



XI. KÁRPÁT-MEDENCEI KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KONFERENCIA

Tanulmánykötet

2015. május 6-9. Pécs



Szerkesztette:

Csicsek Gábor

Kiss Ibolya

ISBN 978-963-642-873-0

Kiadó: Szentágothai János Szakkollégium
dr. Hatvani Zsolt

Nyomda: B-Group Kft.
Felelős vezető: Borbély Zsolt

Települési biokomposzt, fűzhamu, ammónium-nitrát és karbamid hatása az energiafűz (*Salix* sp.) leveleinek táp- és toxikuselem-felvételére

SIMON LÁSZLÓ, URI ZSUZSANNA, VINCZE GYÖRGY, IRINYINÉ OLÁH KATALIN, VÍGH SZABOLCS, SZABÓ MIKLÓS, SZABÓ BÉLA

Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Agrártudományi Intézet,
Agrártudományi és Környezetgazdálkodási Intézeti Tanszék,
4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b
simonl@nyf.hu

Impacts of Municipal Biocompost, Willow Ash, Ammonium Nitrate, and Urea on the Uptake of Mineral Nutrients and Toxic Elements in the Leaves of Energy Willow (*Salix* Sp.)

Abstract

An open-field small plot long-term experiment was set up with 4 replications in Nyíregyháza, Hungary with willow (*Salix triandra* x *Salix viminalis* 'Inger'), grown as an energy crop. The experimental brown forest was treated two times (April 2011, May 2013) with municipal biocompost (MBC) and willow ash (WA), and during May or June of 2011-2014 four times with ammonium nitrate (AN), and one time with urea (U) artificial fertilizers as top-dressings. These treatments were also applied in combinations. In July 2013 the highest nitrogen concentrations were measured in the leaves of AN and MBC+AN willow cultures, which exceeded by 48% or 28% the values in control. All treatments enhanced the specific potassium concentration in leaves as compared to control. The lowest calcium concentration was measured in the leaves of WA or WA+AN treated cultures, while the lowest magnesium concentration was found in MBC or WA+AN treated cultures. The highest manganese concentration and the lowest zinc concentration (which was only the half of the control) were found in the leaves of AN-treated culture. In July 2014 similar phenomena were observed considering the macro- and microelement uptake of *Salix* leaves. All treatments enhanced the nitrogen concentration of leaves; the highest values were detected in AN- and U-treated cultures. Equally in 2013 or 2014 the concentration of toxic elements (As, Ba, Cd, Pb) was negligible in willow leaves, and the rate of accumulation was not influenced by any soil treatment.

Keywords

energy willow, nitrogen fertilizers, municipal biocompost, willow ash, nutrient uptake

Bevezetés

A könnyen kitermelhető fosszilis energiahordozók készleteinek fogyásával és a folyamatosan emelkedő szén-dioxid kibocsátással összefüggő globális felmelegedéssel világszerte előtérbe került a biomassza energetikai célra történő hasznosítása (Rénes, 2008). Olyan növénykultúrát tekintünk energiaültetvénynek, amelyet elsődlege-

sen biomassza-termelés és energetikai felhasználás céljából telepítettek (Blaskó, 2008). A rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvényekben hazánkban telepíthető alapfajok közül (ld. 45/2007 (VI. 11.) FVM rendelet) – nagy hozama és energiaszolgáltató-képessége miatt – kiemelkedik a kosárfonó fűz (*Salix viminalis* L.) vagy „energiafűz”. A fűz jól sarjadzik, 2-3 méteres szálvesszői – termőre fordulás után – akár évente betakaríthatóak. A vesszőhozamot (10-12 t/ha/év szárazanyag), számos tényező mellett, a tápanyagellátás is jelentősen befolyásolja. Az egyenletesen nagy hozam elérésére képes állomány kialakításához megfelelő mértékű és kiegyensúlyozott tápanyag-ellátásra van szükség a talajban. Az energiafűz akár 15-20 éven át is folyamatosan egy helyben termesztethető az energiaültetvényekben, ezért gondoskodnunk kell a talajok rendszeres tápanyag-utánpótlásáról (Gyuricza et al., 2008; Gyuricza, 2011; Smart & Cameron, 2012). Az energianövények biomassza hozama szervesen és szerves trágyákkal, különféle talajba kijuttatott adalékanyagokkal és biohulladékokkal is serkenthető (Smart & Cameron, 2012; Dimitriou et al., 2006; Park et al., 2005).

Az energianövényként termesztett kosárfonó fűz ásványi táplálkozását, tápanyag-igényét 2008 óta tanulmányozzuk szabadföldi kísérletekben Nyíregyházán. A talajba települési szennyvíziszap komposztot, települési biokomposztot, fűzhamut, riolittufát és települési szennyvíziszapot, illetve ammónium-nitrát és karbamid műtrágyákat juttattunk ki különféle dózisokban és kombinációkban (Simon, 2010; Simon et al., 2011; Simon et al., 2012a, 2012b; Simon et al., 2013a, 2013b, Szabó et al., 2011).

