

A KADMIUM ÉS CINK EGYÜTTES HATÁSA A KUKORICA NÖVÉNYEK NÖVEKEDÉSÉRE

THE EFFECT OF COMBINED USE OF CADMIUM AND ZINC ON MAIZE GROWTH AND DEVELOPMENT

GÁBOR IZABELLA - SZILÁGYI TÍMEA –

VÁNCSA KLÁRA - VINCZE ÉVA BOGLÁRKA

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Kar

izabella97i@yahoo.com, szilagytimea19@yahoo.com,

vancsaklarika@gmail.com, vinctze_bogi@yahoo.com

Összefoglalás

Jelenünk egyik legnagyobb környezeti problémáját a mezőgazdasági talajokban felhalmozott nehézfémek jelentik, amelyek előbb a talajba, majd az elemek természetes körforgásának köszönhetően bekerülhetnek a haszonnövényekbe, majd az emberi szervezetbe. A Cd(II) és a Zn(II) együttesen is előfordulhatnak a talajban, a Cd(II) legfőbb veszélye, hogy képes helyettesíteni az esszenciális cinket, hiszen ugyanazon az ioncsatornán jut be a növényekbe. Mivel a kadmium nagyon toxikus, a cink helyébe beépülve súlyos károsodásokat okoz.

Kutatásunk célja megvizsgálni a két fém felvételének és együttes hatásának eredményét a kukorica növényekre. Kutatásunk során vizsgáltuk a nehézfémek hatását a növények fejlődésére és növekedésére vízkultúrában. Kontrollált körülmények között csíráztattuk, majd növeltük a kukorica növényeket 10 napon keresztül, különböző nehézfém koncentrációkat alkalmazva, és leértük a növekedési paramétereket. A kukorica növények növekedési paramétereit jelentősen befolyásolta a Cd(II), illetve a Cd(II) és Zn(II) együttes alkalmazása, ami feltételezhetően az akkumulált nehézfém mennyiséggel van összefüggésben.

Kulcsszavak: kadmium, cink, kukorica, növekedés.

Bevezetés

Az emberi tevékenységnek és az elemek természetes körforgásának köszönhetően a talajba bejut egy vagy több olyan nehézfém is, amely veszélyt jelenthet a környezetre, a növényekre, az állatokra, az emberi egészségre, illetve az ökoszisztémákra. A nehézfémek azért válhatnak talajszennyezővé, mert az emberi hatásnak köszönhetően a természetes körforgásnál gyorsabb a körforgásuk (Wuana és Okieimen, 2011).

A mezőgazdasági gyakorlatban alkalmazott műtrágyák nagy része tartalmaz valamilyen toxikus nehézfémeket, például kadmiumot (Cd), higanyt (Hg) és ólmot (Pb) (Wuana és Okieimen, 2011). Egy másik gyakori forrása a nehézfémeknek a talajban a peszticidek (rovarirtó szerek) használatának köszönhető (McLaughlin és mtsai., 2000). Ezen kívül nagyon sok nehézfém kerül a talajba a bányászati tevékenységekből, valamint a bányászati termékek feldolgozásából és az ipari hulladékok is komoly forrásai a nehézfém szennyezéseknek (Wuana és Okieimen, 2011). A bányászat során keletkező meddők egyenesen a természetbe kerülnek, igen nagy koncentrációban tartalmazván különböző nehézfémeket (ide értve a vízi ökoszisztémákat is) (DeVolder és mtsai., 2003). Gyakoriak a Zn és Pb ércek bányászata és olvasztása során keletkezett szennyeződések a talajban (Basta és Gradwohl, 1998).

A légi közlekedésből származó szennyezéseket általában a légáramlatok hordozzák (Wuana és Okieimen, 2011). A tüzelésből származó vagy gyárak kéményein kibocsátott füst minden szilárd összetevője nehézfémeket tartalmaz és végsősoron a szárazföldön vagy az óceánokban rakódik le, emiatt a fosszilis tüzelőanyagok is hozzájárulnak a nehézfém szennyezéshez. Példának okáért azon területek szomszédságában, ahol valamilyen fémkohászati tevékenység folyik nagyon nagy lehet a Cd és Zn koncentráció a növényekben (E.P.A., 1997).

