

Mikroelem-terhelés hatása a tritikále termésére és elemfelvételére karbonátos csernozjom talajon

KÁDÁR IMRE és KASTORI RUDOLF

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet (MTA TAKI), Budapest és
Újvidéki Egyetem Mezőgazdasági Kara Szántóföldi és Zöldségnövények
Kutatóintézete, Újvidék

Bevezetés, irodalmi áttekintés

A tritikále (XTriticosecale Witm.) a búza és a rozs keresztezéséből származó állandósult köztes búza–rozs hibrid, egy viszonylag új kalászos növényfaj. Jelentősege világviszonylatban növekszik, vetésterülete hazánkban megközelítette a 100 ezer ha-t. Egyaránt értékes takarmány- és kenyérgabona. Beltartalmi értékét emeli a mag jelentős fehérjekészlete, mely az évjáráttól és a trágyázástól függően széles sávban ingadozhat. VOHRA és munkatársai (1991) szerint Kaliforniában a tyúktápok 60% kukorica- és 30% szójalisztet tartalmaznak akkor is, amikor az alapanyagot nem helyben termelik, hanem Közép-Nyugatról importálják. A szerző etetési kísérletei és számításai alapján a tritikále mind gazdasági, mind takarmányozási szempontból előnyös alternatívát jelenthet, mert tápanyagokban gazdag, csökkentheti nemcsak a kukorica-, hanem a szójalisztszükségletet is.

Magyarországon a tritikále gyakorlatilag mindenütt megterem és kiváló takarmányt adhat. Elterjedésével a jobb talajon termett kukorica vagy búza nagyobb része exportálható, valamint a fehérjeforrásul szolgáló szójaliszt importja mérsékelhető. Korábbi vizsgálataink szerint savanyú homoktalajon a magtermés 1,4–2,5% nitrogént, azaz 9–16% nyersfehérjét tartalmazott az évektől, döntően azonban a trágyázástól függően (KÁDÁR & SZEMES, 1994; KÁDÁR et al., 1999). Hasonló eredményekről számol be Duna–Tisza közti meszes homokon beállított trágyázási kísérletében LÁSZTITY (1986).

Korábban LÁSZTITY (1984) összehasonlította a rozs és a tritikále szemtermésének ásványi összetételét egy NPK műtrágyázási kísérletben és megállapította, hogy a két növény makro- és mikroelem-készlete érdemben nem tér el egymástól. A trágyázatlan kontroll-, ill. NPK-trágyázott kezelésekben a tritikále termése 1,4, ill. 3,8 t/ha; míg ugyanitt a rozs 2,4 és 3,8 t/ha magtömeget adott. LÁSZTITY (1987–1988), valamint LÁSZTITY és BICZÓK (1977–1988) részletesen vizsgálták a növény szárazanyagának gyarapodását és tápelemtartalmának változását a tenyészidő folyamán, valamint az NPK-kezelések függvényében meszes homoktalajon.

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

Ami az 1 t magtermés és a hozzá tartozó melléktermés fajlagos elemtartalmát illeti LÁSZTITY és BICZÓK (1987–1988) az alábbi értékeket közli, mint kísérleti átlagokat: 30 kg N, 11 kg P₂O₅, 24 kg K₂O, 4 kg Ca, 2 kg Mg, 300 g Fe, 98 g Mn, 35 g Zn és 10 g Cu. A legnagyobb szórásokat a N-készlet mutatta, mely a kontrollkezelésen 24 kg/t, az NPK-trágyázotton 32 kg/t értéket ért el a meszes homokon. Savanyú homoktalajon beállított nyírlugosi tartamkísérletünkben a kedvező 1991. évben 25–30 kg N, 10–12 kg P₂O₅, 18–24 kg K₂O, 2–3 kg Ca, 2 kg Mg, 70–140 g Fe, 200–600 g Mn, 45–80 g Zn és 7–11 g/t Cu fajlagos elemtartalmakat regisztráltunk (KÁDÁR & SZEMES, 1994).

A fenti adatokat összevetve látható, hogy míg a fajlagos N-, P-, K- és Cu-tartalmak átlagai közelállók a két eltérő termőhelyen, addig a meszes talajon emelkedett Ca és Fe, ill. csökkent Mn és Zn értékek jellemzők. A fajlagos mikroelem-tartalmakat közvetlenül nem használjuk trágyaigény becslésére a szaktanácsadás során, hiszen a mikroelemek felvehetőségét általában nem a talajbani mennyiségük, hanem egyéb talajtulajdonságok szabályozzák. A fontosabb makroelemek fajlagosai – elsősorban a N, P és K – viszont iránymutatóul szolgálhatnak.

