

Egyetemi doctori (PhD) értekezés tézisei

OLASZNÁD (*Arundo donax* L.) ÖKOTÍPUSOK RÉZ-TOLERANCIÁJA ÉS
BIOENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSA

Nevien Adel Ismail Elhawat

Témavezető: Prof. Fári Miklós D.Sc.



DEBRECENI EGYETEM

KERPELY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS REGIONÁLIS
TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Debrecen

2015

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Az olasz nád bizonyítottan képes szennyezett környezetéből felvenni és szövetében felhalmozni többféle nehézfém, szerves szennyezőket, anélkül, hogy saját növekedését és fejlődését azok jelentősen károsítanák. Jellemzően pH-t széles tartományban tolerálja. Emellett a magas sótartalom, szárazság és nehézfémterheléshez is jól tud alkalmazkodni. Azonban a különböző ökológiai adottságokhoz való alkalmazkodó képessége miatt, az olasz nádat világszerte káros invazív gyomnak tartják, a folyó menti élőhelyek estén.

A Cu egy esszenciális mikroelem, amely a felső talajrétegben található. Természetes esetben a talaj összes Cu tartalma 2-109 mg kg⁻¹ között mozog, illetve a világ talajainak átlagos Cu tartalma 38,9 mg kg⁻¹. A talajban lévő Cu egy meglehetősen immobil elem, amit az is mutat, hogy a teljes talajszelvény összes Cu tartalmában viszonylag kis eltérés mutatkozik. A Cu tartalom szoros kapcsolatban van a talajszerkezettel, hiszen a könnyű homokos talajban kevesebb Cu található, mint az agyagos talajok esetében. A talajok általában – talaj pH-tól függően – számos formában kötik a Cu-t.

A kutatás célkitűzései az alábbiak voltak:

- Értékelni a Cu-el szennyezett talaj lehetséges használatát a bioenergia-termelésben, fitoremediációs eljárás során.
- Tanulmányozni a növekvő Cu koncentrációjú vízben, valamint a Cu-el szennyezett talajon nevelt olasz nád ökotípusok növekedési dinamikáját.
- Meghatározni a Cu toxicitás küszöbértékét az olasz nád biomassza növekedésében.
- Kiszámolni az olasz nád ökotípusok transzport és biokoncentrációs faktorát, illetve eltávolítási hatékonyságát Cu esetén.
- Értékelni a különböző olasz nád ökotípusok epigenetikai módosulásokból származó Cu toleráló képességét.
- Mérti az olasz nád ökotípusok remediációs hatékonyságát Cu-el szennyezett víz esetén.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Növényanyagok származási helye

Jelen munkában négy olasz nád ökotípus lett bevonva, melyek morfológiailag hasonlóak.

- Blossom (Bl) ökotípus: Dél-Karolinából (USA)
- 20SZ és STM ökotípusok Újszentmargitáról származik, Magyarország (Pro-Team Kft)
- ESP ökotípus Spanyolországból származik (Biotek Kft K-12)

A kísérletekben alkalmazott olasz nád palánták *in vitro* szomatikus embriogenezis útján lettek szaporítva, a Dél-Karolinai Egyetem szabadalmát alapul véve (Márton and Czakó, 2002). A Blossom ökotípusú embrigén kallusztenyészetet a Dél-Karolinai Egyetemről kaptuk. A többi ökotípus esetében a MOP Biotech Kft. (Nyíregyháza, Magyarország) biztosította az embriogén kalluszokat. Az összes, kísérletben vizsgált ökotípus növényanyaga a Debreceni Egyetem, Növényi Biotechnológiai Tanszék, Orsós Ottó laboratóriumában lett szaporítva embriogén kallusztenyészetekből indítva.

Az olasz nád ökotípusok réztoleranciáját *in vitro* körülmények között MS complex (Murashige and Skoog, 1962) táptalajon vizsgáltuk, kiegészítve növekvő koncentrációjú rézzel réz-szulfát formájában. A kísérletekhez hasonló nagyságú (5 cm magas) palántákat választottunk Márton and Czakó (2004; 2007) munkái alapján.

2.2. *In vitro* kísérletek

Egy *in vitro* kísérletet állítottunk be annak érdekében, hogy vizsgáljuk az olasz nád (BL és 20SZ) ökotípusok Cu eltávolító hatékonyságát Cu-zel szennyezett víz esetén, illetve, hogy monitorozzuk a Cu hatásait az olasz nád ökotípusok növekedési dinamikájára.

2.2.1. Kísérleti elrendezés és nevelési feltételek

Kísérleti elrendezésként randomizált komplex blokk elrendezést (RCBD) alkalmaztunk, ahol minden egyes cső két növényt tartalmazott, illetve a kezelések ötszörös ismétlésben kerültek beállításra. A kezelések a következők voltak: kontroll (Cu nélkül) és hat különböző réz dózis, ahol a Cu réz (II)-szulfát-pentahidrát ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) formában került alkalmazásra a következő adagokban: 0, 1, 2, 3, 5, 10 és 26,8 mg L⁻¹ Cu. Ökotípusonként (BL és 20SZ) két, közel azonos morfológiai jellemzőkkel

rendelkező fiatal olasz nád palántát ültetettünk át a tápoldatot tartalmazó autoklávozott csövekbe ($2,5 \times 25$ cm) a Márton és Czako (2004; 2007) által leírtak szerint. A növényeket gnotobiotikus körülmények között, 6 hétig neveltük. A növényeket tartalmazó csöveket $41 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ fényintenzitású fehér fluoreszcens lámpák alá helyeztük, ahol a megvilágítás/sötét periódus 16/8 h volt, illetve a hőmérséklet periodicitása $30/27^\circ\text{C}$ (nappal/éjjel) volt. A relatív páratartalom 75 % volt.

2.3. Ex vitro kísérlet

Tenyészedényes kísérletet állítottunk be üvegházi körülmények között 2013. július és november között, ahol a kísérlet során 1 kg-os műanyag edényeket használtunk annak érdekében, hogy felmérjük a vizsgálandó olasz nád mindhárom ökotípusának (STM, BL, ESP) növekedési hatékonyságát az emelkedő Cu kezelések hatására. Ezen kívül vizsgáltuk a magas rézterhelés alatt nevelt olasz nád biomassza-termelését azzal a céllal, hogy értékeljük a Cu-el szennyezett talajok megújuló energiatermelés irányába való terelését a fitoremediáció egyik további előnyeként. A kísérlet során randomizált komplex blokk design-t (RCBD) használtunk, illetve a kezelések öt ismétlésben kerültek beállításra.

2.3.1. Kísérlet beállítás és kezelések

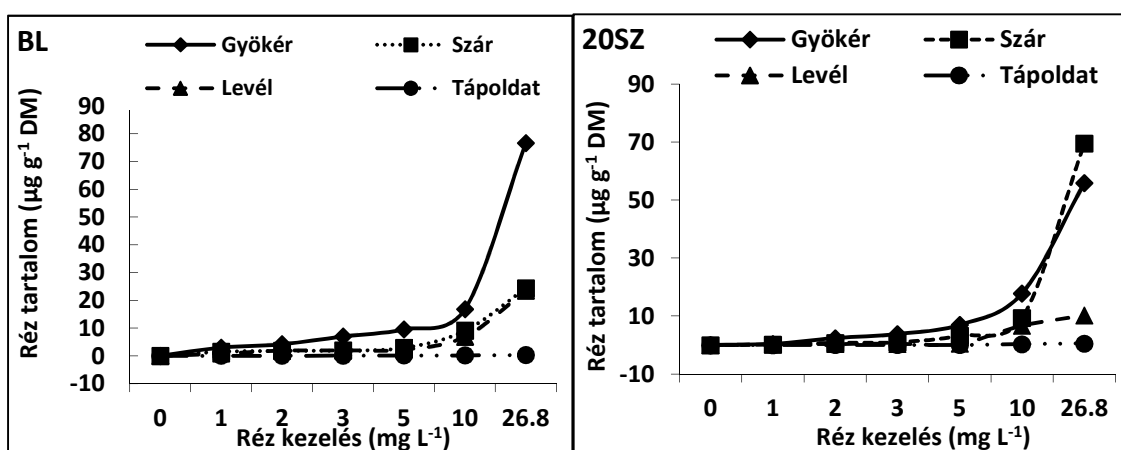
A kísérlet során homokot (kvarc, SiO_2) használtunk tápközegként (talaj, mint tápközeg volt használatos). Az alkalmazott homok a magyar piacról származik. Minden egyes műanyag edényt közel 1 kg homokkal töltöttünk fel. A kísérlet során a Cu kezeléseknél réz (II)-szulfát-pentahidrátot ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) alkalmaztunk. Négy különböző Cu szintet állítottunk be: 100, 200, 300 és 400 mg Cu kg^{-1} szemben a kontroll kezeléssel, ami nem tartalmazott Cu-t. Ökotípusonként két-két növény került egy edénybe. Az öntözés naponta történt desztillált vízzel a szántóföldi vízkapacitás 75%-ig. A tápanyagutánpótlást tápoldat formájában biztosítottuk, ennek összetétele: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 10 mg kg^{-1} ; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 10 mg kg^{-1} ; K_2HPO_4 10 mg kg^{-1} ; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 2.6 mg kg^{-1} ; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2 mg kg^{-1} ; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,5 mg kg^{-1} ; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,1 mg kg^{-1} . A kísérlet időtartama négyhónapig tartott, ez idő alatt két alkalommal felvételeztük az új rügyek számát, a növény hosszát, illetve a levelek számát.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. *In vitro* kísérletek

