

Mikroelem-terhelés hatása az őszi árpára karbonátos csernozjom talajon

KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest

Az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) vetésterülete hazánkban az utóbbi évtizedben megközelítette a 200 ezer ha-t. Magja értékes abraktakarmány, különösen a sertésenyésztésben nélkülözhetetlen. Könnyen emészthető tápanyagokban gazdag és a takarmánykeverékekbe szinte korlátozás nélkül keverhető. A sertések számára kívánatos 17 %-os fehérjekoncentráció eléréséhez 100 kg árpához kb. 10 kg szója szükséges, míg 100 kg kukorica esetén átlagosan 20 kg, így lehetővé teszi a szójaimport csökkentését. Viaszérés idején a teljes föld feletti növényt betakarítva kiváló tömegtakarmányt nyerhetünk. Elonye még, hogy a gyengébb minőségű talajokon a búzánál jobb terméseket adhat és korábban aratható (MURÁNYI et al., 1986; KISMÁNYOKY, 1997; ANTAL, 1978).

Sajnos, hazai viszonylatban nem rendelkezünk arra vonatkozóan adatokkal, hogy az őszi árpa mennyire érzékeny a talajszennyezésre, a fobb mikroelemek túlsúlyára, ill. szerveiben mennyiben képes a káros mérvű elemakkumulációra. Ismeretes, hogy a létfontosságú elemek koncentrációja a növényi szövetekben viszonylag állandó és ez az optimumtartomány diagnosztikai információt hordoz. A szövetek közötti koncentráció-különbség nagyobb lehet, mint a növényfajra megállapított optimum tartománya. Mai álláspont szerint minden elem kifejtethet élettani funkciót. A mikroelemek általában enzimekbe épülnek, vagy ezeket a szerves makromolekulákat aktiválják (SZABÓ et al., 1987; GYORI, 1984; BERGMANN, 1992).

Az élettani szükségletet többszörösen meghaladó koncentrációk esetén minden elem káros hatásúvá válhat az adott növényre, vagy a növényt fogyasztó állatra, emberre, tehát a tápláléklánc egészére. A hiány és a túlsúly közötti tartomány, e két küszöbérték vagy határérték intervalluma jellemzi a faj ökológiai amplitúdóját, érzékenységét. A szűk toleranciájú fajok, mint indikátorok, tájékoztathatnak a termohely összetételéről, elemkínálatáról és alapul szolgálnak a geobotanikai feltáráshoz. A fiatal zöld fotoszintetizáló növényi részek – mint a hajtás és a kifejlett levél – összetétele tükrözi huen az elemek felvételét, élettani

szerepét és a növényi ellátottság mértékét. Kevésbé ingadozik a növények elemkészlete a szaporodásukat szolgáló termésben, magvakban (SZABÓ et al., 1987; MENGEL, 1976; KÁDÁR 1992).

Anyag és módszer

Kísérletünket 1991 tavaszán állítottuk be az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén. A termohely löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaja a szántott rétegben átlagosan 5 % CaCO_3 -ot és 3 % humuszt tartalmaz. Fizikai féleségét tekintve vályog, 20 % agyag, ill. 40 % leiszapolható rész frakcióval. Agyagásványainak közel felét illit, 1/3-át klorit, kisebb részét szmektit alkotja. A talajvíz tükre kb. 15 m mélyen helyezkedik el, szennyeződése felszíni kilúgzással gyakorlatilag kizárt. A Telep éghajlata az Alföldéhez hasonlóan száraz, aszályra hajló. Szántott rétegében a pH(KCl) 7,3, AL- P_2O_5 80–100, AL- K_2O 140–160, KCl-Mg 150–180, a KCl+EDTA-oldható Mn 80–150, Cu 2–3, Zn 1–2 mg/kg értéket mutat. A MÉM NAK (1979) által bevezetett módszerek és határértékek alapján ezek az adatok a talaj igen jó Mn-, kielégítő Mg- és Cu-, közepes N- és K-, valamint gyenge P- és Zn-ellátottságáról tanúskodnak.

Az alkalmazott kezelések olyan talajszennyezettségi viszonyokat modelleznek, melyek ipari létesítmények, autópályák és települések szennyezett környezetében, városi kiskertekben ma is előfordulnak vagy a jövőben előfordulhatnak. A 13 vizsgált mikroelem sóját 4–4 szinten egyszer alkalmaztuk 1991 tavaszán, az első évben vetett kukorica alá. A $13 \times 4 = 52$ kezelést 2 ismétlésben állítottuk be, összesen 104 parcellán split-plot elrendezésben. A terhelési szintek 0, 90, 270, ill. 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. Az alaptrágyázást évente végeztük 100–100–100 kg/ha N-, P_2O_5 - és K_2O -hatóanyag alkalmazásával ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisómutrágyákkal.

A növényi sorrend a kísérletben az alábbi volt: kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó, cékla, spenót, búza, napraforgó és sóska. Az elövetemény sóska 1999. július 19-én takarítottuk be, az oszi árpa vetésére pedig szeptember 30-án került sor 65–70 db/fm csíraszámossal, Plaisant fajtaival, 4–5 cm mélyre vetve. A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről az 1. táblázat nyújt áttekintést. Bonitálást állományfejlettségre 2000-ben március 13-án bokrosodásban, május 4-én virágzásban és június 20-án aratáskor végeztünk. A gyomosodást és az árpaborítottság %-át is megbecsültük május 11-én.

