

Оригинални научни рад

УТИЦАЈ НИКЛА НА НЕКЕ МОРФОЛОШКЕ И ФИЗИОЛОШКЕ ПОКАЗАТЕЉЕ МЛАДИХ БИЉАКА *Phaseolus vulgaris* L. И *Zea mays* L.

Тања Максимовић, Дино Хасанагић, Нина Јањић

Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, Младена Стојановића
2, 78000 Бања Лука, Република Српска, БиХ

Abstract

MAKSIMOVIĆ Tanja, D. HASANAGIĆ, Nina JANJIĆ: THE INFLUENCE OF NICKEL ON SOME MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF YOUNG PLANTS OF *Phaseolus vulgaris* L. AND *Zea mays* L. [University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Mladena Stojanovića 2, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina]

Knowing the influence of nickel on the processes of growth and development is important because certain doses of nickel are applied in order to increase yields as well as in protection against various diseases. Therefore, the effect of different concentrations of nickel (1, 0,1, 0,01 and 0,001 mmol/dm³) on plant growth, photosynthetic pigment abundance and total proline content in young common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.) plants has been studied in this paper. The research results have shown that higher concentrations of nickel (1 and 0,1 mmol/dm³) inhibited the growth of plants and biomass of young plants of common beans and maize, while lower concentrations (0,01 and 0,001 mmol/dm³) in the medium acted stimulatory. Also, the favorable influence of nickel at the concentration of 0,1, 0,01 and 0,001 mmol/dm³ on the content of photosynthetic pigments in maize was observed, while the applied concentrations on the common beans acted more inhibitory. The stress caused by the increased concentration of nickel resulted in increased accumulation of proline, with a higher content being detected in common beans compared with maize.

Key words: heavy metals, nickel, photosynthetic pigments, proline, *Phaseolus vulgaris* L. and *Zea mays* L.

Сажетак

Познавање утицаја никла на процесе растења и развића значајно је због тога што се одређене дозе никла примјењују у циљу повећања приноса као и у заштити од разних болести. Стога је у овом раду проучено дејство различитих концентрација никла (1, 0,1, 0,01 и 0,001 mmol/dm³) на раст биљака, заступљеност фотосинтетичких пигмената и садржај укупног пролина у младим биљкама бораније (*Phaseolus vulgaris* L.) и кукуруза (*Zea mays* L.). Резултати истраживања показали су да су веће концентрације никла (1 и 0,1 mmol/dm³) инхибирале раст биљака и биомасу младих биљака бораније и кукуруза, док су ниже концентрације (0,01 и 0,001 mmol/dm³) у медијуму дјеловале стимулативно. Такође, уочен је повољан утицај никла при концентрацији од 0,1, 0,01 и 0,001 mmol/dm³ на садржај фотосинтетичких пигмената код кукуруза, док су на боранију примјењене концентрације дјеловале више инхибиторно. Стрес изазван повећаном концентрацијом никла резултирао је повећаном акумулацијом пролина при чему је већи садржај утврђен код бораније у односу на кукуруз.

Кључне ријечи: тешки метали, никл, фотосинтетички пигменти, пролин, *Phaseolus vulgaris* L. и *Zea mays* L.