Kérdés, vajon a tritikále hogyan reagál a talajszennyezésre? Milyen szennyező elemeket akkumulálhat szerveiben? Alkalmas lehet-e fitoremediációs célokra? Milyen mértékben vándorolhat a Zn, Se és Mo mikroelem az utódnövény föld feletti hajtásába és hogyan befolyásolhatja a csíranövény növekedését? Ilyen és ehhez hasonló kérdésekre kerestük a választ kísérletünkben.

Anyag és módszer

Kísérletünket az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén állítottuk be 1991 tavaszán. A termőhely löszön képződött karbonátos csernozjom talaja a szántott rétegben mintegy 5% CaCO₃-ot és 3% humuszt tartalmaz. Fizikai féleségét tekintve vályog, 20% agyag-, ill. 40% leiszapolható rész frakcióval. Aggagványainak közel felét illit, 1/3-át klorit, kisebb részét szmektit alkotja. SZÜCS (1965) részletes talajföldrajzi feltárása alapján a területet a dunavölgyi mészlepedékes csernozjomok közepes humusgrétegű változatába sorolja 50–100 cm humusgréteggel. A talajvíz tükre kb. 15 m mélyen helyezkedik el, szennyeződése felszíni kilúgzással gyakorlatilag kizárt. A telep éghajlata az Alföldéhez hasonlóan csapadékszegény és aszályra hajló.

A kísérlet terhelési szintjei 0, 90, 270 és 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl₃, As₂O₃/NaAsO₂, BaCl₂, CdSO₄, K₂CrO₄, CuSO₄, HgCl₂, NiSO₄, (NH₄)₆Mo₇O₂₄, Pb(NO₃)₂, Na₂SeO₃, SrSO₄ és ZnSO₄ sók formájában. Az extrém adagok a talajszennyezési szintek modellezését szolgálták. Az osztott parcellás elrendezésben a vizsgált 13 elem jelenti a főparcellát, míg a 4–4 terhelési szint (adag) az alparcellát 13×4 = 52 kezeléssel és 2 ismétléssel, azaz összesen 104 parcellával. A 21 m² területű parcellákat 1–1 m-es utak határolják hosszirányban a jobb megközelíthetőség és a talajáthordás megakadályozása érdekében. A parcellák teljes területe 2184, az utak és szegélyek területe 2008, a kísérlet bekerített összes területe 4192 m². A növényi sorrend kukorica, sárgarépa, burgonya, borsó, cékla,

spenót, búza, napraforgó, sóska, őszi árpa, repce és mák volt (KÁDÁR et al., 2000, 2003).

A kísérlet 13. évében Kitaro fajtájú tritikálét termesztettünk, amelyet 2002. október 1-jén gabona sortávolságra, 4–6 cm mélyre vetettünk, 55–60 db/fm csíraszám, ill. 200–220 kg/ha vetőmaggal. A tenyészdő során állománybonítást végeztünk bokrosodás végén, virágzásban és aratáskor. Aratáskor növényminta-vételre is sor került 8–8 fm, azaz 1–1 m² föld feletti anyag begyűjtésével parcellán-

1. táblázat

A tritikále kísérletben végzett műveletek és megfigyelések 2003-ban
(Mészlepedékes csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Műveletek és megfigyelések	(2) Év, hó, nap	(3) Megjegyzés
Őszi NPK műtrágyázás	2002. 09. 18.	Parcellánként kézzel
Egyirányú szántás + gyűrűshenger	2002. 09. 30.	MTZ-80 + Lajta eke + gyűrűshenger
Kombinátorozás	2002. 09. 30.	MTZ-50 + kombinátor
Vetés + hengerezés	2002. 10. 01.	MTZ-50+ vetőgép + gyűrűshenger
Tavaszi N műtrágyázás	2003. 03. 26.	Parcellánként kézzel
Állománybonítás bokrosodásban	2003. 03. 26.	Parcellánként 1–5 skálán
Állománybonítás virágzásban	2003. 05. 19.	Parcellánként 1–5 skálán
Állománybonítás aratáskor	2003. 07. 03.	Parcellánként 1–5 skálán
Mintavétel aratáskor	2003. 07. 03.	Parcellánként 8–8 fm = 1–1 m ²
Kombájnolás	2003. 07. 03.	Parcellánként 2,1×6=12,6 m ²
Mintakévek cséplése	2003. 11. 24.	Parcellánként 8–8 fm
Mintakévek őrlése analízisre	2003. 11. 28.	Parcellánként 8–8 fm

ként a fő/melléktermék arányának megállapítására, valamint növényelemzés céljaira. A kísérletben végzett műveletekről és megfigyelésekről tételesen az 1. táblázat tájékoztat.

