

Mikroelem-terhelés hatása a repcére karbonátos csernozjom talajon

KÁDÁR IMRE és R. KASTORI

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest és
Szántóföldi- és Zöldségnövények Kutatóintézete, Novi Sad (Jugoszlávia)

Az őszi káposztarepce (*Brassica napus L. ssp. oleifera*) a napraforgó után a második legfontosabb olajnövényünk. Az utóbbi évtizedekben 60–100 ezer ha közötti területen termesztették. Az 1870-es évek végén 350 ezer kh-on vetettek repcét az akkori Magyarországon, majd termelése drasztikusan csökkent. CSERHÁTI (1901) szerint ennek fő oka nem az olcsó ásványi világítóolaj, a petróleum megjelenése volt, hanem a termelés bizonytalansága. A repce egyaránt érzékeny az aszályra, a rovarkárookra és a tápanyaghiányra. Kérdés, hogy mennyire érzékeny a mikroelem-terhelésre, a talajszennyezésre?

A tápanyagkínálat befolyásolja a termésszerkezetet. Változhat a tőszám, a növényenkénti elágazások és a becők száma, a becőnkénti magszám, az ezermagtömeg, a mag olajtartalma. A kontinentális, forró és száraz nyarú tájakon, ill. évjáratokban a tenyészidő generatív szakasza lerövidül, az érés gyorsul és a magtermés csökken. Aszály idején kényszerérés következik be, a vegetatív részek mobilizálható tápelemkészlete nem juthat a magba. Ilyenkor csökken a megtermékenyülés is, tehát nemcsak kisebb, hanem kevesebb mag képződik. Hazai viszonyaink között a melléktermés/mag aránya tágga válik, alföldi jellegű vidékeken ez az arány 6–8-szoros is lehet (KÁDÁR et al., 2001; NÉMETH, 1988; NÉMETH & KARAMÁN, 1986).

A repce valójában ÉNy-Európában, ahol az óceáni hatások érvényesülnek, a fő olajnövény. A hosszú nappalos növény hűvös, párás nyarú vidékeken díszlik igazán, mert érés idején is vízigényes. Egyaránt igényli a talaj és a levegő nedvességkészletét. E tájakon az újabb fajtákkal és agrotechnikával a 3–5 t/ha magtermés is elérhető, így a legnagyobb olajhozamot biztosítja hektáronként. A szalma + becő melléktermés tömege általában nem haladja meg a mag 2–3-szorosát (COOKE, 1981; ANDERSSON et al., 1958). Sokoldalú hasznosíthatóságára utal, hogy a repce szerepelhet zöldszakarmány-keverékekben, legeltethető, jó zöldtrágya, karógyökere a talaj szerkezetét javítja, szalmája leszántva növeli

Postai cím: Dr. KÁDÁR IMRE, MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15. E-mail: kadar@rissac.hu

a talaj felvehető tápelemkészletét, olaja keresett és drága, a visszamaradó olajpogácsa fehérjében és lizinben gazdag, kiváló előveteménye a búzának. Gépesítése is megoldott, hisz a kalászosok gépeivel vethető és aratható.

Szabadföldi mikroelem-terhelési tartamkísérletünk 11. évében őszi káposzta-repcét termesztettünk. Vizsgáltuk a mikroelem-túlsúly hatását a repce fejlődésére, állománymagasságára, az aratáskori töszámra, a szár/becő/mag termésére, melléktermés/főtermés arányára, a repce szerveinek elemösszetételére és a felvett elemek mennyiségére. Választ kerestünk arra, hogy a repce mennyiben lehet alkalmas fitoremediációra, szennyezett talajok tisztítására? A Ba-, Mo-, Sr- és Zn-kezelésekben kapott magtermés olajtartalmát és zsírsavösszetételét az újvidéki Szántóföldi- és Zöldségművelés Kutatóintézetben határozták meg.

Anyag és módszer

Az 1991 tavaszán az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén beállított mikroelem-terheléses kísérlet termőhelyi jellemzését, valamint az alkalmazott kezeléseket a folyóirat jelen számában megjelenő közleményünk (KÁDÁR & NÉMETH, 2003) ismerteti.

Az elővetemény őszi árpát 2000. június 20-án takarítottuk be. A Duplon fajtájú repce vetésére szeptember 12-én került sor 15–20 db/fm csíraszámossal gabona sortávolságra, 2 cm mélyen. Állománybonitálást törőzsás állapotban, virágzásban és betakarítás előtt végeztünk. A növénymintavétel parcellánként 4–4 fm föld feletti anyag begyűjtését jelentette aratáskor. Mértük a minták friss és 40–50 °C-on történt szárítás utáni légszáraz tömegét. Az összes olajtartalmat petróleum/éter kioldással a klasszikus Soxhlet készüléken vizsgáltuk. A zsírsavak elemzéséhez az olajat hidraulikus nyomással nyertük és a zsírsavakat gázkromatográfus módszerrel határoztuk meg trimetil-szulfonium-hidroxid előkészítést követően BUTTE (1983) szerint.

A mintakévek cséplése után a szár, becő és mag mintegy 300 db mintáját finomra őröltük és cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ roncsolás után 24 elemre analizáltuk, ICP-technikát alkalmazva. A kísérletben végzett agrotechnikai műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat nyújt áttekintést. A parcellák bruttó területe 3,5 x 6 = 21 m², betakarításkor a belső 2 x 6 = 12 m² állományt kombájnoltuk. Az egyéb megfigyelések, mintavételek is erre az értékelt vagy nettó területre vonatkoznak. A kísérlet célját, módszerét, valamint a megelőző évek főbb eredményeit korábbi közleményeink részletezik (KÁDÁR et al., 2000, 2001).

