

A TÖNKÖLYBÚZA (*TRITICUM SPELTA* L.) ELEMFELVÉTELE SZENNYVÍZÜLEDÉKBŐL

Uri Zsuzsanna – Simon László – Vigh Szabolcs – Vincze György –
Irinyné Oláh Katalin

Absztrakt: Fényszobás tenyészedényes kísérletet állítottunk be a Nyíregyházi Egyetemen a Debrecen Lovász-zugból származó, toxikus elemekkel (elsősorban krómmal) szennyezett talajjal (mely egy szennyvíz utóülepítő tó rekultivációja során felhasznált talajtakaró volt), illetve kadmiumot, krómot, rezet, nikkelt, ólmot és cinket a határértékek felett tartalmazó Debrecen lovász-zugi szennyvízüledékkel. Kísérletünk célja az volt, hogy a környezeti stressz-faktorok iránt toleránsnak feltételezett lágy szárú növényfaj, a tönkölybúza (*Triticum spelta* L.) tenyészedényekben történő termesztésével, modell-kísérlettel megismerjük és összehasonlítsuk e növényfaj két vonalának (cv. GK Fehér "A"; cv. GK Fehér "B") táp- és toxikuselem-felvételi interakcióit a talajjal, illetve a szennyvízüledékkel (10% m/m) kevert talajjal. 52 napos növénynevelést követően megállapítottuk, hogy a szennyvízüledék a kontrollhoz viszonyítva jelentősen megemelte mind a gyökerekben, mind a hajtásokban a foszfor-, kálium-, kalcium-, magnézium-, és nátriumkoncentrációkat mindkét tönkölybúza vonal esetén. A vizsgált makroelemek – a kalcium és a nátrium kivételével – a tönkölybúza hajtásában nagyobb mennyiségben voltak kimutathatóak, mint a gyökérében. A szennyvízüledék mindkét tönkölybúza vonal gyökereiben és hajtásaiban egyaránt megemelte az esszenciális mikroelemek (Cu, Fe, Mn, Zn) koncentrációit a kontrollhoz viszonyítva. A tönkölybúza toxikuselem-felvételét (As, Ba, Cd, Cr, Ni, Pb) elemezve megállapítható, hogy a gyökerekben lényegesen több halmozódott fel a hajtásokhoz képest, és a kijuttatott szennyvízüledék valamennyi toxikus elem koncentrációját jelentősen megnövelte a kontroll kultúrákhoz viszonyítva, mind a gyökerekben, mind a hajtásokban. Nem tudtuk azonban igazolni, hogy a nemesítők által szenzitívebbnek feltételezett GK Fehér tönkölybúza fajta „A” vonala érzékenyebben reagál a toxikuselem-szennyezés okozta stresszre, illetve több toxikus elemet vesz fel, mint a toleránsabbnak tekintett „B” vonal.

Abstract: Uptake of various mineral nutrients and accumulation of toxic elements was studied in spelt (*Triticum spelta* L. lines „A” and „B”) from a soil moderately contaminated with toxic elements (prevalently with chromium; 111-128 mg/kg), and from a sewage sediment contaminated with cadmium (1.27 mg/kg), chromium (1027 mg/kg), copper (189 mg/kg), nickel (49.5 mg/kg), lead (287 mg/kg), and zinc (888 mg/kg). Contaminated cover soil and sewage sediment originated from Debrecen Lovász-zug, Hungary (47°29'000" N, 21°35'738" E), from a former wastewater post-settling pond. Spelt was grown in a pot experiment for 52 days in a growth chamber, in cover soil (as a control) and in cover soil treated with 10% (m/m) sewage sediment. It was found that application of sewage sediment significantly enhanced the uptake of macro- and mezoelements (P, K, Ca, Mg, Na), and essential microelements (Cu, Fe, Mn, Zn) both in roots and shoots of spelt. Toxic elements (As, Ba, Cd, Cr, Ni, Pb) accumulated prevalently in the roots of plants, and the applied sewage sediment significantly increased their concentration in roots and shoots, as compared to the control cultures. Breeders supposed line „A” of spelt to be more sensitive for abiotic stresses (e.g. toxic element contamination) than line „B”. This hypothesis, however, was not confirmed by our observations.

