

**Nehézfém toleráns baktériumok hatása
a növények növekedésére és a fémfelvételére**

Szerzők:

Salamon Pál

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszereda, Műszaki és Társadalomtudományi
Kar, Ipari biotechnológia szak, alapképzés, III. év

Vincze Boglárka

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszereda, Műszaki és Társadalomtudományi
Kar, Ipari biotechnológia szak, alapképzés, III. év

Témavezetők:

dr. Mara Gyöngyvér egyetemi docens,

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszereda, Műszaki és Társadalomtudományi
Kar, Biomérnöki Tanszék

dr. Salamon Rozália Veronika egyetemi docens,

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszereda, Műszaki és Társadalomtudományi
Kar, Élelmiszertudományi Tanszék

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	3
2. A kutatás célkitűzése	5
3. Anyag és módszer.....	6
3.1. Alkalmazott baktériumtörzsek.....	6
3.2. Baktériumok nehézfém-tűrő képességének vizsgálata	6
3.3. Növényi kísérletek	7
3.4. Nehézfémek hatásának kimutatása	8
3.5. Nehézfémionok bioakkumulációs mértékének meghatározása atomabszorpciós spektrofotométerrel.....	9
3.6. Statisztikai analízis.....	9
4. Eredmények és kiértékelése	9
5. Következtetések	21
Irodalomjegyzék.....	23

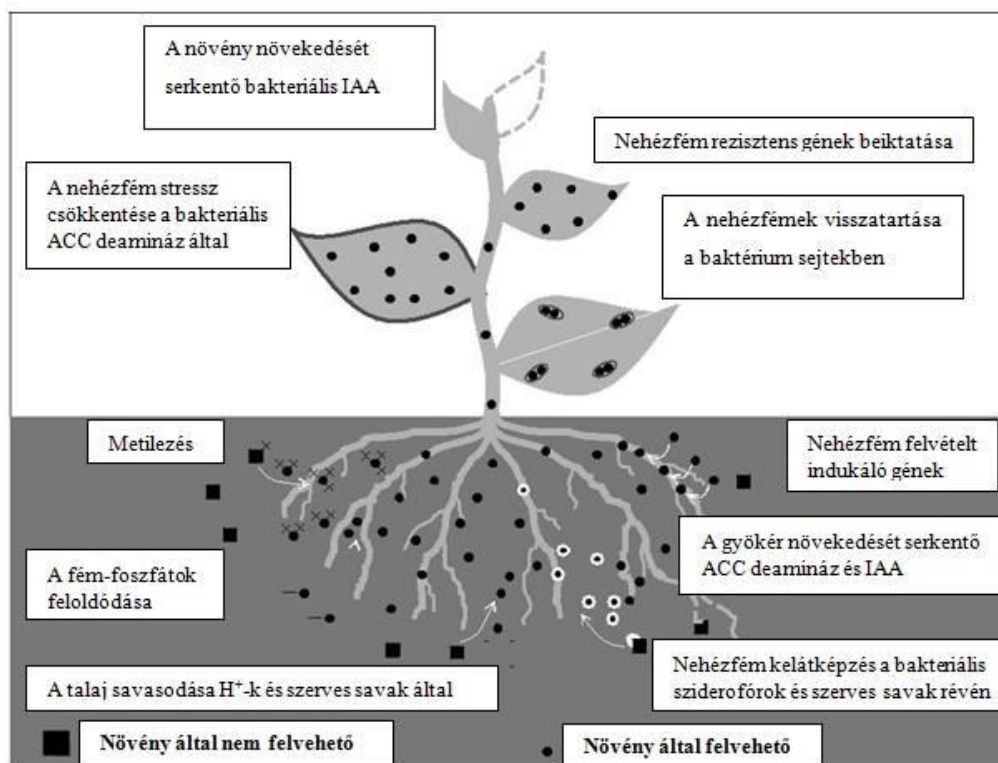
1. Bevezető

Az ipari tevékenységek, többek között a bányászat, a fosszilis tüzelőanyag használata a különböző fémek felhalmozódását okozza a talajban, a vízben és a levegőben.

A nehézfémek közül a Cd viszonylag mobilis a talajban, illetve az egyik legmérgezőbb elem. A Cd-nak még nem ismertek a biológiai funkciói a növényekben, de gátolja a növekedést, klorózt és a növény elhalását okozza, továbbá befolyásolja a tápanyag felvételt, az aktivált oxigén anyagcserét és a sejtekben zavart okoz. A talaj Cd-al való szennyezése negatív hatással van a növény-mikrobiális közösségek biodiverzitására és aktivitására (He és mtsai, 2013).

A Zn a növények számára nélkülözhetetlen mikroelem, szervezetükben az enzimek kofaktoraként játszik szerepet. Aktívan részt vesz a fehérjeanyagcserében és az auxintermelés serkentése révén a növények növekedés szabályozásában. A Zn többlet klorózt okoz, jellemző a levelek vöröses vagy sárgásbarna elszíneződése és ezáltal a növény visszamarad növekedésben.

A nagymértékű nehézfém felhalmozódás a talajban jelenünk egyik fontos leküzdhetetlen problémája, mivel ezek megmaradnak a környezetben. Az ember egészsége és a környezet helyreállítása érdekében szükséges egy új kármentesítési (remediációs) stratégia kifejlesztése. A fitoremediáció egy olyan esztétikus, költséghatékony és környezetbarát technológia, amely során a növények által kilehet vonni vagy ártalmatlanná tenni a szennyező anyagokat (He és mtsai, 2013). A *Brassica juncea* (szareptai mustár) az egyik széleskörben vizsgált növény, amely a legtöbb toxikus nehézfémre toleráns és potenciálisan használható a fitoremediációban. Baudh és Singh (2012) kutatásai igazolták, hogy a szareptai mustár és a ricinus egyaránt tolerálja a talaj magas Cd tartalmát és alkalmas Cd fitoremediációra. A ricinus ökológiailag stresszelt környezetben (szárazság és sótartalom) hatékonyabbnak bizonyult a biomassza termelés tekintetében, ennek ellenére a szareptai mustár egy egységnyi biomasszára nézve nagyobb mennyiségű Cd-t akkumulált (Baudh és Singh, 2012). Zn hiperakkumulátor fajként ismerjük a *Thlaspi caerulescens* fajt (Sessitsch, 2013). A *Sedum plumbizincicola* egy újonnan felfedezett Cd és Zn hiperakkumulátor faj, amely nagy hatékonysággal veszi fel mindkét elemet a szennyezett talajokból. Terepen végzett kísérletek bizonyították a *Sedum plumbizincicola* faj magas potenciálját a Cd és Zn extrakciójában (Li és mtsai, 2014).



1. ábra A növény-mikroba kölcsönhatás befolyásolja a nyomelemek akkumulációját a növényekben (Forrás: Sessitsch és mtsai., 2013)

Mindazonáltal számos tényező korlátozza a fitoremediáció hatékonyságát, többek között alacsony növekedési ráta és kismennyiségű növényi biomassza, a nehézfémek fitotoxicitása és korlátozott fémfelvétel. Mindez arra enged következtetni, hogy egy alternatív megoldásra van szükség a fitoremediáció kihasználására. A biomassza és a nehézfém felvétel növelésére nehézfém felhalmozó növényeket, illetve nehézfém toleráns és növényi növekedést elősegítő rizobaktériumokat (PGPR-plant growth-promoting rhizobacteria) ajánlott használni (He és mtsai, 2013).

