

Mikroelem-terhelés hatása a búzára (*Triticum aestivum* L.) karbonátos homoktalajon

KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet
Budapest

Összefoglalás

Karbonátos Duna-Tisza közti homoktalajon vizsgáltuk a 0, 30, 90, 270 kg/ha mikroelem-terhelés hatását az őszi búzára. A mikroelemek sóit egy ízben a kísérlet indulásakor 1995 tavaszán szórtuk ki $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CuSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , ZnSO_4 formájában. A 6 elem \times 4 terhelés = 24 kezelés \times 3 ismétlés = 72 parcellát jelentett $7 \times 5 = 35 \text{ m}^2$ parcellákkal. Termőhely a homoktalajokra jellemzően rossz vízgazdálkodású, aszályérzékeny és az NPK főbb tápelemekkel gyengén ellátott. A szántott réteg 0,7–1,0% humuszt, 2–3% CaCO_3 -ot tartalmaz, a talajvíz 5–10 m mélyen található. Alaptrágyaként 100 kg/ha N, 100 kg/ha P_2O_5 és 100 kg/ha K_2O hatóanyagot alkalmazunk évente az egész kísérletben. Főbb eredmények:

1. A kedvezőtlen csapadékviszonyok/időjárás nyomán a szennyezetlen kontroll talajon 3 t/ha szemtermés + 3 t/ha melléktermés képződött. A kísérlet 3. évében a maximális 270 kg/ha Se és Zn kezelés bizonyult toxikusnak. A Zn-terhelés eredményeképpen az aratáskori földfeletti biomassa mintegy a 60%-ára csökkent, míg a Se-terhelés a búza és az előforduló gyomfajok gyakorlatilag teljes pusztulását okozta.
2. Aratás idején szennyezett talajon a melléktermésben 2-szeresére emelkedett a Cu, 3-szorosára a Zn, 4-szeresére az Pb, egy nagyságrenddel a Cr és 2540-szeresére a Se koncentrációja. A szemtermés genetikailag védettebbnek bizonyult. A Cr(III), Cr(VI), Pb és Cu elemek tartalma igazolhatóan nem változott a magban. A Zn mintegy 80%-kal, míg a Se a kontrollhoz viszonyítva 2640-szeresére dúsult. A Se mozgása nem gátolt a talaj-növény rendszerben, tömegárammal a növényen belüli transzport is akadálytalan. A búza magja humán fogyasztásra alkalmatlanná vált a Se-nel

és Zn-kel erősen szennyezett talajon. A mag a Se-szennyezés miatt takarmányozásra is alkalmatlannak bizonyult.

3. A maximális Se-felvétel a 90 kg/ha kezelésben jelentkezett és 442 g/ha mennyiséget tett ki. A Zn-felvétel maximuma 193 g/ha-nak adódott a 90 kg/ha Zn-kezelésben. A termésdepressziót nem okozó kezelésben a 6 t/ha biomasszába épült maximumok: 40 g/ha Cu, 14 g/ha Cr és 3 g/ha Pb, melyek a maximális 270 kg/ha terhelésnél voltak mérhetőek. Változatlan viszonyokat feltételezve a 90 kg/ha Se felvételéhez 204 év, a Zn felvételhez 466 évre volna elvileg szükség. A 270 kg/ha szennyezés fitoremediációjának időigénye hasonló becsléssel közel 7 ezer Cu-év, 19 ezer Cr-év és 90 ezer Pb-év volna.
4. Az 1 t szem + a hozzátartozó melléktermés úgynevezett fajlagos elemtartalma 30 kg N, 7–8 kg (8–10 kg K₂O), 4–5 kg P (9–11 kg P₂O₅) és 3 kg körüli Ca, Mg és S mennyiséget tett ki. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a búza elemigényének számításakor a szaktanácsadásban.

Kulcsszavak: őszi búza, mikroelem-terhelés, toxicitás, elemfelvétel, fitoremediáció

The effect of microelement load on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) on calcareous sandy soil

I. KÁDÁR

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

Summary

The effect of 0, 30, 90, and 270 kg ha⁻¹ microelement load was examined on winter wheat on a calcareous sandy soil. The microelements were applied in the forms of Cr₂(SO₄)₃, K₂Cr₂O₇, CuSO₄, Pb(NO₃)₂, Na₂SeO₃, ZnSO₄ once in the spring of 1995, when the experiment was established. The number of plots was 72 (6 elements × 4 loads = 24 treatments × 3 replications) and the plot size was 7 × 5 = 35 m². The site had unfavourable water regime, it was drought sensitive and weakly supplied with NPK, as it is typical among sandy soils. The ploughed layer contained 0.7–1.0% humus and 2–3% CaCO₃, the soil water level was at a depth of 6–10 meters. 100 kg N ha⁻¹, 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ and 100 kg

K₂O ha⁻¹ active ingredients were applied as basic fertilisers every year in the whole experiment. Main results:

