol a talajba, majd a fogyókér elfásodik és a felszín közelben járulékos gyökérzet fejlődik ki. Egész Európában, ill. Ázsiában oshonos; nedves területeken és réteken vad alakja nálunk is megtalálható. Levelei torózsát képeznek, szára 100–150 cm-re megnövekedhet. Hosszú megvilágítás és meleg hatására gyorsan magszárba megy (CSELOTEI et al., 1993; BALÁZS, 1994).

Korán, már március végén vethető, amikor a talajra rá lehet menni. Mivel igen lassú a kelése, sorjelző növénynek a fejes salátát használják. A kapálás miatt 30–50 cm sortávra vetik, 2–3 cm mélyre, kerti magágyba, 2–3 kg/ha vetőmaggal. Víz- és tápanyagigényesnek minősül, foként sok nitrogént és kevesebb foszfort hasznosít. Nem elhanyagolható K-, Ca- és Mg-szükséglete, melyet hagyományosan a bőséges istállótrágyázással fedezték. TERBE (1994) szerint azonban „a sóska környezeti igényéről nagyon keveset tudunk, kutatásával alig foglalkoznak”.

A leveles zöldségféléknek, különösen a salátának és a spenótnak nemkívánatosan nagy lehet az oxálsav-, nitrát- és károselem-akkumulációja (BERG-MANN, 1988; LEHOCZKY et al., 1996, 1998; NÉMETH et al., 1993; CSATHÓ, 1994; SIMON, 1998). A legtöbb európai országban a felnőttek számára 1200–1500 mg/kg, a csecsemőtápszerben 250 mg NO₃ engedélyezett friss anyag kg-onként. A 7–10 % szárazanyagra vetítve ez a határkoncentráció a felnőttekre, ill. csecsemőkre 1, ill. 0,25 % körüli NO₃-ot vagy 0,23 %, ill. 500–600 mg/kg NO₃-N-t

jelenthet. Az ismertebb kézikönyvek nem közölnek arra vonatkozó adatokat, hogy mennyit akkumulál a sóska (MARSCHNER, 1985; BERGMANN, 1988).

A túlzott oxálsavtartalom a növény élelmszer-, ill. takarmányértékét csökkenti, hiszen emésztési zavarokat okoz és mérgező lehet. Az oxálsavat – mint redukáló szert – gyakran használták tinta- és rozsdafoltok eltávolítására és sóska-levelek „kifőzésével” már a XII. században előállították. A növényben főként K-oxalát található, $K_2C_2O_4$ formájában. Kórósodás előtti zsenge állapotban az oxálsavban vagy sóskasavban szegény hajtás jó takarmánynak minősül. Erre utal a lósóska, lórom, réti sóska vagy édes lapu elnevezés is (Révai Lexikon, 1925).

Ami a humántoxikológiai szempontból legveszélyesebb elemet a kadmiumot illeti, BINGHAM és munkatársai (1975) szerint: ahol a kalászosok szemtermésében mindössze néhány mg/kg Cd mutatható ki, azon a talajon a spenót leveleiben 160 mg/kg szárazanyag koncentráció is felléphet. A Kaliforniában végzett tenyészedény-kísérletekben a meszes vályog talaj 10 mg/kg Cd-készlettel rendelkezett. A növénybeni/talajbani koncentrációnövekedés hányadosaként ismert transzfer koefficiens (azaz a talajhoz viszonyított növénybeni dúsulási faktor) a „leveles zöldségfélékre” 1–10 közötti SAUERBECK (1982, 1991) vizsgálati eredményei alapján a Cd, Zn, Tl, Mo elemekre. E tekintetben nem világos, vajon a sóska is „leveles zöldségféle” hasonló elemfelhalmozással? Vagy a más családba sorolt, eltérrő fajt képviselő sóska nem vehető egy kalap alá a spenóttal és a salátával?

A sóska elemforgalmáról, különösen ami a nehézfémeket és egyéb károsnak minősülő mikroelemeket illeti, átfogó közléseket nem találtunk a hazai szakirodalomban. Ezért szabadföldi tartamkísérletben vizsgáltuk a mikroelem-terhelés hatását a sóska termésére, hajtásának összetételére, elemfelvételére. Választ kerestünk arra is, hogy vajon e növény alkalmas lehet-e fitoremediációs célokra, azaz a szennyezett talajok tisztítására? Városainkban és az ipari körzetekben él a hazai lakosság zöme, ahol a kiskerti talajok már kisebb vagy nagyobb mértékben szennyezettek (KÁDÁR, 1995).

