

SILÓCIROK SZERVEINEK TÁP- ÉS TOXIKUSELEM-FELVÉTELE ENYHÉN SZENNYEZETT TALAJBÓL

SIMON László – IRINYINÉ OLÁH Katalin – VINCZE György – VIGH Szabolcs – KOSZTYUNÉ
KRAJNYÁK Edit – URI Zsuzsanna – SZABÓ Béla

Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Agrártudományi és Környezetgazdálkodási Intézeti
Tanszék, 4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b
simon.laszlo@nye.hu

<https://doi.org/10.71066/FTTMK.1.21>

Bevezetés

A silócirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) termesztése számos előnnyel jár; nagy biomasszát képez, ami kiváló alapanyag szilázs (erjesztett takarmány) előállítására. Rosttartalma kedvező, beltartalmi értékei megfelelnek a kérődzőknek (pl. tejelő szarvasmarháknak és húsmarháknak). Napjainkban, a régiókban is tapasztalható klímaváltozás miatt, termesztése felértékelődött, mivel alternatívát jelent a silókukorica helyett; szárazság esetén és gyengébb talajokon jobb teljesítményt nyújt, mint a kukorica. Hőigényes ugyan, de kevésbé vízigényes, mint a kukorica, mivel mélyre hatoló gyökérzete révén jól bírja a szárazabb időszakokat. Gyengébb termőképességű talajokon is termesztethető, ahol más kultúrák kevésbé gazdaságosak. Változatosságot biztosít a vetésforgóban, amely kedvez a talajéletnek és a kártevők elleni védekezésnek. Kiváló elővetemény egyes kultúrák számára, kevés utónövény-korlátozással (Ábrahám 2019, Siklósiné Rajki és Harmati 2001).

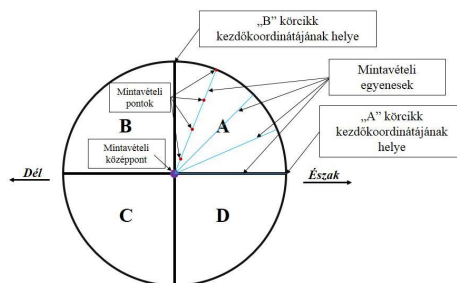
A silócirok gyorsan fejlődik és jelentős zöldtömeget állít elő, amely alkalmassá teszi nagy mennyiségű szennyező anyag (pl. toxikus elemek, túlsúlyban lévő egyes tápelemek: nitrát- és foszfátszennyezés) kivonására a talajból, az ún. fitoremediáció során. A silócirok toleráns számos toxikus elemmel, nehézfémekkel (Cd, Pb, Zn, Cu) szemben, és ezeket a fémeket képes fitoakkumulálni a gyökereiben és részben a föld feletti szerveiben is. Az ún. fitoextrakció során a növények a gyökérzetükön keresztül felveszik a talajban lévő szennyező anyagokat, majd beépítik ezeket a biomasszájukba, amit aztán betakarítással eltávolítanak a területről. A silócirok termesztésének fitostabilizációs hatása is van, mivel mélyre hatoló és sűrű gyökérzete segít rögzíteni a feltalajt, ezzel csökkenti az abban lévő szennyező anyagok további elmozdulását (pl. a szél- vagy a vízerózió által). Alkalmas továbbá erodált, degradált, szennyezett területek rehabilitációjára is. A rizoszférában (a gyökerek környezetében) fokozza a mikrobiális aktivitást, amely elősegíti a szerves szennyező anyagok (pl. kőolajszármazékok, peszticidek) lebomlását. A fitoremediáció során megtermelt biomassza bioenergia-termelésre (biogáz, bioetanol, hőenergia) hasznosítható vagy komposztálható, feltéve, hogy nem tartalmaz veszélyes mennyiségben toxikus anyagokat (Simon 2004, Jamali et al. 2008, Angelova et al. 2011, Ali et al. 2017, Yuan et al. 2019).

Debrecen külterületén – Lovász-zugban – a múlt században egy szennyvízülepítő-tőrendszert üzemeltettek másodlagos biológiai tisztítóegységként. Itt a debreceni szennyvíz ülepítése, szikkasztása, utótisztítása zajlott egy lagúnarendszerben (Tózsér 2018, Tózsér et al. 2018). A szennyvízülepítő tavakat 2013-ban rekultiválták (Internet 1, Mélyépterv C.E. Kft. 2011), és a jelenleg 70-110 cm mélységben található kommunális szennyvízüledéket (Simon et al. 2021, Simon et al. 2023) talajréteggel fedték le. Megállapítottuk, hogy ez a szennyvízüledék potenciálisan toxikus elemekkel szennyezett, mivel az általunk mért koncentrációk a következők voltak: As–31,0; Ba–596; Cd–1,23; Cr–1142; Cu–198; Mn–520; Ni–62,8; Pb–278 és Zn–978 mg/kg sz.a. (szárazanyag), (Simon et al. 2022).

