



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ
Департман за Ратарство и повртарство



Кандидат

Тања Хрбак

Ментор

доц. др. Марина Путник-Делић

**РАСТ И ФИЗИОЛОШКЕ ПРОМЕНЕ ЦРНЕ
И БЕЛЕ СЛАЧИЦЕ, ЛУЦЕРКЕ И УЉАНЕ
РЕПИЦЕ У ПРИСУСТВУ СИЛИЦИЈУМА**

Мастер рад

Нови Сад, 2018.

КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНУ И ОДБРАНУ МАСТЕР РАДА:

дрМарина Путник-Делић, доцент за ужу научну област Физиологија биљака,
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду, ментор

дрИвана Максимовић, редовни професор за ужу научну област Физиологија и исхрана
биљака, Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду, председник комисије

дрМаја Манојловић, редовни професор за ужу научну област Педологија и агрохемија,
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду, члан

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	4
ABSTRACT	5
1 УВОД	6
2 ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ	7
2.1 СИЛИЦИЈУМИ БИЉКЕ	7
2.2 УЉАНА РЕПИЦА (<i>Brassica napus</i> L.)	9
2.3 ЛУЦЕРКА (<i>Medicago sativa</i> L.)	10
2.4 БЕЛА СЛАЧИЦА (<i>Sinapis alba</i> L.)	12
2.5 ЦРНА СЛАЧИЦА (<i>Brassica nigra</i> (L.) Koch)	13
3 ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА	15
4 МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА	16
4.1 БИЉНИ МАТЕРИЈАЛ	16
4.2 ГАЈЕЊЕ БИЉАКА	17
4.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ МЕТОДЕ	18
5 РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА	22
5.1 УТИЦАЈ СИЛИЦИЈУМА НА РАСТ И ВОДНИ РЕЖИМ	22
5.1.1 Свежа маса листа, стабла и корена	22
5.1.2 Сува маса листа, стабла и корена	23
5.1.3 Површина листова	25
5.1.4 Бројност листова	27
5.1.5 Интензитет транспирације	28
5.2 УТИЦАЈ НА БИОХЕМИЈСКЕ ПАРАМЕТРЕ	30
5.2.1 Концентрација слободног пролина	30
5.2.2. Концентрација пигмената хлоропласта (сува маса)	32
6 ЗАКЉУЧАК	35
7 ЛИТЕРАТУРА	36

Раст и физиолошке промене црне и беле слачице, уљане репице и луцерке у присуству силицијума

РЕЗИМЕ

Силицијум се убраја у групу корисних елемената и код биљака игра важну улогу у расту и развоју. Може значајно да ублажи негативни утицај различитих абиотичких и биотичких фактора на биљке. У овом раду је испитан утицај силицијума (7%) на раст и физиолошку активност црне и беле слачице, уљане репице и луцерке гајених у полуконтролисаним условима, методом водених култура. Под дејством силицијума највеће промене свеже и суве масе различитих органа исте биљне врсте забележене су код беле слачице, а најмање код луцерке. Највеће промене у порасту лисне површине под дејством силицијума су утврђене код луцерке, док је већи број листова по биљци установљен код беле слачице и луцерке. У присуству силицијума у хранљивом раствору, до повећања интензитета транспирације је дошло код црне и беле слачице, а код уљане репице и луцерке је дошло до смањења. Садржај слободног пролина у корену луцерке под дејством силицијума је био знатно већи, док се у надземном делу беле слачице знатно смањило. Концентрација пигмената хлоропласта под дејством третмана силицијумом повећала се код црне и беле слачице, док се код уљане репице и луцерке смањила. Бела слачица је била најосетљивија на третман силицијумом од четири анализираних биљне врсте. Овим експериментом је установљено какве ефекте може да има употреба силицијума на младе једногодишње биљке, три врсте из фамилије *Brassicaceae*, као и на једну вишегодишњу легуминозу.

Кључне речи: силицијум, *Brassica alba* L., *Brassica nigra* L., *Medicago sativa* L., *Brassica napus* L., раст, транспирација, пролин, фотосинтетички пигменти

Growth and physiological changes of black and white mustard, oilseed rape and alfalfa in the presence of silicon

ABSTRACT

Silicon is one of the most useful elements in plants, since it plays an important role in their growth and development. It can also be involved in the metabolic process of higher plants exposed to abiotic and biotic stress. In this study, the effect of silicon (7%) on the growth and physiological processes of a black and white mustard, oilseed rape, and alfalfa grown in the semi-controlled conditions in nutrient solution was examined. It was found that due to silicon treatment, the greatest change in fresh and dry weight among different organs of the same plant species is in white mustard and the least in alfalfa. The largest changes in the increase in the leaf surface under the effect of silicon were found in alfalfa, while the higher number of leaves per plant in the presence of silicon was established with white mustard and alfalfa. In the presence of silicon in a nutrient solution, the intensity of transpiration was increased in black and white mustard, and decreased in oilseed rape, and alfalfa. Free proline content in roots of alfalfa under the influence of silicon was significantly higher, while the above-ground part of the white mustard under the influence of silicon significantly reduced. Concentration of chloroplast pigments in silicon-treated black and white mustard increased while in the oilseed rape, and alfalfa decreased. White mustard was most sensitive in the treatment of silicon of four analyzed plant species. This experiment showed the effects of the silicon on young annual plants, the three species from the Brassicaceae family, and one perennial leguminous.

Key words: silicon, *Brassica alba* L., *Brassica nigra* L., *Medicago sativa* L., *Brassica napus* L., growth, transpiration, proline, photosynthetic pigments

1 УВОД

Силицијум је металоид, по распрострањености у земљиној кори је други елемент, одмах иза кисеоника. Сви биљни органи садрже овај елемент. Већу количину Si садрже стрна жита и биљке које расту на киселим и забареним земљиштима. Мишљења о важности овог елемента у животу биљака још увек су подељена. Ипак данас преовладава схватање да Si није неопходан за више биљке, али да је његово присуство каткад корисно, због чега се убраја у групу корисних елемената. Садржај Si у биљкама креће се у широким границама, зависно од старости биљака, биљне врсте, органа, едафских и климатских услова и др. У бројним радовима до сада је указано на повољно дејство овог елемента на пораст и развој биљака (*Кастори, 1983*).

Si је приписано неколико функција: побољшање у случају нутритивне неравнотеже, редукација токсичности минерала, побољшање механичких својстава биљних ткива и побољшање отпорности на друге абиотичке и биотичке проузроковаче стреса (*Epstein, 1999; Ma и Yamaji, 2006*). Si може бити укључен и у метаболичке процесе или физиолошку активност виших биљака изложених абиотичком и биотичком стресу (*Liang и sar., 2013*). Повољни ефекти Si уочени су код различитих биљних врста, укључујући и Si акумулирајуће и неакумулирајуће врсте (*Ma и cap., 2003*).

2 ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1 СИЛИЦИЈУМИ БИЉКЕ

Биљке Si претежено усвајају у облику недисоциране силицијумове киселине. Биљне врсте на основу накопљања Si, могу се сврстати у две групе: акумулаторе и неакумулаторе Si. Акумулатори, биљке из породице *Superaceae*, *Gramineae* и др., садрже од 50-75 mgSi/g суве материје, а неакумулатори, пре свега дикотиледоне биљке, посебно легуминозе одликују се малим садржајем Si, око 3 mg/g суве материје. Si се у биљкама накопља у ћелијама зидова ксилема и епидермалним ћелијама, у длакама листа, осју и др. (*Кастори и Максимовић*, 2008).

Morikawa uSaigusa (2004) су показали да се Si акумулира у доњем епидермису око стома код биљака боровнице. Они су боровницу класификовали као акумулатора Si (садржи више од 10 mgSi/g).

Пиринач је такође Si акумулирајућа биљка. Si може чинити и до 10% суве масе изданака, што је неколико пута више него есенцијалних макронутријената, као што су N, P и K.

Високи нивои Si у ткивима пиринча могу се приписати одличној способности коренова да усвајајуовај елемент (*Ма uYamaji*, 2006).

Расподела Si у биљкама је специфична. Вегетативни органи обично садрже више Si од генеративних, а надземни део више од подземних органа (*Кастори*, 1983). Више Si се акумулира у старијим ткивима, због тога што овај елемент није мобилан унутар биљке (*Ма uYamaji*, 2006)

Si код биљака игра важну улогу у расту и развоју и ови корисни ефекти обично зависе од акумулације у биљним ткивима, која су онда заштићена од различитих облика биотичког и абиотичког стреса (*Farooq uDietz*, 2015). Повољни ефекти Si најочигледнији су код биљака које акумулирају високе количине Si (*Ма u cap.*, 2011). Функција Si у биљкама постаје значајнија под лошим спољашним условима. Повећање садржаја Siу биљним ткивима повећава њихову толерантностна различите стресоре (*Balakhnina uBorkowska*, 2012). Si може бити укључен и у метаболичке процесе или физиолошку активност виших биљака изложених абиотичком и биотичком стресу (*Liang u cap.*, 2013).

Утврђено је да додатак Si хранљивом раствору побољшава особине раста, принос и квалитет неколико индустријских биљака. Ови стимулишући ефекти Si могу потицати од повећања усвајања хранљивих материја и фотосинтетичке активности (*Sivanesan uPark*, 2014). До сада је указано на повољно дејство Si на пораст, развој и принос биљака пиринча, овса, јечма и др. Сматра се да уграђивањем Si у ћелијски зид повећава се отпорност биљака према полагању и уопште механичким оштећењима, као и према нападу разних болести и штеточина. Истиче се и улога Si у ублажавању токсичног дејства високих концентрација неких тешких метала (Mg, Fe, Zn, Cu) (*Кастори и Максимовић*, 2008).

