



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ**  
**ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**  
Депарتمان за ратарство и повртарство



**Маријана Јефтић**

дипл. инж. пољопривреде

**РАСТ И ФИЗИОЛОШКЕ ПРОМЕНЕ ЦРНЕ И БЕЛЕ**  
**СЛАЧИЦЕ И УЉАНЕ РЕПИЦЕ У ПРИСУСТВУ**  
**НАТРИЈУМ-ХЛОРИДА**

МАСТЕР РАД

**Нови Сад, 2020**



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ**  
**ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**  
Департман за Ратарство и повртарство



Кандидат  
Маријана Јефтић

Ментор  
проф. др Марина Путник-Делић

**РАСТ И ФИЗИОЛОШКЕ ПРОМЕНЕ ЦРНЕ И БЕЛЕ**  
**СЛАЧИЦЕ И УЉАНЕ РЕПИЦЕ У ПРИСУСТВУ**  
**НАТРИЈУМ-ХЛОРИДА**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2020.

## КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНУ И ОДБРАНУ МАСТЕР РАДА:

Др Марина Путник-Делић, ванредни професор  
за ужу научну област Физиологија и исхрана биљака,  
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду,  
ментор

---

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

---

Др Срђан Шеремешкић, ванредни професор  
за ужу научну област Ратарство и повртарство,  
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду,  
члан

# САДРЖАЈ

<b>1. УВОД</b> -----	<b>1</b>
<b>1.1 САЛИНИЗАЦИЈА ЗЕМЉИШТА</b> -----	<b>2</b>
<b>1.2 УТИЦАЈ ЗАСЛАЊЕНОСТИ ЗЕМЉИШТА НА БИЉКЕ</b> -----	<b>4</b>
<b>1.3 ФАМИЛИЈА BRASSICACEAE</b> -----	<b>6</b>
1.3.1 Црна слачица ( <i>Brassica nigra</i> (L.) Koch)-----	7
1.3.2 Бела слачица ( <i>Sinapis alba</i> L.)-----	8
1.3.3 Уљана репица ( <i>Brassica napus</i> L.)-----	10
<b>2. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА</b> -----	<b>14</b>
<b>3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА</b> -----	<b>15</b>
<b>3.1 БИЉНИ МАТЕРИЈАЛ</b> -----	<b>15</b>
<b>3.2 ГАЈЕЊЕ БИЉАКА</b> -----	<b>15</b>
<b>3.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ МЕТОДЕ</b> -----	<b>16</b>
<b>4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА СА ДИСКУСИЈОМ</b> -----	<b>20</b>
<b>4.1 УТИЦАЈ НАТРИЈУМ-ХЛОРИДА НА РАСТ И ВОДНИ РЕЖИМ</b> <b>БИЉАКА</b> -----	<b>20</b>
4.1.1 Сува маса листа, стабла и корена -----	23
4.1.2 Површина листа -----	25
4.1.3 Бројност листова-----	26
4.1.4 Интензитет транспирације-----	27
<b>4.2 УТИЦАЈ НАТРИЈУМ-ХЛОРИДА НА БИОХЕМИЈСКЕ ПАРАМЕТРЕ</b> <b>БИЉАКА</b> -----	<b>28</b>
4.2.1 Концентрација слободног пролина -----	28
4.2.2 Концентрација пигмената хлоропласта-----	30
4.2.3 Фотохемијска ефикасност фотосистема II (Fv/Fm) -----	32
<b>5. ЗАКЉУЧАК</b> -----	<b>34</b>
<b>6. ЛИТЕРАТУРА</b> -----	<b>35</b>

## Раст и физиолошке промене црне и беле слачице и уљане репице у присуству натријум-хлорида

Маријана Јефтић

Резиме

Заслањеност земљишта је један од најзначајнијих фактора који, поред смањења продуктивности гајених биљака, утиче и на стање екосистема. Најчешћи штетни утицај заслањености земљишта на усеве *Brassica sp.* је смањење висине биљке, умањење приноса и погоршање квалитета производа. Сматра се да су уљана репица, црна и бела слачица релативно отпорне биљне врсте, а њихова толерантност на стрес изазван солима је комплексна особина условљена агротехничким, климатским и биолошким факторима. У раду је испитиван утицај присуства различитих концентрација соли: 50 mM NaCl, 100 mM NaCl и 200 mM NaCl, на раст и физиолошку активност уљане репице, црне и беле слачице гајених у полуконтролисаним условима на хранљивом раствору током месец дана. У присуству 200 mM NaCl семе третираних биљних врста у већем броју није клијало, што указује да тестиране биљне врсте нису толерантне на овако високу концентрацију NaCl. Од анализираних биљних врста бела слачица је најмање осетљива на повишене концентрације NaCl.

Кључне речи: сони стрес, *Brassica nigra*, *Sinapis alba*, *Brassica napus*, физиолошки параметри

# **Growth and physiological changes of black and white mustard and rapeseed in the presence of sodium chloride**

**Marijana Jeftić**

## Summary

Soil salinity is one of the most important factors, which, in addition to reducing the productivity of cultivated plants, affects the state of agroecosystems. The most common detrimental effect of soil salinity on Brassica crops is a reduction in plant height, reduced yields and deterioration of product quality. Oilseed rape, black and white mustard are considered to be relatively resistant plant species and their tolerance to stress caused by salts is a complex trait conditioned by agrotechnical, climatic and biological factors. The paper examines the influence of the presence of different salt concentrations: 50 mM NaCl, 100 mM NaCl and 200 mM NaCl, on the growth and physiological activity of oilseed rape, black and white mustard grown in semi-controlled conditions on a nutrient solution, within a month. In the presence of 200 mM NaCl, the seeds of the treated plant species did not germinate in large numbers, which indicates that the tested plant species are not tolerant to such a high concentration of NaCl. White mustard is the least sensitive to elevated NaCl concentrations out of all the analyzed plant species.

Key words: salt stress, *Brassica nigra*, *Sinapis alba*, *Brassica napus*, physiological parameters

## 1. УВОД

Под појмом стреса код биљака подразумевају се сви они чиниоци који неповољно утичу на раст и развиће биљака и који смањују њихову продуктивност на ниво нижи од њиховог генетичког потенцијала (Nešković и сар., 2003).

Данашња пољопривредна производња се суочава са великим изазовима, а један од њих је и повећање производње хране за 70% како би се задовољиле потребе за храном све већег броја људи широм света (Parihar и сар., 2014). Shanker и Venkateswarlu (2011), истичу да је ограничавање и смањење губитака у приносу, услед различитих спољашњих чиниоца који изазивају стрес код биљака, основни разлог за суочавање са растућим потребама за храном. Нижа продуктивност, у већини случајева, изазвана је различитим абиотичким стресовима. Најчешћи абиотички фактори који узрокују стрес код биљака и утичу негативно на преживљавање биљака, продукцију биомасе и значајно смањују принос основних узгајаних биљних врста су висок салинитет, суша, екстремно високе и ниске температуре (Mantri и сар., 2012; Thakur и сар., 2010; Ahmad, 2012; Ahmad и сар., 2012).

Заслањеност земљишта је један од најзначајнијих чинилаца који, поред смањења продуктивности гајених биљака, утичу и на стање агроекосистема (Stikić и Jovanović, 2015). Како наводи Wild (2003), 15% укупне површине земљишта на свету је уништено или осиромашено услед ерозије, физичке и хемијске деградације, при чему је заслањеност један од значајнијих чинилаца у овом процесу. Проблем заслањености је постао забрињавајући увођењем нових агротехничких пракси, као што је наводњавање (Zhu, 2001).

Процењено је да је широм света 20% од укупне површине обрадивог земљишта и 33% наводњаваних пољопривредних површина погођено проблемом заслањености земљишта (Shrivastava и Kumar, 2015). Према истим ауторима, годишња стопа раста заслањеног земљишта је 10%, а узрок је различит, мала количина падавина, висок ниво испаравања, разлагање природних стена, наводњавање са заслањеном водом и лоша пољопривредна пракса.

Вода за наводњавање додаје значајне количине соли у земљиште, чак и кад се користи квалитетна вода за наводњавање која садржи само 200-500 mg/kg растворене соли. С обзиром да је количина соли коју биљка избацује занемарљива, со ће се накупљати у кореновој зони и неопходно је се испрати са већом количином воде него што је то

потребно усевима. Ако дренажа земљишта није адекватна, суфицит воде доводи до пораста нивоа воде, мобилишући и соли које се накупљају у ризосфери. Када биљка није у стању да искористи сву присутну воду, долази до дефицита кисеоника, што за последицу има труљење кореновог система (Parihar и сар., 2014).

Како наводе Ashraf и McNeilly (2004), посотоје две основне стратегије за решавање проблема заслањености земљишта: рекултивација заслањених земљишта изменама њиховог хемијског састава или се заслањена земљишта могу користити за гајење биљака које су отпорне на соли.

Најчешћи штетни утицај заслањености земљишта на усеве *Brassica sp.* је смањење висине биљке, умањење приноса, као и погоршање квалитета производа (Zamani и сар., 2010). Сматра се да су уљана репица, црна и бела слачица релативно отпорне биљне врсте, а њихова толерантност на стрес изазван солима је комплексна особина условљена агротехничким, климатским и биолошким чиниоцима (Minhas и сар., 1990; Kumar и сар., 1995; Mahmoodzadeh, 2008).

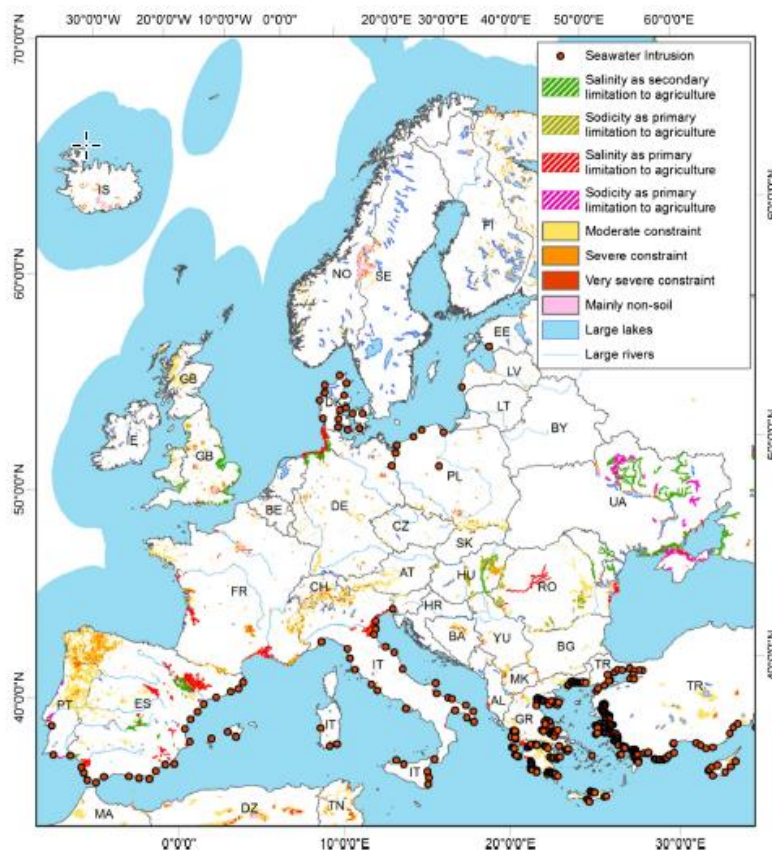
## 1.1 САЛИНИЗАЦИЈА ЗЕМЉИШТА

Салинизација или заслањеност земљишта представља измену карактеристика земљишта услед појаве високе концентрације соли, натријумових катјона и карбонатних анјона, при чему долази до измене рН вредности земљишта (Daliakopoulos и сар., 2016). Како наводе исти аутори заслањеност земљишта доводи до промене или поремећаја природних биолошких, биохемијских, хидролошких и геохемијских циклуса.

Заслањеност земљишта може бити природна (примарна) или изазвана антропогеним утицајем (секундарна). Примарни салинитет земљишта представља резултат акумулације различитих соли током дугог временског периода кроз природне процесе у земљишту или површинским и подземним водама. Узрокован је природним процесима разградње или спирања стена (натријум хлорид, калцијум, магнезијум, сулфати и карбонати) или таложењем морске соли помоћу ветрова и киша. Од свих набројаних соли, натријум хлорид (NaCl) је са највећим степеном растворљивости (Parihar и сар., 2014). Природно заслањена земљишта регистрована су у Шпанији, Мађарској, Словачкој, Грчкој, Аустрији, Босни и Херцеговини, Србији, Хрватској, Румунији, Бугарској, Украјини и Каспијском басену (Daliakopoulos и сар., 2016).