A szem- és a szalmamintákat ismétlésenként cc. HNO₃+ cc. H₂O₂ elegyével roncsoltuk, majd ICP-technikával 23 elem meghatározására került sor. A Zn-, Mo- és Se-kezelések magmintáit a búza zsizsik (*Sitophilus granarius*) kártételére is vizsgáltuk ismétlésenként 40–40 g mag felhasználásával. A károsodott magvak mennyiségét az összes vizsgált mag %-ában fejeztük ki. Ugyanezen kezelések minden ismétlésével csíráztatási vizsgálatokat is végeztünk. Meghatároztuk a csíranövények magasságát, a hajtás és a gyökér tömegét, valamint a hajtások elemösszetételét is. Ilyen módon a kezelések hatását próbáltuk meg nyomon követni az utódnövényen: hogyan módosulhat a csíranövény fejlődése, mennyiben vándorolnak a mag elemkészletei a föld feletti hajtásba?

Ami a csapadékkellátottságot illeti, megemlítjük, hogy a mák elővetemény betakarítása és a tritikále vetése közötti időszakban 149 mm eső hullott. Ezt követően a tenészdő 9 hónapja alatt mindössze 230 mm csapadékban részesült a terület. Elméletileg tehát a tritikále 379 mm csapadékkal rendelkezhetett, amennyiben a talaj a teljes csapadékmennyiséget befogadni és tárolni volt képes. A 2003. év első fele

meglehetősen csapadékszegény volt: januárban 29, februárban 34, márciusban 5, áprilisban 22, májusban 30, júniusban 18 mm eső esett. Az előző évi eredményekről korábbi közleményünkben (KÁDÁR et al., 2003) számoltunk be.

Kísérleti eredmények

Bonitálásaink szerint a tritikále állománya kielégítően fejlődött, fitotoxicitásra utaló jeleket március, május, sőt július elején sem mutatott. Kivételt ez alól csupán a nagyobb Se-terheléses kezelésben lehetett igazolni. Itt az aratáskori szalmatermés 1,2 t/ha, a szemtermés 0,9 t/ha mennyiséggel csökkent. Mivel a szelén mobilis formában maradt a talajban és a mélyebb rétegekbe mosódott, a toxicitás a késői érési stádiumban jelentkezett, amikor a gyökök a mélyebb talajrétegekkel is érintkezhetek. Eredményeinket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A kezelések hatását az aratáskori szem és szalma elemösszetételére a 3. táblázatban tanulmányozhatjuk. Amint az adatokból látható, az As-, Cr- és Ba-koncentráció a szemben még a leginkább szennyezett kezelésben sem éri el az 1 mg/kg értéket. Viszonylag gátolt a Ni, Ba, Sr és Cu elemek beépülése is a magtermésbe.

2. táblázat

Fitotoxikus kezelések hatása a tritikáléra 2003-ban
(Mészlepedékes csernozjom talaj, Nagyhorcsók)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Bonitálás 2003. március 26-án</i>						
As	4,5	4,5	5,0	4,5	1,0	4,6
Se	4,5	4,5	4,5	4,5	1,0	4,5
<i>B. Bonitálás 2003. május 19-én</i>						
As	4,0	5,0	5,0	5,0	1,1	4,8
Se	5,0	5,0	5,0	5,0	1,1	5,0
<i>C. Bonitálás 2003. július 3-án</i>						
As	4,5	4,5	4,5	3,5	1,2	4,2
Se	5,0	4,5	4,5	3,5	1,2	4,4
<i>D. Szalmatermés 2003. július 3-án, t/ha</i>						
As	5,4	5,4	5,2	4,4	1,0	5,1
Se	5,8	5,1	5,0	4,6	1,0	5,1
<i>E. Szemtermés 2003. július 3-án, t/ha</i>						
As	3,9	4,2	3,7	3,2	0,8	3,8
Se	4,7	4,7	4,3	3,8	0,8	4,4
<i>F. Légszáraz föld feletti hozam 2003. július 3-án, t/ha</i>						
As	9,3	9,6	8,9	7,7	1,6	8,9
Se	10,6	9,8	9,3	8,4	1,6	9,5

Bonitálás: 1,0= igen gyengén fejlett; 5,0=igen jól fejlett állomány

3. táblázat
Kezelések hatása a tritikále elemösszetételére aratáskor (2003. július 3-án)
(Mészlepedékes csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. A légszáraz szemben, mg/kg</i>						
As	0,02	0,06	0,07	0,14	0,11	0,07
Cd	0,05	2,25	2,96	4,21	2,11	2,37
Cr	0,11	0,14	0,15	0,19	0,04	0,15
Ni	0,20	1,04	1,28	1,70	0,48	1,06
Ba	0,40	0,62	0,64	0,92	0,26	0,64
Sr	1,40	2,06	2,36	3,70	0,52	2,38
Cu	4,00	5,16	5,65	6,28	1,18	5,27
Zn	12,2	48,9	55,9	68,7	29,9	46,4
Mo	0,2	21,9	28,8	46,4	20,0	24,4
Se	0,2	84,0	194,0	236,5	28,3	128,8
<i>B. A légszáraz szalmában, mg/kg</i>						
As	<KH	0,87	1,54	3,54	0,34	1,49
Cd	0,10	2,18	5,08	7,46	1,50	3,70
Cr	0,10	0,26	0,65	1,14	0,20	0,54
Ni	0,07	0,37	0,40	0,47	0,22	0,33
Cu	1,80	2,56	3,57	3,84	0,59	2,94
Se	0,1	83,6	202,0	254,5	74,4	135,0
Mo	0,2	68,8	111,4	220,0	51,4	100,0
Zn	3,8	12,8	21,8	36,3	4,3	18,7
Ba	10,0	17,3	17,4	26,7	7,3	17,8
Sr	14,8	22,9	25,8	47,6	8,8	27,8