E tanulmányban a talajba két alkalommal (2011, 2013) kijuttatott települési biokomposzt és fűzhamu, illetve a fejtrágyaként négy alkalommal (2011, 2012, 2013, 2014) kiszórt ammónium-nitrát, valamint 2014-től a karbamid műtrágyák hatását mutatjuk be az energiafűz leveleinek tápelem-felvételére (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn)- és toxikuselem (As, Ba, Cd, Pb) akkumulációjára 2013-ban, illetve 2014-ben.

Anyag és módszer

Energiafűzzel beállított szabadföldi tartamkísérlet, talajkezelések

A szabadföldi kísérlettel véletlen-blokk elrendezésű tartamkísérlet Nyíregyházán helyezkedik el a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Nyíregyházi Kutatóintézetének földterületén (a Westsik Vilmos utca és a repülőtér között). A kísérleti területet korábban kanáliszappal terítették be, ezért a kovárványos barna erdőtalaj (KA 31, pH_(KCl) 7,52; CaCO₃ 4,80 m/m%; humusz 1,5 m/m%; T-érték 10,4 mgé/100 g; As-38; Cd-0,11; Cu-13; Pb-14; Zn-44 mg/kg HNO₃/H₂O₂ kivonatban) az átlagnál nagyobb pH-val rendelkezik (Szabó et al., 2011, Simon et al., 2013a). A bruttó 4054 m² összterületű kísérleti területen 40 kísérleti parcellát alakítottunk ki 2011 áprilisában. A 10 kezeléssel 4 ismétléssel – energiafűzzel (*Salix triandra* x *viminalis*, cv. Inger) beállított – kísérletben egy kísérleti parcella nettó összterülete 27 m², ahol a növények sortávolsága 0,75 méter, tőtávolsága pedig egységesen 0,6 méter. A két ikersor a parcellán

belül 1,5 méterre helyezkedik el egymástól. A 6 x 4,5 méteres parcellákon belül 4 sorban összesen 40 fűzbokor található. Egy növény tenyészterülete 0,675 m².

A *talajkezelések* az alábbiak voltak:

1. Kontroll (nem történt talajkezelés),
2. 100 kg/ha ammónium-nitrát (AN) (2011, 2012, 2013, 2014) vagy 100 kg/ha karbamid (KARB) (2014) fejtrágya,
3. 20 t/ha települési biokomposzt (TBK) (2011, 2013),
4. 600 kg/ha fűzhamu (FH) (2011, 2013),
5. TBK+AN vagy KARB fejtrágya,
6. FH+AN vagy KARB fejtrágya.

A települési biokomposztot és a fűzhamut 2011 júniusában valamint 2013 májusában juttattuk ki a talajba, a fejtrágyázásokra az adott év májusában vagy júniusában került sor. A települési biokomposztot Nyíregyházán állítják elő a szelektíven gyűjtött szerves hulladékok komposztálásával. A kísérletben felhasznált fűzhamut mi állítottuk elő a 2013 januárjában ugyanerről a területről betakarított fűzveszzők elégetésével, majd a fahamu 5 mm-es lyukátmérőjű szitán történő átszitálásával.

2013. április 30-án elvégeztük a *települési biokomposzt*, illetve *fűzhamu vizsgálatát* a 2013 májusában a talajba történt második kijuttatásuk előtt. A települési biokomposzt és a fűzhamu halomból botfúró segítségével – véletlenszerű mintavételi helyekről – 30 leszúrásból és 0-25 cm-es mélységből mintegy 1,5-1,5 kg-nyi kevert átlagmintákat vettünk. Az alaposan összekevert átlagmintákból 50-50 grammot mérünk be üvegből készült Petri-csészékbe a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Agrártudományi Intézetének laboratóriumaiban 3 ismételéssel. A mintákat 5 órán át 105 °C-on szárítószekrényben megszáritottuk, visszamérés után megállapítva a települési biokomposzt és a fűzhamu aktuális nedvességtartalmát, és szitálással előkészítve a 3 párhuzamos mintát az elemanalízishez. A települési biokomposzt és a fűzhamu esszenciális makro- és mezoelem- (P, K, Ca, Mg, Fe), mikroelem- (Cu, Mn, Zn), illetve toxikuselem- (As, Ba, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb) -tartalmát ICP-OES technikával (Ultima 2 Horiba Jobin-Yvon készülék) határoztuk meg a Geoderma Bt. budapesti akkreditált laboratóriumában 3 ismételéssel, a minták cc.HNO₃–cc.H₂O₂ eleggyel történt feltárása után (Simon et al., 2013a).