Секундарна заслањеност настаје услед антропогеног утицаја као резултат људске активности и у великој мери мења хидролошки биланс земљишта између доспеле воде (путем наводњавања или падавина) и воде искоришћене од стране биљака (усвајање и транспирација) (Garg и Manchanda, 2008). Према Daliakopoulos и сар. (2016), основни узроци салинизације земљишта антропогеним деловањем су наводњавање заслањеном водом, али и лошим условима одводњавања. Како наводе исти аутори, овако заслањена земљишта се најчешће налазе у пределима у којима се региструје мало падавина, лоши услови евапорације и транспирације, као и карактеристике земљишта које се односе на лошу пропустљивост и проводљивост. Други узроци секундарне заслањености земљишта су употреба минералних ђубрива (Moreira Barradas и сар., 2014), прерада отпадних вода (Moral и сар., 2008), индустрија и индустријски отпад (Lefebvre и Moletta, 2006), као и употреба соли приликом зимског одржавања путева и других саобраћајница (Mateo-Sagasta и Burke, 2011). Према Daliakopoulos и сар. (2016), око 3,8 милиона хектара земљишта у Европи је погођено процесом секундарне заслањености, док van Camp и сар. (2004), истичу да је око 4 милиона хектара земљишта у Европи умерено или високо деградирано услед секундарне салинизације. Земље које су највише погођене овим процесом су: Италија, Шпанија, Мађарска, Грчка, Кипар, Португал, Француска, област Далмације на Балканском полуострву, Словачка, Румунија, али и северноевропске земље, као што су: Данска, Пољска, Латвија и Естонија (Daliakopoulos и сар., 2016) (Слика 1).



Слика 1. Заслањеност земљишта у Европи (према Daliakopoulos и сар., 2016)

## 1.2 УТИЦАЈ ЗАСЛАЊЕНОСТИ ЗЕМЉИШТА НА БИЉКЕ

Заслањено земљиште има вишеструки негативан утицај на пораст биљака, што се објашњава осмотском инхибицијом, дисбалансом у минералној исхрани, токсичним ефектом јона соли и/или измењеним метаболизмом азота (Daliakopoulos и сар., 2016). Исти аутори наводе да јони натријума ( $\text{Na}^+$ ) и магнезијума ( $\text{Mg}^{2+}$ ) могу да измене морфологију биљне ћелије, смање ниво фотосинтезе и редукују продукцију хлорофила.

Различите биљне врсте показују и различите нивое толерантности и отпорности на заслањеност земљишта што зависи од типа земљишта, микроорганизама ризосфере, фено фазе биљке и агротехничких мера (Daliakopoulos и сар., 2016). Gupta и Huang (2014), истичу да се адаптивни одговори биљака на стрес узрокован салинитетом могу дефинисати на молекуларном, ћелијском, метаболичком и физиолошком нивоу. Веома велики значај на принос има време током ког су биљке биле изложене деловању суфицита соли и/или дефицита воде, што зависи од фено фазе биљке и дужине трајања неповољног периода (Maksimović и сар., 2010).

Према Parida и Das (2005), повећане концентрације соли у земљишту делују на метаболизам биљака изазивајући стрес, ограничавајући раст и продуктивност. Физиолошке промене у биљкама дефинишу Lee и сар. (2013), који истичу да високе концентрације соли узрокују смањење пораста, смањење нивоа фотосинтезе, поремећаје у метаболизму аминокиселина и синтези протеина, продукцији енергије, метаболизму липида и индукују инхибицију ензимских активности.

Према наводима Ahmad и Sharma (2008), високе концентрације јона натријума ( $\text{Na}^+$ ) и хлора ( $\text{Cl}^-$ ) у земљишту узрокују осмотски стрес код биљака, при чему биљка повећава акумулацију осмотски активних супстанци са циљем смањења осмотског потенцијала.

Јонски стрес настаје услед накупљања соли у самој биљци. Акумулација соли у биљкама може бити токсична и инхибиторно делује на различите физиолошке и биохемијске процесе, као што су: промене у пропустљивости мембрана, дисбаланса у одржавању јонског хомеостазиса, промене метаболичких процеса неопходних за раст и развиће биљака. Поред ових процеса долази и до појаве секундарног осмотског стреса ког прати продукција реактивних кисеоничних радикала (reactive oxygen species (ROS)) који су потенцијално штетни за интегритет биомембрана, синтезу и функцију протеина, ензима и нуклеинских киселина (Ahmad и сар., 2010).

Толерантност биљака на салинитет се огледа у њиховој могућности да живе и заврше свој циклус развића на супстратима који се одликују високим концентрацијама растворених соли. Биљке које су осетљиве на стрес соли називају се гликофите, а оне које могу да преживе у условима високих концентрација соли називају се халофите. Халофите могу бити облигаторне или факултативне у зависности од степена толерантности. Облигаторне халофите се искључиво налазе на местима са изразито високим концентрацијама соли, а факултативне халофите на мање заслањеним стаништима (Parida и Das, 2005).

Биљке које су развиле одбрамбени механизам на сони стрес могу да реагују на два начина: или одстрањивањем соли из ћелија, синтезом осмолита и повећаном активношћу антиоксидантних ензима, или општом толеранцијом на повишене концентрације (Ashraf и Fooland, 2007). Према наводима Geebelen и сар. (2002), ефикасност система одбране биљке, у случајевима повишених концентрација соли може се мерити активношћу антиоксидантних ензима као што су супероксиддисмутаза и пероксидаза или преко нивоа концентрације антиоксиданата као што је пролин.

Највећи број врста гајених биљака могу да поднесу концентрације соли у границама од 0,001 до 0,01%, док више концентрације имају негативни ефекат на биљке, а некад чак и летални (Stikić и Jovanović, 2015). Различите врсте биљака показују различиту толерантност на салинитет. Према наводима Daliakopoulos и сар. (2016), од усева који су најзаступљенији у Европи, пшеница, јечам, тритикале и раж су толерантни на заслањеност земљишта, док се сунцокрет, кромпир и шећерна репа сматрају умерено толерантним, јер одржавају или врло мало губе у приносу са повећањем салинитета земљишта. Shannon (1997), истиче да је поврће генерално отпроније на заслањеност земљишта у поређењу са житарицама, изузев аспарагуса, артичоке, цвекле и тиквица. Већина воћарских култура, као што су коштичаво воће, цитруси и авокадо, показују изванредан степен осетљивости на акумулацију натријум хлорида у листовима, што утиче на раст и принос (Daliakopoulos и сар., 2016).

### 1.3 ФАМИЛИЈА BRASSICACEAE

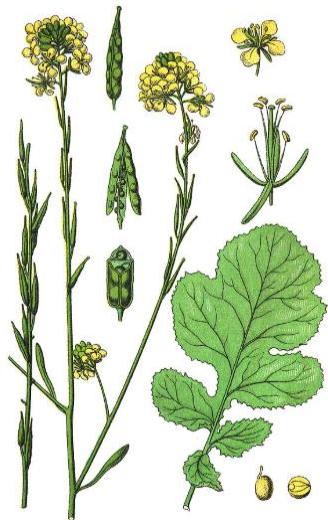
Купусњаче или крсташице (*Brassicaceae*) је велика и економски врло значајна породица биљака која припада реду *Brassicales*. Овај ред обухвата преко 7800 врста, раширених по свим континентима. Највећи број врста из фамилије купусњача насељава територије Европе и Северне Америке (Којић, 1991). Купусњаче су дикотиледоне биљке које се развијају са два бубрежаста, срцолика клицина листића, зелене боје. Хипокотиледони су слабије или јаче изражене љубичасте боје. Биљке које припадају овој фамилији се одликују великом разноврсношћу у морфологији вегетативних делова и великом сличношћу репродуктивних органа. Грађа цвета, цвасти, плода, семена и котиледоних листића је врло слична између различитих врста. Семе купусњача се може разликовати микроскопски, по грађи семењаче. Прве јасне разлике у биљкама настају са појавом првог правог листа, а растом вегетативних органа постају све значајније. Највеће морфолошке разлике се уочавају у фази технолошке зрелости биљака (Којић, 1991).

Фамилија *Brassicaceae* обухвата велики број повртарских култура код којих се за људску и животињску исхрану користе различити биљни делови. У човековој исхрани најчешће се користе: купус, карфиол, броколи, прокељ и слично зељасто поврће (Којић, 1991). Сем за исхрану, одређене биљне врсте, као што су: уљана репица, бела и црна слачица користе се у народној медицини, фармацеутској и прехранбеној индустрији за производњу разних производа као и за зеленишно ђубрење.

### 1.3.1 Црна слачица (*Brassica nigra* (L.) Koch)

Црна слачица је широко гајена као индустријска и лековита биљка. Пореклом из западне Азије и подручја Средоземног мора. Данас је распрострањена широм Америке, Азије и Европе. У Холандији су постигнути најбољи резултати у гајењу слачице. У нашим крајевима најзаступљенија је у Војводини (Кишгеси, 2008).

Црна слачица (Слика 2) је једногодишња зељаста биљка из фамилије купуса (*Brassicaceae*). Висока је до 1 m. Стабло је на пресеку округло, при основи длакаво, а у горњем делу јако гранато и голо. При врху стабла листови су плавичасто зелене боје, издужено елипсоидног облика. Зелене боје, назубљени и перасто дељени су средњи и доњи листови. Цвета од маја до августа ситним жутим цветовима који су скупљени у гроздасте цвасти. Плод је спљоштена љуска, у којој се налази неколико лоптастих семенки. Зрело и осушено семе слачице је ситно (Слика 3), у пречнику 1-1,5 mm, округлог облика и мркоцрвене боје (Којић, 1991).



Слика 2. Црна слачица (*Brassica nigra* (L.) Koch)

Извор: <https://fineartamerica.com/featured/brassica-nigra-black-mustard-bildagentur-online.html>



Слика 3. Семе црне слачице (*Brassica nigra* (L.) Koch)

Извор:<https://www.seedsgallery.shop/ar/home/black-mustard-seeds-brassica-nigra.html>

Црна слачица се гаји због производње семена. Семе је љутог укуса и без мириса. Садржи око 30% масног уља, око 5% гликозида синигрина, до 25% беланчевина, до 1,3% етарског уља, до 20% слузи, холин, синапинску киселину и ензим мирозин. У семену црне слачице етарско уље није слободно, као што је то случај код већине других етарских уља у биљкама. Везано је у облику хетерозида раствореног у свим ћелијама које не садрже ензим мирозин (Kišgeci, 2008).

Семе црне слачице се користи у прехранбеној индустрији за производњу сенфа, поред тога оно има и велику употребу у медицини, где се користи за реуматске третмане и болове у зглобовима, побољшање функција јетре и слезине, канцера грла и као лаксатив (Оби и сар., 2009).

### 1.3.2 Бела слачица (*Sinapis alba* L.)

Бела слачица је распрострањена широм света. Гаји се у Аустралији, Азији, Америци, северној Африци, Русији, средњој и јужној Европи. У Европи је највише заступљена у Данској, Немачкој, Енглеској и Холандији, док је у нашој земљи, углавном распрострањена у северном, равничарском делу на малим површинама (Kišgeci, 2008).

Бела слачица (Слика 4) је једногодишња зељаста биљка из фамилије купуса (*Brassicaceae*), висине до 120 cm. Коренов систем је добро развијен, вретенаст са бројним длачицама које доприносе отпорности ове биљке на сушу. Стабло је усправно, маљаво и разгранато. Листови су различите величине, маљави, неправилно усечени и по ободу крупно назубљени. Горњи листови су ситни – седећи, а доњи крипнији и имају дршке. Цвета од маја до јуна, жутим цветовима који су миришљави, медоносни, сакупљени у гроздасте цвасти. Плод је маљава љуска, неправилног цилиндричног облика, у којој се налазе округле семенке бледожуте боје (Слика 5) (Којић, 1991).



Слика 4. Бела слачица (*Sinapis alba* L.)

Извор: <https://fineartamerica.com/featured/sinapis-alba-white-mustard-bildagentur-online.html>



Слика 5. Семе беле слачице (*Sinapis alba* L.)

Извор: <https://jk-ingredients.en.made-in-china.com/product/XyEnmYKAXdVs/China-Mustard-Seed-Extract-Sinapis-Alba-L-.html>

Бела слачица се гаји због семена које је без мириса, а љутог је укуса. Садржи око 25% беланчевина, 30% обичног масног уља, око 25% слузи, синапинску киселину, синапин, ензим мирозин и око 2,5% гликозида синалбина што даје љут укус семену. Уље је обично жуте боје, може се користити у прехранбеној индустрији и људској исхрани, јер је по квалитету слично сунцокретовом (Mustapić, 1986).

Најпознатија употреба беле слачице је у прехранбеној индустрији и служи за производњу сенфа и као средство за конзервирање хране (Kişgeci, 2008). Млади листови су оштрог мириса и као сирови се употребљавају у салатама (Којић, 1991). У народној медицини се користи за регулисање крвног притиска, против можданог удара, одузетости, упале дијафрагме, грчева у желуцу, камена у жучи, у облику катаплазми против реуме, неуритиса, хроничних дегенеративних обољења зглобова, код кашља и бронхитиса и као лаксатив (Ђукић и сар., 2004).

Бела слачица садржи велику количину нектара и одлична је пчелиња паша, добија се мед карактеристичног укуса (Mustapić, 1986).

Зелена маса беле слачице користи се за зеленишно ђубриво и исхрану стоке, а уљане погаче се не користе за исхрану (Kişgeci, 2008).

