

Mikroelem-terhelés hatása a napraforgóra karbonátos csernozjom talajon

KÁDÁR IMRE és PÁLVÖLGYI LÁSZLÓ

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest és
Gabonatermesztési Kutató Közhasznú Társaság, Szeged

A napraforgó (*Helianthus annuus* L.) – legfontosabb hazai olajnövényünk – vetésterülete az utóbbi évtizedekben megközelítette a 400 ezer ha-t. A magyar lakosság jelentős mennyiségű napraforgóolajat, -margarint és -magot fogyaszt, a napraforgó mikroelem-akkumulációjára vonatkozó ismereteink azonban szórványosak (SIMON, 1998; SIMON et al., 1999). USA-beli közlések szerint a napraforgókasztban az átlagnál nagyobb mennyiségű nehézfém (pl. Cd) halmozódhat fel, a növény intenzív ásványi anyagcserével, ill. elemfelvétellel rendelkezik (LI et al., 1995). Mikroelem-terheléses szabadföldi kisparcellás tartamkísérletünk 8. évében, 1998-ban ezért a köztermesztésben elterjedt „Viki” hibrid napraforgót teszteltük.

Anyag és módszer

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 % CaCO_3 -ot és 3 % humuszt tartalmazott, felvehető Ca-, Mg-, Mn-, ill. Cu-ellátottsága kielégítő, N- és K-ellátottsága közepes, P- és Zn-ellátottsága 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, 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–P₂O₅–K₂O alaptrágyázás egységesen történt az egész kísérletben ammonit-rát-, szuperfoszfát- és kálisó-mutrágyákkal. A növényi sorrend kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó, cékla, spenót és búza volt (KÁDÁR & DAOOD, 2001).

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

Az alkalmazott kezelések olyan talajszennyezettségi viszonyokat modelleznek, amelyek ipari létesítmények, autóutak és települések szennyezett környezetben, városi kiskertekben ma is előfordulnak vagy előfordulhatnak a jövőben. A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat nyújt áttekintést. A vetés 1998. április 23-án történt szemenkénti vetőgéppel 70 x 20

1. táblázat

A napraforgó kísérletben végzett műveletek és megfigyelések 1998-ban
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Műveletek megnevezése	(2) Idopontja (hónap, nap)	(3) Megjegyzés
1. NPK-alaptrágyázás	03. 16.	Parcellánként kézzel
2. Egyirányú szántás	03. 31.	MTZ-80 + Lajta eke
3. Gyurushengerezés	03. 31.	MTZ-80 + gyurushenger
4. N-mutrágyázás	04. 15.	Parcellánként kézzel
5. Kombinátorozás	04. 16.	MTZ-50 + kombinátor
6. Vetés, hengerezés	04. 23.	MTZ-50 + SPC-6 vetőgép
7. Állomány sorol	05. 05.	Az egész kísérletben
8. Kísérlet karózása/kituzése	05. 20.	Parcellánként kézzel
9. Gyomirtó kapálás	05. 27.	Az egész kísérletben kézzel
10. Bonitálás 4–6 leveles korban	06. 02.	Parcellánként 1–5 skálán
11. Gyomirtó kapálás	06. 30.	Az egész kísérletben kézzel
12. Bonitálás virágzás elején	07. 06.	Parcellánként 1–5 skálán
13. Levélmintavétel	07. 06.	20 db/parcella, tányér alatt
14. Toszámlálás	09. 22.	4–4 sor/parcella
15. Mintakéve vétel	09. 22.	20 to parcellánként
16. Betakarítás, kombájnolás	09. 23.	Kézi fejelés + kombájn cséplés
17. Mintakéve feldolgozás	09. 26.	Szár, tányér parcellánként
18. Talajmintavétel	10. 19.	Parcellánként, 0–20 cm
19. Tányérok cséplése	11. 23.	Parcellánként kézzel

Megjegyzés: Vetés mélysége 5 cm, csíraszám 5–6 db/fm, vetomag 10 kg/ha, fajta VIKI, sor x totávolság: 70 x 20 cm

cm sor x to távolságra, kb. 70 ezres toszámmal. Állomány-bonitálást végeztünk 4–6 leveles korban (június 2-án), virágzás elején (július 6-án), valamint toszámlálást szeptember 22-én parcellánként betakarítás előtt.

Levéldiagnosztikai vizsgálatokra parcellánként 20–20 db tányér alatti levelet is begyűjtöttünk. Közvetlenül kombájnolás előtt 20–20 föld feletti teljes növényt vettünk véletlenszerűen parcellánként a szár, tányér, valamint a mag tömegarányának és összetételének megállapítására. Mértük a növényi átlagminták friss és légszáraz tömegét 40–50 °C-on történt szárítást követően, majd az átlagmintákat finomra daráltuk és cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ roncsolás után 20–24 elemre analizáltuk ICP-technikát alkalmazva.