A PGPR baktériumok számos mechanizmus által elősegítik a gazdanövény növekedését (1. ábra). Ilyen mechanizmusok a növényi növekedést serkentő anyagok termelése, például az indol-3-ecetsav (IAA), sziderofórok, 1-aminociklopropán-1-karboxil (ACC) deamináz vagy a foszfát mobilizálás képessége. A bakteriális IAA a növény növekedését serkenti, míg az ACC deamináz a nehézfém stresszt csökkenti (Sessitsch és mtsai., 2013). Ezenkívül bizonyított tény, hogy néhány baktériumfaj megváltoztatja a rendelkezésre álló nehézfém mennyiséget sziderofórok és

szerves savak termelése által (He és mtsai., 2013). A növény által nem felvehető nehézfémek metilezést, a fém-foszfátok feloldódását okozzák, illetve a talaj savasodását H^+ -k és szerves savak által (Sessitsch és mtsai., 2013).

A *Polygonum pubescens* egy újonnan felfedezett Mn-hiperakkumulátor faj, amely széleskörben elterjedt Kínában a bányák környezetében, ahol magas a Mn, Cd, Pb, Zn és a Cr. A *P. pubescens* gyökér zónájából izolált *Rahnella sp. JN6* baktériumtörzs magas Cd, Pb és Zn toleranciát mutatott laboratóriumi körülmények között. Ugyanakkor növényi növekedést serkentő hatását is kimutatták in vitro. Ezért He és mtsai. (2013) a *Rahnella sp. JN6* baktériumtörzs hatását vizsgálta a repce növekedésére és nehézfém akkumulációjára. A Cd, Pb és Zn esetén mind a föld feletti, mind a földalatti szervek nagyobb száraz tömeget és nehézfém koncentrációt mutattak a kontroll mintához viszonyítva.

A hiperakkumulátor növények nagymennyiségű nyomelemet képesek felhalmozni szöveteikben, anélkül, hogy valamilyen toxikus tünetet mutatnának. Azok a növények, melyek több mint 100 mg/kg Cd, 1000 mg/kg Cu, Co, Cr, Ni és Pb vagy több mint 10000 mg/kg Mn vagy Zn felhalmozására képesek, hiperakkumulátor fajoknak tekinthetők. Több mint 400 növényfajt azonosítottak hiperakkumulátorként, melyek 75%-a Ni-t halmoz fel bázikus talajokban (Sessitsch és mtsai., 2013).

A legegyszerűbb nyomelem toleráló mechanizmus abban áll, hogy a növény bizonyos mennyiséget akkumulál szervezetébe. Viszont egyértelmű bizonyíték a mechanizmusra az arzén toleráló növények esetében van. A legtöbb nehézfém toleráns magasabb rendű növény esetében a nyomelem a gyökér szöveteiben nagymértékben akkumulálódik. Függetlenül attól, hogy a nyomelemek leginkább a gyökérben vagy a hajtásokban halmozódnak fel, a nyomelemek tolerálása hátterében egy belső mechanizmus áll. A belső méregtelenítés a nyomelemek visszatartására alapszik, például a sejtalkotókhoz való szállításuk nem része az élettani folyamatoknak (vakuólum, sejtfal), a komplexálás a fémkötő fehérjékkel, mint például a metalotioneinek és a fitokelatinok (Sessitsch és mtsai., 2013).

2. A kutatás célkitűzése

Célunk a bab, a növényi növekedést serkentő baktériumok (PGPR) és a nehézfémek kapcsolatának felderítése. Kutatásunk első lépéseként három baktériumtörzs nehézfém

toleranciáját vizsgáltuk. A legnagyobb nehézfém toleranciával rendelkező baktériumtörzs (*Mitsuaria chitosanitabida*) hatását mértük a bab (*Phaseolus vulgaris*) növekedésére, biomasszájára, víztartalmára, nehézfém akkumulációjára nézve. A kutatás azt hívatta bizonyítani, hogy az általunk kiválasztott *Mitsuaria chitosanitabida* baktériumtörzs alkalmazható fitoextrakciós eljárás javítására.

3. Anyag és módszer

3.1. Alkalmazott baktériumtörzsek

A kísérletek kivitelezéséhez három baktériumtörzset alkalmaztunk: *Serratia proteomaculans*, *Serratia sp.* és *Mitsuaria chitosanitabida*. A *Serratia proteomaculans* (S10) baktériumtörzs növényi növekedést serkentő tulajdonságai között megemlíthetjük az acetilén redukciót, sziderofór termelést, szerves foszfor mobilizálást és az indolecetsav termelést. A *Serratia sp.* (S5) baktériumtörzs képes a szerves és szervetlen foszfát mobilizálására, indolecetsav termelésre, illetve acetilén redukcióra. A *Mitsuaria chitosanitabida* (M) baktériumtörzs mind az öt tulajdonság esetében pozitív értékeket adott (Laslo és mtsai., kézirat).

3.2. Baktériumok nehézfém-tűrő képességének vizsgálata

A baktériumok nehézfém-tűrő képességének tesztelésére Nutrient tápagart használtunk. Nehézfém forrásként $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ és $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ sókat alkalmaztunk. A Cd^{2+} esetében: 0,5 mM, 1 mM, 2 mM, 4 mM, 5 mM, 6 mM, valamint az Zn^{2+} esetében pedig 0,5 mM, 1 mM, 5 mM, 10 mM, 15 mM, 25 mM nehézfém koncentrációt állítottunk be. A baktériumtelepek átmérőjének átlagai, illetve szórásértékei a 1. táblázatban található.

1. táblázat A baktériumok nehézfém-tűrő képességének vizsgálata

Nehézfém	Koncentráció	Baktériumfajok	Telep átmérőjének átlaga (mm)
Zn	0,5 mM	Mitsuaria chitosanitabida	12,9475 ± 2,49
		Serratia sp.	9,8675 ± 2,10
		Serratia proteomaculans	10,975 ± 2,22
	1 mM	Mitsuaria chitosanitabida	10,0475 ± 0,59
		Serratia sp.	8,705 ± 0,64
		Serratia proteomaculans	9,67 ± 0,55
	5 mM	Mitsuaria chitosanitabida	6,45 ± 1,12
		Serratia sp.	0 ± 0,00
		Serratia proteomaculans	6,51 ± 1,36
Cd	0,5 mM	Mitsuaria chitosanitabida	11,215 ± 1,75
		Serratia sp.	9,0925 ± 0,55
		Serratia proteomaculans	9,845 ± 1,03
	1 mM	Mitsuaria chitosanitabida	7,2275 ± 1,63
		Serratia sp.	0 ± 0,00
		Serratia proteomaculans	6,93 ± 2,04
Kontroll		Mitsuaria chitosanitabida	15,485 ± 0,82
		Serratia sp.	12,8875 ± 0,30
		Serratia proteomaculans	11,7325 ± 0,62

3.3. Növényi kísérletek

A bab magokat előbb etil alkohollal, majd hipoklorid (6-14% aktív klór) oldattal 20 percig sterilizáltuk, majd ezt követően hatszor egymásután ultratiszta vízzel öblítettük. 28°C-on Memmert inkubátorban, Petri csészében nedves szűrőpapíron, sötétben hét napon át csíráztattuk. A kicsírázott magok közül mintaként négy, körülbelül egyformán fejlett egyed sterilizált tápanyagdús 1 l térfogatú kertészeti talajba ültettünk, melynek összetétele a 2. táblázatban látható.