Si је делотворан у спречавању полагања пиринча повећањем дебљине ткива, повећавајући на тај начин јачину стабљике (*Mitani uMa*, 2005). *Ma uTakahashi*(2002) пронашли су да је примена Si смањила токсичност гвожђа код пиринча. Слично томе, *Hammond u cap.* (1995) показали су да је третман Si значајно ублажио токсични ефекат алуминијума код јечма. Преузимање алуминијума од стране корена било је значајно смањено у присуству Si. Si смањује унос бора код јечма (*Inal u cap.*, 2009) и утиче на преузимање неких макро и микронутријената код различитих биљака, како под условима стреса, тако и без њега (*Wang uHan*, 2007; *EgrinyaEneji u cap.*, 2008; *Gunes u cap.*, 2008; *Mali u Aery*, 2008, 2009). Si повећава толеранцију на UV-B зрачење (*Fang u cap.*, 2011 *Li u cap.*, 2007), његовом применом значајно су се смањила оштећења мембране (*Shen u cap.*, 2010). Симптоми недостатка Si најдетаљније су проучени код пиринча и овса. Недостатак Si код пиринча изазива патуљаст раст, продужава вегетацију, смањује принос, повећава стерилност, а зрно остаје ситно и мрко обојено (*Кастори и Максимовић*, 2008). Биљке којима недостаје Si обично сумање отпорне на гљивична обољења (*Кастори*, 2006). До сада није забележено токсично дејство овог елемента.

2.2 УЉАНА РЕПИЦА (*Brassica napus* L.)

Уљана репица води порекло из Азије а крајем XV века почела се гајити у Европи (*Берић, 2000*). Била је позната 4000 година пре наше ере (*Кондић и сар., 2008*). Припада породици *Brassicaceae*, узгаја се као уљана и крмна култура (*Мустанић и сар., 1985*).

Уљана репица је једногодишња или двогодишња биљка са репасто задебљалим кореном. Стабљика је код развијенијих примерака граната, олистала, зељаста или при основи мало одрвенела. Листови су плавичасто зелени. Доњи листови на лисним дршкама су перасто дељени. Средњи и горњи листови су седећи, нису дељени, по ободу цели или назубљени, са упадљиво срцастом основом и делимично обухватају стабљику. Цвасти су издужене. Крунични листићи затворено жуте боје, два пута дужи од чашичних (*Николић, 1972*). Плод је права или мало повијена љуска, а семе је округло, глатке површине, тамнобраон или црвенкасто браон боје (*Кондић и сар., 2008*).

Уљана репица је значајна индустријска култура, спада међу четири најважније уљане биљке у свету. У данашње време највећи произвођачи уљане репице су Кина, Индија, Канада и Северна Европа (*Кондић и сар., 2008*). Прерадом семена уљане репице у фабрикама уља добија се јестиво уље. Семе ове биљке садржи 40-48% уља и око 25% протеина (*Берић, 2000*). Уље се користи у исхрани и у техничке сврхе. Ако се користи у исхрани, уље се мора предходно рафинисати. Као техничко уље користи се у индустрији сапуна, боја, текстила, коже, у штампарству и као додатак мазивима. Раније се ово уље користило за осветљење јер даје пламен без дима. Након екстракције уља остаје сачма чијом се даљом прерадом добијају погаче које се користе за исхрану стоке, и то како преживара, тако и непреживара. Од 100 kg уљане репице добије се 50-60 kg сачме (уљаних погача). У исхрани стоке, уљана репица се може користити и у свежем стању. У односу на луцерку (у фази цветања) зелена маса уљане репице садржи скоро два пута мање тешко сварљиве целулозе. Својом великом надземном-зеленом масом, репица је одлична и за зеленишно ђубрење. Даје велике приносе зелене масе, до 50 t/ha (*Кондић и сар., 2008*).

Уље старих сорти уљане репице карактерисало се високом концентрацијом (50%) ерука киселине. То је дуголанчана, мононезасићена масна киселина без хранљиве вредности, а штетна по здравље (*Мустанић и сар.*, 1985). После велике панике око ерука киселине, 1960 године, отпочела је интензивна селекција квалитетних сорти тзв. „О“ типа, са ниским садржајем ерука киселине (испод 2%). Селекционари Канаде су први реаговали и веома брзо су створили јаре сорте уљане репице с ниским садржајем ерука киселине.

С обзиром на то да почиње да цвета рано у пролеће и да јој период цветања траје 15-20 дана, уљана репица је једна од најбољих медоносних биљака за испашу пчела. Какосе нектар у цвету уљане репице образује непрекидно, пчеле могу да посећују један цвет неколико пута. Са једног хектара уљане репице која је у пуном цвету пчеле могу да скупе око 80 kg меда, а на парцелама са високом агротехником и до 195 kg (*Gortlevskij u Makeev*, 1983). Уљана репица се све више користи за производњу биодизела. После соје и кукуруза, уљана репица је трећа најважнија индустријска биљка за добијање биодизела (*Vasudevan u Briggs*, 2008). Биодизел не загађује околину, јер се при његовом сагоревању ослободи онолико CO₂ колико је биљка уљане репице везала из атмосфере у току вегетације. Осим тога, ово гориво не садржи сумпор па тако и не може да проузрокује киселе кише, што није случај с минералним дизелом (*Кондић и сар.*, 2008).

2.3 ЛУЦЕРКА (*Medicago sativa* L.)

Према бројним истраживачима, тешко је истаћи где је први пут почело гајење луцерке. Постоје подаци да је ова биљка гајена у Турској, почев од 1400. до 1200. године пре н. е., пре свега, за зимску исхрану домаћих животиња (*Букић и сар.*, 2004). Луцерка припада породици *Fabaceae*, у Европи је најзаступљенија легуминозна биљка за производњу сточне хране (*Букић и сар.*, 2004).

Вишегодишња је биљка, са врло снажним, 1 до 2 (5) m дугим главним кореном. Стабло је усправно, често разгранато, голо или са ретким длакама. Листови су врло различитог облика и величине са разбацаним длакама. Листићи јајастии до клинасто ланцетастии,

целог обода или на врху назубљени, средњи листић већином са мало дужом дршком од бочних. Цветови су скупљени у гроздасте цвасти. Плод је махуна, спиралног је облика. Семе је право или мало савијено, пасуљастиг облика, глатко, жуте боје (Диклић, 1972).

Од крмних махунарки луцерка је у нас најраспрострањенија и од ње се добија највише кабасте хране (Мишковић и сар., 1983). Луцерка се сматра водећом и најважнијом крмном културом, за производњу квалитетне сточне хране од посебног значаја за унапређење сточарске производње. У листовима луцерке се налазе бројни витамини (А, Ц, Д, Е, Б₁, Б₂, Б₃).

Луцерка је богата протеинима и неким органским киселинама (лимонска, јабучна). Одликује се и богатством минералних материја, а посебно Са који је значајан у исхрани стоке. Садржи важне хемијске елементе К, Р, Мг и др. (Лукић, 2000). У исхрани домаћих животиња, пре свега преживара, луцерка има изузетну улогу, а најчешће се користи као сено. Луцерка је једна од значајнијих индустријских биљака. Током више фаза прераде, од ове биљке се добијају бројни производи, као што су пелете, брикете, луцеркино брашно, и други производи. Индустријски производи прераде луцерке користе се као компоненте концентрованих хранива за исхрану моногастричних животиња (свиње, живина, кунићи) и др. Такође, у неким земљама Западне Европе, индустријском прерадом, од ове биљке, добијају се посебни производи, као што је протеински концентрат „бели протеини“. У Француској, годишње се произведе луцеркиног протеинског концентрата преко 12 000 t. Као изузетно квалитетан индустријски производ, протеински концентрат се користи као додатак за исхрану различитих врста и категорија домаћих животиња. За напасање домаћих животиња искоришћавање луцерке је доста ризично, пре свега, због ризика од појаве надуна код преживара, затим осетљивости биљке на гажење (Букић и сар., 2004). Ако се ипак користи за пашу, животињама претходно треба дати доста суве кабасте хране и постепено их привикавати на луцерку. Ако је луцерка у смеси са травама, паша је безопасна. За наше сточарство луцерка је веома важна. Луцеркино сено има велику хранљиву вредност и одличну сварљивост, у њему има много витамина, протеина, минералних материја и других хранљивих сложених једињења (Мишковић и сар., 1983).

Осим тога што се масовно употребљава као сточна храна, луцерка има и своја лековита својства. Чај од луцерке помаже у лечењу кожних болести, артритиса, дијабетеса. Повећава физичку издржљивост организма, виталност, подстиче апетит. Уопштено ова биљка повољно утиче на органе за варење, а спречава и надутост стомака. Неутралише желудачну киселину, а има и диуретичко дејство. Подстиче коагулацију крви, јача имунитет и успорава процес старења, јер успорава дегенеративне процесе. Листови луцерке су веома богати протеинима, па је корисна у исхрани вегетеријанаца (Лукић, 2000).

2.4 БЕЛА СЛАЧИЦА (*Sinapis alba* L.)

Бела слачица је била позната још у старом веку. У време цара Диоклецијана, за јело су коришћене младе биљке беле слачице, а семе је употребљавано као зачин. У средњем веку је коришћена као зачин за побољшање укуса сољеног меса. Бела слачица расте као коров на пољима и ливадама, напуштеним теренима и по вртovima. Распрострањена је у већем делу света. Гаји се у јужној и средњој Европи, Русији, северној Африци, Азији, Америци и Аустралији. У Европи се највише гаји у Енглеској, Холандији, Немачкој и Данској. У нашој земљи бела слачица се мало гаји, углавном у северном, равничарском делу земље. Припада фамилији *Brassicaceae* (Кишигеци, 2008).

Бела слачица је једногодишња зељаста биљка. Корен је вретенаст и добро развијен. Стабло је усправно, разгранато, маљаво. Листови су неправилно усечени, различите величине, маљави и по ободу крупно назубљени. Доњи листови су крупнији и имају дршке, а горњи ситнији-седећи. Цветови су жуте боје, миришљави, медоносни, сакупљени у гроздасте цвасти. Плод је љуска, неправилног цилиндричног облика, маљава. У љусци се налази 4-8 округластих глатких семенки бледожуте боје, љутог укуса, али без мириса. У води бубри и даје много слузи (Кишигеци, 2008).

Бела слачица се гаји ради семена које садржи око 30 % обичног масног уља, око 25 % беланчевина, око 25 % слузи, ензим мирозин, синапин, синапинску киселину и око 2,5 % гликозида синалбина од кога потиче љут укус семена. Обично масно уље је лепе жуте боје и по квалитету је слично сунцокретовом, па се може користити у људској исхрани и конзервној индустрији (Мустанић, 1986). Етарско уље се добија дестилацијом помоћу водене паре, из мацерираниог семена, после екстракције обичног уља. Етарско уље се употребљава у фармацеутској и козметичкој индустрији (Ђукић и сар., 2004).

Семе беле слачице користи се за производњу сенфа. Цела зрна се користе као одлично средство за конзервирање хране, а због слузи коју отпушта потапањем у воду, налази примену и као благ лаксатив. Употребљава се у народној медицини против навале крви у главу, против мождане капи, одузетости, упале поребрице, грчева желуца и жучног мехура. Вегетативна маса беле слачице је добра сточна храна. Уљане погаче нису погодне за исхрану стоке (Кишигеџи, 2008). Млевењем семена добија се брашно, које са водом даје кашу за лечење реуме, назеба и др. (Ђукић и сар., 2004). Слачица је и медоносна биљка (Мустанић, 1986).

2.5 ЦРНА СЛАЧИЦА (*Brassica nigra*(L.) Koch)

Црна слачицаводи порекло из подручја Средоземног мора и западне Азије. У нашој земљи највише се гаји у Војводини, мада се може успешно гајити у свим крајевима наше земље. Гаји се и у Европи, Азији и Америци. Најбољи резултати у гајењу слачице постигнути су у Холандији. Припада фамилији *Brassicaceae*(Кишигеџи, 2008).

Црна слачица је једногодишња зељаста биљка. Стабло је округлог пресека, при основи длакаво, а у горњем делу голо и јако гранато. Доњи и средњи листови су перасто дељени, назубљени и зелене боје. При врху стабла налазе се листови издужено елиптичног облика, плавичасто зелене боје. Цветови су скупљени у гроздасте цвасти. Плод је спљоштена љуска, и у њој се налази неколико лоптастих семенки тамноцрвене боје (Кишигеџи, 2008).

Црна слачица се гаји ради производње семена (*Sinapis nigrae semen*). Семе садржи око 5 % гликозида синигрина, до 1,3 % етарског уља, око 30 % масног уља, до 25 % беланчевина, до 20 % слузи, као и синапинску киселину, холин, ензим мирозин. Семе нема мириса, љутог је укуса. Етарско уље црне слачице није слободно у семену. Добија се дестилацијом помоћу водене паре из самлевеног семена, претходно ослобођеног масног уља. Уље је безбојна или жућкаста бистра течност, љутог укуса и продорног мириса. Од семена црне слачице спремају се антиреуматици, а у ту сврху се користи и брашно од семена (*Farina sinapis*). У исхрани, слачица се употребљава за израду сенфа. Етарско уље црне слачице излучује се преко бубрега и делује као диуретик. Стари лекари су је користили за побољшање функција органа за варење. Етарско уље црне слачице не сме садржати воду и етанол, чува се у алуминијумским посудама тежине 1 kg, смештеним у сувим и хладним просторијама које су заштићене од топлоте и ватре (*Кишгеци, 2008*).

3 ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА

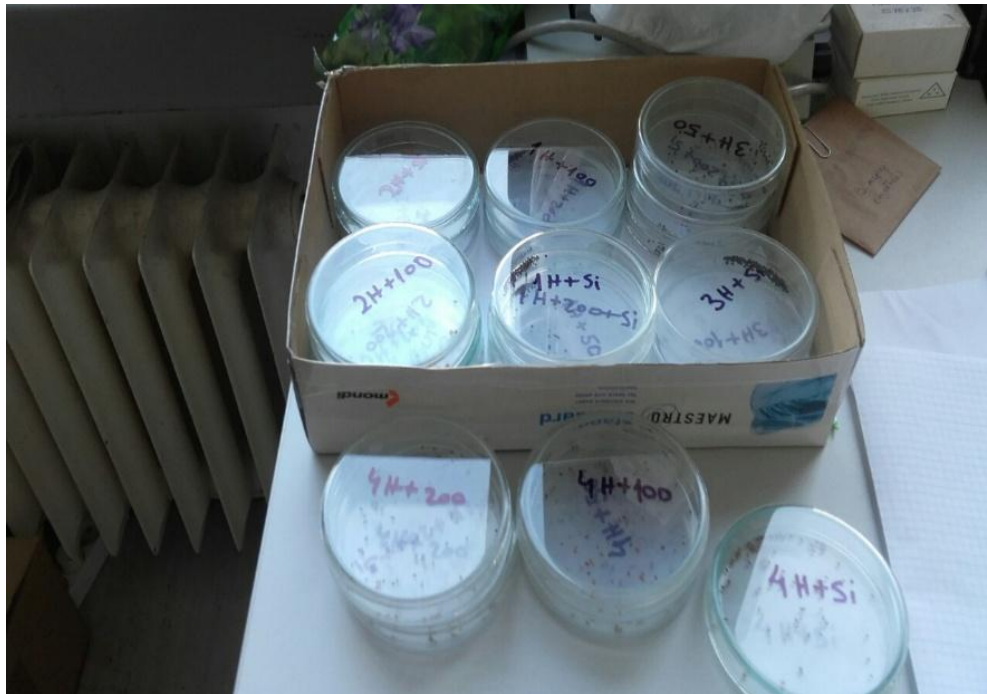
Задатак истраживања је да се испита утицај Si на раст и физиолошку активност црне (*Brassica nigra* L.) и беле слачице (*Brassica alba* L.), уљане репице (*Brassica napus* L.) и луцерке (*Medicago sativa* L.), гајене у полуконтролисаним условима, на хранљивом раствору.

Циљ рада је да се утврди како Si, додат у хранљиви раствор, у коме су гајене биљке, делује на раст (број листова по биљци, лисну површину), водни режим (транспирацију, садржај свеже и суве материје), садржај фотосинтетичких пигмената (каротеноида и хлорофила) и садржај слободног пролина.

4 МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

4.1 БИЉНИ МАТЕРИЈАЛ

У раду су коришћена семена биљних врста црне (*Brassica nigra* L.) и беле слачице (*Brassica alba* L.), уљане репице (*Brassica napus* L.) и луцерке (*Medicago sativa* L.), која представљају део селекционисаног материјала Института за ратарство и повртарство из Новог Сада (Слика 1).



Слика 1. Семена испитиваних биљних врста

4.2 ГАЈЕЊЕ БИЉАКА

Семена црне и беле слачице, уљане репице и луцерке су посејана у плитке, округле петријеве посуде са песком (Слика 2). Песак је предходно стерилисан жарењем у пећи на 500° С и охлађен. Посуде су након сетве постављене у термостат, на температуру од 25-26 ° С, у мрак.

Током наклијавања заливање је вршено са одговарајућим раствором (хранљиви раствор или хранљиви раствор + Si). Као извор Si коришћен је раствор Siliplant универзални са 7% Si у концентрацији препорученој од стране произвођача, 2mL/L раствора. Након појаве котиледона, биљке су пресађене у хранљиви раствор. Песак, у коме су биле биљке, је предходно наквашен, да не би дошло до оштећења клијанаца приликом њиховог ручног вађења. Коренчићи су испрани дејонизованом водом од остатка песка. Пресађивање је извршено у посуде, запремине 700 ml (Слика 3) у које је предходно сипан хранљиви раствор по Хогланду (Hoagland и Arnon, 1950), који је разблажен дестилованом водом два пута ($\frac{1}{2}$ Хогландовог раствора). Биљке које су пресађиване, биле су морфолошки униформне.

Оглед је постављен у пет понављања, са по осам биљака по једном понављању. Биљке су гајене у стакленику, у полуконтролисаним условима. Месец дана након постављања експеримента урађене су анализе. Хранљиви раствори су редовно аерисани и замењивани свежим, ради обезбеђивања оптималне количине кисеоника као и ради спречавања контаминације раствора коренским излучевинама и промене рН вредности раствора. Одмах по скидању огледа измерена је свежа маса.



Слика 2. Семена посејана у петријеве посуде



Слика 3. Биљке пресађене у посуде

4.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ МЕТОДЕ

Одређивање интензитета транспирације је извршено гравиметријски. Ова метода се састоји у мерењу масе посуде са биљкама на почетку огледа и након краћег временског интервала, који подразумева период од неколико часова. Мерење је вршено током три дана, у временским размацима од по два сата. Интензитет транспирације је одређен по формули:

$$I_t = \frac{(m_0 - m_1)}{P \cdot h} \cdot 100 \quad [\text{g H}_2\text{O} / \text{dm} / \text{h}]$$

I_t = интензитет транспирације

m_0 = маса прибора са биљком на почетку огледа

m_1 = маса прибора са биљком на крају временског интервала

100 = коефицијент за превођење cm^2 лисне површине у dm^2

P= лиснаповршинау cm²

h= трајањеогледау h

Лиснаповршина је мерена помоћу аутоматског фотоелектричног мерача Ci-203 laser area meter (CID Bio-Science).

Свежа маса листова, стабла и корена је мерена одмах по скидању огледа.

Садржај суве материје у биљној материјалу је одређен тако што су узорци сушени у сушници до константне масе на температури од 70°C. Садржај суве материје у различитим органима (корен, стабло, лист) је израчунат помоћу обрасца:

$$\text{Садржај суве материје} = \frac{m(\text{сув})}{m(\text{вл})} \cdot 100 [\%]$$

m (вл) = маса узорка пресушења

m (сув) = маса узорка послесушења

Одређивање концентрације фотосинтетичких пигмената Концентрација хлорофила и каротеноида одређена је спектрофотометријски, мерењем апсорпције светлости, приталасним дужинама од 662, 644 и 440 nm у ацетонском екстракту, приче му свакој врсти пигмената одговара специфични, моларни, апсорпциони коефицијент (*Holm (1954)* и *Von Wettstein, (1957)*).