1. Due to the unfavourable rainfall conditions, 3 t ha⁻¹ grain yield + 3 t ha⁻¹ straw yield developed on the unpolluted control soil. In the 3rd year of the experiment, the highest 270 kg ha⁻¹ Se and Zn treatment was found to be toxic. As a result of the Zn load, the above-ground biomass at the time of harvest decreased to its 60%, whereas the Se load caused the total destruction of wheat and the existing weed species.
2. On polluted soil at harvest, the Cu content of the straw doubled, whereas the Zn content tripled, the Pb quadrupled, the Cr content increased by a magnitude and the concentration of Se increased 2540-fold. The grain yield was shown to be genetically more protected. No change was shown in the Cr(III), Cr(VI), Pb and Cu element content in the grain. The Zn content increased by 80%, whereas Se increased 2640-fold in comparison with the control. Neither the mobility of Se in the soil-crop system, nor the mass flow transport within the crop is hindered. The wheat grain became unfit for human and animal consumption on the soil strongly polluted with Se and Zn.
3. The maximum Se uptake was observed in the 90 kg ha⁻¹ treatment and it accounted to 442 g ha⁻¹. The highest Zn uptake was 193 g ha⁻¹ in the 90 kg Zn ha⁻¹ treatment. In the treatments without yield depression, the following highest amounts of elements were incorporated into the 6 t ha⁻¹ aboveground biomass: 40 g Cu ha⁻¹, 14 g Cr ha⁻¹ and 3 g Pb ha⁻¹ that could be measured during the highest, 270 kg ha⁻¹ load. If unchanged conditions would be assumed, the applied 90 kg ha⁻¹ Se would need 204 years to be taken up from the soil, whereas it would take 466 years to take up Zn. Using a similar estimation, the amount of time necessary for the phytoremediation of the 270 kg ha⁻¹ pollution is nearly 7 thousand Cu-years, 19 thousand Cr-years and 90 thousand Pb-years.
4. The so-called specific element content of the 1 t grain yield and its secondary yield was about 30 kg N, 7–8 kg (8–10 kg K₂O), 4–5 kg P (9–11 kg P₂O₅) and around 3 kg Ca, Mg and S. Our data could serve as a guidance for assessing NPK demand of wheat in fertilizer recommendations.

Key words: winter wheat, microelement load, toxicity, element uptake, phytoremediation

Влияние нагрузки микро-элементов на пшеницу (*Triticum aestivum* L.) на карбонатной песчаной почве

И. КАДАР

Исследовательский Институт Почвоведения и
Агрохимии Венгерской Академии Наук, Будапешт

Резюме

На карбонатной песчаной почве междуречья Дуная и Тиссы исследовали влияние 0, 30, 90, 270 kg/ha нагрузки микроэлементов на озимую пшеницу. Соли микроэлементов один раз в начале опыта весной 1995 года рассыпали в форме $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CuSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , ZnSO_4 . 6 элементов \times 4 нагрузки = 24 обработки \times 3 повторения = 72 парцеллы означали, каждая парцелла $7 \times 5 = 35 \text{ m}^2$. Место выращивания с характерным для песчаных почв плохим водохозяйством, чувствительна к засухе и слабо обеспечена главными питательными элементами NPK. Пашенный слой содержит 0,7–1,0% гумуса, 2–3% CaCO_3 , почвенные воды расположены на глубине 5–10 м. В качестве основного удобрения применяли 100 kg/ha N, 100 kg/ha P_2O_5 и 100 kg/ha K_2O действующего вещества ежегодно во всем опыте. Наиболее важные результаты:

1. Вследствии неблагоприятных условий осадков/погоды на незагрязнённой контрольной почве сформировался 3 t/ha урожай зерна + 3 t/ha побочных продуктов. На 3-ий год опыта максимальная нагрузка 270 kg/ha Se и Zn оказалась токсичной. Результатом нагрузки Zn надземная биомасса во время жатвы сократилась почти до 60%, а нагрузка Se причинила практически полное уничтожение пшеницы и встречающихся видов сорняков.
2. Во время уборки на загрязнённой почве в побочном урожае в 2 раза увеличилась концентрация Cu, в 3 раза Zn, в 4 раза Pb, на порядок Cr и в 2540 раз концентрация Se. Урожай зерна оказался генетически более защищённым. Содержание элементов Cr(III), Cr(VI), Pb и Cu доказуемо не изменилось в зерне. Zn примерно на 80%, а Se по сравнению с контролем в 2640 раз увеличился. Движение Se незаторможенное в системе почва-растение, с массой потока внутри растения транспорт также без припятствий. Зерно пшеницы для потребления человека стало непригодным на почве, сильно загрязнённой Se и Zn. Зерно из-за загрязнения Se и для фуража также оказалось непригодным.

3. Maximális vnyos Se pri dozе 90 kg/ha проявился и составил 442 g/ha. Максимум вноса Zn при 193 g/ha получился при 90 kg/ha дозе Zn. В непричиняющей депрессию урожая дозы встроены в биомассу 6 t/ha максимумы: 40 g/ha Cu, 14 g/ha Cr и 3 g/ha Pb, которые при максимальной нагрузке 270 kg/ha можно было измерить. Предполагая неизменяемые условия для вноса 90 kg/ha Se в принципе необходимо было бы 204 года, для вноса Zn надо бы 466 лет. Потребность во времени фиторемедиации загрязнения 270 kg/ha похожими оценками была бы около 7 тысяч Cu-год, 19 тысяч Cr-год и 90 тысяч Pb-год.
4. Так называемое удельное содержание элементов 1 t зерна + относящихся к нему побочных продуктов составило 30 kg N, 7–8 kg (8–10 kg K₂O), 4–5 kg P (9–11 kg P₂O₅) и в количестве около 3 kg Ca, Mg и S. Наши данные могут служить показателями при вычислении потребности пшеницы в элементах при рекомендации по применению удобрений.

Ключевые слова: озимая пшеница, нагрузка микро-элементов, токситация, приём элемента, фиторемедитация

Bevezetés és irodalmi áttekintés

Előző munkánkban taglaltuk a mikroelem-szennyezéssel kapcsolatos elméleti és gyakorlati jellegű problémákat, valamint bemutattuk a kísérleti körülményeket. Az első évben termett sárgarépa depresszív hatásúnak a Cr(VI), Se és Zn kezelések bizonyultak. A nagyobb Cr(VI) és Se terhelés nyomán a talaj teljesen terméketlenné vált, a gyomfajok is elpusztultak. A szennyezett talajon termett sárgarépa gyökere mind élelmezési, mind takarmányozási célokra alkalmatlanná vált a káros Pb és Se elemdúsulások miatt. A betakarított termés elemtartalma alapján a fitoremediáció időigénye változatlan feltételeket feltételezve szennyezett talajon becsléseink szerint évezredekben lenne mérhető (Kádár 2010).