### 1.3.3 Уљана репица (*Brassica napus L.*)

Уљана репица је пореклом из Азије (Robson и сар., 2002). Према наводима Raymer (2002), екстензивна производња уљане репице регистрована је у Европи, Канади, Азији, Аустралији и САД. Највећи произвођач уљане репице за потребе људске и животињске исхране и биодизела је Кина, а за њом следи Канада (Hudewenz и сар., 2013). Како наводе Nedić и сар., (2013), уљана репица се у Србији углавном гаји на територији Војводине, на око 14 хиљада хектара.

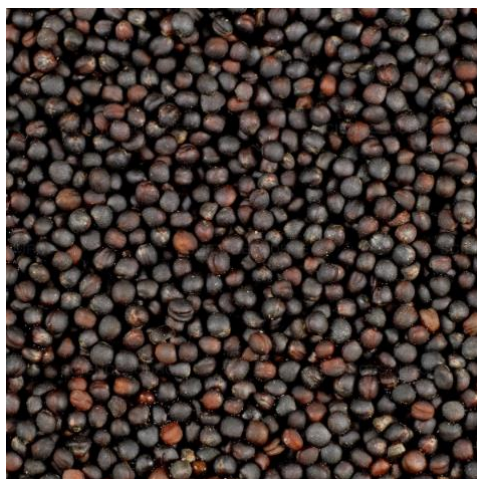


Уљана репица је једногодишња или двогодишња биљка из фамилије купусњача (*Brassicaceae*) (Слика 6). Корен је вретенаст, у горњем делу задебљао и репаст, дубок и до 1 метар. Стабло је округло, глатко, црвенкасто при основи, у горњем делу разгранато, висине око 1,5 метара. Листови су плавичасто зелени, до 40 cm дуги, са 2 до 5 парова бочних, неправилно назубљених сегмената. Доњи листови су на 10 до 30 cm дугој петељци и перасто дељени, док су горњи листови ланцетасти, седећи и неназубљени, са срцоликом основом. Средњи и горњи листови делимично обухватају стабло. Цвасти су гроздасте и издужене. Цветови су двополни, правилни, величине око 1,5 cm. Крунични листићи су жуте боје и два пута дужи од чашичних (Nikolić, 1972). Поседују шест прашника. Групе од 20 до 60 цветова је скупљено у усправне гроздасте цвасти. Плод је махуна, дуга 5 до 12 cm, широка око 4 mm, а садржи од 12 до 18 округлих, глатких и тамних семенки (Слика 7) (Којић, 1991). Семе је богато уљем (40-48%) и беланчевинама (18-25%) (Sedlar и сар., 2009). Поред ових хранљивих материја, у семену уљане репице налазе се и неке штетне материје: глукозинолати, ерука масна киселина, фитини и танин.



Слика 6. Уљана репица (*Brassica napus* L.)

Извор: <https://antropocene.it/en/2019/07/15/brassica-napus/>



Слика 7. Семе уљане репице (*Brassica napus* L.)

Извор: <https://www.sciencesource.com/archive/Oilseed-Rape--Brassica-napus--seeds-SS2237635.html>

Уљана репица је једна од четири најзначајније уљане културе у свету, поред соје, палме и сунцокрета (Hudewenz и сар., 2013). У појединим земљама у којима се због климатских услова не могу гајити друге уљарице, представља и најважнију уљану културу.

Данашње сорте уљане репице садрже ниске концентрације ерука масне киселине у уљу (C22:1, 1%) (Hudewenz и сар., 2013). Старе сорте су имале висок садржај ерука масне киселине у уљу (и до 50%), па је око 75% укупне производње коришћено у техничке сврхе. Ерука масна киселина може бити штетна по здравље, јер оштећује крвоток, изазива хемолитичку анемију и ретардацију раста. Због тога је шездесетих година прошлог века отпочела селекција сората уљане репице које имају низак садржај ерука масне киселине (испод 2%) и маснокиселинским саставом сличним уљу соје или сунцокрета (Mustapić, 1986).

Поред исхране, уље уљане репице се користи и у техничке сврхе, у индустрији текстила, сапуна, боја, коже, у штампарској индустрији, као додаток мазивима, али и за производњу обновљивих извора енергије, биогорива, биоетанола, односно биодизела. За исхрану стоке може се користити у свежем стању, или као уљане погаче, настале након екстракције уља од добијене сачме. Уљана репица се користи и за зеленишно ђубрење због своје велике надземне зелене масе (Kondić и сар., 2008).

Уљана репица се сматра једном од најбољих медоносних биљака, јер обезбеђује високо квалитетан нектар и полен, што је нарочито значајно у пролеће, са првим

изласком пчела на пашу (Nedić и сар., 2013). Мед од уљане репице припада првој класи квалитета.

Полен уљане репице се користи у фармацеутској индустрији за формулисање лекова који се употребљавају за лечење и превентиву бројних обољења (Gortleviskij и Makeev, 1983).

Према Koh (2007), 95% производње биодизела се заснива на индустријској обради уљаних култура: семе уљане репице (84%), семе сунцокрета (13%), палмино уље (1%), и уље соје (1%). Употреба биљних уља као алтернативних извора енергије започета је још у раним 80-им годинама прошлог века (Demirbas, 2008). Предност употребе биљних уља као биодизел горива се огледа у преносивости, доступности, обновљивости, већем садржају енергије, нижем садржају сумпора и биоразградивости (Demirbas, 2008).

## 2. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА

Задатак истраживања је да се испита утицај присуства различитих концентрација NaCl на раст и физиолошку активност црне слачице (*Brassica nigra* L.), беле слачице (*Sinapis alba* L.) и уљане репице (*Brassica napus* L.), гајених у полуконтролисаним условима на хранљивом раствору.

Циљ рада је да се утврди како NaCl, који је био присутан у различитим концентрацијама током наклијавања и у почетним фазама развоја (месец дана од наклијавања), делује на раст (број листова по биљци, лисну површину), водни режим (транспирацију, садржај свеже и суве материје), садржај слободног пролина, садржај фотосинтетичких пигмената (каротеноида и хлорофила) и фотохемијску ефикасност фотосистема II.

### 3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

#### 3.1 БИЉНИ МАТЕРИЈАЛ

За експериментално истраживање у овом мастер раду коришћена су семена три биљне врсте: црне (*Brassica nigra* L.) и беле слачице (*Sinapis alba* L.) као и уљане репице (*Brassica napus* L.). Семена су део селекционог материјала Института за ратарство и повртарство из Новог Сада.

#### 3.2 ГАЈЕЊЕ БИЉАКА

Семена црне и беле слачице, као и уљане репице су посејана у плитке, округле петри посуде са песком у које је додата различита концентрација NaCl (Слика 8). Песак је претходно стерилисан на 500°C жарењем у пећи, а затим охлађен. Након сетве биљног материјала, посуде су стављене у термостат, на температуру од 25-26°C, у мрак (Слика 9). Семе је наклијавано у присуству различитих концентрација NaCl. Након појаве котиледоних листића, биљке су пресађене у хранљиви раствор (Слика 10).

Биљке су пресађене у посуде, запремине 700 ml у које је претходно сипан хранљиви раствор по Хогланду (Hoagland и Arnon, 1950). Раствор је разблажен дестилованом водом два пута ( $\frac{1}{2}$  Хогландовог раствора, односно потпун хранљив раствор). Корен биљака је урођен у раствор, а све пресађиване биљке биле су морфолошки униформне. Раствору је додат NaCl у истим концентрацијама као и код наклијавања:

$\frac{1}{2}$  Hoagland (H) = kontrola (0)

$\frac{1}{2}$  H + 50 mM NaCl

$\frac{1}{2}$  H + 100 mM NaCl

$\frac{1}{2}$  H + 200 mM NaCl

Оглед је постављен у пет понављања, са по осам биљака у једном понављању. Биљке су гајене у стакленику, у полуконтролисаним условима.

Хранљиви раствори су редовно аерисани и замењивани свежим, ради обезбеђивања оптималне количине кисеоника за нормално дисање кореновог система, као и ради спречавања контаминације раствора коренским излучевинама које могу да доведу до

промене рН вредности раствора. Месец дана након сертве урађене су анализе, прво је измерена свежа маса биљака (корен, стабло, лист).



Слика 8. Семена посејана у петри посуде са песком



Слика 9. Посуде са семеном стављене у термостат



Слика 10. Биљке пресађене у посуде

### 3.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ МЕТОДЕ

а) **Интензитет транспирације** је одређен гравиметријском методом. 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:

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

где је:

$It$  = 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  $\text{cm}^2$  лисне површине у  $\text{dm}^2$ ,

$P$  = лисна површина у  $\text{cm}^2$ ,

h = трајање огледа у часовима

б) **Лисна површина** је мерена помоћу аутоматског фотоелектричног мерача Ci-203 laser area meter (CID Bio-Science).

в) **Свежа маса листова, стабла и корена** је мерена на почетку анализа, месец дана након сетве.

г) **Садржај суве материје у биљном 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:

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

где је:

m (вл) = маса узорка пре сушења,

m (сув) = маса узорка после сушења

д) **Концентрација фотосинтетичких пигмената** хлорофила и каротеноида одређена је спектрофотометријски, мерењем апсорпције светлости, при таласним дужинама од 662, 644 и 440 nm у ацетонском екстракту, при чему 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:*

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

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

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

$$x_{\text{ла}} + x_{\text{лб}} = 5,134 \times A_{662} + 20,436 \times A_{644}$$

A= читање апсорбанце на спектрофотометру ;

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

• *Концентрација пигмената (mg/g свежег листа):*

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

где је:

C = концентрација пигмената,

C<sub>x</sub> = масена концентрација пигмената,

V = запремина одмереног суда,

R = разблажење,

M = одвага узорка

ђ) **Концентрација слободног пролина** је одређена хомогенизацијом 1 g биљног материјала, са 10 ml 3% сулфосалицилне киселине, а након тога узорак се профилтрира у стаклену епрувету (Слика 11). Отпипетира се 2 ml филтрата у епрувету и дода се 2 ml нинхидрина и 2 ml сирћетне киселине. Затим се материјал оставља на инкубацији 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 чита се апсорбанца на таласној дужини од 520 nm, уз калибрацију апарата чистим толуеном (Bates, 1973).

Концентрација пролина је израчуната према обрасцу:

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

где је:

X = концентрација пролина очитана са стандардне криве,

5= разблажење при екстракцији



е) **Фотохемијска** Слика 11. Хомогенизација биљног материјала

**ефикасност**

**фотосистема II (Fv/Fm)** је анализирана помоћу флуориметра PSM (Plant Stress Meter), BioMonitor S.C.I. АВ. На одабране делове листова експерименталних



биљака постављене су коморице за замрачивање и након пола сата осветљивани одабрани делови листова, при чему су претходно на апарату подешени интензитет актинске светлости и дужина осветљавања. Очитани су параметри флуоресценције хлорофила:  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  ( $F_m/F_0$ ),  $F_v/F_m$  и  $t_{1/2}$ .

Где је:

$F_0$  = неваријабилна флуоресценција,

$F_m$  = максимална флуоресценција на Р пику,

$F_v$  = варијабилна флуоресценција,

$F_v/F_m$  = фотохемијска ефикасност фотосистема II,

$t_{1/2}$  = половина времена потребног за достигање  $F_m$ .

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

## **4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА СА ДИСКУСИЈОМ**

### **4.1 УТИЦАЈ НАТРИЈУМ-ХЛОРИДА НА РАСТ И ВОДНИ РЕЖИМ БИЉАКА**

Присуство различитих концентрација соли (50, 100, 200 mM NaCl) током наклијавања и вегетативне фазе значајно је утицало на физиолошке и биохемијске параметре црне и беле слачице и уљане репице. Присуство NaCl у хранљивом раствору у концентрацији од 200 mM готово је у потпуности онемогућило ницање код све три тестиране врсте. Због недовољне количине материјала за анализе овај третман надаље није узиман у обзир.

#### **4.1.1. Свежа маса листа, стабла и корена**

Тестиране биљне врсте (црна и бела слачица и уљана репица) различито су реаговале на присуство NaCl. Код црне слачице при мањој концентрацији (50 mM) NaCl дошло је до повећања свеже масе листа, стабла и корена по биљци, док је при већој концентрацији (100 mM NaCl) дошло до наглог пада свеже масе листа, стабла и корена по биљци (Графикон 1, 2 и 3)). За разлику од црне слачице, биљке уљане репице су при мањој концентрацији имале пад свеже масе листа, стабла и корена, у односу на нетретиране биљке, док су при већој концентрацији имале раст ових параметара у односу на њихову вредност при мањој концентрацији. У односу на друге две врсте бела слачица је имала релативно константну масу свежих листова, стабла и корена по биљци.