2013. május 2-án és május 9-én történt a kísérleti parcellák *talajának vizsgálata*. Ehhez az adott parcella teljes területének (27 m²) két átlója mentén botfúróval 0-25 cm-es mélységből 15-15 leszúrással 2 párhuzamos, 1,0-1,5 kg össztömegű, „a” és „b” jelű kevert átlagmintát alakítottunk ki. Az „a” és „b” jelű talajmintákat külön-külön alaposan összekevertük, majd vékony rétegben laboratóriumi asztalon szétterítve légszáraz állapot eléréséig megszáritottuk. A mintákat ezután 2 mm-es lyukátmérőjű szitán átszitáltuk, eltávolítva ezzel a növénymaradványokat és a szilárd halmazállapotú idegen anyagokat a talajból. A légszáraz talajminták legfontosabb kémiai és fizikai tulajdonságait – a vonatkozó szabványok előírásait követve – a Geoderma Bt. budapesti akkreditált laboratóriumában vizsgáltuk meg. A vizsgálatok kiterjedtek a víz- és kálium-klorid oldható pH, a vezetőképesség (EC), a sótartalom, a humusztartalom,

illetve a mész- és nátriumtartalom mérésére. Meghatároztuk az „összes” (cc. HNO_3 –cc. H_2O_2 oldható) esszenciális makro-, mezo- és mikroelem-tartalmát (P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn), valamint egyes toxikuselemek (As, Ba, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb) koncentrációját is (Simon et al., 2013a).

Levélminta-vétel

Az *első levélminta-vételre* 2013. július 11-én került sor. Az adott parcellában található első ikersorból került kialakításra a parcella közepén található 5-5 bokor leveleiből az „a”, a másik ikersorból pedig szintén 5-5 bokor leveleiből a „b” jelű minta. A levélmintákat bokronként a legmagasabb pozíciójú vesszők legfelülről számított 30-60 cm-es szakaszából gyűjtöttük össze, innen az összes ott található levelet leszedtük. A 215-290 db levélből álló „a”, illetve ugyanannyi levélből összetevődő „b” jelű levélmintákat külön-külön alaposan összekevertük. Egy-egy parcella esetén a levélminták nedves tömege 180-245 gramm volt.

A *második levélminta-vételre* 2014. július 25-én került sor a fentiekben megegyező módon. 2014-ben 110-170 levelet szedtünk le a fűzbokrokról parcellánként, melyek össztömege 78 grammtól (kontroll) 167 grammig (kezelt kultúrák) változott.

A levélmintákat a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Agrártudományi Intézetének laboratóriumaiban először folyó csapvízzel mostuk meg, majd háromszor váltott desztillált vízzel öblítettük le. Laboratóriumi asztalon papírtörölközőn szétterítve a leveleket 10 napig előszárítottuk. Ezután szárítószekrényben $70\text{ }^\circ\text{C}$ -on 10 órán át történő szárítás után a leveleket elektromos darálóval $< 1\text{ mm}$ szemcseméretig aprítottuk.

A levelek makro- és mezoelem- (N, P, K, Ca, Mg), mikro- (Fe-, Cu, Mn, Zn) és toxikuselem- (As, Ba, Cd, Pb) tartalmát Kjeldahl-módszerrrel (Vapodeszt 10 készülékkel), illetve ICP-OES technikával (Ultima 2 Horiba Jobin-Yvon készülékkel) határoztuk meg a Geoderma Bt. budapesti laboratóriumában 2-2 ismétléssel.

Eredmények

A fűz talajába kijuttatott adalékanyagok elemösszetétele, a kísérleti talaj jellemzői és elemösszetétele

Az 1. táblázatban az energiafűzzel beállított szabadföldi kísérlet talajába 2013-ban kijuttatott települési biokomposzt és fűzhamu „összes” (salétromsavval kioldható) esszenciális elemtartalmát mutatjuk be. A 2013-mas mérési adatok alapján megállapítható, hogy a nyíregyházi *települési biokomposzt* makro-tápelemekben viszonylag gazdag. Kijuttatásával fontos esszenciális makro-és mezoelemekkel, illetve esszenciális mikroelemekkel (Cu, Mn, Zn) gazdagíthatjuk a talajt. A *fűzhamu* a makroelemek közül jelentős mennyiségű káliumot, kalciumot és magnéziumot tartalmaz (feltehetően azonban nehezen felvehető oxidok formájában). Az esszenciális mikroelemek (Cu, Mn, Zn) közül a mangántartalma a legjelentősebb.

1.táblázat: Az energiafűz (*Salix sp.*, cv. Inger) talajába kijuttatott adalékanyagok esszenciális makro-, mezo- és mikroelem-tartalma*

(Nyíregyháza, szabadföldi kísérlet; adalékanyagok mintavétele: 2013. április 30.)

Talajadalék		Esszenciális makro-és mezoelemek					Esszenciális mikroelemek		
		P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
		mg/kg					mg/kg		
Települési biokomposzt	Átlag:	2273	5118	19104	3010	8760	42,7	291	151
	Szórás:	142	150	525	97	220	2,3	11	5
Fűzhamu	Átlag:	7724	65768	199701	12053	5666	164	968	382
	Szórás:	481	868	2477	493	86	11	40	28

*HNO₃/H₂O₂ kivonatból ICP-OES technikával meghatározva.