3.1.1. Cu transzport a növényben

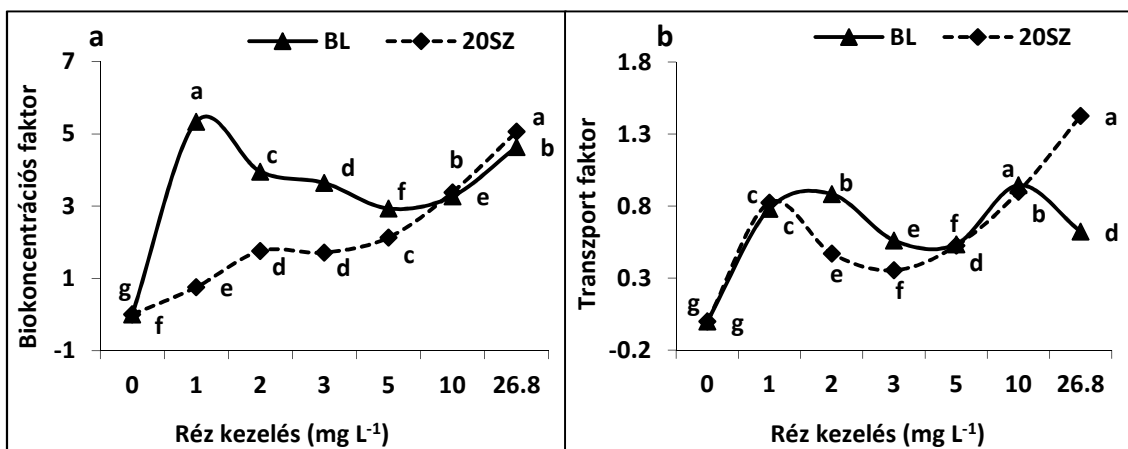
Általánosságban elmondható, hogy a fémek szennyezett vízből történő eltávolítása számos folyamaton keresztül megy végbe, ide értendő a szedimentáció/koaguláció, a szűrés, a növényi felvétel/eltávolítási hatékonyság, az adszorpció, a szilárd vegyületek képződése, a kationcsere és a mikrobiák által közvetített reakciók, így különösen az oxidációs folyamatok összessége (Pei-ying et al., 2010). A különböző növényi részekben és a tápközegben mért réz koncentrációkat az 1. ábra mutatja be. Az olasz nád (*Arundo donax* L.) BL és 20SZ ökotípust 6 hétig különböző dózisú Cu-el kezeltük, amelynek hatására a különböző növényi szervek réz-tartalma (mg kg^{-1}) lineárisan növekedett. Ahol a Cu koncentrációja (1 mg L^{-1}) alacsony volt, ott a gyökér, a szár és a levél Cu-tartalma 2,99, 1,50 és 0,84 volt a BL ökotípus esetén, illetve 0,41, 0,16, és 0,19 volt a 20SZ ökotípusnál. A $26,8 \text{ mg L}^{-1}$ kezelésnél a gyökér, a szár és a levél Cu tartalma 76,57, 24,28, 23,44, valamint 55,91, 69,49 és 10,18 volt a BL és a 20SZ ökotípusnál, külön-külön. A réz felhalmozódását a különböző növényi részekben mindkét ökotípus (BL és 20SZ) ugyanolyan tendenciával mutatta. A réz akkumuláció a következő sorrendben alakult: tápoldat < levéllemez < szár < gyökér. Az anyagmérleg mindkét ökotípusnál összhangban volt a szakirodalommal (Wu Qi et al., 2012).



1. ábra: Cu koncentráció a BL és 20SZ ökotípusok különböző növényi szerveiben és a tápoldatban, 6 hét után.

3.1.2. Cu transzport és akkumuláció a BL és a 20SZ ökotípusban

A bioakkumulációs és transzlokációs faktorok a BL és a 20SZ ökotípusnál is magas Cu-transzport és Cu-akkumulációs hatékonyságot mutattak, adott mennyiségű oldat esetén (2a, b ábra). A BL és a 20SZ ökotípusnál a bioakkumulációs faktor (BF) 1-nél nagyobb volt, ahol a legmagasabb becült érték a BL és a 20SZ ökotípusnál, az 1 és a 26,8 mg L⁻¹ Cu kezelésnél 5,34 és 5,06 volt, egyenként. Ezzel szemben a legalacsonyabb érték 2,93 és 0,76 volt az 5 és az 1 mg L⁻¹ kezelésnél, a BL illetve a 20SZ ökotípusnál, egyenként. A bioakkumulációs faktor becült értékei lineárisan növekedtek a tápközeghez adott növekvő Cu koncentrációk hatására a 20SZ ökotípusnál, ezzel jelezve, hogy a 20SZ ökotípus jelentős mennyiségben képes eltávolítani a rézet a magas koncentrációjú Cu-el szennyezett vizekből. Azonban a BL ökotípusnál a bioakkumulációs faktor a tápközegben lévő réz koncentrációk hatására ingadozott, mivel a legmagasabb becült érték 5,34 volt, amit a legalacsonyabb réz kezelésnél (1 mg L⁻¹) tapasztaltunk, továbbá a növekvő réz koncentrációk hatására csökkent a bioakkumulációs faktor értéke az 5 mg L⁻¹ koncentrációig, majd ismét növekedett a 26,8 mg L⁻¹ kezelésnél, ahol az értéke 4,64 volt. Másrészt a transzport faktor (TF) mindkét ökotípusnál közel 1 volt, kivéve a 20SZ legmagasabb Cu kezelését (26,8 mg L⁻¹), ahol a TF értéke 1,43 volt. A transzport faktor legnagyobb számított értéke 0,95 és 1,43 volt a 10 és 26,8 mg L⁻¹ kezeléseknél, illetve a BL és a 20SZ ökotípusnál. Hasonló eredmények találhatók a szakirodalomban a Cu-szennyezett talajokon nevelt olasz nád esetén, ahol a kalkulált transzport faktorok szintén kisebbek voltak, mint 1 (Wu Qi et al., 2012).



2 ábra: A különböző koncentrációjú Cu-el kezelt BL és 20SZ ökotípusok kalkulált relatív Biokoncentrációs faktor. Duncan's test at $p < 0.05$.

3.1.3. Eltávolítási hatékonyság és akkumulációs százalék

Az adatok egyértelműen mutatják, hogy a BL ökotípusnál a Cu elsősorban a gyökerekben halmozódott fel (51,4-65,1%), majd a szárban (17,9-28,2%) és a levelekben (15,7-24,4%). A BL ökotípushoz hasonlóan, a 20SZ ökotípusnál is, a Cu főként a gyökerekben (41,2-73,8%), majd a szárban (18,4-51,3%), és a levelekben (7,5-19,7%) akkumulálódott (1. táblázat). A Cu akkumulációs százalékok átlagos értékeit nézve arra következtetünk, hogy a különböző réz kezelések hatására az ökotípusok különböző növényi részei a felvett réz közel 59,3%-át a gyökérben (a BL ökotípusnál), 28,2%-át a szárban, valamint 12,5%-át a levellemezben akkumulálták. Addig a 20SZ ökotípus növényeiben az akkumulálódott Cu a következők szerint alakult: 58,6 % a gyökérben, 22,6 % a szárban és 18,9 % a levellemezben. Ennek okán fontos, hogy amikor az olasz nádat fitoremediációs célokra használják, a gyökereket (rizómák) teljes mértékben eltávolításuk a tápközegből, akár szennyvízről, akár talajról van szó. A fent említett adatokból egyértelműen látszik, hogy mindkét ökotípus jó jelöltnek bizonyult a Cu-el szennyezett vizek kezelésére.

1. táblázat: A különböző Cu koncentrációk hatása az eltávolítási hatékonyságára (RR) és az akkumulációs százalékra (AP) a BL és a 20SZ ökotípus esetén.

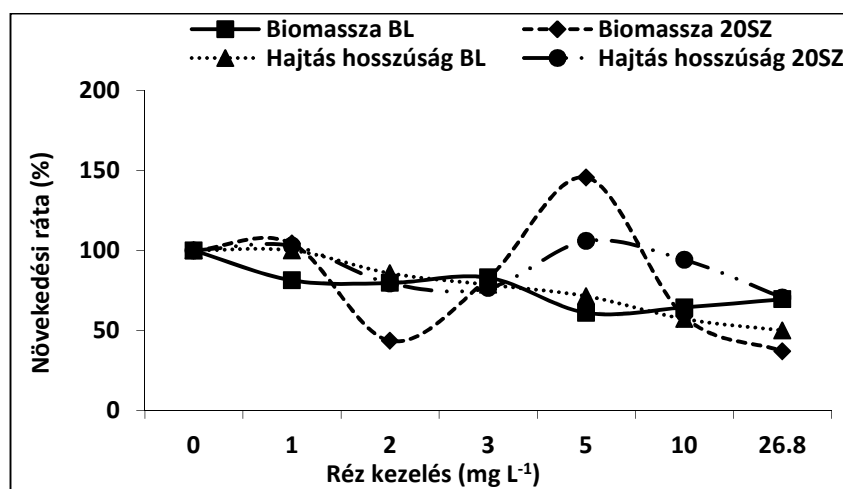
Cu (mg L ⁻¹)	Bioakkumulációs százalék (%)						Eltávolítási hatékonyság	
	BL ökotípus			20SZ ökotípus			BL ökotípus	20SZ ökotípus
	Gyökér	Szár	Levél	Gyökér	Szár	Levél		
0	0.0g	0.0f	0.0f	0.0g	0.0f	0.0f	0.0g	0.0d
1	56.1d	28.2	15.7e	54.8d	20.5de	24.8a	98.5b	100.0a
2	53.1e	22.5	24.4a	68.0b	21.4d	10.6c	96.6f	100.0a
3	64.0b	17.9	18.0d	73.8a	18.4e	7.8d	97.5d	100.0a
5	65.1a	19.6	15.3e	65.6c	30.1b	4.4e	97.2e	100.0a
10	51.4f	27.6	21.0b	52.7e	27.6c	19.7b	98.2c	97.0c
26.8	61.6c	19.5	18.9c	41.2f	51.3a	7.5d	98.8a	98.0b

Duncan's test at $p < 0.05$.

3.1.4. Cu-érzékenység és növényi növekedés

A jelen kutatás során a tápközeg Cu koncentrációjának emelkedésével a BL és a 20SZ ökotípusnál megmutatkozott a koncentráció-válasz kapcsolat (hajtás biomassza és szár hossz), amelyet a 3. ábra szemléltet. A kapott eredmények szerint a tápoldat

növekvő Cu koncentrációja mindkét ökotípus növekedését kismértékben csökkentette. Azonban a BL ökotípus érzékenyebb volt a tápközegben lévő növekvő Cu koncentrációra, mint a 20SZ ökotípus. Fokozatos csökkenést mértünk a hajtás biomassa százalékát illetően, a kontroll növényekhez viszonyítva. A BL ökotípusnál, a $26,8 \text{ mg L}^{-1}$ kezelésnél 30%-os csökkenést mértünk a hajtás biomassa esetén a kontroll növényhez képest. Ezzel ellentétben a 20SZ ökotípushoz tartozó növények sokkal toleránsabbak voltak, mivel 45,7%-os növekedést figyeltünk meg a hajtás biomassa esetén az 5 mg L^{-1} kezelésnél, illetve több mint 63%-os csökkenést tapasztaltunk a hajtás biomassa tekintetében, a legmagasabb kezelésnél. A szár hosszának teljesítménye hasonló volt a hajtás biomasszához mért eredményekhez.