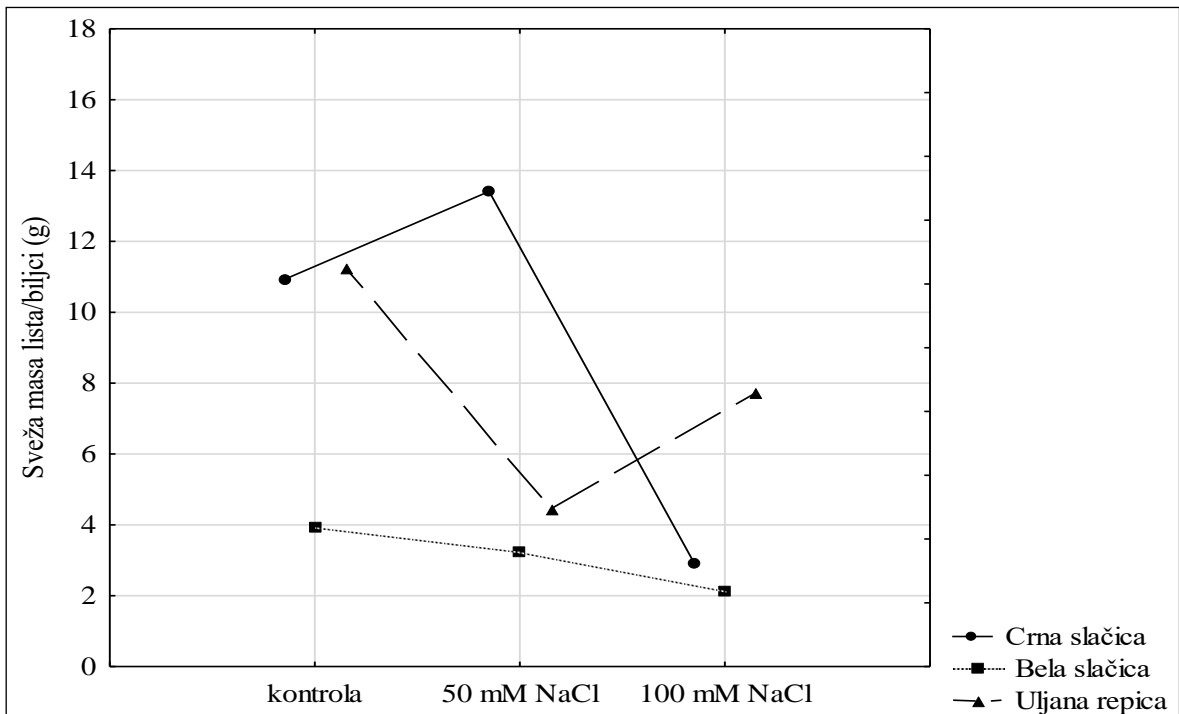
Свежа маса листа црне слачице је при третману 100 mM NaCl била статистички значајно нижа и то за 73,20% у односу на нетретиране биљке (контролу). Код уљане репице је до значајног смањења свеже масе листа дошло како при третману са 50 mM NaCl за 60,42%, тако и при третману са 100 mM NaCl за 31,35% у односу на нетретиране биљке. Међутим код беле слачице нису установљене статистички значајне разлике у свежој маси листа (Графикон 1).

Код свеже масе стабла црна слачица је при третману са 50 mM NaCl имала за 65,36% вишу, а при третману са 100 mM NaCl за 80,88% нижу вредност у односу на нетретиране биљке. Оба третмана (50 и 100 mM NaCl) су код уљане репице довела до значајног смањења свеже масе стабла у односу на нетретиране биљке, и то третман са 50 mM NaCl за 59,28%, а третман са 100 mM NaCl за 41,61%. Свежа маса стабла беле слачице није се значајно разликовала код третираних и нетретираних биљака (Графикон 2).

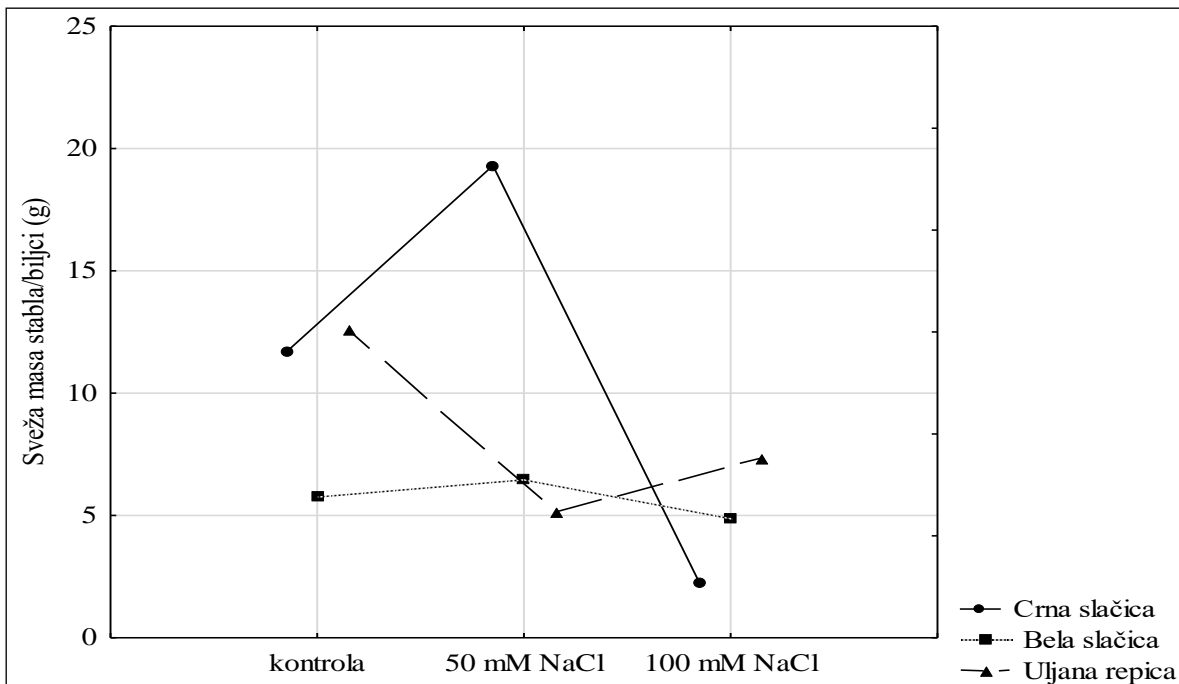
На свежу масу корена црне и беле слачице третмани нису значајно утицали. Једино је код уљане репице третман са 50 mM NaCl допринео да свежа маса корена буде за 45,2% нижа у односу на нетретиране биљке (Графикон 3).

Услед превисоке концентрације соли долази до инхибиције раста и смањује се запремина новог лисног ткива у коме биљке изложене овом фактору стреса могу акумулирати вишак соли до токсичних количина (Neumann, 1997) што је у складу са нашим резултатима. При концентрацији од 200 mM NaCl, тестиране биљне врсте се нису уопште или су се врло слабо развиле, што указује на граничну вредност толерантности ових врста на присуство повећане концентрације соли.

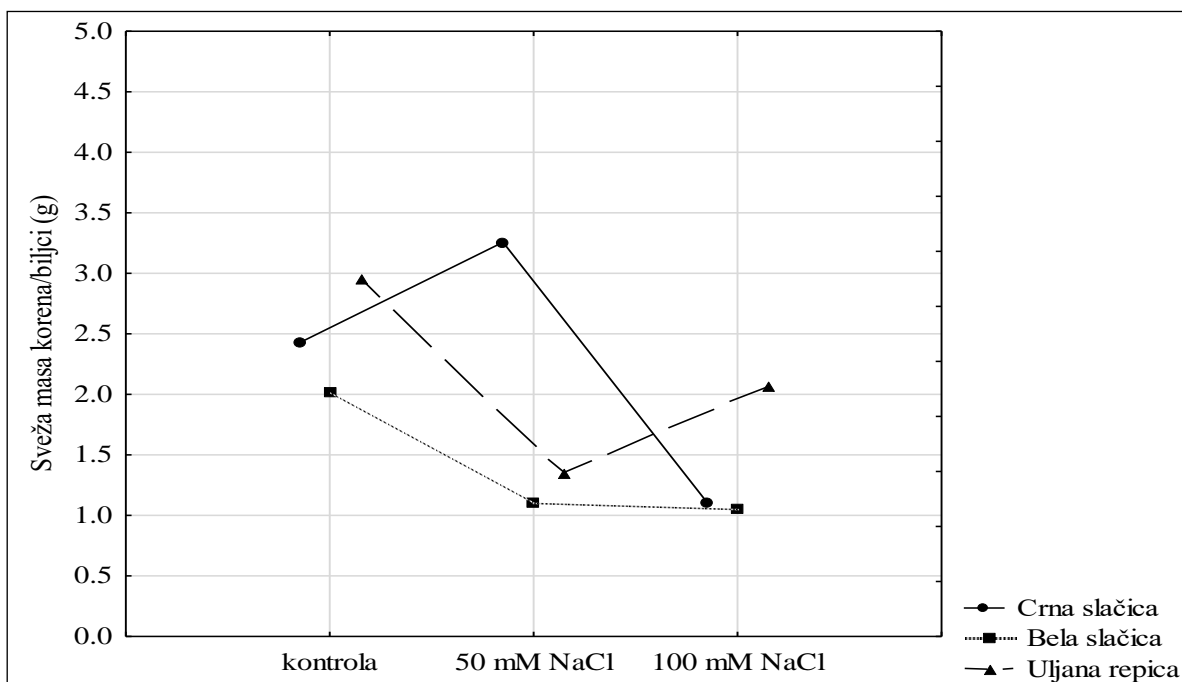
У ранијим истраживањима о усевима купусњача установљена је инхибиција раста корена као значајан фактор осетљивости на соли (Zhang и сар., 2014), што је у складу са нашим резултатима за уљану репицу (Графикон 3).



Графикон 1. Утицај NaCl на свежу масу листа црне слачице, беле слачице и уљане репице



Графикон 2. Утицај NaCl на свежу масу стабла црне слачице, беле слачице и уљане репице



Графикон 3. Утицај NaCl на свежу масу корена црне слачице, беле слачице и уљане репице

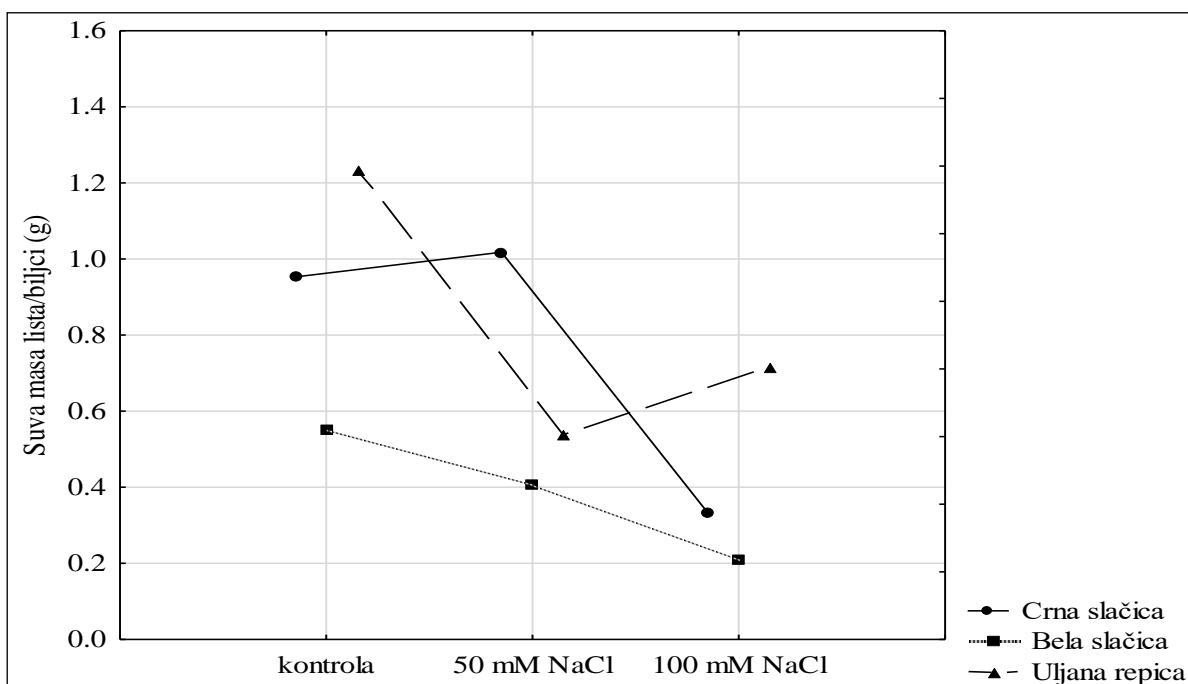
#### 4.1.1 Сува маса листа, стабла и корена

Биљке црне и беле слачице и уљане репице у присуству веће концентрације NaCl имале су значајно мању суву масу листова по биљци у поређењу са контролом, што указује на инхибиторни утицај соли на продукцију лисне масе третираних биљака. Сва три третмана су се међусобно значајно разликовала, односно нижа и виша концентрација NaCl су значајно утицале на суву масу листова по биљци у поређењу са нетретираним биљкама.

