

Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon II. Elemfelvétel, minőség és gyökérszimbiózis

KÁDÁR IMRE, KÖVES PÉCHY KRISZTINA, VÖRÖS IBOLYA és
BÍRÓ BORBÁLA

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

Előző munkánkban (KÁDÁR, 2001) ismertettük a kísérlet anyagát és módszerét, valamint a mikroelem-terhelés hatását a borsó fejlődésére, termésére és terméslemeinek ásványi összetételére. Jelen munkánkban az alábbi kérdésekre keressük a választ:

– Miképpen alakul a borsó elemfelvétele szennyezett talajon? Mennyiben képes a növény a szennyezett talaj tisztítására, bioremediációjára?

– Milyen a borsó összetétele szennyeztelen talajon és milyen fajlagos tápelemtartalmak javasolhatók a szaktanácsadás számára?

– Milyen hatást gyakorol a talajszennyezés a gyökérszimbiota mikroorganizmusokra, a gyökéren fejlődő Rhizobium baktériumokra, valamint az endomikorhiza gombákra?

– Hogyan alakul a borsómag minősége (klorofill- és karotenoid-tartalma, csírázási ill. vetőmag-értékmérő tulajdonságai stb.) szennyezett talajon?

Anyag és módszer

A talajok könnyen oldható mikroelem-tartalmának jellemzésére NH_4 -acetát +EDTA kivonatot (LAKANEN & ERVIÖ, 1971) használtunk, míg az ún. „összes” elemtartalmának meghatározására és a növényminták analízisére a szokásos cc. HNO_3 +cc. H_2O_2 roncsolást ill. kirázást követően került sor ICP-technikát alkalmazva. A gümőképződés vizsgálatának céljából május 30-án (virágzás idején), valamint június 15-én (zöldborsó állapotban) történt a mintavétel. Parcelánként 10–10 (virágzáskor), ill. 20–20 (zöldborsó állapot) növényt emeltünk ki ásóval, a gyökereket elkülönítettük és kézzel óvatosan megtisztítottuk a talajtól, majd állóvízben történt lemosás után szűrőpapírra helyeztük. Külön meghatároztuk a hajtás és a gyökér súlyát, a növények átlagos magasságát, valamint a gümők számát a fő- és oldalgyökereken. Másnap került sor a gümős gyökerek acetilén-reduktáz aktivitásának mérésére.

A június 15-én zöldborsó állapotban vett növényminták gyökerén spontán létrejött arbuszkuláris mikorrhiza gombák kolonizációját vizsgáltuk a kontroll-, Cd- és Se- kezeléseknél. A mikroszkópi értékeléshez parcellánként 5–5 átlagos gyökérmintát választottunk. A KORMANIK és munkatársai (1980) szerint megfestett gyökereket 1–1 cm hosszúságú darabokra vágtuk és felhasználásig glicerinben tároltuk. A gyökér-kolonizáció mértékének, ill. a szimbiózis minőségének megítélésére TROUVELOT és munkatársai (1986) módszerét alkalmaztuk. Vizsgálatonként 30–30 gyökérszegmentet helyeztünk egy-egy üveglemezre egymással párhuzamosan. A gyökérszegmenteket egyenként értékeltük a sztereo-mikroszkóp alatt, majd az adatokat táblázatokban összegezve számítottuk ki a mikorrhizás infekció gyakoriságát (F %), intenzitását (M), valamint az arbuszkulumok előfordulási gyakoriságát (a) és az arbuszkuláltság intenzitását (A).

A klorofill és a karotinoidok meghatározása a friss zöldborsómagból történt a Központi Élelmiszeripari Kutatóintézet Lipidkémiai Laboratóriumában. A parcellánként begyűjtött 20–20 növény kifejtett magját homogenizáltuk, majd 5–5 g friss anyagból 50 cm³ aceton hozzáadásával és 15 perces ráztatást követően extraháltuk a pigmenteket. A pigmentek meghatározása a BIACS és DAOOD (1984) által kifejlesztett eljárás szerint történt HPLC technikát alkalmazva.

A kísérletben termelt szárazborsóval csíráztatási vizsgálatokat végeztek a GATE Földműveléstani Tanszékén 1995 júliusában. A csírázási tulajdonságok meghatározása az MSz-6354/3. sz. szabvány előírásai alapján történt, mely azonos a nemzetközi vetőmagvizsgáló eljárással. Parcellánként 100–100 vetőmagot csíráztattak 4 ismétlésben. Az 5. napon a kicsírázott magvak %-os mennyisége a csírázási erély. Ezt követően a csíráztatást addig folytattuk, míg minden csírázó sor bírálhatóan kifejlődött. Az ép csírák %-a mindazon fajtaazonos magvakat jelenti, melyekből normális csíranövények fejlődhetnek. Meghatároztuk a beteg és rothadt csírák %-át is (NYÁRAI-HORVÁTH et al., 1996).

Kísérleti eredmények

A borsó termésébe épült szennyező elemek mennyisége

Az előző közleményünkben (KÁDÁR, 2001) bemutatott részletes adatok szerint a termésnövekedést nem okozó kezeléseknél 2,6 t mag, 3,8 t szár és 1,1 t hüvely, azaz átlagosan 7,5 t/ha légszáraz föld feletti anyag képződött. Terméscsökkenést az As-, Cr- és Se-kezelések jeleztek. Az 1994. VI. 14-én mért zöldborsó és a VII. 18-án betakarított szárazborsó légszáraz anyagra számított föld feletti hozama nem tért el érdemben, mert az aszályos nyáron június folyamán a szárazanyag-gyarapodás elérte maximumát. A később betakarított szárazborsó

szára viszont több szennyezőnél eltérő átlagos koncentrációkat mutatott a zöldborsó szárterméséhez viszonyítva.