2001-ben az éves csapadék összege 622 mm-t tett ki, a sokéves átlagot (590 mm) némileg meghaladóan. A május–június aszályosnak minősült a repce számára, a július–szeptember havi bővebb esők csapadékát pedig rövid tenyészideje miatt már nem hasznosíthatta. Az elővetemény őszi árpa betakarítása és a repce vetése közötti időszakban (2000. július és augusztus) 55, szeptemberben 43, októberben 34, decemberben 57, 2001. januárban 44, februárban 0, márci-

1. táblázat

Az őszi káposztarepce kísérletben végzett műveletek és megfigyelések 2001-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Műveletek, ill. megfigyelések megnevezése	(2) Időpontja (év, hónap, nap)	(3) Megjegyzés
1. Őszi NPK-műtrágyázás	2000. 09. 06.	Parcellánként kézzel
2. Egyirányú szántás	2000. 09. 06.	MTZ-80 + Lajta eke
3. Szántás elmunkálása	2000. 09. 06.	MTZ-80 + gyűrűshenger
4. Vetőágykészítés	2000. 09. 11.	MTZ-80 + kombinátor
5. Vetés gabona sortávolságra	2000. 09. 12.	MTZ-80 + Lajta vetőgép
6. Vetés hengerezése	2000. 09. 12.	T4K + simahenger
7. Tavaszi N-fejtrágyázás	2001. 03. 12.	Parcellánként kézzel
8. Bonitálás törőzsás korban	2001. 04. 12.	Parcellánként 1–5 skálán
9. Védekezés virágzás előtt	2001. 04. 24.	Permetezés, 1 l/ha Dimecron
10. Bonitálás virágzásban	2001. 04. 27.	Parcellánként 1–5 skálán
11. Kísérleti bemutató	2001. 05. 22.	Nyilvános, országos
12. Bonitálás aratáskor	2001. 06. 27.	Parcellánként 1–5 skálán
13. Növénymintavétel	2001. 06. 27.	Parcellánként 4–4 fm
14. Kombájnolás	2001. 06. 27.	6×2=12 m ² parcellánként
15. Mintakévék cséplése	2001. 07. 17.	Parcellánként 4–4 fm
16. Növényminták darálása	2001. 07. 23.	Szem, szár, becő parcellánként

Megjegyzés: Fajta: Duplon, 2 cm mélyre vetve 15–21 db/fm csíraszámmal

usban 62, áprilisban 47, májusban 17, júniusban 47 mm csapadékösszegeket mértünk. Elméletileg tehát legfeljebb 406 mm vízkészlet állhatott a repce rendelkezésére a tenyészideje során. A talaj ezt megelőzően érdemi felvehető vízkészlettel nem rendelkezett.

Kísérleti eredmények

A kísérlet 11. évében három elem mutatott toxicitást a tenyészidő folyamán. A maximális As-terhelésre a repce már a korai stádiumban (kelést követően és törőzsás korban) fejlődési rendellenességgel reagált. Az állomány visszamaradt a fejlődésben, csökkent a tőszám. Később, feltehetően amikor a növények gyökerei már áthaladtak az arzénal szennyezett szántott felső talajrétegen, az állomány erőteljesebb fejlődésnek indult. Hasonlóképpen depressziót észleltünk a 270, ill. 810 kg/ha Cd-terhelés esetén a fiatal kori állományban. Ez a negatív hatás az aratás idejére megszűnt, sőt a kadmiummal szennyezett talajon zöldebb, fejlettebb növényzet fejlődött. A tőszám nem csökkent (2. táblázat).

Ezzel szemben a Se-toxicitás már a 90 kg/ha terhelésnél kifejezetté vált és az ezt meghaladó terhelés ritka, fejletlen, pusztuló állományt eredményezett. A 11 évvel ezelőtt adott 810 kg/ha Se-terhelés nyomán a repce és a gyomnövényzet

2. táblázat
Fitotoxikus kezelések hatása az őszi káposztarepcére 2001-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Bonitálás április 12-én, törzssás korban</i>						
As	4,0	4,5	4,5	1,0	1,0	3,5
Cd	4,0	4,5	2,5	1,5		3,1
Se	4,5	2,0	1,0	1,0		2,1
<i>B. Bonitálás április 27-én, virágzáskor</i>						
As	4,5	4,5	4,5	2,5	1,0	4,0
Cd	4,5	5,0	2,0	1,5		3,3
Se	4,0	2,5	1,0	1,0		2,1
<i>C. Bonitálás június 27-én, aratáskor</i>						
As	5,0	5,0	5,0	4,5	1,2	4,9
Cd	4,5	4,5	4,5	5,0		4,6
Se	5,0	3,0	1,0	1,0		2,5
<i>D. Tőszám (db/m²) június 27-én, aratáskor</i>						
As	34	30	22	23	9	27
Cd	27	34	34	32		28
Se	28	24	10	4		16
<i>E. Növénymagasság (cm) június 27-én, aratáskor</i>						
As	110	112	100	102	12	106
Cd	108	104	104	110		107
Se	111	99	90	86		96

Megjegyzés: Bonitálás: 1 = kipusztult állomány; 5 = fejlett egészséges állomány

szinte teljesen kipusztult. A szelenit formában adott szelén a mélyebb talajrétegeket is szennyezte, a feltalajban részben felhígult, csökkent a koncentrációja. A repce vetése előtt 2000 szeptemberében vett talajmintákban az arzén, kadmium és szelén – LAKANEN és ERVIÖ (1971) szerint meghatározott – NH₄-acetát + EDTA-oldható elemtartalma a 0,1 mg/kg kimutathatósági határ alatt maradt a szennyezetlen kontrolltalajban. A 810 kg/ha terhelésnél az oldható koncentráció az arzén, kadmium és szelén esetében 37, 124 és 11 mg/kg volt a szántott rétegben. Az arzén jórészt kevésbé oldható formákká alakult, míg a szelén kimosódott a feltalajból (KÁDÁR, 2003; KÁDÁR & NÉMETH, 2002).

