

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ БИОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На V редовној седници Наставно-научног већа Биолошког факултета Универзитета у Београду, одржаној 07.03.2022. године, на основу молбе ментора проф. др Гордане Томовић, редовне професорке Биолошког факултета Универзитета у Београду и др Ксеније Јаковљевић, вишег научног сарадника Биолошког факултета, Универзитета у Београду одређена је Комисија за преглед и оцену докторске дисертације Томице Д. Мишљеновића, асистента Биолошког факултета Универзитета у Београду под насловом: **„Биоакumulација потенцијално токсичних метала и физиолошки одговори на садржај никла код врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* (Brassicaceae) са различитих геолошких подлога“** у саставу: др Тамара Ракић, редовни професор, Универзитет у Београду – Биолошки факултет; др Данијела Мишић, научни саветник, Универзитет у Београду, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ – Институт од националног значаја за Републику Србију, др Ана Чучуловић, научни сарадник, Институт за примену нуклеарне енергије, Универзитет у Београду.

Након увида у докторску дисертацију кандидата комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Општи подаци о докторској дисертацији

Докторска дисертација Томице Д. Мишљеновића, под насловом **„Биоакumulација потенцијално токсичних метала и физиолошки одговори на садржај никла код врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* (Brassicaceae) са различитих геолошких подлога“** садржи укупно **153** стране и обухвата следећа поглавља: **Увод** (стр. 1-13), **Циљеви рада** (стр. 14), **Материјал и методе** (стр. 15-27), **Резултати** (стр. 28-107), **Дискусија** (стр. 108-125), **Закључци** (стр. 126-128), **Литература** (стр. 129-139) и **Прилози** (стр. 140-148). Поред наведеног, докторска дисертација обухвата и биографију аутора, као и следеће целине: насловну страну на српском и енглеском језику, листу ментора и чланова комисије, изјаве захвалности, сажетак дисертације на српском и енглеском језику, садржај, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

Докторска дисертација садржи 37 табела (5 у поглављу Материјал и методе и 32 у поглављу Резултати) и 87 слика (5 у поглављу Увод, 2 у поглављу Материјал и Методе, и 80 у поглављу Резултати). Поглавље Литература садржи **219** библиографских јединица.

Анализа докторске дисертације

Докторска дисертација припада ужој научној области екологија, биогеографија и заштита животне средине.

Предмет истраживања докторске дисертације Томице Д. Мишљеновића је проучавање потенцијала за акумулацију микро- и макроелемената у популацијама врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* пореклом са ултрамафитских и неултрамафитских

станишта, као и анализа способности одабраних популација за акумулацију никла у експерименталним условима. Предмет дисертације је и утврђивање екофизиолошких и биохемијских одговора популација анализираних врста са ултрамафитских и неултрамафитских станишта на варијабилни садржај никла у експерименталним условима, као и процена степена толеранције на никл различитих популација ових врста.

У поглављу **УВОД** које је организовано у седам потпоглавља, приказани су извори тешких метала у животној средини и дат је преглед основних карактеристика и распрострањење ултрамафитских стена. Представљене су физичко-хемијске карактеристике земљишта која се формирају над ултрамафитском геолошком подлогом, као и адаптације биљака које се на њима развијају као одговор на комплекс неповољних услова специфичних за ултрамафитска подручја. У оквиру стратегија толеранције биљака на високе концентрације потенцијално токсичних метала у земљишту посебно је истакнут феномен хиперакумулације метала и представљени су резултати досадашњих истраживања овог феномена у оквиру фамилије Brassicaceae и рода *Noccaea* уз пратећу схему. Највећи број до сада познатих хиперакумулатора су хиперакумулатори никла, те је овом феномену посвећена посебна пажња, а представљени су и физиолошки одговори биљака на повишене концентрације никла. Дат је детаљан опис врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox*, карте њиховог распрострањења, као и филогенетска позиција врста у оквиру рода *Noccaea* и трибуса Coluteocarpeae (Brassicaceae).