Így pl. a Mo-, Se- és a Zn-kezelések átlagában mért átlagos elemtartalom 20–40 %-kal alacsonyabb volt a szárban júliusban, a Cu megegyezett, míg a Sr 30, az As és Ba 60-70, Cd és Cr 100-120, Hg 170, Ni 270, Pb 400 %-os többséggel rendelkezett. A mintavétel és az elemzés azonos módon történt, (bár mindezek hibaforrásul is szolgálhatnak), ilyen mérvű eltérést tehát kísérleti hibával nem magyarázhatunk. Az előregedő, elszáradó szár jobban szennyeződhetett porral, talajjal, mely szisztematikusan növelhette a talaj–növény rendszerben nehezen mozgó, felvételükben gátolt elemek (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb) kimutatott mennyiségét. A zöldborsó termesztésekor és élettani/növénytaplálkozási szempontból a zöldborsó termésébe épült szennyező elemek mennyiségei lehetnek irányadók. Amennyiben a szárazborsó szára elkerül a tábláról, figyelembe veendő szennyező elemtartalma, hiszen takarmányként hasznosítva a

1. táblázat

As-, Ba-, Cd- és Cr-terhelések hatása a zöldborsó elemfelvételére 1994. VI. 14-én
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. As g/ha (As-terhelés hatására)</i>						
a) szár	0,0	0,0	7,2	14,4	4,6	5,4
b) hüvely	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
d) összesen	0,0	0,0	7,2	14,4	4,6	5,4
<i>B. Ba g/ha (Ba-terhelés hatására)</i>						
a) szár	28,9	44,5	63,5	117,8	19,4	63,7
b) hüvely	3,7	5,4	9,8	19,4	2,2	9,6
c) mag	1,8	2,6	3,6	6,2	1,7	3,6
d) összesen	34,4	52,5	76,9	143,4	24,6	76,9
<i>C. Cd g/ha (Cd-terhelés hatására)</i>						
a) szár	0,0	6,1	7,2	12,2	4,4	6,4
b) hüvely	0,1	1,6	1,8	2,6	1,2	1,5
c) mag	0,0	3,1	3,1	3,9	1,2	2,5
d) összesen	0,1	10,8	12,1	18,7	7,0	10,4
<i>D. Cr g/ha (Cr-terhelés hatására)</i>						
a) szár	0,8	2,1	9,6	8,4	2,0	5,2
b) hüvely	0,0	0,1	0,5	0,4	0,2	0,2
c) mag	0,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
d) összesen	0,8	2,4	10,3	9,1	2,6	5,6

növénybe épült és nem beépült (porszennyezés) elemek egyaránt az állati szervezetbe kerülhetnek.

Amint az 1. táblázatban látható, a zöldborsó föld feletti részében a maximális 810 kg/ha terhelésnél mindössze 10–20 g Cr, As és Cd, ill. 143 g Ba volt található ha-onként. A felvett elemeket döntően a melléktermés tartalmazta. Megemlítjük, hogy a növény Al-tartalmát ill. -felvételét az Al-terhelés bizonyíthatóan nem befolyásolta, így a táblázatos eredmények bemutatásától eltekintünk. Alumínium döntően a szárban akkumulálódott 44 mg/kg átlagos koncentrációval, míg a hüvelyben ill. magban 4 ill. 2 mg/kg értéket mutattunk ki. A zöldborsó föld feletti része 100–120 g/ha Al-ot tartalmazott. A fitoremediáció, tehát az erősen szennyezett talaj növény általi tisztítása, esetünkben nem látszik célravezetőnek. A 810 kg/ha-os Cd-szennyezés kivonásához hasonló körülmények között pl. több mint 4 ezer évre lenne szükség.

2. táblázat

Cu-, Hg-, Mo- és Ni-terhelések hatása a zöldborsó elemfelvételére 1994. VI. 14-én (Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Cu g/ha (Cu-terhelés hatására)</i>						
a) szár	16	24	26	26	6	23
b) hüvely	5	8	8	7	2	7
c) mag	17	24	21	23	5	21
d) összesen	38	56	55	56	11	51
<i>B. Hg g/ha (Hg-terhelés hatására)</i>						
a) szár	0,0	0,0	3,8	22,4	2,8	6,6
b) hüvely	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
d) összesen	0,0	0,0	3,8	22,4	2,8	6,6
<i>C. Mo g/ha (Mo-terhelés hatására)</i>						
a) szár	0,4	996	1832	2272	444	1275
b) hüvely	0,2	110	136	194	58	110
c) mag	3,9	231	354	385	98	244
d) összesen	4,5	1337	2322	2851	862	1629
<i>D. Ni g/ha (Ni-terhelés hatására)</i>						
a) szár	0,4	1	2	7	2	3
b) hüvely	0,1	3	4	10	2	4
c) mag	3,6	15	23	34	8	19
d) összesen	4,1	19	29	51	11	26

A felvett Cu-mennyiségét (38–56 g ha-onként) a Cu-szennyezés kevéssé befolyásolja. Ennek lehetséges oka, hogy a réz transzportja a növény föld feletti részeibe gátolt. A zöldborsó 22 g, míg az itt nem közölt szárazborsó 60 g hiányt vett fel ha-onként a Hg-terhelés hatására. A hiperakkumulációra képes molibdén maximálisan felvett mennyisége elérheti a 2,3-2,8 kg/ha értéket, mely 500–600-szorosan múlja felül a szennyeztelen talajon termelt növények Mo-felvételét. A Ni-felvétel egy nagyságrenddel nőtt a szennyezett talajon, elérve az 51 g/ha maximumot, melyből 34 g-ot a magtermésben találunk (2. táblázat).

A zöldborsó Pb-felvétele 8 g/ha, míg az itt nem közölt szárazborsó 20 g/ha körüli maximumot jelzett. Utóbbi maximum alapvetően a szár szennyezésének volt tulajdonítható. A növekvő terheléssel együtt járó termésnövekedés miatt a Se-felvétel maximuma a 90 kg/ha-os terhelésnél mérhető. Az 1,4 kg/ha felvett

3. táblázat

**Pb-, Se-, Sr- és Zn-terhelések hatása a zöldborsó elemfelvételére 1994. VI. 14-én
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)**

(1) Növényi rész	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Pb g/ha (Pb-terhelés hatására)</i>						
a) szár	0,4	0,8	1,5	4,2	0,8	1,7
b) hüvely	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,1
c) mag	0,3	0,8	3,6	3,6	0,6	2,1
d) összesen	0,7	1,6	5,4	7,8	1,6	3,9
<i>B. Se g/ha (Se-terhelés hatására)</i>						
a) szár	0,0	866	543	146	140	389
b) hüvely	0,0	104	165	42	38	78
c) mag	0,5	414	-	-	42	103
d) összesen	0,5	1384	708	188	186	570
<i>C. Sr g/ha (Sr-terhelés hatására)</i>						
a) szár	334	638	752	2174	242	974
b) hüvely	66	108	175	447	38	199
c) mag	8	13	413	1056	86	372
d) összesen	408	759	1340	3677	220	1546
<i>D. Zn g/ha (Zn-terhelés hatására)</i>						
a) szár	15	72	133	217	40	109
b) hüvely	7	23	47	45	14	30
c) mag	55	117	127	153	48	113
d) összesen	77	212	307	415	60	253