Kulcsszavak: elemfelvétel, szennyvízüledék, tönkölybúza, *Triticum spelta* L.

Keywords: mineral nutrients, toxic elements, spelt, *Triticum spelta* L., sewage sediment

1. Bevezetés

Az ipari forradalom óta eltelt időszakban az intenzív fémhasznosítás eredményeként többszörösére nőtt a természetes vizek és talajok toxikuselem-szennyezettsége, és megváltozott a fémek biogeokémiai ciklusa. A mezőgazdasági hasznosítású és a „városi” talajok toxikuselem-szennyezettsége főként olyan antropogén tevékenységek eredményének tekinthető, mint a bányászat, kohászat, peszticid-használat, fosszilis energiahordozók elégetése, közlekedés, hadászati célú anyagok gyártása és raktározása és a hulladékok deponálása (Adriano, 2001; Alloway, 2013; Kabata-Pendias, 2011; Simon, 2014).

A toxikus elemek talajban való felhalmozódása az összes érintett élőlény számára veszélyes. A toxikus elemek, nehézfémek képesek helyettesíteni az esszenciális fémek ionjait az enzimek vagy a pigmentek molekuláiban, amely eredményeként azok nem képesek megfelelően funkcionálni. A toxikus elemek hosszú távú expozíciója krónikus elváltozásokat okoz, illetve a mérgező fémek bekerülnek a táplálékláncba, veszélyeztetve a növényeken kívül az állatok és az emberek egészségét is. Ha a humán szervezet tartósan toxikuselem-hatásnak (ólom, kadmium, arzén) van kitéve, egészségkárosodás kialakulásának veszélye áll fenn, amely érintheti a bőrt, a májat és a vesét, a gasztrointesztinális rendszert, a központi idegrendszert, és mindezek mellett a mentális retardáció jelei is megfigyelhetők (Kabata-Pendias–Mukherjee, 2007; Babula et al., 2008).

A talajok fölös toxikuselem-tartalma mérgező hatást gyakorol a növényekre. A növények gyökerei abszorbeálják a fémek ionjait a talajból, előbb a gyökerek, majd (függően a toxikus elem kémiai tulajdonságaitól) a föld feletti hajtások szöveteiben, és gátolják azok növekedését az anyagcsere-folyamatok limitációján keresztül. A talajokban megnövekvő toxikuselem-koncentráció csökkenti a talajok termékenységét, a mezőgazdasági hozamokat és a talajok mikrobiális közösségeinek aktivitását (Alloway, 2013; Kabata-Pendias, 2004).

A termesztett gabonafélék által egyik legáltalánosabban akkumulált szennyező nehézfém a kadmium, amely gátolja a gyökerek és a hajtások növekedését, csökkenti a tápelem-felvételt, és megbontja az elem-homeosztázis egyensúlyát. Mivel cereáliákat használlatainkkal együtt naponta fogyasztunk, a szennyezett mezőgazdasági termékeket elfogyasztó organizmusok egészségkárosodást szenvedhetnek (Slepecka et al., 2017; Kabata-Pendias, 2011; Kabata-Pendias–Mukherjee, 2007).

Fenti előzmények ismeretében célunk az volt, hogy tenyészedényes modellkísérletben vizsgáljuk meg a tönkölybúza szerveinek elemfelvételét egy toxikus elemekkel (elsősorban krómmal) enyhén szennyezett talajból, illetve kadmiumot, krómot, rezet, nikkelt, ólmot és cinket a határértékek felett tartalmazó szennyvízüledékből. Feltételeztük, hogy különbségek alakulnak ki a tönkölybúza egymástól különböző vonalainak elemfelvételében, ill. toxikuselem-toleranciájában.

2. Anyag és módszer

A tenyészedényes kísérletünkhöz felhasznált talaj egy – korábbi időszakban – a szennyvíz oxidációjára, utóülepítésére, szikkasztására szolgáló lagúnarendszer rekultivációja során felhasznált talajtakaró Debrecen Lovász-zugból (47°29'000" É, 21°35'738" K), melyben a króm- és kadmiumkoncentrációk (Tózsér, 2018) meghaladják a 6/2009. (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben lefektetett határértékeket. A talaj genetikai típusa nem határozható meg.