A 3. táblázatban közölt termésadatok összhangban vannak a korábban elmondottakkal, a bonitálási és mérési eredményekkel. Az arzén tendenciájában mérsékelte, míg a kadmium növelte az aratáskori szár-, becő- és maghozamot. Statisztikailag azonban csak a szelén drasztikus mérgező hatása igazolható. Az összes föld feletti légszár az 8–10 t/ha körül adódott szennyezetlen talajon. Az aszályos május és június, mely a repce virágzás-érés generatív szaka-

szát jellemezte, általában 1 t/ha alatti magterméseket eredményezett. A melléktermés/főtermés hányadosa ebből adódóan 9–11 közé tágult. A Se-toxicitás kifejezettebb volt a fiatalkori állományban, mint az érés idején, így a szelénrel szennyezett talajon ez a hányados 6–8 körülire szűkült.

3. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása az őszi káposztarepce légszáraz termésére
2001. június 27-én, aratáskor
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhorcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Szár, t/ha</i>						
As	6,63	6,55	4,79	4,09	2,61	5,55
Cd	5,80	5,08	6,83	7,24		6,22
Se	5,96	4,13	1,44	0,40		2,98
<i>B. Becő, t/ha</i>						
As	2,20	2,04	1,95	1,35	0,64	1,88
Cd	2,16	1,82	2,67	2,75		2,34
Se	2,04	1,86	0,75	0,25		1,22
<i>C. Mag, t/ha</i>						
As	0,79	0,77	0,86	0,56	0,27	0,75
Cd	0,87	0,76	0,99	1,03		0,91
Se	0,87	0,96	0,24	0,10		0,54
<i>D. Összes termés (szár + becő + mag), t/ha</i>						
As	9,62	9,37	7,60	6,00	3,04	8,18
Cd	8,83	7,66	10,49	11,02		9,47
Se	8,87	6,94	2,44	0,75		4,75
<i>E. Melléktermés/főtermés aránya</i>						
As	11,2	11,2	7,8	9,7	2,8	10,0
Cd	9,1	9,1	9,6	9,7		9,4
Se	9,2	6,2	8,8	6,5		7,7

Az As, Hg és Pb elemekkel szennyezett talajon a repcemag, -szár, ill. -becő 0,1 mg/kg koncentrációt meghaladóan nem mutatott elemdúsulásokat. A termés tiszta, olajnyerésre és takarmányozásra egyaránt alkalmas maradt. [A vonatkozó 4/1990. (II. 28.) MÉM rendelet a takarmánykeverékek megengedhető káros-elem-tartalmát 0,1 Hg, 0,5 Cd, 2 As, 5 Pb mg/kg sz.a. mennyiségben határozza meg.] A bárium mérsékelten, 2–3-szorosára dúsult. A szabványok határkoncentrációkat nem közölnek, mivel a báriumot nem tekintik veszélyforrásnak az élelmiszerekben és takarmányokban (4. táblázat).

A kadmium nagyságrendi akkumulációt jelzett és fogyasztásra alkalmatlan terméket eredményezett. Az olajos magvakban elfogadható 0,6 mg/kg Cd értéket (17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet) a szennyezett talajon termett repce mag-

4. táblázat

A kezelések hatása a légszár az őszi káposztarepce elemösszetételére 2001. június 27-én, aratáskor (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>Ba mg/kg, Ba-terhelés hatására</i>						
a) Szár	6,0	7,7	11,8	20,1	2,7	11,4
b) Becő	6,1	7,0	9,3	19,4	2,4	10,4
c) Mag	1,8	2,7	3,0	3,9	1,3	2,8
<i>Cd mg/kg, Cd-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,2	6,6	8,3	19,7	5,6	8,7
b) Becő	0,0	1,3	1,6	5,2	1,3	2,8
c) Mag	0,1	1,4	1,8	1,9	0,6	1,3
<i>Cr mg/kg, Cr-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,1	0,7	2,7	4,9	1,4	2,1
b) Becő	0,2	0,5	2,1	4,1	0,7	1,7
c) Mag	0,3	0,4	0,5	0,6	0,2	0,5
<i>Cu mg/kg, Cu-terhelés hatására</i>						
a) Szár	1,3	1,2	1,3	1,9	0,4	1,4
b) Becő	2,0	2,0	2,8	4,5	0,7	2,8
c) Mag	3,7	5,0	5,4	5,8	0,7	5,0
<i>Mo mg/kg, Mo-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,1	73	144	137	42	88
b) Becő	0,5	78	164	266	48	127
c) Mag	0,5	6	13	29	3	12
<i>Ni mg/kg, Ni-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,0	0,0	0,4	0,4	0,2	0,2
b) Becő	0,1	0,0	0,2	0,6	0,2	0,2
c) Mag	0,9	1,4	2,5	3,8	0,9	2,2
<i>Se mg/kg, Se-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,6	49	119	331	44	125
b) Becő	1,2	41	194	714	40	238
c) Mag	1,6	139	214	431	79	196
<i>Sr mg/kg, Sr-terhelés hatására</i>						
a) Szár	58	56	72	94	6	70
b) Becő	88	99	124	211	10	130
c) Mag	16	22	19	32	4	22
<i>Zn mg/kg, Zn-terhelés hatására</i>						
a) Szár	3,5	8,0	9,6	13,0	1,2	8,5
b) Becő	5,0	8,2	7,3	10,5	1,4	7,8
c) Mag	32	41	45	49	6	42

Megjegyzés: Az As-, Hg- és Pb-terhelés hatására a repce szervei kimutathatóan, a 0,1 mg/kg koncentrációt meghaladóan nem szennyeződtek

termése 2–3-szorosan, míg a takarmánykeverékekre megállapított 0,5 mg/kg értéket a becő 10-szeresen, a szár pedig közel 40-szeresen lépte túl. A repce tehát érzékeny a Cd-szennyezésre, könnyen szennyeződhet és emberi, ill. állati fogyasztásra egyaránt alkalmatlanná válhat (4. táblázat).