Megjegyzés: - növényzet kipusztult

szelén 30 %-át találjuk a magban. A szelén a Mo-hez hasonlóan hiperakkumulációt mutat, szennyezett talajon felvétele 2–3-ezerszeresére is nőhet a szennyezetlen talajon fejlődő növényhez viszonyítva. Itt szóba jöhet a fitoremediáció, legalábbis az enyhén szennyezett talajon. A Zn-felvétel maximuma meghaladja a 0,4 kg/ha mennyiséget nagyobb Zn-terhelés esetén. Luxusfelvételre elsősorban a szár képes, nagyságrendi dúsulással (3. táblázat).

A borsó összetétele és fajlagos elemtartalma szennyezetlen talajon

A zöldborsó összetételét szennyezetlen talajon a 4. táblázatban tekinthetjük át. A hüvelyesekre jellemzően és a kalászosokkal összevetve a mag különösen gazdag N, K és P makroelemekben. A mellékterméshez képest feldúsul a Zn, Ni és Mo mikroelemekben és drasztikusan vagy nagyságrendileg elszegényedik a Ca, Na, Sr, Al és Ba kationokban. Az 5. táblázat adatai szerint a 2,6 t/ha magtermés a hozzá tartozó mellékterméssel kerekén 137 kg N-t, 89 kg K-ot (107 kg K₂O), 81 kg Ca-ot, 20 kg P-t (46 kg P₂O₅), 18 kg S-t, 15 kg Mg-ot igényelhet. A

4. táblázat

**A légszáraz zöldborsó összetétele szennyezetlen talajon
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök, 1994)**

(1) Elem jele	(2) Mérték- egység	(3) Levél V. 25-én	(4)	(5)	(6)
			Szár	Hüvely	Mag
			VI. 14-én		
N	%	3,44	1,28	1,34	2,85
K	%	1,93	1,27	1,31	1,01
Ca	%	1,50	1,72	1,20	0,10
S	%	0,38	0,32	0,19	0,16
P	%	0,30	0,17	0,24	0,44
Mg	%	0,25	0,21	0,27	0,14
Na	mg/kg	83	55	55	15
Sr	mg/kg	64	88	60	3
Fe	mg/kg	62	78	60	60
B	mg/kg	24	21	14	7
Al	mg/kg	14	44	6	2
Zn	mg/kg	8	5	6	21
Cu	mg/kg	6	4	5	7
Ba	mg/kg	5	7	3	1
Mo	mg/kg	0,0	0,1	0,2	1,5
Ni	mg/kg	0,0	0,1	0,1	1,4
Co	mg/kg	0,0	0,2	0,2	0,1

5. táblázat

A szárazborsó elemfelvétele és fajlagos elemtartalma 1994. VII. 18-án
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Mérték- egység	(3) Szárban 3,8 t/ha	(4) Hüvelyben 1,1 t/ha	(5) Magban 2,6 t/ha	(6) Összesen 7,5 t/ha	(7) Fajlagos 1 t szemre*
N	kg/ha	48,6	14,7	74,1	137,4	53
K	kg/ha	48,3	14,4	26,3	89,0	34
Ca	kg/ha	65,4	13,2	2,6	81,2	31
S	kg/ha	12,2	2,1	4,2	18,5	7
Mg	kg/ha	8,0	3,0	3,6	14,6	6
P	kg/ha	6,5	2,6	11,4	20,5	8
Na	g/ha	209	60	39	308	118
Fe	g/ga	296	66	16	378	145
B	g/ha	80	15	2	97	37
Zn	g/ha	15	7	55	77	30
Cu	g/ha	16	5	17	38	15

* 1 t szem és a hozzá tartozó melléktermés elemkészlete. A 70 % körüli víztartalmú zöldborsó fajlagos elemtartalma: 20 kg N, 12 kg K, 11 kg Ca, 2,8 kg P, 2,5 kg S, 2 kg Mg, 50 g Fe, 40 g Na, 12–13 g Zn és B, 6 g Cu.

hazai szaktanácsadásban a borsóra 50 kg N, 17 kg P₂O₅, 35 kg K₂O, 32 kg CaO, 6 kg MgO a fajlagos elemigény ajánlott 1 t magtermés + a hozzá tartozó melléktermés tervezésekor (MÉM NAK, 1979; ANTAL, 1987).

Saját kísérletünkben a főbb esszenciális makro- és mikroelemek fajlagos mutatói az alábbiak szerint alakultak: 53 kg N, 8 kg P (18 kg P₂O₅), 34 kg K (41 kg K₂O), 31 kg Ca (43 kg CaO), 6 kg Mg (10 kg MgO), 7 kg S, 145 g Fe, 118 g Na, 37 g B, 30 g Zn, 15 g Cu, 1–2 g Mo és Ni. Megállapítható, hogy a N, P és K lényegében jól egyezik a szaktanácsadásban elfogadott értékekkel, míg ezen a meszes talajon a Ca és Mg fajlagos mutatói 30–40 %-kal magasabbak.

A zöldborsóra ANTAL (1987) az alábbi fajlagos adatokat közli kg/t szem főtermésre a hozzá tartozó mellékterméssel: N 19, K₂O 15,2, CaO 10, P₂O₅ 5,6, MgO 2. A kísérletünkben kapott fajlagos elemigény: N 20, K 12 (K₂O 15), Ca 11 (CaO 15), P 2,8 (P₂O₅ 6,4), Mg 2,0 (MgO 3,3), 2,5 kg S, 50 g Fe, 40 g Na, 13 g B, 12 g Zn, 6 g Cu. Itt is legszögezhetjük, hogy a N, P és K fajlagos mutatók közel állóak, míg a meszes termőhelyet tükrözve a Ca és Mg fajlagos mutatók akár 50–60 %-kal is nagyobbak lehetnek. Összességében megerősítjük a hazai szaktanácsadásban borsóra ajánlott fajlagos mutatók helyénvalóságát.