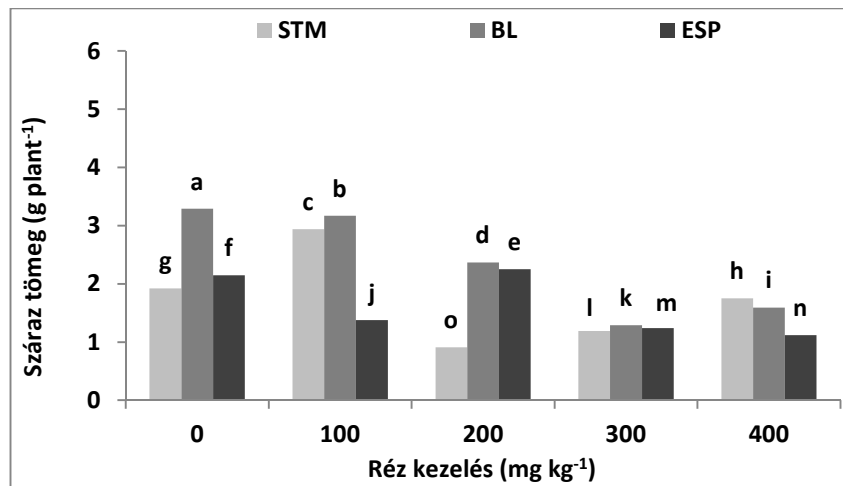


3. ábra: A réz koncentrációk hatása az olasz nád BL és 20SZ ökotípusok növekedésére (hajtás biomassa és szár hossz). A növekedés a Cu-mentes kontroll százalékában van kifejezve.

3.2. *Ex vitro* kísérlet üvegházban

3.2.1. Az olasz nád ökotípusok száraz tömege

BL ökotípusnál a gyökér száraztömeg csökkenését találtuk a növekvő Cu dózissal fordítottan arányosan (4. ábra). Az STM ökotípusnál a 100 mg kg^{-1} Cu kezelés növelte a gyökérzet száraz tömegét, azonban a többi kezelésnél alacsonyabb száraz tömeget mértünk a kontroll növényhez képest. Az ESP növényeknél, a 200 mg kg^{-1} kezelésnél figyeltük meg a legnagyobb száraz tömeget, illetve a legalacsonyabb gyökér száraz tömeget a 400 mg kg^{-1} kezelésnél mértük (4. ábra).

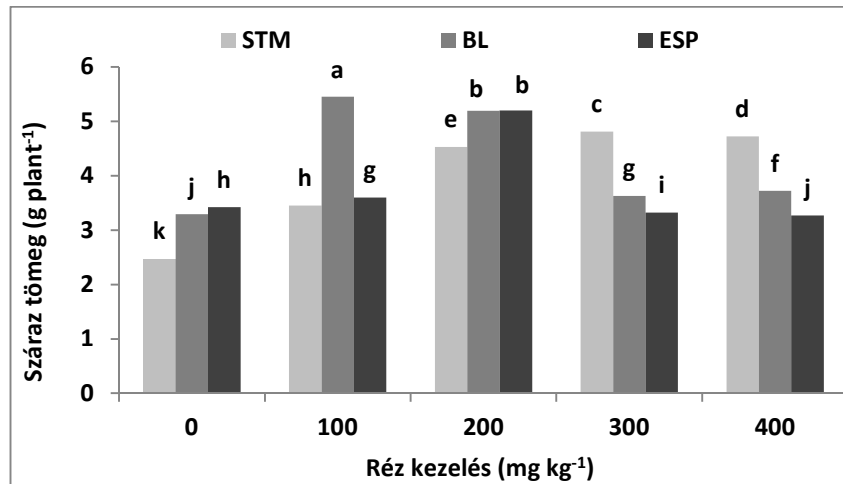


4. ábra: Növekvő Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) gyökérzetének száraz tömege a kísérlet bontáskor követően. Duncan's test at $p < 0.05$.

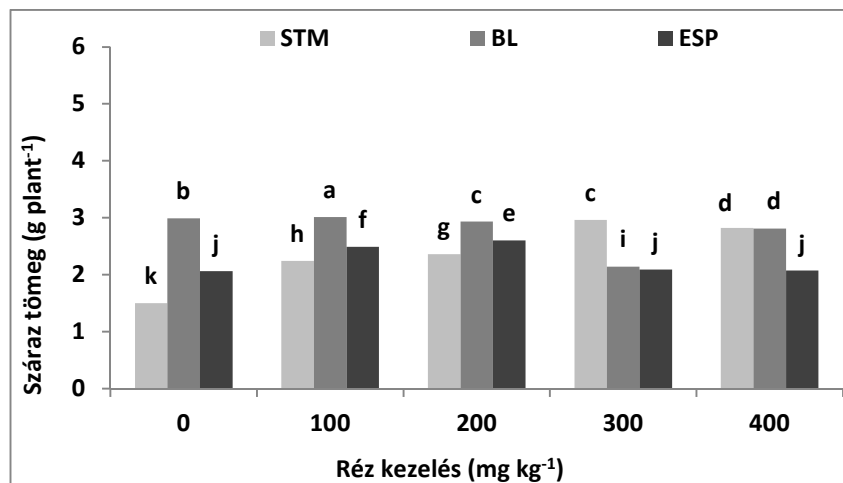
A vizsgált olasz nád ökotípusok gyökérzetének száraz tömegével ellentétben a növekvő Cu dózisok pozitívan hatottak a hajtás száraz tömegére. Mindegyik ökotípus hajtásának száraz tömege nagyobb volt a kontroll növényekéhez képest. A tápközeg Cu szintjének növekedésével az STM, a BL és az ESP hajtások száraz tömege szignifikánsan növekedett. A BL hajtás esetén a legnagyobb száraz tömeg 5,45 g növény⁻¹ volt, amelyet a 100 mg kg⁻¹ kezelésnél figyeltünk meg. Az STM hajtásnál a legnagyobb érték 4,81 g növény⁻¹ volt, amit akkor mértünk, amikor a Cu koncentrációja a tápközegben 300 mg kg⁻¹ volt. Az ESP növényeknél, a 200 mg Cu kg⁻¹ kezelésnél volt a legnagyobb a hajtás száraz tömege, melynek értéke 5,20 g növény⁻¹ (5. ábra). Érdekes módon, az alacsony Cu koncentráció hatására a BL és az ESP ökotípus esetén a növények hajtásának száraz tömege magasabb értékeket mutatott az STM növényekéhez képest. 200 mg kg⁻¹-nál nagyobb Cu koncentráció esetén az STM növényeknél mértük a legnagyobb hajtás száraz tömeget, míg a BL és az STM hajtások száraz tömege élesen csökkent a növekvő Cu szintek hatására. Ezek az eredmények bizonyítják, hogy az STM ökotípus sokkal toleránsabb a 200 mg kg⁻¹-nál magasabb Cu szintek esetén, ezért az STM alkalmazása ajánlott fitoremediációs célokra extrém magas Cu szennyezés esetén.

Az STM, a BL és az ESP ökotípusok levéllemezőnek száraz tömegét a 6. ábra mutatja. Az STM növények levéllemezőnek száraz tömege a tápközeg emelkedő réztartalmával együtt növekedett 100 – 400 mg kg⁻¹ koncentrációtartományban. Ezzel

szemben Blossom ökotípusnál nem tapasztaltuk változást a levéllemezek száraztömegében a növekvő réz-dózisok hatására (6. ábra).



5. ábra: Az olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) hajtásának száraz tömege a tápközeg réztartalmának függvényében. Duncan's test at $p < 0.05$.

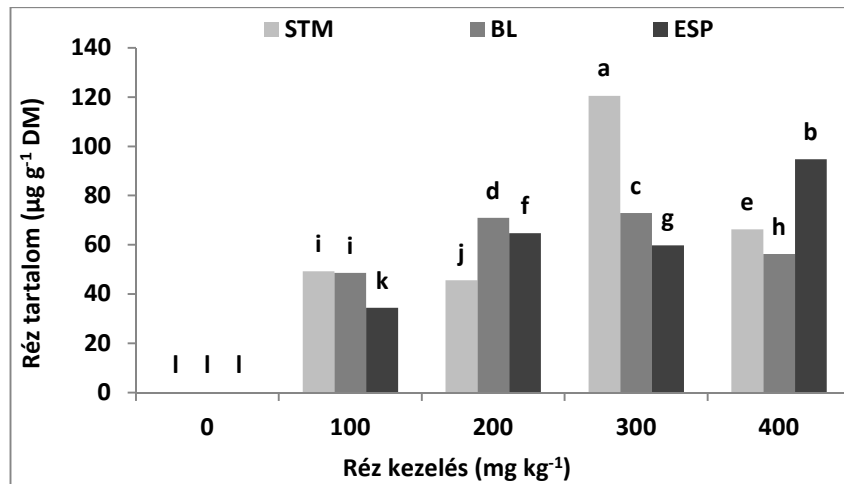


6. ábra: Az olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) levéllemezéinek száraz tömege a kísérlet bontáskor, emelt Cu koncentrációjú táptalajon való nevelést követően. Duncan's test at $p < 0.05$.

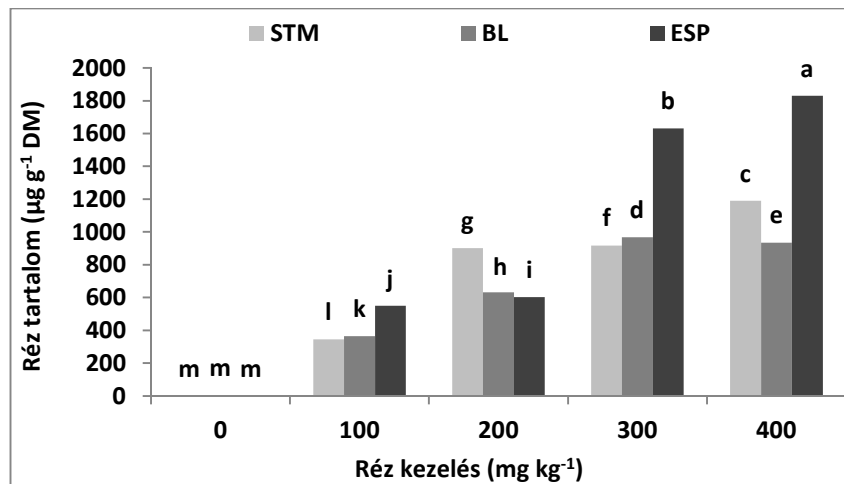
3.2.2. Cu tartalom az olasz nád ökotípusok különböző növényi szervekben

Mértük az anyanövény hajtásának összesen Cu tartalmát, amit a 7. ábra szemléltet. Általánosságban elmondható, hogy a vizsgált ökotípusok szerveinek Cu tartalma emelkedett a tápközeghez adott növekvő Cu szintek hatására. STM és BL ökotípusok anyanövényeiben a legnagyobb Cu tartalom a 300 mg kg⁻¹ kezelésnél volt mérhető, ESP növényeknél a legnagyobb Cu tartalmat a 400 mg kg⁻¹ kezelésnél figyeltük meg.