2. táblázat A használt talaj pH-ja és elemi összetétele

pH	5-7
	mg/L
N	150-400
P ₂ O ₅	250
K ₂ O	250-600

Növényenként 1 ml (OD₆₀₀=1,98) baktérium szuszpenziót (*Mitsuaria chitosanitabida*) pipettáztunk a talajba a magok környezetébe.

A baktérium és a nehézfém hatásának kimutatása érdekében 6 kontrollt alkalmaztunk, jelölésük K(1-6). A 3. táblázatban foglaltuk össze az adott kontroll kezelési paramétereit.

3. táblázat Kontroll növények

Elnevezés	Mitsuaria chitosanitabida*	Nhézfém	Nhézfém koncentráció (mM)
K1	-	-	-
K2	+	-	-
K3	-	Cd	0,1
K4	-	Cd	0,5
K5	-	Zn	0,5
K6	-	Zn	3

* (-) a talaj nem tartalmaz/ (+) a talaj tartalmaz

A növényeket kontrollált körülmények között neveltük egy Sanyo MLR-351, Versatile Environmental Test Chamber növénynevelő kamrában 12 napig, 25°C-on, 70% relatív páratartalom és 14 h/nap 2500 lx megvilágítás mellett. A növényeket öt alkalommal 100 ml steril vízzel öntöztük mintánként.

3.4. Nehézfémek hatásának kimutatása

A bab növénykéek szárának és gyökerének hosszát és nedves tömegét mértük le, majd a növényi szervek nedvességtartalom meghatározása céljából 48 órát szárítottuk 105° C-on G-Therm 115

szárítószekrényben (F-lli Galli) tömegállandóságig. A nehézfém oldatokkal kezelt növények szárának és gyökerének hosszát és biomasszáját egy kontroll mintához viszonyítottuk (n=4).

3.5. Nehézfémionok bioakkumulációs mértékének meghatározása atomabszorpciós spektrofotométerrel

A nehézfém koncentráció meghatározására Varian Spektra AA 110 típusú atomabszorpciós spektrofotométert használtunk. A növényi minták előkészítését száraz hamvasztással végeztük Gefran 1001 égető kemencében. 1 g előzetesen szárított mintát porcelán tégelybe helyeztünk, majd elhamvasztottuk. A hamvasztás során a hőmérsékletet szobahőmérsékletről fokozatosan emeltük 450°C-ra 1 óra leforgása alatt, majd 4 órán keresztül ezen a hőmérsékleten tartottuk, amíg fehér vagy szürkés hamut nyertünk. Az így nyert hamu mennyiségét 5 ml 25% HNO₃-ban feloldottuk, majd szűrőpapíron leszűrtük és desztillált vízzel 10 ml térfogatra egészítettük ki. Az előkészített mintákat az atomabszorpciós készülékbe porlasztottuk és leolvastuk az abszorbancia értékeket. A koncentráció meghatározásához előzetesen előkészített standard oldatokat alkalmaztunk, amelyek alapján megszerkesztettük a kalibrációs görbét.

3.6. Statisztikai analízis

Az adatok feldolgozására és ábrázolására a Microsoft Office Excel Worksheet 2007-es verziót és a Past.exe 2.17c statisztikai kimutatásokat készítő programot használtuk.

4. Eredmények és kiértékelése

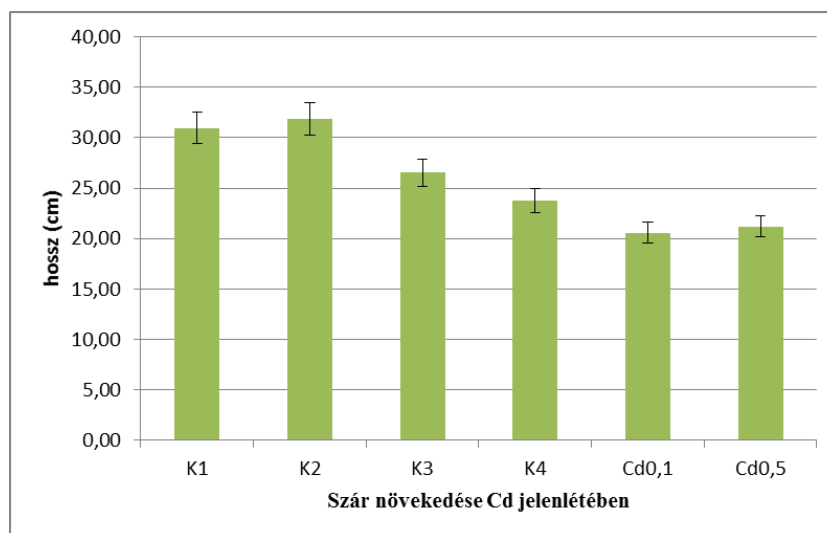
4.1. A nehézfémek hatása a növényi növekedésre

A Cd és a Zn hatását vizsgáltuk a bab fejlődésére és növekedésére. 12 napig növeltük a növényeket, majd lemértük a növények gyökerének és szárának hosszát, illetve tömegét. Meghatároztuk a növények nedvességtartalmát, mivel a szakirodalmi adatok szerint a Cd jelentősen befolyásolhatja a vízfelvételt. A mért adatokat az 4. táblázat tartalmazza, ahol az egyes paraméterek átlaga és átlag szórása van feltüntetve.

4. táblázat A szár és gyökér tömegének, ill. hosszának változása a nehézfém koncentráció függvényében (n=4)