Levélanalízis céljából virágzás elején parcellánként 30–30 db zászlóslevelet gyűjtöttünk be. Betakarításkor 4–4 fm/parcella föld feletti növényi anyag szolgált laboratóriumi vizsgálatokra. Megmértük a minták friss és a 40–50 °C-on történt szárítás utáni légszáraz tömegét. Az aratáskori mintakévek kalászait elcsepeltük, ill. a levél, szalma, és szem mintegy 300 db növényi mintát finomra

1. táblázat

Az oszi árpa kísérletben végzett muveletek és megfigyelések 2000-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Muveletek megnevezése	(2) Idopontja (év, hónap, nap)	(3) Megjegyzés
1. Oszi NPK-alaptrágyázás	1999. 09. 14.	Parcellánként kézzel
2. Oszi mélyszántás (26 cm)	1999. 09. 14.	MTZ-80 + Lajta eke
3. Szántás elmunkálása	1999. 09. 15.	MTZ-80+gyurushenger, kombinátor
4. Vetés, simahengerezés	1999. 09. 30.	MTZ-80+Lajta-32 vetogép, henger
5. Tavaszi N-mutrágyázás	2000. 03. 12.	Parcellánként kézzel
6. Bonitálás állományra	2000. 03. 13.	Parcellánként 1–5 skálán fejlettségre
7. Bonitálás állományra	2000. 05. 04.	Parcellánként 1–5 skálán fejlettségre
8. Zászlóslevél mintavétele	2000. 05. 04.	Átlagminta 30 db/parcella
9. Bonitálás gyomosodásra	2000. 05. 11.	Parcellánkénti %-os borítottság
10. Bonitálás állományra	2000. 06. 20.	Parcellánként 1–5 skálán
11. Mintakéve aratáskor	2000. 06. 20.	Parcellánként 4–4 fm
12. Kombájnolás	2000. 06. 20.	Parcellánként 6 x 2,1=12,6 m ²
13. Tarlóhántás	2000. 06. 22.	MTZ-50 + tárcsa
14. Mintakéve cséplése	2000. 08. 11.	Parcellánkénti kézi cséplőgép
15. Mintakéve orlése	2000. 08. 31.	Darálás parcellánként
16. Talajmintavétel (0–20 cm)	2000. 09. 04.	Átlagminta 20 pontból/parcella

Megjegyzés: Fajta: Plaisant 4–5 cm mélyre vetve 65–70 db/fm csíraszámmal

daráltuk és cc. HNO₃ + cc. H₂O₂ roncsolás után 24 elemre analizáltuk ICP-technikát alkalmazva. Szeptember elején parcellánként 20–20 pontminta egyesítésével átlagmintákat vettünk a 0–20 cm szántott rétegből és a minták NH₄-acetát + EDTA-oldható elemtartalmát LAKANEN és ERVIÖ (1971) módszerével határoztuk meg.

A parcellák bruttó területe 3,5 × 6 = 21 m² volt. Betakarításkor a belső (nettó) 2 × 6 = 12 m² állományt kombájnoltuk. Az egyéb növény- és talajmintavételek is erre az értékelte területre vonatkoznak. A kísérlet célját, módszerét, valamint a megelőző évek főbb eredményeit részletesen korábbi közleményeink foglalják össze (KÁDÁR et al., 2000, 2001a). Megemlítjük, hogy 2000-ben az éves csapadék összege csupán 384 mm-t tett ki és a nyár aszályos volt.

Az elövetemény sóska betakarítása után azonban a talaj 1999-ben még az oszi árpa vetéséig 140 mm, ill. év végéig újabb 190 mm, azaz összesen 330 mm csapadékkal gazdagodhatott. 2000. januárban 31, februárban 19, márciusban 32, áprilisban 53, májusban 20, júniusban 10 mm eső hullott. Elméletileg tehát az árpa 495 mm vízkészlettel rendelkezhetett. Mindez a május–júniusi aszály ellenére 5 t/ha körüli közepes szemtermések elérését tette lehetővé. A havi, negyedéves, éves és a tenyészido alatti csapadékösszegek adatait az 1995–2000 közötti évekre előző munkánkban mutattuk be (KÁDÁR et al., 2001).

Kísérleti eredmények

A kísérlet 10. évében három elem, a szelén, arzén és kadmium nagyobb terhelése okozott károsodást a tenyészido folyamán. Letális terhelésnek bizonyultak a 10 évvel ezelőtt adott 270, ill. 810 kg/ha adagok, melyek az árpa és a gyomnövényzet teljes pusztulását okozták. Mindez annak ellenére következett be, hogy a szelénát formában adott Se jelentos része már az altalajba mosódott, ill. felhígulhatott. Az arzén depresszív hatása csupán a maximális adagnál bizonyítható, de egyre kifejezettebbé vált az idő előrehaladtával, az előregedéssel. Az állomány kiritkult, növekedésében visszamaradt. Kevésbé kifejezetten, hasonló tendenciát mutatott a maximális Cd-terhelés. A kadmium toxicitása statisztikailag egyértelműen nem volt mindig igazolható a 2. táblázat eredményei szerint.