A 2. táblázatban mutatjuk be a kísérleti parcellák talajába 2013-ban kijuttatott adalékanyagok „összes” (salétromsavval kioldható) toxikus elem (As, Ba, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb) -tartalmát. A nyíregyházi települési biokomposzt toxikus elemekkel gyakorlatilag szennyezetlen.

2.táblázat: Az energiafűz (*Salix sp.*, cv. Inger) talajába kijuttatott adalékanyagok toxikus elem-tartalma*

(Nyíregyháza, szabadföldi kísérlet; adalékanyagok mintavétele: 2013. április 30.)

Talajadalék		Toxikus elemek						
		As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb
		mg/kg						
Települési biokomposzt	Átlag:	6,13	139	0,351	14,4	-	12,4	23,6
	Szórás:	0,60	32	0,082	1,5	-	0,3	0,2
Fűzhamu	Átlag:	11,40	611	0,798	16,1	-	24,9	20,9
	Szórás:	0,80	16	0,034	0,1	-	0,7	0,4

*HNO₃/H₂O₂ kivonatból ICP-OES technikával meghatározva.

kha= kimutatási határ alatti érték (Hg: 0,3 mg/kg).

A mért toxikus elem-koncentrációk valamennyi esetben jóval kisebbek, mint a 36/2006. (V. 18.) FVM rendeletben a komposztokra vonatkozó határértékek (As-10, Cd-2, Cr-100, Hg-1, Ni-50, Pb-100 mg/kg).

A nyíregyházi fűzhamuban a megvizsgált toxikus elemek többé-kevésbé feldúsulnak, azonban a mért koncentrációik – a báriumot kivéve – nem jelentősek. Előnyös, hogy a fűzhamuban a kadmium nem koncentráldott számottevő mértékben. Dimitriou és mtsai (2006) hasonló mennyiségben mértek toxikus elemeket egy svéd biomassza tüzelésű erőműből származó fahamuban, mint amennyit a mi általunk tanulmányozott fűzhamu tartalmazott.

Valamennyi kezelt kultúra talajában nagyobb vizes pH-t (8,00-8,14) mértünk, mint a kezeletlen kontroll talajban (pH-H₂O 7,87). Mindez összefüggésbe hozható a kijuttatott adalékanyagok jelentős kalciumtartalmával (ld. 1. táblázat). A kísérletbe bevont terület talajának vizes kivonatban mért pH-ja (ún. aktív vagy szabad savanyúsága) a gyengén lúgos tartományba esik. A semleges sóoldatban (KCl oldatban) mért ún. potenciális vagy „rejtett” savanyúság jelentősen nem kisebb a vizes oldatban mért értéknél. A kontroll kultúra talajában ez az érték 7,33 volt, míg a kezelt kultúrákéban 7,33-7,37 között változott. A talaj kémhatását tehát egyik korábbi kezelés sem változtatta meg 2013-ra számottevő mértékben a kiindulási 2011-es állapothoz képest (Simon et al., 2011; Szabó et al., 2011).

Közismert, hogy a talaj pH-t a savanyító kémhatású műtrágyák (pl. az ammónium-nitrát) rendszeres kijuttatása lecsökkentheti. Annak ellenére, hogy a kísérleti par-

cellák talaja 2011 és 2012-ben is kapott mérsékelt dózisú ammónium-nitrát-kezelést, nem tapasztaltunk pH csökkenést 2013-ban a kontroll talajhoz viszonyítva. A talaj CaCO_3 -tartalma jelentős (2,95-4,55% között változik), mely tompítja („pufferolja”) az ammónium-nitrát savanyító hatását. A helyi kovárványos barna erdőtalajokra nem jellemző ilyen nagy kalciumkarbonát-tartalom, ezért feltételezhetjük, hogy a közeli belvíz-csatorna múlt században elvégzett karbantartása során a kísérleti parcellák talajára terítették rá a kotrási iszapot, és ez eredményezte a talajban mért nagy CaCO_3 -tartalmat.

A különféle adalékanyagok, illetve az ammónium-nitrát műtrágya talajba juttatása nem befolyásolta szignifikáns mértékben a talaj összes sótartalmát, elektromos vezetőképességét, mésztartalmát vagy humusztartalmát (Simon et al., 2015). A kísérleti parcellák talajának humusztartalma alacsony (1,36-1,58%), a mért értékek a régió barna erdőtalajaira jellemzők. A kontroll talajban 2013-ban (mielőtt az adalékanyagok második kijuttatása megtörtént volna) az alábbi makro- és mezoelem-koncentrációkat mértük cc. HNO_3 és cc. H_2O_2 kivonatban: P-626; K-2418; Ca-17096; Mg-4758 és Fe-17776 mg/kg. Mindezt a 2011-ben kijuttatott települési biokomposzt vagy fűzhamu nem változtatta meg jelentős mértékben (Simon et al., 2015). Park és mtsai. (2005) energiafűzzel beállított kísérletükben megállapították, hogy a fahamu nagy dózisban (10 és 20 t/ha) történő kijuttatása megemeli a legfelső 10 cm-es talajréteg káliumkoncentrációját. Kísérletünkben egyelőre ezt nem tudtuk igazolni. A kísérleti kontroll talajban 2013-ban (az adalékanyagok második kijuttatása előtt) az alábbi mikroelem- és toxikuselem-koncentrációkat mértük cc. HNO_3 és cc. H_2O_2 kivonatban: Cu-11,6; Mn-516, Zn-39,0 mg/kg; illetve As-30,4; Ba-80,4; Cd-0,126; Cr-13,8; Hg<0,3; Ni 14,9 és Pb 12,6 mg/kg. E koncentrációkat a 2011-es települési biokomposzt vagy fűzhamu kijuttatás nem változtatta meg számottevő mértékben (Simon et al., 2015).