УВОД

У посљедњих неколико деценија контаминација тешким металима привукла је интерес великог броја научника (Nakazawa и сар., 2004; Shaw и сар., 2004; Gajewska и сар., 2006; Hussain и сар., 2013; Zengin, 2013; Aldoobie и Beltagi, 2013; Asati и сар., 2016; Parlak, 2016) јер они представљају један од највећих загађивача животне средине. Главни извори тешких метала потичу из различитих индустријских постројења, метарулшке индустрије, минералних ђубрива и пестицида, атмосферских полутаната, рударских активности, те самим тим представљају озбиљну пријетњу по околину, што се посебно негативно одражава на живи свијет (Кастори, 1997; Јаблановић и сар., 2003; Секулић и сар., 2003; Asati и сар., 2016). Неки од тешких метала, као што су As, Cd, Hg, Pb немају значајну физиолошку функцију у биљкама, али могу дјеловати токсично и инхибирати процесе растења и развића. Други, попут Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni и Zn јесу елементи неопходни за раст и метаболизам биљака (Кастори, 1997; Јаблановић и сар., 2003; Rengel, 2004; Станковић и сар., 2006; Станковић, 2010; Asati и сар., 2016). Међутим, неки од њих веома лако могу изазвати токсичне ефекте уколико се њихова концентрација повећа изнад дозвољене вриједности. Фитотокичност тешких метала највише се одражава у виду бројних промјена физиолошких процеса узоркованих на ћелијском/молекуларном нивоу као што су инактивирање ензима и блокирање њихових функционалних група (Zengin, 2006; Asati и сар., 2016) као и низу анатомско-морфолошких промјена (Кастори, 1997; Gajewska и сар., 2006; Parlak, 2016). Никл се сматра есенцијалним микронутријентом за биљке (Bhalerao и сар., 2015). Међутим, у сувишку овај метал постаје токсичан за већину биљних врста. Тако осјетљиве врсте могу поднијети концентрацију никла од 10 mg/kg суве масе, толерантне врсте подносе веће концентрације (до 50 mg/kg) (Hussain и сар., 2013), а хиперакумулаторске чак и до 1000 mg/kg (Pollard и сар., 2002). Најчешћи симптоми токсичности никла испољавају се у виду инхибиције раста, хлорозе и некрозе (Nakazawa и сар., 2004; Gajewska и сар., 2006; Bhalerao и сар., 2015), смањеној синтези фотосинтетичких пигмената, било директном инхибицијом ензима, или кроз индукован недостатак неког од нутријента. Повећане концентрације никла доводе биљке у стање стреса што се одражава повећаном акумулацијом пролина у биљкама (Charest и Phan, 1990). Истраживања појединих аутора о утицају никла на заступљености пигмената хлоропласта подијељена су. Док једни сматрају (Kachout и сар., 2015) да никл повољно утиче на удио и стабилност хлорофила, докле други (Pandey и Sharma, 2002; Gajewska и сар., 2006; Максимовић и сар., 2007; Parlak, 2016) сматрају како је дејство овог елемента претежно инхибиторно. Очигледно је да ефекат никла зависи од концентрације, начина и дужине експозиције, чиме се могу објаснити веома контрадикторни резултати у вези с дјеловањем овог елемента на растење, развиће, и принос биљака. Ако се све наведено има у виду, циљ овог рада био је да се у контролисаним условима проучи утицај различитих концентрација никла на раст биљака кукуруза и бораније, садржај фотосинтетичких пигмената и акумулацију пролина с циљем да се утврди какав је њихов утицај на

физиолошке процесе и одреди која је врста потенцијално толерантнија, односно осјетљивија на повећане концентрације никла у медијуму.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

Експеримент је изведен у полуконтролисаним условима са биљкама бораније (*Phaseolus vulgaris*) сорте *Topcrop*, ниска сорта и кукуруза (*Zea mays*) хибрида 404. Сјеме је наклијавано на филтер папиру у термостату, при температури 26 °С. Након наклијавања, поници су пренијети у посуде запремине 4 L са потпуним хранљивим раствором направљеном по рецептури Reid-а и York-а (1958). На овом раствору биљке су гајене 10 дана, а затим су третиране никлом у концентрацијама: 1, 0,1, 0,01 и 0,001 mmol/dm³. Никл је примијењен у облику NiSO₄·6H₂O, а третман је трајао 11 дана. Након третмана никлом, биљкама старим 21 дан одвојени су коријен и надземни дио. У циљу одређивања масе, свјеж биљни материјал сушен је до константне масе у сушници на температури 105 °С. Фотосинтетички пигменти екстраховани су из свјежег биљног материјала помоћу ацетона. Одређивање концентрације хлорофила *a*, *b* и каротеноида, као и њихово израчунавање, извршено је методом Wettstein-а (1957). Садржај укупног пролина одређен је по методи Bates-а (1973) спектрофотометријски (једначина правца калибрационе криве за пролин у опсегу 0,1 до 1 µg/ml).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Биљке понекад могу да накупљају знатне количине тешких метала, а да се на њима не уочавају знакови оштећења. Тек када концентрације тешких метала пређу одређену границу, долази до поремећаја у животним процесима биљака и до смањења њиховог растења и развића (Кастори, 1997; Rengel, 2004; Aldoobie и Beltagi, 2013). Стрес изазван повећаним концентрацијама никла повезан је са метаболичким поремећајем који се огледа успореним растом како надземног дијела тако и коријена (Gajewska и сар., 2006; Bhalerao и сар., 2015). На основу резултата приказаних у Табели 1 може се видјети да је раст младих биљака бораније и кукуруза варирао у зависности од примијењене концентрације Ni у медијуму. Са порастом концентрације Ni (1 и 0,1 mmol/dm³) инхибиран је раст како коријена тако и надземног дијела обе врсте, при чему се запажа да је Ni знатније инхибирао раст кукуруза у односу на боранију.