Ami a gyökérszövet réztartalmát illeti mindhárom ökotípus esetében szignifikáns emelkedést realizáltunk a tenyészedényekben növekvő Cu koncentrációk hatására (8. ábra). A gyökérszövet Cu-tartalma a 400 mg Cu kg⁻¹ kezelésnél 3-szor több volt, mint a vizsgált ökotípusok gyökérszövetének Cu tartalma a 100 mg Cu kg⁻¹ kezelésnél.



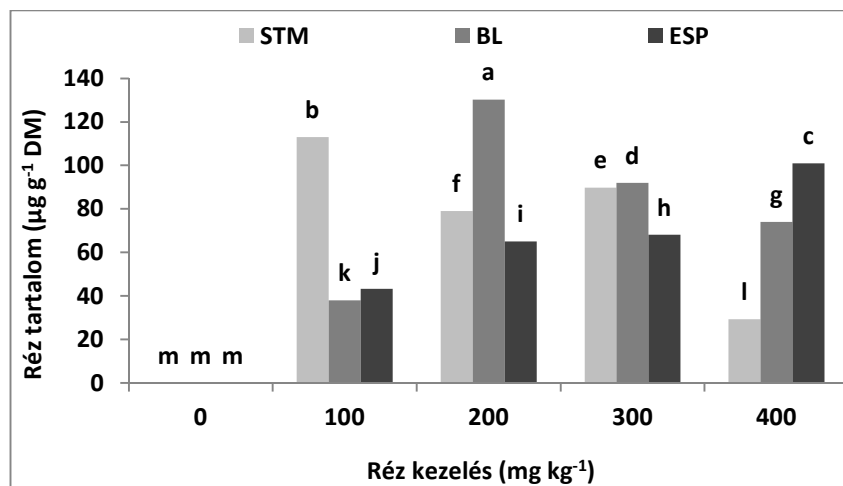
7. ábra: Az emelt Cu koncentrációjú tápközegben nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) anyanövényeinek Cu tartalma. Duncan's test at $p < 0.05$.



8. ábra: A különböző Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) gyökérszövetének Cu tartalma. Duncan's test at $p < 0.05$.

Az ESP ökotípus növényei rendelkeztek a nagyobb Cu-felvételi képességgel a szennyezett talajon végzett vizsgálat szerint, mivel ennél az ökotípusnál volt a legnagyobb a gyökérszövet Cu tartalma a többi ökotípushoz képest a 100, 300 és 400 mg kg⁻¹ kezeléseknél, ahol az alábbi értékeket mértük: 549, 1631 és 1829 µg g⁻¹. A legnagyobb (400 mg kg⁻¹) Cu kezelésnél az STM növény 1191 µg g⁻¹ Cu-t halmozott fel, többet, mint a BL ökotípus, mely 935 µg g⁻¹-ot akkumulált, azonban mindkét érték

alacsonyabb volt az ESP növény gyökérzetében felhalmozott Cu mennyiségénél. Az ESP ökotípus gyökérzetének magas Cu-tartalmának oka az lehet, hogy a gyökérzet száraz tömege alacsony volt, ami szerint az alacsony száraz tömegben magas Cu-tartalom található. Másrészt az STM ökotípus gyökérzete a Cu-et magas százalékban – 71 % illetve 95 % – akkumulálta a 100 és 400 mg kg⁻¹ kezelésnél, egyenként, melynek átlaga 85 %. A BL növény által felvett összes Cu mennyiségéből a gyökérszövetekben 78 - 89 % közötti Cu volt jelen, az ESP növény a gyökérzetében közel 88 - 96 % Cu-t akkumulált, melynek átlaga 91 %. Eszerint annak érdekében, hogy biztosítsuk a Cu-szennyezett talaj teljes mértékű tisztítását, az olasz nád ökotípusokat, a fitoremediáció után, a gyökérzetükkel együtt el kell távolítani a talajból, mivel a legnagyobb mennyiségű Cu a gyökérzetben akkumulálódik. Ez magyarázat lehet arra nézve, hogy a lombzat miatt nem mutatott Cu toxicitási tüneteket a vizsgálat során alkalmazott olasz nád ökotípusok hajtásrendszere esetén.

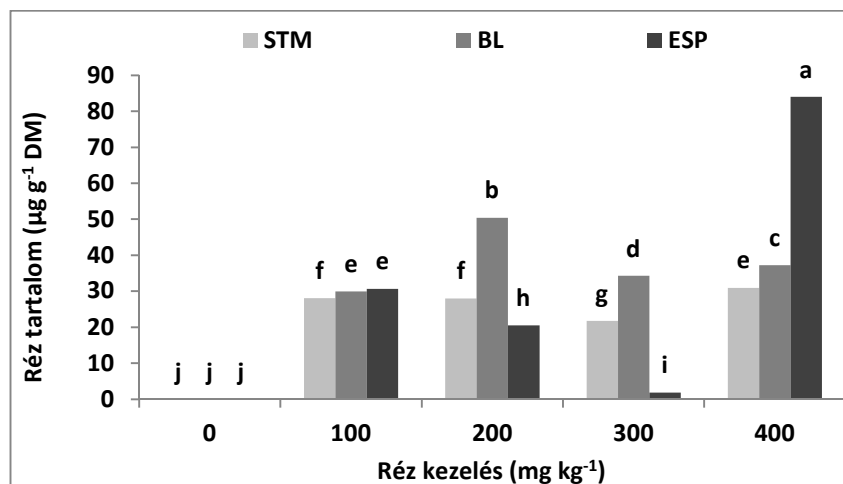


9. ábra: A különböző Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) szárának Cu-tartalma. Duncan's test at $p < 0.05$.

Az ESP növények hajtásában lévő Cu-tartalom egyenesen arányos volt a tápközegben lévő Cu dózissal, ezen eredményeket a 9. ábra szemlélteti. Ahogy a Cu növekedett a kezeléseken, az ESP növény több, 43 - 101 µg g⁻¹ közötti Cu-t halmozott fel a szöveiben a 100 - 400 mg Cu kg⁻¹ kezeléseknél, egyenként. Az ökotípusok között a legnagyobb (130 µg g⁻¹) Cu tartalmat a BL ökotípus hajtásában figyeltük meg, a 200 mg kg⁻¹ kezelésnél. Az STM növénynél a legnagyobb Cu-tartalmat (113 µg g⁻¹) a hajtásban mértük, a 100 mg kg⁻¹ kezelés esetén. Általánosságban elmondható, hogy az STM és BL ökotípus nem mutatott egyértelmű trendet a növekvő Cu kezelése hatására, ezen esetekben bizonytalan tendenciát figyeltünk meg. Az STM hajtások Cu-tartalma

alacsony volt a többi vizsgált ökotípushoz képest, amely a következménye lehet annak, hogy e növények száraz tömege magas volt a BL és az ESP ökotípus hajtások száraz tömegének tekintetében.

Alapvetően a növekvő Cu szintek nem növelték lényegesen a vizsgált ökotípusoknál a levéllemez Cu tartalmát, kivéve az ESP növényeket, ahol a legmagasabb ($84 \mu\text{g g}^{-1}$) Cu-tartalmat a legnagyobb (400 mg kg^{-1}) Cu-kezelésnél mértük. Azonban az ESP ökotípus levéllemezében, a $300 \text{ mg Cu kg}^{-1}$ kezelésnél mértük a legalacsonyabb ($2 \mu\text{g g}^{-1}$) Cu tartalmat a vizsgált ökotípusok között, melynek oka lehet, hogy a mérésekhez történő mintaelőkészítéskor hiba történt (10. ábra). Nagy vonalakban elmondható, hogy szignifikáns különbségeket tapasztaltunk az alkalmazott kezelésekben, az ökotípusok között, azonban nem állítható fel egyértelmű trend a növekvő Cu kezelések hatására, a levéllemez Cu-tartalmában. A 200 és a 300 mg kg^{-1} kezelésnél, a BL ökotípus esetén mértük a legnagyobb Cu-tartalmat a levéllemez szövetében, azonban az ESP ökotípusnál a 100 és a 400 mg kg^{-1} kezeléseknél volt a legnagyobb a Cu-tartalom. Az STM levéllemezének Cu tartalma szokatlanul csökkent a tápközegbe adagolt növekvő Cu koncentráció hatására, 300 mg kg^{-1} Cu-ig, azonban a 400 mg kg^{-1} kezelésnél ismételt növekedést tapasztaltunk, illetve itt mértük a legmagasabb Cu tartalmat a levéllemezben, minden kezelés között, az STM ökotípus esetén (10. ábra). Ez arra utal, hogy az STM levéllemezeknek magas a száraz tömege, ami hígítja a Cu tartalmat a növényi szövetekben.



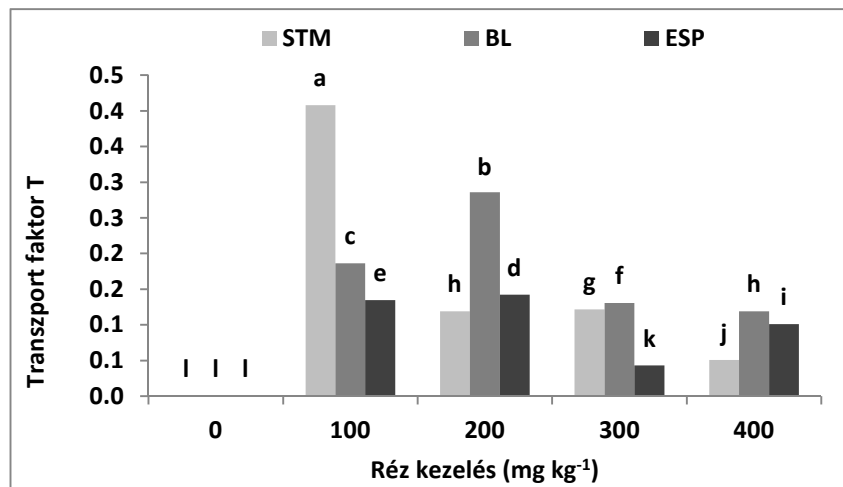
10. ábra: A különböző Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) levéllemezének Cu-tartalma. Duncan's test at $p < 0.05$.