Feltételeztük, hogy a szennyvízüledékből, illetve a takarótalajból a tápelemek mellett toxikus elemeket is felvesz, illetve akkumulál a silócirok. Ennek igazolására szabadföldi kísérletet állítottunk be 2018-ban a szennyvízülepítő talajtakaróján, mely során két silócirok hibrid szerveinek táp- és toxikuselem-felvételét hasonlítottuk össze.

Anyag és módszer

2018. április 12-én a Debrecen Lovász-zugban található, rekultivált szennyvízüzletpítő területén talajmintavételt hajtottunk végre. A Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar, Biológiai és Ökológiai Intézet Ökológiai Tanszéke által kijelölt 9 mintavételi pont közül talajmintákat vettünk a 6. számú mintavételi pontból, mely EOV koordinátája X240911, Y841997, földrajzi koordinátája (Internet 2) északi szélesség $47^{\circ}29'02,41''$ és keleti hosszúság $21^{\circ}35'43,97''$ volt. E pontból spárta segítségével 10 méter sugarú kört húztunk, és ezt 4 körre osztottuk fel (1. ábra).



1. ábra. A talajmintavétel sémája (Debrecen, Lovász-zug 2018. április 12.).
Az ábrát Dr. Tózsér Dávid (Debreceni Egyetem, Ökológiai Tanszék) állította össze.

Adott sugár mentén 2,5 méterre egymástól 4 személy 2-2 részmintát vett 0-25 cm mélységből, botfúrókkal. 15° -ot haladva az óramutató járásával ellentétes irányba a mintavételeket megismételtük mindaddig, míg 90° -os pozícióig el nem értünk. Ily módon egy-egy „A”, „B”, „C” vagy „D” jelű mintavételi területről 32-32 részmintánk keletkezett, melyeket 2018. április 13-án külön-külön alaposan összekevertünk és laboratóriumban műanyag tálcákra légszáraz állapotig szárítottunk. Egy-egy körökből vett kevert átlagminta légszáraz össztömege 1000-1100 gramm volt. A légszáraz talajmintákat 2 mm-es szitán bocsátottuk át, majd simítózáras műanyag zacskókban tároltuk az elemanalízisig.

A szabadföldi mikroparcellás kísérletet két silócirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) hibriddel állítottuk be 2018. május 24. – 2018. október 11. között Debrecen Lovász-zugban.

A Róna 1 silócirok (NÉBIH, 2018) kiváló termőképességű, középérésű hibrid, 80-85 t/ha zöldtermést és 24-25 t/ha szárazanyag-termést ad. 220-250 cm magas, jól bokrosodó, lédús szárú, nagy cukortartalmú (14-17%), jó minőségű szilázs készíthető belőle. Kiváló szárazságtűrő-képességű. Közepes és gyengébb talajokon is jövedelmezően termesztendő. Kukorica-cirok együtt vetéshez is kiválóan alkalmas, FAO 300-as érésű silókukoricákhoz ajánlják. Betegségekkel szemben (kukorica csíkos mozaikvírus – MDMV, Fusarium fajok, baktériumos levélfoltosság) toleráns (Dr. Palágyi Andrea nemesítő közlése).

A GK Balázs silócirok (NÉBIH, 2018) kiváló termőképességű, jó szárszilárdságú, középérésű hibrid, mely 80-86 t/ha zöldtermést és 24-26 t/ha szárazanyag-termést ad. 220-270 cm magas, jól bokrosodó, lédús szárú, nagy cukortartalmú (15-17 %), jó minőségű szilázs készíthető belőle. Kiváló szárazságtűrő-képességű, közepes és gyengébb talajokon is jövedelmezően termesztendő, önmagában is jó minőségű szilázs készíthető belőle. Kukorica-cirok együtt vetéshez is kiválóan alkalmas, FAO 400-as érésű silókukoricákhoz ajánlják. Betegségekkel szemben (MDMV, Fusarium fajok, baktériumos levélfoltosság) toleráns (Dr. Palágyi Andrea nemesítő közlése).

A szabadföldi kísérletet a két silócirok hibriddel egy 8x8 méteres parcellán állítottuk be, mely mértani középpontjának EOV és földrajzi koordinátáit a fentiekben ismertettük. 2018. május 24-én ültettük el a fenti kísérleti parcella bal felébe a Róna 1, jobb felébe pedig a GK Balázs silócirok hibrid magvait, 3-5 cm-es mélységbe. Mindkét hibridből 5-5 db nyolc méter hosszú sort alakítottunk ki észak-déli irányban, 75 cm-es sortávolsággal. A két hibrid alparcelláját 1,5 méteres növények nélküli sáv választotta el egymástól (a kísérleti parcellán belül). Egy

folyóméteren belül legalább 20 magvat helyeztünk a talajba, melyet az ültetés után alaposan megöntöztünk.

A tenészedőszak alatt a kísérleti növényeket nem öntöztük, a gyommentesítést kézi kapálással oldottuk meg. A debreceni meteorológiai megfigyelőállomás 2018. június 1. – 2018. szeptember 30. között 143 mm lehullott csapadékot regisztrált. Méréseik szerint ebben az időszakban az átlaghőmérséklet $21,4^{\circ}\text{C}$, a napsütéses órák száma 1196 volt (Internet 3).