A növények életéhez, növekedéséhez, valamint fejlődéséhez létfontosságú elemeket biogén elemeknek nevezzük. A növekedéshez és az életciklusuk befejezéséhez a növények nem csak a makroelemekre (például N, P, K, S, Ca és Mg), hanem a mikroelemekre is szükségük van, amelyeket a talajból vesznek fel (Lasat, 2003; Wuana és Okieimen, 2011). Hiányuk élettani zavarokat, betegséget vagy a növény pusztulását okozzák. A szén, az oxigén a hidrogén és a nitrogén a szerkezet 95%-át alkotják, amelyeket makroelemeknek nevezünk. A szén 19,37%-ban fordul elő, az oxigén 62,80%, a hidrogén 9,31% és a nitrogén 5,14%-ban. Ezeken kívül vannak úgynevezett mikroelemek, amelyek szintén nélkülözhetetlenek a növények számára kis mennyiségben. A nyomelemek a növényi szerkezet mindössze 4,9%-át teszik ki (Helešicová, 2018).

A kadmium

A kadmium (Cd) legfontosabb antropogén forrásai: a bányászat, a foszfátrágyák, a peszticidek és az ipari hulladék (Khateeb, 2013). A kadmium toxicitása és vízdékonysága miatt gyorsan felszívódik a szövetekben és nagyban befolyásolja a növény anyagcseréjét. A kadmium tehát könnyen bekerül az élelmiszerláncba, súlyos egészségi problémákat okozva az emberi szervezetben. A szennyező anyagok közül a kadmium (Cd) az egyik leginkább fitotoxikusnak tekinthető nehézfém.

A Cd toxicitás egyértelmű tünetei a levél sodródása, a klorózis, az egyenlőtlen vízfelvétel és a levél gázcserenyílásainak záródása (DalCorso és mtsai., 2010). A Cd gátló hatással van a kukorica gyökér- és hajtásnövekedésére, valamint csökkenti a gyökér és hajtás víztartalmát, ezáltal a tömegét is, továbbá negatív hatással van a nitrogén anyagcserére, a membrán funkciókra és a klorofill bioszintézisre (Khateeb, 2013).

A cink

A cink a növények és az állatok számára nélkülözhetetlen elem. Fontos szerepet tölt be számos növényi anyagcsere folyamatban: aktiválja az enzimeket, részt vesz a fehérjeszintézisben, segíti a csírarügy fejlődését, valamint a zsíryanagyserében is fontos szerepet tölt be. Hiányában a növekedési hormon szintézise lecsökken. A növényi szövetekben a Zn felhalmozódás változásokat okoz a létfontosságú növekedési folyamatokban, mint a fotoszintézis, a klorofill bioszintézis, és a membrán permeabilitása (Stoyanova és Doncheva, 2002).

Az általános cink toxicitás tünetei között a következőket kell megemlíteni: a fiatal hajtások fonnyadása, levelek kunkorodása és a fiatal levelek sodródása, a levélcsúcsok elhalása és elhalványodása, valamint a gyökérsejtek osztódásának korlátozása, amely következményeként a sejtek megnyúlnak (Rout és Das, 2008). A kritikus cinkkoncentráció túllépése csökkent növekedést és gátolt virág termelést okoz (Rout és Das, 2008).

Kutatásunk célja megvizsgálni a kadmium és a cink felvételének és együttes hatásának eredményét a kukorica növényekre. Kutatásunk során vizsgáltuk a választott nehézfémek hatását a kukorica növények csírázására, valamint a növények növekedésére vízkultúrás *in vitro* rendszerben.

Anyag és módszer

Az alkalmazott nehézfém oldatok és koncentrációk

A növényi kísérletekhez $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ és $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ sókat használtunk. Az 1. táblázat alapján elkészített különböző nehézfém koncentrációjú oldatokat autoklávban (Panasonic MLS 3020U) 121 °C -on, 20 percet sterilizáltuk.