3.2.3. Cu-felvétel és fitoremediációs indexek

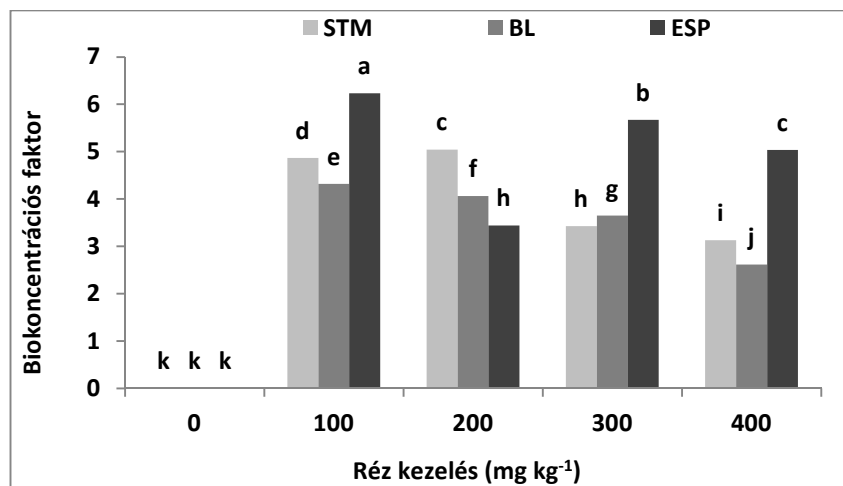
Ez rámutat arra, hogy egy teljes és hatékony fitoremediációs folyamat elvégzése érdekében a teljes növényt el kell távolítani, beleértve a gyökérzetet is, melynek talajból való kiemelése kötelező. A becsült TF értékek először növekedtek, majd szignifikánsan csökkentek a növekvő, 200 mg kg⁻¹ feletti Cu koncentrációk hatására, az összes vizsgált ökotípus esetén. Amíg a TF érték a BL és az ESP esetén, a 200 mg kg⁻¹ kezelésnél volt a legnagyobb: 0,29 és 0,14, addig az STM ökotípusnál, a 100 mg kg⁻¹ Cu koncentrációnál volt a legmagasabb a TF érték: 0,41 (11. ábra). Az STM növénynél a legnagyobb TF értéket a legalacsonyabb Cu koncentrációnál figyeltük meg, míg a BL és az ESP növények esetén a legnagyobb Cu koncentrációnál transzlokálódott nagyobb mennyiségű Cu, a hajtás szövetekben. A TF ezen eredményei megegyeztek a szakirodalomban leírtakkal (Wu Qi et al., 2012). A TF értékekkel ellentétben, a jelenlegi kutatásban használt összes olasz nád ökotípus, illetve minden Cu kezelés esetén a biodúsítási faktor (BF) becsült értékei nagyobbak voltak, mint egy. A növekvő Cu koncentráció szignifikáns különbségeket eredményezett a BF értékekben, a vizsgált ökotípusok között. A BL növényeknél, a 400 mg kg⁻¹ Cu koncentrációnál, a legkisebb BF érték 2,6 volt (12. ábra). Azonban az STM és a BL ökotípusok esetén a kalkulált BF értékek először növekedtek, majd szignifikánsan csökkentek a növekvő, 200 mg kg⁻¹ feletti Cu koncentrációk hatására. Az ESP növényeket a táptalajhoz adott növekvő Cu szintek kevésbé befolyásolták negatívan, mivel a 100 - 400 mg kg⁻¹ közötti Cu koncentrációnál az alábbi BF értékeket figyeltük meg: 6,2, 3,4, 5,7 és 5,0. Ezen adatokból világosan látszik, hogy a BL és az STM ökotípushoz képest az ESP ökotípus nagyobb Cu biokoncentráló kapacitással rendelkezik, a 200 mg kg⁻¹ Cu koncentrációjú kezelés kivételével. A növekvő Cu szinteken nevelt olasz nád biodúsítási faktor eredmények a szakirodalomban dokumentált adatokhoz hasonlóak voltak (Wu Qi et al., 2012).

Lényegében a vizsgált ökotípusok mindegyikénél hasonló Cu-eltávolítási hatékonyságot figyeltünk meg. Az eltávolítási hatékonyság (RR) értékek minimum 0,81 és maximum 0,89 között mozogtak az STM, a BL és az ESP ökotípusok esetén (13. ábra). Azonban a növekvő 100 - 400 mg kg⁻¹ közötti Cu koncentrációk hatására az RR értékek esetén nem tapasztaltunk nagy különbségeket a vizsgált olasz nád ökotípusok között. Az STM növények eltávolítási hatékonysága a 100 - 400 mg kg⁻¹ Cu-kezelések

hatására csökkent, az RR értékek pedig a következőképpen alakultak: 0,88, 0,82, 0,81 és 0,83. Az ESP növények RR értékei fokozatosan csökkentek a növekvő Cu szintek hatására. A BL esetén nem találtunk egyértelmű trendet az RR értékekre.



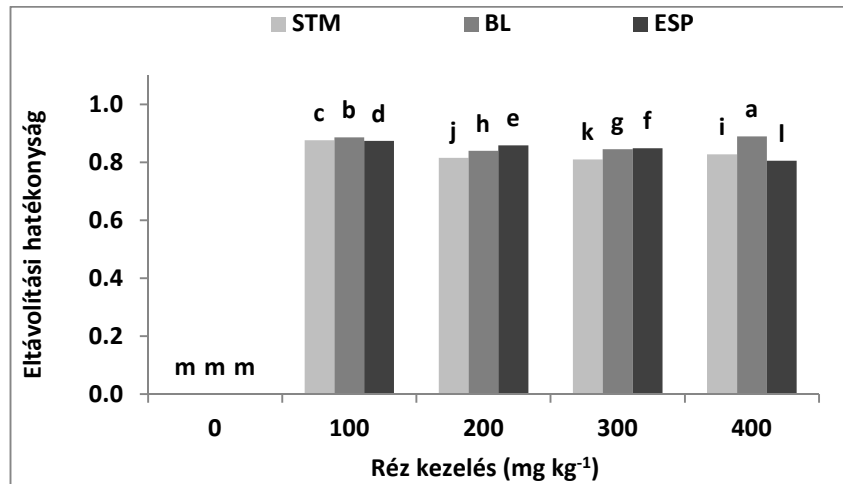
11. ábra: Az emelkedő Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) Cu felvételére számított transzport faktor értékek. Duncan's test at $p < 0.05$.



12. ábra: Az emelkedő Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) Cu felvételére számított biodúsítási faktor értékek. Duncan's test at $p < 0.05$.

Az RR érték a 100 mg kg⁻¹ kezelésnél 0,89 volt, aztán csökkent és a 300 mg kg⁻¹ kezelésnél elérte a 0,85-t, majd újra emelkedett és értéke a legnagyobb Cu kezelésnél (400 mg kg⁻¹) 0,89 volt. A kapott eredmények arra utalnak, hogy az olasz nád ökotípusok alkalmasak lehetnek fitoremediációs célokra rézzel szennyezett

területeken. Ezzel együtt további hosszútávú, szabadföldi kísérletek szükségesek következtetéseink megerősítéséhez.

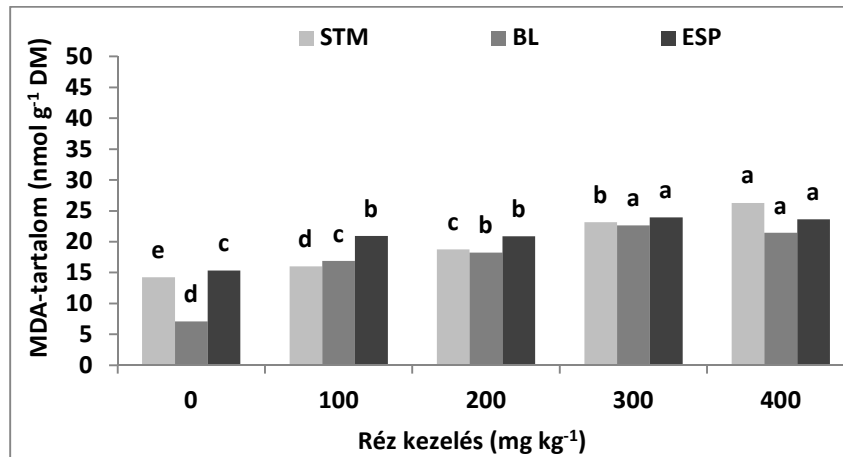


13. ábra: Az emelkedő Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) Cu eltávolítási hatékonysága. Duncan's test at $p < 0.05$.

3.2.4. Az olasz nád ökotípusok malondialdehid-tartalma

Az STM, a BL és az ESP ökotípusok gyökérzetének MDA-tartalma szignifikánsan növekedett a tápközeghez adott emelkedő Cu adagok hatására a kontroll növényhez képest. Az STM és az ESP kontroll növények gyökérzetében csaknem azonos MDA-tartalmat mértünk, ugyanakkor a BL ökotípus esetén az MDA-tartalom közel a fele volt az STM és az ESP ökotípusénak (14. ábra). A Cu-kezelések alkalmazásával, minden ökotípusnál közel azonos MDA-tartalmat mértünk a gyökérzetben, amely azt jelzi, hogy a Cu kezelések erősebb hatással voltak a BL növény gyökérzetére, mint az STM és az ESP növényekre. Az STM gyökerek MDA-tartalma egyenesen növekedett az emelkedő Cu koncentrációk hatására, mennyisége a 400 mg kg⁻¹ kezelésnél 26,3 nmol g⁻¹ volt, a kontrollnál mért 14,2 nmol g⁻¹-hoz képest. Az ESP növények gyökereinek MDA-tartalma az emelhető Cu szintek hatására növekedett, mivel a kontroll növénynél 15,4 nmol g⁻¹ MDA-tartalmat mértünk, illetve a 400 mg Cu kg⁻¹ kezelésnél az MDA-tartalom 23,6 nmol g⁻¹ volt. A BL ökotípus kissé eltérő választ adott a növekvő Cu dózisokra az STM és az ESP ökotípushoz képest. A kontroll növény MDA-tartalma 7,1 nmol g⁻¹ volt és fokozatos növekedést mutatott 22,6 nmol g⁻¹-ig, amit a 300 mg kg⁻¹ Cu koncentrációnál figyeltünk meg, aztán kismértékű csökkenést tapasztaltunk a 400 mg kg⁻¹ Cu koncentrációnál. A vizsgált ökotípusoknál, az összes kezelésnél, az ESP ökotípusnál volt a legmagasabb a gyökér MDA-tartalma, kivéve a

legmagasabb Cu kezelést, ahol az STM növénynél mértünk a legnagyobb MDA-tartalmat.