A króm, réz és nikkel enyhén dúsult, ezen elemek kevésbé mobilisak a talaj-növény rendszerben. Élelmiszer- és takarmánynövényeink Cr- és Cu-tartalma

5. táblázat

A kezelések hatása az őszi káposztarepce elemfelvételére 2001. június 27-én, aratáskor
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>Ba g/ha, Ba-terhelés hatására</i>						
a) Szár	36	46	71	121	12	68
b) Becő	12	13	18	37	4	20
c) Mag	1	2	2	3	1	2
d) Összesen	49	61	91	161	17	90
<i>Cd g/ha, Cd-terhelés hatására</i>						
a) Szár	1,2	34	57	143	18	59
b) Becő	0,0	2	4	14	2	5
c) Mag	0,1	1	2	2	1	1
d) Összesen	1,3	37	63	159	23	65
<i>Cr g/ha, Cr-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,6	4,2	16,2	29,4	2,6	12,6
b) Becő	0,4	1,0	4,0	7,8	1,0	3,3
c) Mag	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4
d) Összesen	1,2	5,5	20,6	37,7	3,3	16,3
<i>Cu g/ha, Cu-terhelés hatására</i>						
a) Szár	7,8	7,2	7,8	11,4	1,6	8,6
b) Becő	3,8	3,8	5,3	8,6	1,3	5,4
c) Mag	3,0	4,0	4,3	4,6	1,0	4,0
d) Összesen	14,6	15,0	17,4	24,6	2,8	18,0
<i>Mo g/ha, Mo-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,6	438	864	822	88	531
b) Becő	1,0	148	312	505	66	242
c) Mag	0,4	5	10	23	4	10
d) Összesen	2,0	591	1186	1350	138	783
<i>Ni g/ha, Ni-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,0	0,0	2,4	2,4	1,4	1,2
b) Becő	0,2	0,0	0,4	1,1	0,2	0,4
c) Mag	0,7	1,1	2,0	3,0	0,4	1,7
d) Összesen	0,9	1,1	4,8	6,5	1,5	3,3

5. táblázat folytatása

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>Se g/ha, Se-terhelés hatására</i>						
a) Szár	3,6	202	171	132	77	127
b) Becő	2,4	76	146	178	23	100
c) Mag	1,4	133	54	43	41	58
d) Összesen	7,4	411	371	353	133	286
<i>Sr g/ha, Sr-terhelés hatására</i>						
a) Szár	348	336	432	564	62	420
b) Becő	167	188	236	401	23	248
c) Mag	13	18	15	26	4	18
d) Összesen	528	542	683	991	77	686
<i>Zn g/ha, Zn-terhelés hatására</i>						
a) Szár	21	48	58	78	11	51
b) Becő	10	16	14	20	4	15
c) Mag	26	33	36	39	4	34
d) Összesen	57	97	108	137	18	100

Megjegyzés: Az As, Hg és Pb elemek felvétele 1 g/ha, ill. mérés határ alatt maradt szennyezett talajon is

hazánkban általában alacsony, a jelzett dúsulás inkább előnyösnek minősülhet. A takarmányokban 50 mg/kg szárazanyagfeletti Cr-, Cu- és Ni-készletet tekintenek kritikusnak érzékenyebb állatfajoknál (CHANEY, 1982; SAUERBECK, 1982; BRAUER, 1998). Megemlítendő, hogy míg a króm alapvetően a melléktermésben, addig a réz és nikkelt a magtermésben akkumulálódott. Az utóbbi elemek tehát a magképződésben fontos szerephez jutnak.

A molibdén extrém módon halmozódott fel a növényi részekben. A kontrollhoz viszonyítva a magban 58-, a becőben 133-, a szárban 1370-szeres az akkumuláció. Mivel az 5–10 mg/kg feletti Mo-koncentráció már kritikusnak minősülhet tartós fogyasztásnál mind az ember, mind a növényevő állatfajok számára, a termék erősen szennyezetté, mérgezővé vált. A 4–5 mg/kg feletti Se-koncentráció szintén károsnak tekintett az élő szervezetre. A két nagyságrendi Se-dúsulás erősen szennyezett termést eredményezett. Mindkét elem rendkívüli mobilitást mutatott ezen a meszes vályogtalajon.

Mérsékelt volt az Sr- és Zn-felvétel, a kontrolltalajon mért koncentráció átlagosan kétszeresére emelkedett a maximális terhelés nyomán. A Sr-szennyezést főként a becő, a Zn-szennyezést a mag tükrözte kifejezettebben. Élelmiszerekre, takarmányokra határkoncentrációkat ezen elemekre nem közölnek, nem minősülnek érdemi veszélyforrásnak. A 4. táblázatban megfigyelt Zn-dúsulás mértéke egyébként inkább előnyösnek tekinthető, hisz hazai talajaink és növényeink általában Zn-hiányt mutatnak. Takarmányozási szempontból a 300 mg/

kg sz.a. Zn-koncentrációt minősítik „kritikusnak” az érzékenyebb állatfajok (pl. juhok) számára (SAUERBECK, 1982; CHANEY, 1982; BRAUER, 1998).