1. táblázat: A különböző nehézfém oldatok és azok só koncentrációja

	<i>Kontroll</i>	<i>Cd</i> <i>0,1</i>	<i>Cd</i> <i>0,5</i>	<i>Zn</i> <i>0,5</i>	<i>Zn3</i>	<i>Zn0,5-</i> <i>Cd0,1</i>	<i>Zn0,5-</i> <i>Cd0,5</i>	<i>Zn3-</i> <i>Cd0,1</i>	<i>Zn3-</i> <i>Cd0,5</i>
<i>Koncentráció</i>		0,1 mM	0,5 mM	0,5 mM	3 mM	0,5 mM Zn és 0,1 mM Cd	0,5 mM Zn és 0,5 mM Cd	3 mM Zn és 0,1 mM Cd	0,5 mM Zn és 0,5 mM Cd
<i>ZnSO₄ · 7H₂O</i>	-	-	-	0,10 g	0,60 g	0,10 g	0,10 g	0,60 g	0,60 g
<i>CdSO₄ · 8H₂O</i>	-	0,02 g	0,12 g	-	-	0,02g	0,12 g	0,12 g	0,12 g

A magok csíráztatása

Első lépésként a kukorica magokat steriliztük 1 percig abszolút etanolban, majd 20 percig hipoklorit oldatban áztattuk őket, amelyet steril desztillált vízzel való többszöri mosás követett. A felületi sterilizált magokat előzetesen sterilizált, 5 ml steril desztillált vízzel nedvesített szűrőpapírra tettünk, Petri csészénként 15 magot helyeztünk el Telstar Mini-V/PCR steril fülkében gázláng mellett. Ezt követően a magokat 5 napon keresztül fitotronban (SANYO Versatile Environmental Test Chamber, MLR-351H) kontrollált körülmények között csíráztattuk: 22 °C-on, 70 %-os páratartalom, 12/12 h megvilágítás mellett, 2500 Lux fényerősségen.

Víz kultúrák kísérlet

A kukorica növények *in vitro* növekedését nehézfémek jelenlétében vízkultúrák tenyésztésben vizsgáltuk. A vízkultúrák kísérletekhez Hoagland oldatot használtunk (2. táblázat), és ehhez adtunk megfelelő mennyiségű nehézfém sókat, ahhoz hogy az 1. táblázatban szereplő fémkoncentrációkat elérjük. Az alkalmazott kezelések a következők voltak: 0,1 mM Cd; 0,5 mM Cd; 0,5 mM Zn; 3 mM Zn; 0,1 mM Cd és 0,5 mM Zn; 0,1 mM Cd és 3 mM Zn; 0,5 mM Cd és 0,5 mM Zn; valamint 0,5 mM Cd és 3 mM Zn.

2. táblázat: A Hoagland oldat összetevői

2x Hoagland oldat	g/l
KNO ₃	0,50
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	0,59
Na EDTA; FeSO ₄ 7H ₂ O	0,013
MgSO ₄ 7H ₂ O	0,49
NH ₄ NO ₃	0,08
H ₃ PO ₃	0,0028
MnCl ₂ 4H ₂ O	0,0018
ZnSO ₄ H ₂ O	0,0002
CuSO ₄ 5H ₂ O	0,00005
Na ₂ MoO ₄	0,00012
KH ₂ PO ₄	0,068

Az elkészült Hoagland oldatot autoklávban (121 °C, 20 perc) sterilizáltuk, majd 7-7 dl-ként elosztottuk 9 db sterilizett (Telstar Mini-V/PCR steril fülkében UV fénnel, 30 perc) lyukasztott tetejű dobozkába, illetve hozzáadtuk a steril nehézfém oldatokat.

A kukorica magok felületét a korábban leírt módon sterilizáltuk, majd Petri csészében, nedves szűrőpapíron, fitotronban, kontrollált körülmények között csíráztattuk. 9 egyenlően fejlett csíranövényt a lyukasztott tetejű dobozokba tettünk, majd fitotronba helyeztük (lásd 1. ábra). A növények 10 napon keresztül növekedtek a növénynevelő kamrában a következő körülmények között: 22 °C-on, 70 %-os páratartalom, 12/12 h megvilágítás mellett, 2500 Lux fényerősségen.