Концентрације пигмената су израчунате на основу следећих образаца:

• Концентрације пигмената у ацетонском раствору:

$$\text{Хлорофил}_a = 9,784 \times A_{662} - 0,990 \times A_{644}$$

$$\text{Хлорофил}_b = 21,426 \times A_{644} - 4,650 \times A_{662}$$

$$\text{Каротеноиди} = 4,695 \times A_{440} - 0,268 \times (x_{la} + x_{lb})$$

$$X_{la} + X_{lb} = 5,134 \times A_{662} + 20,436 \times A_{644}$$

A = читање апсорбанце на спектрофотометру;

9,784; 0,990; 21,426;.....= моларни апсорпциони коефицијенти

- Концентрација пигмената (mg/g свежег листа):

$$C = \frac{C_x \cdot V \cdot R}{m}$$

C = концентрација пигмената

C_x = масена концентрација пигмената

V = запремина одмереног суда

R = разблажење

M = одвага узорка

Одређивање концентрације слободног пролина извршено је у два независна понављања. 1 g биљног материјала се хомогенизује ручно помоћу авана и тучка (Слика 4), са 10 ml 3% сулфосалицилне киселине и након тога се профилира у стаклену епрувету. Отпипетира се 2 ml филтрата у пластичну епрувету и дода се 2 ml нинхидрина и 2 ml сирћетне киселине, затим се оставља на инкубацију на око сат времена на 100°C, након чега се епрувете преносе на лед ради прекидања реакције. Пролин се екстрахује додавањем 4 ml толуена уз вортексирање, а након раздвајања слојева течности, отпипетира се слој у коме се налази екстраховани пролин у кивету за спектрофотометар (Beckman, USA Duferies 60) и очита се апсорбанца на таласној дужини од 520 nm, уз калибрацију апарата чистим толуеном (Bates, 1973). Концентрација пролина је израчуната према обрасцу:

$$\text{Концентрација пролина} = \frac{X \cdot 5}{\text{одвага у } g} [\mu\text{g/g свежe масe}]$$

X = концентрација пролина очитана са стандардне криве

5 = разблажење при екстракцији



Слика 4. Хомогенизовање биљног материјала

Статистичка обрада података је извршена помоћу компјутерског програма Statistica 13, анализом варијансе, при чему је значајност разлика између аритметичких средина утврђена LSD тестом.

5 РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

5.1 УТИЦАЈ СИЛИЦИЈУМА НА РАСТ И ВОДНИ РЕЖИМ

5.1.1 Свежа маса листа, стабла и корена

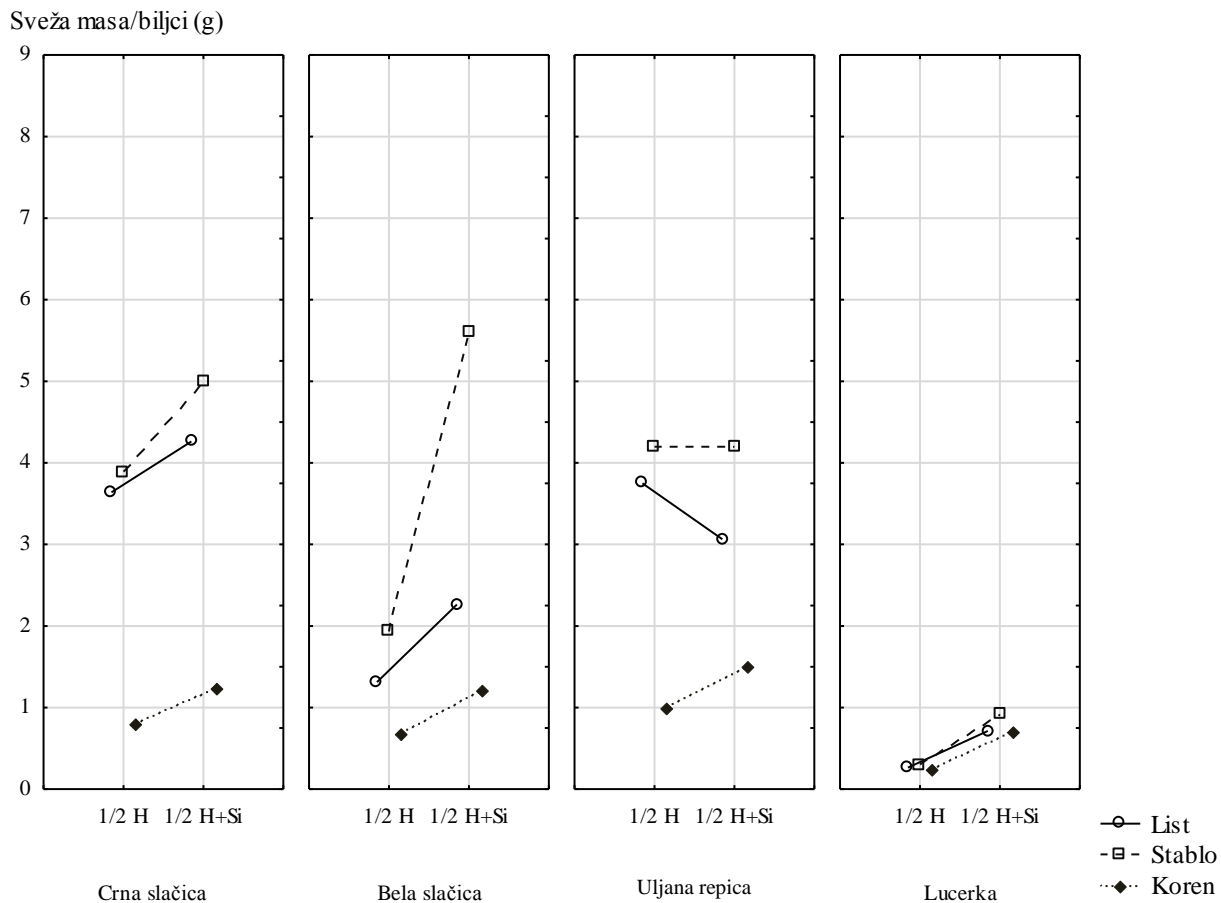
Код свеже масе листова, статистички значајне разлике између контроле и третмане јављају код луцерке, беле слачице и уљане репице (Слика 5). Луцерка код које је у хранљиви раствор додат Si имала је за 37% већу свежу масу листова по биљци у односу на контролу, такође, и код беле слачице којој је додат Siу хранљиви раствор била је за 42% већа свежа маса листова по биљци у односу на контролу. Међутим, кодуљане репице смо имали другачији резултат. Уљана репица којој је додат Si у хранљиви раствор имала је за 18,2% мању свежу масу листова по биљци у односу на контролу. Код црне слачице нису установљене статистички значајне разлике.

Код свеже масе стабла, статистички значајне разлике се јављају код црне и беле слачице и код луцерке, док код уљане репице није било статистички значајних разлика. Црна слачица која је расла у присуству Si је имала 22,2% већу свежу масу стабла у поређењу са контролом, бела слачица 65,4%, а луцерка 67%.

Свежа маса корена се значајно разликовала код све четири биљне врсте. Код беле слачице третман Si је допринео да свежа маса корена буде за 45,2% већа у односу на контролу, а код луцерке 64,6%.

Према истраживањима *Guoa u cap.* (2006), Si значајно може да повећа висину биљке, масу стабљика, листова, корена, као и број секундарних коренова код луцерке, што је у сагласности са нашим резултатима. *Farshidi u cap.* (2012) су утврдили да исхрана Si није довела до значајне промене у дужини стабла, односно биљака уљане репице што је, такође, у складу са нашим резултатима. Побољшан раст корена под дејством Si је

установљен и код кукуруза (Pandey и сар.,2016). Анализе у нашем случају су рађене на младим биљкама.



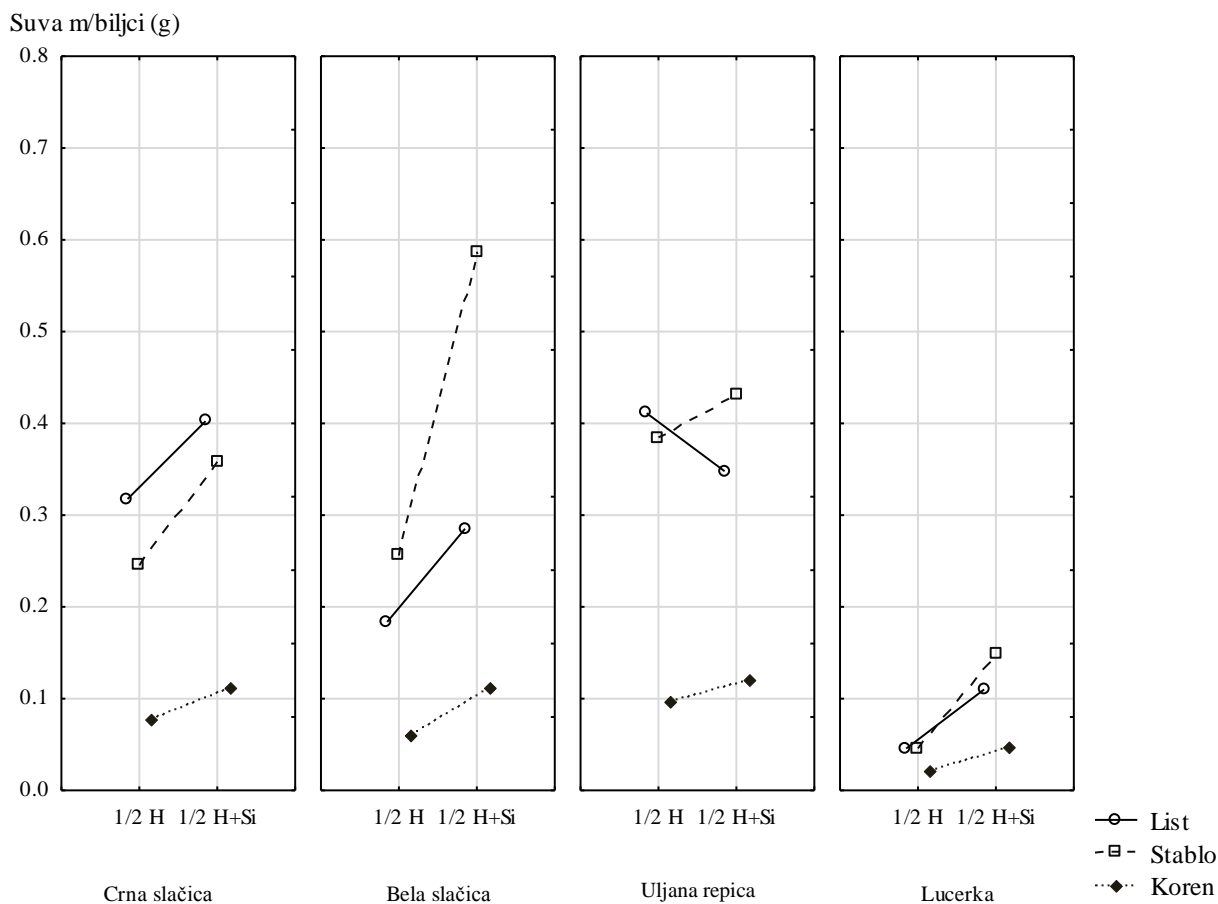
Слика 5. Утицај силицијума на свежу масу листа, стабла и корена

5.1.2 Сува маса листа, стабла и корена

Код суве масе листова, статистички значајне разлике између третмана Si и контроле су установљене код луцерке, беле слачице и уљане репице. Код луцерке која је расла у присуству Si за 58,5% је била већа сува маса листова по биљци у односу на контролу, код беле слачице 35,6%, док је код уљане репице за 15,3% била мања сува маса листова по биљци у односу на контролу (Слика 6).

За суву масу стабла, статистички значајне разлике између третмана Si и контроле су добијене код луцерке, беле и црне слачице, док код уљане репице није било значајних разлика. Код луцерке којој је додат Si за 69% је била већа сува маса стабла по биљци у односу на контролу, код беле слачице 56,3%, а код црне слачице 31,5%.

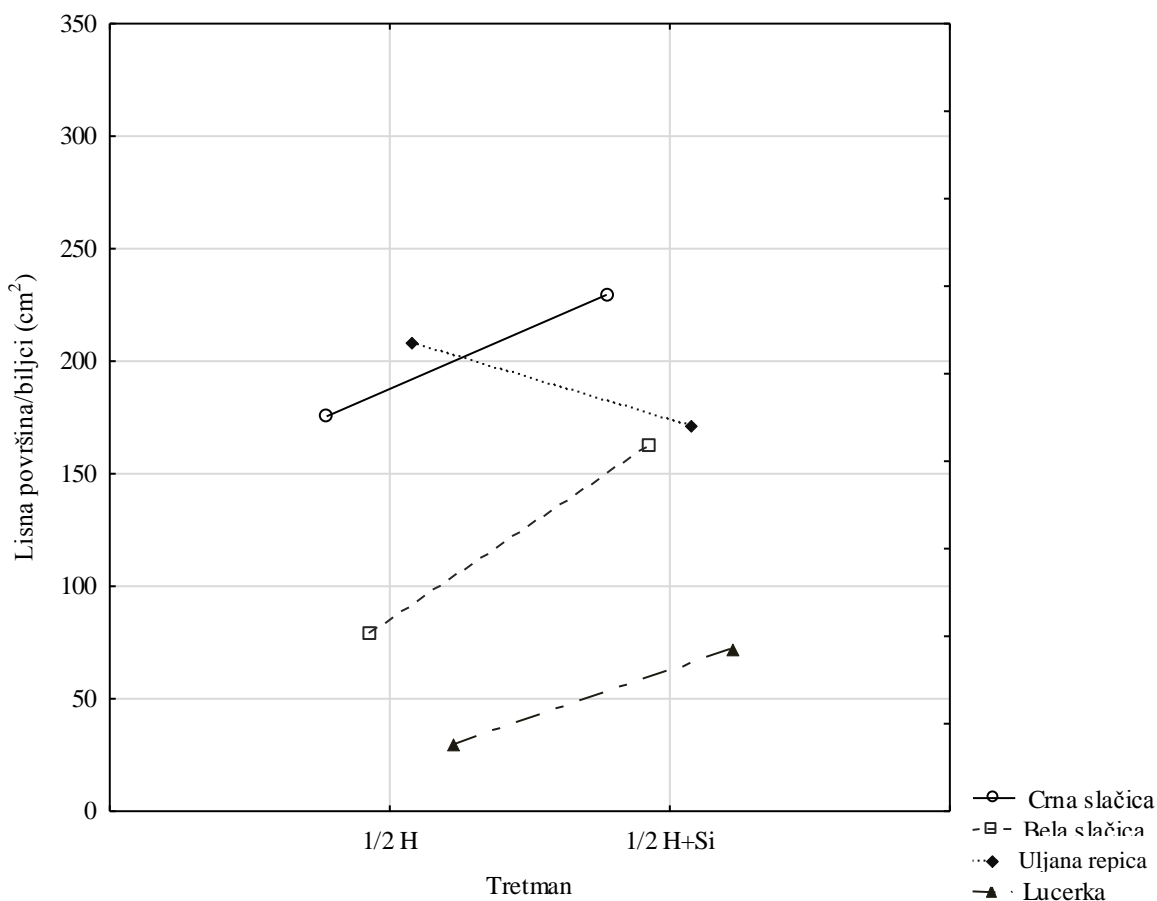
Код суве масе корена, статистички су се значајно разликовали третмани Si и контроле све четири биљне врсте. Код луцерке биљке под третманом Si су имале за 57% већу суву масу корена по биљци у односу на контролне биљке. Код беле слачице је за 46,2% била већа сува маса корена по биљци у односу на контролу (*Слика 6*). До сличних резултата су дошли и *Gong и сар.* (2005; 2008;) који су утврдили да је додаток Si повећао суву масу пшенице у саксијама као и суву масу кинеске шећерне трске (*Hattori и сар.*, 2005;2007). Према истраживањима *Guoa и сар.* (2006), концентрација Si у изданцима и кореновима била је значајно повишена додатком Si у хранљиви раствор. Такође, и код пиринча, брзина раста и продукција суве материје при апликацији Si је повећана (*Agarie и сар.*, 1998). У експериментима *Pandeya и сар.* (2016) изведеним на различитим врстама рода *Brassica*, констатовано је знатно више бочних коренова на биљкама третираним Si, што је такође у складу са нашим резултатима.



Слика 6. Утицај силицијума на суву масу листа, стабла и корена

5.1.3 Површина листова

Површина листова се значајно разликовала између третмана и контроле код све четири биљне врсте (Слика 7). Код луцерке расле у присуству Si чак за 58,6% је била већа лисна површина по биљци у односу на контролу. И код беле слачице која је расла у присуству Si за 51,4% је била већа лисна површина по биљци у односу на слачицу раслу у контролним условима. Међутим, код уљане репице расле у присуству Si за 17,9% је била мања површина листова по биљци у односу на контролу.