A második évben, 1996-ban termett zöldborsó kísérletben termésnövekedést csak a nagyobb Se és Zn adagok okoztak. A Cr(III), Cr(VI), Pb és Cu kezeléseknél igazolhatóan nem változott sem a magtermése, sem az elemtartalma. Szennyezett talajon a borsó földfeletti termésébe maximálisan 7 g Cr, 12 g Pb és Cu, 80–90 g Se és Zn épült be. A kezelt talajon termett zöldborsó magja a Se és Zn kezelésektől eltekintve humán fogyasztásra is alkalmas maradt. A szán-

tott réteg elemdúsulásai a Zn, Cr(III), Cr(VI), Pb és Cu elemeknél jól tükrözték a bevitt mennyiségeket, míg a Se esetén mintegy 50% volt ilyen módon azonosítható a szántott rétegben, a cc.HNO₃+cc.H₂O₂ feltárással becsült „összes” készlet alapján (Kádár 2009).

Jelen munkánkban a mikroelem-terhelés 3. évének hatását kísérjük figyelemmel a búza gyomosodására, fejlődésére, termésére, valamint elemtartalmára. Bemutatjuk a fiatal hajtás, szalma és a szem összetételét és elemforgalmát szennyezett és szennyezetlen talajon. A kontroll talajon kapott adatok iránymutatóul szolgálhatnak a búza elemigényének becslésekor a szaktanácsadásban. A szennyezett talajon mért elemfelvétel a talaj biológiai tisztításának, a fitoremediáció módszerének alkalmazhatóságára keresi a választ.

Mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon a kísérlet 7. évében vizsgáltuk az őszi búza reakcióját a 13 alkalmazott mikroelem-terheléssel szemben. Fitotoxikusnak a 270 kg/ha As-terhelés és a 810 kg/ha Cd, Cr(VI) és Se kezelés bizonyult. A Cr, Cu, Hg, Ba, Ni, Pb, Sr, Zn koncentrációja szennyezett talajon sem emelkedett a szemtermésben olyan mértékben, mely az állati vagy emberi fogyasztásra alkalmatlan minőséget eredményezett volna. A Cd 1, a Mo 2, a Se 3–4 nagyságrendbeli akkumulációt mutatott és a növényi termék extrém módon szennyeződött. Megállapítottuk, hogy hasonló körülmények között még a hiperakkumulációt mutató Mo és Se esetében is 3–4 évszázadra volna szükség a 810 kg/ha terhelés/talajszennyezés felszámolásához (Kádár és Daood 2001).

A fajlagos elemtartalom szennyezetlen talajon, ebben a mezőföldi mészlepedékes csernozjomon 1997-ben, amikor 7 t/ha körüli szemterméseket kaptunk 35 kg N, 7–8 kg K₂O, 9–10 kg P₂O₅, 3 kg Mg és 2 kg Ca mennyiséget tett ki. Az e termőhelyen beállított (OMTK) NPK műtrágyázási kísérlet 37 éve alatt a búza termésmaximumai az 50–100 kg/ha/év N-trágyázáshoz, valamint a 150–200 mg/kg ammonlaktát oldható P₂O₅ és K₂O tartalomhoz kötődtek a szántott rétegben (Kádár és Márton 2005). Az Őrbottyáni, Duna-Tisza közti karbonátos homoktalajon folyt műtrágyázási kísérlet 21. évében 1991-ben a búza 4 t/ha feletti szem és 6–7 t/ha melléktermés maximumait szintén a 150–200 mg/kg AL-P₂O₅, valamint a 100–150 mg/kg AL-K₂O ellátottsági szinteken találtuk. A fajlagos elemtartalom átlagosan 19 kg N, 8 kg K (10 kg K₂O), 3–4 kg Ca és Mg, illetve 3–4 kg P (7–9 kg P₂O₅) mennyiséget mutatott ugyanitt (Kádár 2008).

Anyag és módszer

Kísérletünket 1995 tavaszán állítottuk be az MTA TAKI Órbottyán kísérleti telepén, mely a Duna-Tisza közti homokhátság északi részén, gödöllői dombvidék pereméhez közel helyezkedik el. A talajvíz tükre 5–10 m mélyen található, a talajképződési folyamatokat, illetve a trágyahatásokat nem befolyásolja. Jellemzően a homoktalajokra, a termőhely rossz vízgazdálkodású, aszály-érzékeny, heterogén és az NPK főbb tápelemekkel gyengén ellátott. A szántott réteg 0,7–1,0% humuszt és 2–3% CaCO_3 -ot tartalmaz. A humuszos réteg a ráhordásokkal 1 m mélységig terjedhet. A CaCO_3 mennyisége a 2 m körüli mélységben elérheti a 10%-ot. A $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 7,2–7,3, a $\text{pH}(\text{KCl})$ 7,0 körüli átlagosan a feltalajban, a K_A 25–26.

Az alkalmazott mikroelemek sóit egy ízben, a kísérlet indulásakor 1995. tavaszán juttattuk ki $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CuSO_4 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SeO_3 , ZnSO_4 formájában. Az adagok 0, 30, 90, 270 kg/ha elemterhelést jelentettek. A 6 elem \times 4 terhelési szint = 24 kezelést 3 ismétlésben állítottuk be 72 parcellán. A parcellák mérete $7 \times 5 = 35 \text{ m}^2$, összes területük 2520 m^2 . A parcellákat oldalirányban 1–1 m, hosszirányban (művelés iránya) 2–2 m út választja el egymástól a jobb megközelíthetőség és a talajáthordás megakadályozása céljából. Az utak és szegélyek területe 1736 m^2 , a kísérlet teljes területe 4256 m^2 .