1. ábra. Kukorica növények növekedése vízkultúrás tenyészetben

A növekedési paraméterek meghatározása

A kutatási munkánk során a kukorica növények hosszméréséhez Electronic Digital Caliper tolómérőt, valamint a tömeg meghatározásához KERN EW technikai mérleget használtunk.

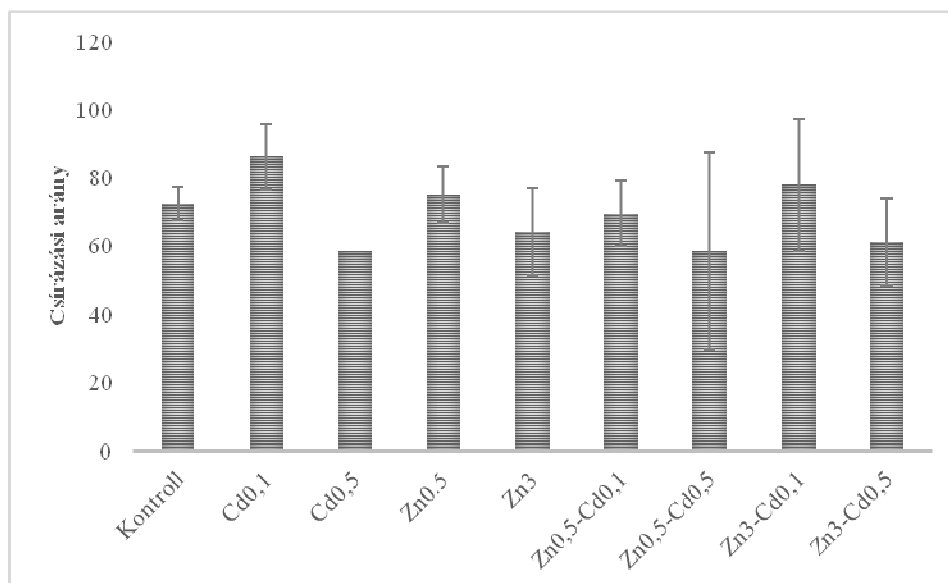
Statisztikai módszerek

A kutatás során kapott eredmények összesítésére és ábrázolására a Microsoft Office Excel Worksheet 2007-es verzióját, továbbá a többféle kezelés különféle hatásának szignifikancia tesztelésére a Past program 3.19 verziójának az ANOVA tesztjét alkalmaztuk.

Eredmények és értékelésük

A nehézfémek hatása a kukorica növény csírázására

A kukorica növények csírázási arányát az 2. ábra szemlélteti. A csírázási arány 60-80% között változott a különböző kezelések során. A kontrollhoz képest alacsonyabb csírázási arány volt megfigyelhető a Cd0,5; Cd0,5-Zn0,5 valamint a Cd0,5-Zn3 kezelések esetén. Tehát a nagyobb kadmium koncentrációt csökkentette a csírázási arányt a kukorica növény esetében.