A 3. táblázatban bemutatott termésadatok alátámasztják a fenológiai megfigyeléseket, bonitálási eredményekből levont korábbi következtetéseket. A kontrollhoz viszonyított maximális Cd-terhelés 2,0 t/ha, As-terhelés ugyanitt 3,3 t/ha

2. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása az oszi árpára 2000-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Bonitálás március 13-án bokrosodásban</i>						
As	5,0	5,0	5,0	4,0	0,6	4,8
Cd	5,0	5,0	5,0	5,0		5,0
Se	5,0	4,0	2,0	1,0		3,0
<i>B. Bonitálás május 4-én virágzásban</i>						
As	5,0	5,0	5,0	2,0	0,4	4,3
Cd	5,0	5,0	4,5	4,0		4,6
Se	5,0	3,5	2,0	1,0		2,9
<i>C. Árpa borítottsági %-a május 11-én</i>						
As	96	92	97	52	6,0	84
Cd	92	97	92	88		92
Se	98	78	0	0		44
<i>D. Bonitálás június 20-án aratáskor</i>						
As	5,0	5,0	4,5	2,0	1,2	4,1
Cd	4,5	3,5	3,5	2,5		3,5
Se	4,5	2,5	1,0	1,0		2,2
<i>E. Átlagos növénymagasság június 20-án aratáskor, cm</i>						
As	84	88	87	62	12	80
Cd	83	92	83	79		84
Se	89	81	0	0		42

Megjegyzés: Bonitálás: 1,0 = kipusztult állomány; 5,0 = fejlett egészséges állomány

3. táblázat
Fitotoxikus kezelések hatása az oszi árpa légszáraz termésére 2000-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Zászlóslevél, g/30 db május 4-én*</i>						
As	1,6	1,3	1,2	0,8	0,3	1,1
Cd	1,4	1,3	1,2	1,1		1,3
Se	1,5	0,9	0,0	0,0		0,5
<i>B. Szem, t/ha</i>						
As	5,4	4,2	4,3	2,1	1,3	4,0
Cd	5,0	4,3	4,2	3,0		4,1
Se	5,4	3,6	0,0	0,0		2,2
<i>C. Szalma, t/ha**</i>						
As	4,0	3,2	3,3	1,6	1,0	3,0
Cd	3,9	3,3	3,2	2,3		3,2
Se	4,2	2,8	0,0	0,0		1,8
<i>D. 1000-mag tömege, g</i>						
As	41	41	40	40	3	40
Cd	41	40	40	39		40
Se	41	37	0	0		20
<i>E. Mag csírázóképesége, %</i>						
As	94	95	94	92	4	94
Cd	96	92	93	94		94
Se	95	96	0	0		48

Megjegyzés: * = Átlagosan 27 % légszárazanyag-tartalommal; ** = A pelyva átlagosan 0,7 t/ha, az összes föld feletti tömeg 10 t/ha körül alakult szennyezetlen talajon 1:1 foter-més:melléktermés aránnyal

szemtermés-vesztéséget okozott, míg a nagyobb Se-terhelésnél a teljes szem- és szalmatermés megsemmisült. Az 1000-mag tömege és a mag csírázóképesége ugyanekkor érdemben nem változott a kapott szemterméseknél, ill. az As-, Cd- és 90 kg/ha Se-kezelésekben.

Megemlíjtjük, hogy a gyomborítottság általában jelentéktelen volt és 1 % alatt maradt, kivéve a depressziót okozó As-kezelést, ahol 4 % fölé emelkedett. A zászlóslevél átlagosan 27 % légszárazanyag-tartalommal rendelkező virág-záskor és tömege szintén jelezte a depressziót. A pelyva átlagosan 0,7 t/ha, az összes föld feletti légszáraz biomassza 10 t/ha körüli mennyiséget tett ki szeny-nyezetlen talajon és 1:1 foter-més:melléktermés arányt mutatott. A száraz évszázad következtében az átlagos állománymagasság ugyanitt 90 cm körül ingadozott.

Ami az árpa szerveinek összetételét illeti megállapítható, hogy az arzén mindössze néhány mg/kg koncentrációt ért el a vegetatív részekben, ill. néhány

4. táblázat
Mikroelem-terhelés hatása a légszáraz oszi árpa összetételére 2000-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(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 ¹	< 0,1	0,5	1,7	3,6	0,4	1,4
b) Szalma ²	< 0,1	1,5	4,5	6,4	0,6	3,1
c) Szem ²	< 0,1	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2
<i>Ba mg/kg, Ba-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	21	29	42	59	6	38
b) Szalma ²	23	30	34	36	9	31
c) Szem ²	2	3	4	5	1	4
<i>Cd mg/kg, Cd-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	0,1	1,2	2,5	5,0	1,2	2,2
b) Szalma ²	0,1	1,4	2,6	5,0	1,2	2,3
c) Szem ²	< 0,1	0,9	1,2	1,9	0,4	1,0
<i>Cr mg/kg, Cr-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	0,3	0,4	0,6	0,9	0,2	0,6
b) Szalma ²	0,1	0,5	0,9	2,4	0,3	1,0
c) Szem ²	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
<i>Cu mg/kg, Cu-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	6,8	9,6	11,4	14,1	1,4	10,5
b) Szalma ²	2,3	3,6	4,4	6,0	1,0	4,1
c) Szem ²	3,0	4,4	4,9	5,2	0,7	4,4
<i>Hg mg/kg, Hg-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
b) Szalma ²	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
c) Szem ²	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
<i>Mo mg/kg, Mo-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	1	124	329	424	50	220
b) Szalma ²	1	96	176	212	58	121
c) Szem ²	0,5	18	33	35	5	22
<i>Ni mg/kg, Ni-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	0,3	0,4	0,7	1,4	0,7	0,7
b) Szalma ²	0,1	0,1	0,8	1,3	0,6	0,6
c) Szem ²	0,3	0,6	1,3	2,9	0,8	1,3
<i>Pb mg/kg, Pb-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	0,2	0,4	0,5	0,3	0,5	0,4
b) Szalma ²	0,1	0,0	0,2	0,4	0,4	0,2
c) Szem ²	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