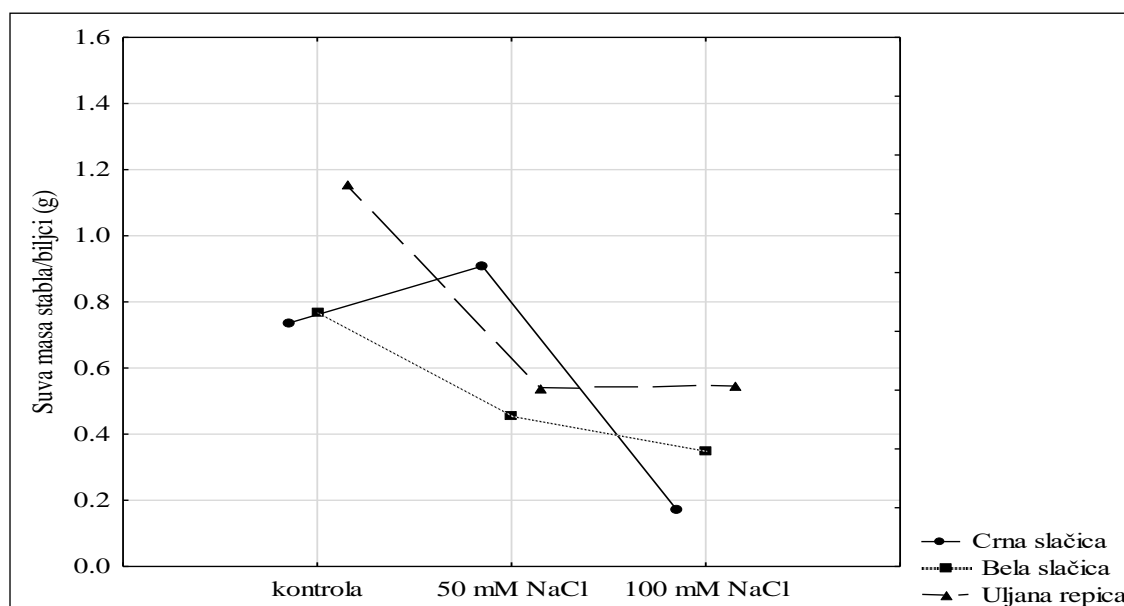
Сува маса листа црне слачице је при третману 100 mM NaCl била за 65,06% нижа у односу на нетретиране биљке, а код третмана са 50 mM NaCl за 67,29%. Код беле слачице је сува маса листова по биљци била значајно нижа при третману са 100 mM NaCl за 62,16% у односу на нетретиране биљке. Код уљане репице сува маса листа је при оба третмана NaCl била значајно нижа у односу на нетретиране биљке. При третману са 50 mM NaCl за 56,45% и третману са 100 mM NaCl за 41,93% (Графикон 4).

За суву масу стабла, статистички значајне разлике су добијене код црне слачице. При третману са 100 mM NaCl дошло је до смањења суве масе стабла за 76,62% у односу на нетретиране биљке (Графикон 5).

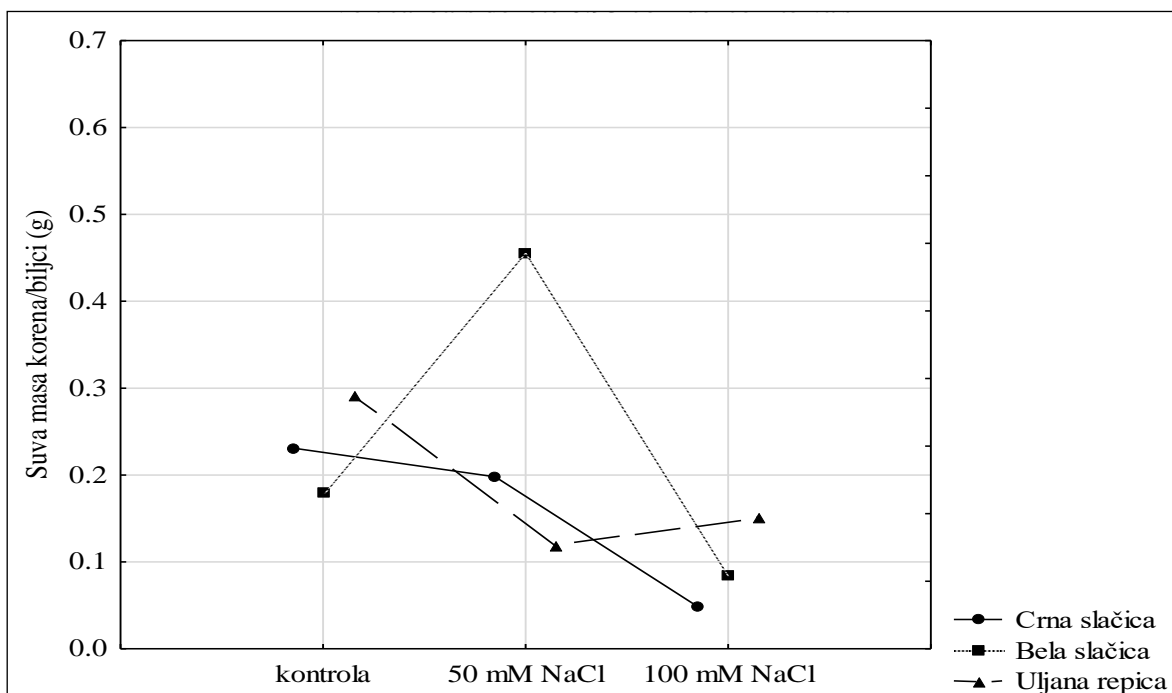
Третмани нису значајно утицали на суву масу корена црне слачице и уљане репице (Графикон 6), док је код беле слачице при третману са 50 mM NaCl дошло до пораста суве масе корена, у односу на нетретиране биљке, што је у сагласности са претпоставком да, у односу на листове, корен има бољу способност прилагођавања (Ghoulam и сар., 2002).



Графикон 4. Утицај NaCl на суву масу листа црне слачице, беле слачице и уљане репице



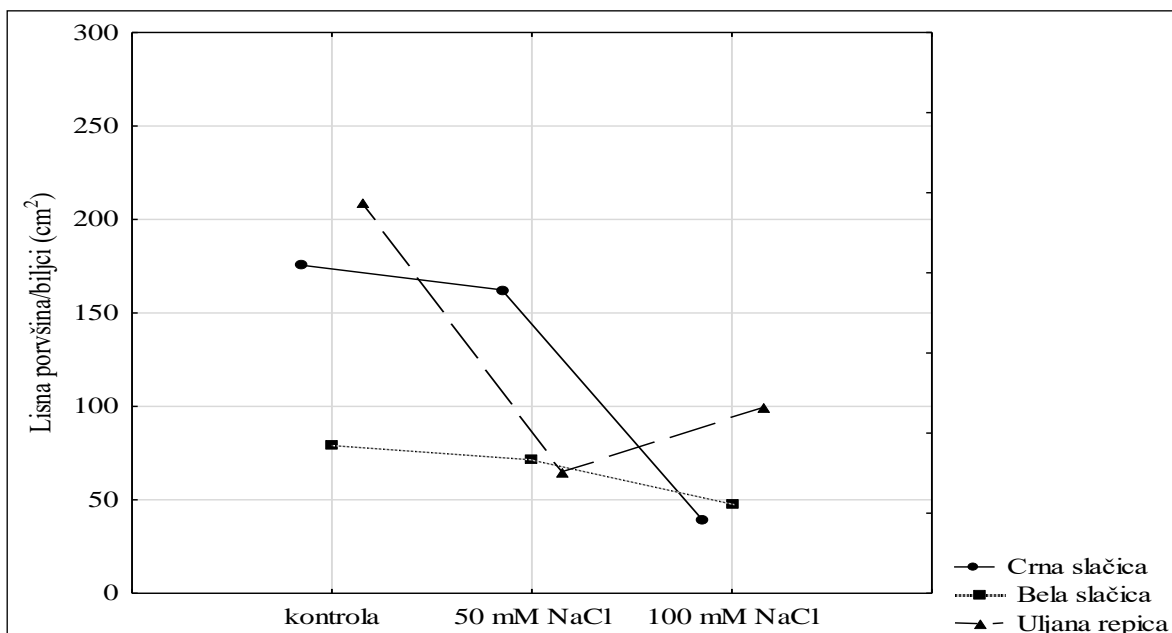
Графикон 5. Утицај NaCl на суву масу стабла црне слачице, беле слачице и уљане репице



Графикон 6. Утицај NaCl на суву масу корена црне слачице, беле слачице и уљане репице

#### 4.1.2 Површина листа

Биљке третиране са NaCl су имале значајно мању површину листа у односу на нетретиране биљке (

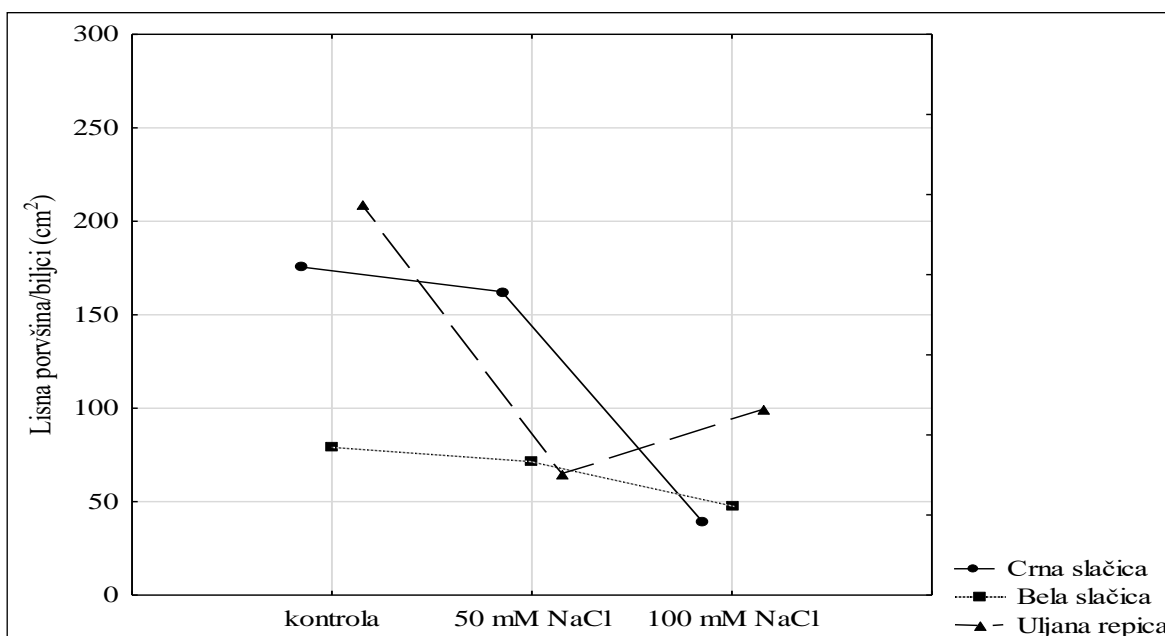


Графикон 7). Црна слачица третирана са 100 mM NaCl је имала мању површину листа за 77,40% у односу на нетретиране биљке, уљана репица је и при третману са 50 mM NaCl за 68,85% имала мању површину листа и са 100 mM NaCl за 52,50%, у поређењу

са нетретираним биљкама. Међутим, код беле слачице није дошло до значајних промена у површини листа.

Овакви резултати су у сагласности са истраживањима Epstein (1990), према којима услед соног стреса долази до редукције раста надземних делова биљака и смањења лисне површине, што за последицу има смањење интензитета фотосинтезе, а што је директно везано за пораст биљке. По мишљењу Shalhevet (1994), на сони стрес најосетљивија је лисна површина.

Инхибиција раста се углавном најпре одражава на листове, због веће толерантности корена на сони стрес. Смањен интензитет пораста биљака услед повећаних концентрација соли углавном се манифестује преко смањене површине и масе листова третираних биљака (Cramer и сар., 1990).