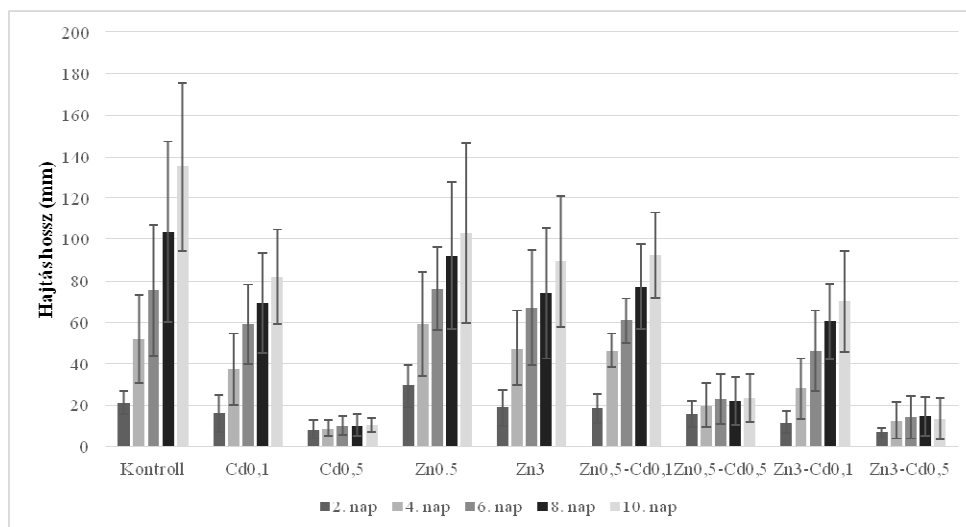


2. ábra: A nehézfémek hatása a kukorica növény csírázására (n=30)

A nehézfémek hatása vízkultúrás in vitro rendszerben a kukorica növekedésére

A kukorica növény hajtás növekedésének változását szemlélteti a 3. ábra. A Cd0,5 Zn0,5-Cd0,5 és Zn3-Cd0,5 kezelés kivételével a hajtás hosszának növekedését figyelhetjük meg a 10 napos növekedési időszak alatt. A kontroll kukoricanövények esetében 113,83 mm növekedés (2 és 10 napon mért érték közötti különbség), a kisebb Cd és Zn koncentrációk esetében 50-75 mm növekedést tapasztaltunk, míg a nagyobb Cd koncentrációt tartalmazó mintákban a hajtás növekedésének erőteljes gátlását (2-8 mm) figyeltük meg.

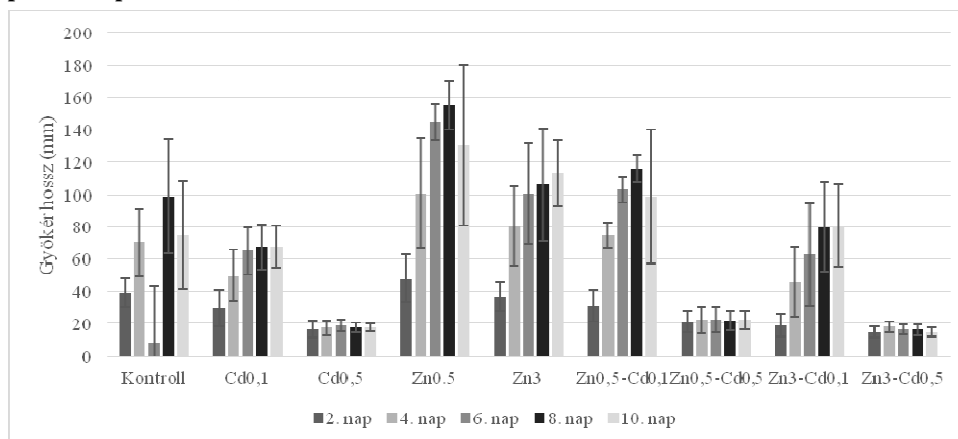
A 0,5 mM Cd koncentrációt tartalmazó kezelések gátolják a kukorica növény hajtásának növekedését. A kontroll növények esetében 10 nap után a kukorica növények hajtásának átlagos hossza 135,14 mm volt, amelyhez képest a Cd0,1; Cd0,5; Zn0,5-Cd0,5; Zn3-Cd0,1; Zn3-Cd0,5 minták statisztikailag szignifikáns eltéréseket mutatnak ($p=0,01693$; $p=0,00014$; $p=0,00014$; $p=0,0013$; $p=0,00014$).



3. ábra: A kukorica hajtás hosszának változása vízkultúrás in vitro rendszerben nehézfémek hatására

A kukorica növény gyökér növekedésének változását a 4. ábra szemlélteti. A 10 napos növekedési idő intervallum alatt a Cd0,5; Zn0,5-Cd0,5 és Zn3-Cd0,5 kezelések kivételével minden esetben megfigyelhető a gyökér hosszának növekedése. A kontroll növények esetében 35,40 mm növekedés, a kisebb Cd és Zn koncentrációk esetében 35-83 mm növekedés történt, míg a nagyobb Cd koncentrációt tartalmazó mintákban a gyökér növekedésének erőteljes inhibíciója (0,13-0,9 mm) tapasztalható.