A kísérleti terület takarótalajának genetikai besorolása nem állapítható meg (mivel a szennyvízülepítő rekultivációja során az bolygatásra került). A környékbeli, közeli szántóföldek talajtípusa mészeledékes csernozjom (Tózsér Dávid közlése). Jelen kísérlet közeléből több alkalommal vettünk talajmintákat (Simon et al. 2021, Simon et al. 2022, Simon et al. 2023). A rekultivált szennyvízülepítő talajtakarójának legfontosabb jellemzői: pH- H_2O 7,72; pH-KCl 7,30; összes só: 0,057 m/m%, CaCO_3 2,25 m/m%, humusz 2,27 m/m%, Arany-féle kötöttségi szám (K_A) 39 (Simon et al. 2023). Az Arany-féle kötöttségi száma alapján a kísérleti talaj fizikai félesége vályog, a pH alapján a talaj gyengén lúgos, összes sótartalma nem jelentős, mész- és humusztartalma a környékbeli szántóföldeken található mészeledékes csernozjom talajokra jellemző.

2018. június 25-én került sor az első növénymintavételre (2. ábra). Ekkor a Róna1 hibrid 4-6 leveles, a GK Balázs pedig 6-8 leveles fejlettségi állapotban volt. Egy adott hibrid tenészedterületét kettéosztottuk, és az „A” és „B” jelű mintaterületről 22-25 hajtásmintát gyűjtöttünk be. A hajtások hossza 70-78 cm között változott, a begyűjtött hajtások zöldtömege mintánként 276-473 gramm volt.



2. ábra. Hajtás mintavétel a silócirok kultúrákból
(szabadföldi kísérlet, Debrecen Lovász-zug, 2018. június 25.).

A mintákat laboratóriumba szállítottuk, folyó csapvízben és desztillált vízben megmostuk, majd szobahőmérsékleten előszárítottuk. A légszáraz növénymintákat 2018. július 12-én levél- és szármintákra szedtük szét, majd papírzacskóban szárítószekrényben (70°C , 24 óra) tömegállandóságig megszárazítottuk.

2018. szeptember 13-án került sor a második növénymintavételre (3. ábra). Ekkor az adott silócirokhibrid bugáiból 2-2 átlagmintát képeztünk, melyet 25-25 buga alkotott.



3. ábra. Buga mintavétel a silócirok kultúrákból
(szabadföldi kísérlet, Debrecen Lovász-zug, 2018. szeptember 13.).

A levágott bugákat laboratóriumba szállítottuk, és többszöri átfogatással szobahőmérsékleten előszárítottuk. 2018. október 30-án a légszáraz bugamintákat 105°C -on 4 órán át elektromos szárítóberendezésben tömegállandóságig szárítottuk. 2018. november 13-án a magvakat kézzel kicsépeztük, majd másnap a 282-454 g tömegű mintákat folyó csapvízzel megmostuk, melyet kétszer váltott desztillált vízzel öblítettünk le. Ezt újabb szárítás követte 105°C -on 1,5 órán át.

2018. október 11-én került sor a harmadik növénymintavételre. Ekkor a hajtásokat betakarítottuk és kévékbe kötöttük, és a helyszínen elkezdtük megszáritani. Ezután gyökér-mintavételre került sor a silócirok hibridek parcelláiról. Mindkét parcelláról 3-3 ásonyomnyi gyökérmintát emeltünk ki. A laboratóriumba szállított gyökérmintákat csapvízben alaposan megmostuk, desztillált vízzel leöblítettük, majd légszáraz állapot elérésig szobahőmérsékleten műanyag tálkákban előszáritottuk (4. ábra).



4. ábra. Silócirok kultúrák betakarítása, gyökérmintavétel, gyökerek mosása (szabadföldi kísérlet, Debrecen Lovász-zug, 2018. október 11.).

2018. október 30-án a légszáraz gyökérmintákat (9-14 gramm) elektromos szárítóberendezésben 105 °C-on 4 órán át tömegállandóságig szárítottuk.

Valamennyi száraz növénymintát (gyökér, szár, levél, mag) elektromos darálógéppel 1 mm-nél kisebb részecskékre aprítottunk fel, majd exsikkátorban, pattintással záródó műanyag zacskókban tároltuk az elemanalízist megelőzően.

A talaj- és növényminták elemanalízise a Debreceni Egyetem Agrárműszerközpontjában történt, cc. salétromsav–cc. hidrogén-peroxid 3:1 (v/v) elegyével mikrohullámmal történt feltárás után, ICP-OES készülékkel. A nitrogéntartalom meghatározása Kjeldahl-módszerrel történt (Simon et al. 2022).

Eredmények és értékelésük

Az 1. táblázatban mutatjuk be a különféle tápelemek „pszeudoösszes” koncentrációit a silócirok hibridekkel beállított kísérlet talajában 2018. április 12-én, a szabadföldi kísérlet beállítása előtt.

