

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ БИОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На V редовној седници Наставно-научног већа Биолошког факултета Универзитета у Београду, одржаној 10.03.2017. године, прихваћен је извештај ментора др Мирослава Николића и др Анете Сабовљевић о урађеној докторској дисертацији Јелене М. Павловић, истраживача сарадника у Институту за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду под насловом “Улога силицијума у превазилажењу недостатка гвожђа код краставца (*Cucumis sativus* L.)“, и одређена је комисија за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Мирослав Николић, научни саветник, Институт за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду, др Анета Сабовљевић, ванредни професор, Биолошки факултет Универзитета у Београду и др Јелена Самарџић, научни сарадник, Институт за молекуларну генетику и генетичко инжењерство Универзитета у Београду.

Комисија је прегледала урађену докторску дисертацију кандидаткиње и Већу подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Општи подаци о докторској дисертацији:

Докторска дисертација Јелене Павловић, под насловом “Улога силицијума у превазилажењу недостатка гвожђа код краставца (*Cucumis sativus* L.)“, написана је на српском језику (латиничним писмом) на 104 стране и садржи 25 графичких прилога (најчешће комплексних), 9 табела и 224 цитираних литературних извора. Дисертација је подељена у следећа поглавља: 1. Увод (27 стр.), 2. Циљеви истраживања (1 стр.), 3. Материјал и методе (17 стр.), 4. Резултати (25 стр.), 5. Дискусија (12 стр.), 6. Закључци (2 стр.) и 7. Литература (20 стр.). На почетку дисертације налази се насловна страна на српском и енглеском језику, затим страна са информацијама о менторима и члановима комисије, захвалница, резиме са кључним речима на српском и енглеском језику, списак објављених радова проистеклих из дисертације и садржај, а на крају се налази биографија кандидата и изјаве.

Анализа докторске дисертације:

У поглављу **Увод** приказан је детаљан преглед литературе о физиолошкој улози гвожђа (Fe) код биљака, затим следе разматрања приступачности гвожђа за биљке у земљишту, механизма корена којима биљке преводе гвожђе у приступачне облике у ризосфери и адаптивних стратегија усвајања гвожђа у условима његовог недостатка (Стратегија 1 код свих биљака осим трава, која укључује претходну ензимску редукцију фери облика и Стратегија 2 код трава, која се заснива на хелирању фери јона лигандима

фитосидерофорама). Посебно је разматран транспорт гвожђа на велика растојања и његова дистрибуција у различитим ткивима корена и надземног дела биљака, његово премештање (ретранслокација) од корена до листа, као и унутраћелијски транспорт гвожђа и његова прерасподела у ћелијским органеллама. Посебно је истакнут глобални проблем недостатка гвожђа, који се јавља на преко 30% обрадивих земљишта у свету, као и последице по исхрану и здравље људи. Кандидаткиња даље упознаје читаоце са значајем силицијума (Si) за биљке, који иако још увек није прихваћен као есенцијални елемент, делује на повећање толерантности биљака на вишеструки стрес околине. Наводе се прелиминарне информације да силицијум ублажава недостатак гвожђа (сопствена и истраживања колега из Русије и Шпаније) и наглашава се да механизам деловања силицијума у условима недостатка гвожђа код биљака није био познат. Након дела о облицима силицијума у земљишту и његовој приступачности за биљке, следи детаљан преглед најновијих информација о механизмима усвајања и транспорта моносилицијумске киселине (јединог биоприступачног облика силицијума) код биљака.

У поглављу **Циљеви истраживања**, кандидаткиња је прецизно и концизно артикулисала циљ својих истраживања; разјашњење физиолошких и молекуларних механизма у ублажавању стреса недостатка гвожђа код краставца, као типичног представника Стратегије 1 (модел-биљка), које модулира силицијум, и то механизме аквизиције и усвајања гвожђа кореном, његовог транспорта ксилемом и даље прерасподеле у надземном делу посредством флоема.

У поглављу **Материјал и методе** наведено је порекло и карактеристике биљног (семенског) материјала, као и састав хранљивих раствора у којима су биљке гајене хидропонски, описани су детаљно експерименти, дате јасне и концизне процедуре свих метода које су коришћене приликом израде ове докторске дисертације, уз навођење литературних извора где је то било неопходно. Такође су наведене секвенце гена, спецификације апарата и проивођачи нестандартних хемикалија које су коришћене. На крају су наведене и статистичке методе за обраду података. Све методе коришћене у изради ове докторске дисертације су акурентне и прецизно наведене, тако да омогућавају репродукцију свих експеримената и мерења.