Табела 1. Утицај различитих концентрација никла на раст младих биљака бораније и кукуруза (cm)

Концентрација Ni (mmol/dm ³)	Боранија	Кукуруз	Боранија	Кукуруз
	Дужина надземног дијела		Дужина коријена	
Контрола	26,25	24,55	18,25	25,40
1	15,70	9,5	2,95	15,80
0,1	25,03	9,88	7,50	12,71
0,01	29,60	19,05	13,45	15,78
0,001	31,10	18,86	12,85	28,60

Такође се уочава да је никл знатније инхибирао раст коријена у односу на надземни дио, што је вјероватно посљедица његовог већег задржавања у коријену (Chen и сар., 2009; Asati и сар., 2016). Резултати истраживања Gajewska и сар. (2006); Parlak (2016) на пшеници показали су да веће концентрације Ni инхибирају раст стабла доводећи до одређених морфолошких деформација. Исти аутори установили су знатније смањење раста коријена, што је посљедица веће акумулације никла у коријену у односу на надземни дио. Наши резултати такође указују на сличне промјене. Ниже концентрације никла (0,01 и 0,001 mmol/dm³) у медијуму стимулативно су утицале на раст надземног дијела бораније, док код кукуруза нису запажене овакве промјене. Bhardwaj и сар. (2007) забиљежили су смањен раст *Zea mays* с повишеном концентрацијом Ni. Gvozdenac и сар. (2012) у својим истраживањима на биљкама јечма и кукуруза забиљежили су да различите концентрације Cr, Ni и Cu инхибирају раст, што се може повезати и са резултатима који су забиљежени у овом раду.

Табела 2. Утицај различитих концентрација никла на свјежу и суву биомасу младих биљака бораније (g/биљци)

Концентрација Ni (mmol/dm ³)	Боранија			
	Свјежа маса надземног дијела	Свјежа маса коријена	Сува маса надземног дијела	Сува маса коријена
Контрола	23,54	4,97	2,93	0,1
1	9,02	1,17	0,83	0,01
0,1	17,59	1,12	1,17	0,07
0,01	21,06	2,35	1,17	0,05
0,001	24,69	3,31	1,68	0,08

Табела 3. Утицај различитих концентрација никла на свјежу и суву биомасу младих биљака кукуруза (g/биљци)

Концентрација Ni (mmol/dm ³)	Кукуруз			
	Свјежа маса надземног дијела	Свјежа маса коријена	Сува маса надземног дијела	Сува маса коријена
Контрола	5,9	2,93	0,37	0,1
1	0,6	1,17	0,20	0,01
0,1	0,88	0,83	0,16	0,07
0,01	3,21	1,17	0,26	0,05
0,001	3,50	1,68	0,23	0,08