У поглављу **ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА**, представљени су циљеви докторске дисертације. Основни циљеви односили су се на еколошку анализу која подразумева утврђивање станишних преференци врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* у односу на надморску висину, тип геолошке подлоге, едафске и климатске карактеристике, као и вегетацијску припадност, тј. тип станишта на коме је присуство ових врста забележено теренским истраживањима у оквиру докторске дисертације; утврђивање физичко хемијских карактеристика земљишта на коме се развијају популације ових врста, као и одређивање интерпопулационе варијабилности потенцијала за биоакумулацију и транслокацију микро-(Co, Cd, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, Zn) и макроелемената (Ca, Fe, K, Mg) врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* са ултрамафитских и неултрамафитских станишта, анализом њиховог садржаја у кореновима и надземним деловима биљака. Један од циљева ове дисертације било је и утврђивање потенцијала за акумулацију никла одабраних популација анализираних врста са ултрамафитских и неултрамафитских станишта у контролисаним условима и одређивање ефеката одабраних концентрација никла на продукцију биомасе. Циљеви докторске дисертације укључивали су и дефинисање физиолошко-биохемијских одговора на садржај никла у популацијама врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* са ултрамафитских и неултрамафитских станишта у контролисаним условима анализом садржаја хлорофила *a* и *b*, укупних хлорофила, каротеноида и антоцијана, пролина, малондиалдехида, појединачних фенолних киселина и флавоноида. Један од циљева докторске дисертације подразумевао је и хистохемијску локализацију никла у листовима гајених биљака.

Поглавље **МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ** је организовано у десет потпоглавља. У првом потпоглављу дате су карактеристике истраживаног подручја укључујући и тип геолошке подлоге на локалитетима на којима је вршено узорковање земљишта и биљног материјала. У другом потпоглављу је описана методологија која је коришћена за одређивање типова станишта на којима је вршено узорковање *Noccaea kovatsii* и *N. praecox*, док је у трећем потпоглављу приказан методолошки приступ коришћен за утврђивање биоклиматских карактеристика локалитета на којима је узоркован биљни материјал. У четвртном и петом потпоглављу је дат преглед коришћених реагенаса и

опреме, док је у шестом потпоглављу описана методологија узорковања земљишта, припреме материјала за даље анализе, као и процедуре коришћене за анализу физичко-хемијских карактеристика земљишта: механичког састава, рН реакције земљишта, садржаја органске материје, лако приступачног фосфора и калијума, калцијума и магнезијума, као и садржаја метала у земљишту. У седмом потпоглављу је приказана методологија узорковања биљног материјала, као и методе коришћене за анализу садржаја хемијских елемената у биљном материјалу и анализу потенцијала за биоакumulацију и транслокацију анализираних елемената. Протоколи коришћени при прикупљању семена анализираних врста, исклијавању семена, припреми супстрата и дизајну експеримената у контролисаним условима, услови гајења, као и припрема биљног материјала за даље анализе дати су у осмом потпоглављу. У деветом потпоглављу је описана методологија коришћена за анализу биохемијско-физиолошких параметара биљака излаганих никлу у експерименталним условима, те су приказани протоколи за одређивање садржаја фотосинтетичких пигмената, малондиалдехида као показатеља степена пероксидације мембранских липида, пролина, фенолних једињења и флавоноида, као и методологија коришћена за хистохемијску локализацију никла у листовима гајених биљака. У десетом потпоглављу су представљене методе коришћене за статистичку обраду резултата.

Поглавље **РЕЗУЛТАТИ** је организовано у четрнаест потпоглавља, у којима су представљени резултати ове тезе. У првом потпоглављу су приказани резултати анализе типова станишта на којима је забележено присуство *N. kovatsii* и *N. praecox*. Обе анализираних врсте су забележене на различитим типовима шумских и нешумских станишта. Међу нешумским стаништима, узорци *N. kovatsii* са ултрамафитске геолошке подлоге доминантно су прикупљени на стаништима класификованим као серпентинске степе, док је на неултрамафитским стаништима врста забележена у субконтиненталним степским травним формацијама и на оро-мезијским ацидофилним травним формацијама. На ултрамафитским стаништима су и узорци *N. praecox* такође доминантно прикупљени у серпентинским степима, док су на неултрамафитским стаништима узорковани са различитих типова травних станишта која укључују затворене калцифилне алпијске травне формације, источне субмедитеранске травне формације, као и суве континенталне степске формације. У шумским стаништима на ултрамафитима узорци су доминантно прикупљени у шумама бора које припадају западнобалканским црноборовим шумама, али и централнобалканским црноборово-белоборовим шумама на серпентиниту. Резултати су представљени табеларно.

У другом потпоглављу кандидат је приказао анализу станишта на којима су прикупљени узорци *N. kovatsii* и *N. praecox* кроз вредности 19 биоклиматских фактора. Врста *N. praecox* је генерално забележена на локалитетима са већом годишњом количином падавина у односу на станишта на којима је регистровано присуство *N. kovatsii*, а истакнута је и значајна разлика у температури највлажнијег квартала међу стаништима анализираних врста. Резултати су представљени табеларно.

Физичко-хемијске карактеристике земљишта су приказане у трећем потпоглављу које је организовано у шест целина. Анализирани узорци земљишта су према резултатима анализе гранулометријског састава класификовани као прашкаста иловача и песковита иловача, иловача, прашкасто глинаста иловача, глинаста иловача и иловасти песак. Резултати анализе гранулометријског састава земљишта су приказани табеларно. Резултати анализе рН вредности, садржаја органске материје, азота, фосфора и калијума представљени су у другој целини у форми табела и графички. Киселост узорака земљишта варирала је од киселе до умерено базне, а није забележена статистички значајна разлика у киселости земљишта са ултрамафитских у односу на неултрамафитске локалитете. Статистички значајна разлика није забележена ни у садржају органске материје и азота у

узорцима земљишта са неултрамафитских у односу на ултрамафитске локалитете, за разлику од садржаја фосфора и калијума чије су концентрације биле значајно ниже у узорцима земљишта са ултрамафитских локалитета. У трећој целини су представљене концентрације калцијума и магнезијума у узорцима земљишта. Измерене концентрације калцијума биле су значајно више на неултрамафитским у односу на ултрамафитска земљишта, док су концентрације магнезијума статистички значајно више на ултрамафитским локалитетима. Последишно, однос концентрација Ca/Mg такође се значајно разликује између ултрамафитских и неултрамафитских локалитета. Псеудототалне и приступачне концентрације гвожђа, мангана, цинка и бакра приказане су у четвртој целини. Кандидат је утврдио да су оне биле статистички значајно више у узорцима са ултрамафитских у односу на неултрамафитске локалитете, док су концентрације бакра и цинка биле статистички значајно ниже у узорцима са ултрамафита. Псеудототалне и приступачне концентрације никла и хрома приказане су у петој целини. Концентрације никла су варирале у широком опсегу, уз знатно више концентрације измерене на ултрамафитским у односу на неултрамафитске локалитете. Концентрације хрома варирале су по сличном обрасцу, док су приступачне концентрације знатно ниже у односу на псеудототалне и на одређеним локалитетима су биле и испод нивоа детекције. У целини шест су приказане псеудототалне и приступачне концентрације олова, кадмијума и кобалта. Концентрације олова и кадмијума биле су статистички значајно више у узорцима са неултрамафитских локалитета, док су концентрације кобалта биле значајно више у узорцима земљишта са ултрамафитских локалитета. Псеудототалне и укупне концентрације анализираних елемената приказане су табеларно и графички.

У четвртом поглављу кандидат је представио резултате анализе садржаја хемијских елемената у кореновима и надземним деловима *N. kovatsii* и *N. praecox* који су приказани у табелама и графички. У првој целини су представљене концентрације анализираних хемијских елемената у кореновима и надземним деловима *N. kovatsii*. Није утврђена статистички значајна разлика у садржају фосфора, калијума, калцијума, магнезијума, гвожђа, мангана, цинка, олова и кадмијума ни у кореновима ни у надземним деловима биљака са ултрамафитских у односу на неултрамафитске локалитете. Дефинисани праг хиперакумулације цинка (3000 mg kg^{-1}) превазилази само концентрација измерена у надземним деловима *N. kovatsii* са локалитета Копаоник – Суво Рудиште. Утврђено је да су концентрације никла биле вишеструко више у узорцима коренова и надземних делова *N. kovatsii* са ултрамафитских у односу на неултрамафитске локалитете, а на свим ултрамафитским локалитетима су концентрације никла у надземним деловима биљака биле изнад номиналног прага хиперакумулације овог метала од 1000 mg kg^{-1} . Концентрације кобалта и хрома у узорцима надземних делова *N. kovatsii* биле су статистички значајно више у односу на узорке са неултрамафитских локалитета, док овај образац није уочен код узорака коренова. Концентрације анализираних хемијских елемената у кореновима и надземним деловима *N. praecox* приказане су у другој целини овог потпоглавља. Концентрације фосфора и калијума у кореновима и надземним деловима *N. praecox* не разликују се статистички значајно између узорака са ултрамафитских у односу на неултрамафитске локалитете. Насупрот томе, концентрације калцијума су биле статистички значајно ниже у надземним деловима *N. praecox* са ултрамафитских у односу на неултрамафитске локалитете, док су концентрације магнезијума и гвожђа биле статистички значајно више у надземним деловима биљака са ултрамафита. Концентрације никла у узорцима коренова и надземних делова *N. praecox* са ултрамафитских локалитета биле су знатно више од концентрација овог метала у узорцима са неултрамафита, а на свим ултрамафитским локалитетима концентрације овог метала у надземним деловима биљака биле су изнад номиналног прага

хиперакумулације. Није утврђена статистички значајна разлика у концентрацијама хрома и кадмијума између узорака коренова и надземних делова *N. praecox* са ултрамафитских у односу на неултрамафитске локалитете, док су концентрације кобалта у кореновима биљака биле значајно више на неултрамафитским у односу на ултрамафитске локалитете.

У петом потпоглављу је представљен потенцијал врста *N. kovatsii* и *N. praecox* за акумулацију анализираних хемијских елемената. Вредности биоконцентрационог, биоакумулационог и транслокационог фактора су приказане табеларно. Високе вредности транслокационог фактора за никл забележене су на ултрамафитским локалитетима код обе анализиране врсте, док овај образац није био јасно изражен на неултрамафитским локалитетима. Вредности биоконцентрационог, биоакумулационог и транслокационог фактора генерално су ниже од 1 за гвожђе и бакар, док су за манган и кобалт вредности биоконцентрационог и биоакумулационог фактора генерално ниже од 1, али су забележене вредности транслокационог фактора изнад 1.

У шестом потпоглављу су приказани резултати корелационих анализа физичко-хемијских карактеристика земљишта, као и корелационих анализа садржаја хемијских елемената у кореновима и надземним деловима *N. kovatsii* и *N. praecox*. Резултати су приказани и графички. Кандидат је утврдио да су концентрације елемената чији је садржај конститутивно повишен у ултрамафитским земљиштима (Mg, Fe, Ni, Cr, Mn, Co) биле међусобно високо позитивно корелисане, док је забележена и негативна корелација ових елемената са садржајем калцијума, фосфора и калијума.

Концентрације анализираних хемијских елемената у биљкама гајеним у експерименталним условима приказане су табеларно у седмом потпоглављу. Повећање концентрације никла у супстрату довело је и до повећања концентрације овог елемента у ткивима биљака из свих гајених популација врста *N. kovatsii* и *N. praecox*. Изузев јединки *N. kovatsii* са локалитета Авала које нису преживеле третман највишом примењеном концентрацијом никла, концентрације овог елемента у листовима обе гајене врсте из свих популација превазилазе номинални праг хиперакумулације. Код врсте *N. kovatsii* је повећање концентрације никла у супстрату довело до смањења концентрације цинка у надземним деловима биљака из популације са ултрамафита на Копаонику, као и код неултрамафитске популације са Авале, док код биљака са неултрамафитске популације на Каблару овај ефекат није уочен. Истовремено, повећање концентрације никла у супстрату довело је до смањења концентрације цинка у ткивима надземних органа *N. praecox* из популација Маљен и Златибор пореклом са ултрамафита, док су код биљака са неултрамафитског локалитета Ћићарија концентрације цинка у листовима при третману никлом биле више у односу на контролу.

Биомасе гајених биљака при третману никлом приказане су у осмом потпоглављу. Резултати су представљени графички, а приказане су и фотографије биљака из експеримената. Код *N. kovatsii* из неултрамафитске популације са Авале уочен је статистички значајан пад биомасе биљака у поређењу са контролном групом; код биљака из неултрамафитске популације Каблар је биомаса надземних делова биљака статистички значајно нижа тек при излагању највишој примењеној концентрацији никла, док код ултрамафитске популације са Копаоника није дошло до статистички значајног смањења биомасе у односу на контролу ни при једној примењеној концентрацији никла. Утврђено је да третман растућим концентрацијама никла није довео до статистички значајног смањења биомасе у односу на контролну групу код *N. praecox* из ултрамафитских популација Златибор и Маљен, док код биљака из неултрамафитске популације Ћићарија долази до значајног смањења биомасе при третману свим примењеним концентрацијама никла.