2017 októberében egy 2,5x2,5 méteres Debrecen lovász-zugi mintavételi területről mintegy 350-400 kilogrammnyi feltalajt gyűjtöttünk össze ásónyomnyi mélységből, melyet a Nyíregyházi Egyetemen megszáritottunk, és 2 mm-es szitán átbocsátottunk. A megmintázott talajtakaró sötétszürke, antracit színű szennyvízüledéket fedett el, mintegy 70-75 cm-es mélységben. Ezt az anyagot is megmintáztuk, megszáritottuk és 5 mm lyukátmérőjű szitán átbocsátottuk. Mindkét anyagból 25-25 leszúrással 3, illetve 4 ismétléssel kevert mintákat vettünk, majd elemanalízisre átszállítottuk a Debreceni Egyetem Agrárműszerközpontjába.

Tesztnövényként tönkölybúzát (*Triticum spelta* L.) alkalmaztunk, a nemesítők a GK Fehér DH „A” vonalát az abiotikus stresszt okozó tényezőkre szenzitívebbnek, „B” vonalát pedig toleránsabbnak feltételezték.

2018 márciusában 6 db 16 cm átmérőjű és 12,5 cm magas műanyag tenyészedényt töltöttünk meg 1500-1500 gramm légszáraz kontroll talajjal, illetve 6 db ugyanolyan tenyészedényt töltöttünk meg légszáraz kontroll talaj és 10 m/m% légszáraz szennyvízüledék keverékével. A talaj 21%-os szántóföldi vízkapacitása 75%-nak megfelelő mennyiségű desztillált vízzel 33 mg/kg foszfort és 42 mg/kg káliumot juttatunk ki a talajba KH_2PO_4 oldat, illetve 40 mg/kg nitrogént juttatunk ki NH_4NO_3 oldat formájában. Ezt követően 16 héten át hetente egyszer desztillált vízzel telítettük a talajt, hogy a talajélet elinduljon, a szennyvízüledék a talajjal összeérjen, illetve a szennyvízüledék ásványosodjon.

2018 júniusában a tönkölybúza szemeket kicsíráztattuk (desztillált víz – csapvíz 1:1 v/v elegyében szűrőpapíron 12 cm átmérőjű Petri-csészékben), a kihajtott csíranövényekből 6-6 darabot ültettünk el a 12 tenyészedény talajába. A tenyészedényeket ezután vernalizációs célból hidegszobába helyeztük, ahol +5...+9 °C-on napi 8 órán át 3000 lux megvilágítást kaptak a növények, melyet fluoreszcens fénycsövekkel biztosítottuk. A növényeket hetente 2 vagy 3 alkalommal adott tömegig (1850 g) öntöttük desztillált vízzel. Három hetes vernalizáció után a növényeket áthelyeztük a fényszobába, ahol a hőmérséklet nappal +21...+22 °C, éjszaka pedig +17...+18 °C között változott. A növények ekkor átlagosan 15 cm hosszúak voltak. A fényszobában a növényeket napi 12 órán át (reggel 6-tól este 18 óráig) 15000 lux-szal, a kísérlet középső időszakában átlagosan 17000 luxszal, majd a kísérlet utolsó szakaszában átlagosan 22000 luxszal világítottuk meg, melyet reggel 5-6, illetve 18-19 óra között 50%-os fényintenzitással történő megvilágítás egészített ki.

A fent ismertetett vernalizációs folyamat végül nem bizonyult sikeresnek, a növények nem indultak bokrosodásnak, megnyúltak, ezért 2018.07.18-án került sor a hajtások első levágására. A hajtás mintavételt 2018.07.23-án, 2018.07.30-én és