Anyag és módszer

Kísérletünket 1991 tavaszán állítottuk be az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén. A termohely löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaja a szántott rétegben átlagosan 5 % $CaCO_3$ -ot és 3 % humuszt tartalmaz. Fizikai féleségét tekintve vályog, 20 % agyag, ill. 40 % leiszapolható rész frakcióval. Agyagásványainak közel felét illit, 1/3-át klorit, kisebb részét szmektit alkotja. A talajvíz tükre kb. 15 m mélyen helyezkedik el, szennyeződése felszíni ki-lúgzással gyakorlatilag kizárt. A telep éghajlata az Alföldéhez hasonlóan száraz, aszályra

hajló. A szántott réteg néhány fontos talajjellemzője: pH(KCl) 7,3; AL-P₂O₅: 80–100, AL-K₂O: 140–160, KCl-Mg: 150–180, KCl+EDTA-oldható Mn: 80–150, Cu: 2–3, Zn: 1–2 mg/kg. A MÉM NAK (1979) által bevezetett módszerek és határértékek alapján ezek az adatok a talaj igen jó Mn-, kielégítő Mg- és Cu-, közepes N- és K-, valamint gyenge P- és Zn-ellátottságáról tanúskodnak.

A 13 vizsgált mikroelem sóját 4-4 szinten egyszer alkalmaztuk 1991 tavaszán, az első évben vetett kukorica alá. A 13 x 4 = 52 kezelést 2 ismétlésben állítottuk be összesen 104 parcellán split-plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270 és 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl₃, NaAsO₂, BaCl₂, CdSO₄, K₂CrO₄, CuSO₄, HgCl₂, (NH₄)₆Mo₇O₂₄, NiSO₄, Pb(NO₃)₂, Na₂SeO₃, SrSO₄ és ZnSO₄ formájában. Az alaptrágyázást évente végeztük 100–100–100 kg N, P₂O₅ és K₂O/ha hatóanyag alkalmazásával ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisó-mutrágókkal.

A növényi sorrend kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó, cékla, spenót, búza, napraforgó (KÁDÁR & PÁLVÖLGYI, 2003) volt. A kísérletben végzett műveletekrol és megfigyelésekről az 1. táblázat nyújt áttekintést. A vetés 1999. március 30-án történt 50 cm sortávra és 300 db/fm csíraszámmal, Pallagi nagylevelű fajtavál. Lassú, egyenetlen kelést követően állomány-bonítást végeztünk torózsás állapotban és betakarítás előtt. A sorközök kapálására kétszer került sor a tenyészido folyamán, a megjelenő magzárakat kézzel távolítottuk el. Betakarításkor a teljes föld feletti hajtást vágtuk le parcellánként kézzel a föld felett kb. 4 cm magasságban. A parcellák mérete 3,5 x 6 = 21 m² volt.

1. táblázat

A sóskakísérletben végzett műveletek és megfigyelések 1999-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Műveletek megnevezése	(2) Idopontja (év, hónap, nap)	(3) Megjegyzés
1. NPK alaptrágyázás	1998. 09. 09.	Parcellánként kézzel
2. Oszi mélyszántás, 28 cm	1998. 09. 09.	MTZ-80 + Lajta eke
3. Fogasolás, elmunkálás	1999. 03. 04.	MTZ-80 + nehézfogas
4. Kísérlet kituzése (karózás)	1999. 03. 22.	Parcellánként kézzel
5. Tavaszi N-mutrágózás	1999. 03. 23.	Parcellánként kézzel
6. Kombinátorozás	1999. 03. 29.	MTZ-80 + kombinátor
7. Vetés, hengerezés	1999. 03. 30.	Kézi vetogép + simahenger
8. Egyenetlen kelés	1999. 04. 23.	As-, Cd-, Se-kezelésekben
9. Sorközök kapálása	1999. 05. 11.	Parcellánként kézzel
10. Bonítálás állományra	1999. 06. 03.	Parcellánként 1–5 skálán
11. Sorközök kapálása	1999. 06. 08.	Parcellánként kézzel
12. Kísérleti bemutató	1999. 06. 16.	Nyilvános, országos

13. Magszárak eltávolítása	1999. 06. 24.	Parcellánként kézzel
14. Bonitálás állományra	1999. 07. 19.	Parcellánként 1–5 skálán
15. Sóska betakarítása	1999. 07. 19.	Parcellánként földfeletti hajtás

Fajta: Pallagi nagylevelű 50 cm sortávra vetve, 300 db/fm csíraszámmal

A mintául szolgáló $4+4 = 8 \text{ fm} = 2 \text{ m}^2/\text{parcella}$ növényi anyagban mértük a friss és légszáraz tömeget, majd $40\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$ -on történo szárítást követően a mintákat finomra daráltuk és cc. $\text{HNO}_3 + \text{cc. H}_2\text{O}_2$ roncsolás után $20\text{--}24$ elemre analizáltuk ICP-technikát alkalmazva. A Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet Lipidlaboratóriuma a friss levélminták oxálsavtartalmát vizsgálta.