Talajszennyezés hatása a gyökérszimbiota mikroorganizmusokra

A pillangós növények gyökerén élő N-kötő baktériumok (Rhizobium fajok) a gazdanövény csírázását követően hatolnak a gyökérszőrökbe és ott gümőket fejlesztenek. A növény előnyben részesíti a talajból való közvetlen N-felvételt. Ha a talaj ásványi-N-nel jól ellátott, kevés gümő képződik. Kísérletünkben évente 100 kg/ha N-műtrágyát adunk és a talaj sem szegény humuszban, így a képződött gümők száma mérsékelt maradt a szennyezetlen talajon is. A talajszennyezés a gazdanövényen keresztül fejtette ki hatását a gümőképződésre. Ott tapasztaltunk depressziót, ahol a növények termése is csökkent: az As-, Cr- és Se-kezelésekben. Adatainkat a 6. táblázat foglalja össze.

A növénymagasság virágzáskor kevesebb mint a felére csökkent az As-, ill. 1/7-ére a maximális Se-terhelés nyomán. A Cr-kezelés hatása kevésbé kifejezett.

6. táblázat

Terméscsökkenést okozó kezelések hatása a borsó gyökerének gümőképzésére (Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Növénymagasság cm-ben 1994. V. 30-án</i>						
As	58	55	40	25	10	44
Cr	56	60	57	49		
Se	56	36	11	8		
<i>B. Gümőszám a főgyökéren, db/100 növény</i>						
As	53	50	61	26	28	48
Cr	49	58	40	46		
Se	55	53	0	2		
<i>C. Gümőszám az oldalgyökéren, db/100 növény</i>						
As	86	74	33	8	47	50
Cr	79	52	53	88		
Se	69	40	2	1		
<i>D. Összes gümő, db/100 növény 1994. V. 30-án</i>						
As	139	124	94	34	48	98
Cr	128	110	93	134		
Se	124	93	2	3		
<i>D. Összes gümő, db/100 növény 1994. VI. 15-én</i>						
As	28	53	19	16	25	29
Cr	29	28	50	23		
Se	30	9	3	6		

Megjegyzés: V. 30-án virágzásban, VI. 15-én zöldborsó állapotban

A gümők kb. felét a főgyökereken találtuk, másik felét az oldalgyökereken. Az összes gümők számában a Cr-kezelések nem eredményeztek egyértelmű változást, míg az As-terheléssel összes mennyiségük 1/4-ére mérséklődött. A nagyobb Se-szennyezés nemcsak a növényre volt pusztító hatása, hanem a Rhizobium fajokra is. Hasonló talajokon tehát megszűnhet a pillangósok légköri N-kötése, mely a növények N-ellátásának legolcsóbb, leginkább környezetkímélő útja. A 100 kg/ha körüli Se-terhelés olyan határértéknek minősülhet ezen a termőhelyen, mely a talaj részleges sterilizációjához, termékenységének elvesztéséhez vezethet (6. táblázat).

A mintavételeket és a gümőszámlálást későbbi időpontban, a zöldborsó állapotban is megisméltük június 15-én, melyek ismétlésül szolgálhatnak és megerősíthetik fenti megállapításainkat. Ebben a fejlődési stádiumban az átlagos gümőszám már alacsony, a gümők funkciójukat teljesítve elszáradnak, a növények ásványi táplálkozása, N-felvétele elérte maximumát, ill. befejeződik. Megemlítjük, hogy a főgyökereken mindössze 6 körül alakult az átlagos gümőszám 100 növényre vetítve, azaz az összes gümők 2/3-át már a fiatalabb oldalgyökereken találtuk. A két mintavétel között eltelt 1,5 hónap alatt a gümőszám átlagosan a negyedére esett vissza szennyezetlen talajon. A Se-toxicitás pusztító hatása még ebben a korban is kifejezett és egyértelmű, hiszen 100 növényen mindössze 3–6 db gümőt azonosítottunk (6. táblázat).

Külön vizsgáltuk a toxikus Cd- és Se-kezelések hatását a zöldborsó gyökerén spontán létrejött arbuskuláris mikorrhiza (AM) gomba kolonizációjára. Az AM gombák a magasabb rendű növények mintegy 2/3-ánál előfordulhatnak és mint obligát szimbioták csak az élő növény gyökerében képesek szaporodni. A sejtekben, sejt közötti járatokban hifonalakat (arbuskulumokat, vezikulumokat) hoznak létre és ilyen módon nagyságrendekkel megnövelhetik a gyökerek felvevő felületét. A hifák gyökérszőr funkciót töltenek be, javítva a növény víz- és tápanyagfeltárási képességét, nagyobb talajtérfogatot hasznosítva.

Az endomikorrhiza szimbiózis szerepe a toxikus elemekkel kapcsolatban még nem teljesen tisztázott. A gombapartner általában növeli a gazdanövény nehézfémfelvételét alacsonyabb koncentrációtartományokban. Toxikus terhelésnél viszont a spórák csírázása gátolt, illetve a nem adaptálódott arbuskuláris mikorrhiza gombák elpusztulhatnak a szennyezett talajokban. Hosszabb ideig tartó szennyezést követően idővel kialakulhatnak az endomikorrhiza gombák olyan ökotípusai, amelyek már toleránsak a nehézfémek magasabb koncentrációival szemben (GILDEN & TINKER, 1983; HAPPER, 1979; GLANTE, 1990; PANNAMPERUMA, 1972; VÖRÖS et al., 1998). Az adaptálódott arbuskuláris mikorrhiza gombák védőhatást fejthetnek ki gazdanövényükre, azaz csökkenthetik a toxikus anyagok hajtásba jutásának mértékét. Ilyenkor a gombapartner extraradikális hifákban vagy olyan helyeken kötheti meg a nehézfémet, aminek következtében a toxikus anyag jelentős része más utakra te-

relődve (komplekkötés stb.) kivonódik a gazdanövény anyagcsere folyamataiból.