2018.08.03-án megismételtük. A levágott hajtásokat megmértük, desztillált vízben kétszer megmostuk, majd papírtörölközőre helyezve laboratóriumi asztalon, szobahőmérsékleten előszárítottuk és száradás után papírzacskókba helyeztük. 2018.08.08-án, 08.09-én és 08.10-én zajlott le a tönkölybúzával beállított tenyészedényes kísérlet bontása, a hajtások nedves össztömegének mérése, a levelek desztillált vízben történt mosása, majd előszárítása laboratóriumi asztalon, szobahőmérsékleten. A tönkölybúza gyökereit csapvízzel és kétszer váltott desztillált vízzel mostuk meg. A gyökerekről papírtörölközővel leittattuk a vizet, majd elektromos táramérleggel megmértük a nedves tömegét. Laboratóriumi asztalon, szobahőmérsékleten történt előszárítás után a növénymintákat 70 °C-on 24 órán át szárítószekrényben megszártítottuk, majd visszamértük a szárazanyagot. A száraz növénymintákat elektromos készülékkel ledaráltuk (<1 mm), pattintással záródó műanyag tasakokba helyeztük, majd exsikkátorban tároltuk. A tenyészedények bontásakor kevert talajmintákat is vettünk. A talajmintákat műanyag tálcákra terítve szobahőmérsékleten légszáraz állapotig megszártítottuk, majd 25-25 leszúrásból 3-3 párhuzamos mintát alakítottunk ki a kémiai analízishez.

A növény-, talaj- és szennyvízüledék minták elemanalízise a Debreceni Egyetem Agrárműszerközpontjában történt, cc. salétromsav– cc. hidrogén-peroxid 3:1 (v/v) elegyével mikrohullámmal való feltárás után ICP-OES készülékkel 3, ill. 4 ismétléssel.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. A növénynevelő közegek jellemzői és elem-összetétele

A kísérleti kontroll talaj vizes kivonatban mért pH értéke (7,72) a gyengén lúgos tartományba esik. A KCl oldatban mért rejtett savanyúság 7,28-7,34 között változott. A talaj összes sótartalma nem jelentős, átlagosan 0,057 m/m % volt. Az Arany-féle kötöttségi száma alapján a kísérleti talaj fizikai félesége vályog. A talajban a CaCO₃-tartalom 2,13-2,45 m/m % között alakult. A talaj humusztartalma átlagosan 2,27 m/m % volt.

A kontroll talaj makro- és mezoelem-tartalmát megvizsgálva a foszfor esetében 1122 mg/kg, a káliumnál 1859, a kalciumnál 17921, a magnéziumnál 5055, valamint a vasnál pedig 11799 mg/kg-os értékeket mértünk átlagosan. A kísérleti talaj esszenciális mikroelem összetételét tekintve a bór átlagosan 10,1; a molibdén 0,997, illetve a mangán 306 mg/kg mennyiségben volt kimutatható. A hazai talajok 10-40 mg/kg rezet tartalmaznak (Simon, 2014), az esetünkben mért koncentráció (átlagosan 44,4 mg/kg) kissé meghaladta ezt a tartományt. A cink mennyiségét tanulmányozva ismert, hogy a hazai szennyeztelen talajaink 80%-ban <25-75 mg/kg cink található (Simon, 2014). Mérési eredményeink alapján kijelenthető, hogy a kísérletbe vont talaj cinktartalma (172-180 mg/kg) az országos átlagnál nagyobb, és a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet alapján megközelíti a földtani közeg szennyezettségére vonatkozó 200 mg/kg-os szennyezettségi határértéket. A króm mért koncentrációja (111-128 mg/kg) meghaladja, a nikkelé

(31,2-31,8 mg/kg) megközelíti a fenti rendeletben lefektetett 75 mg/kg-os, illetve 40 mg/kg-os határértékeket.

A szennyvízüledék vizes kivonatban mért pH értéke (7,11) a semleges tartományba esik, az összes sótartalma átlagosan 1,80 m/m % volt. A szennyvízüledékben a CaCO₃-tartalom 1,79-1,84 m/m % között változott. A kísérletben alkalmazott szennyvízüledék átlagosan 91,98 m/m % szárazanyag-tartalmú és 26,88 m/m % szervesanyag-tartalmú volt. Az „összes” makro- és mezoelem-tartalmat vizsgálva, az alaptalajhoz viszonyítva, foszforból közel ötszörös értéket (5125 mg/kg) mértünk, mely valószínűleg az elszikkasztott szennyvíz nagy detergens-tartalmára vezethető vissza. Az esszenciális mikroelemek (B–25,0; Mo–1,97, Mn–514 mg/kg) szintén jelentős mennyiségben mutathatók ki a szennyvíz üledékből. A kijuttatott szennyvízüledék a vizsgált toxikus elemeket (As–12,3; Cd–1,27; Cr–1027; Cu–189; Ni–49,5; Pb–287; Zn–888 mg/kg) jelentős mennyiségben tartalmazta, legkiemelkedőbb értékeket a króm és a cink esetében mértünk. A Cd, Cr, Cu, Ni, Pb és Zn esetén a mért értékek meghaladták a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben a földtani közeg szennyezettségére lefektetett határértékeket. A szennyvízüledék toxikuselem-koncentrációit a kísérleti alaptalaj átlagértékeivel összevetve a króm esetében az üledékben egy nagyságrenddel nagyobb, míg a cink esetén ötször nagyobb értékeket mértünk.

3.2. A tönkölybúza szerveinek elem-összetétele a tenyészedényes kísérletben

Az 1-3. táblázatokban a tönkölybúzával beállított tenyészedényes, fényszobás kísérlet növénymintáinak makro-, mezo-, mikroelem- (tápelem), illetve toxikuselem-tartalmát szemléltetjük.

A makroelem-tartalmat illetően megállapíthatjuk, hogy a 10%-ban kijuttatott Debrecen-Lovászzugi szennyvízüledék a kontroll talajhoz viszonyítva jelentősen megemelte mind a gyökerekben, mind a hajtásokban a felvett foszfor-, kálium-, kalcium-, magnézium-, nátriumkoncentrációkat mindkét tönkölybúza vonal (cv. GK Fehér "A"; cv. GK Fehér "B") esetében. A legtöbb felvett foszfort és káliumot a cv. GK Fehér "A" vonal esetén detektáltuk. A nátrium kivételével a vizsgált makroelemek a tönkölybúza hajtásában voltak nagyobb mennyiségben kimutathatóak (1. táblázat).

1. táblázat: A tönkölybúzával beállított tenyészedényes, fényszobás kísérlet növénymintáinak makro- és mezelem-tartalma, HNO₃/H₂O₂ feltárásból ICP-OES technikával mérve. n=3. (Nyíregyházi Egyetem, 2018.08.08.)

Kezelés	Fajta	Makro- és mezelemek				
		P	K	Ca	Mg	Na
µg/g						
Gyökér						
Kontroll	cv. GK Fehér "A"	4009	19330	8579	2358	4153
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "A"	4247	22547	10343	2418	4651
Kontroll	cv. GK Fehér "B"	3704	17804	8786	2025	5060
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "B"	4162	19573	11712	2552	5449
Hajtás						
Kontroll	cv. GK Fehér "A"	5848	54389	4591	2758	957
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "A"	6259	57452	5900	3136	1345
Kontroll	cv. GK Fehér "B"	5150	53151	5074	2549	1460
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "B"	6010	55025	5643	2754	1744

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

Az esszenciális mikroelem-felvétel esetén a gyökérszűrő-rendszernek köszönhetően a tönkölybúza hajtásában a gyökérhez képest kevesebb rezet, vasat, mangánt és cinket mértünk. A két tönkölybúza vonal mikroelem-felvételét összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a GK Fehér "A" több vasat, mangánt és cinket vett fel, mint a GK Fehér "B", míg a rézfelvétel az utóbbi vonal esetén volt nagyobb a hajtásokban (2. táblázat).

A tönkölybúza toxikuselem-felvételét elemezve megállapítható, hogy a gyökerekben lényegesen több elem halmozódott fel a hajtásokhoz képest (3. táblázat).

A növényekben felvett esszenciális mikroelemek, illetve toxikus elemek koncentrációja és egymáshoz viszonyított aránya, ill. a gyökerek és hajtásokban való eloszlása nem tért el más kutatók (Adriano, 2001; Babula et al., 2008; Kabata-Pendias, 2004; Kabata-Pendias, 2011; Slepecka et al., 2017; Simon, 2014; Tózsér, 2018) által korábban megfigyelt, illetve leírt jelenségektől.

2. táblázat: A tönkölybúzával beállított tenyészedényes, fényszobás kísérlet növénymintáinak esszenciális mikroelem-tartalma, HNO₃/H₂O₂ feltárásból ICP-OES technikával mérve. n=3. (Nyíregyházi Egyetem, 2018.08.08.)