4. táblázat folytatása

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>Se mg/kg, Se-terhelés hatására*</i>						
a) Levél ¹	1	455	–	–	26	228
b) Szalma ²	1	178	–	–	7	204
c) Szem ²	1	91	–	–	15	46
<i>Sr mg/kg, Sr-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	25	46	56	108	8	59
b) Szalma ²	23	32	36	59	8	38
c) Szem ²	2	4	4	7	1	4
<i>Zn mg/kg, Zn-terhelés hatására</i>						
a) Levél ¹	17	38	40	52	5	37
b) Szalma ²	2	6	13	33	4	14
c) Szem ²	12	30	34	45	6	30

Megjegyzés: ¹ = Zászlósvél május 4-én, ² = szalma, szem június 20-án aratáskor; * = Se 30 kg/ha terhelésnél: levél 55, szalma 18, szem 34 mg/kg; – = A növényzet kipusztult

tized mg/kg mennyiséget a szemben. A Ba- és a Sr-tartalom átlagosan 2-3-szorosára emelkedett szennyezett talajon. Mérsékelten dúsult a kadmium, króm és a réz is a növényi szövetekben, míg a higany a 0,1 mg/kg kimutathatósági határ alatt maradt minden esetben. Jelentéktelen akkumulációt mutatott még a nikkell és ólom. Hiperakkumulációval a molibdén és szelén jellemezhető, mely elemek mennyisége több száz mg/kg értéket ért el a légszáraz vegetatív részekben. A kontrollhoz viszonyítva levélben és szemben a cink 3-4-szeresére, míg a szalmában 16-szorosára ugrott, luxusfelvételre utalva (4. táblázat).

A 17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet lisztben, gabonaorleményekben maximum 0,02 Hg, 0,1 As és Cd, 0,15 Pb, 5 Cu és 30 mg/kg Zn elemtartalmat engedélyez. A 4/1990. (II. 28.) MÉM rendelet takarmányokban 0,1 Hg, 0,5 Cd, 2 As és 5 mg/kg Pb elemkoncentrációkat tart elfogadhatónak szárazanyagban. Az egyes állatfajok turoképessége jelentősen eltérhet. Így pl. juhok számára az egészségügyi maximum az abrakban 25, míg a csirkére 300 mg/kg a réz, valamint 300 és 1000 mg/kg a cink esetében CHANEY (1982) szerint. A német irodalomban az alábbi koncentrációkat tekintik kritikusnak mg/kg szárazanyagban: Cd: 0,5, Hg és Tl: 1,0, Se: 2-5, Co, Mo, Pb és V: 10, Cu: 25-30, As, Cr és Ni: 50, B: 150, Zn: 300 és Mn: 400 (SAUERBECK, 1982; BRAUER, 1998).

A hivatkozott hazai szabályozás értelmében az oszi árpa magtermése humán fogyasztásra alkalmatlanná vált az As-, Cd- és Zn-kezelésekben a határértékek túllépése miatt. A vegetatív növényi részek sem használhatók takarmányozási célokra az As- és Cd-kezelésekben. Az általában két nagyságrendbeli dúsulást mutató Mo és Se elemek természetesen mindenféle fogyasztásra alkalmatlan

terméket eredményeztek szennyezett talajon. Az esszenciális molibdén és szelén ugyanis rendkívüli mobilitást mutat a talaj–növény–állat láncban és akadálytalanul beépülhet az állati vagy emberi szervezetbe, toxikózisokat okozva. Összefoglalóan arra a következtetésre juthatunk, hogy az oszi árpa érzékenyen reagál az arzén, kadmium és szelén túlsúlyára/szennyezésre, valamint káros mennyiségű As-, Cd-, Mo-, Se- és Zn-akkumulációra képes szennyezett talajon.

Az 5. táblázatban az oszi árpa virágzáskori zászlóslevelének, valamint az aratáskori szem- és szalmatermésének elemösszetételét tanulmányozhatjuk szennyezetlen talajon. A zászlóslevél tápanyagai éréskor a magba vándorolnak, ezért összetétele diagnosztikai információt hordoz és képes tükrözni a növény tápláltsági állapotát. Az optimális összetétel tartománya a bokrosodás végi stádiumban levo fiatal hajtáséhoz hasonló, mely 4–5 % N-, 3–4 % K-, 0,5–1,0 % Ca-, 0,3–0,5 % P-, 0,2–0,4 % Mg-, 20–200 mg/kg Fe- és Mn-, 20–60 mg/kg

5. táblázat

A légszáraz oszi árpa összetétele szennyezetlen talajon 2000-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele és mértékegysége	(2) Zászlóslevél május 4-én	(3)	(4)
		Szalma + pelyva	Szem
		június 26-án, aratáskor	
N	%	4,50	0,46
K	%	2,61	2,06
Ca	%	0,87	0,45
P	%	0,39	0,10
S	%	0,32	0,08
Mg	%	0,26	0,21
Fe	mg/kg	122	42
Mn	mg/kg	93	78
Na	mg/kg	90	383
Al	mg/kg	40	38
Sr	mg/kg	25	23
Ba	mg/kg	21	23
Zn	mg/kg	17	2
B	mg/kg	9,1	6,3
Cu	mg/kg	6,8	2,3
Se	mg/kg	1,0	1,0
Mo	mg/kg	1,0	1,0
Ni	mg/kg	0,3	0,1
Cr	mg/kg	0,3	0,1
Pb	mg/kg	0,2	0,1
Cd	mg/kg	0,1	0,1
Co	mg/kg	0,0	0,0
As	mg/kg	0,0	0,0
Hg	mg/kg	0,0	0,0

Zn-, 5–15 mg/kg B- és Cu-koncentrációval jellemezhető a szárazanyagban (BERGMANN, 1988; BERGMANN & NEUBERT, 1976; KÁDÁR, 2000).