Talajmintavételre utoljára 1997-ben került sor, amikor LAKANEN & ERVIÖ (1971) szerint parcellánként meghatároztuk az NH_4 -acetát + EDTA-oldható elemtartalmakat a szántott rétegben. Az As $0\text{--}42$, Ba $25\text{--}56$, Cd $0\text{--}190$, Cr $0\text{--}1,4$, Cu $3\text{--}133$, Hg $0\text{--}23$, Mo $0\text{--}8$, Ni $3\text{--}52$, Pb $4\text{--}188$, Se $0\text{--}36$, Sr $34\text{--}132$, Zn $3\text{--}143 \text{ mg/kg}$ értéket mutatott a kontroll- és a maximális 810 kg/ha terheléses kezeléseknél. Az eredmények részletes közlésére és értékelésére korábbi munkánkban került sor (KÁDÁR & DAOOD, 2001).

A sóska vízellátottsága: az elövetemény napraforgó a talajt kiszárította. Lekeverése után a sóska vetéséig eltelt 6 hónap alatt (1998. szeptember vége–1999. március 30.) összesen 218 mm csapadék hullott, ennyivel nohetett a talaj vízkészlete. A tenyészidőszak alatt áprilisban 87 , májusban 77 , júniusban 192 , azaz összesen az 1999. évi II. negyedévben 356 mm esett. A sóska rendelkezésére tehát elvileg 574 mm vízkészlet állhatott, ami csaknem ideálisnak mondható és a sokéves átlagot 140 mm -rel haladta meg. Mindez kedvezett a sóska fejlődésének és a tenyészido hosszát is megnövelte.

Kísérleti eredmények

A 2. táblázat adatai szerint a sóska fedettségi %-át május 26-án mindössze 3 elem (As, Cd, Se) csökkentette bizonyíthatóan. Az As-terhelés depresszív hatása csak a maximális adagnál jelentkezett és a bonitálások szerint a korai torózsás állapotban volt kifejezett. Betakarítás idejére a depresszió mérséklődött. Megállapítható, hogy a sóska érzékenyen reagált a Cd-szennyezésre. A kadmium gátlta a kelést, fejlődést és termésnövekedést okozott a 270 , ill. 810 kg/ha terhelésnél. A 90 kg/ha feletti Se-terhelésnél a sóska már ki sem kelt, ill. gyakorlatilag kipusztult. A betakarításkori hajtás átlagosan $7,2 \%$ légszáraz anyagot tartalmazott, a kadmiummal erosen szennyezett talajon $8\text{--}9 \%$ volt.

A kezeléseknél a légszáraz sóska betakarításkori hajtásának elemösszetételére a 3. táblázatban tanulmányozhatjuk. Az adatokból látható, hogy legnagyobb mennyiségben az alumínium fordul elő és némileg nőtt koncentrációja az

Al-terheléssel. A stroncium beépülése csaknem a 4-szeresére emelkedett a növekvő Sr-kínálattal. Mérsékelt volt a Zn-akkumuláció ezen a cinkkel gyengén ellátott meszes talajon. A maximális Zn-terheléssel mindössze kétszeresére javult a hajtás Zn-tartalma a kontrollhoz viszonyítva. Hasonló körülmények között tehát ilyen mérvű Zn-szennyezés nem jelent veszélyt a táplálékláncre, figyelembe véve korábbi eredményeinket is.

2. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a sóskára 1999-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Sókafedettség %-a máj. 26-án</i>						
As	50	38	60	28	12	44
Cd	40	23	18	14		24
Se	50	37	4	0		23
<i>B. Bonitálás jún. 3-án*</i>						
As	5,0	4,5	5,0	3,5	1,1	4,5
Cd	4,5	2,5	2,5	2,0		2,9
Se	5,0	3,5	–	–		2,1
<i>C. Bonitálás júl. 19-én*</i>						
As	4,5	4,5	4,5	4,0	1,2	4,4
Cd	4,5	3,0	2,5	2,5		3,1
Se	5,0	3,5	–	–		2,1
<i>D. Föld feletti zöld tömeg (t/ha) júl. 9-én**</i>						
As	43	38	44	31	11	39
Cd	40	36	28	19		31
Se	40	26	–	–		17
<i>E. Föld feletti légszáraz tömeg (t/ha) júl. 19-én</i>						
As	2,8	2,6	3,0	2,1	0,8	2,6
Cd	2,6	2,5	2,2	1,7		2,2
Se	2,9	1,9	–	–		1,2

Megjegyzés: * Bonitálás: 1 = gyenge; 5 = erosen fejlett állomány; ** légszáraz anyag átlagosan 7,2 %; – Növényzet kipusztult

A molibdén extrém mobilitást mutatott a talaj-növény rendszerben és csaknem 40-szeresére dúsult a molibdénnel erosen szennyezett talajon. Az 5 mg/kg szárazanyag feletti Mo-koncentrációt már károsnak tekintjük, mert Cu-hiányt indukálhat az állati vagy emberi szervezetben. A kiugróan nagy Mo-tartalom mérgezést okozhat. A Cu-felvétel közismerten gátolt a föld feletti növényi szer-

vekbe, koncentrációja mindössze megkétszereződött maximális terheléssel. Csaknem 7-szeresére ugrott a növények Ni-tartalma, de így is 10 mg/kg érték alatt maradt a légszár az hajtásban (3. táblázat).

Igazi hiperakkumulációt mutatott a szelén 3-nagyságrendi dúsulással már a 90 kg/ha adagnál. [90 kg/ha 30 mg/kg terhelésnek felelne meg, a szántott réteget 3 millió kg/ha tömegnek tekintve.] A hajtásban 467 mg/kg értéket mértünk, tehát a szelén transzfer koefficiense vagy dúsulási faktora kereken 16. Az elobb tárgyalt molibdén esetében ez a mutató 0,28, míg a réz esetében 0,04 a maximális terhelésű kezeléseknél. A Cr-, Pb-, As- és Hg-akkumuláció szennyezett

3. táblázat

A kezelések hatása a légszár az sóska hajtásának összetételére, mg/kg légszár az anyagban 1999. július 19-én (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
Al	220	189	249	290	48	237
Sr	41	55	85	156	18	84
Zn	28	39	44	55	10	42
Ba	17	22	30	58	6	32
Mo	2	41	63	77	28	46
Cu	6,5	8,6	10,2	12,2	2,4	9,4
Ni	1,4	4,4	6,8	9,5	3,6	5,5
Se	0,8	467,0	–	–	46,6	233,9
Cr	0,5	0,7	1,8	3,7	1,0	1,7
Pb	0,4	0,8	1,5	2,1	1,0	1,2
Cd	0,2	6,2	12,2	20,3	4,8	9,7
As	0,0	0,0	1,1	3,6	1,0	1,2
Hg	0,0	0,0	0,1	0,5	0,2	0,2

Egyéb elemek átlagos koncentrációja: K: 4,81, N: 2,40, Ca: 1,55, P: 0,94, Mg: 0,80, S: 0,26 %; Fe: 265, Mn: 113, Na: 49, NO₃-N: 31, Co: 0,2 mg/kg

talajon mindössze néhány mg/kg értéket ért el. A kadmium viszont a kontrolltalajon mért 0,2-ről 20,3-ra ugrott, tehát két nagyságrendet emelkedett (3. táblázat).

A 8/1985. (X. 21.) EüM rendelet szárított zöldségre legfeljebb 4, 2, 0,3 és 0,05 mg As-, Pb-, Cd és Hg-tartalmat engedélyez kg szárazanyagra számítva. Egyéb elemekre nem ad meg határkoncentrációkat. Fentiek alapján a sóska emberi fogyasztásra egyértelműen alkalmatlanná vált már a mérsékelt szennyezésnél is. Viszont az As-, Pb- és Hg-kezelésekben csak a legnagyobb terhelés eredményezett határérték közeli vagy feletti növénybeni tartalmakat. A 4/1990. (II. 28.) MÉM rendelet takarmánykeverékekben legfeljebb 0,1, 0,5, 2 és 5 mg/kg

Hg-, Cd-, As- és Pb-készletet engedélyez. A higany, kadmium és arzén esetében szennyezett talajon túllépés történt, tehát a termés hasonló célokra nem használható fel, ill. nem takarmányozható.

CHANEY (1982) szerint a tömegtakarmányokban és a háziállatok abrakjában az alábbi egészségügyi maximum fogadható el: Cd 0,5, Se 2, Co 10, V 10–50, Mo 10–100, Cu 25–300, Pb 30, F 40–200, As 50, Ni 50–300, B 150, Zn 300–1000, Mn 400–2000, Fe 500–3000, Cr(III) 3000 mg/kg szárazanyagban. A szerző megjegyzi, hogy a nagyobb terhelés hosszan tartó etetésnél kedvezőtlen mellékhatásokat okozhat. A kadmiumra megadott érték nem az állati egészség, hanem döntően a humán élelmezés szempontjait, az ember védelmét tükrözi. Kétségtelen, hogy az egyes állatfajok turoképesége jelentősen eltérhet. Viszonylag érzékeny számos elem túlsúlyára a juh és a legelő szarvasmarha, míg a sertés és a csirke általában ellenállóbb.

A német nyelvű irodalomban (SAUERBECK, 1985 és BRAUER, 1998 munkáiban) közölt egészségügyi maximumok az alábbiak: Cd: 0,5, Hg és Tl: 1,0; Co, Mo, Pb és V: 10; Cu: 25–30; As, Cr és Ni: 50; B: 150; Zn: 300; Mn: 400 mg/kg szárazanyag. Az Európában elfogadott határértékek általában kevésbé liberálisak, ill. nagyobb biztonságra törekszenek és mindig a legérzékenyebb fajra adóttak. A sóska hajtásának elemösszetétele (3. táblázat) a felsorolt elemek közül csupán a Cd és Mo egészségügyi maximumát haladta meg.

Összességében megállapítható, hogy a sóska mérsékelten halmozza fel az elemeket, mikroszennyezőket. Megemlítjük, hogy ugyanebben a mikroelem-terhelésű kísérletben 1996-ban termelt spenót levelében, a nagyobb terhelésű parcellákon a Cd 144, Cr 16, Cu 18, Hg kerekén 10, Mo 670, Se 765, Sr 518 és a Zn 289 mg/kg koncentrációt mutatott légszáraz anyagban (KÁDÁR et al., 2001). A spenót levelének elemtartalma tehát esetenként többszöröse lehet a sóska hajtásában mértnek. A 3. táblázatban megadottakat figyelembe véve ez a szorzófaktor az alábbi az egyes elemeknél: Cu: 1,5, Se: 1,6, Sr: 3,3, Cr: 4,1, Zn: 5,2, Cd: 7,1, Mo: 8,7, Hg: 20 mg/kg. Az Pb, As, Ni és Ba elemek koncentrációja közelálló volt a két növényfajban.

Az egyéb esszenciális elemek átlagos mennyisége a sóska hajtásában a következő volt: K: 4,80 %, N: 2,40 %, Ca: 1,55 %, P: 0,94 %, Mg: 0,80 %, S: 0,26 %, Fe: 265 mg/kg, Mn: 113 mg/kg, Na: 49 mg/kg, NO₃-N: 31 mg/kg, Co: 0,2 mg/kg légszáraz anyagban. Kiemelkedő tehát a sóska ásványianyag-készlete, különösen a K, Ca, P és Mg elemekben gazdag. Ugyanakkor NO₃-N-ben szegény. A spenót levele ugyanitt átlagosan 636 mg/kg értéket jelzett, azaz kerekén 20-szorosán haladta meg a sóska hajtásának NO₃-N-tartalmát. Ehhez minden bizonnyal az akkori csapadékszegényebb időjárás is hozzájárult, hiszen száraz évben a nitrogén feldúsulhat a növényi szövetekben, ill. nedves időszakban hígulás lép fel. A spenót levele 1996. június 3-án 10–12 % légszáraz anyagot tartal-

mazott, míg a sóska hajtása 1999. július 19-én 7–9 %-ot. A zöld hajtás élettanilag a fotoszintetizáló levél funkcióját tölti be és ilyenkor összetétele alapján is összevethető a levéllel.

A 2,8 t/ha átlagos föld feletti légszáraz termés 134 kg K-, 67 kg N-, 43 kg Ca-, 26 kg P-, 22 kg Mg-, 8 kg S-, 742 g Fe-, 316 g Mn-, 137 g Na-, 87 g NO₃-N- és 0,6 g Co-felvételt jelzett a szennyezetlen talajon. A műtrágyázási szaktanácsadás számára az alábbi fajlagos mutató adható meg 10 t/ha zöld sóska termés (föld feletti hajtás) elemigényeként: 17 kg N, 15 kg P₂O₅, 40 kg K₂O, 15 kg CaO és 9 kg MgO, ill. 2 kg S. A fajlagos mikroelem-tartalom 186 g Fe, 79 g Mn, 34 g Na és 2 g Co mennyiségnek felelt meg e termohelyen.

A 4. táblázat eredményei szerint a sóska elemfelvétele szennyezett talajon elenyészőnek minősíthető a talajterheléshez képest. Fitoremediáció csak az enyhébb diffúz szennyezésnél jöhetne szóba, amennyiben megfelelő hiper-

4. táblázat

A kezelések hatása a sóska elemfelvételére 1999-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
Al	616	529	697	812	180	664
Sr	115	154	238	437	42	236
Zn	78	109	123	154	26	116
Ba	48	62	84	162	17	89
Mo	5	115	176	216	42	128
Cu	18	24	29	34	6	26
Ni	4	12	19	27	6	16
Se	2	887	–	–	88	444
Cr	1	2	5	10	3	4
Pb	1	2	4	6	2	3
Cd	0,5	16	32	53	8	25
As	0	0	3,1	10	3	3
Hg	0	0	0,3	1,4	0,3	0,4

Egyéb elemek felvétele: K: 134, N: 67, Ca: 43, P: 26, Mg: 22, S: 8 kg/ha; Fe: 742, Mn: 316, Na: 137, NO₃-N: 87, Co: 0,6 g/ha szennyezetlen talajon

5. táblázat

A kezelések hatása a sóska hajtásának oxálsavtartalmára, mg/g szárazanyagban, 1999
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		

Al	6,0	9,8	10,0	7,5	5,0	8,3
As	5,9	5,2	6,7	4,4		5,5
Ba	6,0	6,2	7,6	8,4		7,0
Cd	7,0	8,4	11,9	12,6		10,0
Cr	6,0	5,8	7,5	11,1		7,6
Cu	5,1	7,0	5,0	3,3		5,1
Hg	8,7	7,8	6,5	12,6		8,9
Mo	8,2	9,3	7,4	6,0		7,7
Ni	5,7	6,8	6,8	8,1		6,8
Pb	8,2	7,7	12,4	10,7		9,7
Se	7,0	3,7	–	–		5,3
Sr	6,0	7,1	16,0	14,4		10,9
Zn	5,7	7,8	6,9	4,7		6,3

Megjegyzés: SzD_{5%} az átlagok között 3,0 mg/kg

akkumulátor növényfajjal rendelkezünk és a termesztési technika is rendelkezésre áll. A 90 kg/ha mérsékelt szennyezésnél hasonló körülmények között, pl. a hiperakkumulációt mutató szelén esetében is, egy évszázadra lenne szükség ahhoz, hogy a talaj Se-tartalma az elvitt sóskatermással az eredeti szintre süllyedjen. A jelentős akkumulációt mutató molibdén esetében mindehhez közel 800 évre, a Cd elemnél 5–6 ezer, míg a krómnál már 45 ezer esztendőre. Az arzén és higány esetében a növényi felvétel nem is érzékelhető.

A sóska hajtásának oxálsavtartalma méréseink szerint 3–16 mg/g közötti tartományban ingadozott a szárazanyagban. Az adatok jelentős szórásokkal terheltek. Emelkedett az átlagos koncentrációkat jelzett 10 mg/kg körüli vagy feletti értékekkel a Cd-, Pb- és Sr-kezelés. Az 5–6 mg/kg közötti alacsony átlagos készlet az As-, Cu- és Zn-kezelt parcellák növényeit jellemezte. Úgy tunik, az oxálsav szintézise akadályozott volt a Se-toxicitást mutató kezelésben is. Eredményeinket az 5. táblázatban mutatjuk be.

Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérletet állítottunk be 1991 tavaszán. A termohely 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 2 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 egységesen történt az egész kísérletben ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisómutrágyákkal. A növényi sorrend kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó, cékla, spenót, búza és napraforgó volt. A 9. évben végzett sóska- kísérletünk eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

– A 13 vizsgált elemből csak az arzén, kadmium és szelén bizonyult toxikusnak a sóskára 1999-ben. Ebben a kielégítő csapadék-ellátottságú évben a kontrollparcellákon 40 t/ha föld feletti zöld (ill. 2,8 t/ha légszáraz) tömeg képződött 7–8 % légszárazanyag-tartalommal. Maximális As-terhelésnél a zöld hajtás hozama 28 %-kal, a maximális Cd-terhelésnél 52 %-kal csökkent. A 9 évvel ezelőtt adott 90 kg/ha Se-terhelés 35 %-os depressziót okozott, a 270 és 810 kg/ha terhelésnél pedig a növényzet ki sem kelt.

– A kontrollhoz viszonyítva erosen szennyezett talajon a Ba, Cu és Zn 2–3-, az Pb és Sr 4–5-, a Ni és Cr átlagosan 7-, a Mo 39-, a Cd 102-szeresére, a Se közel 6ezerszeresére dúsult a növényi hajtásban. A Hg- 0,5, az As-koncentráció 3,6 mg/kg értéket ért el a légszáraz anyagban. A Hg-, As-, Cd-, Pb-, Mo- és Se-kezelésekben (a nagyobb terhelésnél) a termék humán fogyasztásra, ill. takarmányozásra alkalmatlanná vált.

– A talaj/növény transzfer koeficiens az egyes elemek esetében az alábbiaknak adódott a maximális terhelésnél (kivétel a Se): Se: 15,6, Sr: 0,42, Mo: 0,28, Ba: 0,15, Zn: 0,10, Cd: 0,07, Ni: 0,03, Cu: 0,02, As és Cr: 0,01, Pb: 0,006 és Hg: 0,002. A sóska a spenóthoz viszonyítva mérsékelt elemfelhalmozódást jelzett.

– A sóska hajtása gazdag ásványi anyagokban, esszenciális elemekben, de szegény nitrátban. A K 4,80 %, N 2,40 %, Ca 1,55 %, P 0,94 %, Mg 0,80 %, S 0,26 %, Fe 265 mg/kg, Mn 113 mg/kg, Na 49 mg/kg, $\text{NO}_3\text{-N}$ 31 mg/kg, Co 0,2 mg/kg átlagos koncentrációt mutatott a légszáraz anyagban.

– A 2,8 t/ha légszáraz föld feletti termésben 134 kg K, 67 kg N, 43 kg Ca, 26 kg P, 22 kg Mg, 8 kg S, 742 g Fe, 316 g Mn, 137 g Na és 0,06 g Co épült be. A 10 t/ha zöld föld feletti hajtás fajlagos elemigénye hasonló körülmények között 17 kg N, 15 kg P_2O_5 , 40 kg K_2O , 15 kg CaO, 9 kg MgO és 2 kg S mennyiséget jelenthet. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a szaktanácsadás számára.

– A fitoremediáció csak az enyhén szennyezett talajok tisztítására lehet alkalmas, amennyiben megfelelő hiperakkumulátor növényfajjal rendelkezünk és a termesztési technika is rendelkezésre áll. Hasonló viszonyok között a sóska termése egy évszázad alatt állíthatná helyre a Se-mentes, 800 év alatt a Mo-

mentes, 5–6 ezer év alatt a Cd-mentes vagy 45 ezer esztendő alatt a Cr-mentes (szennyezetlen, eredeti állapotú) talajt a 90 kg/ha terhelés esetén.

– Az oxálsav koncentrációja 3–16 mg/g között ingadozott a sóska hajtásának szárazanyagában. Emelkedett átlagos értékeket 10 mg/g felett a Cd-, Pb- és Sr-kezelésekben, míg alacsony tartalmakat az As-, Cu- és Zn-kezelésekben mér-tünk.

Kulcsszavak: talajterhelés, mikroelemek, sóska, fitoremediáció, fitotoxicitás

Irodalom

- BALÁZS S. (szerk.), 1994. Zöldségtermesztok kézikönyve. 2. jav. kiadás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- BERGMANN, W., 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BINGHAM, F. T. et al., 1975. Growth and cadmium accumulation of plants grown on a soil treated with cadmium-enriched sewage sludge. *J. Environ. Qual.* **4**. 207–211.
- BRAUER, H., 1998. Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik. Springer Verlag. Berlin.
- CHANEY, R. L., 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. In: Proc. Int. Symp. Land Application of Sewage Sludge. (Eds.: CANALI et al.) 259–324. Tokyo. Japan.
- CSATHÓ P., 1994. A környezet nehézfém-szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA TAKI. Budapest.
- CSELOTEI L., NYÚJTÓ S. & CSÁKY A., 1993. Kertészet. 5. átdolg. kiadás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- KÁDÁR I., 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM–MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I. & DAOOD H., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a búzára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **50**. 353–370.
- KÁDÁR I. & PÁLVÖLGYI L., 2003. Mikroelem-terhelés hatása a napraforgóra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **52**. 79–92.
- KÁDÁR I., DAOOD H. & RADICS L., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a spenótra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **50**. 335–352.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.* **123**. 223–232.
- LEHOCZKY, É., SZABADOS, I. & MARTH, P., 1996. Cadmium content of plants as affected by soil cadmium concentration. In: *Soil and Plant Analysis in Sustainable Agriculture and Environment*. (Eds.: HOOD, T. M. & JONES, J. B.). 827–839. Marcel Dekker Inc. New York.
- LEHOCZKY, É. et al., 1998. Effect of liming on the heavy metal uptake of lettuce. *Agrokémia és Talajtan.* **47**. 229–234.
- MARSCHNER, H., 1985. Einfluss von Standort und Wirtschaftsbedingungen auf die Nitratgehalte in verschiedenen Pflanzenarten. *Landw. Forsch. Sonderh.* 16–23.