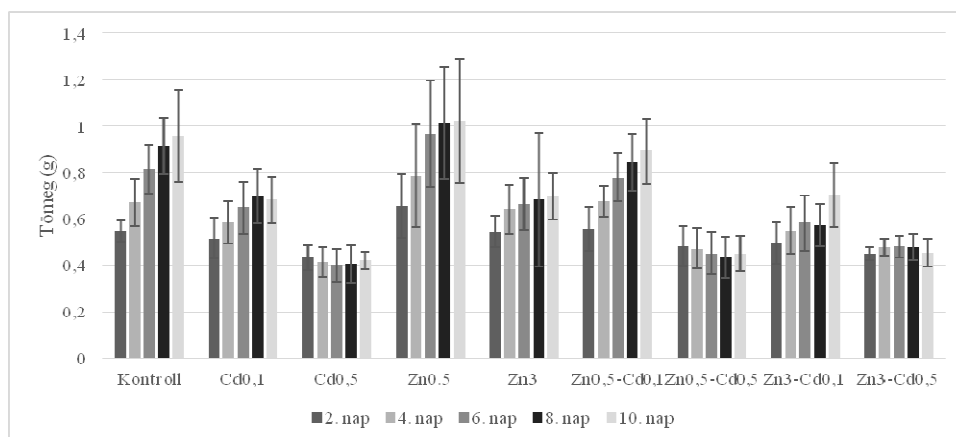
A nagyobb koncentrációjú (0,5 mM) Cd kezelések gátolják tehát a kukorica növény gyökerének növekedését. 10 nap után a kontroll növények gyökerének átlagos hossza 74,67 mm volt, amelyhez képest a Cd0,5; Zn0,5; Zn0,5-Cd0,5; Zn3-Cd0,5 minták statisztikailag szignifikáns eltéréseket mutatnak ($p=0,01021$; $p=0,01359$; $p=0,025$; $p=0,00589$).



4. ábra: A kukorica gyökér hosszának változása vízkultúrában *in vitro* rendszerben nehézfémek hatására

Az 5. ábra szemlélteti a kukorica növények tömegének változását. A Cd0,5; Zn0,5-Cd0,5 és Zn3-Cd0,5 kezelések kivételével megfigyelhető a növények tömegének változása a 10 napos növekedési időszak alatt. A kontroll növények esetében 0,41 g, a kisebb Cd és Zn koncentrációk esetében 0,1-0,4 g növekedést tapasztaltunk, míg a nagyobb Cd koncentrációt tartalmazó minták esetében a kukorica növények tömeg növekedésének erőteljes gátlását (0,006-0,004 g) tapasztaltuk.

A 0,5 mM-os Cd koncentrációjú kezelések gátolják a kukorica növény tömegének gyarapodását. A kontroll növények esetében 10 nap után a növények tömege átlagosan 74,67 mm volt, amelyhez képest a Cd0,1; Cd0,5; Zn3; Zn0,5-Cd0,5; Zn3-Cd0,1; Zn3-Cd0,5 minták statisztikailag szignifikáns eltéréseket mutatnak ($p=0,00557$; $p=0,00014$; $p=0,00014$; $p=0,01203$; $p=0,00014$).



**5. ábra: A kukorica tömegének változása vízkultúrás
in vitro rendszerben nehézfémek hatására**

Következtetések

- A kukorica növény csírázásának vizsgálatakor megfigyeltük, hogy a nagyobb koncentrációjú kadmium valamint ennek cinkkel való együttes használata jelentősen csökkentette a csírázási arányt.
- A vízkultúrás kísérletek során a kukorica növények hajtás, gyökér hosszának, valamint a kukorica növények tömegének csökkenését figyelhattuk meg a nagyobb koncentrációjú kadmium és a két fém együttes alkalmazása esetén.
- A kadmium jelenléte nagyobb koncentrációban erőteljesen gátolja a kukorica növény hajtásának és gyökerének a hosszanti és tömeg növekedését a 10 napos vizsgálati időszak alatt.
- A két fém együttes használata során erőteljesebb gátlás volt megfigyelhető a kukorica növények növekedésében esetében, mint a fémek külön használata esetén.