A hivatkozott optimumokkal összevetve azt találjuk, hogy kísérletünkben az őszi árpa K és Zn elemekben viszonylag alacsonyabb készletet, míg N, Ca, Mg, Mn, B és Mo elemekben enyhe túlsúlyt jelzett ezen a talajon, bár még az optimum zónában maradt. A vizsgált 24 elem tekintetében egyértelműen a zászlóslévíl mutat nagyobb koncentrációkat. Kivételt a Na és Ba képez, mely elemek tartalma a szalmában felülmúlja a zászlóslévílben mértet. Aratás idején a szemben dúsult a N, P, S, Fe, Zn, Se, Mo, Ni és Co elemekben, bár a Co a 0,1 mg/kg kimutathatósági határt jelentette. Figyelemre méltó, hogy a melléktermés egy nagyságrenddel gazdagabb volt Ca-, Na-, Sr- és Ba-kationokban, mint a szemtermés (5. táblázat).

6. táblázat

Az őszi árpa átlagos és fajlagos (1 t szem + a melléktermése) elemfelvétele szennyezetlen talajon 2000-ben
(Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Elem	(2) Szalma+pelyva	(3) Szem	(4) Együtt	(5) Fajlagos*	
N	kg/ha	23	79	102	20
K	kg/ha	103	30	133	27
Ca	kg/ha	22	2	24	5
P	kg/ha	5	20	25	5
S	kg/ha	4	6	25	5
Mg	kg/ha	10	8	18	4
Fe	g/ha	210	305	515	103
Mn	g/ha	390	125	515	103
Na	g/ha	1915	240	2155	431
Al	g/ha	190	90	280	56
Sr	g/ha	115	10	125	25
Ba	g/ha	115	10	125	25
Zn	g/ha	10	60	70	14
B	g/ha	32	9	41	8
Cu	g/ha	12	15	27	5
Se	g/ha	5	5	10	2
Mo	g/ha	5	2	7	1,4
Ni	g/ha	0,5	1,5	2	0,4
Cr	g/ha	0,5	0,5	1	0,2
Pb	g/ha	0,5	0,0	0,5	0,1
Cd	g/ha	0,0	0,0	0,0	0,0
Co	g/ha	0,0	0,5	0,5	0,1
As	g/ha	0,0	0,0	0,0	0,0

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

Az aratáskori 5 t/ha körüli szemtermés, ill. a 10 t/ha körüli átlagos föld feletti légszáras biomassza képződéséhez 102 kg N-; 133 kg K-; 24–25 kg Ca-, P- és S-; 18 kg Mg-; 0,5 kg Fe- és Mn-; 2,2 kg Na-felvételre volt szükség. Közismert, hogy a kalászosok közül az árpa, a kapások közül a répafélék Na-kedvelők. A nátrium részben helyettesítheti a káliumot, átveheti élettani funkcióit. A répánál stimulatív elemnek számít, míg az árpánál ilyen hatás egyértelműen nem bizonyított. Az 1 t szem és a hozzá tartozó melléktermés fajlagos elemkészlete kísérleti viszonyaink között az alábbi értékeket mutatta: 20 kg N, 27 kg K (32 kg K₂O), 5 kg Ca (7 kg CaO), 5 kg P (11 kg P₂O₅), 4 kg Mg (7 kg MgO), 5 kg S. Adataink felhasználhatók a növény tervezett termésének elemszükséglete megítélésénél a szaktanácsadásban (6. táblázat).

Szennyezett talajon a maximális mikroelem-felvétel (föld feletti biomassza betakarításkor) 1 kg körüli Mo- és Se-; 200–400 g Ba-, Sr- és Zn-; 56 g Cu-; 10–20 g Cr-, As-, Cd- és Ni-; 2 g Pb-mennyiséget jelentett hektáronként. A felvett Hg-mennyiség a kimutathatósági határ alatt maradt. Úgy tűnik, az erosen szennyezett talajok tisztítására (a fitoremediációra) az oszi árpa nem adhat perspektívát. Még az extrém dúsulással rendelkező molibdén és szelén esetében is 600–800 esztendőre volna szükség, hogy a 810 kg/ha terhelést megszüntessük.

A 7. táblázatban feltüntettük a vizsgált elemek transzfer koefficiensét, magyarosan talán áthasonulási együtthatónak nevezhető mutatót, mely a növényben és a talajban mért „összes” koncentrációk hányadosa. A nagyobb akkumulációs képességgel rendelkező szalma koncentráció-maximumát elosztottuk az elméletileg talajba adott 0, 30, 90, 270 mg/kg koncentrációkkal, melyek a 0–

7. táblázat

Az oszi árpa maximális mikroelem-felvétele szennyezett kezelésekben, g/ha aratáskor, 2000 (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem	(2) Melléktermésben	(3) Szemben	(4) Együtt	(5) Transzfer koefficiens*
Mo	1060	175	1135	0,785
Se	623	328	951	5,933
Sr	295	35	330	0,219
Ba	180	25	205	0,133
Zn	165	225	390	0,122
Cu	30	26	56	0,022
As	15	1	16	0,024
Cd	15	6	21	0,019
Cr	12	1	13	0,009
Ni	6	15	21	0,005
Pb	2	0	2	0,001
Hg	0	0	0	0,000

* Szalmában/talajban mért összes elemtartalom hányadosa

20 cm szántott rétegben kialakulhattak 1991 tavaszán a 0, 90, 270, 810 kg/ha terheléssel. Az eljárás módszertanilag kifogásolható és csupán arra szolgál, hogy a nagyságrendi különbségeket érzékeltessük az egyes elemek felvételében. Aktív dúsulást, koncentrációnövekedést a növényben egyetlen elem, a Se mutatott a talajbani kínálathoz képest, mégpedig közel 6-szorost. A Mo esetében ez a transzfer koefficiens 0,8; a Sr-nál 0,2; a Ba és Zn elemeknél 0,1; a Cu, As, Cd elemeknél 0,02; Cr-nál 0,009; Ni-nél 0,005; az Pb 0,001 együtthatóval rendelkezik, míg a Hg-nál mérés határ alatti.