Alaptrágyaként évente 100 kg N, 100 kg P_2O_5 és 100 kg K_2O hatóanyagot alkalmazunk egységesen az egész kísérletben NH_4NO_3 , szuperfoszfát, illetve kálisó formájában. A N műtrágyát megosztva felét ősszel a PK műtrágyával együtt szántás előtt szórjuk ki, míg a N másik felét tavasszal vetés előtt (tavaszi növények) vagy fejtrágyaként (őszi vetésű növények) juttatjuk ki. Talajművelés az üzemekben szokásos módon történik. Talajfertőtlenítést és vegyszeres gyomirtást általában nem végzünk. A növényállomány fejlődését, illetve a kezeléshatásokat nyomon követve többszöri bonitálásra is sor kerülhet a tenyészidő során.

A talajok alapvizsgálatait a MÉM NAK (1978), illetve *Baranyai et al.* (1987) által ismertetett módon végezzük. A $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ feltárással becsült „összes” elemtartalmat az *MSZ 21470-50 (2006)* sz. szabvány szerint határozzuk meg. Az NH_4 -acetát+EDTA oldható elemtartalmakat *Lakanen és Erviö* (1971) módszerével, a N-t $\text{cc.H}_2\text{SO}_4 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ feltárással az *ISO 11261 (1995)* szerint módosított *Kjeldahl* (1891) eljárással vizsgáljuk. A növénymintákat szintén $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ elegyével roncsoljuk, illetve a N-tartalmat *Kjeldahl*

módszere nyomán határozzuk meg. Rutinszerűen 20–25 elemet vizsgálunk a talajban és a növényi anyagban ICP technikát alkalmazva. A laborvizsgálatokat megelőzően a talaj-és növényminták 40–50 °C-on való szárítását és homogénezálását a kísérleti telepen végzik.

Az Mv-21 fajtájú búza vetésére október 16-án került sor 4–5 cm mélyre vetve 240 kg/ha vetőmaggal, gabonasor távolságra. Állománybonítást végeztünk bokrosodásban, kalászoláskor és aratás előtt. Nettó parcellánként 8–8 fm = 1–1 m² területről növénymintákat vettünk bokrosodás és betakarítás idején a termésmegállapítás, valamint a növényelemzés céljából. A kombájnozás július 23-án történt. Parcellánként 4 × 100 mag felhasználásával ezermagtömeg és csíráztatás vizsgálatokat is végeztünk. A kísérletben folyt műveletek és megfigyelések idejéről és módjáról az 1. táblázat nyújt áttekintést.

Ami a csapadékelátottságot illeti, az alábbiakra utalunk. 1996 októberében 19 mm, novemberben 24 mm, decemberben 48 mm, januárban 51 mm, februárban 0 mm, márciusban 4 mm, áprilisban 18 mm, májusban 60 mm, júniusban 34 mm, júliusban aratásig még 20 mm eső hullott. Az őszi búza mintegy 9 hónapos tenyészideje alatt tehát összesen 278 mm csapadékot kapott a területen. Igen száraz volt a február, március és április. A csapadék eloszlása sem volt a legkedvezőbb. Így pl. június első 19 napja alatt, amikor már 25–30 °C hőmérsékleti maximumok fordultak elő, egy alkalommal esett 5 mm. A júliusi csapadékot pedig valójában nem tudta hasznosítani a búza, mert a 20 mm aratás előtti napok hozadéka volt. Ebből adódóan mérsékelt 3 t/ha körüli szemterméseket nyertünk szennyezetlen talajon, míg a szalma + pelyva melléktermés hozama szintén 3 t/ha körül ingadozott.

Eredmények értékelése

A búza fejlődésére és gyomosodására érdemi igazolható hatásokat a növekvő Se-terhelés gyakorolt. A nagyobb Se-terhelésű parcellákon a búza vontatottan fejlődött, sárgult, kiritkult és gyakorlatilag csaknem kipusztult. Bokrosodás idején, május 23-án dr. Radics László felvételezése szerint a búza borítottsága 50%-ról 5%-ra zuhant. Az uralkodó gyomfaj a pipacs a kontroll talajon 2,3%, a fekete üröm 0,3%, míg az ugari szulák és a parlagfű 0,1% borítást mutatott átlagosan. Az extrém Se-terhelés nyomán a gyomfajok borítottsága is 1/10-ére csökkent. Az átlagos gyomfajszám 5,0-ról az 1,3–1,7-re mérséklődött (2. táblázat).

1. táblázat. *A búza mikroelem kísérletben végzett műveletek és megfigyelések 1997-ben (Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)*

Műveletek és megfigyelések (1)	Időpont (2)	Módszertani megjegyzések (3)
1. Őszi NPK alapműtrágyázás (4)	1996.09.26.	Parcellánként kézzel (19)
2. Egyirányú szántás, közép mély (5)	1996.09.27.	MTZ-50+2 fejű eke (20)
3. Vetőágy készítés, kombinátorozás (6)	1996.10.15.	MTZ-50+kombinátor (21)
4. Vetés, gyűrűshengerezés (7)	1996.10.16.	MTZ-50+vetőgép, henger (22)
5. Tavaszi N műtrágyázás (8)	1997.03.26.	Parcellánként kézzel (19)
6. Bonitálás bokrosodáskor (9)	1997.04.13.	Parcellánként 1–5 skálán (23)
7. Növényminta-vétel (hajtás) (10)	1997.05.13.	Parcellánként 8–8 fm=1 m ² (24)
8. Bonitálás kaszáláskor (11)	1997.05.21.	Parcellánként 1–5 skálán (23)
9. Növényborítás, gyomfelvételezés (12)	1997.05.23.	Parcellánkénti borítási % (25)
10. Bonitálás aratáskor (13)	1997.07.22.	Parcellánként 1–5 skálán (23)
11. Növényminta-vétel (mintakéve) (14)	1997.07.22.	Parcellánként 8–8 fm=1 m ² (24)
12. Kombájnozás (5×2,1=105 m ²) (15)	1997.07.23.	Parcellánkénti nettó terület (25)
13. Ezermagtömeg, csíráztatás-vizsgálat (16)	1997.11.21.	Parcellánkénti átlagminta (26)
14. Mintakévek cséplése, mérése (17)	1997.12.10.	Parcellánkénti átlagminta (26)
15. Minták őrlése (18)	1998.08.27.	Parcellánként 4 × 100 mag (27)

Megjegyzés: Mv-21 fajta, 4–5 cm mélyre vetve, 240 kg/ha vetőmaggal.