Irodalomjegyzék

Al Khateeb W, Al-Qwasemeh H. (2014) 'Cadmium, copper and zinc toxicity effects on growth, proline content and genetic stability of *Solanum nigrum* L., a crop wild relative for tomato; comparative study', pp. 1–12. *Physiol Mol Biol Plants*, 20(1), pp. 31-39.

- Basta, B. N. T. and Gradwohl, R. (1998) 'Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soil Using Rock Phosphate', 82(4), pp. 29–31.
- DalCorso, G., Farinati, S. and Furini, A. (2010) 'Regulatory networks of cadmium stress in plants', *Plant Signal Behav*, 5(6), pp. 663–667.
- DeVolder, P. S. *et al.* (2003) 'Metal Bioavailability and Speciation in a Wetland Tailings Repository Amended with Biosolids Compost, Wood Ash, and Sulfate', *Journal of Environment Quality*, 32(3), p. 851. doi: 10.2134/jeq2003.0851.
- E.P.A. (1997) 'Recent Developments for In Situ Treatment of Metal Contaminated Soils', *U.S. Environmental Protection Agency*, (703), p. 64. doi: 10.1016/S0304-3894(97)00085-X.
- Helešicová M. Chemical Composition of Living Organisms <https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/orr/pptv/chemie/Hele%C5%A1icov%C3%A1/CHEMIE%20KOLEM%20N%C3%81S%2015.1.%202014/Angli%C4%8Dtina%20v%20biochemii/ENG.%20kap.%201-BCH-CHEMICAL%20COMPOSITION%20OF%20LIVING%20ORGANISMS.doc>, letöltve 2018.
- Lasat, M. M. (2003) 'Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/ metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues', *Journal of Hazardous Substance Research*, 2(1980), pp. 5–25. doi: 10.1007/s11270-007-9412-2.
- McLaughlin, M. J. *et al.* (2000) 'Review: A bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand', *Australian Journal of Soil Research*, 38(6), pp. 1037–1086. doi: 10.1071/SR99128.
- Rout GR és Das P. (2008) 'Agronomy for sustainable development', *Effect of Metal Toxicity on Plant Growth and Metabolism: I. Zinc*, 3(3), pp. 77–78. doi: 10.1051/agro.
- Stoyanova, Z. and Doncheva, S. (2002) 'The effect of zinc supply and succinate treatment on plant growth and mineral uptake in pea plant', *The effect of zinc supply and succinate treatment on plant growth and mineral uptake in pea plant*, 14(2), pp. 111–116. doi: 10.1590/S1677-04202002000200005.
- Wuana, R. A. and Okieimen, F. E. (2011) 'Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation', *ISRN Ecology*, 2011, pp. 1–20. doi: 10.5402/2011/402647.

Abstract

One of the biggest environmental problems is the accumulation of heavy metals in agricultural soils that enters into crops and due to trophic chains are accumulated in the human body. Cd (II) and Zn (II) may occur together in the soils, the main danger of Cd (II) being able to replace essential zinc as it enters into the same ion channel. Since cadmium is very toxic, it will cause serious damage in the plant organism.

The aim of our research is to examine the results of the two metals and their combined effect on the growth and development of maize plants. In our research the effect of heavy metals on the development and growth of plants in hydroculture was studied. Germination and the growth of maize plants was carried out under controlled conditions, the plants were grown for 10 days using different heavy metal concentrations, then the growth parameters were measured. The growth parameters of maize plants were significantly affected by the combined use of Cd (II) and Zn (II), which is presumably related to the accumulated heavy metal content.

Keywords: cadmium, zinc, maize, growth.