A parcellák bruttó/teljes területe $3,5 \times 6 = 21 \text{ m}^2$. Betakarításkor a két szélső sort elhagyva a belső 4-4 sor állományát értékeltük, az értékelt/nettó terület tehát parcellánként $2,8 \times 6 = 16,8 \text{ m}^2$ -t tett ki. Talajmintavételre, ill. talajvizsgálatokra 1994. évben került sor. Ekkor parcellánként 20–20 pontminta (lefűrés) egyesítésével átlagmintákat képeztünk a szántott rétegből és meghatároztuk az „összes” tartalmakat cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 kioldás után, valamint az NH_4 -acetát + EDTA oldható frakciókat LAKANEN és ERVIÖ (1971) szerint.

Amint a 2. táblázat adatai mutatják, talajvizsgálatokkal a terhelés csak részben és elemenként eltérő módon jelezhető utólag. A cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 feltá-

2. táblázat

A kezelések hatása a szántott réteg elemösszetételére, mg/kg
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ kioldás 1994-ben*</i>						
As	7	28	81	210	34	86
Ba	80	111	154	398	54	221
Cd	0,3	18	50	162	18	62
Cr	18	48	64	121	57	63
Cu	17	43	85	230	24	120
Hg	0	26	67	157	33	66
Mo	0	10	20	114	24	36
Ni	28	63	112	248	18	113
Pb	10	49	142	264	33	117
Se	7	29	81	224	22	88
Sr	60	90	158	352	28	165
Zn	40	71	118	274	26	127
<i>B. HN₄-acetát + EDTA kioldás 1994-ben**</i>						
As	0	4	21	80	9	26
Ba	18	27	40	67	16	38
Cd	0	14	44	164	13	56
Cr	0	1	2	4	1	2
Cu	4	23	65	192	12	71
Hg	0	2	12	41	2	14
Mo	0	3	7	25	4	9
Ni	4	22	48	86	9	40
Pb	5	29	101	260	19	99
Se	0	8	33	89	11	32
Sr	40	57	99	314	32	118
Zn	1	19	44	147	11	53

* Hg és Mo 0,1 mg/kg körül, B 1, Co 8, Na 61, S 432, Mn 684, P 1127, K 1555, Mg 8446, Al 10796, Fe 15789 mg/kg átlagosan. ** As, Cd, Cr, Hg, Mo, Se 0.1 mg/kg körül, Co és B 2, Na és S 40, Al 67, Fe 71, P 100, K 266, Mn és Mg 400 mg/kg átlagosan

rásból az alábbi visszameríthetőség adódott: 90 % felett kimutatható volt az Pb, Sr, Ba, Ni, Zn; 60–90 % között a Cu, Se, As, Hg; 30–60 % között a Cr, Cd, Mo. Az NH₄-acetát + EDTA-oldható frakcióból 90 % felett az Pb; 60–90 % között a Sr; 30–60 % között a Cu, Zn Cd, Ni, Se; 10–30 % között az As, Ba, Mo, Hg; 10 % alatt a Cr volt detektálható 5 év után a szántott rétegben. Az Al dúsulása egyik módszerrel sem volt igazolható. Külön vizsgálatot igényel majd a veszteségforrások feltárása (megkötődés, kilúgzás, elillanás, felvétel).

Az elovetemény (oszi búza) júliusban lekerült a tábláról és ezt követően 1997 végéig a talaj még 178 mm csapadékot kapott. 1998. január–augusztus között további 426 mm eső hullott. A napraforgó elméletileg tehát 604 mm csapadékkal rendelkezett aktív tenyészideje során. A csapadékos évben a napraforgó nagy zöldtömeget képezett (szár + tányér), a magtermés azonban mérsékelt maradt.

Kísérleti eredmények megvitatása

A kísérlet 8. évében a 13 vizsgált elemből csupán a kadmium és szelén bizonyult toxikusnak a napraforgóra, ezért a többi kezelés bemutatásától eltekintünk. A 4–6 leveles korban és virágzás kezdetén végzett állománybonításiaink, ill. megfigyeléseink szerint a kadmium esetében az 1981-ben adott 810 kg/ha

