Mogućnost primjene kvantitativne infracrvene termografije u detekciji ranog vodnog stresa rajčice

Mikulić, Josipa

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:438611

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

MOGUĆNOST PRIMJENE KVANTITATIVNE INFRACRVENE TERMOGRAFIJE U DETEKCIJI RANOG VODNOG STRESA RAJČICE

DIPLOMSKI RAD

Josipa Mikulić

Zagreb, studeni,2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:
Hortikultura-Voćarstvo

MOGUĆNOST PRIMJENE KVANTITATIVNE INFRACRVENE TERMOGRAFIJE U DETEKCIJI RANOG VODNOG STRESA RAJČICE

DIPLOMSKI RAD

Josipa Mikulić

Mentor: Doc. dr.sc. Monika Zovko, dipl.ing.

Zagreb, studeni,2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Josipa Mikulić**,JMBAG 01780954850, rođena dana 29.10.1994. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

MOGUĆNOST PRIMJENE KVANTITATIVNE INFRACRVENE TERMOGRAFIJE U DETEKCIJI RANOG VODNOG STRESA RAJČICE

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVIJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Josipa Mikulić**, JMBAG 01780954850,naslova

MOGUĆNOST PRIMJENE KVANTITATIVNE INFRACRVENE TERMOGRAFIJE U DETEKCIJI RANOG VODNOG STRESA RAJČICE

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:		potpisi:
1.	Doc. dr.sc. Monika Zovko, dipl.ing. ,mentor	_____
2.	Izv.prof.dr.sc. Božidar Benko, član	_____
3.	Doc.dr.sc. Tomislav Karažija,član	_____

Zahvaljujem se mentoricidoc.dr.sc. Moniki Zovko na ukazanoj prilici, stručnom vodstvu, nesebičnoj pomoći pri izradi rada i motivaciji. Zahvaljujem se Fakultetu strojarstva i brodogradnje na usluzi snimanja pod vodstvom profesorice Ivanke Boras, asistentu Ivanu Horvatu i kolegi Borjanu Raniloviću.Zahvaljujem i Institutu za poljoprivredu i turizam u Poreču na njihovom sudjelovanju.

Zahvaljujem svojim roditeljima Zdravku i Ružici, svojim sestrama Valentini i Martini i naravno svojoj baki, Baki Ljubici. Hvala i Eugenu, Niki, Ivanu, Matiji. Hvala Bogu što mi je njih sve dao da s njima prođem sve u životu.

Zahvaljujem Krešimiru Petroviću i firmi Kostelgrad koja me upoznala s infracrvenom termografijom i koja je financirala moja dosadašnja istraživanja vezana za infracrvenu termografiju.

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. HIPOTEZE I CILJEVI ISTRAŽIVANJA 3
2.1. Hipoteze istraživanja 3
2.2. Cilj istraživanja 3
3. PREGLED LITERATURE 4
3.1. Rajčica (Lycopersicon esculentum Mill.) 4
3.1.1. Morfološka i biološka svojstva rajčice 4
3.1.2. Agroekološki uvjeti za uzgoj rajčice 5
3.1.3. Potreba rajčice za vodom 5
3.2. Potrošnja obnovljivih slatkovodnih resursa 6
3.3. Utjecaj vodnog stresa na biljke 6
3.3.1. Provodljivost puči 7
3.4. Mikoriza 7
3.5. Metode za detekciju vodnog stresa 7
3.6. Osnovni principi infracrvene termografije 8
3.7. Uporaba infracrvene termografije za određivanje vodnog potencijala lista 9
3.7.1. Indeks vodnog stresa krošnje (CWSI) 9
4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA 12
4.1. Vrijeme i način provođenja istraživanja 12
4.2. Presadnice korištene u istraživanju 13
4.3. Provođenje navodnjavanja 13
4.4. Provođenje snimanja 14
4.5. Mjerenje temperature 15
4.6. Fiziološka svojstva presadnica 15
4.6.1. Mjerenje vodnog potencijala 15
4.6.2. Mjerenje fotosinteze 16
4.6.3. Mjerenje klorofila 17
4.6.4. Mjerenje dušika 17
4.6.5. Mjerenje indeksa vodnog potencijala (eng. *crop water stress index* - CWSI) 17
4.7. Statistička obrada podataka 18
5. REZULTATI I RASPRAVA 19
5.1. Masa nadzemnog dijela, lista i stabljike 19
5.1.2. Duljina stabljike 20
5.2. Vodni potencijal 21

5.3. Klorofil 23
5.4. Dušik 23
5.5. Fotosinteza 24
5.6. Temperatura lista izmjerena termoparovima 26
5.7. Temperatura lista dobivena iz analiziranih termograma 28
5.8. Rezultati izračuna temperaturnog indeksa CWSI 29
6. ZAKLJUČAK 30
5. POPIS LITERATURE 31
Životopis 35

Sažetak

Diplomskog rada studenta/ice **Josipa Mikulić**, naslova

MOGUĆNOST PRIMJENE KVANTITATIVNE INFRACRVENE TERMOGRAFIJE U DETEKCIJI RANOG VODNOG STRESA RAJČICE

U ovom radu istraživanje je provedeno na presadnicama rajčice (*Lycopersicon esculentum* Mill.) postavljenih u četiri grupe. Grupe su podijeljene prema planiranim tretmanima pokusa: mikoriza navodnjavano, mikoriza nenavodnjavano, bez mikorize navodnjavano i bez mikorize nenavodnjavano. Temperatura je mjerena pomoću termoparova i infracrvene kamere. Na presadnicama su provedena mjerenja fizikalnih i bioloških svojstava: vodni potencijal lista, klorofil, dušik, fotosinteza. Različite varijante navodnjavanja pokazala su različite učinke na svojstva presadnica i to: mikorizirano navodnjavana varijanta ima najveću masu nadzemnog dijela, lista i stabljike. Najveća temperatura lista je zabilježena kod tretmana pod vodnim stresom. Zaključeno je da temperatura lista presadnica izmjerena infracrvenom kamerom može ocijeniti vodni stres presadnica rajčice.