Megjegyzés: Egyéb elemek átlagosan a szemben: N 2,22%; K 0,57%; P 0,39%; S 0,16%; Mg 0,12%; Ca 349; Mn 34; Fe 33; Na 7; B 0,2 mg/kg, Egyéb elemek átlagosan a szalmában: K 1,40%; N 0,88%; Ca 0,38%; S 0,16%; Mg 0,11%; P 702; Mn 82; Fe 59; Al 47; Na 13; B 4 mg/kg

Mindez sajnos nem mondható el a kadmiumról. Ez a veszélyes szennyező csaknem két nagyságrenddel dúsult és állati/humán fogyasztásra egyaránt alkalmatlan termékeket eredményezett. A Zn-terhelés nyomán megengedett 50 mg Zn/kg határérték feletti koncentráció alakult ki. A kontrollhoz viszonyítva a molibdén mintegy 500-szoros, míg a szelén 5000-szeres akkumulációt mutatott a maximális Mo-, ill. Se-terheléses parcellákon, toxikus növényi termékeket eredményezve.

A vizsgált elemek közül a Zn, Cu és Ni főként a szemben dúsult, míg az összes többi mikroelem döntően a melléktermés szárban. Az arzén pl. átlagosan 20-szoros koncentrációt jelez a szárban, a generatív szemhez képest. A Sr esetén a szár mintegy 10-szer, a Ba esetén közel 30-szor gazdagabb a szemnél, míg a Mo átlagosan csupán 4-szer vagy 5-ször. A N, K, P, S és Mg 2,22, 0,57, 0,39, 0,16 és 0,12%-ot

tett ki a szemben. Ugyanitt a Ca, Mn, Fe, Na és B 349, 34, 33, 7 és 0,2 mg/kg volt átlagosan. A szalmában a K, N, Ca, S és Mg 1,40, 0,88, 0,38, 0,16 és 0,11%-ot ért el, míg a P, Mn, Fe, Al, Na és B 702, 82, 59, 47, 13 és 4 mg/kg-ot a szárazanyagban.

4. táblázat

Kezelések hatása a tritikále elemfelvételére aratáskor 2003. július 3-án
(Mészlepedékes csernozjom talaj, Nagyhörcsök)

(1) Elem jele	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
A. Szemtermésben, g/ha						
As	0,08	0,25	0,26	0,45	0,22	0,26
Cr	0,46	0,59	0,63	0,80	0,10	0,62
Ba	1,68	2,60	2,69	3,86	1,12	2,71
Ni	0,84	4,37	5,38	7,14	2,46	4,43
Cd	0,21	9,45	12,40	17,68	8,11	9,94
Sr	6	9	10	16	4	10
Cu	17	22	24	26	6	22
Se	1	40	83	90	37	53
Mo	1	92	121	195	84	102
Zn	51	205	234	289	88	195
B. Szalmatermésben, g/ha						
Ni	0,4	2,1	2,2	2,6	0,8	1,8
Cr	0,6	1,5	3,6	6,4	1,4	3,0
As	0,1	4,7	8,0	15,6	3,4	7,1
Cd	0,6	12,2	28,4	41,8	11,6	20,8
Cu	10,1	14,3	20,0	21,5	4,4	16,5
Zn	21	72	122	203	36	104
Ba	56	97	97	150	48	100
Sr	83	128	144	267	53	156
Mo	1	385	624	1232	282	560
Se	1	426	1010	1171	333	652
C. Együtt, g/ha						
As	0,2	5,0	8,3	16,0	3,7	7,4
Cr	1,1	2,1	4,2	7,2	1,7	3,6
Ni	1,2	6,5	7,6	9,7	3,0	6,2
Cd	0,8	21,6	40,8	59,5	19,4	30,7
Cu	26,9	36,0	43,7	47,9	9,7	38,7
Ba	58	100	100	154	49	103
Sr	89	137	154	283	58	166
Zn	72	277	356	492	122	299
Mo	2	477	745	1427	352	662
Se	2	466	1093	1261	360	705