Примијењене концентрације никла различито су утицале и на свјежу и суву масу младих биљака бораније и кукуруза како надземног дијела тако и коријена (Табеле 2 и 3). Концентрације никла од 1 и 0,1 mmol/dm³ значајно су инхибирале раст надземног дијела бораније (за 77%) и кукуруза (за 89,83%) у односу на контролу. Истраживања Вруне и Dietz (1995) и El-Shintinawy и El-Ansary (2000) показала су да никл при концентрацији 50 mmol/dm³ доводи до смањења свјеже и суве масе соје и кукуруза, како коријена тако и изданака. Стрес изазван концентрацијом од 0,1 mmol Ni доводи до смањења масе код коријена пшенице (Gajewska и сар., 2009). Дакле, токсичност Ni изазива поремећаје у метаболичким процесима биљака, што инхибира масу гајених биљака. Siddiqui и сар. (2011) у свом раду констатовали су знатан инхибиторан утицај никла на пшеници (*Triticum aestivum* L.) посебно у свјежој и сувој маси, што се може повезати са резултатима у овом раду. Инхибиторно дејство никла на масу посебно је било изражено на коријену што је било у сагласности с истраживањима Parlak (2016). Свјежа маса коријена кукуруза варирала је од 0,83 g до 2,3 g (контрола). Из резултата приказаних у Табели 2 може се видјети да је најјачи утицај никла забиљежен при концентрацији 1 и 0,1 mmol/dm³ при чему је забиљежено смањење масе коријена за 72% у односу на контролу. Насупрот томе, ниже концентрације никла од 0,01 и 0,001 mmol/dm³ код бораније и кукуруза довеле су до повећања масе. Стимулативан утицај никла при 0,01, 0,015 и 0,02 mmol/dm³ Ni на свјежу и суву масу *Zea mays* забиљежили су Govinda и сар. (2015).

Третман различитим концентрацијама никла довео је до различитог утицаја на заступљеност фотосинтетичких пигмената код младих биљака бораније и кукуруза. Смањење садржаја хлорофила код биљака третираним тешким металима приписује се поремећајима у синтези овог пигмента (Stobart и сар., 1985), као и његовој повећаној деградацији (Somashékaraiah и сар., 1992). Из резултата приказаних у Табели 4 може се видјети да је садржај хлорофила *a* код бораније био највећи код контролне групе биљака (0,965 mg/g) док је најнижи садржај (0,493 mg/g) утврђен код биљака гајених у хранљивом раствору који је садржавао никл у концентрацији од 1 mmol/dm³.

Табела 4. Садржај фотосинтетичких пигмената (mg/g свјеже материје) код младих биљака бораније гајених при различитим концентрацијама никла

Концентрација Ni (mmol/dm ³)	Хлорофил <i>a</i>	Хлорофил <i>b</i>	Хлорофил <i>a+b</i>	Хлорофил <i>a/b</i>	Каротеноиди
Контрола	0,965	0,552	1,490	1,747	0,305
1	0,493	0,298	0,791	1,654	0,152
0,1	0,849	0,402	1,251	2,112	0,306
0,01	0,909	0,453	1,362	2,005	0,325
0,001	0,915	0,455	1,370	2,010	0,328

При концентрацији никла од 1 mmol/dm³ садржај хлорофила *a* смањено се за 48%, а хлорофила *b* за 46% у односу на контролне биљке. Концентрација никла од 0,1 mmol/dm³ такође је инхибиторно утицала на садржај хлорофила *a*, док је садржај пигмената при концентрацији 0,01 и 0,001 mmol/dm³ био сличан контролним биљкама. Parlak (2016) је установио да никл при концентрацији 0,25 и 50 µg/L знатно инхибира (до 50%) садржај

фотосинтетичких пигмената код пшенице гајене у хидропонику. Утицај никла на удио хлорофила *a* био је већи него на удио хлорофила *b*. Садржај хлорофила *b* био је највећи у варијанти раствора код контролних биљака (0,552 mg/g), док је најмања вриједност хлорофила *b* забиљежена код групе биљака третираних највећом концентрацијом 1 mmol/dm³ Ni (0,298 mg/g). Остале концентрације 0,1, 0,01 и 0,001 mmol/dm³ Ni такође су имале инхибиторан утицај на садржај хлорофила *b*. Удио каротеноида смањивао се са порастом концентрације никла у хранљивом медијуму. Најмања вриједност каротеноида забиљежена је код биљака третираних највећом концентрацијом никла 1 mmol/dm³ (0,152 mg/g), што је за 50% било мање у односу на контролну групу биљака. У варијантама раствора гдје је концентрација никла била 0,1, 0,01 и 0,001 mmol/dm³ садржај каротеноида незнатно је одступао у односу на контролу.

За разлику од бораније никл је у младим биљкама кукуруза (Табела 5) испољио позитиван утицај на удио хлорофила *a* и *b* и каротеноида. Највећи удио хлорофила *a* и *b* утврђен је при концентрацији 0,1 mmol/dm³ Ni. Остале концентрације 0,01 и 0,001 mmol/dm³ Ni, такође су, у мањој мјери, повећале садржај хлорофила *a* и *b*.