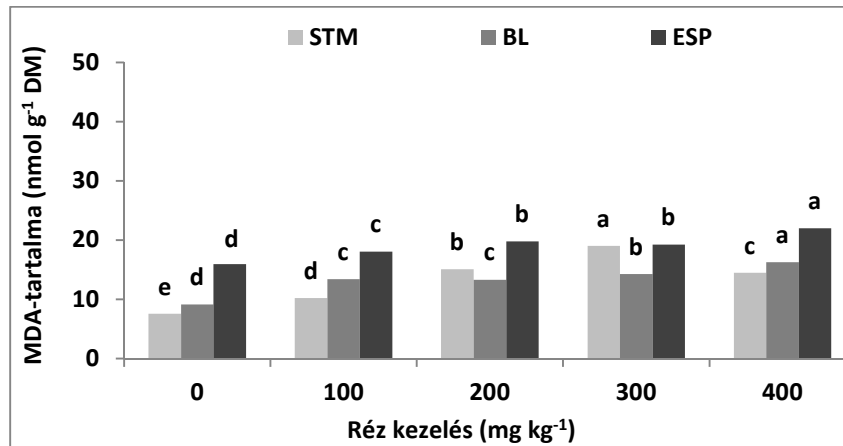


14. ábra: Az emelkedő Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) gyökérzetének malondialdehid (MDA)-tartalma. Duncan's test at $p < 0.05$.

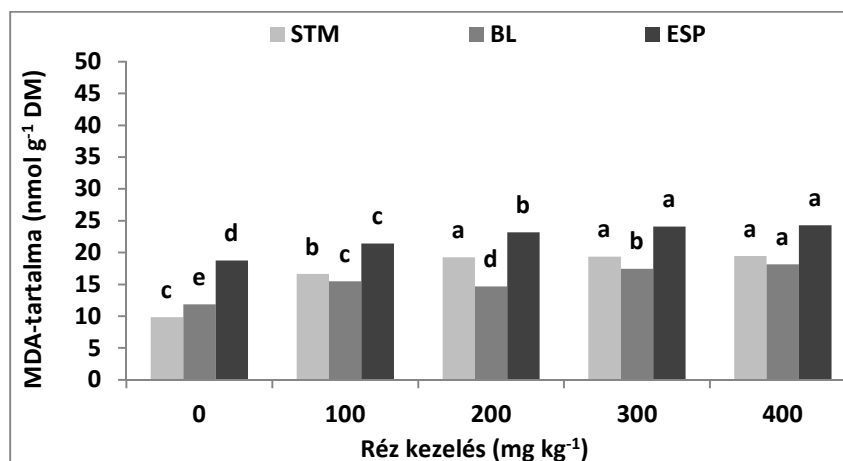
A különböző Cu koncentrációjú táptalajon nevelt STM, BL és ESP ökotípus hajtásának MDA-tartalma szignifikánsan növekedett a kontroll kezeléssel szemben (5. ábra). A kontroll kezelésnél, az ESP hajtásában mértük a legnagyobb MDA-tartalmat, az STM és a BL ökotípushoz képest, amelynek értéke közel 2-szerese volt az STM-nél mértnek és kevesebb, mint 2-szerese a BL-nél mért adatoknak. Amikor a Cu adagok emelkedtek a tápközegben a hajtás MDA-tartalma fokozatosan emelkedett minden vizsgált ökotípusnál. Az STM ökotípus eltérő választ adott a növekvő Cu koncentrációkra, a BL és az ESP-hez képest. A legnagyobb MDA-tartalmat a BL és az ESP növényekben, a legnagyobb Cu-kezelésnél (400 mg kg⁻¹) mértük, valamint az STM hajtásokban a legnagyobb MDA-tartalmat a 300 mg kg⁻¹ Cu koncentrációnál tapasztaltuk. Ezek az eredmények azt jelzik, hogy az STM nagyobb rezisztenciát mutat a magasabb Cu koncentrációkra, mint a BL és az ESP.

Az STM, a BL és az ESP levéllemezekben mért MDA-tartalom szignifikánsan emelkedett a növekvő Cu szintek hatására. Minden ökotípus esetén a kontroll növények levéllemezében mértük a legalacsonyabb MDA tartalmat a Cu-kezelésekhez képest. 9,8 nmol g⁻¹ MDA-t mértünk az STM kontroll növény levéllemezében, ugyanakkor a legnagyobb Cu kezelés esetén 19,5 nmol g⁻¹ MDA volt mérhető. A BL levéllemezekben az MDA-tartalom 11,9 és 18,2 nmol g⁻¹ volt, a 0 és a 400 mg Cu kg⁻¹ kezeléseknél, egyenként. Az STM levéllemezekben a legnagyobb MDA-tartalmat a Cu-mentes

kezelésnél mértük, melynek értéke elérte a 18,7 nmol g⁻¹-t. Ez az érték a Cu kezelések hatására (a 400 mg kg⁻¹ kezelésig) 24,3 nmol g⁻¹-ra emelkedett (16. ábra).



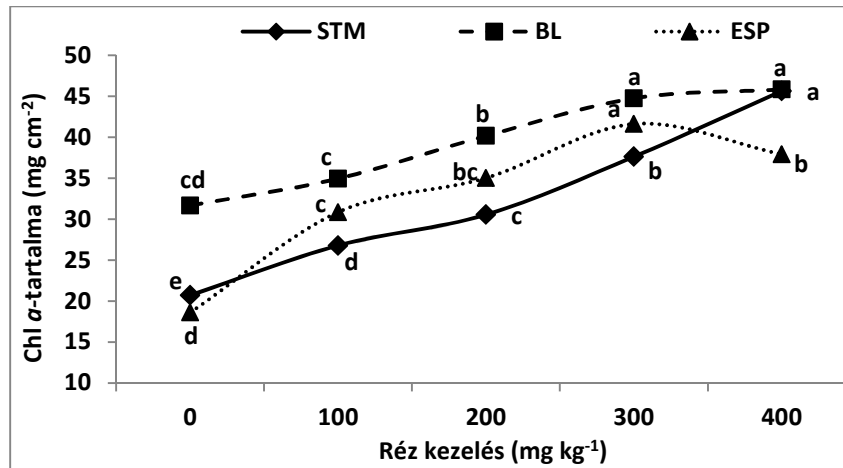
15. ábra: Az emelkedő Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) hajtásának malondialdehid (MDA) tartalma. Duncan's test at $p < 0.05$.



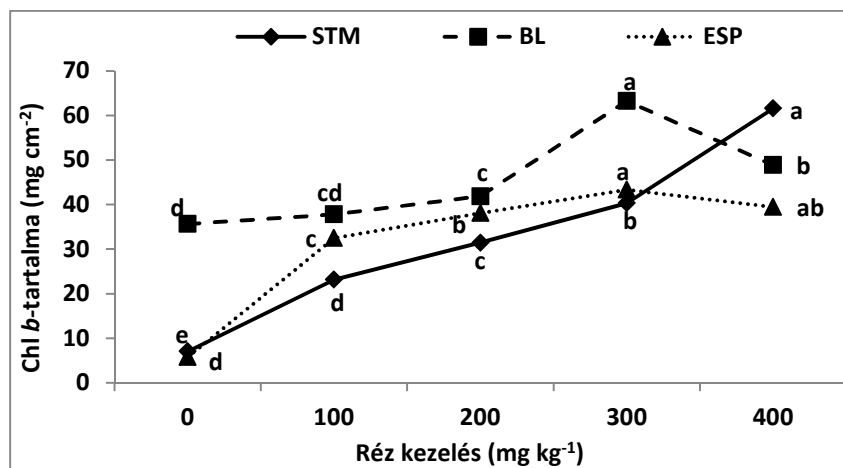
16. ábra: Az emelkedő Cu koncentrációkon nevelt olasz nád ökotípusok (STM, BL és ESP) levéllemezének malondialdehid (MDA) tartalma. Duncan's test at $p < 0.05$.

3.2.5. Klorofilokat a és b és a karotinoidok tartalmát olasz nád ökotípusok

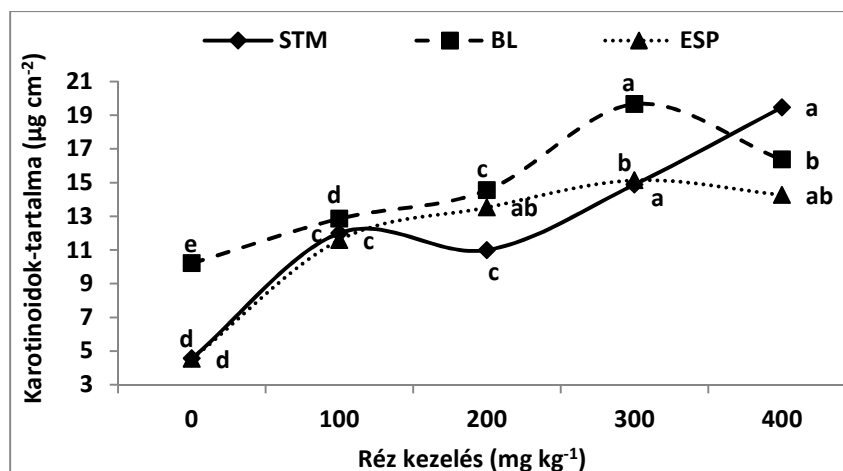
Ugyanakkor növekvő tendenciát figyeltünk meg a fotoszintetikus pigmenttartalomban (chl *a*, *b* és karotinoidok) is BL, STM és ESP ökotípusok esetében egyaránt (17, 18 és 19. ábra). A legmagasabb chl *a* értékeket STM és BL ökotípusoknál 400 mg Cu kg⁻¹kezeléseknél találtunk, míg ESP ökotípus esetében 300 mg Cu kg⁻¹ – nál. Az Fv/Fm arányban, mely a növények aktuális fotokémiai hatékonyságára utal, nem találtunk szignifikáns különbséget a kontrollt és az egyes kezeléseket vizsgálva (2. Táblázat).



17. ábra: Tartalom klorofill *a* leveleiben olasz nád ökotípusai (STM BL és ESP).
Duncan's test at $p < 0.05$.