Amint a 7. táblázatban megfigyelhető, a borsó gyökereinek mikorrhizás kolonizációjára utaló mennyiségi és minőségi mutatók drasztikusan romlanak részben a Cd-, főként azonban a Se-kezelésekben. A kevés számú minta nem tette lehetővé, hogy a változásokat statisztikailag is bizonyíthassuk, a trendek

7. táblázat

Cd- és Se-terhelés hatása a zöldborsó gyökerén spontán létrejött arbuskuláris mikorrhiza gomba kolonizációjára 1994. VI. 15-én (Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Terhelés kg/ha 1991 tavaszán	(2) Vizsgált tulajdonságok			
	F %	M	a %	A %
a) Kontroll	92	44	31	17
Cd-90	79	22	18	4
Cd-810	47	14	10	3
Se-90	68	24	0	0
Se-270	60	25	27	3
Se-810	15	2	0	0

F: mikorrhizás infekció %-os előfordulási gyakorisága a gyökérrendszerben; M: mikorrhizáció intenzitása 0–100 skálán becsülve (1–1 cm gyökérszegmensen előforduló hifasűrűség); a: arbuskulumok %-os mennyisége a fertőzött gyökérszakaszokon; A: arbuskulumok %-os mennyisége a gyökérrendszerben

azonban meggyőzőek. A nagyobb Se-terhelésű parcellákon termett gyökerek egy részénél hifákat egyáltalán nem találtunk, a mikorrhizáltság már nem fordult elő. Összefoglalva megállapítható, hogy főként a Se-szennyezés jelenthet kifejezett veszélyt az adott termőhelyen. Azon túl, hogy hiperakkumulációra képes a növényi szervekben és fogyasztásra alkalmatlan káros termést eredményezhet, nagyobb terhelésnél a N-kötő rhizobium baktériumokra és az endomikorrhiza gombákra is toxikus, ill. a növények pusztulását okozhatja.

Az említett mikroorganizmusok a talajtermékenység fontos elemei, védelmük a talajszennyezéssel szemben indokolt. A talajszennyezettségi határértékek megállapításánál a leginkább érzékeny fajok tűrőképességét kell alapul venni. Hasonló talajterhelési határkoncentrációk szabadföldi tartamkísérletekben állapíthatók meg. A tartamkísérleteket eltérő minőségű, tulajdonságú talajokon (meszes, savanyú, kolloidokban szegény és kolloid-gazdag) kell folytatni különböző növényfajokkal, hogy a szennyezés hatásmechanizmusát feltárjuk hazai talajokon és a szakszerű védekezést a jövőben tudományosan megalapozzuk.

Talajszennyezés hatása a zöldborsó magtermésének minőségére

A klorofill vagy levélzöld a sejt plazma zöld festékanyaga. A klorofill-A kékeszöld, a klorofill-B sárgászöld színű, zsírban oldódó viaszállományú pigment. Ezek a fényenergiát elnyelik és továbbítják a fotoszintézis folyamatában. Fizikai és kémiai hatásokra egyaránt érzékenyek. Méréseink szerint két elem befolyásolta bizonyíthatóan a borsó klorofill koncentrációját. Mind a klorofill-A-, mind a klorofill-B-tartalma emelkedett az As-, a Cr-kezelésekben azonban csökkent. A borsómag klorofill-A készlete 0,8 és 1,7, míg a klorofill-B 4,0 és 8,0 µg/kg tartományban ingadozott az eltérő As- és Cr-kezelésekben. A két összetevő 1:5 körüli átlagos arányt mutatott, mely arány meglehetősen stabil maradt az egyes kezelésekben (8. táblázat).

A lutein vagy xantofil az egyik legelterjedtebb természetes karotinoid, a klorofill állandó kísérője, sárga színű pigment. Előfordul a tojás sárgájában, tejben, vérszérumban, sárgarépában, kukoricában stb. Ez az anyag okozza az őszi levelek sárgulását, elszíneződését. A béta-karotin szimmetrikus felépítésű, optikailag aktív, széthasadva két A-vitamint képezhet, ezért jelentős A-vitamin forrásként szolgál. Ismerünk közel 100-féle növényi színezőanyagot, melyek gyűj-

8. táblázat

As- és Cr-kezelések hatása a zöldborsó magtermésének klorofill- és karotintartalmára 1994. VI. 14-én
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörsök)

(1) Klorofill, karotin	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. As-terhelés hatására (µg/kg friss anyagban)</i>						
a) Klorofill-A	1,2	1,2	1,5	1,7	0,5	1,4
b) Klorofill-B	5,6	6,0	6,8	8,0	2,4	6,6
c) Együtt	6,8	7,2	8,3	9,7	2,8	8,0
d) Lutein	9,3	9,5	10,6	11,2	2,4	10,1
e) Béta karotin	2,3	2,6	4,4	3,4	2,0	3,2
f) Összes karotin	15,3	16,2	18,2	20,4	4,6	17,5
<i>B. Cr-terhelés hatására (µg/kg friss anyagban)</i>						
a) Klorofill-A	1,2	1,2	1,2	0,8	0,5	1,1
b) Klorofill-B	6,3	6,1	5,5	4,0	2,4	5,4
c) Együtt	7,5	7,3	6,7	4,8	2,8	6,5
d) Lutein	9,0	9,1	9,2	5,9	2,4	8,3
e) Béta karotin	2,4	2,4	1,4	0,6	2,0	1,7
f) Összes karotin	15,4	15,1	14,8	7,3	4,6	13,1

Megjegyzés: Az Se-terhelés a mutatókat érdemben nem befolyásolta

tőneve „karotinoidok”. Többnyire sárga, vörös és ibolya színűek. Színüket a konjugált kettős kötések adják. A fehérjékhez kötött klorofillhoz szerkezetileg is kapcsolódnak, zsírban oldódnak.

Amint a 8. táblázat adatai bizonyítják, az arzén itt is mérsékelten minőségjavító hatást mutatott, tendenciájában vagy bizonyíthatóan nőtt a lutein, a béta karotin, valamint az összes karotin mennyisége. A Cr-kezelés viszont csökkentette e jellemzőket, az összes karotin felére, míg a béta karotin 1/4-ére zuhant a borsó magtermésében. Az egyéb szennyezők, beleértve a Se-t, illetően minőségrontó módosító hatását nem lehetett egyértelműen igazolni. A nagyobb Se-terhelésű kezelésekben nem is állt rendelkezésre elegendő magtermés a vizsgálatokhoz. Összességében tehát arra a következtetésre juthatunk, hogy a talajszennyezés ronthatja is és javíthatja is a borsómag pigmentjeinek képződését, a szennyező elemektől függően.