1. táblázat. „Pszudoösszes”* tápelem-koncentrációk a silócirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) hibridekkel beállított kísérlet talajában (szabadföldi kísérlet, Debrecen Lovász-zug, 2018.04.12.).

Esszenciális makroelemek (mg kg ⁻¹ sz.a.)				Esszenciális mikroelemek (mg kg ⁻¹ sz.a.)		
P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn
„A” mintavételi hely						
1275	2656		5493 (	34,0	351	149
(6)	(4)	26595 (49)	8)	(0,04)	(3)	(1)
„B” mintavételi hely						
1280	2786	27909	5421	36,0	362 (	140 (
(3)	(6)	(147)	(6)	(0,05)	2)	1)
„C” mintavételi hely						
1283 (	2959	28302	5392 (	43,7	404(	175
5)	(4)	(255)	4)	(0,02)	11)	(1)
„D” mintavételi hely						
1428	2829 (	29404	5955	36,0	375	150
(4)	4)	(60)	(6)	(0,1)	(4)	(1)
Átlag („A–D”)	1317	2808	28053	37,4	373	154
Szórás („A–D”)	74	125	1160	4,3	23	15

*HNO₃/H₂O₂ feltárás. n=3. Zárójelben a mérési adatok szórását tüntettük fel.

A magyar talajok átlagos "pszeudoösszes" (cc. HNO₃-oldható) foszfortartalma jellemzően 800–1500 mg/kg között változik, kálium esetén ez a tartomány 1500–2500 mg/kg (Stefanovits et al. 1999, Birkás 2017). Az általunk mért foszfortartalom ebbe a tartományba esik, a káliumtartalom ennél kissé nagyobb. A mérsékelt égövi humid területek talajaiban 1-2% kalcium található (Stefanovits et al. 1999), az általunk mért ≈2,8%-os érték ezt kissé meghaladja. A hazai talajok átlagos „pszeudoösszes” magnéziumtartalma általában 200–3000 mg/kg (Stefanovits et al. 1999 szerint 0,5%), a kísérletbe vont talajban ennél több a magnézium.

A hazai talajok 10-40 mg/kg rezet tartalmaznak (Simon, 2014). Az esetünkben mért 37,4 mg/kg-os átlagos koncentráció a maximális értéket közelíti ugyan, azonban ez a talaj a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet határértékei alapján nem tekinthető rézzel szennyezettnek. A cink mért mennyiségét tanulmányozva ismert, hogy a hazai szennyeztelen talajaink 80 százalékában <25-75 mg/kg cink található (Simon, 2014). Mérési eredményeink alapján kijelenthető, hogy a kísérletbe vont talaj cinktartalma (154 mg/kg, ld. 1. táblázat) 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 2. táblázat szemlélteti a kísérleti talajban 2018. április 12-én mért toxikuselem-koncentrációit.

2. táblázat. Toxikuselem-koncentrációk a silócirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) hibridekkel beállított kísérlet talajában (szabadföldi kísérlet, Debrecen Lovász-zug, 2018.04.12.).

Potenciálisan toxikus elemek (mg kg ⁻¹ sz.a.)						
As	Cd	Cr	Na	Ni	Pb	
„A” mintavételi hely						
8,35 (0,04)	0,378 (0,003)	94,4 (0,5)	325 (4)	30,5 (0,1)	26,3 (0,04)	
„B” mintavételi hely						
8,45 (0,04)	0,372 (0,004)	97,0 (1,98)	361 (2)	28,8 (0,03)	23,3 (0,1)	
„C” mintavételi hely						
8,07 (0,04)	0,352 (0,03)	99,7 (1,4)	419 (2)	32,8 (0,05)	23,5 (0,1)	
„D” mintavételi hely						
8,36 (0,04)	0,379 (0,003)	101 (2)	380 (3)	30,6 (0,04)	24,4 (0,2)	
Átlag (“A–D”)	8,31	0,370	98,0	371	30,7	24,4
Szórás (“A–D”)	0,16	0,013	2,9	39	1,6	1,4

*HNO₃/H₂O₂ feltárás. n=3. Zárójelben a mérési adatok szórását tüntettük fel.

A hazai talajok 15 mg/kg, 1 mg/kg, illetve 100 mg/kg felett tekinthetők a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet alapján arzénnel, kadmiummal, illetve ólommal szennyezettnek. Az általunk mért értékek jóval kisebbek ezektől a határértékektől. A króm mért koncentrációja meghaladja, a nikkelt kissé megközelíti a fenti rendeletben lefektetett 75 mg/kg-os, illetve 40 mg/kg-os határértékeket (6. táblázat). Az átlagos pszeudoösszes nátriumtartalom a hazai talajokban 100–300 mg/kg. Mi ennél kissé nagyobb értékeket mértünk ugyan, de általában csak >300-500 mg/kg nátriumtartalom, illetve 0,05-0,40% vízben oldható só (Stefanovits et al. 1999) gyakorol negatív hatást a növények életfolyamataira.

Fentiek alapján kijelenthető, hogy a kísérleti talaj elsősorban krómmal szennyezett, illetve jelentős mennyiségben tartalmaz cinket.