Графикон 7. Утицај NaCl на површину листа црне слачице, беле слачице и уљане репице

#### 4.1.3 Бројност листова

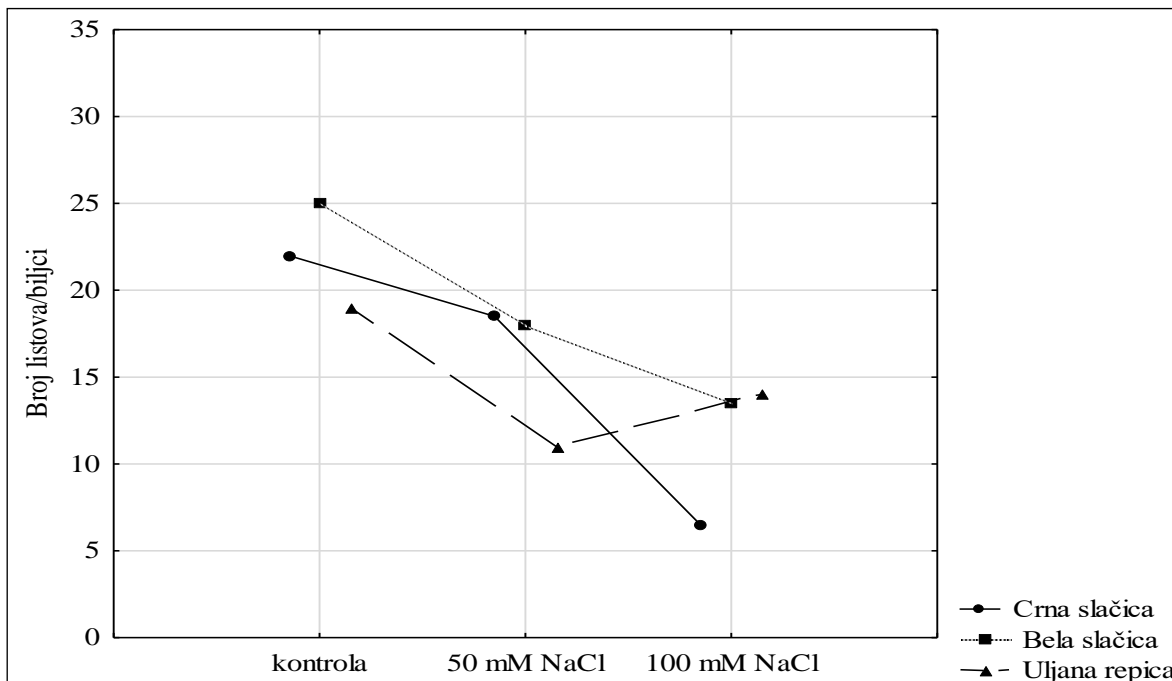
Биљке гајене у присуству соли имале су значајно мањи број листова у односу на нетретиране биљке (

Графикон 8), што је у вези са смањењем укупне лисне масе. До значајног смањења броја листова за 70,46% дошло је код црне слачице при третману 100 mM NaCl, док су код беле слачице и уљане репице до значајно мањег броја листова довели третмани 50 mM NaCl и 100 mM NaCl. Код беле слачице третман 50 mM NaCl за 28%, а третман 100 mM NaCl за 46% имао мањи број листова у односу на нетретиране биљке, а код



уљане репице третман 50 mM NaCl за 42,11%, а третман 100 mM NaCl за 26,32% мањи број листова у односу на нетретирание биљке.

Биљке на повећане концентрације соли у земљишту првенствено реагују смањеним порастом биљних делова (Romero-Aranda и сар., 2001) што је у складу са нашим резултатима.



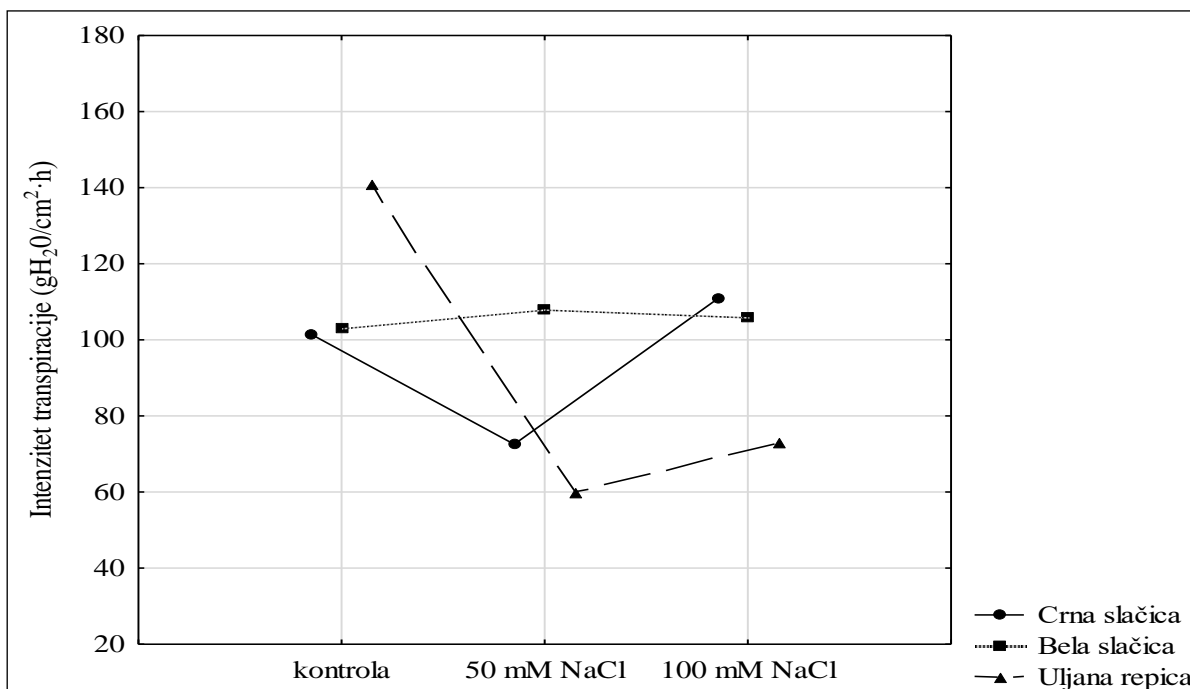
Графикон 8. Утицај NaCl на број листова црне слачице, беле слачице и уљане репице

#### 4.1.4 Интензитет транспирације

NaCl је имао велики утицај на интензитет транспирације. Значајне разлике уочавају се код уљане репице где је забележен пад при третману са 50 mM NaCl за 57,36% и третману са 100 mM NaCl за 48,23% у односу на нетретирание биљке, док код црне и беле слачице није дошло до значајног смањења транспирације (Графикон 9).

Услед повећане заслањености земљишног раствора, отежано је усвајање воде путем кореновог система, те долази до смањења транспирације и смањења приноса. До смањења пораста корена долази услед повећања осмотске вредности земљишног раствора и смањене приступачности воде. Смањен пораст корена има за последицу смањење укупне апсорпционе површине којом биљка усваја воду, те се редукује и надземни део биљке. Осим што је опао интензитет транспирације који се изражава као брзина одавања воде са јединичне лисне површине, због смањења лисне површине је и укупна количина транспирисане воде по биљци значајно снижена у условима

повећане заслањености. Резултат свега наведеног је ремећење водног режима, краћа вегетација и смањење приноса гајених биљака (Maksimović и сар., 2008; 2010) што је у складу са нашим резултатима за уљану репицу.



Графикон 9. Утицај NaCl на интензитет транспирације црне слачице, беле слачице и уљане репице

## 4.2 УТИЦАЈ НАТРИЈУМ-ХЛОРИДА НА БИОХЕМИЈСКЕ ПАРАМЕТРЕ БИЉАКА

### 4.2.1 Концентрација слободног пролина

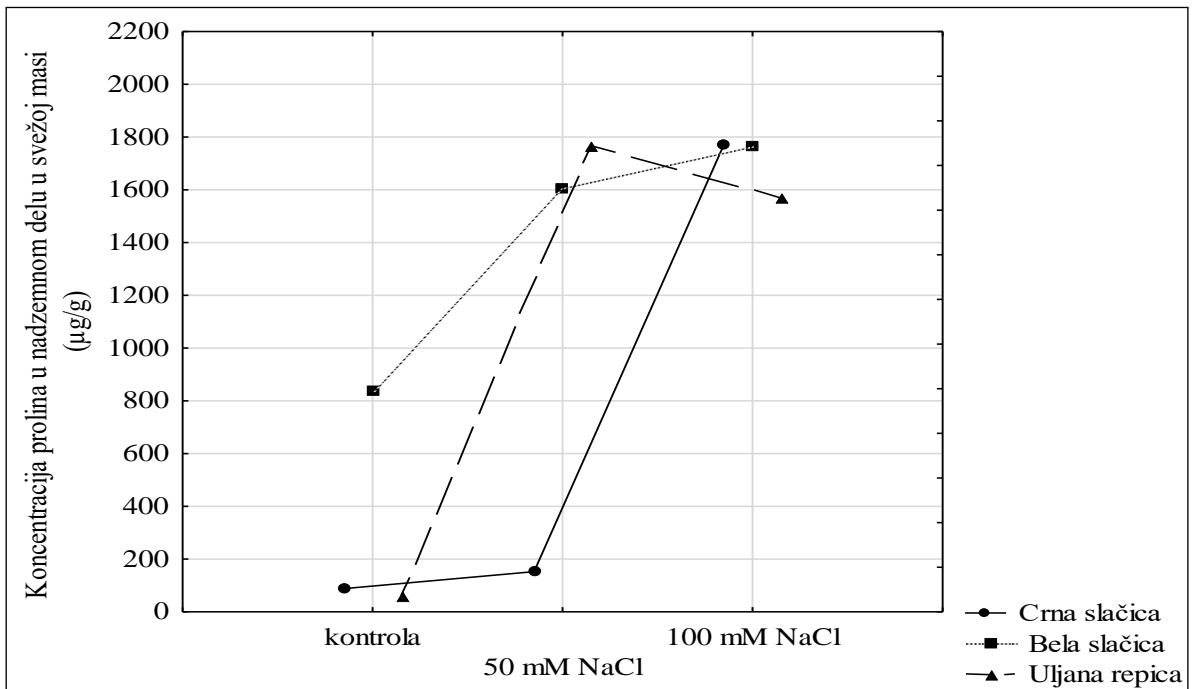
Забележен је значајан раст концентрације слободног пролина у надземном делу испитиваних биљака под утицајем NaCl. Значајне разлике се уочавају код оба третмана и све три биљне врсте. Код уљане репице и беле слачице дошло је до наглог пораста концентрације слободног пролина већ код ниже концентрације NaCl. Код беле слачице концентрација слободног пролина расте са повећањем концентрације соли, док код уљане репице концентрација слободног пролина полако опада. Код црне слачице виша концентрација соли је довела до наглог пораста концентрације слободног пролина.

Концентрација слободног пролина у надземном делу црне слачице, при третману са 100 mM NaCl била је 20,13 пута виша у односу на нетретираних биљке. Код беле слачице је при третману са 50 mM NaCl била за 91,28%, а при третману са 100 mM NaCl за 109,91% виша у односу на контролу. Код уљане репице је при третману са 100

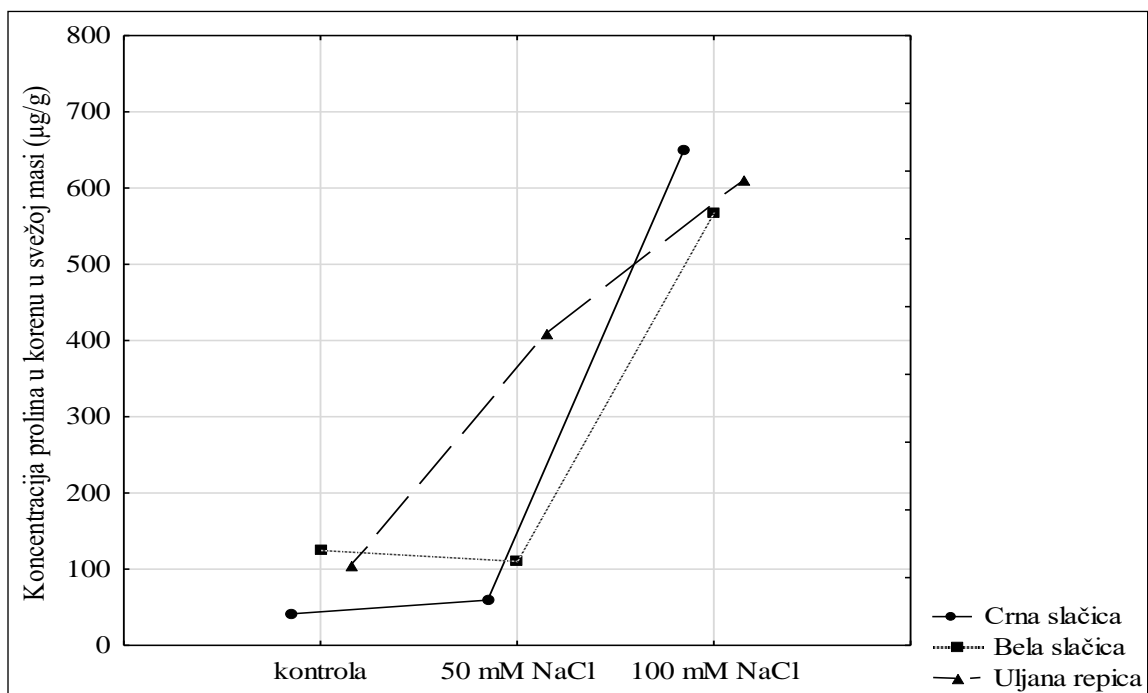
mM NaCl дошло до повећања концентрације слободног пролина у надземном делу 25,16 пута, а при третману са 50 mM NaCl 28,34 пута у односу на нетретирание биљке (Графикон 10).