Table 1. Operations and observations in the wheat microelement experiment in 1997 (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Operations and observations, (2) Date (year.month.day), (3) Methodological notes, (4) Autumn NPK basic fertilisation, (5) One-way ploughing, moderately deep, (6) Seed-bed preparation, using comb harrow, (7) Sowing, using roller, (8) Spring N fertilisation, (9) Classification during the stool phase, (10) Crop sampling (shoot), (11) Classification during reaping, (12) Crop coverage, weed survey, (13) Classification during harvest, (14) Crop sampling (sample gavel), (15) Using a harvester, (5×2,1=105 m²), (16) Thousand grain weight, germination analysis, (17) Threshing and measurement of the sample gavels, (18) Grinding of the samples, (19) Manually per plot, (20) MTZ-50 tractor + double-headed plough, (21) MTZ-50 tractor + comb harrow, (22) MTZ-50 tractor + sowing machine and roller, (23) On a 1–5 scale per plot, (24) Coverage % per plot, (25) Net area per plot, (26) Average sample per plot, (27) 4 × 100 grains per plot. Note: Mv-21 variety, 240 kg ha⁻¹ sowing seed sown 4–5 cm deep.

A maximális Se-terhelés nyomán a pusztuló bokrosodáskori búza hajtásának légszáraz tömege 1/10-ére mérséklődött május 13-án. A földfeletti légszáraz biomassa aratáskor a kontrollon mért 14%-ára esett vissza. A szemtermés csökkenése erőteljesebben jelentkezett, a szemtömeg 7,4%-a volt a szennyezetlen talajon mértnek. Ebből adódóan többszörösére tágult a pelyva/szem,

szalma/szem, illetve a melléktermés/szem aránya. A 270 kg/ha Zn-terhelés bizonyíthatóan szintén toxikusnak bizonyult mintegy 40%-os biomassza veszteséget okozva aratás idején.

2. táblázat. *A toxikus Se-terhelés hatása a búza fejlődésére és gyomosodására 1997-ben (Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)*

Vizsgált időpont és tulajdonság	Se-terhelés 1995 tavaszán, kg/ha				SzD _{5%}	Átlag
(1)	(2)				(3)	(4)
	0	30	90	270		
Bonitálás (1= pusztuló állomány, 5= jól fejlett állomány)						
	(5)					
04. 13-án (6)	3,3	3,3	1,7	1,0	1,4	2,3
05. 21-én (7)	3,7	3,7	2,0	1,0	1,6	2,6
07. 22-én (8)	4,0	4,0	2,3	1,0	1,4	2,8
Növényborítás és átlagos gyomfajszám 05. 23-án						
	(9)					
Papaver rhoeas, % (10)	2,3	2,4	1,4	0,1	1,4	1,6
Gyom összesen, % (11)	3,8	3,3	1,5	0,3	1,4	2,2
Őszi búza, % (12)	50,0	51,7	34,6	5,0	13,8	35,3
Mindösszesen, % (13)	53,8	54,9	36,1	5,3	13,8	37,5
Gyomfajszám, db (14)	5,0	3,3	1,3	1,7	2,0	2,8

Megjegyzés: a pipacs (PAR RH) előfordulásán kívül még átlagosan érdemi 0,3% borítást a fekete üröm (ART VU) és 0,1% körüli borítást az ugari szulák (BIL CO) és a parlagfű (AMB EL) mutatott.

Table 2. The effect of the toxic Se load on the development and weeding of wheat in 1997 (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Examined date and trait, (2) Se load in the Spring of 1995, kg ha⁻¹, (3) LSD_{5%}, (4) Mean, (5) Classification (1= decaying population, 5= well developed population, (6) on 13th April, (7) on 21st May, (8) on 22nd July, (9) Crop coverage and average number of weed species on 23rd May, (10) Corn poppy, (11) Weeds altogether, %, (12) Winter wheat, %, (13) Altogether, %, (14) Number of weed species, no. Note: Besides corn poppy (PAR RH), common wormwood (ART VU) (0.3%), *Bilderdykia convolvulus* (BIL CO) (0.1%) and ragweed (AMB EL) (0.1%) were observed.

A vegetatív és generatív szervekre gyakorolt hatás azonban érdemi eltérést nem jelzett. Megemlítjük, hogy a kapott szemtermés ezermag tömege átlagosan 40 g, a csírázóképesége 86% volt a kezeléstől függetlenül (3. táblázat).

3. táblázat. *Terméscsökkenést okozó Se és Zn kezelések hatása a búzára 1997-ben*
(Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)

Vizsgált jellemzők (1)	Se-terhelés 1995 tavaszán, kg/ha (2)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
*Hajtás, g/m ² (5)	161	157	50	17	54	96
Szem, t/ha (6)	2,71	2,60	1,39	0,20	1,42	1,68
Szalma, t/ha (7)	1,60	1,65	1,19	0,27	0,88	1,18
Pelyva, t/ha (8)	0,72	0,59	0,55	0,23	0,34	0,52
Összesen, t/ha (9)	5,03	4,84	3,13	0,70	2,56	3,42
Pelyva/szem (10)	0,27	0,23	0,40	1,15	0,35	0,51
Szalma/szem (11)	0,60	0,63	0,86	1,35	0,38	0,86
Melléktermés/szem (12)	0,86	0,86	1,26	2,50	0,44	1,37
Vizsgált jellemzők (1)	Zn-terhelés 1995 tavaszán, kg/ha (13)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
*Hajtás, g/m ² (5)	156	155	131	93	54	134
Szem, t/ha (6)	3,07	3,15	3,32	1,93	1,42	2,87
Szalma, t/ha (7)	2,28	2,05	1,24	1,23	0,88	1,70
Pelyva, t/ha (8)	0,95	0,86	0,57	0,55	0,34	0,73
Összesen, t/ha (9)	6,30	6,06	5,13	3,71	2,56	5,30
Pelyva/szem (10)	0,31	0,27	0,17	0,28	0,35	0,26
Szalma/szem (11)	0,74	0,65	0,37	0,64	0,38	0,60
Melléktermés/szem (12)	1,05	0,92	0,54	0,92	0,44	0,86

*Légszáraz hajtás bokrosodásban május 13-án. Az 1000-magtömeg átlagosan 40g, a csírázóképeség 86% volt a kezelésektől függetlenül.