3. táblázat
Fitotoxikus kezelések hatása a napraforgóra 1998-ban
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Bonitálás jún. 2-án 4–6 leveles korban*</i>						
Cd	4,5	3,5	3,5	2,5	1,5	3,5
Se	4,0	2,5	1,5	1,0	1,5	2,2
<i>B. Bonitálás júl. 6-án virágzáskor*</i>						
Cd	4,5	3,0	3,0	2,0	1,5	3,1
Se	4,5	3,0	1,5	1,0	1,5	2,5
<i>C. Légszáraz levél júl. 6-án virágzáskor, g/20 db levél**</i>						
Cd	37	28	28	20	10	28
Se	41	27	12	0	10	20
<i>D. Toszám szept. 22-én aratáskor, 1000 db/ha</i>						
Cd	71	66	65	68	8	68
Se	66	66	35	0	8	42
<i>E. Légszáraz szártermés szept. 22-én aratáskor, t/ha</i>						
Cd	4,8	4,2	4,0	4,1	1	4,3
Se	4,5	2,0	0,7	0,0	1	1,8

* Bonitálás: 1 – gyengén fejlett, pusztuló állomány; 5 – jól fejlett állomány;

** Szedéskor 12 % légszárazanyag-tartalommal

terhelés eredményezett depressziót. A virágzás elején vett levelek tömege is csökkent a parcellákon. Ez a depresszió a tenyésztés második felében látszólag megszűnt, betakarítás idején a szár és a tányér tömege szignifikánsan nem különbözött a kontrolltól. Feltehető, hogy a növények gyökerei túlnőtték a Cd-mal szennyezett talajréteget. A parcellánkénti tövek száma sem csökkent igazolhatóan. Ezzel szemben a Se-toxicitás már a 90 kg/ha terhelésnél kifejezetté vált, ill. az erősebb szennyezés a növényállomány, valamint az előforduló gyomnövényzet teljes pusztulásához vezetett (3. táblázat).

A növekedés Cd-terhelés gátolta a magképződést, kevés és kisméretű kaszatok képződtek a tányérban. A kontrollhoz viszonyítva lecsökkent a magtermés, a mag olaj %-a, valamint az olajhozam. A Se-toxicitás drasztikus hatását jelzi, hogy a 270, ill. 810 kg/ha terhelés nyomán mag alig, vagy egyáltalán nem képződött, érdemi olajhozam nem jelentkezett (4. táblázat). A továbbiakban lássuk hogyan alakul a virágzás kori tányér alatti levél, valamint a szár, tányér és a mag összetétele a kezelések függvényében.

Az arzén nem mobilis a talaj-növény rendszerben, mindössze néhány vagy néhány tized mg/kg koncentrációt ért el a maximális terheléssel. Legkevesbé a magtermésben dúsult. A 17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet hántolt napraforgómagban maximálisan 0,02, 0,2, 0,5 és 0,6 mg/kg Hg-, As-, Pb- és Cd-tartalmat engedélyez. A napraforgó magtermése tehát még fogyasztásra alkalmas maradt.

4. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a napraforgóra aratás kor, 1998
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Légszáraz tányér, t/ha</i>						
Cd	1,7	1,7	1,9	1,7	0,4	1,8
Se	1,6	1,0	0,4	0,0	0,4	0,8
<i>B. 1000-kaszat tömege, g</i>						
Cd	40	37	35	33	7	36
Se	41	41	1	0	7	28
<i>C. Magtermés, t/ha</i>						
Cd	2,5	2,0	1,8	1,4	0,6	1,9
Se	2,6	1,6	0,2	0,0	0,6	1,1
<i>D. Olaj %-a a magban</i>						
Cd	45	42	42	41	2	42
Se	45	44	40	–	2	43
<i>E. Olajhozam, t/ha</i>						
Cd	1,1	0,8	0,8	0,6	0,3	0,8
Se	1,2	0,7	0,1	0,0	0,3	0,7

Megjegyzés: – A növényzet kipusztult

A 4/1990. (II. 28.) MÉM rendelet szerint egyéb takarmánykeverékekben maximuman 0,1, 0,5, 2 és 5 mg/kg higany, kadmium, arzén és ólom lehet. A 810 kg/ha terhelésnél a virágzáskori levél 3,2 mg/kg koncentrációt ért el, a határértéket meghaladva. Egyéb esetben a vegetatív növényi részek is fogyasztásra, takarmányozásra alkalmasak maradtak. Feltehető, hogy a levelek a talaj által szennyeződtek, a levelek mosására nem került sor (5. táblázat).