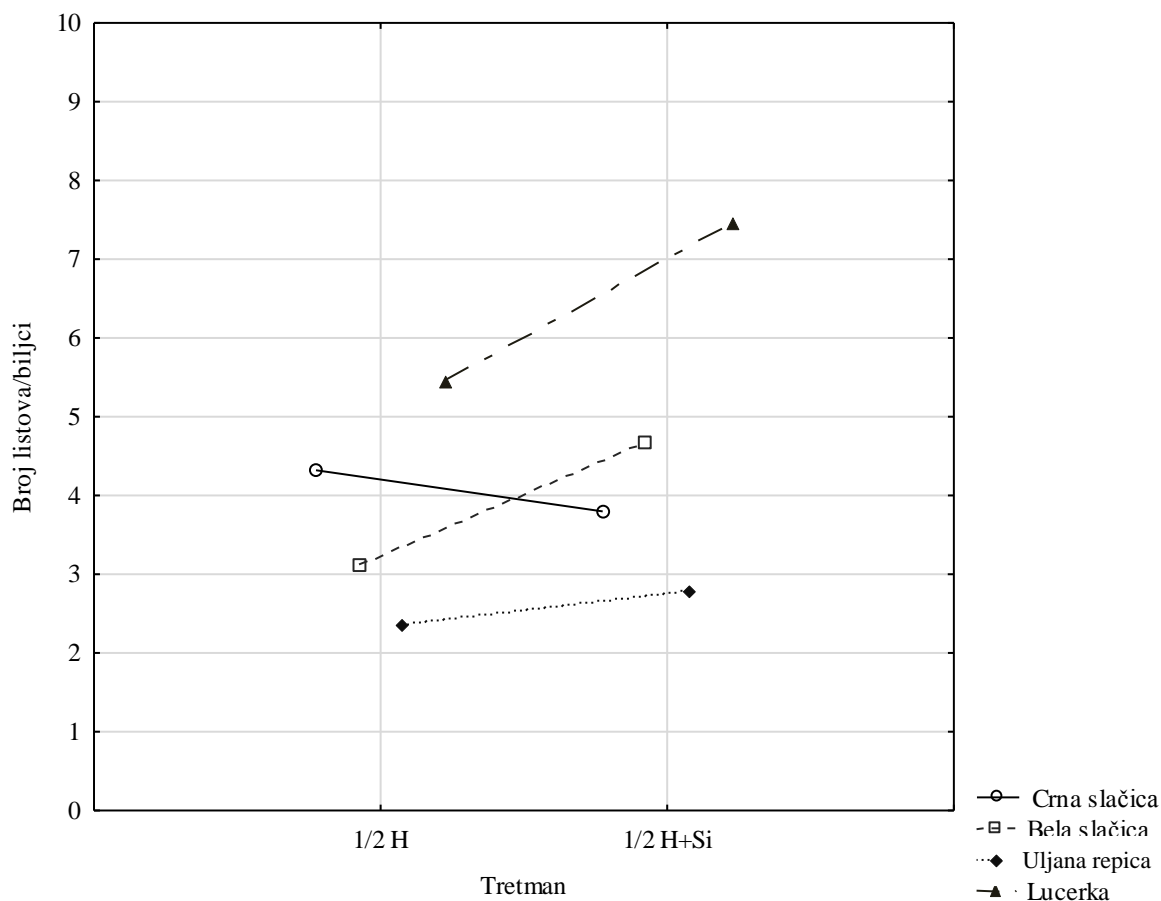


Слика 7. Утицај силицијума на површину листова по биљци

Добијени резултати за луцерку, белу и црну слачицу су у складу са истраживањима *Guoa u cap.* (2006), према којима примена Si значајно повећава површину листа луцерке и фотосинтезу. Слична слагања налазимо и код *Balakhnina u cap.* (2012), према којима присуство Si у биљкама повећава и стимулише раст листова. Такође, они сугеришу да би се Si могао употребити као потенцијални регулатор раста, што може бити нова стратегија побољшања особина земљишта у пољопривреди. За разлику од резултата до којих су дошли *Farshidia u cap.* (2012), где примена Si није значајно утицала на површину листова, у нашем експерименту Si је негативно утицао на раст лисне површине уљане репице.

5.1.4 Бројност листова

Код луцерке, беле и црне слачице се број листова значајно разликовао код биљака које су расле у присуству Si у односу на контролне (Слика 8). Код луцерке је за 26,7% био већи број листова по биљци у односу на контролу, док код беле слачице расле у присуству Si за 33,2%. Код црне слачице су добијени другачији резултати, слачица расла у присуству Si имала је за 12,2% мањи број листова по биљци у односу на контролу.



Слика 8. Утицај силицијума на бројност листова по биљци

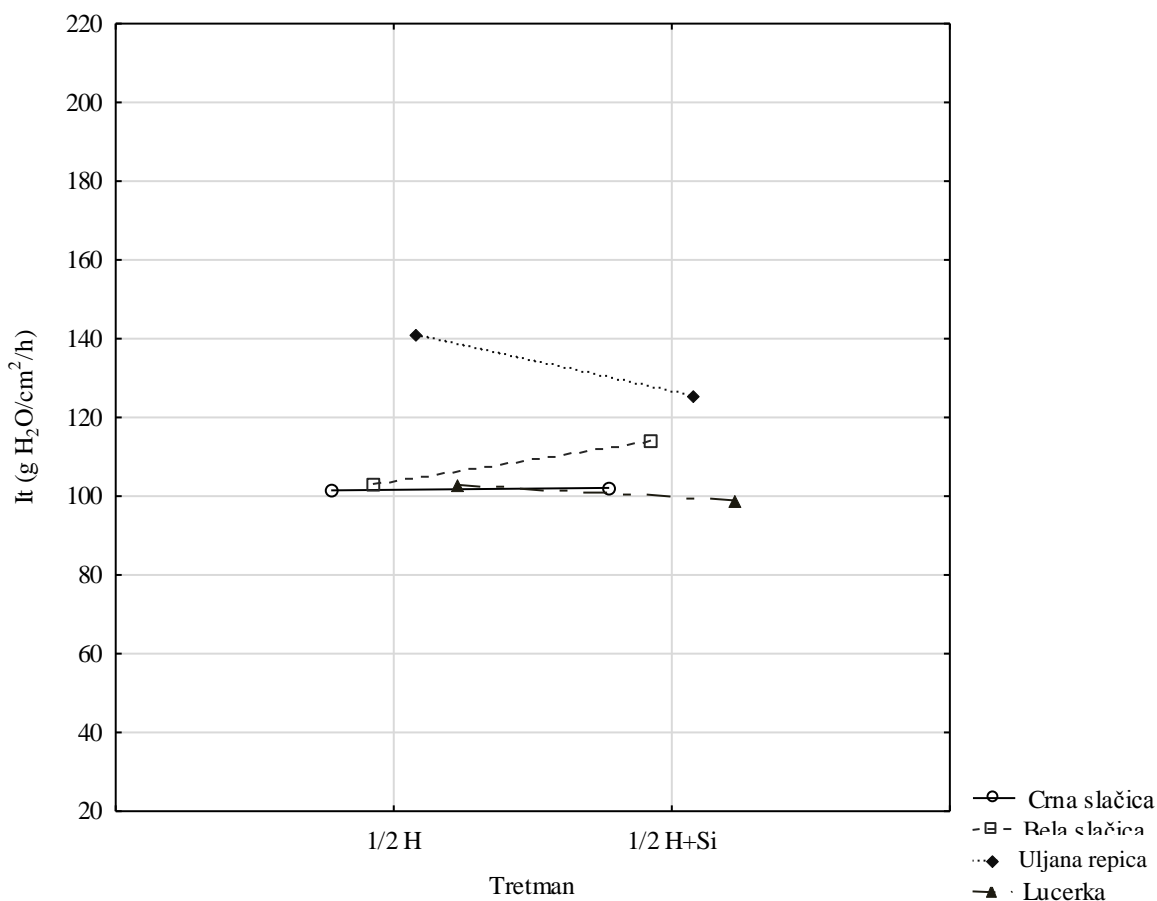
Guoa и сар. (2006) су утврдили да је примена Si на луцерку значајно повећала број стабљика. Према истраживањима Farshidia и сар. (2012), примена Si није значајно

утицала на број и дебљину листова код уљане репице што је у складу са нашим резултатима.

5.1.5 Интензитет транспирације

У присуству Si у хранљивом раствору, до повећања интензитета транспирације је дошло код црне и беле слачице, а код уљане репице и луцерке је дошло до смањења интензитета транспирације (Слика 9). Статистички значајне разлике се јављају код уљане репице расле у присуству Si, где је за 10,7% био нижи интензитет транспирације у односу на контролу. Значајне разлике се јављају и код беле слачице расле у присуству Si, где је за 9,6% био већи интензитет транспирације у односу на контролу.

Farshidi u cap. (2012) су утврдили да додавање Si није имала значајног утицаја на брзину транспирације код хидропонично гајене уљане репице што је у складу са нашим резултатима за уљану репицу и луцерку. Такође су и *Gao u cap.* (2006) утврдили да је примена Si значајно смањила интензитет транспирације листова кукуруза, а *Yoshida u Kitagishi* (1962) и *Yoshida u cap.* (1959) су утврдили значајно смањење транспирације код пиринча после примене Si. Насупрот томе, *Gong u cap.* (2006) и *Sonobe u cap.* (2009) су утврдили код кинеске шећерне трске да применом Si долази до повећања интензитета транспирације што је у складу са нашим добијеним резултатима за белу и црну слачицу.



Слика 9. Утицај силицијума на интензитет транспирације

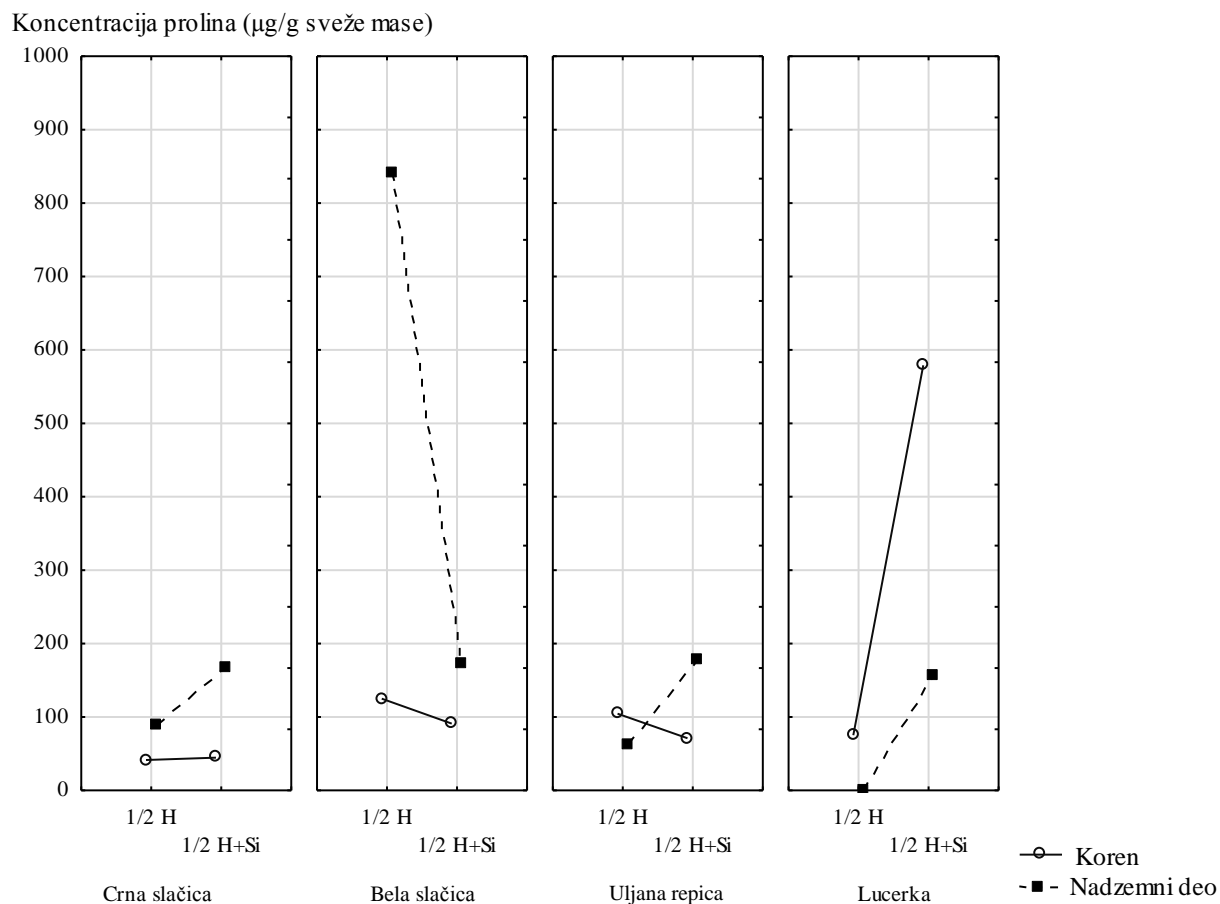
Већи број аутора је до сада утврдио да Si смањује транспирацију код неких биљних врста, али постоје различита објашњења због чега се то дешава. *Wagner* (1940) на основу својих резултата испитивања ово објашњава смањењем броја стома, док *Yoshida u sar.* (1959) у свом ранијем раду заступа мишљење да је то резултат уграђивања Si у ткива листа. Касније *Yoshida u sar.* (1962) и *Yoshida* (1965) откривају слој Si у кутикули листа пиринча и њему приписују улогу регулатора одавања воде. Према испитивањима *Fidanovskog* (1969) различити облици односно соли Si приближно подједнако смањују интензитет транспирације овса.