У деветом потпоглављу су графички представљени резултати анализе садржаја фотосинтетичких пигмената у листовима *N. kovatsii* и *N. praecox*. Код обе анализирани врсте при излагању високим концентрацијама никла дошло је до снижења концентрације укупних хлорофила у односу на контролну групу, док код већине анализираних популација није уочена статистички значајна промена у концентрацији каротеноида у односу на контролну групу, уз изузетак *N. praecox* са локалитета Ћићарија и Златибор код којих је највиша примењена концентрација никла довела до смањења концентрације каротеноида.

Резултати анализе садржаја антоцијана у листовима *N. kovatsii* и *N. praecox* представљени су графички у десетом потпоглављу. Код *N. kovatsii* са локалитета Копаоник и Каблар, као и код *N. praecox* са локалитета Маљен и Златибор, повећање концентрације никла у супстрату довело је до повећања концентрације антоцијана у листовима, док је код *N. kovatsii* са Авале и *N. praecox* са Ћићарије уочено смањење концентрације антоцијана у листовима при третману никлом у односу на контролну групу.

У потпоглављу једанаест су графички приказани резултати анализе садржаја малондиалдехида у листовима гајених биљака. Третман никлом није довео до статистички значајних промена у садржају малондиалдехида у популацијама *N. kovatsii* са Копаоника и Каблара, док је третман највишом концентрацијом никла узроковао значајно смањење садржаја малондиалдехида у односу на контролу код биљака пореклом са Авале. Код *N. praecox* са Златибора и Маљена није забележена статистички значајна промена у концентрацији малондиалдехида при третману никлом, док је код биљака са Ћићарије при излагању највишим концентрацијама никла дошло до смањења садржаја малондиалдехида.

Концентрације пролина у листовима гајених биљака приказане су графички у дванаестом потпоглављу. Код *N. kovatsii* са локалитета Авала уочено је повећање концентрације пролина при излагању никлу, док је код биљака са Каблара и Копаоника уочено смањење концентрације пролина при третману никлом. Код *N. praecox* са Златибора и Маљена је при третману никлом детектовано смањење концентрације пролина у листовима, док је код биљака са Ћићарије уочен генерални тренд повећања концентрације пролина са повећањем концентрације никла у супстрату.

Резултати анализе садржаја фенолних киселина и флавоноида у листовима гајених биљака представљени су табеларно и графички у тринаестом потпоглављу. Код обе анализирани врсте је утврђено присуство по девет различитих фенолних једињења, од којих шест заједничких, тј. детектованих код обе врсте у барем једној популацији. Међу анализираним фенолним једињењима, код већине популација анализираних врста најзаступљеније су 4-хидроксибензоева, сиригинска и синапинска киселина.

У потпоглављу четрнаест су приказане микрографије попречних пресека листова гајених биљака са хистохемијском локализацијом никла коришћењем бојене реакције са диметилглиоксимом. Развој ружичасте боје која указује на присуство никла, уочен је у епидермалним ћелијама лица и наличја листова, као и у елементима проводног система биљака третираних никлом, док развој ружичасте боје није детектован код биљака из контролне групе.

У поглављу **ДИСКУСИЈА** (које је организовано у дванаест потпоглавља), кандидат је на адекватан начин тумачио и дискутовао резултате добијене у истраживањима користећи се бројним налазима других аутора и савременим научним сазнањима везаним за истраживану проблематику.