A 4. táblázat adatai tájékoztatnak a föld feletti terméssel felvett mikroelemek mennyiségeiről. A maximális felvételeket tekintve (az erősen szennyezett talajon és a szennyezést követő 13. év után) a hektáronkénti elemakkumuláció a következőképpen alakult: Cr 7 g, Ni 10 g, As 16 g, Cu 48 g, Cd 60 g, Ba 154 g, Sr 283 g, Zn 492 g, Se 1261 g és Mo 1427 g. A fitoremediáció esélyeit latolgatva hasonló körülmények között (a maximális 810 kg/ha szennyezés eltávolításához) a molibdén esetében kerekén 568, a szelén esetében 642, a cink esetében 1646, míg a kadmium esetében 13500 évre volna szükség a talaj teljes tisztulásához. Az erősen szennyezett talajok tisztításához tehát a fitoremediáció a tritikále tesztnövényrel vizsgálva nem nyújthat reális alternatívát. Annak ellenére, hogy e növény kiválóan elviselheti a monokultúrás termesztést.

Az 5. táblázatban iránymutató jelleggel összeállítottuk a tritikále termésébe szennyezetlen talajon beépült makro- és mikroelemek mennyiségeit, ill. megbecsültük az 1 t magtermés és a hozzá tartozó melléktermés ún. fajlagos elemtartalmát a szaktanácsadás számára. Adataink szerint a tervezett 1 t főterméshez tartozó fajlagos elemigény az alábbi lehet hasonló körülmények között: 30–34 kg N, 24–25 kg K (28–30 kg K₂O), 4–5 kg P (9–12 kg P₂O₅), 5–6 kg Ca, 3–4 kg S, 2–3 kg Mg.

5. táblázat

A tritikále föld feletti termésébe épült elemek átlagos és fajlagos mennyiségei szennyezetlen talajon aratáskor 2003. július 3-án (Mészlepedékes csernozjom talaj, Nagyhorcsók)

(1) Elem jele és mértékegysége		(2) Szem- termés 4,2 t/ha	(3) Szalma- termés 5,6 t/ha	(4) Összes termés 9,8 t/ha	(5) Fajlagos elem- tartalom*
N	kg/ha	93,2	49,3	142	33,8
K	kg/ha	23,9	78,4	102	24,3
P	kg/ha	16,4	3,9	20	4,8
S	kg/ha	6,7	9,0	16	3,8
Mg	kg/ha	5,0	6,2	11	2,6
Ca	kg/ha	1,5	21,3	23	5,5
Mn	g/ha	143	459	602	143
Fe	g/ha	139	330	469	112
Al	g/ha	1	263	264	63
Zn	g/ha	51	4	55	13
Na	g/ha	29	73	102	24
Cu	g/ha	17	2	19	5
Sr	g/ha	6	15	21	5
Ba	g/ha	2	10	12	3
Ni	g/ha	0,8	0,1	0,9	0,2
Cr	g/ha	0,5	0,1	0,6	0,1
Mo	g/ha	1,0	0,2	1,2	0,3
Se	g/ha	1,0	0,1	1,1	0,3

*Fajlagos, azaz 1 t szem- + a hozzá tartozó szalmatermés elemtartalma. Az As-, Hg-, Pb-, Co- és Cd-tartalom általában 1 g/ha méréshatár alatt maradt

A zsiszikes magvak mennyisége a kontrollparcellákon 16% körülnek adódott. A maximális Zn-terhelés nyomán, ahol a Zn-koncentráció kereken 69 mg/kg volt a légszáraz magban, a fertőzés igazolhatóan a felére mérséklődött. Ugyanitt már enyhén, de igazolhatóan csökkent a csíranövénykéek magassága és tömege is. A cink a csíranövények hajtásában halmozódott fel nagyobb koncentrációban, mint eredetileg a magban volt (6. táblázat).

A Mo-terhelés a zsiszikes magvak arányát érdemben nem befolyásolta. Az elvetett mag és a csíranövény hajtásának Mo-koncentrációja lényegesen nem tért el egymástól. A csíranövények magassága, hajtásának és gyökerének tömege viszont a nagyobb Mo-szennyezés nyomán igazolhatóan visszaesett. Úgy tűnik a Se-dús magvakat a zsiszik elkerülte, a fertőzés alig jelentkezett. A csíranövények magasságában, a hajtás és a gyökér tömegében igazolható depresszió csak a maximális terhelésnél következett be. A hajtás Se-koncentrációja mintegy 30%-kal haladta meg a mag Se-készletét (6. táblázat).