5. táblázat

A kezelések hatása a légszár napraforgó elemösszetételére 1998-ban
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhorcsók)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>As mg/kg, As-terhelés hatására</i>						
a) Levél	0,3	0,4	0,8	3,2	0,1	1,2
b) Szár	0,0	0,0	0,0	1,5	0,5	0,7
c) Tányér	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2	0,2
d) Kaszat	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1
<i>Ba mg/kg, Ba-terhelés hatására</i>						
a) Levél	5,4	7,7	16,6	85,2	10,2	29,0
b) Szár	7,8	9,6	16,8	27,6	4,4	15,5
c) Tányér	4,0	4,4	6,4	11,8	1,4	6,7
d) Kaszat	0,4	0,4	0,6	0,9	0,2	0,8
<i>Cd mg/kg, Cd-terhelés hatására</i>						
a) Levél	0,2	9,0	12,8	18,8	4,1	10,0
b) Szár	0,1	2,0	5,6	9,7	2,2	4,4
c) Tányér	0,1	4,1	6,2	9,3	3,4	5,0
d) Kaszat	0,2	6,2	8,5	12,0	4,1	6,7
<i>Cr mg/kg, Cr-terhelés hatására</i>						
a) Levél	0,1	0,4	2,2	4,2	0,4	1,7
b) Szár	0,2	0,5	1,5	2,5	0,5	1,2
c) Tányér	0,4	0,5	1,4	2,7	0,8	1,3
d) Kaszat	0,2	0,3	0,3	0,4	0,1	0,3
<i>Cu mg/kg, Cu-terhelés hatására</i>						
a) Levél	12,4	22,8	29,0	27,2	8,0	23,0
b) Szár	2,4	4,3	6,2	8,0	2,6	5,2
c) Tányér	10,2	16,0	18,7	18,7	5,6	16,0
d) Kaszat	16,5	20,3	20,5	22,0	1,3	20,0
<i>Hg mg/kg, Hg-terhelés hatására</i>						
a) Levél	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,1
b) Szár	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
c) Tányér	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
d) Kaszat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

5. táblázat folytatása

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>Mo mg/kg, Mo-terhelés hatására</i>						
a) Levél	1,8	48	155	306	25	128
b) Szár	0,4	23	46	87	23	40
c) Tányér	0,8	22	58	122	28	51
d) Kaszat	0,5	10	23	34	9	17
<i>Ni mg/kg, Ni-terhelés hatására</i>						
a) Levél	0,2	1,1	3,4	7,1	1,4	3,0
b) Szár	0,0	0,2	0,4	1,4	0,4	0,5
c) Tányér	0,7	2,1	5,4	8,8	1,6	4,3
d) Kaszat	1,1	2,5	7,1	10,6	2,6	5,3
<i>Pb mg/kg, Pb-terhelés hatására</i>						
a) Levél	0,0	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2
b) Szár	0,1	0,4	0,7	1,2	0,5	0,6
c) Tányér	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2
d) Kaszat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Se mg/kg, Se-terhelés hatására</i>						
a) Levél	0,4	600	1010	-	141	537
b) Szár	0,5	95	168	-	53	88
c) Tányér	0,1	179	332	-	108	170
d) Kaszat	2,0	133	131	-	42	89
<i>Sr mg/kg, Sr-terhelés hatására</i>						
a) Levél	88	136	163	336	44	181
b) Szár	71	111	129	180	42	123
c) Tányér	47	62	90	154	19	88
d) Kaszat	6	7	8	15	2	9
<i>Zn mg/kg, Zn-terhelés hatására</i>						
a) Levél	14	46	57	64	14	45
b) Szár	5	26	37	51	21	30
c) Tányér	12	33	36	37	18	30
d) Kaszat	34	70	80	99	22	71

Megjegyzés: levél virágzás kezdetén; szár, tányér, kaszat betakarításkor. Kimutathatósági határok: As 0,06, Cd 0,01, Cr és Co 0,02, Hg 0,3, Mo 0,04, Ni 0,08, Pb 0,1, Se 0,1 mg/kg; – A növényzet kipusztult

A bárium foként a levélben, ill. a vegetatív részekben dúsult számottevoen, a magban nem. Mivel nem tekintik veszélyes elemnek a talaj-növény rendszerben, az elérhető szabványok Ba-ra határkoncentrációkat nem közölnek. A kadmium ezzel szemben felhalmozódott a növényi vegetatív és generatív szervben egyaránt és a termék emberi, ill. állati fogyasztásra alkalmatlanná vált már a 90 kg/ha terhelés nyomán. A króm növényi felvétele gátolt volt, így érdemi szenny-

nyezés nem történt. Megemlítjük, hogy a szakirodalom a takarmányokban az 50 mg/kg szárazanyag feletti koncentrációt tekinti kritikusnak.

Közismert, hogy a réz mozgása szintén gátolt a talaj-növény viszonylatban. A 25–30 mg/kg szárazanyag feletti koncentráció minosülhet nemkívánatosnak az érzékenyebb állatfajok (pl. a juh) számára. A magra ilyen határértékeket nem közölnek. A higany általában mérés határ, azaz 0,3 mg/kg alatt maradt. Mivel a határértékek ennél szigorúbbak (magra 0,02, takarmánykeverékekre 0,1 mg/kg), a felhasználhatóság valójában nem bírálható el. Kétségtelen azonban, hogy a higany növényi felvétele rendkívüli módon akadályozott a talajon (5. táblázat).