A talajba kijuttatott adalékanyagok, ammónium-nitrát és karbamid hatása a fűzlevelek elemösszetételére

A levélanalízissel az volt a célunk, hogy megvizsgáljuk, miként befolyásolják a talajba kijuttatott adalékanyagok, illetve az ammónium-nitrát és karbamid fejtrágyák a fűzlevelek makro- és mikrotápelem-felvételét, illetve toxikuselem-akkumulációját. Mindez kihathat a biomassa erőművekben elégetésre kerülő fűzveszők, illetve a keletkező füstgázok és hamu elemösszetételére, közte a toxikus elemek koncentrációjára.

A 3. táblázatban mutatjuk be a fűzlevelek esszenciális makro-, mezo-, mikro- és toxikuselem-összetételét 2013 júliusában. A fűzlevelek esszenciális makroelem-felvételét elemezve megállapítható, hogy a legtöbb nitrogént az ammónium-nitráttal, illetve a biokomposztal és ammónium-nitráttal kezelt kultúrák vették fel, mely a kontrollban mért értéket 48%-kal, illetve 28%-kal haladta meg (mindez azonban az adatok szórása miatt nem volt statisztikailag szignifikáns). A levelek foszfor-koncentrációiban nem figyeltünk meg jelentős változást, a legkevesebb foszfort a FH+AN-tal kezelt kultúrában mértük. A levelek fajlagos káliumtartalma szignifikán-

san nagyobb volt az AN, TBK és a TBK+AN-tal kezelt kultúrákban, mint a kontrollban. A legkevesebb kalciumot a FH-val, illetve a FH+AN-tal kezelt kultúrák leveleiben mértük. A legkisebb cinktartalmat (a kontroll érték mintegy felét) az AN-tal kezelt kultúrában detektáltuk. Mindhárom AN fejtrágyával kezelt kultúra leveleiben szignifikánsan kisebb volt a cinkkoncentráció, mint a kontrollban. A levelek mind a négy megvizsgált toxikus elemből jelentéktelen mennyiségeket akkumuláltak. Ezt a talajba kijuttatott egyik anyag sem befolyásolta számottevő mértékben.

A 4. táblázatban szemléltetjük a fűzlevelek esszenciális makro-, mezo-, mikro- és toxikuselem-összetételét 2014 júliusában, 9 héttel az ammónium-nitrát, illetve karbamid fejtrágyázás után (2014. július 25.). Az előző évhez hasonlóan ezúttal is az AN-kezelt kultúrában mértük a legnagyobb nitrogénkoncentrációt a fűzlevelekben, és a karbamid kijuttatás is megnövelte azt a kontrollhoz képest. Statisztikailag szignifikáns eltéréseket azonban csak a levelek foszfor- és káliumkoncentrációi esetén tapasztaltunk az AN-kezelt kultúrákban. A legkisebb Fe-, Cu-, Mn- és Zn-koncentrációkat az AN-kezelés eredményezte, azonban statisztikailag szignifikáns eltéréseket egy kezelés esetén sem figyelhettünk meg. A toxikus elemek mennyisége a levelekben 2014-ben is elhanyagolható volt, és ezt a fejtrágyázások ebben az évben sem befolyásolták.

Következtetések

A talajba kijuttatott települési biokomposzt, illetve az ammónium-nitrát és karbamid fejtrágyák a kontrollnál nagyobb nitrogénkoncentrációt eredményeztek a fűzlevelekben, a legnagyobb értékeket az ammónium-nitrát fejtrágyával kezelt kultúrákban mértük. Kérdéses, hogy ez a nitrogéntöbblet megjelenik-e fűzveszőkben is, melyek biomassza erőművekben történő elégetése során megemelkedhet a füstgázok NOx koncentrációja, környezetterhelést okozva.