A borsó vetőmag értékmérő tulajdonságainak vizsgálata

A vetőmag értékét az öröklött tulajdonságok összessége, a fajta, valamint a vetőmag minősége határozza meg. A minőség függ a csírázóképtől, a csírázási erélytől, egészségi állapottól, tisztaságtól, víztartalomtól, osztályozottsági fokozattól, hektolitersúlytól és 1000-mag tömegtől. Kérdés, vajon a talajszennyezés milyen hatással lehet a vetőmag értékmérő tulajdonságaira, csírázóképtességére, ill. az utódok életképességére? A vizsgálatok adataiból megállapítható volt, hogy a csírázási tulajdonságok azon kezelésekben romlottak, ahol érdemi termésnövekedés is jelentkezett. A 13 szennyező elem közül csupán az extrém fitotoxicitást jelző nagyobb Cr- és Se-terhelésnél volt kimutatható a degradáció, a magtermés tehát genetikailag viszonylag védett. A termésnövekedéshez vezető As-, Cr- és Se-kezelésekben mért adatokat a 9. táblázatban tanulmányozhatjuk.

A maximális Cr-terheléssel igazolhatóan mérséklődött a csírázási erély és az ép csírák %-a, valamint nőtt a rothadt csírák mennyisége. A nagyobb Se-terhelés pusztító hatása nyilvánult meg abban, hogy a maximális adagnál magtermés egyáltalán nem képződött, a 270 kg/ha adagnál pedig a csírázási erély és az ép csírák mennyisége 30 %-ra esett vissza, ill. az életképtelen beteg és elhalt csírák együttes aránya 70 %-ot tett ki. Emlékeztetőül: itt a kombájnolt szemtermés 10 %-ra zuhant a kontroll terméséhez képest, tehát a valóban életképes magtermés a kontroll 3 %-ára becsülhető. A 90 kg/ha Se-kezelésben a kombájnolt szemtermés nem tért el érdemben a kontrollon mért mennyiségtől, azonban a beteg + rothadt csírák aránya 40 %-ra nőtt, ill. az ép csírák %-a 78-ról 60-ra csökkent. Más szavakkal, az életképes magtermés közel 1/4-ét már itt is elvesztettük (9. táblázat).

9. táblázat

Terméscsökkenést okozó kezelések hatása a borsómag csírázására
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörsök, 1994. VII. 31.)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Csírázási erély %-a (Első számolás az 5. napon)</i>						
As	76	79	67	75	21	74
Cr	80	68	60	58		67
Se	73	51	30	*		51
<i>B. Ép csíra %</i>						
As	77	80	74	75	13	76
Cr	82	70	66	67		71
Se	78	60	30	*		56
<i>C. Beteg csíra %</i>						
As	13	9	13	13	7	12
Cr	10	15	15	12		13
Se	12	18	48	*		26
<i>D. Rothadt csíra %</i>						
As	10	11	13	12	10	11
Cr	8	15	19	21		16
Se	10	22	23	*		18

* Magtermés nem képződött

Tanulságos áttekinteni a kelési, korai növényborítottsági %-okat a kísérletben. Amint a 10. táblázatból kitűnik, az arzén, króm és szelén már az elvetett egészséges fémzárolt vetőmag csírázását, kezdeti fejlődését is gátolta. A gyomokra ugyanilyen gátló hatást fejtett ki. A tenyésztő előrehaladtával a depresszió egyre kifejezettebbé vált, különösen az extrém Se-kezelésekben. A növények gyökerei ugyanis nem tudták „kinőni” a szennyezést, a szennyezett talajréteget. Amint a mélyfúrások elemzése igazolták, az arzénát, kromát és szelénát anion-formák mobilisak maradnak és részben a mélyebb rétegekbe mosódhatnak ezen a jól szellőzőt meszes talajon (KÁDÁR & PROKISCH, 2000).

10. táblázat

Terméscsökkenést okozó kezelések hatása a növényborítottságra
(Karbonátos vályog csernozjom talaj, Nagyhörscök, 1994. IV. 19-én)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Borsóborítottság %-a</i>						
As	81	78	72	53	18	71
Cr	89	86	79	68		80
Se	82	68	45	38		58
<i>B. Gyomborítottság %-a</i>						
As	4	3	2	0	3	2
Cr	2	2	2	0		1
Se	3	2	0	0		1
<i>C. Összes borítottság %-a</i>						
As	85	81	74	53	20	73
Cr	91	87	81	68		81
Se	85	70	45	38		59

Összefoglalás

Előző munkánkban (KÁDÁR, 2001) ismertettük a kísérlet célját, módszerét, valamint a mikroelem-terhelés hatását a 4. évben termett borsó fejlődésére, termésére és terméslemeinek ásványi összetételére. Jelen közleményünk a borsó szennyező elem felvételét, esszenciális fajlagos elemtartalmát, a talajszennyezés gyökérszimbiota mikroorganizmusokra (Rhizobium, AM gombák) gyakorolt hatását, valamint a borsó magtermésének néhány minőségi jellemzőjének (klorofill- és karotinoid-tartalma, csírázási, vetőmag értékmérő tulajdonságok) változását kíséri figyelemmel. Főbb megállapításaink az alábbiakban foglalhatók össze:

– A 810 kg/ha maximális terhelésű parcellákon a borsó föld feletti termésébe (szem+szár+hüvely) 10–20 g As, Cd, Cr, Hg és Pb, 50–60 g Cu és Ni, 143 g Ba, 415 g Zn, 2851 g Mo és 3677 g Sr halmozódott fel hektáronként. A Se-felvétel maximuma a 90 kg Se/ha kezelésben jelentkezett és 1384 g/ha mennyiséget tett ki, mivel a nagyobb terhelés a növény részleges vagy teljes pusztulásához vezetett. A felvett elemek tömegét általában a melléktermésben találjuk, a luxusfelvétel fő szerve a szár. Ez alól kivételt a nikkelt jelentett, ahol a mag dúsult alapvetően a Ni-lel szennyezett talajon.