Код црне слачице је концентрација слободног пролина у свежој маси корена биљака била 15,73 пута виша код биљака третираних са 100 mM NaCl у односу на нетретирание, док је код беле слачице била 4,55 пута виша. При третману са 50 mM NaCl није дошло до значајног повећања код ове две биљне врсте. Док је код уљане репице при третману са 50 mM NaCl она била 3,92 пута виша у односу на нетретирание, а при третману са 100 mM NaCl 5,84 пута. При третману са 100 mM NaCl концентрација пролина у корену била је значајно виша у односу на концентрацију при третману са 50 mM NaCl, што значи да са повећањем концентрације соли долази и до значајног повећања концентрације слободног пролина у корену уљане репице (Графикон 11).

Биљке изложене стресним условима акумулирају широк спектар метаболита, посебно аминокиселина. Аминокиселине су углавном посматране као прекурсорни у изградњи протеина, играјући важну улогу у метаболизму и развоју биљака. Међутим, многа истраживања указују на појаву акумулације пролина у биљкама у условима стреса (Ozturk и Demir, 2002; Hsu и сар., 2003; Kayi Kishore и сар., 2005; Putnik-Delić и сар., 2013), при чему пролин игра значајну улогу, као метал хелатор, антиоксидативни молекул одбране и као сигнализирајући молекул. Дакле, у стресним условима долази до повећане синтезе пролина у биљкама што омогућава толерантност на стрес успостављајући тургор ћелија и осмотску равнотежу, стабилизује мембране, спречава ослобађање електролита и одржава концентрацију реактивних кисеоничних врста у нормалним границама и спречава да дође до оксидативног колапса у биљкама (Науат и сар., 2012).



Графикон 10. Утицај NaCl на концентрацију пролина у надземном делу у свежој маси црне слачице, беле слачице и уљане репице



Графикон 11. Утицај NaCl на концентрацију пролина у корену у свежој маси црне слачице, беле слачице и уљане репице

#### 4.2.2 Концентрација пигмената хлоропласта

Код црне слачице концентрација хлорофила а је при третману са 100 mM NaCl опала за 45,01% у односу на нетретиране биљке, концентрација хлорофила б је при истом

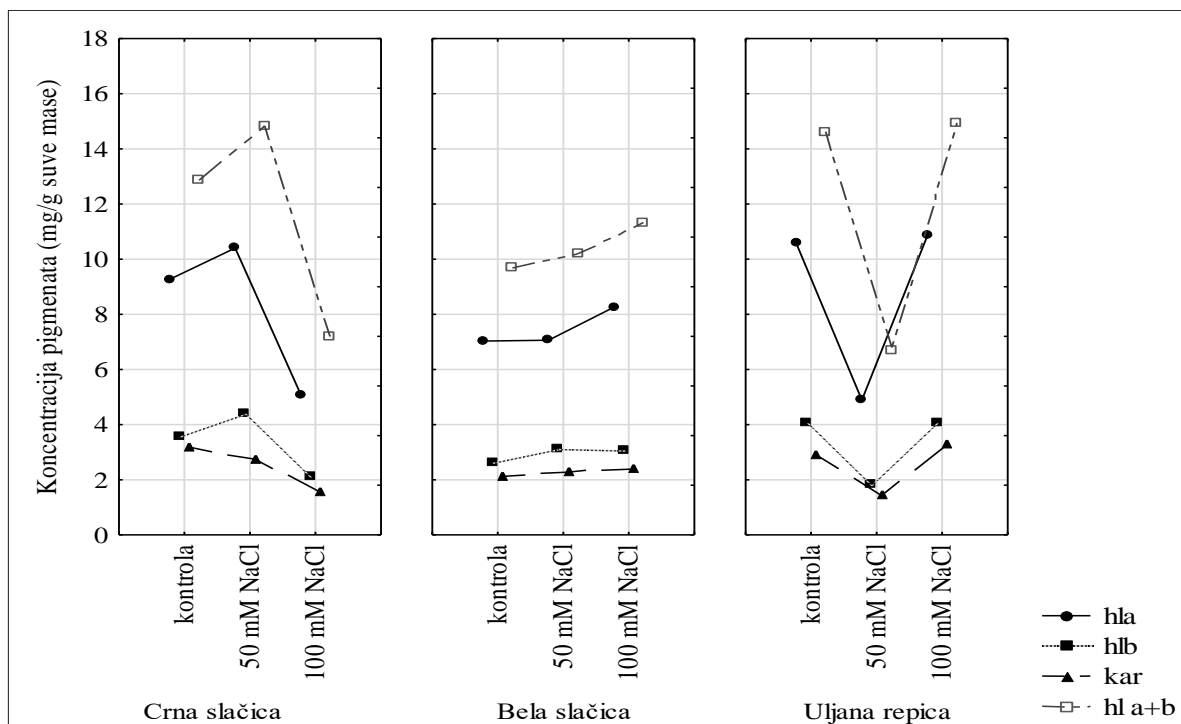
третману опала за 41,63%, а при третману са 50 mM NaCl значајно повећала за 23,33%, што је довело до тога да концентрација хлорофила а+б буде при третману са 50 mM NaCl за 15,33% виша у односу на нетретиране биљке, док је при третману са 100 mM NaCl била за 47,07% нижа. Концентрација каротеноида се смањила под утицајем 50 mM NaCl за 13,63% и под утицајем 100 mM NaCl за 51,33% у односу на нетретиране биљке.

Код беле слачице је у поређењу са друге две испитиване биљне врсте концентрација пигмената хлоропласта била најстабилнија. До значајног повећања дошло је само код концентрације хлорофила а при третману са 100 mM NaCl у односу на нетретиране биљке и то за 17,44%.

Уљана репица је и код овог параметра реаговала супротно у односу на црну слачицу, са значајним смањењем концентрације пигмената хлоропласта при третману са 50 mM NaCl у односу на нетретиране биљке и порастом при третману са 100 mM NaCl. Концентрација хлорофила а, за 53,73% и хлорофила а+б, за 54,99% је била знатно нижа у односу на нетретиране биљке (Графикон 12).

Код црне слачице је при већој концентрацији соли дошло до смањења пигмената хлоропласта, што доводи до смањења интензитета фотосинтезе. Утицај соли на фотосинтетске процесе се испољава кроз инхибицију усвајања угљен диоксида и редукцију количине пигмената (Innocenti и сар, 2009; Quadros, 2011; Sudhir и сар., 2005).

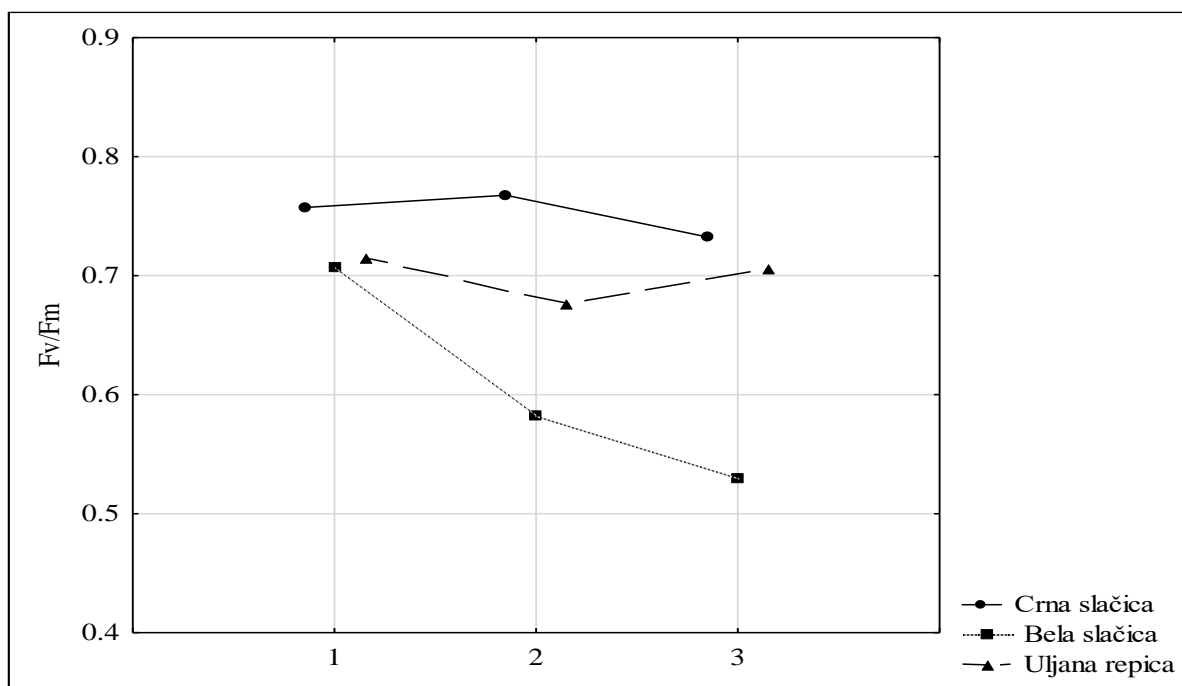
Каротеноиди, који улазе у састав пигмената хлоропласта, имају значајну улогу у осмотском стресу (Mane и сар., 2011), што је у складу са нашим резултатима за црну слачицу.



Графикон 12. Утицај NaCl на концентрацију пигмената хлоропласта у сувој маси црне слачице, беле слачице и уљане репице

#### 4.2.3 Фотохемијска ефикасност фотосистема II (Fv/Fm)

Код беле слачице дошло је до значајног смањења фотохемијске ефикасности фотосистема II при оба третмана са NaCl. Третман са 50 mM NaCl је био за 17,60%, а третман са 100 mM NaCl за 25,12% нижи у односу на нетретиране биљке. Код црне слачице и уљане репице третмани са NaCl нису значајно утицали на фотохемијску ефикасност фотосистема II (Fv/Fm) (Графикон 13).



Графикон 13. Утицај NaCl на фотохемијску ефикасност фотосистема II (Fv/Fm) код црне слачице, беле слачице и уљане репице

Способност одржавања високе фотохемијске ефикасности фотосистема II (Fv/Fm) у условима стреса указује на његову толерантност на тај чинилац стреса. Смањење Fv/Fm у стресним условима је показатељ фотоинхибиције, која је повезана са већом редукцијом PSII (Maxwell и Johnson, 2000). Међутим, како различите врсте могу поседовати различите механизме отпорности и толерантности на стрес, разликовање стрес толерантног и осетљивог генотипа на основу ових параметара, зависи од врсте која се посматра (Colom и Vazzana, 2003; O' Neill и сар., 2006; Rong-hua и сар., 2006), као и других показатеља који морају заједно да се узму у обзир (нпр. продукција биомасе, утицај на дужину вегетације и сл).

Стрес изазван присуством соли има комплексне ефекте на фотосинтетичку активност у зависности од биљне врсте, трајања стреса и концентрације соли, од чега зависи брзина раста биљке и продуктивност (Kalaji и сар., 2011; Јајоо, 2014; Oukarroum и сар., 2015). Већи салинитет уобичајено изазива фотоинхибицију оба фотосистема (PS II и PS I), инхибира уопштено активност ланца транспорта електрона и тиме фотофосфорилацију, што се затим одражава и на одвијање тамне фазе фотосинтезе и коначно на количину укупно створене органске материје (Јајоо, 2014).

## 5. ЗАКЉУЧАК

Испитиване биљне врсте слачице и уљана репица, различито су реаговале на присуство NaCl, током наклијавања и почетних фаза вегетативног развоја. При концентрацији од 200 mM NaCl семе третираних биљних врста није клијало, и даље анализе нису рађене. Све три тестиране биљне врсте нису толерантне на овако високу концентрацију NaCl.

Свежа маса биљних органа, код црне слачице била је повећана при нижој концентрацији NaCl (50 mM NaCl) док се при вишој (100 mM NaCl) видео значајан негативан утицај. Уљана репица је имала супротну реакцију. Мање осцилације испитиваних параметара за раст и водни режим имала је бела слачица, изузев суве масе корена.

Различите концентрације NaCl довеле су до значајног смањења лисне површине по биљци и броја листова чиме су смањене укупна транспирациона и фотосинтетска површина.

Интензитет транспирације се значајно смањио код уљане репице, док је код беле и црне слачице присуство NaCl имало мањи утицај.

Забележено је статистички значајно повећање концентрације слободног пролина у надземном делу и корену сва 3 генотипа, при вишој концентрацији NaCl (100 mM).

Концентрација пигмената хлоропласта се под дејством више концентрације (100 mM) NaCl смањила код црне слачице, а при нижој концентрацији (50 mM) NaCl код уљане репице, што утиче на интензитет фотосинтезе.

Значајно смањење фотохемијске ефикасности фотосистема II под дејством обе концентрације NaCl установљено је код беле слачице.

Од анализираних биљних врста бела слачица је најмање осетљива на повишене концентрације NaCl.

Добијени резултати могу имати практичну примену код одабира типа земљишта и адаптације технологије произвође при гајењу испитиваних биљних врста.