Повољно дејство никла на садржај фотосинтетичких пигмената, а самим тиме и на ефикасност фотосинтезе, уочили су и други аутори (Kachout и сар., 2015). У својим истраживањима установили су да Cu, Ni, Pb и Zn код биљака из рода *Atriplex* знатно повећава удио хлорофила а смањује садржај каротеноида што указује на толеранцију испитиване врсте на загађеност земљишта тешким металима. Концентрација од 1 mmol/dm³ Ni неповољно је утицала на заступљеност фотосинтетичких пигмената, посебно хлорофила *a*, односно дошло је до значајног смањења за 72,50%, хлорофила *b* за 65,72%, и каротеноида 71,77% у односу на контролу.

Табела 5. Садржај фотосинтетичких пигмената код младих биљака кукуруза гајених при различитим концентрацијама никла (mg/g свјеже материје)

Концентрација Ni (mmol/dm ³)	Хлорофил <i>a</i>	Хлорофил <i>b</i>	Хлорофил <i>a+b</i>	Хлорофил <i>a/b</i>	Каротеноиди
Контрола	0,691	0,283	0,974	2,442	0,209
1	0,190	0,097	0,287	1,959	0,059
0,1	1,035	0,517	1,552	2,002	0,359
0,01	1	0,539	1,539	1,855	0,539
0,001	0,999	0,521	1,52	1,917	0,337

Максимовић и сар. (2007) утврдили су да се у свјежим листовима кукуруза садржај хлорофила смањује с повећањем концентрације Ni од 0,02 до 0,1 mmol/dm³. Уочено је да је садржај хлорофила смањен за 70%, а хлорофил *b* 50% у поређењу с контролним биљкама. Pandey и Sharma (2002) у својим истраживањима указују да је хлорофил *a* осјетљивији на високе концентрације никла од хлорофила *b*. Међутим, Gajewska и сар. (2006) у својим истраживањима наводе да се хлорофил *b* знатније смањује у листовима пшенице третираним никлом у односу на хлорофил *a*.

Садржај каротеноида у биљкама кукуруза био је најнижи при концентрацији никла од 1 mmol/dm³ што је било за 71,77% ниже у односу на контролу. Највећи садржај

каротеноида забиљежен је при концентрацији Ni од 0,01 mmol/dm³, што је у односу на контролу било повећано за 61,22%, док су концентрације 0,1 и 0,001 mmol/dm³ имале сличан утицај и довеле до повећања садржаја каротеноида за 36% у односу на контролу. На основу добијених резултата може се закључити да је иста концентрација никла у медијуму различито утицала на удио хлорофила *a* и *b* и каротеноида.

Један од честих одговора биљака на стресне услове, као што су тешки метали, јесте повећана акумулација осмотски активних материја. Сматра се да би пролин могао заштитити биљке од токсичности тешких метала (Schat и сар., 1997) и да до акумулације долази тек онда када је дошло до одређених метаболичких оштећења (Parlak, 2016). Резултати наших истраживања приказани у Табели 6 показали су да се садржај пролина повећао са повећањем концентрације никла у медијуму у односу на контролу. Тако је највећи садржај забиљежен у надземном дијелу бораније при највећој концентрацији никла 1 mmol/dm³ (105,5 µg/g) и у коријену при концентрацији 0,1 mmol/dm³ (115 µg/g). Код биљака које су третиране са 0,01 и 0,001 mmol/dm³ никла садржај пролина био је незнатно повећан у односу на контролу. Већи садржај пролина забиљежен је у коријену у односу на надземни дио. Добијени резултати у овом раду били су у сагласности с истраживањима Gajewska и сар. (2006); Parlak (2016) који су доказали да долази до накупљања пролина у пшеници (*Triticum aestivum*) третираној различитим концентрацијама никла.