A 3. táblázat mutatja be a tápelemek (esszenciális makro- és mikroelemek) felvett mennyiségeit a silócirok különféle szerveiben.

3. táblázat. A tápelemek koncentrációi a silócirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) szerveiben (szabadföldi kísérlet, Debrecen Lovász-zug, 2018).

Elem		Silócirok hibrid	
		Róna 1	GK Balázs
Gyökér (2018.10.11.)			
P	μg g ⁻¹ sz.a.	694 (7)	782 (3)
K	μg g ⁻¹ sz.a.	1559 (19)	1703 (16)
Ca	μg g ⁻¹ sz.a.	2626 (8)	3141 (12)
Mg	μg g ⁻¹ sz.a.	1649 (7)	1926 (9)
Cu	μg g ⁻¹ sz.a.	4,88 (0,04)	6,28 (0,02)
Fe	μg g ⁻¹ sz.a.	190 (3)	235 (2)
Mn	μg g ⁻¹ sz.a.	13,3 (0,1)	16,8 (0,1)
Zn	μg g ⁻¹ sz.a.	91,7 (0,8)	98,2 (0,2)
Szár (2018.06.25.)			
N	m/m% sz.a.	3,397 (0,162)	3,466 (0,378)
P	μg g ⁻¹ sz.a.	4956 (69)	4980 (31)
K	μg g ⁻¹ sz.a.	60593 (972)	55717 (70)
Ca	μg g ⁻¹ sz.a.	5691 (21)	5396 (81)
Mg	μg g ⁻¹ sz.a.	4197 (119)	4004 (40)
Cu	μg g ⁻¹ sz.a.	7,23 (0,06)	7,55 (0,03)
Fe	μg g ⁻¹ sz.a.	59,4 (0,6)	57,9 (0,3)
Mn	μg g ⁻¹ sz.a.	14,2 (0,2)	10,1 (0,2)
Zn	μg g ⁻¹ sz.a.	146 (3)	166 (4)
Levél (2018.06.25.)			
N	m/m% sz.a.	3,655 (0,242)	3,783 (0,121)
P	μg g ⁻¹ sz.a.	4033 (18)	4458 (49)
K	μg g ⁻¹ sz.a.	27998 (67)	31172 (793)
Ca	μg g ⁻¹ sz.a.	4505 (64)	4510 (89)
Mg	μg g ⁻¹ sz.a.	2783 (20)	3219 (31)
Cu	μg g ⁻¹ sz.a.	10,2 (0,2)	11,6 (0,4)
Fe	μg g ⁻¹ sz.a.	135,3 (5,4)	146,2 (5,8)
Mn	μg g ⁻¹ sz.a.	18,2 (0,1)	14,5 (0,2)
Zn	μg g ⁻¹ sz.a.	116,2 (1,1)	128,9 (2,0)
Mag (2018.09.13.)			
P	μg g ⁻¹ sz.a.	2863 (11,4)	3735 (7,6)
K	μg g ⁻¹ sz.a.	3264 (24,7)	3441 (4,7)
Ca	μg g ⁻¹ sz.a.	264 (2,1)	299 (3,1)
Mg	μg g ⁻¹ sz.a.	1432 (33,5)	1685 (21,2)
Cu	μg g ⁻¹ sz.a.	3,49 (0,13)	5,01 (0,03)
Fe	μg g ⁻¹ sz.a.	35,9 (0,71)	40,2 (0,86)
Mn	μg g ⁻¹ sz.a.	9,59 (0,28)	11,7 (0,26)
Zn	μg g ⁻¹ sz.a.	36,6 (0,37)	47,5 (0,06)

n=2 (szár, levél), n=4 (gyökér, mag). Zárójelben a mérési adatok szórását tüntettük fel.

Az adatokból megállapítható, hogy a GK Balázs gyökereiben nagyobb mennyiségű P, K, Ca és Mg halmozódott fel, mint a Róna 1 hibrid gyökereiben. A GK Balázs gyökereinek kalcium- és magnéziumtartalma 20, illetve 17%-kal nagyobb, mint a Róna 1 hibridé. A foszfortöbbség 13%, a káliumtöbbség pedig 9% a GK Balázs hibrid javára. Hasonló jelenséget figyelhetünk meg a létfontosságú mikroelemek közé tartozó Cu, Fe, Mn és Zn koncentrációi esetén is, melyek konzekvensen a GK Balázs hibrid gyökereiben voltak nagyobbak (3. táblázat).

A szár tápelem-felvételét illetően ez a tendencia részben megfordult, általában a Róna1 hibrid makro- és mikroelem-felvétele volt a nagyobb, főleg a kálium-, kalcium-, magnézium- és mangánfelvétel esetén (3. táblázat).

A gyökerekhez hasonlóan a levelek N-, P-, K-, Mg-, illetve Cu-, Fe-, és Zn-tartalma a GK Balázs hibrid esetén volt nagyobb. Hasonló jelenséget figyeltünk meg a magvak tápelem-

koncentrációiban is, valamennyi megvizsgált makro- és mikroelem mennyisége a GK Balázs hibridben volt nagyobb (3. táblázat).