A transzfer koefficiens mutató értéke természetesen nagyságrenddel eltérhet attól függően, hogy mely növényfaj vagy növényi szerv jelzi az egyes elemek felvételét, ill. milyen talajon folyik a kísérlet stb. A savanyú homoktalajokkal beállított kistenyészedényes vizsgálatokban pl. ez az áthasonulási együttható gyakran 1–10 közötti értéket mutatott a kadmium esetében (SAUERBECK, 1985). Hazai termohelyeinken ilyen mérvű Cd-dúsulás kevéssé valószínű. Az újabb irodalmi forrásokat áttekintve BRAUER (1998) az alábbi transzfer koefficienseket közli könyvében: As, Cr, Hg, Pb: 0,5 alatt; Co, Cu, Ni: 0,01–2; Cd, Tl, Zn: 0,03–10; Se: 0,1–10.

A kezelések hatását a szántott réteg NH_4 -acetát + EDTA-oldható elemkészletére a 8. táblázat foglalja össze. Szennyezetlen talajon a Cd, As, Mo, Se, Hg, Cr elemek mobilis mennyisége a 0,1 mg/kg mérés határ alatt maradt. Megállapítható, hogy a 10 évvel ezelőtt adott 810 kg/ha (270 mg/kg) kezeléseket tekintve a szántott rétegben e módszerrel becsülve kimutatható a Cd, Cu, Pb 40–46 %-a; a Sr és Zn 31–32 %-a; a Ba, Ni és As 14–19 %-a; a Mo, Se, Hg 2–5 %-a, valamint a Cr 0,6 %-a.

8. táblázat

A kezelések hatása a szántott réteg NH_4 -acetát + EDTA-oldható elemtartalmára (mg/kg talajban 2000 szeptemberében) (Karbonátos csernozjom talaj, Nagyhorcsók)

(1) Elem	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
Sr	35	52	79	122	14	72
Ba	16	26	42	68	9	38
Pb	4	28	60	114	8	52
Cu	4	20	44	128	11	49
Ni	4	14	30	50	6	24
Zn	2	16	37	85	6	35
Cd	< 0,1	14	44	124	8	46
As	< 0,1	3	12	37	3	13
Mo	< 0,1	4	9	14	4	7
Se	< 0,1	2	4	11	2	4
Hg	< 0,1	0,1	0,7	5,0	0,2	1,5
Cr	< 0,1	0,4	0,9	1,6	0,4	0,7

A korábban taglalt növényi felvétel és a kémiai talajkivonószerezrel becsült oldhatóság között az egyes elemeket összehasonlítva nincs összefüggés. Így pl. a réz csaknem felét (46 %-át) oldható formában találjuk a szántott rétegben. A növénybeni dúsulása viszont elhanyagolhatóan kicsi. Ezzel szemben a talaj-növény rendszerben nagy mobilitást mutató Se-szennyezésnek mindössze 4 %-át találjuk oldható formában. A LAKANEN és ERVIÖ (1971) által kidolgozott NH_4 -acetát + EDTA kioldás elsősorban a talajoldat és a kolloidokon adszorbeált kicserélhető elemkészlet becslésére alkalmas. Természetszerűen nem jelezheti az egyéb nehezen oldható, ill. kötöttebb formák mennyiségét. Alkalmas viszont a talajszennyezettség megítélésére, szaktanácsadási célokra, amennyiben kiegészítően jelezni képes az elem dúsulásokat.

A talajbani határkoncentrációk hasonló terhelési kísérletekben becsülhetők elemenként és módszerenként, mivel a kapott eredmények módszer-függők. Kísérleti körülményeink között az oszi árpa termése fogyasztásra alkalmatlanná vált, amikor pl. az NH_4 -acetát + EDTA-oldható elemtartalom a szántott rétegben elérte az 1–2 mg Se-, 3–4 mg As- és Mo-, 14–16 mg Cd- és Zn-, ill. 130 mg körüli Cu-koncentrációt. A megadott értékek a LAKANEN-ERVIÖ (1971) módszerre érvényesek. A leveles zöldségek (mint a spenót és a sóska) ugyanezen a talajon nagyobb elemfelhalmozást mutattak, érzékenyebbnek bizonyultak a szennyezésre (KÁDÁR et al., 2001, 2003). Összefoglalóan megállapítható, hogy a határértékeket növényfajra is finomítani kell, ill. általánosságban a legérzékenyebb faj védelmét szem előtt tartva kívánatos megállapítani.

Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérletet állítottunk be 1991 tavaszán. A termohely talajának szántott rétege mintegy 5 % CaCO_3 -ot és 3 % humuszt tartalmazott, kielégítő volt Ca-, Mg-, Mn- és Cu-ellátottsága; közepes N- és K-, ill. gyenge P- és Zn-ellátottsága. 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, ill. 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 , ill. ZnSO_4 formájában. A 100–100–100 kg/ha N–P₂O₅–K₂O alaptrágyázás egységesen történt az egész kísérletben ammonitrát-, szuperfoszfát- és kálisómutrágyákkal. A növényi sorrend kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó, cékla, spenót, búza, napraforgó és sóska volt. A kísérlet 10. évében oszi árpával végzett vizsgálatok eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

– A 13 vizsgált elemből az As, Cd és Se bizonyult toxikusnak az oszi árpára. Az aszályos évben szennyezetlen talajon 5,0–5,5 t/ha szemterméseket kaptunk, mely a maximális Cd-terheléssel 3,0 t/ha, a maximális As-terheléssel 2,1 t/ha mennyiségre csökkent. A 10 évvel korábban adott 270, ill. 810 kg/ha Se-terhelés az árpa és a gyomok teljes pusztulását okozta.