Табела 6. Садржај слободног пролина (µg/g) у младим биљкама бораније гајеним на различитим концентрацијама никла

Концентрација Ni (mmol/dm ³)	Надземни дио	Коријен
Контрола	39,5	74,5
1	105,5	70
0,1	59	115
0,01	32,5	80
0,001	56,5	52,5

Табела 7. Садржај слободног пролина (µg/g) у младим биљкама кукуруза гајеним на различитим концентрацијама никла

Концентрација Ni (mmol/dm ³)	Надземни дио	Коријен
Контрола	10,5	5,65
1	104	40,15
0,1	55,65	38
0,01	32,5	18,5
0,001	31,65	21

Садржај слободног пролина у младим биљкама кукуруза повећавао се са повећањем концентрације Ni у медијуму како у коријену тако и у надземном дијелу у односу на контролне биљке. Највећи садржај пролина утврђен је у надземном дијелу при

концентрацији никла 1 mmol/dm^3 ($104 \text{ }\mu\text{g/g}$) и $0,1 \text{ mmol/dm}^3$ ($55,65 \text{ }\mu\text{g/g}$). Концентрације $0,01$ и $0,001 \text{ mmol/dm}^3$ такође су довеле до повећања садржаја пролина за око 65% у односу на контролу (Табела 6). У односу на врсту, већи садржај пролина констатован је код бораније у односу на кукуруз. Parlak (2016) је у својим истраживањима забиљежио да се садржај пролина у младим биљкама пшенице гајене у хидропоничним условима дупло повећава у односу на контролу, што се може повезати и са резултатима који су добијени у овом раду.

ЗАКЉУЧАК

Иако је никл есенцијални микроелемент и има важну улогу у метаболизму биљака, његова токсичност представља озбиљну пријетњу због све бржег индустријског развоја. Стрес изазван повећаним концентрацијама никла (1 и $0,1 \text{ mmol/dm}^3$) резултирао је инхибицијом раста свјеже и суве масе и садржаја фотосинтетичких пигмента, док су ниже концентрације овог метала ($0,01$ и $0,001 \text{ mmol/dm}^3$) дјеловале нетоксично чак и стимулативно. На основу испитиваних параметара може се закључити да се боранија показала толерантнијом, а кукуруз осјетљивијом врстом на повећану концентрацију никла у хранљивом медијуму.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aldoobie, N. F., Beltagi, M. S.: Biology Physiological, biochemical and molecular responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to heavy metals stress. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 12 (29): 4614–4622, 2013.
2. Asati, A., Pichhode, M., Nikhil, K.: Effect Heavy Metals On Plants: An Overview. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 5 (3): 56–66, 2016.
3. Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D.: Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39: 205–207, 1973.
4. Bhalerao, S. A., Sharma, A. S., Poojari, A. C.: Toxicity of Nickel in Plants. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 3 (2): 345–355, 2015.
5. Bhardwaj, R., Arora, N., Sharma, P., Arora, H. K.: Effects of 28-homobrassinolide on seedling growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities under nickel stress in seedlings of *Zea mays* L. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6: 765–772, 2007.
6. Brune, A., Dietz, K. J.: A comparative analysis of element composition of roots and leaves of barley seedlings grown in the presence of toxic cadmium, molybdenum, nickel and zinc concentrations. *Journal of Plant Nutrition*, 18: 853–868, 1995.
7. Charest, C., Phan, C.T.: Cold acclimation of wheat (*Triticum aestivum*) properties of enzymes involved in proline metabolism. *Physiologia Plantarum*, 80: 159–168, 1990.
8. Chen, C., Huang, D., Liu, J.: Functions and Toxicity of Nickel in Plants: Recent Advances and Future Prospects. Review. *Clean Journal*, 37 (4–5): 304–313, 2009.
9. El-Shintinawy, F., El-Ansary, A.: Differential effect of Cd^{+2} and Ni^{+2} on amino acid metabolism in soybean seedlings. *Biologia Plantarum*, 43: 79–84, 2000.

10. Gajewska, E., Skłodowska, M., Słaba, M., Mazur, J.: Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots. *Biologia Plantarum*, 50 (4): 653–659, 2006.
11. Gvozdenac, S., Inđić, D., Vuković, S.: Phyto-indicators in sediment quality assessment. XVIII International Symposium on Analytical and Environmental Problems. Hungary. Proc. of the Int. Symposium on Analytical and Environmental Problems, 140–143, 2012.
12. Govinda, Bala, S., Singh, S.: Consequences of nickel stress on antioxidant enzymes of *Zea mays*. *International Journal of Innovative pharmaceutical sciences and Research*, 3 (8): 1139–1146, 2015.
13. Hussain, M. B., Ali, S., Azam, A., Hina, S., Farooq, M. A., Ali, B., Bharwana, S. A., Gill, M. B.: Morphological, physiological and biochemical responses of plants to nickel stress: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (17): 1596–1602, 2013.
14. Jablanović, M., Jakšić, P., Kosanović, K.: **Uvod u ekotoksikologiju**. Univerzitet u Prištini. Kosovska Mitrovica. pp: 290–292, 307, 2003.
15. Kachout, S. S., Mansoura, B. A., Ennajah, A., Leclerc, J. C., Ouerghi, Z., Bouraoui, K. N.: Effects of metal toxicity on growth and pigment contents of annual halophyte (*A. hortensis* and *A. rosea*). *International Journal of Environmental Research*, 9 (2): 613–620, 2015.
16. Kastori, R.: **Teški metali u životnoj sredini**. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo. Novi Sad, 1997.
17. Maksimović, I., Kastori, R., Krstić, L., Luković, J.: Steady presence of cadmium and nickel affects root anatomy, accumulation and distribution of essential ions in maize seedlings. *Biologia Plantarum*, 51: 589–592, 2007.
18. Nakazawa, R., Kameda, Y., Ito, T., Ogita, Y., Michihata, R., Takenaga, H.: Selection and characterization of nickel-tolerant tobacco cells. *Biologia plantarum*, 48 (4): 497–502, 2004.
19. Pandey, N., Sharma, C. P.: Effect of heavy metals Co^{2+} , Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*, 163: 753–758, 2002.
20. Parlak, K, U.: Effect of nickel on growth and biochemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 76: 1–5, 2016.
21. Pollard, A. J., Powell, K. D., Harper, H. A., Smith, J. A. C.: The genetic basis of metal hyperaccumulation in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21: 539–566, 2002.
22. Reid, P. H., York, E. T.: Effects of nutrient deficiencies on growth and fruiting characteristics on peanuts in sand culture. *Agronomy Journal*, 50: 63–67, 1958.
23. Rengel, Z.: **Heavy metals as essential nutrients**. In: Prasad MNV(ed) **Heavy metal stress in plants**, 2nd edn. Springer, Berlin, pp: 271–294, 2004.
24. Schat, H., Sharm, S. S., Vooijs, R.: Heavy metal-induced accumulation of free proline in metal-tolerant and a nontolerant ecotype of *Silene vulgaris*. *Plant Physiology*, 101, 477–482, 1997.
25. Sekulić, P., Kastori, R., Hadžić, V.: **Zaštita zemljišta od degradacije**. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 2003.
26. Shaw, B. P., Sahu, S. K., Mishra, R. K.: **Heavy metal induced oxidative damage in terrestrial plants**. In: Prasad MNV (ed) **Heavy metal stress in plants: From**

- biomolecules to ecosystems**. Narosa Publishing House, New Delhi, India, pp. 84–126, 2004.
27. Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Basalah, M. O.: Interactive effect of calcium and gibberellin on nickel tolerance in relation to antioxidant systems in *Triticum aestivum* L. *Protoplasma*, 248 (3): 503–511, 2011.
28. Somashekaraiah, B. V., Padmaja, K., Prasad, A. R. K.: Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*): Involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation. *Physiologia Plantarum*, 85: 85–89, 1992.
29. Stanković, Ž., Erić, Ž., Krstić, B., Petrović, M.: **Fiziologija biljaka**. Prirodno-matematički fakultet. Novi Sad, 2006.
30. Stanković, Ž.: **Fiziologija biljaka**. Državni univerzitet u Novom Pazaru. Novi Pazar. 71, 2010.
31. Stobart, A. K., Griffiths, W. T., Ameen-Bukhari, I., Sherwood, R. P.: The effect of Cd²⁺ on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. *Physiologia Plantarum*, 63: 293–298, 1985.
32. Wettstein, D.: Chlorophyll-letale und submikropische formwechsel der plastiden. *Experimental Cell Research*, 12: 427–433, 1957.
33. Zengin, F. K.: The effects of Co²⁺ and Zn²⁺ on the contents of protein, abscisic acid, proline and chlorophyll in bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Strike) seedlings. *Journal of Environmental Biology*, 2006.

Примљено: 15.01.2018.

Одобрено: 30.08.2018.