A molibdén extrém, két nagyságrendű dúsulást mutatott a növényi részekben és fogyasztásra alkalmatlan terméket eredményezett már a 90 kg/ha terhelésnél. A 10 mg/kg körüli vagy feletti koncentráció már elfogadhatatlan étlettanilag a növényeво állat, ill. az ember számára. Bár a nikkell egy nagyságrendi felhalmozást jelzett, nem haladta meg az egészségügyi maximumot, mely 50 mg/kg takarmányban. Az olajos magvakra határértékeket nem közölnek. Az ólom érdemi dúsulást nem jelzett és a termék minőségét még a maximális terhelés esetén sem veszélyeztette (5. táblázat).

A szelén akkumulációja a kontrollhoz viszonyítva a három nagyságrendet is elérte a vegetatív részekben, de a magban is 60–70-szeresére nőtt. A 2 mg/kg szárazanyag feletti tartalom már egészségügyi határnak minosül, melyet a szennyezett talajon fejlődő növényzet általában két nagyságrenddel lépett túl. Ez a szennyezett növényi biomasza mérgezőnek tekinthető az élő szervezetekre. A szelén bizonyult a legveszélyesebb szennyezőnek ezen a meszes, jól szellőző talajon. A Na-szelenit formában adott szelén feltehetően Ca-szelenáttá alakult és megőrizte fitotoxikus jellegét, mert az előző 7 évben termesztett növényfajokra hasonló módon hatott (KÁDÁR et al., 2000a,b, 2001a,b; KÁDÁR & PROKISCH, 2000; KÁDÁR, 2001; KÁDÁR & DAOOD, 2001).

Megemlítjük, hogy a kísérlet 6. éve után végzett mélyfúrásaink szerint a Cr-, Mo- és Se-bemosódás elérte az 1 m mélységet a nagyobb terhelésű parcellák profiljában. Ezen elemek tehát a talajvizet is veszélyeztetik bizonyos körülmények között kilúgzással, a kromát-/molibdenát-/szelenátiókok vertikális mozgásával. A többi vizsgált elem elmozdulása a 0–60 cm mélységen túl nem volt igazolható.

A stroncium döntően a levélben és a vegetatív részekben halmozódott fel, a magban csak mérsékelten dúsult. Az elérhető irodalomban élelmiszerekre és takarmányra egészségügyi határértékeket nem találtunk; általános vélemény szerint nem tekinthető veszélyes elemnek a talaj-növény rendszerben. Kivételt a stroncium sugárzó izotópjai jelentenek. A cink hasonlóképpen néhányszoros akkumulációt mutatott általában, azonban a szárban a luxusfelvétel egy nagyságrendi elemfelvételt eredményezett. A takarmányokban 300 mg/kg szárazanyag feletti tartalmat minosítik kritikusnak, olajos magvakra hasonló maximumokat nem adnak meg. A növényi termék összességében nem vált szennyezetté (5. táblázat).

A szennyezetlen talajon fejlődött napraforgó szerveinek átlagos összetételéről a 6. táblázat informál. Adataink szerint makroelemekben a virágzás elején vett tányér alatti levél volt a leggazdagabb. A Sr, Mn, Mo és részben a Cd mikroelemek maximális koncentrációit is itt találjuk. A tányér Fe, Al, B, Na és Cr, míg a mag Zn, Cu, Se, Ni és részben Cd elemekben dúsult. A tányér alatti levél elemzése diagnosztikai célokat is szolgálhat. BERGMANN (1988) szerint az optimális összetétel virágzás elején 3–5 % N és K, 0,8–2,0 % Ca, 0,3–0,8 % Mg, 0,3–0,5 % P, 25–100 mg Mn, 30–80 mg Zn, 10–20 mg Cu/kg szárazanyagban.