У поглављу **Резултати**, које је логички подељено у десет потпоглавља, представљени су оригинални резултати, који су већином претходно публиковани у међународним часописима. У првом потпоглављу приказани су резултати фенотипских промена и концентрација два испитивана елемента у ткивима, док су у другом потпоглављу приказани резултати који се односе на све компоненте адаптивних механизма корена, познатих као Стратегија 1, и то капацитет корена за редукацију фери хелата, усвајање стабилног изотопа гвожђа-57 и његова траслокација од корена до листа, као и експресија гена који кодирају протеине укључене у ове процесе (FRO2, HA1, IRT1). У следећим потпоглављима (трећем до шестом) приказани су резултати временске динамике деловања силицијума на 1) визуелне промене симптома хлорозе на листовима; 2) експресију гена и активност протеина укључених у процес усвајања гвожђа кореном; 3) искоришћавање гвожђа из апопласта корена и акумулацију хелирајућих и редукујућих једињења, заједно са експресијама одабраних гена укључених у њихову биосинтезу; 4) траслокацију гвожђа ксилемом у надземне делове, укључујући и динамику главних хелатора (цитрата и малата). Овај део најбоље илуструје експеримент који је показао да корен биљака третираних силицијумом боље искоришћава гвожђе из слабо растворљивог фери хидроксида и биљке тада престају да буду хлоротичне. У седмом потпоглављу приказани резултати односе се на утицај силицијума на акумулацију органских киселина (хелатора) у листу од значаја за премештање гвожђа из ксилема у флоем. У осмом потпоглављу приказани су резултати проистекли из врло компликованих експеримената, који су недвосмислено показали да силицијум поспешује прерасподелу гвожђа из

старијих листова (извора) до млађих листова (увира). Ови резултати обухватали су праћење прерасподеле стабилног изотопа гвожђа-57, а затим и акумулацију никоцијанамина, главног хелатора феро-облика гвожђа у симпласту листа и флоему, укључујући и експресију *NAS* гена одговорних за његову биосинтезу. Осим тога, приказани су и резултати који показују да исхрана силицијумом појачава експресју *NRAMP1* гена који кодирају Fe^{2+} транспортер за пражњење ксилема (премештање гвожђа из апопласта у симпласт листа), као и *YSL1* гена који кодирају транспортер за комплекс гвожђе-никоцијанамин, укључен у процесе пуњења и пражњења флоема.

Поглавље **Дискусија** пружа увид у детаљну критичку анализу и интерпретацију резултата добијених овим истраживањима, уз навођење већег броја новије публиковане литературе. Добијени резултати, кроз један интердисциплинарни приступ, дају попуно нова сазнања о деловању силицијума у повећању ефикасности биљке да усваја и ископришћава хранљиве елементе. Дискусија вешто и логички прати след приказаних резултата и у првом делу разматра се утицај силицијума на мобилизацију и усвајање гвожђа кореном и његов даљи транспорт до листова (ксилемом), а затим се разматра утицај силицијума на премештање (ретранслокацију) гвожђа од старијих до млађих листова флоемом. Како научна јавност још увек није сагласна да ли је механизам деловања силицијума на метаболизам биљака изложених стресу директан или индиректан, кандидаткиња овде полемички разматра и тај аспект у светлу сопствених резултата. И на крају следи предлог оригиналног механизма како силицијум делује на целокупну хомеостазу гвожђа у условима његове смањене доступности за биљку, који је врло јасно схематски илустрован, што заправо представља и коначан одговор на претходно постављене циљеве истраживања.

У поглављу **Закључци** кандидаткиња износи концизан и јасан преглед најзначајнијих закључака, изведених из резултата истраживања извршених у оквиру своје докторске дисертације у 5 тачака.

Поглавље **Литература** садржи 224 библиографске јединице, које су једнообразно приказане у списку и све адекватно цитиране у тексту.

Радови и конгресна саопштења из докторске дисертације:

Б1. Радови у часописима међународног значаја

1. **Pavlovic J**, Samardzic J, Kostic L, Laursen KH, Natic M, Timotijevic G, Schjoerring JK, Nikolic M (2016): Silicon enhances leaf remobilization of iron in cucumber under limited iron conditions. *Annals of Botany* 118: 271-280. (**M21a**)
2. Bityutskii N, **Pavlovic J**, Yakkonen K, Maksimovic V, Nikolic M (2014): Contrasting effect of silicon on iron, zinc and manganese status and accumulation of metal-mobilizing compounds in micronutrient-deficient cucumber. *Plant Physiology and Biochemistry* 74: 205-211. (**M21**)
3. **Pavlovic J**, Samardzic J, Masimović V, Timotijevic G, Stevic N, Laursen KH, Hansen TH, Husted S, Schjoerring JK, Liang Y, Nikolic M (2013): Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. *New Phytologist* 198: 1096-1107. (**M21a**)

Б3. Конгресна саопштења на скуповима међународног значаја

1. **Pavlovic J**, Nikolic M (2016): Silicon enhances nicotianamine-mediated iron transport in cucumber leaves. 18th International Symposium on Iron Nutrition and Interaction in Plants, May 30-June 3, 2016, Madrid, Spain, Abstracts, S4-PO-01. (**M34**; poster presentation)
2. **Pavlovic J**, Samardzic J., Nikolic M (2014): Interactions between iron and silicon in cucumber. 17th International Symposium on Iron Nutrition and Interaction in Plants, July 6-10, 2014 Gatersleben, Germany, p. 38. (**M34**; oral presentation)
3. **Pavlovic J**, Samardzic J., Nikolic M (2014): Interactions between iron and silicon in cucumber. 17th International Symposium on Iron Nutrition and Interaction in Plants, July 6-10, 2014 Gatersleben, Germany, p. 38. (**M34**; oral presentation)
4. **Pavlović J**, Samardžić J, Maksimović V, Nikolić M (2013): Silicon mediates iron acquisition by Strategy I plants. 1st International Conference on Plant Biology, June 4-7, 2013, Subotica, Serbia, p. 42. (**M34**; poster presentation)
5. Nikolić DS, Nikolić DB, Timotijević G, **Pavlović J**, Samardžić J, Nikolić M (2013): Silicon mitigates oxidative stress in cucumber at copper excess. 1st International Conference on Plant Biology, June 4-7, 2013, Subotica, Serbia, p. 130. (**M34**; poster presentation)
6. Stević N, **Pavlović J**, Nikolić M (2013): The theoretical prediction of interactions between soluble silicon, iron(III) and carboxylate anions in plant fluids. 1st International Conference on Plant Biology, June 4-7, 2013, Subotica, Serbia, p. 45. (**M34**; poster presentation)
7. Bosnić P, Savić J, Kostić Kravljanac Lj, Stević N, **Pavlović J**, Lazić M, Marjanović-Jeromela A, Hristov N, Nikolić N, Nikolić M (2013): Zn concentrations in wheat grains along the gradient of native Zn soil availability in Serbia. 1st International Conference on Plant Biology, June 4-7, 2013, Subotica, Serbia, p. 47. (**M34**; poster)
8. **Pavlovic J**, Samardzic J, Ilic P, Maksimovic V, Kostic L, Stevic N, Nikolic N, Liang YC, Nikolic M* (2011): Silicon ameliorates iron deficiency chlorosis in strategy I plants: first evidence and possible mechanism(s). Proceedings of the 5th International Conference on Silicon in Agriculture, September 13-18, 2011 Beijing, China, pp. 137-138. (**M32**; *invited speaker)

Мишљење и предлог Комисије:

Увидом у докторску дисертацију Јелене Павловић закључујемо да је она написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и да садржи све релевантне елементе према стандардима Универзитета у Београду. Постављени циљеви истраживања су успешно реализовани, што се јасно види у приказаним резултатима. Резултати ове докторске дисертације, по први пут објашњавају механизам како силицијум утиче на ублажавање дефицита гвожђа код дикотиледоних биљака и глобално представљају значајан допринос физиологији минералне исхране биљака, што јасно потврђује и објављивање једног дела дисертације у *New Phytologist* (имапкат фактор 7,210; биљне науке 5/209), који је један од најеминентнијих светских часописа у области физиологије биљака. Поред тога резултати ове докторске дисертације публиковани су у међународном часопису изузетних вредности (M21a) *Annals of Botany* (имапкат фактор 3,982; биљне науке 20/209) и врхунском међународном часопису (M21) *Plant Physiology and Biochemistry* (имапкат фактор 2,928; биљне науке 41/209). Њена оригиналност огледа се како у решавању како теоретских (физиолошки и молекуларни механизми укључени у силицијумом-посредованој хомеостази гвожђа), тако и практичних проблема гајења усева на кречним земљиштима, на којима се јавља дефцит гвожђа широм света.

На основу свега изложеног, комисија предлаже Наставно-научном већу Биолошког факултета Универзитета у Београду да прихвати овај извештај, те кандидаткињи Јелени Павловић одобри јавну одбрану докторске дисертације под насловом “Улога силицијума у превазилажењу недостатка гвожђа код краставца (*Cucumis sativus* L.)”.

КОМИСИЈА:

др Мирослав Николић, научни саветник,
Институт за мултидисциплинарна истраживања,
Универзитет у Београду

др Анета Сабовљевић, ванредни професор,
Биолошки факултет Универзитет у Београду

др Јелена Самарцић, научни сарадник,
Институт за молекуларну генетику и генетичко
инжењерство, Универзитет у Београду

У Београду, 07.04.2106. године.