На самом почетку дискусије, кандидат је дискутовао типове станишта на којима су забележене анализирани врсте и узети узорци њиховог земљишта и биљног материјала. Указао је на то да су обе анализирани врсте узорковане у различитим

типovima шумских и нешумских станишта, али и истакао да се обе врсте у шумама јављају у деловима отворенијег склопа, или по ободима шума, а да се често јављају и по ободима саобраћајница. Кандидат истиче и одређене јасне разлике у еколошким преференцијама врста *N. kovatsii* и *N. praecox*, које се првенствено манифестују у чињеници да је средња годишња количина падавина на локалитетима на којима је узоркована врста *N. praecox* статистички значајно виша у односу на локалитете на којима је вршено узорковање *N. kovatsii* што се доводи у везу и са опсезима надморских висина станишта на којима су ове врсте регистроване. Утврђено је и да физичко-хемијске карактеристике земљишта на анализираним локалитетима одговарају типичним карактеристикама земљишта које се формира на ултрамафитској геолошкој подлози, а што се огледа у статистички значајно нижим концентрацијама фосфора, калијума и калцијума у односу на неултрамафитске локалитете, као и статистички значајно вишим концентрацијама магнезијума, гвожђа, мангана, никла, хрома и кобалта. Коришћењем релевантне литературе дискутован је садржај анализираних хемијских елемената у подземним и надземним деловима биљака, њихови међусобни односи, стратегије толеранције анализираних врста на повишен садржај потенцијално токсичних метала, као и путеви усвајања. Дискутоване су и изузетно високе концентрације никла забележене у надземним деловима анализираних биљака на ултрамафитским стаништима, а указано је и на факторе који могу узроковати висок степен варијабилности у садржају никла, као и потенцијал за усвајање и транслокацију из подземног у надземни део биљака са ултрамафитских и неултрамафитских станишта. Истакнуто је да је истраживањима представљеним у овој докторској дисертацији по први пут у Србији забележена хиперакумулација цинка код врсте *N. kovatsii*, што је и први податак о хиперакумулацији цинка код једне биљне врсте у Србији.

Кандидат истиче различит степен толеранције популација обе врсте са неултрамафитских у односу на ултрамафитска станишта на излагање никлу у експерименталним условима и коришћењем релевантне литературе дискутује о факторима који могу довести до разлика у тој толеранцији. Детаљно су дискутовани и одређени општи обрасци физиолошко-биохемијских одговора на никл који су уочени у популацијама са различитим степеном толеранције овог метала, а огледају се у разликама у садржају антоцијана, малондиалдехида и пролина. Ефекти никла код анализираних врста на садржај фенолних киселина и флавоноида су поређени са резултатима релевантних студија, а указано је и на популације које би могле бити од посебног значаја за даља истраживања садржаја фенолних једињења код врста обухваћених овом докторском дисертацијом. Обрасци локализације никла код биљака експериментално излаганих овом металу су такође упоређени са обрасцима локализације никла код других хиперакумулаторских врста.

У поглављу **ЗАКЉУЧЦИ**, истакнути су најважнији закључци до којих је кандидат дошао на основу резултата добијених у својим истраживањима.

Врсте *N. kovatsii* и *N. praecox* забележене су на различитим типовима травних и шумских станишта на ултрамафитима, али и на неултрамафитским локалитетима. Заједничка карактеристика обе врсте је појава у шумама отвореног склопа, просветљеним шумским површинама или на ободима шума. Јасне разлике у еколошким преференцијама обе врсте огледају се првенствено у разликама у средњој годишњој количини падавина која је виша на локалитетима на којима је забележено присуство *N. praecox*, док је температура највлажнијег квартала знатно виша на стаништима *N. kovatsii*. Физичко-хемијске карактеристике земљишта са локалитета на којима је присутна ултрамафитска геолошка подлога значајно се разликују у односу на неултрамафитска земљишта, а те разлике се огледају у нижим концентрацијама фосфора, калијума и калцијума у ултрамафитским земљиштима, али и вишим

концентрацијама магнезијума, гвожђа, мангана, никла, хрома и кобалта. Добијени резултати указују на то да су обе анализиране врсте ефикасно адаптиране на дефицит фосфора и калијума у ултрамафитским земљиштима, као и да је основна стратегија толеранције високих концентрација кобалта, хрома, кадмијума и олова искључивање и секвестрација у корену. Хиперакумулација цинка код *N. kovatsii* са локалитета Копаоник – Суво рудиште представља први податак о хиперакумулацији цинка у Србији, а на основу вредности биоакумулационог и транслокационог фактора за цинк, може се закључити да је хиперакумулација цинка конститутивна особина обе анализиране врсте. У свим анализираним узорцима *N. kovatsii* и *N. praecox* са ултрамафитске геолошке подлоге забележене су концентрације никла у надземним деловима биљака изнад прага хиперакумулације, док су концентрације са неултрамафитских станишта обе врсте вишеструко ниже. Иако су концентрације никла у свим узорцима надземних делова *N. kovatsii* и *N. praecox* са ултрамафитских станишта изнад прага хиперакумулације, кандидат је указао на забележен висок степен варијабилности у измереним концентрацијама овог елемента који није могуће објаснити искључиво разликама у концентрацији никла у земљишту, већ је неопходно узети у обзир и сложене интеракције у земљишту, али и потенцијал биљака из различитих популација за акумулацију никла.

Хиперакумулација никла забележена је у свим гајеним популацијама *N. kovatsii* и *N. praecox*, али је утврђен различит степен толеранције анализираних популација обе врсте на третман никлом. Виши степен толеранције на никл је генерално забележен у биљкама пореклом са ултрамафитске геолошке подлоге, али он варира и међу неултрамафитским популацијама. Код обе анализиране врсте при излагању високим концентрацијама никла генерално долази до смањења концентрације укупних хлорофила. На основу добијених резултата, уочавају се и одређени општи обрасци физиолошких одговора популација обе врсте са различитим степеном толеранције никла. Кандидат закључује да код популација *N. kovatsii* и *N. praecox* са вишим степеном толеранције никла долази до повишења концентрације антоцијана са повећањем концентрације никла, концентрација малондиалдехида се не мења статистички значајно у односу на контролну групу, а концентрација пролина се смањује у односу на контролу. Насупрот томе, код популација са нижим степеном толеранције никла при излагању овом потенцијално токсичном металу долази до смањења концентрације антоцијана у односу на контролну групу биљака, смањења акумулације малондиалдехида, као и интензивне акумулације пролина. Јасне конститутивне разлике у садржају анализираних фенолних једињења међу популацијама са различитим степеном толеранције на никл нису утврђене. Као посебно интересантна за даље проучавање састава и метаболизма фенолних једињења у зависности од изложености никлу издваја се популација *N. praecox* са Маљена код које је забележено присуство 4-хидроксибензојеве киселине у изузетно високим концентрацијама. Код свих популација обе анализиране врсте, никл се доминантно депонује у епидермалним ћелијама лица и наличја листа, без обзира на степен толеранције никла.

Поглавље **ЛИТЕРАТУРА** садржи **219** библиографских јединица. Литературни извори су адекватно и на одговарајућим местима цитирани у тексту докторске дисертације.

У поглављу **ПРИЛОЗИ** табеларно су приказани резултати корелационих анализа физичко-хемијских карактеристика земљишта. У прилозима су дате и табеле са подацима о биомаси гајених биљака, концентрацијама фотосинтетичких пигмената, антоцијана, малондиалдехида и пролина. Наведене вредности у тексту дисертације су приказане графички.

ПУБЛИКОВАНИ РАДОВИ И САОПШТЕЊА ИЗ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Б1. Радови у часописима међународног значаја

1. **Mišljenović T**, Jakovljević K, Jovanović S, Mihailović N, Gajić B, Tomović G (2018) Micro-edaphic factors affect intra-specific variations in trace element profiles of *Noccaea praecox* on ultramafic soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(31), 31737–31751., **M22** <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3125-5>
2. **Mišljenović T**, Jovanović S, Mihailović N, Gajić B, Tomović G, Baker AJM, Echevarria G, Jakovljević K (2020) Natural variation of nickel, zinc and cadmium (hyper)accumulation in facultative serpentinophytes *Noccaea kovatsii* and *N. praecox*. *Plant and Soil*, 447(1–2), 475–495, **M21** <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04402-5>

