

## Mikroelem-terhelés hatása a mákra karbonátos csernozjom talajon

<sup>1</sup> KÁDÁR IMRE, <sup>2</sup> R. KASTORI és <sup>3</sup> BERNÁTH JENŐ

<sup>1</sup> MTA Talajtani és Agrokémiiai Kutatóintézet, Budapest,

<sup>2</sup> Szántóföldi és Zöldségnövények Kutatóintézete, Novi Sad (Jugoszlávia) és

<sup>3</sup> SzIE Kertészettudományi Kar, Budapest

A máktermesztés hazai fellendítése indokolttá válhat a jövőben, hiszen ez a növény többcélúan hasznosítható. Szára jó tüzelő, toktermése az alkaloidagyártás alapanyaga, magja az élelmezést és az olajnyerést egyaránt szolgálhatja. Rendelkezünk hazai fajtákkal, megoldódott a máktermesztés gépesítése. A fejlődés gátja az alacsony termésátlag, mely az olajnyerést jelenleg gazdaságtalanná teszi. Korábbi munkánkban arra kerestük a választ, hogy szakszerű műtrágyázással a mák termése és minősége mennyiben javítható. Talaj- és növényvizsgálati határértékeket, optimumokat is kidolgoztunk a szaktanácsadás számára (KÁDÁR & FÖLDESI, 2001; KÁDÁR et al., 2001).

A mák trágyázásával foglalkozó hazai irodalom szegényes, e tekintetben periférikus kultúrának számít. Ny-Európában a növényt gyakorlatilag nem is termesztik, a kutatásnak nem tárgya. Nem ismert, hogy a talajszennyezés, ill. a mikroelem-terhelés hogyan befolyásolja a növény fejlődését, termését és elemfelvételét, ill. hogy változik-e a mag olajtartalma vagy zsírsavösszetétele, esetleg a tok alkaloidáinak összetétele. Felvetődik, hogy alkalmas lehet-e a mák fitoremediációs célokra, a szennyezett talajok tisztítására? Az említett kérdések vizsgálata céljából szabadföldi mikroelem-terhelési tartamkísérletünk 12. évében (2002-ben) mákot termesztettünk.

Irodalmi utalások (SIMON, 1998) szerint az olajos magvú növények – mint a napraforgó és a repce – képesek káros koncentrációban felhalmozni magvaikban az egyik leginkább aggodalomra okot adó szennyezőt, a kadmiumot. Mivel a mag, ill. olaja közvetlen emberi fogyasztásra kerülhet, a kérdés kiemelt fontossággal bír. Mikroelem-terhelési kísérletünk 8. évében napraforgót, 11. évében repcét vetettünk. Eredményeink alátámasztják az irodalmi megállapításokat. A napraforgó- és repcemagvak Cd-szennyezettsége többszöröse volt az ugyanazon a szennyezett talajon termelt gabonamagvak Cd-szennyezettségének (KÁDÁR & PÁLVÖLGYI, 2003; KÁDÁR & KASTORI, 2003).

---

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

### Anyag és módszer

A termőhely jellemzését, a mikroelem-terhelési kísérlet kezeléseit, valamint a növényi sorrendet a folyóirat jelen számában megjelenő közleményünk ismertette (KÁDÁR & NÉMETH, 2003).

A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat tájékoztat. A vetés 2002. március 6-án történt Kék Duna fajtaival kb. 1 cm mélyen, majd törőzsás korban az állományt 45×5 cm tőállásra egyeltük. Aratáskor, július 16-án, analízis céljára parcellánként 20–20 növényből álló átlagmintát vettünk oly módon, hogy a parcellák belső 4–4 sorából 5–5 db átlagos föld feletti egyedeket vágunk le a föld felett 5 cm-re. Megmértük a légszáraz szár, tok és mag termését, majd a 104 db átlagmintát finomra daráltuk és a cc. HNO<sub>3</sub> + cc. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> roncsolást követően, ICP-technikát alkalmazva 20–24 elemre analizáltuk.

Megemlítjük, hogy parcellánként állománybonítást is végeztünk törőzsás korban, virágzáskor és betakarítás előtt. Aratáskor megállapítottuk a tőszámot,

#### 1. táblázat

A mák kísérletben végzett műveletek és megfigyelések 2002-ben  
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Műveletek, ill. megfigyelések megnevezése	(2) Időpontja (év, hónap, nap)	(3) Megjegyzés
1. Őszi NPK-műtrágyázás	2001. 09. 04.	Parcellánként kézzel
2. Egyirányú szántás	2001. 09. 04.	MTZ-80 + Lajta eke
3. Szántás elmunkálása	2001. 09. 05.	MTZ-50 + gyűrűshenger
4. Vetőágykészítés	2002. 03. 02.	MTZ-50 + kombinátor
5. Tavaszi N-műtrágyázás	2002. 03. 03.	Parcellánként kézzel
6. Műtrágya bemunkálása	2002. 03. 04.	MTZ-50 + kombinátor
7. Hengerezés	2002. 03. 05.	MTZ-50 + simahenger
8. Mák vetése	2002. 03. 06.	Egysoros kézi-toli vetőgép
9. Hengerezés	2002. 03. 06.	MTZ-50 + simahenger
10. Állomány sorol	2002. 03. 18.	Az egész kísérletben
11. Kísérlet kitézése, karózás	2002. 04. 28.	Parcellánként kézzel
12. Gyomirtó kapálás	2002. 04. 29.	Parcellánként kézzel
13. Tőszám beállítása	2002. 05. 08.	Parcellánként kézzel
14. Bonítálás törőzsás korban	2002. 05. 08.	Parcellánként 1–5 skálán
15. Bonítálás virágzásban	2002. 06. 06.	Parcellánként 1–5 skálán
16. Bonítálás aratáskor	2002. 07. 15.	Parcellánként 1–5 skálán
17. Mintakévek vétele	2002. 07. 15.	Parcellánként 20–20 növény
18. Aratás (4 sor × 6 m = 10,8 m <sup>2</sup> )	2002. 07. 16.	Parcellánként kézzel
19. Magmérés	2002. 07. 18.	Parcellánként kézzel
20. Mintakéve feldolgozása	2002. 08. 07.	Parcellánként kézzel
21. Szár-, tokminták daralása	2002. 08. 08.	Parcellánkénti átlagminták

Megjegyzés: Kék Duna fajta 1 cm mélyre vetve és 45×5 cm tőállásra egyelve

valamint mértük az állomány átlagos magasságát parcellánként, a tokok számát és tokonként a mag átlagos tömegét. A tok morfintartalmát a SZIE Kertészettudományi Kar Gyógynövény Tanszékén vizsgálták meg. A mag olajtartalmát és zsírsavösszetételét az újvidéki Szántóföldi és Zöldségnövények Kutatóintézetében határozták meg. Talajmintavételre – az elővetemény repce aratását követően – 2000-ben került sor, amikor parcellánként 20–20 pontminta/lefűrés egyesítésével átlagmintákat kevertünk a szántott rétegből és megállapítottuk az  $\text{NH}_4$ -acetát + EDTA-oldható elemtartalmakat LAKANEN és ERVIÖ (1971) módszerével. Eredményeinket részletesen a korábbi közleményünk taglalta (KÁDÁR & NÉMETH, 2003).

Ami a csapadék-ellátottságot illeti, a következőkre utalunk: az elővetemény repce betakarítását követően 2001. év végéig, tehát az augusztus és december közötti 5 hónap alatt összesen 324 cm eső hullott. 2002. januárban 11, februárban 18, márciusban 14, áprilisban 41, májusban 55, júniusban 32 mm csapadékoszegeket mértünk, tehát a szokásosnál is szárazabb volt a tavasz és a nyár. A 2002-ben kapott 171 mm csapadékon túl a szerkezetes csernozjom az előző évi 324 mm-t is tárolhatta, így elméletileg 495 mm vízkészlet állhatott a mák rendelkezésére.

## 2. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a mák fejlődésére és termésére 2002-ben  
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Bonitálás május 8-án, törzsszás korban</i>						
As	4,0	4,5	5,0	2,5	1,0	4,0
Cd	4,0	4,5	4,0	2,0		3,6
Se	5,0	4,0	5,0	5,0		4,8
<i>B. Bonitálás június 6-án, virágzaskor</i>						
As	4,5	4,5	4,0	1,0	0,9	3,5
Cd	3,5	4,0	4,0	2,0		3,4
Se	5,0	4,5	5,0	5,0		4,9
<i>C. Bonitálás július 16-án, aratáskor</i>						
As	5,0	5,0	4,5	1,0	1,2	3,9
Cd	5,0	5,0	3,5	3,0		4,1
Se	5,0	4,5	3,5	2,5		3,9
<i>D. Állománymagasság (cm) július 16-án, aratáskor</i>						
As	103	106	101	88	10	99
Cd	97	106	103	89		98
Se	103	101	101	97		100

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

### Eredmények

A 2. táblázatban közölt adatok szerint a mák fejlődését három mikroelem-szennyező (As, Cd, Se) gátolta. Törőzsás korban szignifikáns depressziót – bonitálásaink szerint – csak a maximális As- és Cd-terhelés okozott. Virágzás idején és aratáskor az erősen szennyezett As-kezelésben az állomány nagyrészt már kipusztult, míg a Cd-kezelésben, ill. aratás idején a szelénnel szennyezett talajon is ritkulás jelentkezett. Ugyanitt az As- és Cd-kezelésekben mintegy átlagosan 10 %-kal mérséklődött az állomány átlagos magassága is.

Amint a 3. táblázatban látható, nemcsak az állomány ritkult, hanem csökkent a megmaradt növényegyedek szár-, tok- és magtermés tömege, valamint a hektáronkénti tokok száma a növekvő As- és Cd-terhelések nyomán. Mivel a Se-depresszió csak az érés idején jelentkezett, a maximális Se-terhelés a szár hozamát nem mérsékelte. A növényenkénti tok- és maghozamot azonban már igazolhatóan csökkentette. A növényenkénti tokok száma 2–3 db között ingadozott és a nagyobb As-terhelések esetében bizonyíthatóan mérséklődött (3. táblázat).

3. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a mák terméselemeire 2002. július 16-án, aratáskor  
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Szár, g/növény</i>						
As	15,3	12,5	10,8	7,0	4,4	11,4
Cd	14,0	15,0	12,0	8,3		12,3
Se	13,5	15,5	16,3	16,8		15,5
<i>B. Tok, g/növény</i>						
As	3,5	3,1	2,5	2,1	1,2	2,8
Cd	3,5	2,8	2,6	1,1		2,5
Se	3,2	3,8	3,9	2,7		3,4
<i>C. Mag, g/növény</i>						
As	4,7	4,2	3,4	1,6	1,7	3,5
Cd	4,6	3,7	3,2	1,4		3,2
Se	4,6	5,3	4,8	2,8		4,4
<i>D. Tokszám, 1000 db/ha</i>						
As	489	512	536	35	122	393
Cd	432	475	431	246		386
Se	500	395	460	403		439
<i>E. Tok, db/növény</i>						
As	3,15	2,59	2,30	1,84	0,74	2,47
Cd	2,57	2,68	2,66	2,00		2,48
Se	2,51	2,67	2,40	3,10		2,67

## 4. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a mák légszáraz termésére 2002. július 26-án, aratáskor  
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Mag, t/ha</i>						
As	0,73	0,83	0,80	0,03	0,22	0,60
Cd	0,78	0,66	0,52	0,17		0,53
Se	0,91	0,79	0,92	0,37		0,75
<i>B. Tok, t/ha</i>						
As	0,54	0,61	0,58	0,04	0,16	0,44
Cd	0,59	0,50	0,43	0,13		0,41
Se	0,63	0,56	0,75	0,35		0,57
<i>C. Szár, t/ha</i>						
As	2,37	2,48	2,52	0,13	0,62	1,87
Cd	2,36	2,66	1,95	1,02		2,00
Se	2,69	2,30	3,13	2,18		2,57
<i>D. Összes föld feletti hozam, t/ha</i>						
As	3,63	3,91	3,90	0,20	0,87	2,91
Cd	3,73	3,81	2,90	1,33		2,94
Se	4,23	3,65	4,80	2,90		3,89
<i>E. Tok/mag aránya</i>						
As	0,74	0,73	0,72	1,33	0,16	0,88
Cd	0,76	0,76	0,83	0,76		0,78
Se	0,69	0,71	0,82	0,95		0,79
<i>F. Szár/mag aránya</i>						
As	3,25	2,99	3,15	4,33	1,45	3,43
Cd	3,03	4,03	3,75	6,00		4,20
Se	2,96	2,91	3,40	5,89		3,79

A 4. táblázat eredményei arra utalnak, hogy magtermés gyakorlatilag nem képződött az arzénnel erősen szennyezett talajon, 1/4-ére csökkent a kadmiummal, kevesebb, mint a felére a szelénnel maximálisan terhelt kezeléseknél. Hasonló képet mutat a toktermés is. A kontrollhoz viszonyítva a szár tömege a maximális terhelés nyomán az arzén esetében 5, a kadmium esetében 43, a szelén esetében 81 %-ra zuhant. Többé-kevésbé ezek az arányok állnak fenn akkor is, ha a föld feletti légszáraz anyag hozamának összegét vizsgáljuk. A melléktermés/főtermés arány túlgúlása rávilágít, hogy a toxicitás főként a generatív fázisban, az érés idején vált teljessé és kifejezettebben a mag- és toktermés csökkenésében tükröződött.

Az olajtartalom és zsírsavösszetétel vizsgálatokat az As-, Cd-, Mo- és Se-kezelések magmintáin végeztük el. Az olajtartalom 40 % körül ingadozott szennyezetlen talajon és nem változott bizonyíthatóan az As-, Cd- és Mo-kezelésekben. A növekvő Se-terheléssel viszont 5–10 %-os növekedés volt

5. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a mákmag olajtartalmára és -hozamára, valamint a tok morfintartalmára és -hozamára 2002-ben  
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhöröcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Olaj %-a a légszáraz magban</i>						
As	40,6	41,4	41,4	41,6	1,4	41,2
Cd	40,5	40,7	40,9	39,4		40,4
Se	40,5	41,7	44,1	42,6		42,2
<i>B. Olajhozam, kg/ha</i>						
As	296	344	330	12	99	246
Cd	320	269	213	67		217
Se	369	329	406	158		316
<i>C. Morfin, mg/kg a légszáraz tokban</i>						
As	3,5	3,8	3,8	3,7	1,5	3,7
Cd	3,8	4,0	3,8	4,1		3,9
Se	3,8	8,5	8,3	8,0		7,2
<i>D. Morfinhozam, kg/ha</i>						
As	1,9	2,3	2,2	0,1	0,6	1,6
Cd	2,2	2,0	1,6	0,5		1,6
Se	2,4	4,8	6,2	2,8		4,0

*Megjegyzés:* A mag olajának átlagos zsírsavösszetétele: linolsav 63, olajsav 22, palmitinsav 10, sztearinsav 2, linolensav 0,5, eikozánsav 0,2, arachinsav 0,2, merisztinsav 0,1 %

kimutatható a mag olajkészletében. Megemlítjük, hogy a napraforgónál 1998-ban ugyanitt a Se-terhelés 5 % olajkészlet-csökkenést okozott (KÁDÁR & PÁL-VÖLGYI, 2003). Ami az olajhozamot illeti megállapítható, hogy a kontrolltalajon kapott 300–370 kg/ha körüli olajtermés a maximális Se-terhelés nyomán kevesebb, mint a felére, a maximális Cd-terheléssel csaknem az 1/5-ére, míg a maximális As-terheléssel 12 kg/ha mennyiségre, 1/25-ére zuhant (5. táblázat).

A mákmag olajának zsírsavösszetétele statisztikailag igazolhatóan nem módosult a kezelések hatására. A zsírsavak közül meghatározó volt a 18 szénatommal rendelkező kétszer telítetlen linolsav (C18:2) 62,6 %-kal, ezt követte az egyszer telítetlen olajsav (C18:1) 22,3 %-kal, a palmitinsav (C16:0) 10,4 %-kal, a sztearinsav (C18:0) 2,3 %-kal, a linolensav (C18:3) 0,5 %-kal, az

eikozánsav (C20:1) és az arachinsav (C20:0) 0,2 %-kal, valamint a merisztinsav (C14:0) 0,1 %-kal.

A tok morfintartalma az As- és Cd-kezelések nyomán igazolhatóan nem módosult, míg a Se-szennyezés a morfinkészletet megkétszerezte. Tekintettel e jelenség gazdasági következményeire, további vizsgálatokat igényelhet a hatásmechanizmus feltárása. A szennyezetlen kontrolltalajon mért 2 kg/ha körüli morfinhozam az As-túlsúly eredményeképpen nagyságrenddel, a Cd-túlsúly hatására kevesebb, mint 1/4-ére csökkent. Ezzel szemben a szelénnel közepesen szennyezett talajon a morfinhozam 2–2,5-szeresére nőtt (5. táblázat).

Ami az aratáskori légszárak mák elemösszetételét illeti megállapítható (6. táblázat), hogy az arzén kevésbé épül be a növény föld feletti szerveibe. A szárban maximálisan 2,5, a tokban 0,3 mg/kg As mutatható ki, míg a magban a 0,1 mg/kg kimutathatósági határ alatt maradt, tehát fogyasztásra alkalmas magot kaptunk. A bárium mérsékelten, 3–6-szorosára emelkedett a Ba-terheléssel. Báriumra külön szennyezettségi határkoncentrációkat a vonatkozó szabványok, rendeletek nem adnak meg, nem minősül veszélyes szennyezőnek. A 17/1999. (VI. 16) sz. EüM rendelet hántolt napraforgómagra ad meg szennyezettségi határértékeket, melyek a mákmagra is iránymutatóul szolgálhatnak: As 0,2, Hg 0,02, Pb 0,5, Cd 0,6 mg/kg szárazanyagban.

A kadmium két nagyságrenddel dúsult a mák szerveiben és humán fogyasztásra alkalmatlan magtermést eredményezett minden terhelési szinten. A generatív mag sem védett tehát a káros akkumuláció ellen. A króm ezzel szemben a vegetatív részekben dúsult, a mag érdemben nem szennyeződött, emberi fogyasztásra alkalmas maradt. A réz sem mutatott érdemi dúsulást, szennyezést a Cu-terhelés nyomán. A Hg-mozgás – az arzénhoz hasonlóan – gátolt a talaj-növény rendszerben, a tok és a mag feltehetően és kimutathatóan nem szennyeződött, bár a kimutathatósági határ nagyságrenddel meghaladta a rendeleti határértéket (6. táblázat).

Extrém (három nagyságrendet is elérő) Mo-akkumuláció figyelhető meg a szárban és a tokban, míg a magban a dúsulás mérsékelt, egy nagyságrendű volt. A Ni-koncentráció általában mérsékelten, minden növényi részben egy nagyságrenddel emelkedett. Az ólom mozgása, amely az As és Hg elemekéhez állhat közel, gátolt a föld feletti növényi részekben. A mag még az ólommal erősen szennyezett talajon sem mutatja az ólom beépülését. Az Pb-szennyezés veszélye hasonló talajon inkább a ráakódó porral állhat fenn, tehát légköri eredetű lehet.

Hiperakkumulációt jelzett a szelén: a magban 431-, a szárban 1180-, a tokban 7550-szeres dúsulással a kontrollhoz viszonyítva. Mivel a szelén a molibdénhoz hasonlóan 5–10 mg/kg koncentráció felett élettani zavarokat vagy toxikózist okozhat az állati, ill. emberi szervezetben, a mag minden kezelésben erősen szennyezettnek minősíthető. A Sr-koncentráció minden növényi szervben egyenletesen 3–4-szeresére emelkedett, mely azonban a fogyaszthatóságot

6. táblázat

Mikroelem-terhelés hatása a légszáras mák elemösszetételére 2002. július 16-án, aratáskor  
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>As mg/kg, As-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,0	0,2	1,3	2,5	0,2	1,0
b) Tok	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,1
c) Mag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Ba mg/kg, Ba-terhelés hatására</i>						
a) Szár	13,0	18,0	24,1	47,2	6,4	25,6
b) Tok	4,7	6,2	9,5	24,2	3,2	11,2
c) Mag	1,4	2,0	3,3	6,4	0,6	3,3
<i>Cd mg/kg, Cd-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,1	1,7	5,0	12,0	1,4	4,7
b) Tok	0,1	3,3	5,6	8,0	0,6	4,2
c) Mag	0,1	5,9	10,6	16,6	2,4	8,3
<i>Cr mg/kg, Cr-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,2	1,0	2,8	6,6	0,6	2,6
b) Tok	0,1	0,6	3,7	11,5	0,7	4,0
c) Mag	0,2	0,3	0,5	1,2	0,2	6,6
<i>Cu mg/kg, Cu-terhelés hatására</i>						
a) Szár	4,8	5,3	8,0	7,0	1,1	6,3
b) Tok	12,6	16,0	17,6	18,5	2,9	16,2
c) Mag	19,0	20,5	20,5	23,4	1,0	20,8
<i>Hg mg/kg, Hg-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,0	0,3	0,6	1,2	0,3	0,5
b) Tok	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
c) Mag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Mo mg/kg, Mo-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,3	46	78	113	17	59
b) Tok	0,5	59	117	182	19	90
c) Mag	0,5	4	6	7	1	4
<i>Ni mg/kg, Ni-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,5	1,3	2,6	5,3	0,4	2,4
b) Tok	1,7	7,1	16,7	26,2	1,9	12,9
c) Mag	1,2	4,1	8,5	12,8	1,2	6,6
<i>Pb mg/kg, Pb-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,0	0,9	1,3	1,2	0,3	0,8
b) Tok	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,1
c) Mag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



6. táblázat folytatása

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD <sub>5%</sub>	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>Se mg/kg, Se-terhelés hatására</i>						
a) Szár	0,5	148	304	590	42	260
b) Tok	0,2	467	922	1510	120	725
c) Mag	1,4	274	389	561	38	306
<i>Sr mg/kg, Sr-terhelés hatására</i>						
a) Szár	90	132	174	289	23	171
b) Tok	72	114	138	244	22	142
c) Mag	25	45	54	98	8	55
<i>Zn mg/kg, Zn-terhelés hatására</i>						
a) Szár	4	32	85	105	24	56
b) Tok	4	18	24	35	8	20
c) Mag	40	70	109	118	17	84

Megjegyzés: Az As, Hg és Pb a 0,1 mg/kg kimutathatósági határ alatt volt szennyezetlen talajon

nem befolyásolhatja, nem okozott érdemi szennyezést. A szár és a tok Zn-készlete 17–20-szorosára emelkedett szennyezett talajon, míg a magban közel megháromszorozódott. Kétségtelen, hogy a talajszennyezést főként a vegetatív szervek összetétele jelezheti (6. táblázat).

7. táblázat

A mák maximális mikroelem-felvétele (g/ha) szennyezett talajon  
2002. július 16-án, aratáskor (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörccsök)

(1) Elem jele	(2) Szárban	(3) Tokban	(4) Magban	(5) Összesen
Se	1268	692	280	2240
Sr	778	146	88	1012
Mo	348	109	6	463
Zn	284	21	106	411
Ba	127	15	6	148
Cu	18,9	11,1	21,1	51,1
Ni	14,3	15,7	11,5	41,5
Cr	17,8	6,9	1,1	25,8
Cd	20,7	2,4	2,6	25,7
Pb	3,2	0,2	0,0	3,4
Hg	3,2	0,0	0,0	3,2
As	0,0	0,1	1,0	1,1

Kérdés, vajon a mák mennyire lehet alkalmas a szennyezett talaj tisztítására, fitoremediációra? A maximális mikroelem-felvétel a Se esetében 2,2 kg, Sr-nál 1,0 kg, a Mo és Zn elemeknél 0,4–0,5 kg/ha körül alakult. A fontosabb szennyezőknél (Cu, Ni, Cr és Cd) mindössze 25–50 g/ha, míg az Pb, Hg és As elemeknél 1–3 g/ha, tehát elhanyagolható. A 810 kg/ha terhelés ilyen módon való eliminálása Se-szennyezésnél 368, Mo-szennyezésnél 800, Cd-szennyezésnél 31 ezer, As-szennyezésnél pedig már közel 740 ezer esztendő igényelne hasonló körülmények között. A mák tehát nem lehet alkalmas az erősen szennyezett talajok tisztítására. A 7. táblázat adataiból látható, hogy az arzén kivételével a mikroelemek döntő tömege a melléktermésben található.

A 8. táblázatban áttekintést adunk a légszáraz mák átlagos elemösszetételéről szennyezetlen talajon. A 22 vizsgált elemre kiterjedően megállapítható, hogy a magtermés gazdag N, P, Mg, Mn, Cu, Zn, Se és Mo elemekben, melyek a magképződésben kiemelkedő szerephez jutnak. A tokban találtuk a K, Ca, S,

8. táblázat

A légszáraz mák átlagos elemösszetétele szennyezetlen talajon aratáskor, 2002. júl. 16-án  
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele és mértékegysége		(2) Szár 2,7 t/ha	(3) Becő 0,6 t/ha	(4) Mag 0,9 t/ha
K	%	2,24	3,62	0,92
Ca	%	2,13	2,33	1,50
N	%	2,10	2,75	4,94
S	%	0,24	0,74	0,35
Mg	%	0,20	0,37	0,39
P	%	0,17	0,57	1,07
Fe	mg/kg	386	382	90
Na	mg/kg	120	206	12
Mn	mg/kg	102	46	106
Sr	mg/kg	90	72	25
B	mg/kg	37	39	23
Ba	mg/kg	13	5	2
Cu	mg/kg	5	13	19
Zn	mg/kg	4	4	40
Ni	mg/kg	0,5	1,7	1,2
Se	mg/kg	0,5	0,2	1,4
Mo	mg/kg	0,3	0,5	0,5
Cr	mg/kg	0,2	0,1	0,2
Cd	mg/kg	0,1	0,1	0,1

Megjegyzés: Az As, Hg és Pb a 0,1 mg/kg méréshatár alatt

## 9. táblázat

A mák elemfelvétele szennyezetlen talajon 2002. július 16-án, aratáskor  
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Elem jele és mértékegysége	(2) Szár 2,7 t/ha	(3) Becő 0,6 t/ha	(4) Mag 0,9 t/ha	(5) Összesen 4,2 t/ha	
K	kg/ha	60,5	21,7	8,3	90,5
Ca	kg/ha	57,5	14,0	13,5	85,0
N	kg/ha	56,7	16,5	44,5	117,7
S	kg/ha	6,5	4,4	3,2	14,1
Mg	kg/ha	5,4	2,2	3,5	11,1
P	kg/ha	4,6	3,4	9,6	17,6
Fe	g/ha	1042	229	81	1352
Na	g/ha	324	124	11	459
Mn	g/ha	275	28	95	398
Sr	g/ha	243	43	22	308
B	g/ha	100	23	21	144
Ba	g/ha	35	3	2	40
Cu	g/ha	14	8	17	39
Zn	g/ha	11	3	36	50
Ni	g/ha	1,4	1,0	1,1	3,5
Se	g/ha	1,4	0,2	1,3	2,9
Mo	g/ha	0,8	0,3	0,4	1,5
Cr	g/ha	0,5	0,1	0,2	0,8
Cd	g/ha	0,3	0,1	0,1	0,5

Megjegyzés: Az As, Hg és Pb a 0,1 mg/kg méréshatár alatt

Na, B és Ni elemek maximális koncentrációit, míg az előregedő szár főként Ca, Fe, Mn, Sr, B, Ba és Cr elemekben dúsult. Az As-, Hg- és Pb-koncentráció minden növényi részben a 0,1 mg/kg méréshatár alatt maradt.

Szennyezetlen talajon a 2,7 t/ha szár, 0,6 t/ha tok és 0,9 t/ha mag, azaz a 4,2 t/ha légszáraz föld feletti hozam átlagos elemfelvételét a 9. táblázatban tanulmányozhatjuk. Még ilyen mérsékelt terméskor is jelentős a N, K, Ca és P elemek terméssel eltávozó mennyisége. A növények elemigényét a fajlagos, azaz 1 t mag és a hozzá tartozó melléktermék elemtartalma alapján becsüljük a szaknácásadásban. Kísérleti eredményeink szerint a tervezett termés fajlagos elemtartalma ezen a termőhelyen 131 kg N, 101 kg K (121 kg K<sub>2</sub>O), 94 kg Ca (132 kg CaO), 20 kg P (46 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 16 kg S, 12 kg Mg (20 kg MgO), 1,5 kg Fe, 0,5 kg Na és Mn, 340 g Sr, 160 g B, 40–60 g Zn, Ba és Cu, 3–4 g Ni és Se, valamint 1–2 g Mo és Cr.

Megemlíjtjük, hogy ugyanezen a talajon 1983-ban NPK-műtrágyázási kísérletet végeztünk Kék Duna fajtájú mákkal, amikor is 1,5 t szár, 0,4 t tok és 0,6 t mag átlagtermést kaptunk. A fajlagos N 83 kg, K 93 kg, Ca 65 kg, P 16 kg, Mg 11 kg értékeket adott (KÁDÁR et al., 2001). Ezek a fajlagos mutatók jelentősen alacsonyabbak, mint a most kapottak. 1983-ban aszályos nyár uralkodott, júniusban mindössze 14, júliusban 19 mm volt a csapadékösszeg, mely az elemek felvételét gátolta. A hazai szaktanácsadásban a fajlagos tartalmak még nem szerepelnek e növényre, nem kidolgozottak. Eddigi (korábbi és újabb) eredményeinket figyelembe véve az alábbi átlagos fajlagos tartalmakat javasoljuk a szaktanácsadás számára a tervezett termés elemigényének számításakor: 100 kg N, 120 kg K<sub>2</sub>O, 100 kg Ca, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 kg MgO. Hasonló meszes talajokon a Ca- és Mg-trágyázás természetesen feleslegessé válik.

### Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén 1991 tavaszán beállított szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérlet 12. évében (2002) Kék Duna fajtájú mákot vetettünk. Az elvégzett vizsgálatok főbb eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

– Fitotoxikusnak a maximális adagú As-, Cd- és Se-kezelés bizonyult. Gyakorlatilag kipusztult az állomány az arzénal erősen szennyezett parcellákon, a mag és tok hozama 1/4-ére zuhant a kadmiummal, illetve felére a szelénrel szennyezett kezelésben. A melléktermés/főtermés arány tágulása jelezte, hogy a toxicitás főként a generatív fázisban, az érés idején vált teljessé.

– A mag olajtartalma 40 % körül ingadozott és 5–10 %-os növekedést mutatott a Se-terhelés nyomán. A zsírsavösszetétel igazolhatóan nem változott és az alábbi átlagos összetételt mutatta: linolsav 62,6, olajsav 22,3, palmitinsav 10,4, sztearinsav 2,3, linolensav 0,5, eikozánsav és arachinsav 0,2–0,2 % körül. A szennyezetlen kontrolltalajon kapott 300–370 kg/ha olajhozam a maximális Se-terhelés esetén közelítően a felére, Cd-terheléssel 1/4-ére, As-terhelés esetében 1/25-ére zuhant, követve lényegében a magtermés alakulását.

– A tok morfintartalma átlagosan megkétszereződött a Se-kezelésekben, a kontrolltalajon mért 2 kg/ha morfinhozam a szelénrel közepesen szennyezett talajon 5–6 kg/ha mennyiségre emelkedett. További vizsgálatokat igényel a jelenség magyarázata és a hatásmechanizmus feltárása. Az egyéb elemek hatására igazolható változás nem történt.

– Kevésbé dúsult a föld feletti növényi szervekben az arzén, higany és ólom, mely elemek koncentrációja még a szennyezett talajon is a 0,1 mg/kg kimutathatósági határ alatt maradt a magban. Mérsékelt akkumulációt jeleztek a Cr, Cu és Ni elemek, melyek mozgása szintén korlátozott a talaj–növény rendszerben.

A kadmium főként a magtermésben emelkedett, a kontrolltalajon 0,1 mg/kg, míg az erősen szennyezett 11–17 mg/kg koncentrációt mutatott, tehát két nagyságrenddel dúsult.

– A stroncium átlagosan megháromszorozódott a fő- és melléktermésben szennyezett talajon, a bárium 4–5-szörösére nőtt a Ba-terheléssel minden növényi részben. A Zn-koncentráció a magban mintegy a 3-, a tokban 9-, a szárban 26-szorosára ugrott. A molibdén a magtermésben 14-szeres, a melléktermésben kereken 3000-szeres emelkedést jelzett a kontrollhoz képest. A hiperakkumulátor szelén a magban 430-szoros, a szárban 1200-szoros, a tokban 7550-szeres dúsulást mutatott a kontrollhoz viszonyítva. A molibdenát és szelénát anionformák felvehetőek maradnak ezen a jól szellőzött meszes termőhelyen.

– A mák magtermése humán fogyasztásra egyértelműen alkalmatlanná vált a Cd-, Mo- és Se-kezelésekben. Nagyobb terhelésnél emelkedett még a Ba-, Ni-, Sr- és Zn-koncentráció is.

– A ha-onkénti maximális mikroelem-felvétel szennyezett talajon 2,2 kg Se-, 1 kg Sr-, 400–500 g Mo- és Zn-, 25–50 g Cu-, Ni-, Cd- és Cr-, illetve 1–3 g Pb-, Hg- és As-mennyiségeket tett ki. A 810 kg/ha talajterhelés felszámolása fitoremediációval a szelén esetében elméletileg 368, a molibdénnél 800, a kadmiumnál 31 ezer, az As-szennyezésnél közel 740 ezer esztendő igényelne hasonló körülmények között. A mák nem alkalmas az erősen szennyezett talajok tisztítására.

– A mák fajlagos, azaz 1 t mag és a hozzá tartozó melléktermés elemtartalma 131 kg N-, 121 kg K<sub>2</sub>O-, 132 kg CaO-, 46 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-, 20 kg MgO-, 16 kg S-, 1,5 kg Fe-, 0,5 kg Na- és Mn-, 340 g Sr-, 160 g B-, 40–60 g Zn-, Ba- és Cu-, 3–4 g Ni- és Se-, valamint 1–2 g Mo- és Cr-mennyiségnek adódott. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a szaktanácsadás számára a tervezett termés elemigényének kiszámításához.

**Kulcsszavak:** mikroelem-terhelés, mák, elemfelvétel, fitotoxicitás, minőség

### Irodalom

- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R. L., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.* **123.** 223–232.
- KÁDÁR I. & FÖLDESI D., 2001. A mák (*Papaver somniferum* L.) műtrágyázása karbonátos vályog csernozjom talajon. I. Növénytermelés. **50.** 453–465.
- KÁDÁR I. & KASTORI, R., 2003. Mikroelem-terhelés hatása a repcére karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **52.** 331–346.
- KÁDÁR I. & NÉMETH T., 2003. Mikroelem-szennyezők kimosódásának vizsgálata szabadföldi terheléses tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* **52.** 315–330.

- KÁDÁR I. & PÁLVÖLGYI L., 2003. Mikroelem-terhelés hatása a napraforgóra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **52**. 79–92.
- KÁDÁR I. et al., 2001. A mák (*Papaver somniferum* L.) műtrágyázása karbonátos vályog csernozjom talajon. II. Növénytermelés. **50**. 467–478.
- SIMON, L., 1998. Cadmium accumulation and distribution in sunflower plant. *J. Plant Nutrition*. **2**. 341–352.

*Érkezett: 2003. augusztus 15.*

## Effect of Microelement Loads on Poppy Grown on Calcareous Chernozem Soil

<sup>1</sup> I. KÁDÁR, <sup>2</sup> R. KASTORI and <sup>3</sup> J. BERNÁTH

<sup>1</sup> Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, <sup>2</sup> Research Institute for Field and Vegetable Crops, Novi Sad (Yugoslavia) and <sup>3</sup> Faculty of Horticulture, Szent István University, Budapest

### Summary

The growing site conditions and treatments applied in the small-plot field microelement pollution experiment set up on calcareous chernozem soil in spring 1991 were detailed previously (KÁDÁR & NÉMETH, 2003). In the 12<sup>th</sup> year (2002) the poppy variety Kék Duna was sown. The main results of the analyses can be summarized as follows:

– The maximum rates of As, Cd and Se proved to be phytotoxic. Practically the whole stand was destroyed on plots heavily loaded with As, while the seed and capsule yield was reduced to ¼ by Cd and to half by Se. The increase in the by-product/main product ratio indicated that toxicity was greatest in the generative phase, at ripening.

– The seed oil content was around 40% and increased by 5–10% as the result of Se loads. The fatty acid composition did not change significantly and had the following mean composition: linoleic acid 62.6%, oleic acid 22.3%, palmitic acid 10.4%, stearic acid 2.3%, linolenic acid 0.5%, eicosanic acid 0.2% and arachic acid 0.2%. The 300–370 kg/ha oil yield recorded on the unpolluted control soil dropped to approximately half as the result of maximum Se loads, to ¼ due to Cd- and to 1/25 after As pollution, roughly parallel to the changes in the seed yield.

– The morphine content of the capsule doubled on average in the Se treatments, with an increase in morphine yield from 2 kg/ha on the control soil to 5–6 kg/ha on soil moderately loaded with Se. Further investigations will be required to explain this phenomenon and reveal the action mechanism. No significant change was observed as the result of the other elements.

– The As, Hg and Pb contents in the aboveground plant organs showed only a slight increase, and the concentration of these elements in the seed remained below the 0.1 mg/kg detection limit even on polluted soil. Moderate accumulation was recorded for Cr, Cu and Ni, the mobility of which is also restricted in the soil–plant system. The Cd content increased chiefly in the seed yield, with concentrations of 0.1 mg/kg on the control soil and 11–17 mg/kg on the heavily loaded soil. The increase was thus two orders of magnitude.

– The Sr content tripled on average in the main and by-products on polluted soil, while the Ba content rose 4–5-times in all the plant organs as the result of Ba pollution. The Zn concentration increased 3-times in the seed, 9-times in the capsule and 26-times in the stem. Mo exhibited an increase of 14-times in the seed yield and around 3000 in the by-products compared with the control. The concentration of the hyperaccumulator Se was 430-, 120- and 7550-times greater in the seed, stem and capsule, resp. compared with the control. The molybdenate and selenate anions remain available in this well-ventilated calcareous soil.

– The poppy seed yield became completely unsuitable for human consumption in the Cd, Mo and Se treatments. At higher loads there was also an increase in the Ba, Ni, Sr and Zn concentrations.

– The maximum microelement uptake per hectare on polluted soil was 2.2 kg Se, 1 kg Sr, 400–500 g Mo and Zn, 25–50 g Cu, Ni, Cd and Cr, and 1–3 g Pb, Hg and As. The elimination of soil pollution at the 810 kg/ha rate would theoretically take 368 years in the case of Se, 800 for Mo, 31,000 for Cd and almost 740,000 years for As under the experimental conditions. Poppy is not suitable for the cleansing of heavily polluted soils.

– The specific element content of poppy (for 1 t seed + the relevant by-products) amounted to 131 kg N, 121 kg K<sub>2</sub>O, 132 kg CaO, 46 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 kg MgO, 16 kg S, 1.5 kg Fe, 0.5 kg Na and Mn, 340 g Sr, 160 g B, 40–60 g Zn, Ba and Cu, 3–4 g Ni and Se, and 1–2 g Mo and Cr. These data could be used as guidelines for the extension service in calculating the element requirements of the planned yield.

*Table 1.* Farm operations and observations carried out in the poppy experiment in 2002 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök).

*Table 2.* Effect of phytotoxic treatments on the development and yield of poppy in 2002 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element. (2) Pollution in spring 1991, kg/ha. (3) LSD<sub>5%</sub>. (4) Mean. A. Scoring on 8 May in the rosette stage. B. Scoring on 6 June at flowering. C. Scoring on 16 July at harvest. D. Plant height (cm) on 16 July at harvest. *Note:* Scoring: 1 = destroyed stand; 5 = well-developed, healthy stand.

*Table 3.* Effect of phytotoxic treatments on the yield components of poppy at harvest on 16 July 2002. (1)–(4): see Table 2. A. Stem, g/plant. B. Capsule, g/plant. C. Seed, g/plant. D. Capsule number, 1000/ha. E. Capsule, No./plant.

*Table 4.* Effect of phytotoxic treatments on the air-dry yield of poppy at harvest on 16 July 2002 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 2. A. Seed, t/ha. B. Capsule, t/ha. C. Stem, t/ha. D. Total aboveground yield, t/ha. E. Capsule/seed ratio. F. Stem/seed ratio.

*Table 5.* Effect of phytotoxic treatments on the oil content and yield of poppy seeds and on the morphine content of the capsule in 2002 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 2. A. Oil % in the air-dry seed. B. Oil yield, kg/ha. C. Morphine, mg/kg in the air-dry capsule. D. Morphine yield, kg/ha.

*Table 6.* Effect of microelement loads on the element composition of air-dry poppy at harvest on 16 July 2002 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Plant organ. a) stem, b) capsule, c) seed. (2)–(4): see Table 2. *Note:* The As, Hg and Pb concentrations were below the 0.1 mg/kg detection limit on unpolluted soil.

*Table 7.* Maximum microelement uptake of poppy (g/ha) on polluted soil at harvest on 16 July 2002 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element symbol. (2) In the stem. (3) In the capsule. (4) In the seed. (5) Total.

*Table 8.* Mean element composition of air-dry poppy on unpolluted soil at harvest on 16 July 2002 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element symbol and units. (2) Stem, 2.7 t/ha. (3) Capsule, 0.6 t/ha. (4) Seed, 0.9 t/ha. *Note:* The As, Hg and Pb concentrations were below the 0.1 mg/kg detection limit.

*Table 9.* Element uptake of poppy on unpolluted soil at harvest on 16 July 2002 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4) and *Note:* see Table 8. (5) Total, 4.2 t/ha.