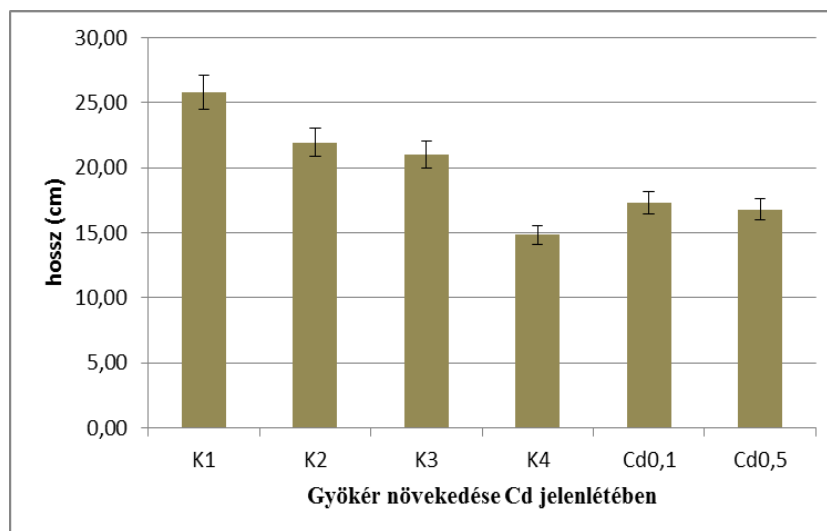
			Cd		Zn		Kontroll
			0,1 mM	0,5 mM	0,5 mM	3 mM	
Baktérium nélkül	szár	hossz (cm)	26,525 ±3,59	29,37 ±13,97	21,28 ±9,48	21,90 ±4,89	30,97 ±4,10
		biomassza (g)	4,8575 ±1,61	4,18 ±1,96	3,00 ±2,25	3,04 ±1,21	4,67 ±1,52
	gyökér	hossz (cm)	21,05 ±1,47	15,13 ±0,72	19,98 ±6,29	20,40 ±4,62	25,80 ±4,83
		biomassza (g)	3,1275 ±0,63	2,36 ±0,99	1,56 ±1,00	1,76 ±0,87	2,11 ±0,58
<i>Mitsuaria chitosanitabida</i>	szár	hossz (cm)	20,575 ±6,40	21,20 ±5,44	20,75 ±4,99	31,45 ±7,77	31,87 ±5,87
		biomassza (g)	2,9325 ±1,27	3,38 ±0,41	3,50 ±0,88	3,30 ±1,08	4,66 ±1,64
	gyökér	hossz (cm)	17,275 ±3,92	16,80 ±1,81	18,90 ±1,62	19,30 ±2,95	21,97 ±5,22
		biomassza (g)	1,4075 ±0,36	1,94 ±0,14	1,72 ±0,52	1,74 ±0,70	1,63 ±0,80

A 2. ábra szemlélteti a szár növekedését Cd jelenlétében, a K2 kontroll (nehézfém nélkül, baktérium jelenlétében) esetében jelentős növekedést figyelhetünk meg. A K1 kontroll (nehézfém nélkül, baktérium nélkül), K3 kontroll (Cd 0,1 mM, baktérium nélkül), K4 kontroll (Cd 0,5 mM, baktérium nélkül) esetében a növények szárának növekedése csökkenést mutatott. A 0,1 mM Cd-al kezelt kontroll és minta értékei között jelentős különbség figyelhető meg, a baktériummal kezelt minta esetében a hajtás rövidebb, mint a kontroll. A két mintasor közötti különbséget Mann-Whitney statisztikai teszttel ellenőriztük, amely nem adott statisztikailag szignifikáns eredményt (Mann-Whitney U teszt, $z=-1,299$, $p=0,1939$). Hasonló összefüggés megfigyelhető a szár növekedése esetében 0,5 mM-os Cd jelenlétében, ahol a baktérium törzs jelenléte csökkentette a szár hosszának fejlődését, de szignifikáns különbség nem volt megfigyelhető (Mann-Whitney U teszt, $z=-0,176$, $p=0,8597$).



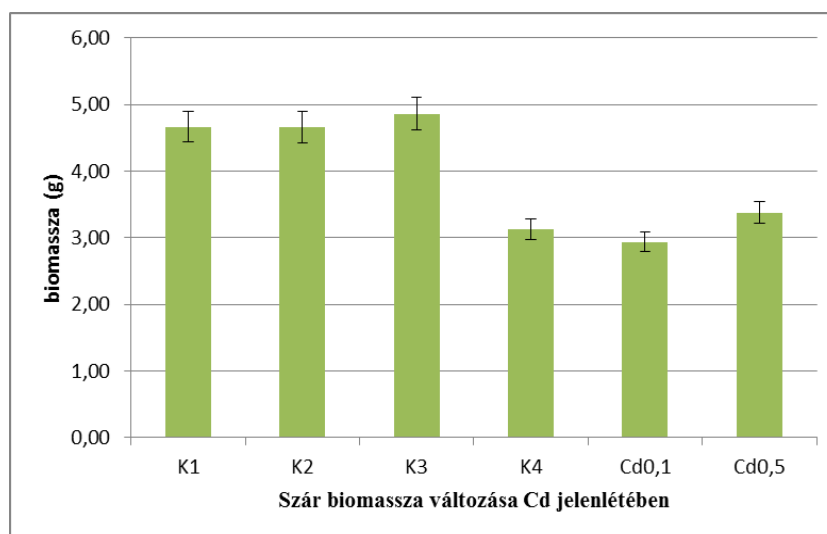
2. ábra Szár növekedése Cd jelenlétében

A Cd hatását a bab növények gyökerének növekedésére a 3. ábra szemlélteti, hogy a K1 kontroll (nehézfém nélkül, baktérium nélkül) esetében kiemelkedően magas értéket mértünk, mely meghaladja a többi minta egyre csökkenő értékeit. A K4 (Cd 0,5 mM, baktérium nélkül) kontroll értéke a legkisebb, ez azzal magyarázható, hogy magas koncentrációban a nehézfém gátolta a növény növekedését, illetve a baktérium hiánya is hozzájárult a növekedés csökkenéséhez. Észrevehető, hogy a baktérium nélküli kontroll esetében (K3) a gyökér növekedése nagyobb, mint a baktériummal kezelt minta esetében.



3. ábra A gyökér növekedése Cd jelenlétében

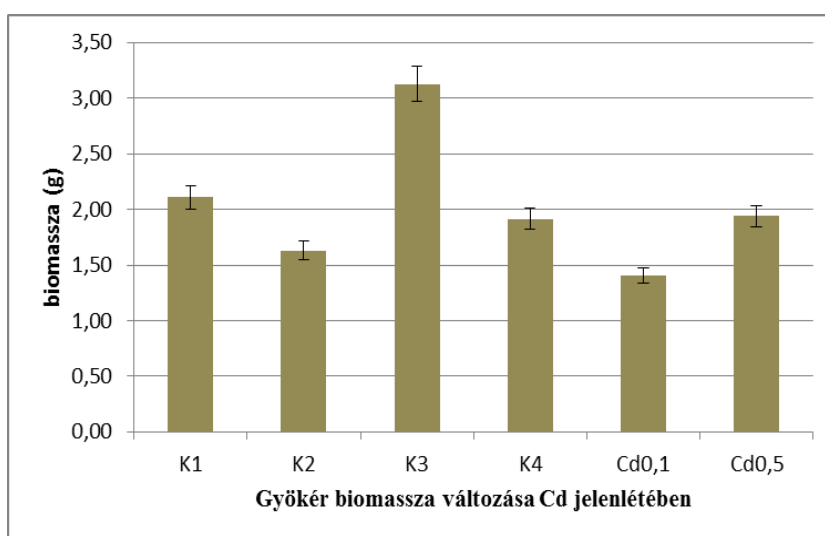
A szár biomasszáját tekintve észrevehető, hogy kiemelkedően magas értéket kaptunk a K3 kontroll (Cd 0,1 mM, baktérium nélkül) esetében (4. ábra). A két mintasor közötti különbséget Mann-Whitney statisztikai teszttel ellenőriztük, amely nem adott statisztikailag szignifikáns eredményt (0,1 mM Cd esetében Mann-Whitney U teszt, $z=-1,299$, $p=0,1939$, 0,5 mM-os Cd esetében Mann-Whitney U teszt, $z=-0,176$, $p=0,8597$).