6. táblázat
A Zn-, Mo- és Se-kezelések hatása a tritikáléra 2003-ban
(Mészlepedékes csernozjom talaj, Nagyhorcsók)

(1) Megfigyelt, ill. vizsgált jellemzők	(2) Terhelés 1991 tavaszán, kg/ha				(3) SzD _{5%}	(4) Átlag
	0	90	270	810		
<i>A. Zn-terhelés hatására</i>						
a) Zsiszikes magvak %-a	16,4	15,1	15,1	6,7	4,2	13,3
b) Zn, mg/kg a magban	12,2	48,9	55,9	68,7	29,9	46,4
c) A csíranövény:						
d) magassága, cm (hajtás)	7,9	8,2	7,8	6,6	1,1	7,6
e) hajtás sz.a. mg/növény	5,2	5,4	5,2	4,1	0,8	5,0
f) gyökér sz.a. mg/növény	8,6	8,7	8,4	6,9	1,2	8,1
g) Zn, mg/kg a hajtásban	44	72	73	82	10	72
<i>B. Mo-terhelés hatására</i>						
a) Zsiszikes magvak %-a	16,3	22,3	23,3	20,1	6,2	20,5
b) Mo, mg/kg a magban	0,2	21,9	28,8	46,4	20,0	24,4
c) A csíranövény:						
d) magassága, cm (hajtás)	8,3	7,4	7,2	6,9	0,9	7,4
e) hajtás sz.a. mg/növény	5,5	4,5	4,1	3,8	0,9	4,5
f) gyökér sz.a. mg/növény	7,9	6,5	6,0	5,7	0,7	6,5
g) Mo, mg/kg a hajtásban	0,6	22	31	42	11	28
<i>C. Se-terhelés hatására</i>						
a) Zsiszikes magvak %-a	15,9	5,7	1,9	1,0	4,2	6,1
b) Se, mg/kg a magban	0,2	84	194	236	28	129
c) A csíranövény:						
d) magassága, cm (hajtás)	8,0	10,4	9,7	8,1	1,4	9,0
e) hajtás sz.a. mg/növény	6,7	8,9	7,1	6,9	1,4	7,4
f) gyökér sz.a. mg/növény	10,1	12,1	10,8	10,5	1,7	10,9
g) Se, mg/kg a hajtásban	0,4	117	247	286	36	173

Megjegyzés: a kezelések 40 növényegyet/magot tartalmaztak; 4 ismételés, n=160

Összefoglalás

Löszön képződött vályog mechanikai összetételű karbonátos csernozjom talajon, az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén szabadföldi kisparcellás mikroelem-terhelési kísérletet állítottunk be 1991 tavaszán. A termőhely talajának szántott rétege mintegy 5% CaCO_3 -ot és 3% humuszt tartalmazott, oldható tápelemekkel való ellátottsága az alábbi volt: Ca és Mn igen jó, Mg és Cu kielégítő, N és K közepes, P és Zn gyenge. 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 kísérlet terhelési szintjei 0, 90, 270, ill. 810 kg/ha mennyiséget jelentettek elemenként AlCl_3 , $\text{As}_2\text{O}_3/\text{NaAsO}_2$, 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 kísérlet 13. évében tritikálét termesztettünk.

A kísérleti eredmények alapján levonható főbb tanulságok a következők:

- A viszonylag száraz évben mérsékelt szem- (4–5 t/ha), ill. szalmaterméseket (5–6 t/ha) kaptunk. Fitotoxicitást, igazolható terméseszkökenést aratás idején a maximális As- és Se-terhelés okozott, melynek mértéke átlagosan 20% körül ingadozott a kontrollhoz viszonyítva.

- Az As-, Cr- és Ba-koncentráció még az adott elem maximális (810 kg/ha) terhelése esetén sem érte el az 1 mg/kg értéket a tritikále szemtermésében. Viszonylag gátolt a Ni, Ba, Sr és Cu elemek beépülése is a magtermésbe. A Cd csaknem két nagyságrenddel dúsult a kadmiummal erősen szennyezett talajon és humán-, valamint állati fogyasztásra egyaránt alkalmatlan termést eredményezett. A megengedett 50 mg Zn/kg határérték feletti koncentrációt regisztráltunk a Zn-terhelés nyomán. A maximális Mo-, ill. Se-terhelés esetében a kontrollhoz viszonyítva a Mo mintegy 500-szoros, míg a Se 5000-szeres akkumulációt mutatott a szemben, toxikus növényi terméket produkálva.

- A vizsgált elemek közül a Zn, Cu és Ni főként a szemben dúsult, míg az összes többi elem döntően a vegetatív melléktermésben. A szalma pl. molibdénban átlagosan 4–5-ször, stronciumban 10-szer, arzénban 20-szor és báriumban 30-szor gazdagabb volt, mint a szem. Takarmányként állati fogyasztásra alkalmatlannak minősült a szalma a Cd-, Se- és Mo-kezelések mindegyikében, valamint a maximális As-terhelés esetén.