Table 3. The effect of Se and Zn loads causing yield decrease in wheat in 1997 (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Examined traits, (2) Se load in the Spring of 1995, kg ha⁻¹, (3) LSD_{5%}, (4) Mean, (5) Shoot, g m⁻², (6) Grain, t ha⁻¹, (7) Straw, t ha⁻¹, (8) Chaff, t ha⁻¹, (9) Total, t ha⁻¹, (10) Chaff per grain, (11) Straw per grain, (12) Secondary yield per grain, (13) Zn load in the Spring of 1995, kg ha⁻¹. *Air-dry shoot in the stool phase on 13rd May. The thousand grain weight is 40g on average, whereas the germination ability was 86% independently of the treatments.

A búza bokrosodási hajtásában a Cr(III) kezelés hatása a Cr-koncentráció növekedésére nem volt egyértelműen bizonyítható, míg a Cr(VI) kezelésben

0,1 mg/kg-ról 0,6 mg/kg értékre emelkedett. Nem változott az Pb-tartalom sem az Pb-terhelés nyomán. A Cu 1,8-szorosára, Zn 2-szeresére, míg a Se 1196-szorosára nőtt a maximális terheléssel. Az aratáskori melléktermés már egy nagyságrenddel több Cr-ot, 2-szer több Cu-et, 3-szor több Zn-et és 2540-szer több Se-t halmozott fel szöveteiben a szennyezetlen kontrollhoz viszonyítva. A szemtermés genetikailag védettebbnek bizonyult. A Cr(III), Cr(VI), Pb és Cu kezeléseiben nem változott érdemben a szennyező mikroelemek mennyisége a magban. A Zn mintegy 80%-kal emelkedett, míg a Se 2640-szeresére ugrott. Úgy tűnik, a Se mozgása nem gátolt a talaj-növény rendszerben és a növényen belül is tömegárammal felhalmozódhat minden szervben (4. táblázat).

A 9/2003. (III.13.) ESZCSM rendelete az élelmiszerek vegyi szennyezettségének mértékére az alábbi határértékeket közli élelmiszercsoportokra, illetve élelmiszerfajtákra mg/kg szárazanyagra vetítve: liszt, egyéb gabonaőrleményekben Hg 0,02; As 0,1; Cd 0,1; Pb 0,15; Cu 5, Zn 30. Száraz hüvelyesekben Hg 0,02; Cd 0,1; Pb 0,2; As 0,5. A Cu és Zn elemre nincs határérték. Szárított zöldségben Hg 0,05; Cd 0,5; Pb 1,0; As 2,0. A Cu és Zn elemre nincs határérték. A napraforgó magra adott szennyezettségi határkoncentrációk egyéb olajos magvakra is iránymutatóul szolgálhatnak. A rendelet Cr és Se elemekre nem ad útmutatást.

A 47/2001. (VI.25.) FVM rendelete takarmány alapanyagokban 0,1 mg/kg Hg, 1 mg/kg Cd, 2 mg/kg As és 10 mg/kg Pb koncentrációt engedélyez 12%-os légszáraz anyagban. Fűben, szárított lucerna és here lisztben azonban 4 mg/kg As, illetve a zöldtakarmányban 40 mg/kg Pb az engedélyezett maximum. Egyéb szennyező elemekre a rendelet nem ad útmutatást. Chaney (1982) szerint a növényi hajtásban már toxikus lehet 20 mg/kg felett a Cr, 25–40 mg/kg felett a Cu, 100 mg/kg felett a Se, és 500 mg/kg felett a Zn. A tömegtakarmányokban és az abrakban az egészségügyi maximum: 2 mg/kg Se; 25 mg/kg Cu a juhokra, 100 mg/kg a marhára, 250 mg/kg a sertésre; Zn 300 mg/kg juhokra, 500 mg/kg a marhára, 1000 mg/kg a sertésre. A Cr elemre nem találtunk útmutatást az egészségügyi maximumra, bár Chaney (1982) feltételezi, hogy az állatok abrakjához akár 3000 mg/kg, azaz 0,3% Cr is adható Cr(III) oxid formában. A fentiek alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a kezelt talajon termett búza magja élelmezési célokra alkalmatlanná vált az extrém Se és Zn akkumuláció eredményeképpen a szennyezett talajon.

4. táblázat. *Kezelések hatása a légszáraz búza összetételére 1997-ben, mg/kg*
(Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)

Elem jele (1)	Terhelés 1995 tavaszán, kg/ha (2)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
Hajtás 05.13-án (5)						
Cr(III)	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
Cr(VI)	0,1	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4
Pb	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4
Cu	4,9	5,3	6,8	8,6	2,1	6,4
Zn	20,3	30,1	31,3	39,9	10,2	30,4
Se	0,3	86,0	231,3	358,7	24,7	169,1
Szalma + pelyva 07.22-én (6)						
Cr(III)	0,2	0,9	1,3	1,9	0,4	1,1
Cr(VI)	0,2	1,0	2,2	4,2	0,4	1,9
Pb	0,2	0,2	0,5	0,8	0,4	0,4
Cu	3,2	3,2	4,4	6,1	2,2	4,2
Zn	11,1	15,3	18,6	37,3	8,0	20,6
Se	0,1	34,6	151,0	254,0	32,2	109,9
Szem 07. 22-én (7)						
Cr(III)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1
Cr(VI)	<0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2
Pb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1
Cu	3,0	4,3	5,4	4,3	2,0	4,2
Zn	26,5	35,6	35,9	47,1	8,2	36,3
Se	0,1	72,1	196,0	264,0	34,4	133,2

Table 4. The effect of treatments on the composition of the air-dry wheat in 1997, mg kg⁻¹ (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Element, (2) Load in the Spring of 1995, kg ha⁻¹, (3) LSD_{5%}, (4) Mean, (5) Shoot on 13th May, (6) Straw + chaff on 22nd of July, (7) Grain on 22nd of July.

Az 5. táblázatban bemutatott számításaink szerint maximális Se-felvétel mind a szem, mind a melléktermés esetében a 90 kg/ha kezelésben jelentkezett. Az összes földfeletti biomasszába 442 g/ha Se épült be. Változatlan viszonyokat feltételezve (hasonló terméssel, összetétellel és talajbani Se-készlettel) ez azt is jelenti, hogy a 90 kg/ha Se fitoremediációjához kerekén 204 évre volna szükség. A Zn-felvétel maximuma 193 g/ha mennyiségnek adódott és szintén a 90 kg/ha terhelésnél találtuk. A 90 kg/ha Zn-felvétel időigénye hasonló viszonyok mellett 466 évnek adódna. A 6 t/ha körüli biomasszába épült Cu maximálisan 40 g/ha, Cr 14 g/ha, Pb 3 g/ha mennyiséget tett ki. A fitoremediáció időigénye tehát az adott 270 kg/ha kezelésben közel 7 ezer Cu-év, 19 ezer Cr-év és 90 ezer Pb-év lehetne elvileg.

A búza átlagos aratáskori elemtartalmáról és elemfelvételéről szennyezetlen talajon a 6. táblázat adatai tájékoztatnak. Amint a bemutatott eredményekből látható, a bokrosodáskori hajtás volt a leggazdagabb N, K, P, Ca, S, Mn, Na, Cu elemekben. Aratás idején a szemben dúsult a N, P, S, Zn és a Mo. A Mg, Cu, Ni közelálló koncentrációkat mutatott a melléktermésben és a szemben. Egyéb vizsgált elemek zömét, mint a Fe, Al, K, Ca, Mn, Na, Ba, B a vegetatív szalma halmozta fel. Az As, Cd, Co, Cr, Hg, Pb és Se általában 1 mg/kg méréshatár körül vagy alatt maradt.

Az elemfelvétel 3 t/ha szem + 3 t/ha melléktermés átlagával számolva kerekén 91 kg N, 23 kg K, 14 kg P, 10 kg Ca és S, 9 kg Mg mennyiséget tett ki. A fajlagos, azaz 1 t szem + a hozzátartozó melléktermés elemtartalma az alábbiak adódott: 30 kg N, 7–8 kg K (8–10 kg K_2O), 4–5 kg P (9–11 kg P_2O_5), 3 kg körüli Ca, Mg és S. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a búza tápelem-szükségletének számításakor a szaktanácsadásban. A fajlagos mikroelem-tartalom 278 g Fe, 124 g Al, 66 g Mn, 37 g Zn, 30 gr Sr, 23 g Na, 12 g Ba és 3 g Cu mennyiségnek felelt meg (6. táblázat). A mikroelemek fajlagos tartalma tájékoztató jellegű, mert a mérleg-elv nem alkalmazható a szaktanácsadásban. A talaj mikroelem kínálatának alapvetően nem a talajbani „oldható” mennyiség, hanem a felvehetőségi tényezők, mint a pH, mészállapot, antagonizmusok, stb. szabályozzák.

5. táblázat. *A Se és a Zn kezelések hatása a búza becsült elemfelvételére 1997-ben
(Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze)*

Vizsgált terméselemek (1)	Se-terhelés 1995 tavaszán, kg/ha (2)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
Szem, t/ha (5)	2,7	2,6	1,4	0,2	1,4	1,7
Se, mg/kg (6)	0,1	72,0	196,0	264,0	35,0	133,0
Se, g/ha (7)	0,3	19,0	274,0	53,0	42,0	87,0
Szalma+pelyva, t/ha (8)	2,3	2,2	1,7	0,5	1,3	1,7
Se, mg/kg (9)	0,1	35,0	151,0	254,0	32,0	110,0
Se, g/ha (10)	0,2	8,0	168,0	127,0	39,0	76,0
Se, g/ha összesen (11)	0,5	27,0	442,0	180,0	49,0	163,0
Vizsgált terméselemek (1)	Zn-terhelés 1995 tavaszán, kg/ha (12)				SzD _{5%} (3)	Átlag (4)
	0	30	90	270		
Szem, t/ha (5)	3,1	3,2	3,3	1,9	1,4	2,9
Zn, mg/kg (13)	26,0	36,0	36,0	47,0	8,0	36,0
Zn, g/ha (14)	81,0	115,0	119,0	89,0	14,0	101,0
Szalma+pelyva, t/ha (8)	4,0	4,0	3,9	1,8	1,3	3,4
Zn, mg/kg (13)	11,0	15,0	19,0	37,0	8,0	21,0
Zn, g/ha (14)	44,0	60,0	74,0	67,0	17,0	61,0
Zn, g/ha összesen (15)	125,0	175,0	193,0	156,0	33,0	162,0

Megjegyzés: A 3 t/ha szem + 3 t/ha átlagos melléktermés tömegével becsült maximális elemfelvételek Cu 40 g/ha, Cr 14 g/ha, Pb 3 g/ha.

Table 5. The effect of Se and Zn treatments on the estimated element uptake of wheat in 1997 (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Examined yield components, (2) Se load in the Spring of 1995, kg ha⁻¹, (3) LSD_{5%}, (4) Mean, (5) Grain, t ha⁻¹, (6) Se, mg kg⁻¹, (7) Se g ha⁻¹, (8) Straw + chaff, t ha⁻¹, (9) Se, mg kg⁻¹, (10) Se, g ha⁻¹, (11) Se, g ha⁻¹ total, (12) Zn load in the Spring of 1995, kg ha⁻¹, (13) Zn, mg kg⁻¹, (14) Zn, g ha⁻¹, (15) Zn, g ha⁻¹ total. Note: The maximum element uptakes estimated with the average 3 t ha⁻¹ grain yield and 3 t ha⁻¹ secondary yield are Cu 40 g ha⁻¹, Cr 14 g ha⁻¹, Pb 3 g ha⁻¹.

6. táblázat. Az őszi búza földfeletti szerveinek átlagos elemtartalma és aratáskori elemfelvétele 1997-ben szennyezetlen talajon
(Duna-Tisza közti karbonátos homoktalaj, Órbottyán)

Elem jele (1)	Mérték- egység (2)	Elemtartalom (3)			Mérték- egység (2)	Elemfelvétel (4)		
		Hajtás (5)	Szalma (6)	Szem (7)		Szalma (6)	Szem (7)	Összesen (8)
N	%	4,40	0,75	2,27	kg/ha	23	68	91
K	%	2,65	0,46	0,30	kg/ha	14	9	23
P	%	0,36	0,09	0,36	kg/ha	3	11	14
Ca	%	0,35	0,30	0,03	kg/ha	9	1	10
S	%	0,23	0,12	0,22	kg/ha	3	7	10
Mg	%	0,15	0,15	0,14	kg/ha	5	4	9
Fe	mg/kg	154	248	30	g/ha	744	90	834
Al	mg/kg	75	116	8	g/ha	348	24	372
Mn	mg/kg	42	38	28	g/ha	114	84	198
Na	mg/kg	37	13	10	g/ha	39	30	69
Sr	mg/kg	21	26	4	g/ha	78	12	90
Zn	mg/kg	20	11	26	g/ha	33	78	111
Ba	mg/kg	5	12	<1	g/ha	36	<1	36
Cu	mg/kg	5	3	3	g/ha	9	9	9
B	mg/kg	2,4	2,5	0,3	g/ha	7	7	<1
Ni	mg/kg	0,3	0,3	0,3	g/ha	<1	<1	<1
Mo	mg/kg	0,3	<0,1	0,3	g/ha	<1	<1	<1

Megjegyzés: As, Cd, Co, Cr, Hg, Pb, Se általában 0,1 mg/kg méréshatár körül vagy alatt. Az elemfelvétel 3 t/ha szem + 3 t/ha mellékterméssel számolva.

Table 6. The average element content of and element uptake during harvest of the above-ground organs of winter wheat in 1997 on unpolluted soil (Calcareous sandy soil, Órbottyán, Danube-Tisza mid-region). (1) Element, (2) Measurement unit, (3) Element content, (4) Element uptake, (5) Shoot, (6) Straw, (7) Grain, (8) Total. Note: The As, Cd, Co, Cr, Hg, Pb, Se content were usually around or below the 0.1 mg kg⁻¹ limit of measurement. The element uptake was calculated with 3 t ha⁻¹ grain yield and 3 t ha⁻¹ secondary yield.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a 49042 és 68665 sz. OTKA, valamint a CRO-13/2006 sz. pályázat eredményeként az NKTH és a KPI támogatásával jött létre, mely támogatás forrása a Kutatási és Technológiai Innovációs Alap.

IRODALOM

- 9/2003 (III. 13.) ESZCSM: Az egészségügyi, szociális és családügyi miniszter 9/2003. (III. 13.) ESZCSM rendelete az élelmiszerek vegyi szennyezettségének megengedhető mértékéről szóló 17/1999. (VI. 16.) EüM rendelet módosításáról. Magyar Közlöny. 2003/25. sz. 1960–1966.
- 47/2001. (VI. 25.) FVM rendelet: a nemkívánatos anyagok és termékek megengedett mennyiségéről takarmányokban. Magyar Közlöny. 2001/71. sz. 5049–5107.
- Baranyai F.–Fekete A.–Kovács I.: 1987. A magyarországi talaj tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Chaney, R. L.: 1982. Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. [In: Proc. Int. Symp. Land Application of sewage sludge.] Tokyo, Japan. 259–324.
- ISO 11261.: 1995. Soil Quality. Determination of total nitrogen. Modified Kjeldahl method.
- Kádár I.: 2008. A műtrágyázás hatása az őszi búzára karbonátos homoktalajon. Növénytermelés. 57. 1: 49–58.
- Kádár I.: 2009. Mikroelem-terhelés hatása a borsóra (*Pisum sativum* L.) karbonátos homoktalajon. Agrokémia és Talajtan. 58. 2: 265–280.
- Kádár I.: 2010. Mikroelem-terhelés hatása a sárgarépa (*Daucus carota* L.) karbonátos homoktalajon. Növénytermelés. 59. 1: 27–46.
- Kádár I.–Daood, H.: 2001. Mikroelem-terhelés hatása a búzára karbonátos csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 50: 353–370.
- Kádár I.–Márton L.: 2005. Búza műtrágyázása a mezőföldi OMTK kísérletben. Növénytermelés. 54. 1: 111–122.
- Kjeldahl, J.: 1891. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Zeitschr. F. Analyt. Chemie. 22: 366–382.
- Lakanen, E.–Erviö, R.: 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available microelements in soils. Acta Agr. Fenn. 123: 223–232.
- MÉM NAK: 1978. A TVG tápanyagvizsgáló laboratórium módszerfüzete. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest. 48.
- MSZ 21470-50: 2006. Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és oldható toxikus elem, nehézfém és Cr(VI) tartalmának meghatározása. Magyar Szabványügyi Testület. Budapest. 33.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Kádár Imre
MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet
Budapest
Herman O. u. 15.
H-1022