4. ábra Szár biomassza változása Cd jelenlétében

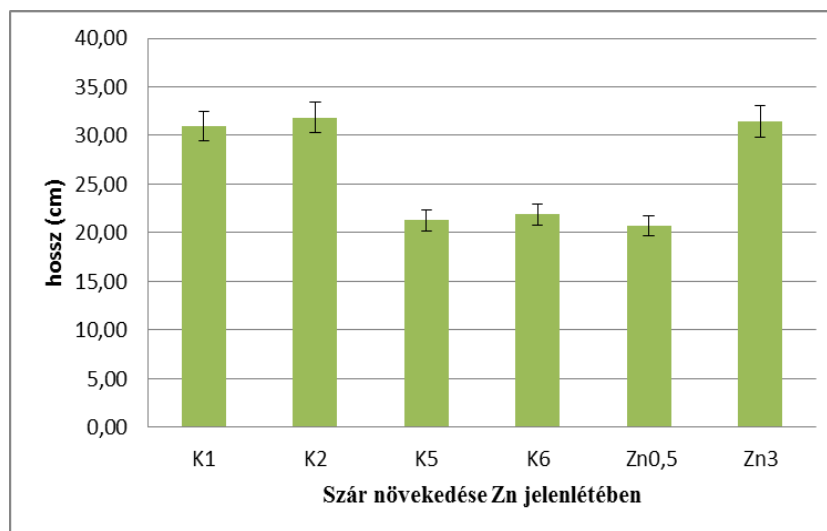
A gyökér biomasszáját tekintve is észrevehető, hogy kiemelkedően magas értéket kaptunk a K3 kontroll (Cd 0,1 mM, baktérium nélkül) esetében (5. ábra). A baktérium jelenléte Cd-al kezelt növények esetében a gyökér biomasszájának csökkenését okozta.

A 6. ábrán látható a szár növekedése Zn jelenlétében, a K2 kontroll (nehézfém nélkül, baktérium jelenlétében) és Zn 3 (Zn 3 mM, baktérium jelenlétében) minta esetében jelentős növekedést figyelhetünk meg. A K1 kontroll (nehézfém nélkül, baktérium nélkül), a K5 kontroll (Zn 0,5 mM, baktérium nélkül) és a K6 kontroll (Zn 3 mM, baktérium nélkül) esetében is a növények szárának növekedése csökkenést mutatott.



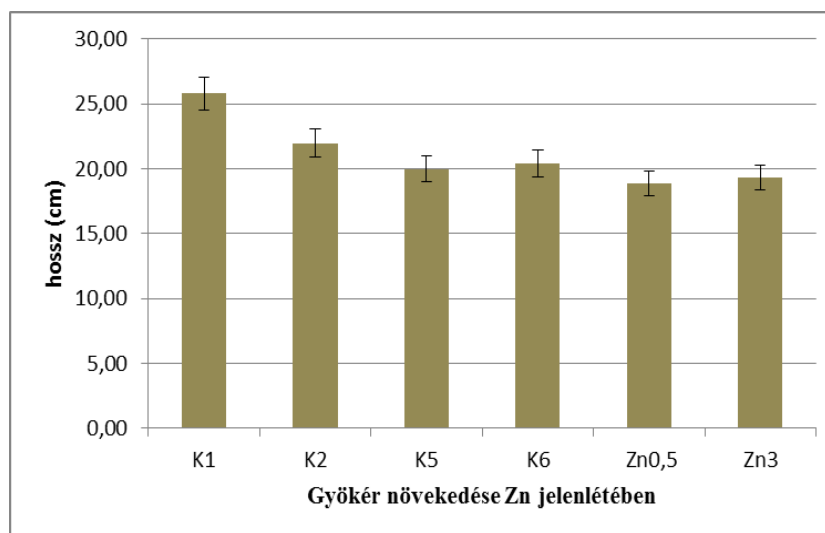
5. ábra Gyökér biomassza változása Cd jelenlétében

A K5 (Zn 0,5 mM, baktérium nélkül) kontroll és a Zn 0,5 minta értékei között nincs jelentős különbség, a baktérium nem befolyásolta a szár hosszanti növekedését. Mann-Whitney statisztikai tesztet alkalmaztunk a Zn 0,5 mintára, ahol ugyancsak nem figyeltünk meg statisztikailag szignifikáns eredményt (Mann-Whitney U teszt, $z=-0,5808$, $p=0,5614$). A Zn 3 mintára kapott értékek alapján elmondható, hogy a K6 kontrollhoz viszonyítva a baktérium jelenléte pozitív hatást gyakorol a szár növekedésére (Mann-Whitney U teszt, $z=-1,588$, $p=0,1124$).



6. ábra Szár növekedése Zn jelenlétében

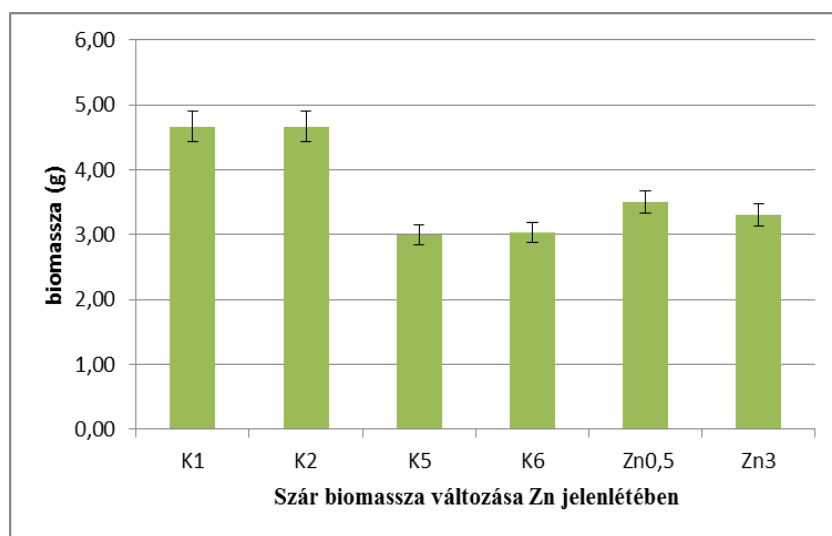
A Zn hatása a bab növények gyökerének hosszanti növekedésére a 7. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a K1 kontrollhoz (nehézfém nélkül, baktérium nélkül) viszonyítva alacsonyabb értékeket mértünk. Úgy a baktériummal nem kezelt, mint a kezelt minta esetében a Zn nem befolyásolta a gyökér hosszának növekedését.