A talajkezelések többé-kevésbé befolyásolták a fűzlevelek P-, K-, Ca- és Mg-felvételét, az esszenciális mikroelemek közül azonban a Fe-, Cu- vagy Mn-felvételre nem gyakoroltak szignifikáns hatást. Az ammónium-nitrát talajba történő kijuttatása 2013-ban és 2014-ben egyaránt jelentősen lecsökkentette a fűzlevelek fajlagos cinkfelvételét a kontrollhoz viszonyítva, míg a karbamid 2014-es kijuttatása esetén ilyen jelenséget nem tapasztaltunk.

A talajkezelések nem változtatták meg a fűzlevelek fajlagos (1 g szárazanyagra vonatkoztatott) toxikuselem (As, Ba, Cd, Pb) -koncentrációját, és a levelek mind a négy megvizsgált toxikus elemből jelentéktelen mennyiségeket akkumuláltak mindkét évben (ezt egyik talajkezelés sem befolyásolta szignifikáns mértékben). Fentiek alapján feltételezhetjük, hogy a talajba kijuttatott települési biokomposztból, fűzhamuból vagy fejtrágyákból nem kerülnek át olyan mértékben toxikus elemek a biomassza erőművekben elégetésre kerülő faanyagba, melyek az elégetés során keletkező hamuban veszélyes mértékben feldúsulhatnak, és a hamu későbbi kezelése, talajba történő visszajuttatása során környezetvédelmi problémát okozhatnak. További vizsgálataink ennek az igazolására irányulnak.

3. táblázat. A talajba kijuttatott adalékanyagok és fejtrágya hatása az energiaszif (Salix sp., cv. Inger) leveleinek elemösszetételére 6-8 héttel a talajkezelések után (Nyíregyháza, szabadföldi kísérlet; kezelések: települési biokomposzt és fűzhamu – 2011, 2013; ammónium-nitrát fejtrágya – 2011, 2012, 2013; levél-mintavétel: 2013. július 11.)

Kezelés		Esszenciális makro- és mezoelemek					Esszenciális mikroelemek				Toxikus elemek			
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	As	Ba	Cd	Pb
		m%	mg/kg				µg/g				µg/g			
Kontroll	Átlag	2,44 ^a	3696 ^a	13790 ^a	10034 ^{ab}	5356 ^a	76,4 ^a	6,43 ^a	69,8 ^a	60,8 ^b	0,84	4,36 ^a	0,92 ^{ab}	kha
	Szórás	0,20	418	365	855	218	6,02	0,23	5,5	3,4	0,40	0,84	0,02	-
Ammónium-nitrát (AN)	Átlag	3,61 ^a	3599 ^a	18208 ^c	12461 ^b	5981 ^a	83,8 ^a	6,9 ^a	78,8 ^a	35,0 ^a	kha	4,33 ^a	0,53 ^a	kha
	Szórás	0,14	161	1820	772	225	6,7	0,47	3,9	1,6	-	0,37	0,05	-
Települési biokomposzt (TBK)	Átlag	2,86 ^{ab}	3599 ^a	17032 ^{bc}	10811 ^{ab}	4891 ^a	67,2 ^a	6,53 ^a	63,4 ^a	61,1 ^b	0,60	4,55 ^a	0,83 ^{ab}	kha
	Szórás	0,52	438	1150	874	604	3,3	0,72	6,7	5,9	0,23	0,10	0,21	-
Fűzhamu (FH)	Átlag	2,45 ^a	3620 ^a	14872 ^{ab}	9633 ^a	5123 ^a	73,4 ^a	5,85 ^a	63,6 ^a	70,7 ^b	0,58	5,48 ^a	1,16 ^b	kha
	Szórás	0,08	471	920	1757	535	12,4	0,15	10,5	13,5	0,12	4,2	0,29	-
TBK + AN	Átlag	3,13 ^{ab}	3615 ^a	17385 ^{bc}	11649 ^{ab}	5577 ^a	76,0 ^a	6,88 ^a	67,8 ^a	41,2 ^a	kha	4,38 ^a	0,55 ^a	kha
	Szórás	0,10	258	1125	981	208	9,7	0,55	15,9	8,7	-	1,17	0,06	-
FH + AN	Átlag	2,94 ^{ab}	3288 ^a	15462 ^{abc}	9737 ^a	4927 ^a	66,3 ^a	6,72 ^a	67,5 ^a	42,8 ^a	kha	3,27 ^a	0,76 ^a	kha
	Szórás	0,71	589	1974	1597	1031	10,8	1,4	3,7	4,4	-	0,72	0,26	-

HNO₃/H₂O₂ kivonatból ICP-OES technikával meghatározva. Az elemkoncentrációk az adott kezeléshez tartozó „a” és „b” kevert átlagmintából lettek meghatározva 2-2 ismétléssel. n=4. ANOVA Tukey b-teszt. Különböző betűindexek esetén statisztikailag szignifikáns az eltérés P<0,05. kha=kimutatási határ alatt.

4. táblázat. A talajba kijuttatott adalékanyagok és fejtárgya hatása az energiaszár (Salix sp., cv. Inger) leveleinek elemösszetételére 9 héttel a fejtárgyázás után (Nyíregyháza, szabadföldi kísérlet; kezelések: települési biokomposzt és fűzhamu – 2011, 2013; ammónium-nitrát fejtárgya – 2011, 2012, 2013; 2014, karbamid fejtárgya 2014; levél-mintavétel: 2014. július 25.).