– Hiperakkumulációt a Mo és Se mutatott, mely elemek felvétele több ezerszeresére nőtt az erősen szennyezett talajon. Az ilyen talaj tisztítása fito-

remediációval azonban nem lehet reális alternatíva, hiszen mindez a Mo és Se esetén 300–600, míg pl. a Cd esetén 4000 évet igényelhetne hasonló körülmények között.

– A borsó 1 t magtermése a hozzá tartozó mellékterméssel együtt 53 kg N, 8 kg P (18 kg P_2O_5), 34 kg K (41 kg K_2O), 31 kg Ca (43 kg CaO), 6 kg Mg (10 kg MgO), 7 kg S, 145 g Fe, 118 g Na, 37 g B, 30 g Zn, 15 g Cu, 1-2 g Mo és Ni elemet tartalmazott. A fajlagos N-, P- és K-tartalom jól egyezik a hazai szaktanácsadásban ajánlottal, míg a fajlagos Ca- és Mg-tartalom 30–40 %-kal nagyobbak adódott ezen a meszes talajon.

– Az extrémebb As- és Se-szennyezés gyakorlatilag megszüntette a gyökereken a gümőképződést, a légköri N-kötést. Károsodott az endomikorrhiza szimbiózis a szennyezett talajon. A Se-terheléses parcellákon termett gyökerek egy részénél hifákat egyáltalán nem találtunk, a mikorrhizáltság megszűnt. Részben hasonló hatású volt a nagyobb Cd-terhelés is.

– A borsómag klorofillkészletét, valamint karotinoid-tartalmát az arzén tendenciájában növelte, míg a Cr-szennyezés erőteljesen csökkentette. A béta karotin 1/4-ére, az összes karotin felére mérséklődött az extrém Cr-terheléssel. A talajszennyezéssel tehát javulhat is (As), romolhat is (Cr) a mag minősége a szennyező milyenségétől függően.

– A maximális Cr-, valamint minden Se-kezelésben romlottak a vetőmag minőségi mutatók. A 270 kg/ha Se-terhelésnél a csírázási erély és az ép csírák mennyisége 30 %-ra zuhant, ill. az életképtelen beteg és elhalt csírák együttes aránya 70 %-ot tett ki. Mivel itt a kombájnolt szemtermés a kontroll 10 %-a volt csupán, az életképes maghozam a kontroll 3–4 %-ára becsülhető.

– Az As, Se és Cr elemekkel szennyezett talajon a borsó és a gyomok kelése, kezdeti fejlődése már gátolt volt, melyre a korai növényborítottsági adatok utaltak. A tenyészidő során a mérgezés előrehaladt, a növény gyökerei nem tudták „kinőni” a szennyezést, a szennyezett talajréteget. Az arsenát, kromát és szelenát anionformák mobilisak maradnak és részben a mélyebb rétegekbe mosódnak ezen a jól szellőzött meszes talajon.

Irodalom

- ANTAL J., 1987. Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BIACS P. & DAOOD, H. G., 1994. High-performance liquid chromatography with photodiode-array detection of carotenoids and carotenoid esters in fruits and vegetables. *J. Plant Physiol.* **143**. 520–525.
- GILDEN, A. & TINKER, P. B., 1983. Interaction of vesicular–arbuscular mycorrhiza infection and heavy metals in plants. I. The effect of heavy metals on the development of vesicular–arbuscular mycorrhizas. *Nes Phytol.* **95**. 247–261.
- GLANTE, F., 1990. Bedeutung von VA-Mykorrhizapflanzen für Wachstum und Entwicklung der Kulturpflanzen. *Zentralbl. für Mikrobiol.* **145**. 339–409.

- HAPPER, C. M., 1979. Germination and growth of *Glomus caleoloni* spores: The effect of inhibitors and nutrients. *Soil Biol. Biochem.* **11**. 269–277.
- KÁDÁR I., 2001. Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon. I. Termés és ásványi összetétel. *Agrokémia és Talajtan.* **50**. 62–82.
- KÁDÁR I. & PROKISCH J., 2000. Mikroelem-terhelés hatása a burgonya termésére és elemtartalmára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **49**. 447–464.
- KORMANIK, P. P., CRAIG BRYAN, W. & SCHULTZ, R. C., 1980. Procedures and equipment for staining large numbers of plant root samples for endomycorrhizal assay. *Can. J. Microbiol.* **26**. 536–538.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R., 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.* **123**. 223–232.
- MÉM NAK, 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- PANNAMPERUMA, F. N., 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* **24**. 29–96.
- NYÁRAI–HORVÁTH F. et al., 1996. Germination characteristics of pea seeds originating from a field trial treated with different levels of harmful elements. *Acta Agron. Hung.* **45**. 147–154.
- TROUVELOT, A., KOUGH, J. L. & GIANINAZZI–PERSON, V., 1986. Mesure du faux de mycorrhization VA d'un système racinaire. In: *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*. (Eds.: GIANINAZZI–PERSON, V. & GIANINAZZI, S.) 217–221. INRA. France.
- VÖRÖS, I. et al., 1998. Effect of AM on heavy metal toxicity to *Trifolium pratense* in soils contaminated with Cd, Zn and Ni salts. *Agrokémia és Talajtan.* **47**. 277–287.

Érkezett: 2000. augusztus 30.

Effect of Microelement Loads on Peas Grown on Calcareous Chernozem Soil. II. Element Uptake, Quality and Root Symbiosis

I. KÁDÁR, K. KÖVES PÉCHY, I. VÖRÖS and B. BÍRÓ

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

Summary

In a previous paper (KÁDÁR, 2001) the aims and methods of the experiment were described, together with the effect of microelement loads on the development and yield of peas grown in the 4th year of the experiment, and on the mineral composition of the yield components. The present paper deals with the pollutant uptake of peas, the essential specific element contents, the effect of soil pollution on root-symbiotic microorganisms (Rhizobium, AM fungi) and changes in the quality parameters of pea seeds (chlorophyll and carotinoid contents, germination, seed value). The main conclusions can be summarized as follows:

– In plots loaded at the maximum rate of 810 kg/ha the accumulation of pollutants in the aboveground yield (seed+stalk+pod) amounted to 10–20 g As, Cd, Cr, Hg and Pb, 50–60 g Cu and Ni, 143 g Ba, 415 g Zn, 2851 g Mo and 3677 g Sr per hectare. The maximum Se uptake, amounting to 1384 g/ha, was measured in the 90 kg/ha treatment, since higher doses resulted in the partial or complete destruction of the plants. Most of the absorbed elements were found in the by-products; the main organ responsible for luxury uptake was the stalk. The exception to this was nickel, where the seed concentration increased to the greatest extent on Ni-loaded soil.