7. ábra Gyökér növekedése Zn jelenlétében

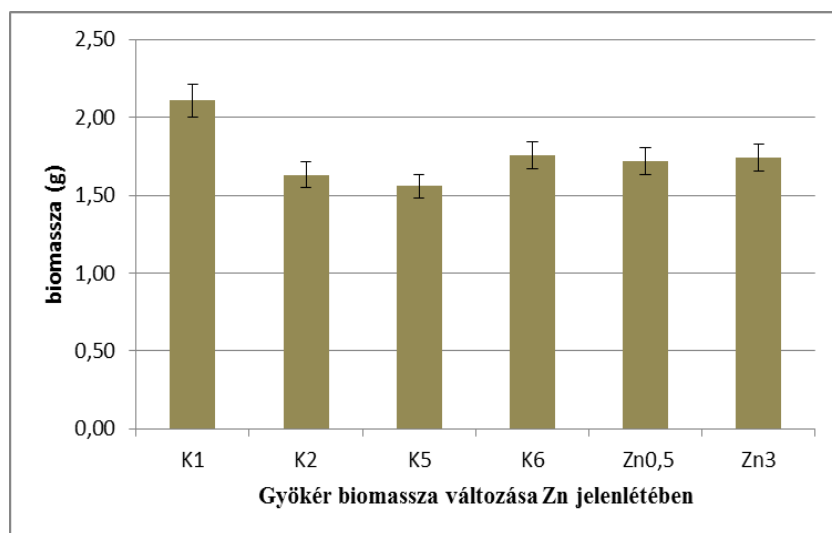
A szár biomassa változását a 8. ábra szemlélteti. A K5 (Zn 0,5 mM, baktérium nélkül) és K6 kontrollokhoz (Zn 3 mM, baktérium nélkül) viszonyítva a baktériummal kezelt minták (Zn 0,5, Zn 3) esetében a biomassa mennyiségének növekedése észlelhető. A két mintasor

közötti különbséget Mann-Whitney statisztikai teszttel ellenőriztük, amelynek eredménye nem mutatott jelentős eltérést (0,5 mM Zn esetében Mann-Whitney U teszt, $z=0,1443$, $p=0,8852$, 3 mM-os Zn esetében Mann-Whitney U teszt, $z=-0,2904$, $p=0,7715$).



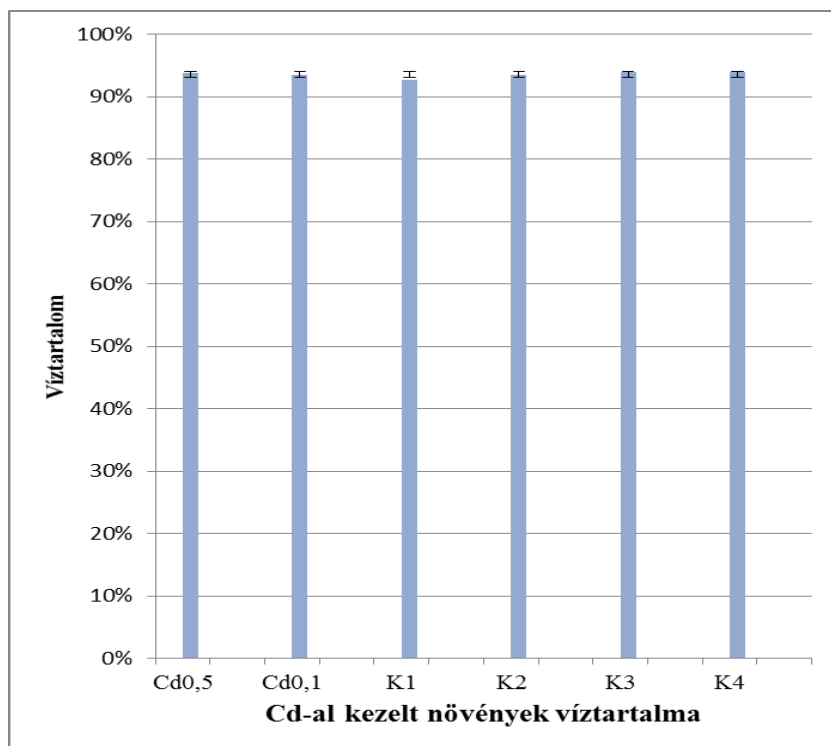
8. ábra Szár biomasza változása Zn jelenlétében

A gyökér biomasszájának változását Zn jelenlétében a 9. ábra mutatja, melyen észrevehető, hogy kiemelkedően magas értéket kaptunk a K1 kontroll (Zn 0,5 mM, baktérium nélkül) esetében.

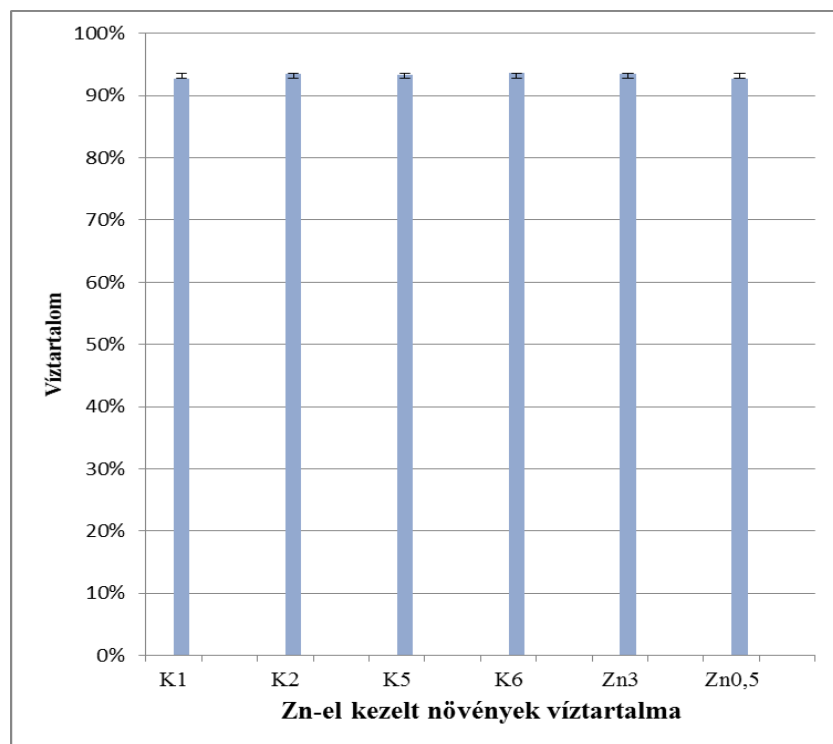


9. ábra Gyökér biomasza változása Zn jelenlétében

A bab víztartalmát tekintve sem a Cd az alkalmazott koncentrációkban (0,1 mM; 0,5 mM), sem a Zn esetében alkalmazott koncentrációkban (0,5 mM; 3 mM) nem változott a víztartalom a használt nehézfém, illetve a baktériumok jelenlétében (10.-11. ábra).