A növényi szövetekbe épült elemek mennyisége arról tájékoztat, hogy a betakarított terméssel mennyi mikroelem távozik a tábláról, milyen mértékben csökkenhet a talaj károsolem-készlete, ill. mennyiben alkalmazható a fitoremediáció hasonló szennyezett talajok tisztítására, amennyiben repcét termesztünk.

A repce elemforgalmának adatait az 5. táblázatban tanulmányozhatjuk. A leoszúrható főbb tanulságok:

– A föld feletti betakarítható biomasszával kivont mikroelemek döntő hányadát – a nikkelt kivételével – a szár + becő melléktermésben találtuk. Így pl. a magtermés átlagosan csupán 1–3 %-át tartalmazta az összes felvett Ba-, Cd-, Cr-, Mo- és Sr-; 20–22 %-át a Cu- és Se-; 34 %-át a Zn-, valamint 52 %-át a Ni-készletnek.

– A szennyezetlen kontrolltalajhoz viszonyítva a maximális terhelésű szennyezett talajon fejlődött növényzet elemfelvétele a többszörösére nőtt, elemenként azonban eltérő módon: 2–3-szoros volt a Ba, Cu, Sr és Zn elemek, 7-szeres a Ni, 31-szeres a Cr, 50-szeres a Se, 122-szeres a Cd és 675-szörös a Mo esetében.

– Az összes föld feletti terméssel felvett maximális Ni-, Cu-, Cr-, Zn-, Ba-, Cd-, Se-, Sr- és Mo-készlet a következőképpen adódott: 6, 25, 38, 137, 160, 160, 411, 991 és 1350 g/ha. Ahhoz, hogy a 810 kg/ha szennyezés ilyen módon távozzon a talajból a nikkelt esetében 135 ezer, a cink esetében kereken 6 ezer, a molibdén esetében 600 esztendőre volna szükség elméletileg, hasonló viszonyok között. A fitoremediáció csak a nagy területű és enyhe diffúz szennyezéskor jöhet szóba, amennyiben megfelelő hiperakkumulátor növényfajt találunk az adott szennyező elemekre.

– Amennyiben kombájn betakarításnál csak a magtermés távozik a tábláról, a mikroelemek zöme a leszántott mellékterméssel visszakerül a talajba. A talaj csak mérsékelten szegényedik Ni, Cu, Zn és Se elemekben (3, 4, 39 és 133 g/ha). Mindez akkor is fennállhat, amennyiben a repce magtermését kedvező évjáratban esetleg néhány-szorosára növelhetnénk.

A növényelemzések 24 elemet érintettek, magukban foglalva az esszenciálisnak tartott makro- és mikroelemeket, valamint a potenciális szennyezőket. A szennyezetlen talajon fejlődött repce szerveinek átlagos összetételéről a 6. táblázat adatai nyújtanak áttekintést. Az arzén, higany, ólom és kobalt 0,1 mg/kg sz.a. körüli vagy alatti koncentrációban fordult elő. A szárban a K, Na és Cd; a becőben a Ca, S, Sr, Al, B és Ba; a magtermésben pedig a N, P, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Se és Cr elemek érték el maximális készletet. A molibdén egyenletesen dúsult a becőben és a magban, mivel a szelénhez hasonlóan a tömegárammal könnyen mozog felfelé a növényi szövetekben.

A repce elemfelvételéről szennyezetlen talajon a 7. táblázat tájékoztat. A 6,0 t szár + 2,0 t becő + 0,8 t mag, azaz a 8,8 t/ha légszáraz föld feletti tömeg

6. táblázat
A légszáraz őszi káposztarepce elemösszetétele szennyezetlen talajon
2001. június 27-én, aratáskor
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele, mértékegysége		(2) Szár	(3) Becő	(4) Mag
K	%	1,56	0,54	0,79
Ca	%	1,32	2,44	0,45
N	%	0,78	0,78	3,11
S	%	0,58	0,95	0,55
Mg	%	0,20	0,22	0,35
P	%	0,19	0,17	0,84
Na	mg/kg	625	55	16
Sr	mg/kg	58	88	16
Fe	mg/kg	46	78	242
Mn	mg/kg	41	42	49
B	mg/kg	21	46	18
Al	mg/kg	19	39	30
Ba	mg/kg	6,0	6,1	1,8
Zn	mg/kg	3,5	5,0	32,0
Cu	mg/kg	1,3	2,0	3,7
Se	mg/kg	0,6	1,2	1,6
Cd	mg/kg	0,2	0,0	0,1
Cr	mg/kg	0,1	0,2	0,3
Mo	mg/kg	0,1	0,5	0,5
Ni	mg/kg	0,0	0,1	0,9
Co	mg/kg	0,0	0,1	0,1

Megjegyzés: Az As, Hg és Pb 0,1 mg/kg alatti koncentrációban

As-, Hg- és Pb-felvétele az 1 g/ha méréshatár alatt maradt. A föld feletti biomassza tömegét meghatározó szár akkumulálta a makro- és mikroelemek nagyobb részét. Ez alól kivételt jelentett a becő Mo- és Co-, ill. a mag Zn- és Ni-tartalma. A műtrágyázási szaktanácsadásban elfogadott fajlagos elemigény (1 t mag + a hozzá tartozó melléktermés elemkészlete) a viszonylag kis magtermés, ill. tág melléktermés/főtermés arány miatt emelkedett értéket mutatott.

A fajlagos elemtartalom 109 kg N, 71 kg S, 26 kg P (60 kg P₂O₅), 138 kg K (166 kg K₂O), 161 kg Ca (225 kg CaO), 24 kg Mg (38 kg MgO) mennyiséget jelentett a fontosabb makroelemek esetében. Ezek az irányszámok jelentősen eltérnek az ÉNy-Európában használatos fajlagos értékektől, valamint az arra épülő MÉM NAK (1979) ajánlásoktól (55 kg N, 35 kg P₂O₅, 43 kg K₂O, 50 kg CaO és 10 kg MgO). Hazai viszonyaink között valójában 2–4-szeres fajlagos igénnyel számolhatunk. A szaktanácsadásban átlagos mutatókkal dolgozunk. A repce trágyaigényének becslésére korábbi vizsgálataink alapján ilyen átlagos fajlagos elemtartalmakat már javasoltunk, melyeket továbbra is mérvadónak

7. táblázat

Az őszi káposztarepce elemfelvétele szennyeztelen talajon 2001. június 27-én, aratáskor
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Elem jele és mértékegysége	(2) Szár	(3) Becő	(4) Mag	(5) Együtt	(6) Fajlagos elemigény*	
K	kg/ha	94	10	6	110	138
Ca	kg/ha	79	46	4	129	161
N	kg/ha	47	15	25	87	109
S	kg/ha	35	18	4	57	71
Mg	kg/ha	12	4	3	19	24
P	kg/ha	11	3	7	21	26
Na	g/ha	3750	104	13	3867	4834
Sr	g/ha	348	167	13	528	660
Fe	g/ha	276	148	194	618	772
Mn	g/ha	246	80	39	365	456
B	g/ha	126	87	14	227	284
Al	g/ha	114	74	24	212	265
Ba	g/ha	36	12	1	49	61
Zn	g/ha	21	10	26	57	71
Cu	g/ha	8	4	3	15	19
Se	g/ha	3,6	2,3	1,3	7,2	9,0
Cd	g/ha	1,2	0,0	0,1	1,3	1,6
Cr	g/ha	0,6	0,4	0,2	1,2	1,5
Mo	g/ha	0,6	1,0	0,4	2,0	2,5
Ni	g/ha	0,0	0,2	0,7	0,9	1,1
Co	g/ha	0,0	0,2	0,1	0,3	0,4

Megjegyzés: * 1 t mag + a hozzá tartozó melléktermés elemkészlete. Az As-, Hg- és Pb-felvétel 1 g/ha alatt maradt. A szár 6,0, a becő 2,0, a mag 0,8 t/ha légszáraz tömeget jelentett

8. táblázat

A repcemag olajtartalmának és zsírsavösszetételének alakulása a Ba-, Mo-, Sr- és Zn-kezelések átlagaiban, 2001. június 27.. (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Vizsgált jellemzők	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
a) Olajtartalom, %	43,4	43,6	43,4	42,9	1,1	43,3
<i>A. Zsírsavak az olaj %-ában</i>						
b) Olajsav (18:1)	66,2	66,0	66,8	66,5	1,8	66,4
c) Linolsav (18:2)	17,0	16,8	16,6	16,6	0,5	16,8
d) Linolensav (18:3)	9,8	9,6	9,5	9,4	0,4	9,6
e) Palmitinsav (16:0)	3,9	3,9	3,9	3,9	0,2	3,9
f) Sztearinsav (18:0)	2,1	2,1	2,1	2,1	0,1	2,1
g) Ezermagtömeg, g	3,0	2,8	2,7	2,5	0,5	2,8

Megjegyzés: A 0,8–1,0 t/ha átlagos magtermés 350–430 kg/ha olajhozamot eredményezett

tekintünk: 100 kg N, 45 kg P₂O₅, 120 kg K₂O, 100 kg CaO, 34 kg MgO (KÁDÁR, 1992, KÁDÁR et al., 2001).

Mivel a jelenkori technológiában csak a magtermés kerül el a tábláról, kombájn betakarításnál a felvett kalcium 97, kálium 95, kén 93, magnézium 84, nitrogén 71 és a foszfor 67 %-a a táblán marad és leszántásra kerül. Ilyenkor gyakorlatilag elégséges a N- és P-igényről gondoskodni, hiszen trágyázási szempontból a többi elemfelvétel elhanyagolhatóvá válik. A repce nem tekinthető K-, Ca-, ill. Mg-igényes kultúrának a hagyományos értelemben, különösen a kötöttebb, nagyobb K-készlettel rendelkező meszes termőhelyeken, mert a magterméssel elvitt tápelemek mennyisége a töredékére csökken.

A repcemag olajtartalmának és az olaj zsírsavösszetételét a Ba-, Mo-, Sr- és Zn-kezelésekben vizsgáltuk. Mivel statisztikailag igazolható változásokat nem tapasztaltunk, eredményeinket a vizsgált elemek átlagában és a terhelés függvényében mutatjuk be a 8. táblázatban. A mag olajtartalma 43 % körül ingadozott a kezelésekben és a 0,8–1,0 t/ha magtermésnél 350–430 kg/ha olajhozamot kaptunk. A zsírsavösszetétel a repcére jellemző képet mutatta. Meghatározó volt az egyszer telítetlen olajsav 66 %-kal, a kétszer telítetlen linólsav 17 %-kal, valamint a háromszor telítetlen linolensav közel 10 %-kal. A palmitinsav átlagosan 4, a sztearinsav 2 %-ot képviselt. Megemlítjük még, hogy az ezermag tömege 3,0-ről 2,5-re mérséklődött a terheléssel.

Összefoglalás

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon 1991 tavaszán beállított szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérlet 11. évében, 2001-ben őszi repcével végzett vizsgálatok eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

– A 13 vizsgált mikroelemből az arzén, kadmium és szelén bizonyult toxikusnak a fiatalokú repcére. Az aszályos érési időszak következtében szennyezetlen talajon 0,8 t/ha légszáraz mag, 2,0 t/ha becő és 6,0 t/ha szár termett. A föld feletti biomassa a maximális 810 kg/ha As-terhelés esetén 38 %-kal, míg maximális Se-terhelés-nél 92 %-kal csökkent (gyakorlatilag a gyomnövényzetel együtt kipusztult). A Cd-szennyezés negatív hatása az aratás idejére megszűnt, sőt serkentő hatásúvá vált a repcére.

– Az As-, Hg- és Pb-koncentráció 0,1 mg/kg érték alatt maradt a növényi szervekben erősen szennyezett talajon is. A Cr, Cu és Ni elemek enyhén, a Sr és Zn mérsékelten dúsultak a repcében, de annak minőségét (olajnyerés, takarmány) nem veszélyeztették. A Cd-felhalmozás nagyságrendi volt, és emberi, ill. állati fogyasztásra alkalmatlan terméket eredményezett. Két nagyságrendi extrém dúsulással kitűnt a molibdén és a szelén, amelyek mobilisak maradtak a

talaj–növény rendszerben és az élő szervezetek számára mérgező növényi anyagot produkáltak.

– A föld feletti biomasszába épült maximális mikroelemkészlet az alábbi volt: Ni 6, Cu 25, Cr 38, Zn 137, Ba és Cd 160, Se 411, Sr 991, Mo 1350 g/ha. A fitoremediáció enyhe diffúz szennyezésnél lehet perspektíva, amennyiben megfelelő hiperakkumulátor növényfajt találunk a szennyező elemekre. Kísérleti körülményeink között a repce elméletileg pl. a Mo-szennyezést 600, Zn-szennyezést 6 ezer, a maximális 810 kg/ha Ni-szennyezést 135 ezer év alatt szüntethetné meg.

– Az 1 t mag + a hozzá tartozó melléktermés fajlagos elemkészlete: 109 kg N, 71 kg S, 26 kg P (60 kg P₂O₅), 138 kg K (166 kg K₂O), 161 kg Ca (225 kg CaO), 24 kg Mg (38 kg MgO). Az emelkedett fajlagos mutatók az extrém tág melléktermés/főtermés arányból következnek és 2–4-szeresen haladják meg a hazai szaktanácsadásban javasolt irányszámokat.

– Kombájn betakarításnál a felvett Ca 97, K 95, S 93, Mg 84, N 71 és a P 67 %-át a táblán maradó mellékterméssel visszaszántjuk a talajba. Ilyenkor elégséges csupán a N- és P-igényről gondoskodni trágyázással, különösen a kötöttebb, meszes termőhelyeken.

– A mag olajtartalmát és az olaj zsírsavösszetételét a Bo-, Mo-, Sr- és Zn-kezelésekben vizsgáltuk. Igazolható változásokat e kezelések nem okoztak. A 43 % körüli átlagos olajtartalommal és a 0,8–1,0 t/ha magterméssel 350–430 kg/ha olajhozam járt együtt. A zsírsavösszetétel a repcére jellemző képet mutatta: az olajsav 66, linolsav 17, linolensav 10, palmitinsav 4, sztearinsav 2 %-ot tett ki átlagosan.

Kulcsszavak: mikroelem-terhelés, repce, elemfelvétel, fitotoxicitás

Irodalom

- ANDERSSON, G., OLERED, R. & OLSSON, G., 1958. Zur Nährstoffaufnahme des Winter-raps. Z. Acker- u. Pflanzenbau. **107**. 171–179.
- BUTTE, W., 1983. Rapid derivatisation of acids for GC by pre-column transesterification of glycerids. J. Chromatogr. **261**. 142–144.
- BRAUER, H., 1998. Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik. Springer Verlag. Berlin–Heidelberg–Tokyo.
- CHANEY, R. L., 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. In: Land Application of Sewage Sludge. 259–324. Proc. Int. Symp. Tokyo. Japan.
- COOKE, G. W., 1981. Value of „blueprints” in research and advisory work. In: Agricultural Yield Potentials in Continental Climates. 199–207. 16th Colloquium of International Potash Institute. Warsaw.
- CSERHÁTI S., 1901. Általános és különleges növénytermelés. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda. Magyar-Óvár.

- KÁDÁR I., 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- KÁDÁR I., 2003. Mikroelem-terhelés hatása az őszi árpára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **52**. 105–120.
- KÁDÁR I. & NÉMETH T., 2003. Mikroelemek kilúgzásának vizsgálata szabadföldi terheléses tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. **52**. 315–330.
- KÁDÁR I., DAOOD, H. & RADICS L., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a spenótra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 181–204.
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K.-NÉ, 2000. Mikroelem-terhelés hatása a kukoricára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 181–204.
- KÁDÁR I. et al., 2001. A repce (*Brassica napus* L.) műtrágyázása vályog csernozjom talajon. I. Növénytermelés. **50**. 559–573.
- 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.
- MÉM NAK, 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- NÉMETH T., 1988. Az őszi káposztarepce tápelemfelvétele és trágyázása. *Agrokémia és Talajtan*. **36–37**. 294–312.
- NÉMETH T. & KARAMÁN J., 1986. A N-trágyázás hatása az őszi káposztarepce termésére és tápelemtartalmára. *Agrokémia és Talajtan*. **35**. 95–104.
- SAUERBECK, D., 1982. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? *Landw. Forsch. Sh.* **39**. 108–129.

Érkezett: 2003. augusztus 15.

Effect of Microelement Loads on Rape Grown on Calcareous Chernozem Soil

I. KÁDÁR and R. KASTORI

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest (Hungary) and Institute of Field and Vegetable Crops, Novi Sad (Yugoslavia)

Summary

A small-plot field experiment on microelement pollution was set up in spring 1991 at the Nagyhörcsök Experimental Station of the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences on calcareous chernozem soil with a loam texture, formed on loess. The results obtained for winter rape in the 11th year, in 2001, can be summarized as follows:

– Of the 13 microelements examined, arsenic, cadmium and selenium proved to be toxic to young rape plants. As the result of drought during the ripening period, the yield amounted to 0.8 t/ha air-dry seed, 2.0 t/ha pods and 6.0 t/ha. The aboveground biomass was reduced by 38% at the highest (810 kg/ha) rate of As pollution, while this rate of Se pollution caused a 92% reduction (in practice the whole crop was destroyed, together with the weeds). The negative effect of Cd pollution was no longer perceptible at harvest; in fact it had a stimulating effect on the rape.

– The As, Hg and Pb concentrations in the plant organs remained below 0.1 mg/kg even on heavily loaded soil. There was a slight accumulation of Cr, Cu and Ni in the plants, and a moderate accumulation of Sr and Zn, but this was not sufficient to endanger crop quality (oil extraction, fodder). The Cd concentration was an order of magnitude greater and made the crop unfit for human or animal consumption. Molybdenum and selenium had extremely high concentrations, two orders of magnitude greater than normal, because they remained mobile in the soil–plant system, producing plant material that was toxic to living organisms.

– The maximum quantities of microelements incorporated in the aboveground biomass were as follows: Ni 6, Cu 25, Cr 38, Zn 137, Ba and Cd 160, Se 411, Sr 991, Mo 1350 g/ha. Phytoremediation may be possible in the case of mild diffuse pollution if a satisfactory hyperaccumulator plant species can be found for the pollutant in question. Under the present experimental conditions, rape would theoretically eliminate the maximum 810 kg/ha Mo load in 600 years, the Zn load in 6000 years and the Ni load in 135,000 years.

– The specific element content of 1 t seed + the relevant by-products was: 109 kg N, 71 kg S, 26 kg P (60 kg P₂O₅), 138 kg K (166 kg K₂O), 161 kg Ca (225 kg CaO), 24 kg Mg (38 kg MgO). The increase in the specific parameters was due to the extremely wide by-product/main product ratio and was 2–4 times as high as the values recommended by the Hungarian extension service.

– In the case of combine harvesting, 97% of the Ca, 95% of the K, 93% of the S, 84% of the Mg, 71% of the N and 67% of the P absorbed by the plants is ploughed back into the soil with the by-products. In this case it is sufficient to supply the crops with N and P fertilizer, especially on relatively heavy, calcareous soils.

– Oil content and fatty acid composition of rapeseed were studied in the Ba, Mo, Sr and Zn treatments. The average seed yield of 0.8–1.0 t/ha, having an average oil content of 43%, resulted in an oil yield of 350–430 kg/ha. The average fatty acid composition was typical for rape: 66% oleic acid, 17% linoleic acid, 10% linolenic acid, 4% palmitic acid and 2% stearic acid.

Table 1. Farm operations and observations carried out in the rape experiment in 2001 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Farm operations and observations. (2) Date (year, month, day). (3) Note.

Table 2. Effect of phytotoxic treatments on winter oilseed rape in 2001 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Element. (2) Loads in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. A. Scoring on 12 April in the rosette stage. B. Scoring on 27 April at flowering. C. Scoring on 27 June at harvest. D. Plant density (plants/m²) on 27 June at harvest. E. Plant height (cm) on 27 June at harvest. *Note:* Scoring: 1 = whole stand destroyed; 5 = well-developed, healthy stand.

Table 3. Effect of phytotoxic treatments on the air-dry yield of winter oilseed rape at harvest on 27 June 2001 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1)–(4): see Table 2. A. Stems, t/ha. B. Pods, t/ha. C. Seed, t/ha. D. Total yield (stem + pod + seed), t/ha. E. By-product/Main product ratio.

Table 4. Effect of treatments on the element composition of air-dry winter oilseed rape at harvest on 27 June 2001 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Plant organ. a) stem; b) pod; c) seed. (2)–(4): see Table 2. *Note:* Plant organs of rape grown in As-, Hg- and Pb-treated soils did not contain more than 0.1 mg/kg concentration.

Table 5. Effect of treatments on the element uptake of winter oilseed rape at harvest on 27 June 2001 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Plant organ. a) stem; b) pod; c) seed; d) total. (2)–(4): see Table 2. *Note:* The plant uptake of As, Hg and Pb was below the 1 g/ha detection level even on contaminated soil.

Table 6. Element composition of air-dry winter oilseed rape on untreated soil at harvest on 27 June 2001 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Element symbol, units. (2) Stem. (3) Pod. (4) Seed. *Note:* The As, Hg and Pb concentrations were below 0.1 mg/kg.

Table 7. Element uptake of winter oilseed rape on untreated soil at harvest on 27 June 2001 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1)–(4): see Table 6. (5) Total (stem + pod + seed). (6) Specific element requirements*. *Note:* *Element contents of 1 t seed + the relevant by-products. As, Hg and Pb uptake was less than 1 g/ha. The stem had an air-dry mass of 6.0 t/ha, the pods 2.0 t/ha and the seed 0.8 t/ha.

Table 8. Oil content and fatty acid composition of rapeseed, averaged over the elements Ba, Mo, Sr and Zn on 27 June 2001 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Parameters tested. a) Oil content, %. A. Fatty acids as a % of the oil. b) oleic acid, c) linoleic acid, d) linolenic acid, e) palmitic acid, f) stearic acid, g) thousand grain mass, g. (2)–(4): see Table 2. *Note:* An average seed yield of 0.8 t/ha resulted in an oil yield of 350 kg/ha.