– Hyperaccumulation was exhibited by Mo and Se, the uptake of which increased many thousands of times on intensely polluted soil. The cleansing of such soil through phytoremediation is not a realistic alternative, since under similar conditions this would require 300–600 years in the case of Mo and Se and 4000 years in the case of Cd.

– One tonne of pea seed plus the relevant by-products contained 53 kg N, 8 kg P (18 kg P₂O₅), 34 kg K (41 kg K₂O), 31 kg Ca (43 kg CaO), 6 kg Mg (10 kg MgO), 7 kg S, 145 g Fe, 118 g Na, 37 g B, 30 g Zn, 15 g Cu, and 1–2 g Mo and Ni. The specific N, P and K contents are in good correspondence with the recommendations, while the specific Ca and Mg contents were 30–40% higher on this calcareous soil.

– Higher values of As and Se pollution practically eliminated nodule formation, and thus atmospheric N fixation, on the roots. Endomycorrhizal symbiosis suffered damage in polluted soil. No hyphae at all were found on some roots growing in Se-loaded plots, so there was no endomycorrhization. To some extent higher Cd loads had a similar effect.

Arsenic had a tendency to increase the chlorophyll and carotinoid contents of pea seeds, while Cr pollution led to a great reduction. The quantity of β-carotene was reduced to ¼ and that of total carotene to ½ as the result of extreme Cr loads. Soil pollu-

tion may thus lead to an improvement (As) or deterioration (Cr) of seed quality, depending on the type of pollution.

– In the maximum Cr and Se treatments the seed quality parameters declined. At 270 kg/ha, Se pollution caused germination vigour and the number of healthy germs to drop to 30%, i.e. the total ratio of inviable or dead germs amounted to 70%. Since the total seed yield was only 10% of that on the control plots, the viable seed yield could be estimated as 3–4% of the control.

– On soil polluted with As, Se and Cr the emergence and early development of both peas and weeds was inhibited, as shown by early plant cover data. In the course of the vegetation period the toxicity increased and the plant roots were unable to “grow out of” the pollution, or the polluted soil layer. The arsenate, chromate and selenate anion forms remained mobile and some were leached to deeper layers in this well-aerated calcareous soil.

Table 1. Effect of As, Ba, Cd and Cr loads on the element uptake of green peas on June 14th 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök). (1) Plant organ. a) stalk, b) pod, c) seed, d) total. (2) Loads in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. A. As g/ha (as the result of As loads). B. Ba g/ha (as the result of Ba loads). C. Cd g/ha (as the result of Cd loads). D. Cr g/ha (as the result of Cr loads).

Table 2. Effect of Cu, Hg, Mo and Ni loads on the element uptake of green peas on June 14th 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök). (1)–(4): see Table 1. A. Cu g/ha (as the result of Cu loads). B. Hg g/ha (as the result of Hg loads). C. Mo g/ha (as the result of Mo loads). D. Ni g/ha (as the result of Ni loads).

Table 3. Effect of Pb, Se, Sr and Zn pollution on the element uptake of green peas on June 14th 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök). (1)–(4): see Table 1. A. Pb g/ha (as the result of Pb loads). B. Se g/ha (as the result of Se loads). C. Sr g/ha (as the result of Sr loads). D. Zn g/ha (as the result of Zn loads).

Table 4. Composition of air-dry green peas on unpolluted soil (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök, 1994). (1) Element symbol. (2) Unit. (3) Leaves on May 25th. (4) Stalks. (5) Pods. (6) Seeds on June 14th.

Table 5. Element uptake and specific element contents of dry peas on July 18th 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök). (1)–(2): see Table 4. (3) In the stalks. (4) In the pods. (5) In the seeds. (6) Total. (7) Specific for 1 t seeds. *Element reserves of 1 t seeds and the relevant by-products. Specific element contents of green peas with a moisture content of around 70 %: 20 kg N, 12 kg K, 11 kg Ca, 2,8 kg P, 2,5 kg S, 2 kg Mg, 50 g Fe, 40 g Na, 12–13 g Zn and B, 6 g Cu.

Table 6. Effect of treatments causing yield reductions on the nodule formation of pea roots (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök, 1994). (1) Element symbol. (2)–(4): see Table 1. A. Plant height in cm on May 30th 1994. B. No. of nodules on the main root, No./100 plants. C. No. of nodules on the lateral roots, No./100 plants. D. Total No. of nodules, No./100 plants on May 30th and June 15th 1994. Note: On May 30th the plants were flowering, on June 15th green peas were formed.

Table 7. Effect of Cd and Se loads on the spontaneous arbuscular mycorrhizal fungus colonization of green pea roots on June 15th 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörscök). (1) Loads, kg/ha in spring 1991. A. Control. (2) Characteristics examined. F: % occurrence of mycorrhizal infection on the root system, M: intensity of

mycorrhization on a 0–100 scale (hypha density on 1 cm root segments), a: % arbuscules on the infected root segment, A: % arbuscules on the whole root system.

Table 8. Effect of As and Cr treatments on the chlorophyll and carotene contents of green peas on June 14th 1994 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Chlorophyll, carotene. a) Chlorophyll-a, b) Chlorophyll-b, c) Together, d) Lutein, e) β -carotene, f) Total carotene. (2)–(4): see Table 1. A. As the result of As loads ($\mu\text{g}/\text{kg}$ fresh matter). B. As the result of Cr loads ($\mu\text{g}/\text{kg}$ fresh matter). Note: Se loads did not lead to any significant change in the parameters.

Table 9. Effect of treatments causing yield reductions on the germination of pea seeds (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, July 31st 1994). (1)–(4): see Table 6. A. Germination vigour, % (first count on the 5th day). B. Healthy germs, %. C. Diseased germs, %. D. Rotten germs, %. *No seed yield was formed.

Table 10. Effect of treatments causing yield reductions on the plant cover (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök, April 19th 1994). (1)–(4): see Table 6. A. Pea cover, %. B. Weed cover, %. C. Total cover, %.