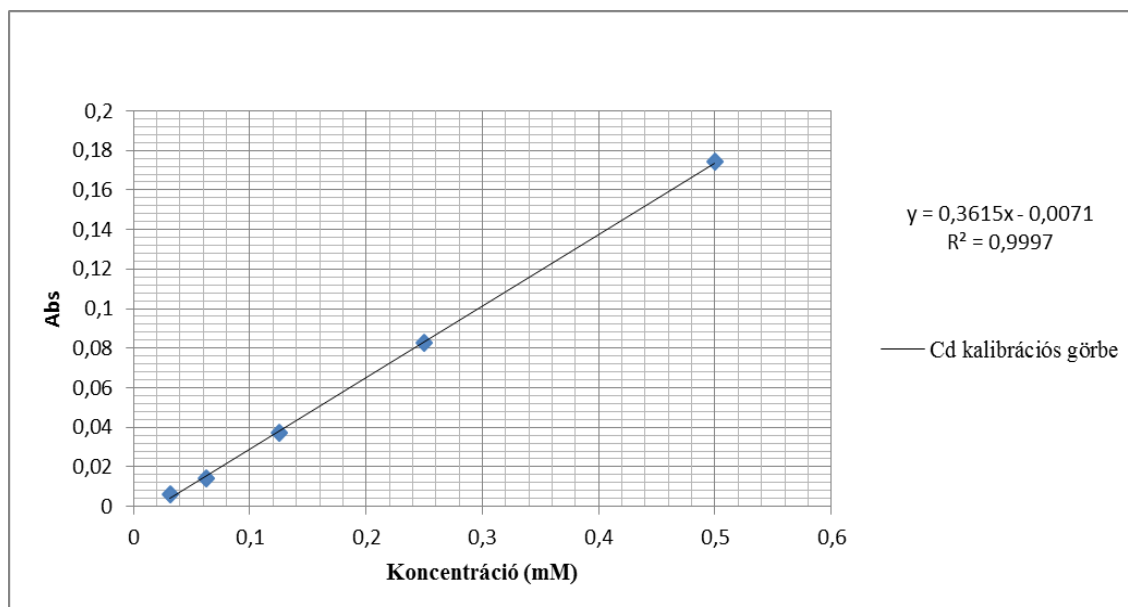
10. ábra A Cd-al kezelt növények víztartalma



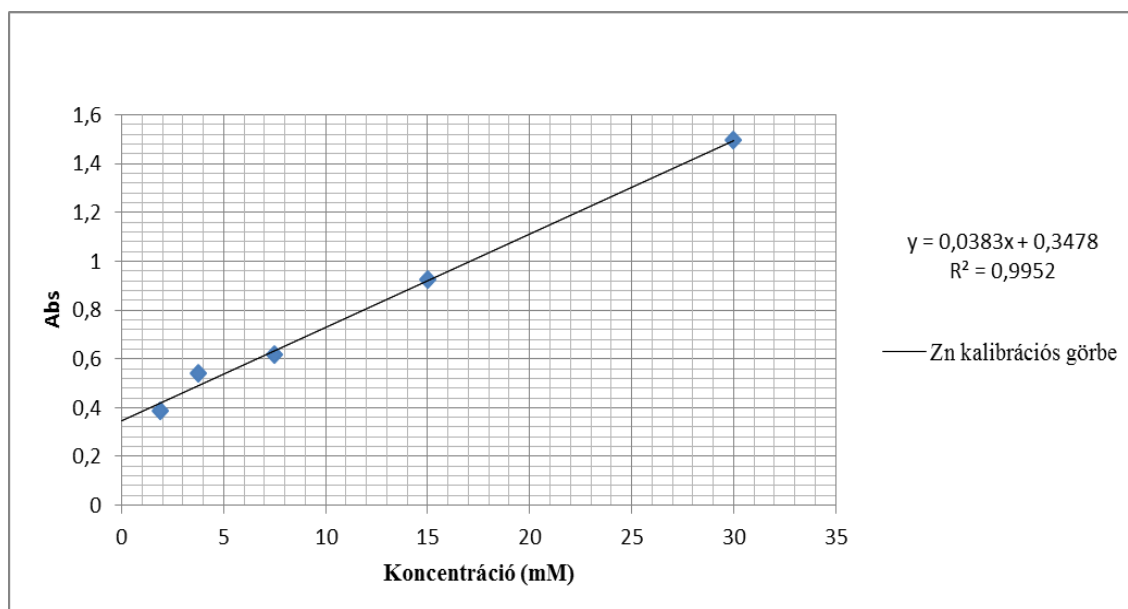
11. ábra A Zn-el kezelt növények víztartalma

4.2. A nehézfémek akkumulációja

A nehézfémek (kadmium és cink) mennyiségének meghatározása céljából standard oldatokat készítettünk mM koncentrációban és lemértük az oldatok abszorbancia értékeit atomabszorpciós spektrofotométerrel. A 12-13-as ábrán figyelhetők meg a kapott kalibrációs görbék.



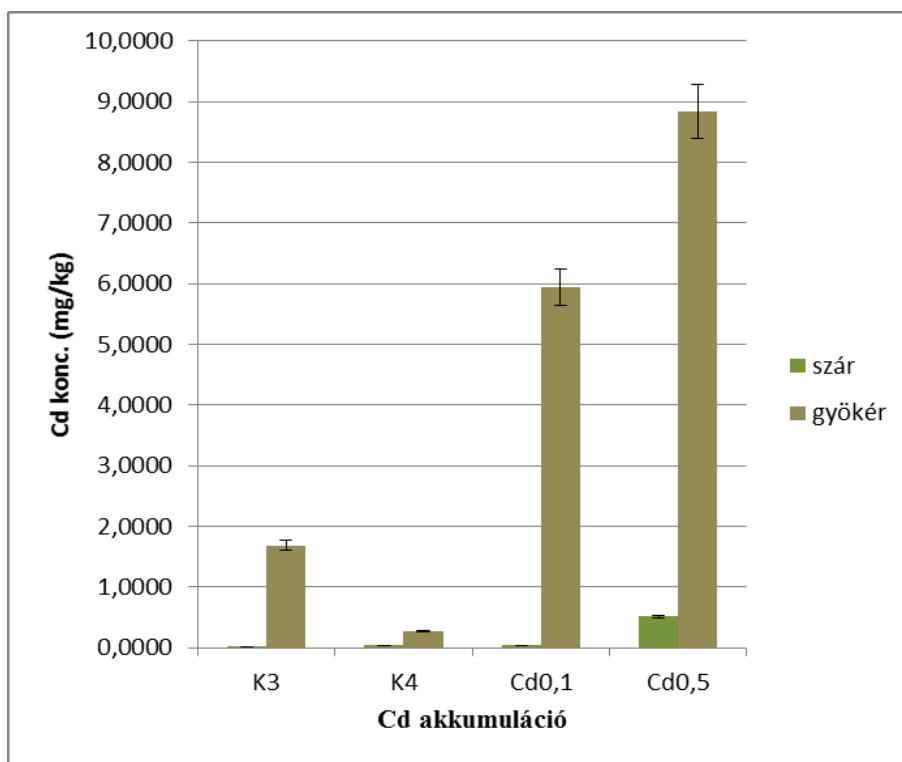
12. ábra A kadmium (Cd) kalibrációs görbéje