– Extrém dúsulást a növényi szövetekben a szelén és molibdén mutatott. A termett növényi anyag azonban fogyasztásra, ill. takarmányozásra alkalmatlanná vált az As-, Cd-, Mo-, Se- és Zn-kezelések parcelláiban is.

– Szennyezett talajon a maximális elemfelvétel betakarításkor (föld feletti biomassa) 1 kg körüli Mo- és Se-, 200–400 g Ba-, Sr- és Zn-, 56 g Cu-, 10–20 g As-, Cd-, Cr- és Ni-, valamint 2 g Pb-mennyiséget jelentett ha-onként. Az erosen szennyezett talajok tisztítására, fitoremediációra az oszi árpa nem alkalmas.

– A szalmában/talajban mért összes koncentráció hányadosaként ismert transzfer koefficiens az alábbiak adódott az egyes elemekre: Se: 5,9; Mo: 0,8; Sr: 0,2; Ba és Zn: 0,1; Cu, As és Cd: 0,02; Cr: 0,09; Ni: 0,005; Pb: 0,001.

– Az 1 t szem + a hozzá tartozó melléktermés elemtartalma szennyezetlen talajon 20 kg N-, 27 kg K- (32 kg K₂O), 5 kg Ca- (7 kg CaO), 5 kg P- (11 kg P₂O₅), 4 kg Mg- (7 kg MgO), 5 kg S-, 100 g Fe- és Mn-, kereken 400 g Na-, 56 g Al-, 25 g Sr- és Ba-, 14 g Zn-, 8 g B-, 5 g Cu- és 1–2 g Mo- és Se-készletet jelzett.

– Szennyezetlen talajon 0,1 mg/kg méréshatár alatt maradt az NH₄-acetát + EDTA-oldható As-, Cd-, Mo-, Se-, Hg- és Cr-készlet a szántott rétegben. A 10 évvel korábban adott 810 kg/ha (270 mg/kg) kezelésekből a Cd, Cu, Pb 40–46 %-a; a Sr és Zn 31–32 %-a; a Ba, Ni, As 14–19 %-a; a Mo, Se, Hg 2–5 %-a, valamint a Cr 0,6 %-a volt kimutatható e módszerrel.

– Az NH₄-acetát + EDTA módszer szerint becsült talajbani oldhatóság és a növényi felvétel között nem volt összefüggés az egyes mikroelemek közötti viszony tekintetében.

Kulcsszavak: talajterhelés, mikroelemek, oszi árpa, fitotoxicitás, fitoremediáció

Irodalom

- ANTAL J., 1978. Növénytermesztok zsebkönyve. Mezogazdasági Kiadó. Budapest.
- BERGMANN, W., 1988. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BERGMANN, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer Verlag. Jena–Hamburg–New York.
- BERGMANN, W. & NEUBERT, P., 1976. Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BRAUER, H., 1998. Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik. Springer. 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.
- GYORI D., 1984. A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- KÁDÁR I., 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I., 2000. Az oszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) tápelemfelvétele karbonátos csernozjom talajon. Növénytermelés. **49**. 547–559.
- KÁDÁR I. & DAOOD, H., 2003. Mikroelem-terhelés hatása a sóskára karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **52**. 93–104.
- KÁDÁR I., DAOOD, H. & RADICS L., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a spenótra karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **50**. 335–370.
- KÁDÁR I., KONCZ J. & RADICS L., 2001a. Mikroelem-terhelés hatása a céklára karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **50**. 315–334.
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K.-NÉ, 2000. Mikroelem-terhelés hatása a kukoricára karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. **49**. 181–204.
- KISMÁNYOKY T., 1997. Árpa. In: Az árpa, a rozs és a zab termesztése. (Szerk.: PALÁGYI A.) 9–64. GKI – Winter Fair Kiadás. Szeged.
- 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.
- MENGEL, K., 1976. A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MÉM NAK, 1979. Mutrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- MURÁNYI I., SZALAI GY. & FARKAS B., 1986. Néhány oszi árpa fajta szem- és fehérjetermelésének vizsgálata. In: XXVIII. Georgikon Napok. 321–328. PATE. Keszthely.
- SAUERBECK, D., 1982. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? Landw. Forsch., Sh. **39**. 108–129.
- SAUERBECK, D., 1985. Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrar-chemischer Sicht. Materialien zur Umweltforschung. Kohlhammer Verlag. Stuttgart.
- SZABÓ S. A. et al., 1987. Mikroelemek a mezőgazdaságban. I. Esszenciális mikroelemek. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

Érkezett: 2002. szeptember 18.