Kezelés		Esszenciális makro- és mezelemek					Esszenciális mikroelemek				Toxikus elemek			
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	As	Ba	Cd	Pb
		m%	mg/kg				µg/g				µg/g			
Kontroll	Átlag	2,59 ^a	5019 ^b	14970 ^b	8150 ^a	3818 ^{ab}	60,9 ^a	13,2 ^a	44,8 ^a	107 ^a	kha	6,82 ^a	1,30 ^a	kha
	Szórás	0,38	17	1194	3481	404	12,2	0,42	26,1	32,5	-	0,77	0,02	-
Ammónium- nitrát (AN)	Átlag	3,04 ^a	3032 ^a	11185 ^a	7287 ^a	3192 ^a	52,7 ^a	7,11 ^a	38,3 ^a	58,1 ^a	kha	3,77 ^a	0,74 ^a	kha
	Szórás	0,18	214	433	1088	29	2,6	0,23	0,6	11,7	-	1,10	0,20	-
Karbamid (KARB)	Átlag	2,91 ^a	3811 ^{ab}	12988 ^{ab}	8720 ^a	4059 ^b	67,2 ^a	9,80 ^a	58,1 ^a	81,9 ^a	kha	4,96 ^a	0,78 ^a	kha
	Szórás	0,11	503	1486	2313	390	7,2	2,98	13,0	31,3	-	1,22	0,21	-
Települési biokomposzt +KARB	Átlag	2,60 ^a	4784 ^b	13906 ^{ab}	9954 ^a	4463 ^b	69,4 ^a	12,3 ^a	56,5 ^a	109 ^a	kha	6,35 ^a	1,11 ^a	kha
	Szórás	0,26	701	563	897	81	10,4	1,9	14,2	15,2	-	0,17	0,43	-
Fűzhamu +KARB	Átlag	2,74 ^a	4579 ^b	14823 ^b	11091 ^a	4152 ^{ab}	70,3 ^a	12,2 ^a	70,0 ^a	118 ^a	kha	7,76 ^a	1,51 ^a	kha
	Szórás	0,23	128	431	1157	168	7,1	0,5	13	1,4	-	2,77	0,16	-

HNO₃/H₂O₂ kivonatból ICP-OES technikával meghatározva. Az elemkoncentrációk az adott kezeléshez tartozó „a” és „b” kevert átlagmintából lettek meghatározva 1-1 ismétléssel. n=2. ANOVA Tukey b-teszt. Különböző betűindexek esetén statisztikailag szignifikáns az eltérés P<0,05. kha=kimutatási határ alatt.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Nitrogénművek Vegyipari Zrt. (Pétfürdő) anyagi támogatását. Külön köszönettel tartozunk Erdélyi Ferencnek és Koncz Józsefnek (Geoderma Bt., Budapest) a minták gondos előkészítéséért, illetve analiziséért.

A kutatómunka a TÁMOP 4.2.2 D-15/1/KONV-2015-0014 (Interdiszciplináris kutatói csapatok felkészítése a nemzetközi programokban való részvételre az alapkutatás és a célzott alapkutatás területén), "Települési szennyvizek innovatív és környezettudatos tisztítása és a szennyvíziszapok környezetbarát elhelyezése" c. pályázat keretén belül valósult meg.