Kezelés	Fajta	Esszenciális mikroelemek			
		Cu	Fe	Mn	Zn
μg/g					
Gyökér					
Kontroll	cv. GK Fehér "A"	22,4	776	55,2	320
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "A"	30,3	1137	74,2	468
Kontroll	cv. GK Fehér "B"	21,5	880	53,6	248
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "B"	30,0	1236	75,7	393
Hajtás					
Kontroll	cv. GK Fehér "A"	7,37	124	7,73	64,6
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "A"	9,61	212	8,55	5
Kontroll	cv. GK Fehér "B"	8,46	104	6,37	75,2
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "B"	10,5	131	7,91	3

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

3. táblázat: A tönkölybúzával beállított tenyészedenyes, fényszobás kísérlet növénymintáinak toxikus elem-tartalma, HNO₃/H₂O₂ feltárásból ICP-OES technikával mérve. n=3. (Nyíregyházi Egyetem, 2018.08.08.)

Kezelés	Fajta	Toxikus elemek					
		As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb
μg/g							
Gyökér							
Kontroll	cv. GK Fehér "A"	0,89	20,3	0,76	2,38	9,68	0,81
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "A"	1,27	24,7	1,06	4,63	16,2	1,15
Kontroll	cv. GK Fehér "B"	0,80	22,7	0,89	2,84	6,04	0,77
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "B"	1,16	26,4	1,17	5,54	11,6	1,77
Hajtás							
Kontroll	cv. GK Fehér "A"	0,22	10,7	0,107	0,22	0,74	0,23
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "A"	0,34	13,6	0,152	0,41	1,27	0,45
Kontroll	cv. GK Fehér "B"	0,23	9,07	0,174	0,22	1,66	0,21
10% D-Lov. zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér "B"	0,28	13,5	0,215	0,25	2,24	0,28

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

3.3. A tönkölybúza talajának elemösszetétele a tenyészedenyes kísérletben

A 4-6. táblázatokban mutatjuk be a tönkölybúzával beállított tenyészedenyes, fényszobás kísérlet növénynevelő közegeinek (talaj, talaj+szennyvízüledék keverék) makro-, mezo-, esszenciális mikroelem- és toxikus elem-tartalmát a növénynevelés befejezésekor.

4. táblázat: A tönkölybúzával beállított tenyészedenyes, fényszobás kísérlet talajának makro- és mezoelem-tartalma a növénynevelés befejezésekor, ICP-OES technikával mérve. n=4. (Nyíregyházi Egyetem, 2018.08.08.)

Kezelés	Fajta	Makro- és mezoelemek					
		P	K	Ca	Mg	Fe	Na
mg/kg							
Kontroll	cv. GK Fehér DH "A"	1212	205	1759	500	1319	339
10% Debrecen-lovász-zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér DH "A"	1485	217	2036	524	1378	353
Kontroll	cv. GK Fehér DH "B"	1351	223	1862	526	1349	351
10% Debrecen-lovász-zugi szennyvízüledék	cv. GK Fehér DH "B"	1538	235	2041	537	1429	393

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

5. táblázat: A tönkölybúzával beállított tenyészedényes, fényszobás kísérlet talajának esszenciális mikroelem-tartalma a növénynevelés befejezésekor, ICP-OES technikával mérve. n=4. (Nyíregyházi Egyetem, 2018.08.08.)

Kezelés	Fajta	Esszenciális mikroelemek		
		Cu	Mn	Zn
		mg/kg		
Kontroll	cv. GK Fehér DH "A"	45,34	299	149
Kezelt	cv. GK Fehér DH "A"	62,31	315	271
Kontroll	cv. GK Fehér DH "B"	47,71	311	163
Kezelt	cv. GK Fehér DH "B"	63,25	317	281

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

6. táblázat: A tönkölybúzával beállított tenyészedényes, fényszobás kísérlet talajának toxikus elem-tartalma a növénynevelés befejezésekor, ICP-OES technikával mérve. n=4. (Nyíregyházi Egyetem, 2018.08.08.)

Kezelés	Fajta	Toxikus elemek					
		As	Ba	Cd	Cr	Ni	Pb
		mg/kg					
Kontroll	cv. GH Fehér DH "A"	7,94	115	0,267	140	22,13	25,62
Kezelt	cv. GH Fehér DH "A"	10,91	159	0,310	288	29,47	48,26
Kontroll	cv. GH Fehér DH "B"	7,97	120	0,267	154	24,53	29,71
Kezelt	cv. GH Fehér DH "B"	11,24	162	0,301	318	30,00	49,67

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

Az adatokból nyilvánvaló, hogy az alaptalajba kijuttatott szennyvízüledék kisebb-nagyobb mértékben megemelte a tápelemek, illetve toxikus elemek koncentrációit a növénynevelő közegekben, mindkét kísérletbe bevont tönkölybúza vonal esetén. A legnyilvánvalóbb, több mint 200%-os emelkedést a króm esetén figyelhettük meg, jelentős volt továbbá az ólom (+67...+90%), illetve a cink (+70...+80%) koncentrációjának megemelkedése a növénynevelő közegekben a szennyvízüledék kijuttatása miatt.

4. Következtetések

Fényszobás tenyészedényes kísérletünk alapján megállapítottuk, hogy a toxikus elemekkel enyhén szennyezett alaptalajba kijuttatott, tápelemekben gazdag és krómmal, cinkkel erősen szennyezett szennyvízüledék mindkét megvizsgált tönkölybúza vonalban, a gyökerekben és hajtásokban egyaránt, megemelte a létfontosságú makroelemek (P, K, Ca, Mg) és az esszenciális mikroelemek (Cu, Fe, Mn, Zn) koncentrációit. A toxikus elemekből (As, Ba, Cd, Cr, Ni, Pb) – mindkét tönkölybúza vonalban – a gyökerekben lényegesen több halmozódott fel a

hajtásokhoz képest, és a kijuttatott szennyvízüledék valamennyi toxikus elem koncentrációját jelentősen megnövelte a kontroll kultúrákhoz viszonyítva, mind a gyökerekben, mind a hajtásokban. Az elemösszetétel alapján nem tudtuk igazolni, hogy a nemesítők által szenzitívebbnek feltételezett GK Fehér tönkölybúza fajta „A” vonala érzékenyebben reagál a toxikuselem-szennyezés okozta stresszre, illetve több toxikus elemet vesz fel, mint a toleránsabbnak tekintett „B” vonal.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a GINOP 2.2.1-15-2017-00042 „K+F versenyképességi és kiválósági együttműködések” program keretén belül „A Pannon régió növényeinek genetikai hasznosítása” c. pályázat támogatta. Köszönjük Dr. Bóna Lajosnak (Gabonakutató Nonprofit Kft., Szeged), hogy a tönkölybúza vonalak szaporítóanyagát rendelkezésünkre bocsátotta. Köszönjük Dr. Pusztahelyi Tündének és munkatársainak (Debreceni Egyetem Agrárműszerközpont), hogy a minták kémiai analízisét elvégezték. Köszönjük Dr. Magura Tibornak és munkatársainak, hogy a Debrecen lovász-zugi kísérleti helyszínt biztosították.

Irodalomjegyzék

- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezőesszelszembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről.
- Adriano D. C. (2001): *Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals*. Springer, New York. 1–867.
- Alloway B. J. (2013): Sources of heavy metals and metalloids in soils. In: Alloway B. J. (szerk.): *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer Science+Business Media, Dordrecht. 11–50.
- Babula P., Adam V., Opatrilova R., Zehnalek J., Havel L., Kizek R. (2008): Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 6 (4): 189–213.
- Kabata-Pendias A. (2004): Soil-plant transfer of trace elements – an environmental issue. *Geoderma*, 122 (2-4): 143–149.
- Kabata-Pendias A. (2011): *Trace Elements in Soils and Plants*. Negyedik kiadás. CRC Press, Boca Raton, FL. Taylor & Francis Group. 1–520.
- Kabata-Pendias A., Mukherjee A. B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 1–550.
- Simon L. (2014): Potentially harmful elements in agricultural soils. In: Bini, C., Bech, J. (szerk.), *PHEs, Environment and Human Health. Potentially Harmful Elements in the Environment and the Impact on Human Health*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London. 85–137, 142–150.
- Slepecka K., Kalwa K., Wyrostek J., Pankiewicz U. (2017): Evaluation of cadmium, lead, zinc and copper levels in selected ecological cereal food products and their non-ecological counterparts. *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*, 30 (3): 147–150.
- Tózsér D. (2018): *Nehézfémekkel szennyezett talajok fitoremediációjának vizsgálata*. PhD értekezés, Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola, Debreceni Egyetem. 1–148.