Effect of Microelement Loads on Winter Barley Grown on Calcareous Chernozem Soil

I. KÁDÁR

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

Summary

A small-plot microelement pollution experiment was set up in the field in spring 1991 on calcareous chernozem soil with a loam texture, formed on loess, at the Experimental Station of RISSAC in Nagyhöröcsök. The ploughed layer of the soil contained around 5% CaCO_3 and 3% humus, and had satisfactory supplies of Ca, Mg, Mn and Cu, moderate supplies of N and K, and poor supplies of P and Zn. The groundwater was located at a depth of 15 m and the area had a negative water balance, tending to drought. The salts of the 13 microelements examined were applied at 4 different rates in spring 1991, prior to maize sowing. The $13 \times 4 = 52$ treatments were set up in two replications on a total of 104 plots in a split-plot design. The loads were 0, 90, 270 and 810 kg/ha and the elements were applied in the form of 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 and ZnSO_4 . The whole experiment was supplied with 100 kg/ha each of N, P_2O_5 and K_2O basic fertilization in the form of ammonium nitrate, superphosphate and potassium chloride. The crop sequence was maize, carrots, potatoes, peas, beetroot, spinach, wheat, sunflower and garden sorrel. The results of tests on winter barley in the 10th year of the experiment can be summarized as follows:

- Of the 13 elements examined, As, Cd and Se proved to be toxic to winter barley. In this droughty year a grain yield of 5.0–5.5 t/ha was achieved on uncontaminated soil, which declined to 3.0 and 2.1 t/ha with maximum Cd and As load, resp. The 270 and 810 kg/ha rates of Se applied 10 years earlier led to the complete destruction of both the barley and the weeds.
- Selenium and molybdenum exhibited extreme concentration in the plant organs, but the plant products were unsuitable for human or animal consumption on plots treated with As, Cd, Mo, Se and Zn.
- On contaminated soil the maximum element uptake in the aboveground biomass at harvest amounted to around 1 kg Mo and Se, 200–400 g Ba, Sr and Zn, 56 g Cu, 10–20 g As, Cd, Cr and Ni, and 2 g Pb per hectare. Winter barley is not suitable for the phytoremediation of heavily contaminated soils.
- The transfer coefficient, expressing the straw/soil ratio for the total concentrations, had the following values for the different elements: Se: 5.9, Mo: 0.8, Sr: 0.2, Ba and Zn: 0.1, Cu, As and Cd: 0.02, Cr: 0.09, Ni: 0.005, Pb: 0.001.
- The element content of 1 t grain + the relevant by-products on uncontaminated soil indicated reserves of 20 kg N, 27 kg K (32 kg K_2O), 5 kg Ca (7 kg CaO), 5 kg P (11 kg P_2O_5), 4 kg Mg (7 kg MgO), 5 kg S, 100 g Fe and Mn, around 400 g Na, 56 g Al, 25 g Sr and Ba, 14 g Zn, 8 g B, 5 g Cu and 1–2 g Mo and Se.
- On uncontaminated soil the NH_4 -acetate + EDTA-soluble As, Cd, Mo, Se, Hg and Cr contents in the ploughed layer were below the 0.1 mg/kg detection limit. In treat-

ments given 810 kg/ha (270 mg/kg) 10 years previously 40–46% of the Cd, Cu and Pb, 31–32% of the Sr and Zn, 14–19% of the Ba, Ni and As, 2–5% of the Mo, Se and Hg, and 0.6% of the Cr could be detected with this method.

– No correlation could be found between the soil solubility estimated with the NH_4 -acetate + EDTA method and plant uptake for the various microelements.

Table 1. Technologies applied and observations made in the winter barley experiment in 2000 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Technologies. (2) Date (year, month, day). (3) Note: Variety: Plaisant, sown at a depth of 4–5 cm with 65–70 seeds per metre.

Table 2. Effect of phytotoxic treatments on winter barley in 2000 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element. (2) Loads in spring 1991, kg/ha. (3) $\text{LSD}_{5\%}$. (4) Mean. A. Scoring at tillering on 13 March. B. Scoring at flowering on 4 May. C. Percentage barley cover on 11 May. D. Scoring at harvest on 20 June. E. Mean plant height at harvest on 20 June, cm. Note: Scoring: 1.0 = killed stand; 5.0 = well-developed healthy stand.

Table 3. Effect of phytotoxic treatments on the air-dry yield of winter barley in 2000 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 2. A. Flag-leaf g/30 leaves on 4 May. B. Grain, t/ha. C. Straw, t/ha. D. 1000-seed mass, g. E. Seed germination ability, %. Note: * = With an average of 27% air-dry matter content; ** The husks made up an average 0.7 t/ha and the total aboveground mass around 10 t/ha on uncontaminated soil, with a 1:1 main product/by-product ratio.

Table 4. Effect of microelement load on the composition of air-dry winter barley in 2000 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Plant organ. a) leaf; b) stalk; c) grain. (2)–(4): see Table 2. Note: ¹ = Flag-leaf on 4 May, ² = straw, grain at harvest on 26 June * = Se at a contamination rate of 30 kg/ha: leaf 55, straw 18, grain 34 mg/kg; – = Stand was destroyed.

Table 5. Composition of air-dry winter barley on uncontaminated soil in 2000 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element symbol, units. (2) Flag-leaf on 4 May. (3) Straw + husks. (4) Grain at harvest on 26 June.

Table 6. Mean and specific (1 t grain + by-products) element uptake of winter barley on uncontaminated soil in 2000 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element. (2) Straw + husks. (3) Grain. (4) Together. (5) Specific. *Element content of 1 t grain and the relevant straw+husks. Conversion factors for the specific values: $\text{K} \times 1.20 = \text{K}_2\text{O}$, $\text{P} \times 2.29 = \text{P}_2\text{O}_5$, $\text{Ca} \times 1.40 = \text{CaO}$, $\text{Mg} \times 1.66 = \text{MgO}$.

Table 7. Microelement uptake of winter barley in contaminated treatments, g/ha, at harvest in 2000 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Elements. (2) In the by-products. (3) In the grain. (4) Together. (5) Transfer coefficient*. *Ratio of the total element contents in the straw/soil.

Table 8. Effect of the treatments on the NH_4 -acetate + EDTA-soluble element contents of the ploughed layer (mg/kg soil in September 2000) (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 2.