Irodalomjegyzék

- BLASKÓ L. (2008) Energianövények termesztése, termőhelyi alkalmasság, felhasználhatóság. In: CHLEPKÓ T. (szerk.): Megújuló Mezőgazdaság. Tanulmányok a zöldenergia termeléséről és hasznosításáról gondolkodóknak. Magyar Katolikus Rádió, Budapest, pp. 167-207.
- GYURICZA, Cs. – NAGY L. – UJJ, A. – MIKÓ, P. – ALEXA, L. (2008) The impact of composts on the heavy metal content of the soil and plants in energy willow plantations (*Salix* sp.). Cereal Research Communications, 36:279-282.
- GYURICZA, Cs. (2011) Fás szárú energianövények termesztése (5.). Növénytaplálás energiaültetvényekben. Agrofórum, 2011. március. 92-96 old.
- DIMITRIOU, I. – J. ERIKSSON – A. ADLER – P. ARONSSON – T. VERWIJST (2006) Fate of heavy metals after application of sewage sludge and wood-ash mixtures to short-rotation willow coppice. Environmental Pollution, 142:160-169.
- SMART, B.L. – CAMERON, K.D. (2012) Shrub willow. In: KOLE, CH. – JOSHI, CH. P. – SHONNARD, D.R. (eds.): Handbook of Bioenergy Crop Plants. CRC Press, Boca Raton, London, New York, pp. 687-708.
- PARK, B.B. – R.D. YANAI – J.M. SAHM – D.K. LEE – L.P. ABRAHAMSON (2005) Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. Biomass and Bioenergy 28:355-365.
- RÉNES, J. (2008) A rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvények klímavédelmi és gazdasági jelentősége. Bioenergia, 3: 24-28.
- SIMON L. – KOVÁCS, B. – BARNA, S. – VARGA, Cs. – DINYA, Z. (2009) Accumulation of heavy metals in *Arundo* and *Salix* energy plants treated with pig slurry, municipal sewage sludge and inorganic fertilizers. In: POLLET, E. (ed.). Proceedings of the 7th International Symposium on Trace Elements in Human: New Perspectives. Athens, Greece. 13-15 October, 2009. University of Athens, Greece. CD-ROM. pp. 258-265.
- SIMON L. (2010) Energianövények tápanyag visszafoglalásának és nehézfém-akkumulációjának vizsgálata. In: SZABÓ B. – TÓTH Cs. (szerk.): VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia kiadványa. VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Nyíregyháza, 2010. április 22-24. Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, pp. 35-40.
- SIMON L. – SZABÓ B. – VARGA Cs. – URI Zs. – BÁNYÁCSKI S. – BALÁZSY S. (2011) Energianövények hozamának és toxikus elem-felvételének vizsgálata. In: FARSANG A. – LADÁNYI Zs. (szerk.): Talajvédelem (különszám). Talajtani Vándorgyűlés kiadványa. Talajtani Vándorgyűlés. „Talajaink a változó természeti és társadalmi hatások között”. Szeged, 2010. szeptember 3-4. Talajvédelmi Alapítvány - Magyar Talajtani Társaság– Szegedi Tudományegyetem, Szeged, pp. 421-430.
- SIMON L. – SZABÓ B. – VINCZE Gy. – VARGA Cs. – SZABÓ M. – KONCZ J. (2012a) Ammónium-nitrát műtrágya és talajadalékok hatása az energiafűz (*Salix viminalis* L.) elemfelvételére. In: LEHOCZKY É. (szerk.): I. Talajtani, Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Nap. „Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben”, Debrecen, 2012. november 23. Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 2012. pp. 127-130. (ISBN 978-963-89041-6-4).

- SIMON, L. – VINCZE, GY. – VARGA, CS. – SZABÓ, B. – KONCZ, J. (2012b) Passive phytoextraction of toxic elements from sewage sludge compost by *Salix viminalis* energy plants. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica 47, (2): 285-291.
- SIMON, L. – SZABÓ, B. – SZABÓ, M. – VINCZE, GY. – VARGA, CS. – URI, ZS. – KONCZ, J. (2013a) Effect of various soil amendments on the mineral nutrition of *Salix viminalis* and *Arundo donax* energy crops. European Chemical Bulletin, 2(1):18-21.
- SIMON L. – MAKÁDI M. – VINCZE GY. – SZABÓ B. – SZABÓ M. – ARANYOS T. (2013b) Impact of ammonium nitrate and rhyolite tuff soil application on the photosynthesis and growth of energy willow. In: UNGUREANU N. – COTETIU R. – SIKOLYA L. – PÁY G. (eds.): International Multidisciplinary Conference, 10th edition. May 22-24, 2013. Baia Mare, Romania – Nyíregyháza Hungary. Scientific Bulletin, Serie C, Fascicle: Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology. Bessenyei Publishing House, Nyíregyháza. pp. 143-146. (ISBN 978-615-5097-66-9).
- SIMON L. – SZABÓ M. – VINCZE GY. – URI ZS. – IRINYINÉ OLÁH K. – MAKÁDI M. – VÍGH SZ. (2015) Energianövények és szántóföldi haszonnövények tápanyag-ellátásának vizsgálata, különös tekintettel a nitrogén-műtrágyák, biohulladékok és talajadalékok együttes hatásának tanulmányozására. Kutatási zárójelentés. Készült a Nitrogénművek Vegyipari Zrt. (Pétfürdő) számára a Nyír-Inno-Spin Kft. (Nyíregyháza) megbízásából. Nyíregyházi Főiskola, pp. 1-123. (kézirat).
- SZABÓ B. – SZABÓ M. – FORGÓ I. – VEISZ J. – SIMON L. – VÁGVÖLGYI S. (2011) Kosárfonó fűz (*Salix viminalis* L.) hozamának vizsgálata különböző vágásfordulóknál. In: MÓCSY I. – SZACSVAI K. – URÁK I. – ZSIGMOND A. R. – SZIKSZAI A. (szerk.): VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Kolozsvár, 2011. március 24-27. I. kötet. Ábel Kiadó, Kolozsvár, pp. 141-144.
- 45/2007. (VI.11.) FVM rendelet a fás szárú energetikai ültetvények telepítésének engedélyezése, telepítése, művelése és megszüntetése részletes szabályairól, valamint ezen eljárások igazgatási szolgáltatási díjáról
- 36/2006. (V.18.) FVM rendelet a terméshozam növelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról