

**Наставно-научном већу
Хемијског факултета
Универзитета у Београду**

ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије за преглед и оцену докторске дисертације Весне Д. Станковић, мастер хемичара.

На редовној седници Наставно-научног већа Хемијског факултета Универзитета у Београду, одржаној 17. јануара 2019. године, одређени смо у Комисију за преглед и оцену докторске дисертације Весне Станковић (рођене Вукојевић), мастер хемичара, под насловом:

"Заступљеност лантаноида и актиноида у различитим типовима земљишта Србије и потенцијал гљиве *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer за њихову акумулацију"

Комисија је докторску дисертацију прегледала и подноси Наставно-научном већу Хемијског факултета Универзитета у Београду следећи:

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Весне Д. Станковић написана је на 88 страна А4 формата (фонт Times New Roman величине 12 pt, са проредом 1) и садржи 21 слику, 32 табеле и 191 литературни навод. Дисертација се састоји из 6 поглавља: Увод (2 стране), Општи део (26 страна), Експериментални део (5 страна), Резултати и дискусија (39 страна), Закључци (2

старне), Литература (14 страна). Поред тога, дисертација садржи: Захвалницу, Изводе на српском и енглеском језику, Садржај, Биографију кандидата, Списак објављених радова и саопштења, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

У **Уводу** је образложена и укратко описана тема рада и област истраживања докторске дисертације. Истакнута је важност одређивања укупног садржаја скандијума, итријума, лантаноида и актиноида у земљишту, као и неопходност испитивања њихове мобилности и биодоступности. Наведене су основне геохемијске улоге гљива у животној средини, са кратким освртом на кључне карактеристике испитиване врсте *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer. У овом делу дисертације су таксативно наведени циљеви истраживања. Као основни циљеви наведени су одређивање заступљености лантаноида и актиноида у различитим типовима земљишта Србије као и мултидисциплинарно и интегрисано проучавање потенцијала гљиве *M. procera* да апсорбује и акумулира ове елементе.

У **Општем делу** кандидат је представио основне хемијске и физичке карактеристике лантаноида и актиноида као и податке о савременој примени и специфичној употреби ових елемената. Приказани су подаци о просечној, природној заступљености ових елемената у земљиштима широм света и детаљно су разматрани параметри земљишта и процеси који утичу на њихову биодоступност и улазак у ланац исхране, као и њихов утицај на животну средину и људско здравље. Процедуре које се користе за одређивање садржаја хемијских елемената у земљишту су детаљно описане уз посебан осврт на BCR (*Commission of the European Communities Bureau of Reference*) секвенцијалну екстракцију као једну од најчешће коришћених метода за одређивање фракционисања метала у земљишту. Описана је улога гљива у животној средини, са конкретним нагласком на способност макромицета да усвајају елементе из земљишта. Детаљно су разматрани фактори који утичу на потенцијал гљива да апсорбују и акумулирају различите елементе у плодносна тела. Кандидат је у овом делу дао исцрпан приказ досадашњих истраживања о садржају есенцијалних и токсичних елемената у плодноним телима гљива, укључујући и испитивану врсту *M. procera*. Додатно, у општем делу дисертације су сажето описане коришћене методе за квантификацију елемената у узорцима, индуковано-спрегнута плазма

- масена спектрометрија (ICP–MS), као и хеометријске методе (*Mann-Whitney U* тест, Пирсонова корелациона анализа и анализа главних компонената).

У оквиру поглавља **Експериментални део** кандидат детаљно описује начин узорковања земљишта и плодноносних тела *M. procera* као и методе коришћене за припрему узорака. Систематично је описана примењена BCR секвенцијална екстракциона процедура. Приказани су експериментални параметри ICP–MS инструмента и детаљно је описана коришћена метода квантификације елемената.

Поглавље **Резултати и дискусија** садржи детаљан приказ и систематичну анализу резултата истраживачког рада кандидата. На самом почетку овог поглавља, кандидат је приказао резултате који потврђују адекватност изабране методе за квантификацију испитиваних елемената у екстрактима земљишта и у биолошким узорцима (плодносна тела *M. procera*). Кандидат је затим представио и дискутовао резултате квантификације елемената ретких земаља (Sc, Y и лантаноиди), актиноида (U и Th) и микроелемената (Pb, V, Rb, Ag) у узорцима земљишта прикупљених на већем броју локалитета са подручја планине Гоч и из шума у околини Трстеника. Приказани су резултати одређивања псеудототалних концентрација ових елемената као и њихови садржаји у изолованим екстрактима добијеним након примене BCR секвенцијалне екстракције на основу којих је утврђена дистрибуција и процењена биодоступност. Хеометријске методе су примењене у циљу класификације узорака земљишта на основу садржаја елемената.

Садржаји елемената у шеширима и дршкама плодноносних тела *M. procera* су табеларно приказани, посебно за сваки испитивани локалитет. Добијени резултати су упоређени и повезани са релевантним литературним подацима. Способност проучаване гљиве да акумулира анализирани елементи процењена је на основу израчунатих транслокационих и биоконцентрационих фактора. Применом статистичких метода развијени су модели за испитивање апсорбције елемената из земљишта као и њихове акумулације и дистрибуције у плодноносним телима макромицета. Корелационе анализе коришћене су за утврђивање постојања сличних механизма усвајања и акумулирања испитиваних метала код *M. procera*.

У **Закључцима** је укратко на основу прегледа истраживања, кандидат представио најважније резултате и закључке до којих је дошао приликом израде докторске дисертације.

Наведена **Литература** садржи листу од 191 литературног навода.

Б. Кратак опис постигнутих резултата

У циљу добијања адекватних података потребних за реализацију постављених мултидисциплинарних циљева ове докторске дисертације, одређен је садржај 22 елемента [Sc, Y, лантаноида (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), актиноида (U, Th) и микроелемената (Pb, V, Rb, Ag,)] у узорцима земљишта различитог типа и степена загађења као и у плодноносним телима *M. procera* узоркованих са подручја централне Србије.

Заступљеност елемената (псеудо-тотални садржај) у испитиваним земљиштима одређен је након дигестије узорака са царском водом. Примењена BCR секвенцијална екстракциона процедура омогућила је добијање резултата неопходних за дефинисање расподеле елемената по земљишним фракцијама и утврђивање њихове биодоступности. За квантификацију елемената у припремљеним земљишним екстрактима коришћена је ICP-MS метода претходно верификована коришћењем стандардних референтних материјала.

Резултати ове дисертације су показали да је од испитиваних лантаноида у највећој концентрацији заступљен церијум, затим неодијум и лантан, док су у најмањој концентрацији заступљени лутецијум и тулијум. Садржаји елемената ретких земаља у испитиваном земљишту централне Србије одговарају вредностима за неконтаминирана земљишта. Разлике у садржају елемената ретких земаља у зависности од типа и географског порекла земљишта омогућавају диференцијацију земљишта, што је потврђено употребом напредних хеометријских метода. Дистрибуција елемената ретких земаља је показала да је највећи удео ових елемената заступљен у резидуалној фракцији, док је у прве две фракције њихов удео најмањи, независно од локације и од типа земљишта. Добијени резултати указују на малу мобилност и ниску доступност испитиваних елемената биљкама и гљивама при уобичајеним условима животне средине.

На основу резултата садржаја актиноида урана и торијума у испитиваним земљиштима, као и њиховог међусобног односа, кандидат је указао да су истраживана подручја неконтаминирана и без изразитог антропогеног утицаја. Фракционисање актиноида показало је да су ови метали доминантно повезани са резидуалном фракцијом. Кандидат је

такође представио и концентрације и дистрибуцију свих студираних микроелемената у испитиваним узорцима земљишта.

Садржај испитиваних елемената одређен је и у деловима плодноносних тела *M. procera* (шеширима и дршкама) помоћу ICP-MS методе, након примене микроталасне дигестије. Резултати добијени у овом раду представљају прве податке о садржају елемената ретких земаља и актиноида у плодноносним телима ове гљиве са простора Србије.

Израчунате вредности биоконцентрационих фактора указују на мали потенцијал акумулације испитиваних елемената у плодноносним телима проучаване макромицете. Са друге стране, применом хеометријских метода (анализа главних компонената и корелациона анализа) кандидат је утврдио постојање специфичних механизма биоакумулације елемената ретких земаља, који омогућавају идентификацију географског порекла гљиве на основу садржаја ових елемената у њеном плодноносном телу, са посебним нагласком на њихов садржај у дршкама плодноносних тела.

В. Компаративна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Растућа потражња за ресурсима неопходним за развој савремених технологија, као што су елементи ретких земаља или актиноиди, довела је до повећања експлоатације и последично до интензивније емисије ових елемената у животну средину што представља потенцијалну претњу по људско здравље [1]. Одређивање укупног садржаја и расподеле поменутих елемената у земљишту је начин за добијање корисних информација о степену загађености земљишта, о постојању антропогених извора загађења и о тренутном стању животне средине. Са друге стране, гљиве представљају добре кандидате за праћење промена концентрација ових елемената у животној средини током времена (мониторинг), имајући у виду потенцијал одређених врста да усвајају различите елементе из супстрата у коме развијају мицелију и да их акумулирају у својим плодноносним телима [2,3].

Према нашим сазнањима, постоји мало података о садржају и дистрибуцији лантаноида и актиноида у различитим типовима земљишта са подручја Србије. Вредности садржаја испитиваних елемената у узорцима земљишта налазе се у опсегу вредности које одговарају

неконтаминираним подручјима. Варијације у заступљености Sc, Y и лантаноида између узорака земљишта, утврђене коришћењем мултиваријантних статистичких метода, омогућавају њихово разликовање по типу и географском пореклу. Додатно, дистрибуција елемената у земљишту, одређена помоћу BCR секвенцијалне екстракције, показала је да су испитивани елементи доминантно присутни у резидуалној фракцији земљишта, што указује на њихову малу мобилност и ниску биодоступност, при уобичајеним условима животне средине.

Испитивана самоникла врста *M. procera* је добро позната као акумулатор одређених есенцијалних и токсичних елемената [4]. Међутим, мали је број објављених резултата о способности плодноносних тела ове макромицете да апсорбују и акумулирају елементе ретких земаља и актиноида, док података о узорцима са простора Републике Србије до овог рада нема.

Потенцијал *M. procera* да акумулира Sc, Y и лантаноиде, као и актиноиде U и Th, утврђен је одређивањем садржаја ових елемената у дршкама и шеширима њених плодноносних тела. Примена различитих, напредних статистичких метода имала је за циљ утврђивање механизма усвајања елемената из земљишта. Резултати одређивања концентрације елемената ретких земаља у шеширима *M. procera* добијени у овој докторској дисертацији су у сагласности са резултатима неколико ранијих истраживања [3,5]. Са друге стране, информације о концентрацијама лантаноида и актиноида у дршкама плодноносних тела *M. procera* могу се наћи само у радовима проистеклим из ове дисертације. Испитивање потенцијала акумулације елемената ретких земаља и актиноида у плодноносним телима *M. procera* на основу израчунатих биоконцентрационих фактора резултовало је негативним одговором. Насупрот томе, применом напредних хеометријских метода кандидат је искључиво на основу садржаја елемената ретких земаља у плодноносним телима ове макромицете извршио раздвајање узорака према географском пореклу односно типу земљишта, што потврђује утицај карактеристика земљишта на потенцијал гљиве да апсорбује и акумулира ове елементе. Додатно, садржај лантаноида у дршкама плодноносних тела *M. procera* рефлектује њихов садржај у одговарајућем типу земљишта што се потенцијално може искористити за потребе биомониторинга.

О актуелности проучаване проблематике и њеном ширем значају, као и актуелности у свету, релевантно говоре два научна рада у истакнутим међународним часописима који су публиковани на основу резултата презентованих у овој докторској дисертацији.

1. Liu, C., Yuan, M., Liu, W., Guo, M., Huot, H., Tang, Y., Laubie, B., Simonnot, M., Morel, J. L., Qiu, R. (2021) Element Case Studies: Rare Earth Elements. In: van der Ent A., Baker A.J., Echevarria G., Simonnot M. O., Morel J. L. (eds) Agromining: Farming for Metals. Mineral Resource Reviews. Springer, Cham.
2. Siwulski, M., Budka, A., Rzymiski, P., Mleczek, P., Budzyńska, S., Gąsecka, M., Szostek, M., Kalač, P., Kuczynska-Kippen, N., Niedzielski, P., Golinskij, P., Magdziak, Z., Kaniuczak, J., Mleczek, M. (2020) Multiannual monitoring (1974 - 2019) of rare earth elements in wild growing edible mushroom species in Polish forests. *Chemosphere*, 257, 127173.
3. Falandysz, J., Sapkota, A., Mędyka, M., Feng, X. (2017) Rare earth elements in parasol mushroom *Macrolepiota procera*. *Food Chemistry*, 221, 24-28
4. Kojta, A., Gucia, M., Krasieńska, G., Saba, M., Nnorom, I. C., Falandysz, J. (2016) Mineral Constituents of Edible Field Parasol (*Macrolepiota procera*) Mushrooms and the Underlying Substrate from Upland Regions of Poland: Bioconcentration Potential, Intake Benefits, and Toxicological Risk. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25, 2445–2460
5. Falandysz, J., Sapkota, A., Dryżałowska, A., Mędyk, M., Feng, X. (2017): Analysis of some metallic elements and metalloids composition and relationships in parasol mushroom *Macrolepiota procera*. *Environmental science and pollution research international*, 24, 15528–15537

Г. Научни радови објављени у међународним часописима и саопштења са скупова који су чине део докторске дисертације

Резултати испитивања у оквиру ове докторске дисертације објављени су у 2 научна рада, оба у истакнутом међународном часопису (М22). Поред тога, резултати су презентовани у облику 2 саопштења, на научним скуповима националог значаја, која су штампана у изводу.

М 22- Радови објављени у истакнутим међународним часописима

1. **Vukojević V.**, Đurđić S., Stefanović V., Trifković J., Čakmak D., Perović V., Mutić J. (2019) Scandium, yttrium, and lanthanide contents in soil from Serbia and their accumulation in the mushroom *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer. *Environmental Science Pollution Research*, 26 (6) 5422 – 5434. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3982-y> (M22; IF₂₀₁₉=3,056, Environmental Sciences 99/256)
2. **Vukojević V.**, Đurđić S., Mutić J. (2019), Accumulation of U, Th, Pb, V, Rb, and Ag in wild mushrooms *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer from Goč, Serbia. *Environmental Science Pollution Research*, 26 (13) 13147 – 13158. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04723-z> (M22; IF₂₀₁₉=3,056, Environmental Sciences 99/256)

M64 - Саопштења са националних скупова штампана у изводу

1. **Vukojević V.**, Đurđić S., Mutić J. Uranium and thorium content in mushroom *Macrolepiota Procera* and their bioconcentration factors, 8. Симпозијум Хемије и Заштите Животне средине, Крушевац (30. мај-1. јун 2018) Књига абстракта, страна 139.
2. Mutić J., **Vukojević V.**, Đurđić S. Application of BCR sequential extraction for study of Rare Earth Elements distribution in soil from Serbia, 8. Симпозијум Хемије и Заштите Животне средине, Крушевац (30. мај-1. јун 2018) Књига абстракта, страна 215.

Д. ПРОВЕРА ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Оригиналност ове докторске дисертације је проверена на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204/22.06.2018). Помоћу програма iThenticate утврђено је да количина подударача текста износи 13%. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података коришћених у литератури, тзв. општих места и података у вези са темом дисертације, као и претходно публикованих резултата истраживања проистеклих из дисертације, што је у складу са чланом 9 поменутог Правилника.

На основу свега изложеног Комисија сматра да је докторска дисертација Весне Д. Станковић оригинална као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања.

Е. ЗАКЉУЧАК

Комисија је на основу детаљног прегледа докторске дисертације под насловом „Заступљеност лантаноида и актиноида у различитим типовима земљишта Србије и потенцијал гљиве *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer за њихову акумулацију” закључила да је кандидат Весна Д. Станковић самосталним радом успешно одговорила на постављене мултидисциплинарне задатке везане за одређивање заступљености и дистрибуције лантаноида и актиноида у различитим типовима земљишта централне Србије, као и за одређивање потенцијала гљиве *M. procera* да усваја и акумулира ове елементе.

Експериментални приступ кандидата је обухватио све фазе истраживачког рада (узорковање, припрема узорака, примена савремених инструменталних техника) као и систематично и детаљно тумачење резултата. Одређени су садржаји 22 елемента у узорцима земљишта и плодноносних тела *M. procera*, сакупљених у централној Србији. Кандидат је применом BCR секвенцијалне екстракције дао приказ мобилности и биодоступности испитиваних елемената, о чему у савременој литератури не постоји довољно података. Извршена је процена биодоступности, начина усвајања и акумулације лантаноида и актиноида у *M. procera*. Резултати ове докторске дисертације представљају значајан допринос истраживањима у области хемије животне средине, у погледу мобилности и биодоступности елемената ретких земаља и актиноида.

Резултати истраживања проистекли из ове дисертације приказани су у два научна рада публикована у међународном часопису изузетне вредности (*Environmental Science and Pollution Research*), као и два саопштења на скуповима националног значаја штампана у изводу (категирија М64).

На основу свега изложеног, а у складу са Законом о Универзитету у Београду и Статутом Хемијског факултета, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Хемијског факултета Универзитета у Београду да прихвати Извештај о урађеној докторској

дисертацији Весне Д. Станковић, мастер хемичара, под насловом „Заступљеност лантаноида и актиноида у различитим типовима земљишта Србије и потенцијал гљиве *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer за њихову акумулацију” и одобри њену јавну одбрану

У Београду,

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Јелена Мутић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Хемијски факултет

др Драган Манојловић, редовни професор
Универзитет у Београду - Хемијски факултет

др Јелена Трифковић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Хемијски факултет

др Виолета Митић, редовни професор
Универзитет у Нишу – Природно математички факултет

др Мирјана Стајић, редовни професор
Универзитет у Београду - Биолошки факултет

др Драган Чакмак, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за биолошка истраживања "Синиша Станковић"