- A tritikále föld feletti (szem+szalma) termésébe maximálisan és kereken 7 g Cr, 10 g Ni, 16 g As, 48 g Cu, 60 g Cd, 154 g Ba, 283 g Sr, 492 g Zn, 1261 g Se és 1427 g Mo épült be hektáronként. A maximális 810 kg/ha talajszennyezés eltávolításához hasonló körülmények között (fitoremediáció) tehát a Mo esetében kereken 568, a Zn esetében 1646, míg a Cd esetében pl. 13500 évre volna szükség. Az erősen szennyezett talajok remediációjához a tritikále, mint teszt növény nem nyújt reális alternatívát annak ellenére, hogy kiválóan elviseli a monokultúrát.

- A tritikále 1 t főtermésének + a hozzá tartozó melléktermés elemigénye kísérleti viszonyaink között az alábbiak adódott: 30–34 kg N, 24–25 kg K (28–30 kg K_2O), 4–5 kg P (9–12 kg P_2O_5), 5–6 kg Ca, 3–4 kg S, 2–3 kg Mg.

– A búza zsizsikkal (*Sitophilus granarius*) fertőzött magtermése a kontrollparcellákon 16% körüli volt. A Mo-kezelés nem befolyásolta, a maximális Zn-terhelés a fertőzést felére mérsékelte, míg a Se-dús magvakat a fertőzés elkerülte. Az elvetett magvak és a csíranövények hajtásának Mo-koncentrációja közelálló volt, míg a hajtások 20–30%-kal nagyobb Zn- és Se-tartalmakat mutattak. A csíranövények magassága, hajtás- és gyökértömege igazolhatóan mérséklődött a nagyobb (maximális) Zn-, Mo- és Se-terhelés nyomán. A vizsgált mikroelemek a magból a hajtásba vándoroltak (remobilizáció).

Kulcsszavak: tritikále, mikroelem-terhelés, fitoremediáció, tartamkísérlet

Irodalom

- KÁDÁR I., KASTORI R. & BERNÁTH J., 2003. Mikroelem-terhelés hatása a mákra karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **52**. 347–362.
- KÁDÁR I., NÉMETH T. & SZEMES I., 1999. Triticale trágyareakciója a nyírlugosi tartamkísérletben. *Növénytermelés*. **48**. 647–661.
- KÁDÁR I., RADICS L. & BANA K.-NÉ, 2000. Mikroelem-terhelés hatása a kukoricára karbonátos csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 181–204.
- KÁDÁR I. & SZEMES I., 1994. A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- LÁSZTITY B., 1984. Az NPK-műtrágyázás hatása az őszi rozs és a tritikale szemtermésének néhány beltartalmi jellemzőjére. *Agrokémia és Talajtan*. **33**. 391–402.
- LÁSZTITY B., 1986. Néhány elem koncentrációjának változása az őszi rozsban és tritikálében a tenyészidő folyamán. *Agrokémia és Talajtan*. **35**. 85–94.
- LÁSZTITY B., 1987–1988. A műtrágyázás hatása a tritikale szárazanyag felhalmozására és tápelemtartalmára. *Agrokémia és Talajtan*. **36–37**. 191–208.
- LÁSZTITY B. & BICZÓK GY., 1987–1988. A műtrágyázás hatása a tritikale tápelemtelvének dinamikájára. *Agrokémia és Talajtan*. **36–37**. 177–190.
- SZÜCS L., 1965. A mészlepedékes csernozjomok osztályozásának továbbfejlesztése és alkalmazása. *Agrokémia és Talajtan*. **14**. 153–172.
- VOHRA, P. et al., 1991. Triticale, an alternative cereal grain in broiler starter diets. *California Agriculture*. **45**. 34–37.

Érkezett: 2005. szeptember 7.

Effect of Microelement Loads on the Yield and Nutrient Uptake of Triticale on Calcareous Chernozem Soil

I. KÁDÁR and R. KASTORI

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry (RISSAC) of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and Research Institute for Field and Vegetable Crops, Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Novi Sad

Summary

A small-plot field experiment designed to test microelement loads was set up in spring 1991 on a calcareous chernozem soil with a loam texture, formed on loess, at the Nagyhörcsök Experimental Station of RISSAC. The ploughed layer contained around 5% CaCO_3 and 3% humus, and the nutrient supply level was very good for Ca and Mn, satisfactory for Mg and Cu, moderate for N and K, and poor for P and Zn. The groundwater was located at a depth of 15 m, and the territory had a negative water balance and was prone to drought. Salts of the 13 microelements tested were each applied at four levels in spring 1991, prior to the sowing of maize. The $13 \times 4 = 52$ treatments were carried out in two replications, giving a total of 104 plots in a split-plot design. The pollution levels established in the experiment were 0, 90, 270 and 810 kg/ha for each element, and were applied in the form of AlCl_3 , $\text{As}_2\text{O}_3/\text{NaAsO}_2$, 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 . In the 13th year of the experiment triticale (cv. Kitaro) was sown on 1 October 2002 at a depth of 4–6 cm with 55–60 germs per metre, i.e. 200–220 kg seed/ha.

The main conclusions that could be drawn from the results were as follows:

- In this relatively dry year, moderate grain (4–5 t/ha) and straw (5–6 t/ha) yields were obtained. Phytotoxicity and significant yield losses at harvest, averaging around 20% compared with the control, were caused by the maximum rates of As and Se.

- Even at the maximum (810 kg/ha) load with the given element, the As, Cr and Ba concentrations in the grain yield of triticale did not reach the 1 mg/kg value. The incorporation of Ni, Ba, Sr and Cu into the grain yield was also relatively inhibited. On soil severely contaminated with cadmium, the Cd concentration increased by nearly two orders of magnitude, leading to grain unsuitable for either human or animal consumption. Zinc concentrations above the 50 mg/kg limit value were observed as the result of Zn load. As the result of maximum Mo and Se loads, the accumulation of Mo and Se reached 500 times and 5000 times the control level, respectively, leading to toxic plant products.

- Among the elements analysed, Zn, Cu and Ni were concentrated primarily in the grain, while the others were mainly found in the vegetative by-products. For example, the straw contained 4–5 times as much Mo, 10 times as much Sr, 20 times as much As and 30 times as much Ba as the grain. The straw was classified as unsuitable for animal consumption in all the Cd, Se and Mo treatments and in the case of the maximum As contamination.

- The maximum quantities of microelements incorporated into the aboveground organs (grain+straw) of triticale were approximately 7 g Cr, 10 g Ni, 16 g As, 48 g Cu, 60 g Cd, 154 g Ba, 283 g Sr, 492 g Zn, 1261 g Se and 1427 g Mo per hectare. This means

that to remove the maximum 810 kg/ha quantity of soil contamination by phytoremediation would require a total of 568 years in the case of Mo, 1646 years for Zn and 13500 years for Cd. Triticale is thus not a viable alternative for the remediation of severely contaminated soils, despite the fact that it gives excellent results when grown in a monoculture.

– Under the given experimental conditions the element requirements of 1 t main product + the corresponding by-products for triticale were found to be: 30–34 kg N, 24–25 kg K (28–30 kg K₂O), 4–5 kg P (9–12 kg P₂O₅), 5–6 kg Ca, 3–4 kg S and 2–3 kg Mg.

– The proportion of wheat grains infested with weevils (*Sitophilus granarius*) was around 16% in the control plots. This was not influenced by Mo treatment, while the maximum Zn load reduced the infestation to half and Se-rich seeds were free of weevils. The Mo concentration in sown seeds and seedling shoots was much the same, while the shoots exhibited 20–30% higher contents of Zn and Se. The height of the seedlings and their shoot and root mass were significantly smaller as the result of maximum levels of Zn, Mo and Se. The microelements investigated migrated from the seed into the shoot (remobilization).

Table 1. Treatments and operations in the triticale experiment in 2003 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Treatments and operations. (2) Year, month, day. (3) Notes.

Table 2. Effect of phytotoxic treatments on triticale in 2003 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element symbol. (2) Element load applied in spring 1991, kg/ha. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. A. Scoring on 26 March 2003. B. Scoring on 19 May 2003. C. Scoring on 3 July 2003. D. Straw yield on 3 July 2003. E. Grain yield on 3 July 2003. F. Air-dry aboveground yield on 3 July 2003. Note: Scores: 1.0 = very poorly developed stand; 5.0 = very well developed stand.

Table 3. Effect of treatments on the element composition of triticale at harvest (on 3 July 2003) (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 2. A. In air-dry grains, mg/kg. B. In air-dry straw, mg/kg. Note: Average quantities of other elements in the grain and straw.

Table 4. Effect of treatments on the element uptake of triticale at harvest on 3 July 2003 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1)–(4): see Table 2. A. In the grain yield, g/ha. B. In the straw yield, g/ha. C. Together, g/ha.

Table 5. Average and specific quantities of elements incorporated into the above-ground yield of triticale on untreated soil at harvest on 3 July 2003 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Element symbol and units. (2) Grain yield, 4.2 t/ha. (3) Straw yield, 5.6 t/ha. (4) Total yield, 9.8 t/ha. (5) Specific element content*. Note: Specific element content, i.e. that of 1 t grain + the corresponding straw yield. Contents of As, Hg, Pb, Co and Cd were generally below the 1 g/ha detection limit.

Table 6. Effect of Zn, Mo and Se treatments on triticale in 2003 (Calcareous chernozem soil, Nagyhörcsök). (1) Observed or analysed parameters. a) % seeds infested with weevils; b) Zn, Mo and Se quantities, mg/kg, in the seed; c) Seedling; d) Height, cm (shoot); e) Shoot dry matter, mg/plant; f) Root dry matter, mg/plant; g) Zn, Mo and Se, mg/kg in the shoot. (2)–(4): see Table 2. Note: Treatments carried out on 40 plants or seeds; 4 replications; n = 160.