- MÉM NAK, 1979. Mutrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest.
- NÉMETH, T. et al., 1993. Mobility of some heavy metals in soil–plant system studied on soil monoliths. *Water Sci. Tech.* **28**. 389–398.
- Révai Lexikon, 1925. Révai Nagy Lexikona. XVI. kötet. Szócikk. Rumex L. 438. Révai Testvérek Irodalmi Intézet Rt. Budapest.
- SAUERBECK, D., 1982. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? *Landw. Forsch., Sh.* **39**. 108–129.
- SAUERBECK, D., 1985. Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agricultur-chemischer Sicht. Materialien zur Umweltforschung. Kohlhammer Verlag. Stuttgart.
- SAUERBECK, D., 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water, Air, Soil Pollut.* **57–58**. 227–237.
- SIMON L., 1998. Talajszennyezés, talajtisztítás. GATE Mezőgazd. Foiskolai Kara. Nyíregyháza.
- TERBE I., 1994. Spenót. In: Zöldségtermesztok kézikönyve. (Szerk.: BALÁZS S.) 571–576. 2. javított kiadás. Mezőgazda Kiadó. Budapest.

Érkezett: 2002. augusztus 28.

Effect of Microelement Loads on Garden Sorrel Grown on Calcareous Chernozem Soil

I. KÁDÁR and H. DAOOD

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, and Lipid Laboratory of the Central Research Institute for the Food Industry, Budapest

Summary

The results of the experiment on garden sorrel, carried out in the 9th year of the microelement pollution experiment detailed in the previous paper (KÁDÁR & PÁLVÖLGYI, 2003) can be summarized as follows:

- Of the 13 elements tested only As, Cd and Se proved to be toxic to sorrel. At the maximum loads of As and Cd the green shoot yield was reduced by 28 and 52%, resp. A 90 kg/ha Se load applied 9 years previously led to a yield depression of 35%, while the plants did not even emerge on plots treated with 270 or 810 kg/ha.
- Compared with the control, 2–3 times higher concentrations were recorded in the plant shoots in the case of Ba, Cu and Zn, 4–5 times higher for Pb and Sr, 7 times higher on average for Ni and Cr, 39 times higher for Mo, 102 times higher for Cd, and almost 6000 times higher for Se. In the Hg, As, Cd, Pb, Mo and Se treatments (at higher loads) the crop became unsuitable for human consumption or animal feeding.
- The soil/plant transfer coefficients at maximum loads were: Se 15.6, Sr 0.42, Mo 0.28, Ba 0.15, Zn 0.10, Cd 0.07, Ni 0.03, Cu 0.02, As and Cr 0.01, Pb 0.006, Hg 0.002.

– Sorrel shoots are rich in minerals and essential elements, but poor in nitrate. The average concentrations observed in the air-dry matter were K 4.80, N 2.40, Ca 1.55, P 0.94, Mg 0.80, S 0.26% and Fe 265, Mn 113, Na 49, NO₃-N 31, Co 0.2 mg/kg.

– The quantities of elements incorporated into the 2.8 t/ha air-dry aboveground yield amounted to 134 kg K, 67 kg N, 43 kg Ca, 26 kg P, 22 kg Mg, 8 kg S, 742 g Fe, 316 g Mn, 137 g Na and 0.06 g Co. Under the given conditions the specific element requirements of the 10 t/ha fresh aboveground shoots can be provided by 17 kg N, 15 kg P₂O₅, 40 kg K₂O, 15 kg CaO, 9 kg MgO and 2 kg S.

– Phytoremediation is only suitable for the cleansing of mildly contaminated soils. Under given conditions sorrel yield would require a century to clear the soil of Se, 800 years for Mo, 5–6 thousand years for Cd and 45,000 years for Cr after 90 kg/ha loads.

– The oxalic acid concentration fluctuated from 3–16 mg/kg in the dry matter of sorrel shoots. Higher average values of above 10 mg/kg were recorded in the Cd, Pb and Sr treatments, while low levels were found in the As, Cu and Zn treatments.

Table 1. Technologies applied and observations made in the sorrel experiment in 1999 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök).

Table 2. Effect of phytotoxic treatments on sorrel in 1999 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök). (1) Element. (2) Loads in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean.

Table 3. Effect of treatments on the composition of air-dry sorrel shoots, mg/kg air-dry matter, on 19 July 1999. (1)–(4): see Table 2.

Table 4. Effect of treatments on the element uptake of sorrel, 1999. (1)–(4): Table 2.

Table 5. Effect of treatments on the oxalic acid content of sorrel shoots, mg/g dry matter, 1999. (1)–(4): see Table 2.