## 6. ЛИТЕРАТУРА

1. Ahmad P. (2012). Salt-induced changes in photosynthetic activity and oxidative defense system of tree cultivars of mustard (*Brassica juncea* L.). *Afr. J. Biotechnol.*, 11: 2694-2703.
2. Ahmad P., Hakeem K.R., Kumar A., Ashraf M., Akram, N.A. (2012). Salt-induced changes in photosynthetic activity and oxidative defense system of three cultivars of mustard (*Brassica juncea* L.). *Afr. J. Biotechnol.*, 11:2694-2703.
3. Ahmad P., Jaleel C.A., Sharma, S. (2010). Antioxidative defence system, lipid peroxidation, prolinemetabolizing enzymes and biochemical activity in two genotypes of *Morus alba* L. subjected to NaCl stress. *Russ. J. Plant Physiol.*, 57: 509-517.
4. Ahmad P., Sharma S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Plant Soil Environ.*, 54: 89-99.
5. Ashraf M., Fooland M.R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.*, 59: 206-216.
6. Ashraf M., McNeilly T. (2004). Salinity tolerance in Brassica oilseeds. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 23: 157-174.
7. Bates L.S. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.
8. van Camp L., Bujarrabal B., Gentile A.R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C., Selvaradjou S., (2004). *Reports of the Technical Working Groups Established Under the Thematic Strategy for Soil Protection*. Office for Official Publications of the European Communities, EUR 21319 EN.
9. Von Wettstein D. (1957). Chlorophyll-letale und submikroskopische formwechsel der plastiden. *Exp. Cell. Res.*, 12:427-433.
10. Garg N., Manchanda G. (2008). Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiol. Plant.*, 30: 595-618.
11. Geebelen W., Vangronsveld J., Adriano D.C., Van Poucke L.C., Chijsters H. (2002). Effects of Pb-EDTA on oxidative stress reactions and mineral uptake in *Phaseolus vulgaris*. *Phys. Plant*, 112: 377-384.

12. Ghoulam C., Foursy A., Fares K. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Envir. Exper. Bot.*, 47: 39-50.
13. Gortleviskij A.A., Makeev V. (1983). *Ozimij raps*. Rosselhozidat, Moskva.
14. Gupta B., Huang B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *Int. J. Gen.*, 2014: 1-18. DOI 10.1155/2014/701596.
15. Daliakopoulos I.N., Tsanis I.K., Koutroulis A., Kourgialas N.N., Varouchakis A.E., Karatzas G.P., Ritsema C.J. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Sci. Total Environ.*, 573: 727-739.
16. Demirbas A. (2008). *Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines. Biodiesel fuels I*. Springer-Verlag Limited, London. DOI 10.1007/978-1-84628-995-8
17. Đukić J.D., Moisuc V.A., Janjić V.R., Kišgeci J. (2004). *Krmne, korovske, otrovne i lekovite biljke*. Zrenjanin, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad i Budućnost.
18. Epstein E. (1990). *Responses of plants to saline environments*. In: Rains D.W., Valentine R.C., Hollaender A. (eds) *Genetic Engineering of Osmoregulation*. Basic Life Sciences, vol 14. Springer, Boston, MA. DOI 10.1007/978-1-4684-3725-6\_2.
19. Zamani Z., Nezami M., Habibi D., Khorshidi M. (2010). Effect of quantitative and qualitative performance of four canola cultivars (*Brassica napus* L.) to salinity conditions. *Adv. Environ. Biol.*, 4(3): 422-427.
20. Zhang X., Lu G., Long W., Zou X., Li F., Nishio T. (2014). Recent progress in drought and salt tolerance studies in Brassica crops. *Breed Sci.*, 64(1): 60-73. DOI 10.1270/jsbbs.64.60.
21. Zhu J.K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.*, 6: 66-71.
22. Innocenti D.E., Hafsi C., Guidi J., Navar-Izzo F. (2009). The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Plant Physiol.*, 166: 1968-1981.
23. Jajoo A., Mekala N.R., Tomar R.S., Griecdo M., Tikkanen M., Aro E.M. (2014). Inhibitory effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on photosynthetic performance are not related to their aromaticity. *J. Photochem. Photobiol. B.*, 137: 151-155

24. Kalaji H.M., Govindjee K., Bosa K., Kościelniak J., Żuk-Gołaszewskae K. (2011). Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO<sub>2</sub> assimilation of two Syrian barley landraces. *Environ. Exp. Bot.*, 73: 64-72
25. Kayi Kishore P.B., Sangam S., Amrutha R.N., Laxmi P.S., Naidu K.P., Rao K., Reddy K.J., SreenivasuluN. (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.
26. Kišgeci J. (2008). *Lekovite i aromatične biljke*. Beograd, Partenon i Srpska književna zadruka.
27. Koh L.P. (2007). Potential habitat and biodiversity losses from intensified biodiesel feedstock production. *Conserv. Biol.*, 21(5): 1373-1375
28. Kojić M. (1991). *Botanika*. Beograd, Nauka.
29. Kondić J., Marinković R., Mijanović K. (2008). *Uljana repica*. Poljoprivredni institut Republike Srpske, Banja Luka.
30. Kumar N., Dushenkov V., Motto H., Raskin I. (1995). Phytoextraction—the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ. Sci. Technol.*, 29: 1232-1238.
31. Lee M.H., Cho E.J., Wi S.G., Bae H. (2013). Divergences in morphological changes and antioxidant responses in salt tolerant and salt sensitive rice seedlins after salt stress. *Plant Physiol. Biochem.*, 70: 325-335.
32. Lefebvre O., Moletta R. (2006). Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater:a literature review. *Water Res.*, 40: 3671-3682.
33. Mahmoodzadeh H. (2008). Comparative study of tolerant and sensitive cultivars of *Brassica napus* in response to salt conditions. *Asian J. Plant Sci.*, 7(6): 594-598.
34. Maksimović I., Belić S., Putnik-Delić M., Gani, I. (2008). The effect of sodium concentration in the irrigation water on pea yield and composition. *Proceedings of the XII International ECO-conference, 24-27 September 2008, Novi Sad*, pp: 231-235.
35. Maksimović I., Putnik-Delić M., Gani I., Marić J., Ilin Ž. (2010). Growth, ion composition and stomatal conductance of peas exposed to salinity. *Cent. Eur. J. Biol.*, 5: 682-691.
36. Mane A.V., Saratal G.D., Karadge B.A., Samant J.S. (2011). Studies on the effect of salinity on growth, polyphenol content and photosynthetic response in *Vetiveria zizamoides* L. *J. Food Agric.*, 23: 59-70.

37. Mantri N., Patade V., Penna, S. (2012). *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*. Springer-Verlag New York. DOI 10.1007/978-1-4614-0634-1, eBook ISBN 978-1-4614-0634-1.
38. Mateo-Sagasta J., Burke J. (2011). *Agriculture and water quality interactions: a global overview*. SOLAW Backgr Technical Report, Themat. Rep. - TR08.
39. Maxwell K, Johnson G.N. (2000). Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J. Exp. Bot.*, 51: 659-668
40. Minhas P., Sharam D., Khosla B. (1990). Effect of alleviation of salinity stress at different growth stages of Indian mustard (*Brassica juncea*). *Indian J. Agric. Sci.*, 60(5): 343-346.
41. Moral R., Perez-Murcia M., Perez-Espinosa A., Moreno-Caselles J., Paredes C., Rufete B. (2008). Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. *Waste Manag.*, 28: 367-371.
42. Moreira Barradas J., Abdelfattah A., Matula S., Dolezal F. (2014). Effect of fertigation on soil salinization and aggregate stability. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 141, 05014010. DOI 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000806.
43. Mustapić Z. (1986). *Posebno ratarstvo II*. Beograd, Naučna knjiga.
44. Nedić N., Mačukanović-Jocić M., Rančić D., Rørslett B., Šoštarić I., Dajić Stevanović Z., Mladenović M. (2013). Melliferous potential of *Brassica napus* L. subsp. *napus* (Cruciferae). *Arthropod Plant Interact.*, 7: 323-333. DOI 10.1007/s11829-013-9247-2.
45. Nešković M., Konjević R., Čulafić L. (2003). *Fiziologija biljaka*. Beograd, NNK International.
46. Neumann P. (1997). Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Environ.*, 20: 1193-1198.
47. Nikolić B. (1972). Familija Brassicaceae Burn. U *Josifović M. (ed.)* (strp. 1970-1986). Flora SR Srbije, IV, Beograd, SANU.
48. O'Neill P.M., Shanahan J.F., Schepers J.S. (2006). Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Sci.*, 46: 681-687
49. Obi R.K., Nwanebu F., Ndubuisi U.U., Orji N.M. (2009). Antibacterial qualities and phytochemical screening of the oils of *Curcubita pepo* and *Brassica nigra*. *J. Med. Plant. Res.*, 3(5): 429-432.

50. Oukarroum A., Bussotti F., Goltsev V., Kalaji H.M. (2015). Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemnagibba* L. plants under salt stress. *Environ. Exp. Bot.*, 109: 80-88
51. Ozturk L., Demir Y. (2002). In vivo and in vitro protective role of proline. *Plant Growth Regul.*, 38:259-264.
52. Parida A.K., Das A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effect on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 60: 324-349.
53. Parihar P., Singh S., Singh R., Pratap Singh V., Mohan Prasad S. (2014). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22: 4056-4075.
54. 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. *Rom. Agric. Res.*, 30: 141-148.
55. Raymer P.L. (2002). *Canola: An Emerging Oilseed Crop*. Reprinted from: *Trends in new crops and new uses*. Janick J., Whipkey A. (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA.
56. Robson M.C., Fowler S.M., Lampkin N.H., Leifert C., Leitch M., Robinson D., Watson C.A., Litterick A.M. (2002). The agronomic and economic potential of break crops for ley/arable rotations in temperate organic agriculture. *Adv. Agron.*, 77: 369-427.
57. Romero-Aranda R., Soria T., Cuartero J. (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Sci.*, 160(2): 265-272
58. Rong-hua L., Pei-pol G., Baumz M., Grand S. Ceccarelli S. (2006). Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agr. Sci. China*, 5(10): 751-757
59. Sedlar A., Đukić N., Bugarin R. (2009). Pesticide application technique in oilseed rape plant protection. *Cont. Agr. Engng.*, 35(1-2): 79-84, UDK: 632.95:582.916.26
60. Shalhevet J. (1994). Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agric. Water Manag.*, 25(3): 233-269.
61. Shanker A.K., Venkateswarlu B. (eds) (2011). *Abiotic stress in plants - mechanisms and adaptations*. IntechOpen Limited, London, UK. DOI: 10.5772/895, ISBN: 978-953-307-394-1, eBook (PDF) ISBN: 978-953-51-4431-1.
62. Shannon M.C. (1997). Adaptation of plants to salinity. *Adv. Agron.*, 60: 75–120. DOI 10.1016/S0065-2113(08)60601-X.

63. Shrivastava P., Kumar R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J. Biol. Sci.*, 22: 123-131.
64. Stikić R., Jovanović Z. (2015). *Fiziologija biljaka*. Beograd: Naučna KMD.
65. Sudhir P., Pogorydow D., Kovacs I., Garab G., Murthy S.D. (2005). The effect of salt stress on photosynthetic electron transport and thylakoid membrane proteins in the cyanobacterium *Spirulina plantesis*. *J. Biochem. Mol. Biol.*, 38: 481-485.
66. Thakur P., Kumar S., Malik J.A., Berger J.D., Nayyar, H. (2010). Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Env. Exp. Bot.*, 67: 429-443.
67. Hayat S., Hayat Q., Alyemeni M.N., Wani A.S., Pichtel J., Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments. *Plant Signal Behav.*, 7(11): 1456-1466.
68. Hoagland D.R., Arnon D.I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stat. Circ.*, 347:1-32.
69. Holm G. (1954). Chlorophyll mutations in barley. *Acta Agr. Scand.*, 4: 457.
70. 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.
71. Hudewenz A., Pufal G. Bögeholz A-L. Klein A-M. (2013). Cross-pollination benefits differ among oilseed rape varieties. *J. Agric. Sci.*, 152(5): 770-778. DOI:10.1017/ S0021859613000440
72. Colom M.R., Vazzana C.(2003). Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environ. Exp. Bot.*, 49(2): 135-144.
73. Cramer G.R., Epstein E., Lauchli A. (1990). Effects of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. I. Growth analysis. *Physiol. Plant.*, 80: 83-88.
74. Quados A. (2011). Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba*. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 10: 7-15.
75. Wild A. (2003). *Soils, land and food: managing the land during the twenty-first century*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

**Интернет извори:**

1. <https://fineartamerica.com/featured/brassica-nigra-black-mustard-bildagentur-online.html> (приступљено 20.07.2020.)
2. <https://www.seedsgallery.shop/ar/home/black-mustard-seeds-brassica-nigra.html> (приступљено 26.07.2020.)

3. <https://fineartamerica.com/featured/sinapis-alba-white-mustard-bildagentur-online.html> (приступљено 31.07. 2020.)
4. <https://jk-ingredients.en.made-in-china.com/product/XyEnmYKAXdVs/China-Mustard-Seed-Extract-Sinapis-Alba-L-.html> (приступљено 01.08.2020.)
5. <https://antropocene.it/en/2019/07/15/brassica-napus/> (приступљено 01.08. 2020.)
6. <https://www.sciencesource.com/archive/Oilseed-Rape--Brassica-napus--seeds-SS2237635.html> (приступљено 01.08. 2020.)