A növények leveleiben a normál Cu- és Zn-koncentrációk 5-30 és 27-150 µg/g sz.a. tartományban helyezkednek el (Simon, 2014). Az általunk mért réz- és cinktartalom (3. táblázat) is ebbe a tartományba esik. A növények leveleiben a túlzottnak vagy toxikusnak tekintett réz- és cinktartalom 20-100, illetve 100-400 µg/g sz.a. (Simon, 2014). Mindkét silócirok hibrid levelében 100 µg/g-nál több cinket mértünk. Mindez összefüggésbe hozható a talaj átlagnál nagyobb cinktartalmával (1. táblázat).

A 4. táblázatban mutatjuk be a potenciálisan toxikus elemek mennyiségeit a silócirok különféle szerveiben.

4. táblázat. A potenciálisan toxikus elemek (PTE) koncentrációi a silócirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) szerveiben (szabadföldi kísérlet, Debrecen Lovász-zug, 2018).

PTE µg g ⁻¹	Silócirok hibrid	
	Róna 1	GK Balázs
Gyökér (2018.10.11.)		
As	1,47 (0,09)	1,29 (0,01)
Cd	0,703 (0,004)	0,504 (0,002)
Cr	2,95 (0,03)	2,19 (0,03)
Ni	2,61 (0,02)	1,78 (0,02)
Na	3243 (2)	3540 (3)
Pb	0,931 (0,009)	0,828 (0,003)
Szár (2018.06.25.)		
As	0,128 (0,022)	0,046 (0,003)
Cd	1,32 (0,01)	1,66 (0,01)
Cr	0,330 (0,006)	0,472 (0,006)
Ni	1,51 (0,06)	1,54 (0,01)
Na	22,6 (0,2)	29,3 (0,1)
Pb	0,212 (0,001)	0,175 (0,002)
Levél (2018.06.25.)		
As	0,202 (0,009)	0,315 (0,003)
Cd	0,553 (0,008)	0,635 (0,008)
Cr	0,259 (0,003)	0,442 (0,006)
Ni	0,547 (0,030)	1,004 (0,005)
Na	20,5 (0,42)	18,2 (0,14)
Pb	0,140 (0,002)	0,133 (0,001)
Mag (2018.09.13.)		
As	0,091 (0,005)	0,077 (0,001)
Cd	0,037 (0,002)	0,028 (0,004)
Cr	0,309 (0,005)	0,299 (0,002)
Ni	0,100 (0,002)	0,077 (0,008)
Na	5,82 (0,04)	7,19 (0,10)
Pb	0,084 (0,002)	0,077 (0,002)

n=2 (szár, levél), n=4 (gyökér, mag). Zárójelben a mérési adatok szórását tüntettük fel.

A növények leveleiben a normális As, Cd, Cr, Ni, és Pb koncentrációk 1-1,7; 0,05-0,2; 0,1-0,5; 0,1-5; illetve 5-10 µg/g sz.a. tartományban helyezkednek el (Simon, 2014). Az általunk mért értékek (4. táblázat) is ebbe a tartományba esnek. A növények leveleiben a túlzott vagy toxikus koncentrációk az alábbiak: As–5-20; Cd–1-5, Cr–5-30, Ni–10-100, és Pb–30-300 µg/g sz.a. (Simon, 2014). Annak ellenére, hogy a kísérleti talajunk krómmal szennyezettnek tekinthető (2. táblázat), a silócirok hibridek szerveinek krómfelvétele (4. táblázat) egyáltalán nem volt jelentős. A króm a talaj-növény rendszerben nem mozog, az ún. transzfer koefficiense alacsony: 0,01-0,1 (Simon, 2014). A nátrium elsősorban a gyökerekben akkumulálódott, a föld feletti szervek nátriumfelvétele nem volt jelentős (4. táblázat).

Következtetések

Méréseink alapján megállapítottuk, hogy egy rekultivált szennyvízülepítő takarótalaján termesztett GK Balázs silócirok hibrid intenzívebb ásványi anyagcserét folytat, mint a Rónai 1 hibrid. A GK Balázs silócirok hibrid a növények számára létfontosságú makroelemekből (P, Ca, K, Mg), illetve mikroelemekből (Cu, Fe, Mn, Zn) fajlagosan (egy gramm szárazanyagra vonatkoztatva) 10,3%-kal többet vett fel a leveleiben és 17,1%-kal többet a magtermésében, mint a Rónai 1. A növények szárában ez a tendencia fordított volt, itt a Rónai 1 hibridben mértünk 7,6%-kal több tápelemet. A krómmal és cinkkel mérsékelt szennyezett talajból a GK Balázs vett fel több krómot és cinket a föld feletti szerveiben (szár, levél). A többi megvizsgált potenciálisan toxikus elemből (As, Cd, Cr, Ni, Na, Pb) szintén a GK Balázs hibrid akkumulált 12,7%-kal többet, mint a Rónai 1. Feltételezhető tehát, hogy egy toxikus elemekkel mérsékelt szennyezett talaj fitoremediációja (növényekkel történő talajtisztítása), fitoextrakciója (a toxikus elemek egy részének a növények föld feletti szervekbe történő áthelyezése) során a GK Balázs silócirok hibrid termesztése eredményesebb lehet, mint a Rónai 1 hibridé.