5.2 УТИЦАЈ НА БИОХЕМИЈСКЕ ПАРАМЕТРЕ

5.2.1 Концентрација слободног пролина

Пролин је један од кључних осмолита који доприносе осмотском прилагођавању ћелија (Hare и Cress, 1997). Познато је да се аминокиселина пролин нормално акумулира у великим количинама као одговор биљака на стрес (Ozturk и Demir, 2002; Hsu и сар, 2003; Kavi Kishore и сар., 2005; Путник-Делић и сар., 2013). Поред улоге осмолита, пролин доприноси и стабилизацији субћелијских структура (нпр. мембрана и протеина) (Srinivas и Balasubramanian, 1995).

Концентрација слободног пролина у корену се статистички значајно разликовала између третмана Si и контроле код луцерке, уљане репице и беле слачице (Слика 10). Код црне слачице није било статистички значајних разлика. Корен луцерке који је растао у присуству Si имао је за 87,03% већу концентрацију слободног пролина у односу на контролу. Међутим, корен уљане репице у присуству Si имао је за 31,1% мању концентрацију слободног пролина у односу на контролу. Такође и корен беле слачице у присуству Si је имао за 27,24% мању концентрацију слободног пролина у односу на контролу.



Слика 10. Утицај силицијума на концентрацију слободног пролина у свежој маси

И у надземном делу се концентрација слободног пролина мењала под дејством третмана Si код све четири биљне врсте (Слика 10). Једино је код беле слачице концентрација слободног пролина у надземном делу била мања под утицајем Si у односу на контролу док је код осталих биљних врста била већа у присуству Si. Луцерка расла у присуству Si имала је за 1,6 пута већу концентрацију пролина у надземном делу у односу на контролу. Уљана репица расла у присуству Si имала је за 65,1% већу концентрацију пролина у надземном делу у односу на контролу, а црна слачица 47,2%. Код беле слачице која је расла у присуству Si је за 79,5% била мања концентрација пролина у надземном делу у односу на контролу (Слика 10).

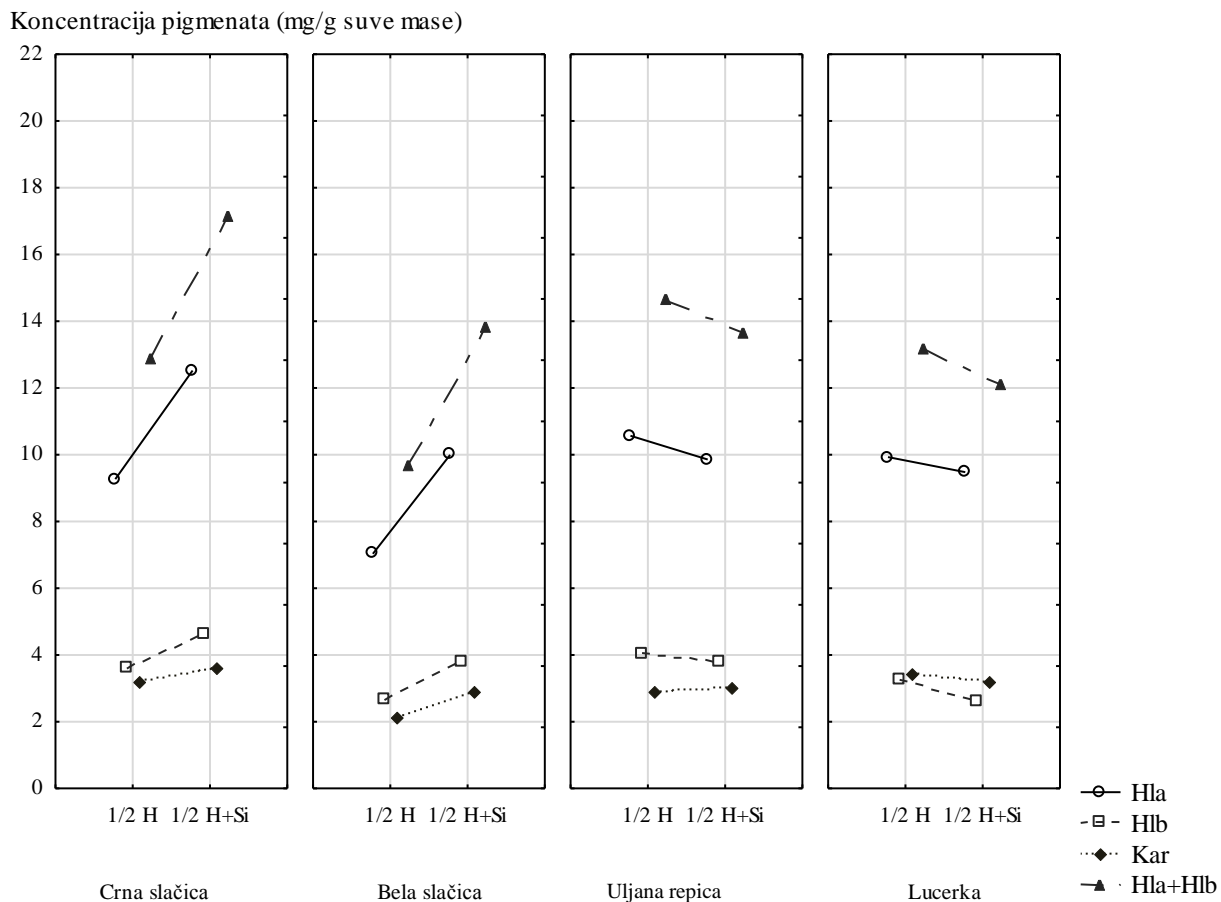
Према истраживањима *Kaya и сар.* (2006), третмани Si су смањили накопљање пролина у биљкама кукуруза што је у складу са нашим резултатима за корен беле слачице и уљане репице, као и за надземни део беле слачице.

5.2.2. Концентрација пигмената хлоропласта (сува маса)

Концентрација хлорофила а се статистички значајно разликовала под утицајем Si код црне и беле слачице, док код уљане репице и луцерке то није био случај. Црна слачица у присуству Si имала је за 26% већу концентрацију хлорофила а у односу на контролу, а бела слачица 29,6%. Код уљане репице за 6,7% а луцерке 4,5% је била мања концентрација хлорофила а у присуству Si у односу на контролне биљке (*Слика 11*).

Статистички значајно се разликовала концентрација хлорофила б код биљака третираних Si у поређењу са контролом код црне, беле слачице и луцерке. Код црне слачице за 22,6%, беле слачице за 30,60% виша, док је код луцерке у присуству Si за 19,1% била мања концентрација хлорофила б у односу на контролу (*Слика 11*).

Црна слачица у присуству Si је за 11,8% имала већу концентрацију каротеноида у односу на контролу, а бела слачица за 27,5% (*Слика 11*).



Слика 11. Утицај силицијума на садржај пигмената хлоропласта у сувој маси

Концентрације хлорофила а+б су се значајно разликовале између третмана Si и контроле код црне и беле слачице, док значајнијих разлика код уљане репице и луцерке није било. Црна слачица гајена у присуству Si имала је за 24,9% већу концентрацију хлорофила а+б у односу на контролу, а бела слачица 29,9%. Код уљане репице и луцерке се концентрација хлорофила а+б незнатно смањила у односу на контролу (6,5% и 8,1%) (Слика 11).

Према истраживањима *Lim и сар.*, (2012) Si је код *Begonia semperflorens* (бегонија) повећао раст, биомасу али и садржај хлорофила, што је у складу са нашим резултатима за црну и белу слачицу. *Cooper и Hall* (1995) сматрају да Si повољно утиче на фотосинтезу.

Дејство Si на фотосинтезу може да буде и посредно. Наиме, утврђено је да Si повољно утиче на садржај хлорофила код неких биљних врста. *Wagner* (1940) је уочио да биљке краставца, овса и пиринча у случају недостатка Si имају светлију боју од оних које су биле обезбеђене овим елементом. Садржај хлорофила се у листовима краставца дејством Si повећао за 17% у односу на његов садржај у биљкама које су биле гајене у одсуству овог елемента.

6 ЗАКЉУЧАК

Анализиране биљне врстеразличито су реаговале на Si додат хранљивом раствору.

Најмање промене свеже и сувемасе различитих органа исте биљне врсте, под дејством третмана Si, су установљене код луцерке, а највеће код беле слачице.

Површина листова је се под утицајем Si значајно променила. Највеће промене у порасту лисне површине су установљене код луцерке, док је код уљане репице под дејством третмана Si дошло до смањења лисне површине.

Значајно већи број листова по биљци у присуству Si у односу на контролу установљен је код беле слачице и луцерке, док је код црне слачице под дејством третмана Si установљен мањи број листова по биљци у односу на контролу.

Значајно смањен интензитет транспирације под дејством Si у односу на контролу је констатован код уљане репице, а значајно већи код беле слачице.

Садржај слободног пролина у корену луцерке расле у присуству Si се знатно повећао, док је садржај слободног пролина у надземном делу беле слачице у присуству Si био знатно мањи у односу на контролу.

Концентрација пигмената хлоропласта у сувој маси под дејством третмана Si се повећала код црне и беле слачице, док се код уљане репице и луцерке под дејством Si углавном смањила.

Уљана репица је најмањеосетљива на третман Si од ове четири анализиране врсте.

7 ЛИТЕРАТУРА

1. Agarie S., Uchida H., Agata W., Kubota F., Kaufman P. B. (1998) Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.) Plant Production Science, 1:2, 89-95
2. Ashraf M., Foolad M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistannce. Environmental and Experimental Botany, 59:206-216
3. Balakhnina T., Borkowska A. (2012) Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses. Int. Agrophys., 27:225-232
4. Berić B. (2000) Industrijsko bilje. Poslovna zajednica „Industrijsko bilje“ Novi Sad:157-161
5. Gao X., Zou C., Wang L., Zhang F. (2006) Silicon decreases transpiration and conductance from stomata of maizie plants. Journal of Plant Nutrition, 29:9, 1637-1647
6. Gong H. J., Chen K. M., Zhao Z. G., Chen G.C., Zhou W. J. (2008) Effect of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. Biol. Plant., 52 (3):592-596
7. Gong H., Zhu X., Chen K., Wang S., Zhang Ch. (2005) Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. Plant Sci., 169:313-321
8. Gong H. J., Randall D. P., Flowers T. J. (2006) Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by reducing bypass flow. Plant Cell Environ., 29:1970-1979
9. Gunes A., Kadioglu Y. K., Pilbeum D. J., Inal A., Loban S., Aksu A. (2008) Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, ii: essential and honessential element uptake determined by polarized energy dispersive x-ray fluorescence. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 39:1904-1927

10. Guo Z. G., Liu H. X., Tian F. P., Zhang Z. H., Wang S. M. (2006) Effect of silicon on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa*). Aus. Jourl.of Exp. Agricul. 46:1161-1166
11. Diklić N. (1972): Familija *Fabaceae* Lindl. 1836. In: Josifović M. (Ed.), 1970-1986. Flora SR Srbije, IV, SANU, Beograd
12. Đukić J. D., Moisuc V. A., Janjić V. R., Kišgeci J. (2004) Krmne, korovske, otrovne i lekovite biljke. Poljoprivredni fakultet Novi Sad, Budućnost, Zrenjanin:132-145; 366-369
13. Eneji E. A., Inanaga S., Muranaka S., Li J., Hattori T., An P., Tsuji W. (2008) Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. J. Plant Nutr. 31:355-365
14. Epstein E. (1999) Silicon-annual review of plant physiology. Plant Mol. Biol. 50:641-664
15. Erić P., Čupina B., Krstić Đ. (2011) Krmno bilje, praktikum. Poljoprivredni fakultet Novi Sad:95-99
16. Inal A., Pilbean D. J., Gunes A. (2009) Silicon increases tolerance to boron toxicity and reduces oxidative damage in barley. J. Plant Nutr., 32:112-128
17. Jiao-jing L., Shao-hang L., Pei-lei X., Xiu-juan W., Ji-gang B. (2009) Effects of exogenous silicon on the activities of antioxidant enzymes and lipid peroxidation in chilling-stressed cucumber leaves. Agricultural Sciences in China, 8(9):1075-1086
18. Kaya C., Tuna L., Higgs D. (2006) Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. Journal of Plant Nutrition, 29:8,1469-1480
19. Kaya Kishore P. B., Sangam S., Amrutha R. N., Laxmi P. S., Naidu K. P., Rao K. R. S. S., Rao S., Reddy K.J., Theriappan P., Sreenivasulu N. (2005) Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Curr. Sci., 88:424-438
20. Kastori R., Maksimović I. (2008) Ishrana biljaka. Poljoprivredni fakultet Novi Sad

21. Kastori R. (1983) Uloga elemenata u ishrani biljaka. Matica Srpska, Novi Sad
22. Kišgeci J. (2008) Lekovite i aromatične biljke. Partenon, Beograd i Srpska književna zadruga, Beograd:80-85
23. Kondić J., Marinković R., Mijanović K. (2008) Uljana repica. Poljoprivredni institut Republike Srpske, Banja Luka:7-24
24. Liang Y. C., Chen Q., Liu Q., Zhang W. H., Ding R. X. (2003) Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*, 160:1157-1164
25. Li B., Wei Song Ch., Li N., Zhang J. (2007) Heterologous expression of the TsVP gene improves the drought resistance of maize. *Plant Biotech. J.*, 6(2):146-159
26. Lim M. Y., Lee E. J., Jana S., Sivanesan I., Jeong B. R. (2012) Effect of potassium silicate on growth and leaf epidermal characteristics of begonia and pansy grown in vitro. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 30:579-585
27. Lukić D. (2000) Lucerka. Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad
28. Ma J., Nishimura K., Takahashi E. (1989) Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Science and Plant Nutrition*, 35:3,347-356
29. Ma J. F., Yamaji N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11(8):392-397
30. Mali M., Aery N. C. (2008) Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. *J. Plant Nutr.*, 31:1867-1876
31. Mali M., Aery N. C. (2009) Effect of silicon on growth, biochemical constituents and mineral nutrition of cowpea. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 40:1041-1052

32. Ma J. F., Higashitani A., Sato K., Takeda K. (2003) Genotypic variation in silicon concentration of barley grain. *Plant Soil*, 249:383-387
33. Maksimović I., Pajević S. (2002) *Praktikum iz fiziologije biljaka*. Biblioteka Matice srpske, Novi Sad
34. Mitani N., Ma J. F. (2005) Uptake system of silicon in different plant species. *Journal Experimental Botany*, 56(414):1255-1261
35. Mišković B., Miladinović M., Bačvanski S. (1983) Krmne biljke i silaža. *Dnevnik-OOOR „Poljoprivrednik“ Novi Sad*:56-63
36. Mustapić Z. (1986) *Posebno ratarsvo II*. Naučna knjiga Beograd:19-20
37. Mustapić Z., Uzunoski M., Gotlin J., Đurđevski J. (1985) *Posebno ratarstvo drugi deo*. IRO Naučna knjiga, Beograd:56-68
38. Nikolić B. (1972): Familija *Brassicaceae* Burn. In: Josifović M. (Ed.), 1970-1986. *Flora SR Srbije*, IV, SANU, Beograd
39. Ozturk L., Demir Y. (2002) In vivo and in vitro protective role of proline. *Plant Growth Regul.*, 38:259-264
40. Pandey C., Khan E., Panthri M., Deo Tripathi R. (2016) Impact of silicon on Indian mustard (*Brassica juncea* L.) root traits by regulating growth parameters, cellular antioxidants and stress modulators under arsenic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 104:216-225
41. Putnik-Delić M., Maksimović I., Venezia A., Nagl N. (2013) Free proline accumulation in young sugar beet plants and in tissue culture explants under water deficiency as tools for assessment of drought tolerance. *Romanian Agricultural Research* 30, 141-148
42. Shen X., Zhou Y., Duan L., Li Z., Eneji A. E., Li J. (2010) Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *J. Plant Physiol.*, 167:1248-1252

43. Sivanesan I., Park S. W. (2014) The role of silicon in plant tissue culture. *Frontiers in Plant Science*, 571(5):1-3
44. Sonobe K., Hattori T., An P., Tsuji W., Eneji E., Tanaka K., Inamaga S. (2009) Diurnal variations in photosynthesis, stomatal conductance and leaf water relation in *sorghum* grown with or without silicon underwater stress. *J. Plant Nutr.*, 32:433-442
45. Ubavić M., Bogdanović D. (2001) *Agrohеmija udžbenik*. Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad
46. Fang Ch.-X., Wang Q.-S., Yu Y., Huang L.-K., Wu X.-Ch., Lin W.-X. (2011) Silicon and its uptaking gene *Lsi1* in regulation of rice UV-B tolerance. *Acta Agron. Sin.*, 37(06):1005-1011
47. Farooq M. A., Dietz K. J. (2015) Silicon as versatile player in plant and human biology: overlooked and poorly understood. *Front. Plant Sci.*, 6:994
48. Farshidi M., Abdolzaden A., Sadeghipour H. R. (2012) Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Physiol. Plant*, 34:1779-1788
49. Feng J. P., Shi Q. H., Wang X. F. (2009) Effects of exogenous silicon on photosynthetic capacity and antioxidant enzyme activities in chloroplast of cucumber seedlings under excess manganese. *Agricultural Sciences in China*, 8(1):40-50
50. Hare P. D., Cress W. A. (1997) Metabolic implications of stress induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regul.*, 21:79-102
51. Hashemi A., Abdolzaden A., Sadeghipour H. R. (2010) Beneficial effects of silicon nutrition in alleviating salinity stress in hydroponically grown canola, *Brassica napus* L. plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 56:244-253
52. Hsu S. Y., Hsu Y. T., Kao C. H. (2003) The effect of polyethylene glycol on proline accumulation in rice leaves. *Biol. Plant.*, 46:73-78

53. Wang X. S., Hang J. G. (2007) Effects of NaCl and silicon on ion distribution in the roots, shoots and leaves of two alfalfa cultivars with different salt tolerance. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53:278-285