Saját eredményeinket az etalon koncentrációkkal összevetve megállapítható, hogy a napraforgó tápláltsági állapotát a kontrolltalajon mérsékeltén a N-, valamint kifejezetten a Zn-hiány, valamint a Ca- és Mg-túlsúly jellemezte. Az As-, Hg-, Co- és Pb-koncentráció minden növényi szervben 0,1 mg/kg, ill. mérés határ alatt maradt (6. táblázat). Ami a növényi részekbe épült elemek mennyiségéről, a 7. táblázatban közölt eredmények szerint a szárban mutatható ki a Ca, Mg, Fe, Mn, Sr, Al, B és Na maximuma. A tányérban a K, Mo, Cr, míg a magtermésben a N, P, S, Zn, Cu, Se, Ni és Cd elemek halmozódtak fel a legna-

6. táblázat

A légszáraz napraforgó átlagos összetétele szennyezetlen talajon, 1998
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele, mértékegysége	(2) Levél júl. 6-án	(3)	(4)	(5)
		Szár	Tányér	Kaszat
szept. 22-én betakarításkor				
K %	4,00	0,91	2,68	1,20
N %	3,50	0,75	1,50	3,07
Ca %	3,06	1,31	1,62	0,23
Mg %	1,04	0,52	0,32	0,33
S %	0,51	0,10	0,20	0,22
P %	0,48	0,13	0,38	0,91
Fe mg/kg	88	59	133	62
Sr mg/kg	88	71	47	8
Mn mg/kg	68	30	28	24
B mg/kg	63	30	76	14
Al mg/kg	24	42	71	6
Zn mg/kg	14	5	15	34
Na mg/kg	13	28	60	1
Cu mg/kg	12	3	10	16
Mo mg/kg	1,5	0,3	1,0	0,5
Se mg/kg	0,5	0,5	0,2	2,6
Ni mg/kg	0,2	0,0	0,6	1,2
Cd mg/kg	0,2	0,1	0,1	0,2
Cr mg/kg	0,1	0,1	0,5	0,2

Megjegyzés: As, Hg, Co, Pb 0,1 mg/kg körül vagy alatt maradt

7. táblázat

A napraforgó átlagos és fajlagos (1 t kaszat + melléktermése) elemfelvétele szennyeztelen talajon 1998-ban (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele, mennyisége	(2) Szár	(3) Tányér	(4) Kaszat	(5) Együtt	(6) Fajlagos*
K kg/ha	44	46	30	120	48
N kg/ha	36	26	77	139	56
Ca kg/ha	63	28	6	97	39
Mg kg/ha	25	5	8	38	15
S kg/ha	5	3	6	14	6
P kg/ha	6	6	23	35	14
Fe g/ha	250	226	155	631	252
Sr g/ha	341	80	20	441	176
Mn g/ha	144	48	60	252	101
B g/ha	144	129	35	308	123
Al g/ha	202	121	15	338	135
Zn g/ha	24	26	85	135	54
Na g/ha	134	102	2	238	95
Cu g/ha	14	17	40	71	28
Mo g/ha	1.4	1.7	1.2	4.3	1.7
Se g/ha	2.4	0.3	6.5	9.2	3.7
Ni g/ha	0.0	1.0	3.0	4.0	1.6
Cd g/ha	0.5	0.2	0.5	1.2	0.5
Cr g/ha	0.5	1.4	0.5	2.4	1.0

* 1 t szem + a hozzá tartozó szár és tányér melléktermékben. Átszámítási faktorok a fajlagos értékekhez: $K \times 1,20 = K_2O$, $P \times 2,29 = P_2O_5$, $Ca \times 1,40 = CaO$, $Mg \times 1,66 = MgO$

8. táblázat

A napraforgó maximális mikroelem-felvétele szennyezett talajon, g/ha, 1998-ban aratáskor

(1) Elemek	(2) Szárban	(3) Tányérban	(4) Kaszatban	(5) Összesen
Hg	0,0	0,0	0,0	0,0
Pb	5,8	0,5	0,0	6,3
As	7,0	1,2	0,5	8,7
Ni	7,0	15,0	26,5	48,5
Cr	12	5	1	18
Cu	38	32	55	125
Cd	47	16	30	93
Ba	132	20	2	154
Zn	245	63	248	556
Al	246	77	6	329
Mo	418	207	85	710
Se	806	564	328	1698
Sr	864	262	38	1164

gyobb mennyiségben. A mutrágyázási szaktanácsadás számára a tervezett termés elemszükségletét mutató fajlagos tartalmakat is közöljük.

Vajon mennyi szennyező elemet képes a napraforgó maximálisan felvenni a talajból és így hozzájárulni a talaj tisztításához? Mennyiben alkalmas a növény fitoremediációra? A 8. táblázatban közölt adataink szerint a Hg méréshatár alatt maradt, az Pb és As 6–9, Cr 18, Ni 48, Cd 93, Cu 125, Ba 154, Al 329, Zn 556, Mo 710, Sr 1164, Se 1698 g/ha mennyiséget jelzett. A 810 kg/ha szennyezés kivonásához tehát hasonló körülmények között az As esetében pl. 93103 évre, a Cd esetében 8710 évre, a Se esetében 477 esztendőre volna szükség.