18. ábra: Tartalom klorofill *b* leveleiben olasz nád ökotípusai (STM BL és ESP).
Duncan's test at $p < 0.05$.



19. ábra: Tartalom karotinoidok leveleiben olasz nád ökotípusai (STM BL és ESP).
Duncan's test at $p < 0.05$.

2. táblázat: Hatékonyságát PSII (Fv / Fm) sötét adaptált levelek olasz nád ökotípusai kezelt emelt Cu-koncentráció esetén.

Réz kezelés (mg kg ⁻¹)	Szeptember			Október		
	<i>STM</i>	<i>BL</i>	<i>ESP</i>	<i>STM</i>	<i>BL</i>	<i>ESP</i>
0	0.80cde	0.81abcd	0.81bcde	0.83ab	0.83ab	0.83ab
100	0.83ab	0.83a	0.80de	0.82abc	0.83ab	0.79d
200	0.82abcd	0.82abcd	0.81bcde	0.83ab	0.83ab	0.81bcd
300	0.83ab	0.82abcd	0.79e	0.83ab	0.84a	0.80cd
400	0.83abc	0.84a	0.81bcde	0.83a	0.84a	0.82ab

Duncan's test at $p < 0.05$

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

4.1. *in vitro* kísérletek

- Jelen kutatás során alkalmazott olasz nád ökotípusok (BL és 20SZ) nagy toleranciát mutattak a növekvő Cu koncentrációkra, 26,8 mg L⁻¹-ig, a Cu-terhelt szennyvízben történő nevelés során.
- 10 mg Cu L⁻¹ koncentrációig, egyik ökotípus esetén sem tapasztaltunk Cu toxicitási tüneteket a hajtáson és a gyökéren, azonban a gyökérzet esetén a 26,8 mg Cu L⁻¹ kezelésnél tapasztaltunk néhány elváltozást.
- Mindkét olasz nád ökotípus képes volt mesterségesen szennyezett vízből történő Cu felvételére. Az ökotípusok rézeltávolítási hatékonysága 96.6 % és 100 % között volt.
- Az összes felvett Cu-tartalom közel 50 %-a a gyökérzetben akkumulálódott, mindkét ökotípus esetén.
- A transzport és a biodúsítási faktorok értékei nagyobbak voltak, mint 1, különösen azokban az esetekben, amikor a Cu koncentrációja nagyobb volt, mint 5 mg L⁻¹.
- Ezek az eredmények arra utalnak, hogy mindkét ökotípus – lévén, hogy nem élelmiszeripari növények – alkalmas lehet fitoremediációs célokra történő hasznosításra Cu-szennyezett vizek esetén.

4.2. *Ex vitro* kísérlet

- Az olasz nád szomatikus embriógenézissel létrehozott STM, BL és ESP epigenetikus klonális vonalai a normál módon növekedtek az emelkedő Cu koncentrációjú kezelések hatására, 400 mg kg⁻¹-ig.
- Egyik ökotípusnál sem tapasztaltunk Cu-toxicitási tüneteket a föld feletti rész (hajtás) esetén.
- A legnagyobb Cu-koncentráció hatására (400 mg kg⁻¹) minden ökotípus gyökérzete szignifikánsan csökkent.
- A tápközeg növekvő Cu szintjei szignifikánsan növelték minden ökotípus hajtásának hosszát.
- Az olasz nád ökotípusok gyökérzetének száraz tömege kismértékben csökkent a növekvő Cu dózisok hatására, a kontroll növényhez képest, azonban a hajtás és a levéllemez száraz tömege szignifikánsan növekedett, amikor a Cu koncentrációja a tápközegben emelkedett.
- Mindhárom ökotípus ugyanolyan Cu felvételi hatékonyságot mutatott, ahol a különböző Cu koncentrációkkal történő kezelés során az összes Cu 82,8 - 88,0 %-át távolították el.
- Az eltávolított Cu nagy része az olasz nád ökotípusok gyökérzetében akkumulálódott.
- A 100 mg kg⁻¹-nél nagyobb Cu koncentráció esetén a BL növény transzport faktora (TF) nagyobb volt, mint az STM és ESP-é, azonban minden TF érték kisebb volt, mint 1.
- A biodúsítási (BF) értékek nagyobbak voltak, mint a referencia érték, amelynek értéke 1, továbbá az ESP esetén tapasztaltuk a legnagyobb BF értéket, az STM és a BL növényekhez képest.
- A fotoszintetikus pigmentek, úgy mint a klorofill-*a* és a karotionoid tartalom növekedett az emelkedő Cu szintek hatására, azonban a növekvő Cu dózisok toxikus nyomást gyakoroltak a klorofill-*b* tartalomra.
- Az ökotípusok különböző növényi részeiben az összfehérje-tartalmat szignifikánsan befolyásolta a tápközeg emelkedő Cu szintje.
- A növekvő Cu koncentrációk negatívan befolyásolták a malondialdehid (MDA) tartalmat minden növényi részben, az STM, a BL és az ESP ökotípus esetén

egyaránt, mivel a Cu kezeléseknél nagyobb MDA tartalmat mértünk a kontroll kezeléshez képest.

Az összes fent említett adat alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az olasz nád ökotípusok jelentős kapacitással képesek növekedni nagy mennyiségű Cu-el terhelt közegben. Emellett jelentős Cu eltávolítási potenciállal rendelkeznek Cu-szennyezett talajok esetén. Ennek okán az olasz nád ökotípusok alkalmasak lehetnek fitoremediációs célokra történő hasznosításra figyelembe véve jelentős biomassza termelésüket is.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- Olasz nád ökotípusok használatával a Cu-szennyezett vizek szennyezésmentesíthetők, mivel ezek az ökotípusok képesek a Cu-t a gyökérből a hajtásba transzlokálni.
- A szennyvizek megtisztíthatók olasz nád ökotípusok alkalmazásával, mivel szignifikáns mennyiségű Cu-t képesek eltávolítani, amelynek aránya elérte a 92 - 99 %-ot.
- Az olasz nád ökotípusok képesek megtisztítani a rézzel erősen szennyezett (400 mg kg^{-1}) talajt (kvarchomok – talajszerű nevelőközeg esetében), hatékonyságuk a 82,6 - 88,0 % tartományban mozog.
- A növekvő Cu koncentrációk pozitívan befolyásolták a fotoszintetikus pigmentek mennyiségét, amely jelzi, hogy a vizsgált olasz nád ökotípusok képesek tolerálni a magas Cu szinteket, 400 mg kg^{-1} koncentrációig.
- A Cu dózisok $100 - 400 \text{ mg kg}^{-1}$ tartományban nem befolyásolják negatívan a biomassza termelését, így a talaj remediálásával együtt energetikai célokra hasznosítható nagy biomasszára lehet számítani.

6. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- Az olasz nád növények jelentős remediációs hatást mutattak a Cu-szennyezett vizek esetén.
- Az olasz nád növények Cu-szennyezett talajokon történő alkalmazásának lehetősége indokolt, mivel nevelésük során magas toleranciát mutattak a növekvő Cu szintekre.

- Az olasz nád jó jelöltnek tekinthető Cu-szennyezett talajok helyreállítására és remediálására, mivel jelentős Cu felvételi kapacitást és hatékonyságot mutatott szennyezett talajok esetén.
- Javasolt az olasz nád, mint bioenergia növény alkalmazása fitoremediációs eljárások során, mivel jelentős biomassza-termelésre képes, különösen Cu-szennyezett talajok esetén.

7. SZAKIRODALMI JEGYZÉK

- Márton L. – Czakó M. (2002):* Szelektált egyszikű nemzetségek hosszan tartó totipotens tenyésztete. [Magyar szabadalmi bejelentés P0500786]
- Márton L. – Czakó M. (2004):* Sustained Totipotent Culture of Selected Monocot Genera. USA, patent 6,821,782.
- Márton L. – Czakó M. (2007):* Sustained Totipotent Culture of Selected Monocot Genera. USA, patent 7,303,916.
- Pei-ying X. – Guo-xin L. – Wen-ju L. – Chang-zhou Y. (2010):* Copper uptake and translocation in a submerged aquatic plant *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. *Chemosphere*. **81**. 1098–1103. doi:10.1016/j.chemosphere.2010.09.023
- Wu Qi Z. S. – Cheng L. – Wu G. (2012):* Physiology and phytoaccumulation of *Arundo donax* subjected to exogenous copper. *Acta Laser Biol Sintica*. **21**. 4. 360–364. doi:10.3969 /j.issn.1007-7146.2012.04.013

8. PUBLIKÁCIÓK



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/99/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Elhawat Nevien Adel
Neptun kód: Y50KNA
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Növénytermesztési- és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészlet(ek) (4)

1. Alshaal, T., **Elhawat, N.**, Domokos-Szabolcsy, É., Kátai, J., Márton, L., Czakó, M., El-Ramady, H., Fári, M.G.: Giant Reed (*Arundo donax* L.): A Green Technology for Clean Environment.
In: Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants. Ed.: A.A. Ansari et al., Springer Science + Business Media, LLC, Switzerland, 3 - 20, 2015. ISBN: 9783319103945
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-10395-2_1
2. El-Ramady, H.R., Alshaal, T.A., Shehata, S.A., Domokos-Szabolcsy, É., **Elhawat, N.**, Prokisch, J., Fári, M., Márton, L.: Plant Nutrition: From Liquid Medium to Micro-farm.
In: Sustainable Agriculture Reviews volume 14: Agroecology and Global Change. Ed.: Harry Ozier-Lafontaine, Magalie Lesueur-Jannoyer, Springer, Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London, 449-508, 2014. ISBN: 9783319060156
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06016-3>
3. El-Ramady, H.R., Alshaal, T.A., Amer, M., Domokos-Szabolcsy, É., **Elhawat, N.**, Prokisch, J., Fári, M.: Soil Quality and Plant Nutrition
In: Sustainable agriculture reviews volume 14: Agroecology and Global Change. Ed.: Harry Ozier-Lafontaine, Magalie Lesueur-Jannoyer, Springer, Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London, 345-448, 2014. ISBN: 9783319060156
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06016-3>
4. Alshaal, T.A., El-Khir, A.M.A., **Elhawat, N.**, El-Essawi, T.M., El-Ramady, H.R.: Integrated nutrient management and soil quality.
In: Contemporary environmental readings: towards sustainability for agriculture. Hassan R. El-Ramady, Neama A. Abd Alla, Said A. Shehata, LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 1-121, 2013. ISBN: 9783659342905



Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (1)