Összefoglalás

Szabadföldi mikroparcellás kísérletben hasonlítottuk össze két silócirok hibrid szerveinek (gyökér, szár, levél, mag) tápelem- (P, Ca, K, Mg, illetve Cu, Fe, Mn, Zn) felvételét és potenciálisan toxikus elem (As, Cd, Cr, Ni, Na, Pb) akkumulációját. A növényeket egy rekultivált szennyvízülepítő-rendszer talaján (pH-H₂O 7,72; pH-KCl 7,30; összes só: 0,057 m/m%, CaCO₃ 2,25 m/m%, humusz 2,27 m/m%, Arany-féle kötöttségi szám 38) termesztettük Debrecen Lovász-zugban. A talaj krómmal (98,0 mg/kg) szennyezett, és az átlagnál jóval több cinket (154 mg/kg) tartalmaz. A növényi szervek ICP-OES technikával elvégzett elemanalízise alapján megállapítottuk, hogy a GK Balázs silócirok hibrid intenzívebb ásványi anyagcserét folytat, mint a Rónai 1 hibrid. Szárában és levelében nagyobb volt a króm és a cinktartalom, illetve a többi potenciálisan toxikus elemből (As, Cd, Cr, Ni, Na, Pb) szintén a GK Balázs hibrid akkumulált 12,7%-kal többet, mint a Rónai 1.

Kulcsszavak: silócirok, szabadföldi kísérlet, szennyezett talaj, táp- és toxikuselem-felvétel

Köszönetnyilvánítás

A kísérlet során tanulmányozott két silócirok hibrid szaporítóanyagát (kicsépett, csávázott magvakat) Dr. Palágyi Andrea (Gabonakutató Nonprofit Kft., Szeged, ciroknevelési csoportvezető) bocsátotta rendelkezésünkre. Köszönjük Dr. Tózsér Dávidnak (Debreceni Egyetem Ökológiai Tanszék), hogy segítséget nyújtott a mintavételi helyek kijelöléséhez és azok földrajzi koordinátáinak megállapításához. A talaj- és növényminták elemanalízisét a Debreceni Egyetem Agrárműszerközpontjában Prof. Dr. Pusztahelyi Tünde és munkatársai végezték el. 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.

Irodalom

- Ábrahám É. B., 2019. Silócirok. [In: Pepó, Péter (szerk.) Integrált növénytermesztés 3: Alternatív növények]. Mezőgazda Kiadó, Budapest. pp. 227-231.
- Ali, A. – Guo, D. – Mahar, A. – Wang, P. – Ma, F. – Shen, F. – Zhang, Z.: 2017. Phytoextraction of toxic trace elements by *Sorghum bicolor* inoculated with *Streptomyces pactum* (Act12) in contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 139, 202–209.
- Angelova, V.R. – Ivanova, V. – Delibaltova, A. – Ivanov, K.I.: 2011. Use of Sorghum crops for *in situ* phytoremediation of polluted soils. *Journal of Agriculture Science and Technology A* 1, 693–702.
- Birkás M. (szerk.), 2017. Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest.