Б2. Саопштење са скупа међународног значаја штампано у изводу

1. **Mišljenović, T.**, Jakovljević, K., Jovanović, S., Mihailović, N., Rakić, T. (2018): Nickel accumulation and tolerance of *Noccaea praecox* (Brassicaceae). 3rd International Conference on Plant Biology (22nd SPPS Meeting), Book of Abstracts, Belgrade, Serbia, 72 **M34**
2. **Mišljenović, T.**, Jovanović, S., Mihailović, N., Jakovljević, K. (2018): Trace elements profiles of *Noccaea praecox* and *N. kovatsii* growing on ultramafic and non-ultramafic substrates. 7th Balkan Botanical Congress, Book of abstracts, Novi Sad, Serbia. - *Botanica Serbica* 42(supplement 1): 33. **M34**
3. **Mišljenović, T.**, Jovanović, S., Kuzmanović, N., Niketić, M., Jakovljević, K. (2019): Distribution and ecological preferences of *Noccaea kovatsii* in Serbia. In: Randelović, V., Stojanović-Radić, Z., Nikolić, D. (eds.): 13th Symposium on the Flora of Southeastern Serbia and Neighboring Regions, Abstracts, Stara planina Mt., Serbia, 69. **M34**

Провера оригиналности докторске дисертације

Докторска дисертација кандидата Томице Мишљеновића, Е3009/2013 послата је дана 28.02.2022. на софтверску проверу оригиналности. Извештај који садржи резултате провере оригиналности ментор је добио дана 28.02.2022.

Резултати електронске провере ове докторске дисертације показују да индекс подударности износи 12%. Детаљним увидом у Извештај, утврђено је да су готово сва уочена појединачна подударања у опсегу мањем од 1%, подударања са два извора су у опсегу од 1%, а са једног извора већа од 1%. Највеће поклапање (3%) је уочено са претходно публикованим резултатима из исте области истраживања, и то пре свега у опште прихваћеним фразама како из области истраживања тако и у фразама уобичајеним у српском језику, затим називима хемикалија, коришћеним методама, мерним јединицама. Коришћење истих, опште прихваћених фраза у оквиру ове области истраживања, као и истих мерних јединица, разлози су уоченог поклапања од 1% са резултатима тезе истраживача из истих области истраживања. Преостала уочена поклапања текста (<1%) се највећим делом односе на фразе уобичајене у овој области истраживања, мерне јединице, типове станишта чији је извор цитиран у литератури, референце цитиране у тексту, латинске називе врста. Треба нагласити и да делови текста у којима постоји поклапање нису смислено повезани.

Када се све претходно изнето узме у обзир, извештај указује на оригиналност докторске дисертације кандидата Томице Мишљеновића, под насловом „Биоакумулација потенцијално токсичних метала и физиолошки одговори на садржај никла код врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* (Brassicaceae) са различитих геолошких подлога“, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

МИШЉЕЊЕ И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација Томице Д. Мишљеновића под насловом: **„Биоакумулација потенцијално токсичних метала и физиолошки одговори на садржај никла код врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* (Brassicaceae) са различитих геолошких подлога“** представља обимно и савремено истраживање у области екологије металофита и даје значајан допринос разумевању потенцијала за биоакумулацију потенцијално токсичних метала код анализираних врста, али и значајан допринос разумевању степена и механизма толеранције никла код популација датих врста са ултрамафитских и неултрамафитских станишта. По свом приступу истраживању и интерпретацији резултата, ова дисертација представља оригиналан научни допринос познавању одговора врста *N. kovatsii* и *N. praecox* на различит садржај потенцијално токсичних метала у земљишту, као и разумевању физиолошких одговора популација обе врсте са различитим степеном толеранције никла при излагању градијенту његових концентрација.

Ова докторска дисертација је указала и на способности кандидата не само да прецизно дефинише научне проблеме и циљеве истраживања, већ и да примени адекватне методе у узорковању и обради резултата, да их на квалитетан начин дискутује и изведе закључке који имају велики значај у разумевању толеранције металофита на повишен садржај потенцијално токсичних метала у земљишту, као и варијабилности између популација анализираних врста за (хипер)акумулацију никла.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај Извештај и одобри кандидату Томици Д. Мишљеновићу јавну одбрану докторске дисертације под насловом **„Биоакумулација потенцијално токсичних метала и физиолошки одговори на садржај никла код врста *Noccaea kovatsii* и *N. praecox* (Brassicaceae) са различитих геолошких подлога“**.

У Београду, 08.03. 2022. године.

КОМИСИЈА:

др Тамара Ракић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Биолошки факултет

др Данијела Мишић, научни саветник,
Универзитет у Београду – Институт за биолошка
истраживања „Синиша Станковић“, Институт од
националног значаја за Републику Србију

др Ана Чучуловић, научни сарадник,
Универзитет у Београду –
Институт за примену нуклеарне енергије