13. ábra A cink (Zn) kalibrációs görbéje

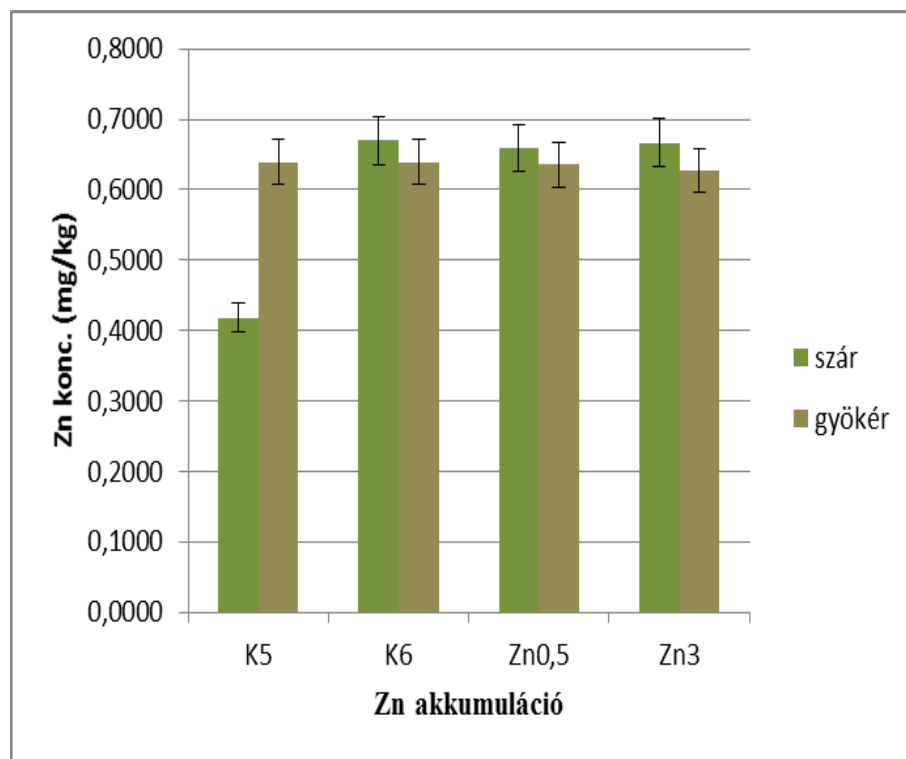
A Cd akkumulációját a baktérium jelenléte nagymértékben növelte amint a 14. ábrán látható. A Cd 0,1 (0,1 mM Cd, baktérium) minta 3,52x nagyobb mennyiségű nehézfémeket akkumulált a K3 kontrollhoz képest (0,1 mM Cd, nincs baktérium). A talajba juttatott nehézfém koncentrációval arányosan nő a növényi mintákba akkumulálódott nehézfém mennyiség. A gyökér nehézfém tartalma jóval alacsonyabb a szárban tapasztalttnál, hiszen a nehézfém elsőként a gyökérbe jut be

a gyökérszőröcskéken keresztül, és a gyökérből a szárba való szállítás (transzlokáció) lehet gátolt, illetve egy lassú folyamat eredménye.



14. ábra Kadmium (Cd) akkumulációja gyökérben és szárban

A Zn felvételt a 15. ábra szemlélteti, amelyen megfigyelhető, hogy a felvett Zn koncentráció 0,4-0,7 mg/kg értékek között mozog. Mivel a Zn egy mikroelem, a bab (*Phaseolus vulgaris*) szabályozza a Zn felvételt, így a növényben egy állandó koncentrációjú Zn található. Az általunk cinkkel kezelt növények a Zn-t nem akkumulálták, csak a számukra szükséges mennyiséget vették fel.



15. ábra Cink (Zn) akkumulációja gyökérben és szárban

5. Következtetések

- A PGPR baktériumtörzs hatására (*Mitsuaria chitosanitabida* (M)) megfigyelhető, hogy a bab növénykék hajtása intenzívebb növekedést mutatott. A PGPR baktérium és a Cd együttes hatására viszont a bab növények hajtása fejlődött a leggyengébben. A *Mitsuaria chitosanitabida* (M) törzs annak ellenére, hogy nehézfém hiányában elősegítette a bab növény növekedését, nehézfém jelenlétében serkentette a nehézfém által okozott stressz hatását.
- A bab növénykék víztartalmát egyik nehézfém, valamint a baktériumtörzssel történő beoltás sem befolyásolta a használt koncentrációkban.
- A bioakkumuláció a kadmium esetében növekedést mutat a rendelkezésre álló nehézfém mennyiségével és a baktérium jelenlétével. A Cd akkumulációjában megfigyelhető, hogy a *Mitsuaria chitosanitabida* (M) PGPR baktériummal való beoltás növelte a bab növényekben akkumulálódott nehézfém mennyiséget. A Zn esetében, mivel a Zn mikroelem, nem figyelhettük meg a Zn akkumulációját, viszont a felvett Zn mennyiség 0,6-0,7 mg/l értéknél eléri a maximumot.
- Eredményeink alapján elmondhatjuk, hogy a bab növények gyökere jelentős akadályt képez a nehézfémek felvételében és igen nagy immobilizáló kapacitással bír.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak dr. Laslo Éva adjunktusnak a kísérletek során használt PGPR baktérium törzsekért, valamint a mikrobiológiai és növényi kísérletek során nyújtott önzetlen segítségéért és hasznos tanácsaiért.

Irodalomjegyzék

Szakirodalom

1. Chen L., Luo S., Xiao X., Guo H., Chen J., Wan Y., Li B., Xu T., Xi Q., Rao C., Liu C., Zeng G., 2010, Application of plant growth-promoting endophytes (PGPE) isolated from *Solanum nigrum* L. for phytoextraction of Cd-polluted soils, *Applied Soil Ecology* 46: 383-389
2. He H., Ye Z., Yang D., Yan J., Xiao L., Thong T., Yuan M., Cai X., Fang Z., Jing Y., 2013, Characterization of endophytic *Rahnella* sp. JN6 from *Polygonum pubescens* and its potential in promoting growth and Cd, Pb, Zn uptake by *Brassica napus*, *Chemosphere* 90: 1960-1965
3. Laslo É., Ábrahám B., György É., Lányi Sz., Mara Gy., Bacterial strains with nutrient mobilization ability from Ciuc Mountains, Transylvania
4. Li Z., Wu L., Hu P., Luo Y., Zhang H., Christie P., 2014, Repeated phytoextraction of four metal-contaminated soils using the cadmium/zinc hyperaccumulator *Sedum plumbizincicola*, *Environmental Pollution* 189: 176-183
5. Sessitsch A., Kuffner M., Kidd P., Vangronsveld J., Wenzel W. W., Fallmann K., Puschenreiter M., 2013, The role of plant-associated bacteria in the mobilization and phytoextraction of trace elements in contaminated soils, *Soil Biology & Biochemistry* 60: 182-194
6. Srivastava S., Verma P. C., Chaudhry V., Singh N., Abhilash P. C., Kumar K. V., Sharma N., Singh N., 2012, Influence of inoculation of arsenic/resistant *Staphylococcus arlettae* on growth and arsenic uptake in *Brassica juncea* (L.) Czern. Var. R-46, *Journal of Hazardous Materials*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.08.019>