- Internet 1. <https://www.debrecei-vizmu.hu/hirek/megszunik-a-lovasz-zugi-es-a-vekeri-tavi-foldmedru-szennyviztisztito-to> (megtekintve 2025. június 29.)
- Internet 2. <http://www.psoft.hu/szolgaltatasok/eov-wgs84-gps-koordinata-atszamitas.html> (megtekintve 2025. június 22.)
- Internet 3. https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_evkozi/e_met002.html (megtekintve 2025. június 22.)
- Jamali, M. K. – Kazi, T. – Arain, M.B. – Afridi, H.I. – Jalbani, N. – Sarfraz, R.A. – Baig, J.: 2008. A multivariate study: variation in uptake of trace and toxic elements by various varieties of *Sorghum bicolor* L. Journal of Hazardous Materials, 158, 644–651.
- Mélyépterv C.E. Kft.: 2011. Debrecen Lovász-zugi tőrendszerek rekultivációs munkái, Tervszám: 667-4/11. Mélyépterv CE Kft., Budapest (kézirat).
- NÉBIH (Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal): 2018. Nemzeti fajtajegyzék. Szántóföldi növények. NÉBIH, Budapest. p. 23., p. 39.
- Siklósiné Rajki E. – Harmati I.: 2001. Silócirok. [In: Radics László (szerk.). Alternatív növények termesztése I.]. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 301-315.
- Simon L.: 2004. Fitoremediáció. Környezetvédelmi Füzetek. Azonosító: 2318. BMKE OMIKK, Budapest. pp. 1-59.
- Simon, L. 2014. Potentially harmful elements in agricultural soils. [In: Bini, C., & Bech, J. (eds.) PHEs, Environment and Human Health. Potentially Harmful Elements in the Environment and the Impact on Human Health]. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London. pp. 85–137, 142–150.
- Simon L. et al.: 2021. „Komplex technológia szennyvízüledékek fitoremediációjára, illetve toxikus elemekkel enyhén szennyezett talajú területek rekultivációjára, bioenergetikai hasznosítására vonatkozóan”. Kutatási jelentés. Készült a Debreceni Egyetem Ökológiai Tanszéke számára a GINOP-2.2.1-15-2017-00042 azonosító számú „A Pannon régió növényeinek genetikai hasznosítása” című pályázat keretein belül. Nyíregyházi Egyetem, pp. 1-227.
- Simon, L. – Uri, Zs. – Vigh, Sz. – Irinyiné Oláh, K. – Makádi, M. – Vincze, Gy.: 2022. Phytoextraction of potentially toxic elements from wastewater solids and willow ash – experiences with energy willow (*Salix triandra* x *S. viminalis* 'Inger'). [In: Puthur, J.T., Dhankher, O.P. (eds.) Bioenergy Crops: A Sustainable Means of Phytoremediation, Chapter 13., 1st ed.]. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, pp. 227-245.
- Simon L. – Uri Zs. – Vigh Sz. – Vincze Gy. – Irinyiné Oláh K.: 2023. Szilfélék passzív és indukált toxikus elem-felvételének vizsgálata szennyvízüledékkel szennyezett talajból tenyészedényes kísérletben. [In: Makádi M., Tóth G., Bertóti R. D. (szerk.) Talajtani Vándorgyűlés “Talajtani kutatás és oktatás a digitális mezőgazdaság korában”. Szegedi Tudományegyetem – Mezőgazdasági Kar; Hódmezővásárhely. 2022. szeptember 1-3.]. Talajvédelem. Talajvédelmi Alapítvány, Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar, Magyar Talajtani Társaság, pp. 188-203.
- Stefanovits P. – Filep Gy. – Fülek Gy. 1999. Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Tőzsér, D. 2018. Nehézfémekkel szennyezett talajok fitoremediációjának vizsgálata (egyetemi doktori (PhD) értekezés). Debreceni Egyetem, Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola. pp. 1-148.
- Tőzsér, D. – Harangi, S. – Baranyai, E. – Lakatos, G. – Fülöp, Z. – Tóthmérész, B. – Simon, E. 2018. Phytoextraction with *Salix viminalis* in a moderately to strongly contaminated area. Environmental Science and Pollution Research, 25, 3275–3290.
- Yuan, X. – Xiong, T. – Yao, S. – Liu, C. – Yin, Y. – Li, H., – Li, N.: 2019. A real field phytoremediation of multi-metals contaminated soils by selected hybrid sweet sorghum with high biomass and high accumulation ability. Chemosphere, 237, 124536.
- 6/2009. (IV. 14.) KvVM–EüM–FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről (https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900006.kvv - Wolters Kluwer)

NUTRIENT AND TOXIC ELEMENT UPTAKE IN SILAGE SORGHUM ORGANS FROM A MODERATELY CONTAMINATED SOIL

László Simon, Katalin Irinyiné Oláh, György Vincze, Szabolcs Vigh, Edit Kosztyuné
Krajnyák, Zsuzsanna Uri, Béla Szabó

University of Nyíregyháza, Institute of Engineering and Agricultural Sciences,
H-4400 Nyíregyháza, Sóstói Str. 31/b.
simon.laszlo@nye.hu

Summary

The nutrient uptake (P, Ca, K, Mg, and Cu, Fe, Mn, Zn) and the accumulation of potentially toxic elements (As, Cd, Cr, Ni, Na, Pb) in the organs (roots, stems, leaves, seeds) of two silage sorghum hybrids was compared in an open-field micro-plot experiment. The plants were grown in a loamy texture soil (pH-H₂O 7.72; pH-KCl 7.30; total salt: 0.057 m/m%, CaCO₃ 2.25 m/m%, humus 2.27 m/m%) of a reclaimed wastewater sedimentation system located in the Lovász-zug area of Debrecen. The soil was contaminated with chromium (98.0 mg/kg) and contained a significantly higher than average amount of zinc (154 mg/kg). Based on elemental analysis of the plant organs performed using ICP-OES technology, it was found that the GK Balázs hybrid exhibited more intensive mineral metabolism than the Róna 1 hybrid. Its stems and leaves contained higher levels of chromium and zinc, and from other potentially toxic elements (As, Cd, Cr, Ni, Na, Pb) also the GK Balázs hybrid accumulated 12.7% more than Róna 1. It can therefore be assumed that in the phytoremediation (soil cleansing using plants) or phytoextraction (the transfer of some toxic elements into the above-ground parts of plants) of moderately contaminated soils, the cultivation of the GK Balázs silage sorghum hybrid may be more effective than that of the Róna1 hybrid.

Keywords: contaminated soil, nutrient and toxic element uptake, silage sorghum hybrids