5. **Elhawat, N.**, Alshaal, T., Kratz, S., Domokos-Szabolcsy, É., El-Ramady, H., Prokisch, J., Eszenyi, P., Sztrik, A., Babka, B., Fári, M.: Ecotoxicology of Copper in Horticultural Soils: A Review. *Int. J. Hortic. Sci.* 19 (1-2), 7-18, 2013. ISSN: 1585-0404.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (3)

6. **Elhawat, N.**, Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., El-Ramady, H., Márton, L., Czakó, M., Kátai, J., Balogh, P., Sztrik, A., Molnár, M., Popp, J., Fári, M.G.: Phytoaccumulation potentials of two biotechnologically propagated ecotypes of *Arundo donax* in copper-contaminated synthetic wastewater. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21 (12), 7773-7780, 2014. ISSN: 0944-1344.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-2736-8>
IF:2.757 (2013)
7. Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., Márton, L., Czakó, M., Kátai, J., Balogh, P., **Elhawat, N.**, El-Ramady, H., Geröcs, A., Fári, M.: Restoring Soil Ecosystems and Biomass Production of *Arundo donax* L. under Microbial Communities-Depleted Soil. *Bioenerg. Res.* 7 (1), 268-278, 2013. ISSN: 1939-1234.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12155-013-9369-5>
IF:3.398
8. Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., Márton, L., Czakó, M., Kátai, J., Balogh, P., **Elhawat, N.**, El-Ramady, H., Fári, M.: Phytoremediation of bauxite-derived red mud by giant reed. *Environ. Chem. Lett.* 11 (3), 295-302, 2013. ISSN: 1610-3653.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10311-013-0406-6>
IF:1.906

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

9. **Elhawat N.**, Alshaal T., Domokos-Szabolcsy É., El-Ramady H., Antal G., Márton L., Czakó M., Balogh P., Fári M.: Biomassza termelés alternatív lehetőségei szennyezett talajokon. In: XXI. Növénynevelési Tudományos Napok - összeállítások. Kiadta a Magyar Tudományos Akadémia. Magyar Tudományos Akadémia, Mártonvásár, 108, 2015.





10. Alshaal T., Domokos-Szabolcsy É., Márton L., Kátai J., **Elhawat N.**, Antal G., Geröcsi A., Fári M.:
Az olasz nád (*Arundo donax* L.) szomatikus növények talaj mikrobiális közösségei és szerepük a fitoremediációs folyamatokban.
In: The proceeding of XIX. Növénynevelési Tudományos Nap. Szerk.: Hoffmann Borbála, Kollaricsné Horváth Margit, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 72, 2013.

11. **Elhawat N.**, Domokos-Szabolcsy É., Alshaal T., Molnár M., Antal G., Márton L., Fári M.:
Szomatikus embrió eredetű olasz nád (*Arundo donax* L.) klaszterek in vitro sötűrése két ökotípus összehasonlításával.
In: The proceeding of the XIX. Növénynevelési Tudományos Nap : összefoglalók. Szerk.: Hoffmann Borbála, Kollaricsné Horváth Margit, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 85, 2013. ISBN: 9789639639508

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (9)

12. Alshaal, T., **Elhawat, N.**, El-Ramady, H., Domokos-Szabolcsy, É., Kátai, J., Márton, L., Czákó, M., Fári, M.: Influence of Giant Reed (*Arundo donax* L.) Plantation on Soil Quality in Different Regions: A Comparison Study.
In: Proceedings of the 11th International Conference "Climate Changes and Sustainable Development of Natural Resources. Ed.: by IUSS, International Union of Soil Sciences, Kafrelsheikh, Egypt, 80, 2014].

13. El-Ramady, H., Abd Alla, N., Alshaal, T., **Elhawat, N.**, Domokos-Szabolcsy, É., Prokisch, J., Sztrik, A., Fári, M.: Selenium: Its Implications to Human Health through Soils under Climate Changes.
In: Proceedings of the 11th International Conference "Climate Changes and Sustainable Development of Natural Resources. Ed.: by IUSS, International Union of Soil Sciences, Kafrelsheikh, Egypt, 54, 2014.

14. Domokos-Szabolcsy, É., El-Ramady, H.R., Alshaal, T., Márton, L., Zsira, O., Garab, G., Veres, S., Prokisch, J., **Elhawat, N.**, Abd Alla, N., Fári, M.: Tolerance-Efficiency and Soil Remediation Potential of Giant Reed (*Arundo donax* L.)
In: Proceedings of the 11th International Conference "Climate Changes and Sustainable Development of Natural Resources. Ed.: by IUSS, International Union of Soil Sciences, Kafrelsheikh, Egypt, 55, 2014.





15. El-Ramady, H.R., Abd Alla, N.A., Alshaal, T.A., **Elhawat, N.**, Domokos-Szabolcsy, É., Prokisch, J.: Nano-selenium: From in vitro to micro farm experiments.
In: Proceedings of the International Conference on Biogeochemical processes at air-soil-water interfaces and environmental protection. Ed.: by ESSC, European Society for Soil Conservation, [Imola-Ravenna, Italy], 76, 2014.
16. Kurucz, E., Domokos-Szabolcsy, É., Antal, G., Kaprinyák, T., Alshaal, T., **Elhawat, N.**, Abd Alla, N., El-Ramady, H., Fári, M.: Biotechnology assisted breeding of endangered virginia mallow (*Sida hermaphrodita* L.) in Central Europe.
In: International Conference : Climate changes and sustainable development of natural resources : book of abstracts. Ed.: by Kafrelsheikh University, Kafrelsheikh University, Egypt, 81-82, 2014.
17. Fári, M., Antal, G., Kurucz, E., Kaprinyák, T., Alshaal, T., **Elhawat, N.**, Abd Alla, N., El-Ramady, H., Domokos-Szabolcsy, É.: Biotechnology of new dedicated biomass crops: Plantbiogen program in Hungary.
In: International Conference : Climate changes and sustainable development of natural resources : book of abstracts. Ed.: by Kafrelsheikh University, Kafrelsheikh University, Egypt, 22, 2014.
18. Fári, M.G., Antal, G., Alshaal, T., **Elhawat, N.**, El Ramady, H., Kurucz, E., Domokos-Szabolcsy, É.: Biotechnology of Biomass Supply Chain: Central European Perspective.
In: Proceedings of the Pannonian Plant Biotech Association Workshop "Plant for the future". Ed.: Pannonian Plant Biotech Association, 14-15,
19. **Elhawat, N.**, Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., Kátai, J., Márton, L., Czakó, M., Molnár, M., Fári, M.G.: Comparative performance of copper uptake by two ecotypes of giant reed (*Arundo donax* L.) grown on hydroponic culture.
In: Proceedings of the Pannonian Plant Biotech Association Workshop "Plant for the future". Ed.: by Pannonian Plant Biotech Association, Pannonian Plant Biotech Association, [Csk-Napoca], 33-34, 2013.
20. Alshaal, T., **Elhawat, N.**, Domokos-Szabolcsy, É., Kátai, J., Márton, L., Czakó, M., Geröcs, A., Fári, M.G.: Growth dynamics and biomass production of Giant Reed under different watering regimes.
In: Proceedings of the Pannonian Plant Biotech Association Workshop "Plant for the future". Ed.: by Pannonian Plant Biotech Association, Pannonian Plant Biotech Association, [Csk-Napoca], 31-32, 2013.



További Közlemények

Idegen nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (4)

21. Shehata, S.A., Hashem, M.Y., Mahmoud, G.I., Abd El-Gawad, K.F., El-Ramady, H., Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., **Elhawat, N.**, Prokisch, J., Fári, M.: Effects of Foliar Nutrition on Onion Seed Storage under Controlled Atmosphere.
Int. J. Hortic. Sci. 19 (1-2), 101-110, 2013. ISSN: 1585-0404.
22. Shehata, S.A., Hashem, M.Y., Mahmoud, G.I., Abd El-Gawad, K.F., El-Ramady, H., Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., **Elhawat, N.**, Prokisch, J., Fári, M.: Effect of Foliar Nutrition on Post-Harvest of Onion Seed under Sandy Soil and Saline Irrigation Water Conditions.
Int. J. Hortic. Sci. 19 (1-2), 85-92, 2013. ISSN: 1585-0404.
23. Shehata, S.A., Hashem, M.Y., Mahmoud, G.I., Abd El-Gawad, K.F., El-Ramady, H., Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., **Elhawat, N.**, Prokisch, J., Fári, M.: Effects of Foliar Nutrition on Onion Seed Storage under Modified Atmosphere Packages.
Int. J. Hortic. Sci. 10 (1-2), 93-100, 2013. ISSN: 1585-0404.
24. Shehata, S.A., Hashem, M.Y., Mahmoud, G.I., Abd El-Gawad, K.F., El-Ramady, H., Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., **Elhawat, N.**, Prokisch, J., Fári, M.: Foliar Nutrition and Post-Harvest of Onion Seed: Effects of storage temperatures, storage period and foliar nutrition.
Int. J. Hortic. Sci. 19 (1-2), 29-47, 2013. ISSN: 1585-0404.

Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (1)

25. El-Ramady, H., Abdalla, N., Alshaal, T., Domokos-Szabolcsy, É., **Elhawat, N.**, Prokisch, J., Sztrik, A., Fári, M., El-Marsafawy, S., Shams, M.S.: Selenium in soils under climate change, implication for human health.
Environ. Chem. Lett. 13 (1), 1-19, 2014. ISSN: 1610-3653
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10311-014-0480-4>
IF: 1.906 (2013)





Időgen nyelvű konferencia közlemény(ek) (2)

26. Fári, M., Antal, G., Kurucz, E., Kaprinyák, T., Alshaal, T., **Elhwat, N.**, Abd Alla, N., El-Ramady, H., Domokos-Szabolcsy, É.: Bioipari célra nemesítet évelő biomassza növények kutatása Debrecenben: Plantbiogen program = Research on dedicated perennial biomass crops in Debrecen : the plantbiogen program.
In: XX. Növénynemesítési Tudományos Nap : Növénynemesítés a megújuló mezőgazdaságban. Szerk.: Veisz Ottó, A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának Növénynemesítési Tudományos Bizottsága, [Budapest], 140-144, 2014. ISBN: 9789638351425
27. El-Ramady, H.R., Alshaal, T., Amer, M., Aiad, M., **Elhawwat, N.**: Significance of nutrient and water sustainability: Effect of land leveling, cut off irrigation and N- fertilization on maize yield.
In: Proceedings of International Conference of German Soil Science Society (BDG). BDG, Göttingen, 1-4, 2013.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 9,967

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 8,061

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudásmetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.04.23.