A fitoremediáció az enyhébb diffúz szennyezésnél jöhet szóba, amennyiben megfelelő hiperakkumulátor növényfaj és termesztési technika is rendelkezésre áll. Az erösebben szennyezett talajok tisztítására a napraforgó, bár intenzív anyagcseréjű és nagy biomasszát képező kultúra, nem alkalmas. Ismeretes, hogy meszes talajon a legtöbb fémion felvehetősege egyébként is mérsékelt (CSATHÓ, 1994; LEHOCZKY et al., 1996, 1998a,b).

Összefoglalás

Mikroelem-terheléses kisparcellás szabadföldi kísérletünk 8. évében napraforgó jelzőnövényt termesztettünk. A löszön képződött vályog karbonátos csernozjom talaj szántott rétege 5 % CaCO_3 - és 3 % humusztartalommal rendelkezett. A 13 vizsgált mikroelemet 1991 tavaszán szántottuk be 0, 90, 270, 810 kg/ha mennyiségben. A 13 x 4 = 52 kezelést 2 ismétlésben állítottuk be 104 parcellán split-plot elrendezésben. Főbb eredményeink az alábbiakban foglalhatóak össze:

- Talajvizsgálatokkal a terhelés csak részben és elemenként eltérő módon becsülhető utólag. A cc. HNO_3 + cc. H_2O_2 módszerrel pl. a Cu, Se, As, Hg 60–90 %-a, a Cr, Cd, Mo 30–60 %-a volt kimutatható a kísérlet 4. éve után a szántott rétegben.

- A 13 vizsgált elem közül csupán a Cd és Se bizonyult toxikusnak a napraforgóra. A növekvő Cd-terhelés gátolta a magképződést, csökkentette az olaj %-át a magban és az olajhozamot. A 270 kg/ha feletti Se-terhelés nyomán az állomány kiritkult, kipusztult és magtermés alig, vagy egyáltalán nem képződött.

- Az As, Cr, Cu, Hg, Pb mozgása gátolt e termohelyen a talaj-növény rendszerben. Mérsékelt akkumulációt mutatott a növény szerveiben a Cd, Ba, Ni, Sr és Zn, extrém dúsulást a Mo és Se jelzett. Növényi szennyezés egészségügyi határkoncentráció túllépését, állati vagy emberi fogyasztásra alkalmatlan terméket eredményezett a Cd-, Mo-, Se- és feltehetően a nagyobb Hg-kezelésekben.

- Erosen szennyezett talajon is, a teljes föld feletti biomasszába került szennyező elemek mennyisége elenyésző maradt. A maximális 810 kg/ha terhelés fitoremediációja hasonló körülmények között az As esetében pl. 93 ezer évet, a Cd esetében 8–9 ezer évet, a Se esetében elméletileg 477 esztendőre venne igénybe.

Fitoremediáció az enyhébb diffúz szennyezésnél jöhet szóba, amennyiben megfelelő hiperakkumulátor növényfaj és termesztési technika is rendelkezésre áll.

Kulcsszavak: talajterhelés, mikroelemek, napraforgó, fitotoxicitás, fitoremediáció

Irodalom

- BERGMANN, W., 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- CSATHÓ P., 1994. A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon. I. Termés és ásványi összetétel. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 62–82.
- KÁDÁR I. & DAOOD, H., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a búzára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 351–370
- KÁDÁR I. & PROKISCH J., 2000. Mikroelem-terhelés hatása a burgonya termésére és elemtartalmára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 447–464.
- KÁDÁR I., DAOOD, H. & RADICS L., 2001a. Mikroelem-terhelés hatása a spenótra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 335–350
- KÁDÁR I., KONCZ J. & RADICS L., 2001b. Mikroelem-terhelés hatása a céklára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 315–334
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K.-NÉ, 2000a. Mikroelem-terhelés hatása a kukoricára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 181–204.
- KÁDÁR I., RADICS L. & DAOOD, H., 2000b. Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépa termésére karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 427–446.
- 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., 1998a. Effect of liming on the heavy metal uptake of lettuce. *Agrokémia és Talajtan*. **47**. 229–234.
- LEHOCZKY, É. et al., 1998b. Cadmium uptake by lettuce in different soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **29**. 1903–1912.
- LI, Y. M. et al., 1995. Genotypic variation in kernel cadmium concentration in sunflower germplasm under varying soil conditions. *Crop Sci.* **35**. 137–141.
- SIMON, L., 1998. Cadmium accumulation and distribution in sunflower plant. *J. Plant Nutrition*. **2**. 341–352.
- SIMON L., VÁGVÖLGYI S. & GYORI Z., 1999. Kadmium akkumuláció vizsgálata napraforgó (*Helianthus annuus* L.) növényben. *Agrokémia és Talajtan*. **48**. 99–108.

Érkezett: 2002. augusztus 26.

Effect of Microelement Loads on Sunflower Grown on Calcareous

Chernozem Soil

I. KÁDÁR and L. PÁLVÖLGYI

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, and Cereal Research Non-Profit Company, Szeged (Hungary)

Summary

Sunflower was grown as indicator plant in the 8th year of a small-plot field experiment on microelement pollution. The ploughed layer of the loamy calcareous chernozem soil, formed on loess, contained 5% CaCO₃ and 3% humus. The 13 microelements tested were ploughed into the soil in spring 1991 at rates of 0, 90, 270 and 810 kg/ha. The 13 × 4 = 52 treatments were set up in two replications on a total of 104 plots in a split-plot design. The main results can be summarized as follows:

– After the event the pollution can only be estimated in part by soil analysis, using different techniques for each element. With the cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ method, for example, 60–90% of the Cu, Se, As and Hg, and 30–60% of the Cr, Cd and Mo could be detected in the ploughed layer after the 4th year of the experiment.

– Of the 13 elements tested, only Cd and Se proved to be toxic to sunflower. Increasing loads of Cd inhibited seed formation and reduced the oil % of the seed and the oil yield. At Se loads of above 270 kg/ha much or all of the stand was destroyed and little or no seed yield was obtained.

– The mobility of As, Cr, Cu, Hg and Pb within the soil–plant system was inhibited at this growing site. Moderate accumulation was recorded in the plant organs for Cd, Ba, Ni, Sr and Zn, while extremely high concentrations were measured for Mo and Se. The health limits for plant contamination were exceeded for Cd, Mo and Se, and probably at the higher rates of Hg, leading to products unsuitable for animal and human consumption.

– Even on heavily loaded soil, the quantity of contaminants found in the whole aboveground biomass remained negligible. Under such conditions, the remediation of the maximum load (810 kg/ha) would theoretically take 93,000 years in the case of As, 8–9000 years for Cd and 477 years for Se. Phytoremediation could be a solution in the case of mild, diffuse pollution, if a satisfactory hyperaccumulator plant species and production technology were available.

Table 1. Technologies applied and observations made in the sunflower experiment in 1998 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök).

Table 2. Effect of treatments on the element composition of the ploughed layer, mg/kg (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1) Element. (2) Load in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean.

Table 3. Effect of phytotoxic treatments on sunflower in 1998 (Calcareous chernozem soil, Nagyhorcsök). (1)–(4): see Table 2. Note: *Scoring: 1 – poorly developed, dying stand; 5 – well developed stand. **Picked with an air-dry matter content of 12%. A. Scoring on 2 June, at 4–6 leaf stage. B. Scoring on 6 July at flowering. C. Air-dry leaf on 6 July, at flowering, g/20 leaves. D. Plant number on 22 September at harvest, 1000 plants/hectare. E. Air-dry stalk yield on 22 September at harvest, t/ha.

Table 4. Effect of phytotoxic treatments on sunflower at harvest, 1998 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 2. A. Air-dry flower head, t/ha. B. 1000-achene mass, g. C. Seed yield, t/ha. D. Oil % in seed. E. Oil yield, t/ha. Note: The whole stand was killed.

Table 5. Effect of treatments on the element composition of air-dry sunflower in 1998 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Plant organ. a) leaf; b) stalk; c) flower head; d) achene. (2)–(4): see Table 2. Note: leaf at the beginning of flowering; stalk, flower head and achene at harvest. Detection limits: As 0.06, Cd 0.01, Cr and Co 0.02, Hg 0.3, Mo 0.04, Ni 0.08, Pb 0.1, Se 0.1 mg/kg; – The whole stand was killed.

Table 6. Mean composition of air-dry sunflower on uncontaminated soil, 1998 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element symbol, quantity. (2) Leaf, 6 July. (3) Stalk, (4) Flower head, (5) Achene at harvest on 22 Sept. Note: Values of As, Hg, Co and Pb were around 0.1 mg/kg or less.

Table 7. Mean and specific (1 t achene + by-products) element uptake of sunflower on uncontaminated soil in 1998 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element symbol, quantity. (2) Stalk. (3) Flower head. (4) Achene. (5) Together. (6) Specific*. Note: *In 1 t achenes + the relevant stalk and flower head by-products. Conversion factors for the specific values: $K \times 1.20 = K_2O$, $P \times 2.29 = P_2O_5$, $Ca \times 1.40 = CaO$, $Mg \times 1.66 = MgO$.

Table 8. Maximum microelement uptake of sunflower on contaminated soil, g/ha, at harvest in 1998. (1) Elements. (2) In the stalk. (3) In the flower heads. (4) In the achenes. (5) Total.