Ključne riječi:mikoriza, navodnjavanje, vodni stres, vodni potencijal, temperatura

Summary

Of the master'sthesis - student **Josipa Mikulić,** entitled

THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF QUANTITATIVE INFRARED THERMOGRAPHY IN DETECTION OF EARLY WATER STRESS IN TOMATOES

The research in this paper was carried on tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) divided into four groups. Groups were divided according to the planned experiments' treatment: mycelium irrigated, mycoplasma unirrigated, without mycorrhizae irrigated and without mycorrhizae unirrigated. The temperature was measured by thermocouples and infrared cameras. Measurements of physical and biological properties were carried out on leaflets: water potential of the leaf, chlorophyll, nitrogen, photosynthesis. Different variants of irrigation have shown different effects on the characteristics of the seedlings: the michorized irrigated variant has the largest mass of the overhead particle, leaf and stem. The highest temperature of the leaf was recorded during the treatment under water stress. It is concluded that the leaf temperature of the seedlings measured by an infrared camera can assess the water stress of tomato seedlings.

Keywords:mycorrhiza, irrigation, water stress, water potential, temperature

1. UVOD

Voda je jedan od glavnih prirodnih elemenata bez kojeg nema uspješne biljne proizvodnje. Prema procjenama Ujedinjenih naroda 2050. godine dvije trećine svjetske populacije živjet će u uvjetima nedostatka vode (FAO, 2016.). Stoga je neophodno poboljšati upravljanje vodom unutar postojećih oblika poljoprivredne proizvodnje.U poljoprivrednoj proizvodnji redovito dolazi do pojave velikih šteta zbog nepovoljnih vremenskih prilika, pojave viška vode i poplava kao i manjka vode i suše. Prisutnost klimatskih promjena izaziva posljedice koje je sve teže predvidjeti. Manjak vode nije svake godine jednak na cijelom prostoru tijekom vegetacijskog razdoblja, također svaka poljoprivredna kultura ima svoje specifične zahtjeve za vodom koji se mijenjaju tijekom različitih fenofaza. Stoga je vrlo važno navodnjavanje površina za uspješnu biljnu proizvodnju kojom se štete od suše mogu smanjiti, a u nekim područjima i potpuno izbjeći (Rastija i sur., 2016.).

Jedno od važnih polazišta za planiranje navodnjavanja jest utvrđivanje kvalitete i raspoloživosti vodnih resursa (Maceljski i sur., 2004.). Kada se radi o racionalnom gospodarenju vodnim resursima za potrebe navodnjavanja tada se to prvenstveno odnosi na stvaranje uvjeta za osiguranje zaliha vode za navodnjavanje. Potrebno je razviti metode kojima bi se optimizirala potreba vode za navodnjavanje kako bi se izbjeglo pretjerano navodnjavanje kada za njime nema potrebe (Cohen i sur., 2014.). Samim timeostvarujemo značajne financijske uštede i povećava kvalitetu usjeva. Za ostvarenje toga potrebno je poznavati potrebe promatranog usjeva u određenom trenutku. Kada bise mogle ranije otkriti prirodne varijacije u tlu ili biljci, u smislu vodnog stresa ili prekomjernog nakupljanja vode, moglo bise lokalizirano navodnjavati samo pojedine manje dijelove usjeva ili čak pojedine biljke (Meron i sur., 2010.). Ovaj istraživački rad tom problemupristupa uz pomoć termografije, tj. infracrvene kamere.

Termografija je definirana kao bezkontaktna metoda mjerenja i bilježenja temperature i njezine raspodjele na površinama objekata. Riječ termografija dolazi od grčkih riječi *therme*-toplina i *grafein*-pisati. Nakon mjerenja ostaje trajan zapis o izmjerenim veličinama koji se zove termogram. Mjerna metoda kojom se bilježi zračenje površina objekata u određenom području infracrvenog spektra je infracrvena termografija.(Andrassy i sur., 2008.)

Ukoliko je raspoloživost vode ograničena, smanjenje provodljivosti puči se može dogoditi i prije promjene u stanju vode u biljci što znači da praćenje provodljivosti puči može biti bolji indikator odgovora biljke na sušenje tla nego praćenje vodnog potencijala (Jones, 2004). Najraniji odgovori na stres posredovani su biofizičkim događanjima, a najviše transpiracijom, kojom se u takvim uvjetima gubi manje vode (Cohen i sur., 2005.). Kada se transpiracija uspori i temperatura lista poveća, dio energije se gubi u obliku topline (Grant i sur., 2007.). Termografija jealternativna metoda koja bi to mogla izmjeriti, temeljena na načelu da voda izgubljena kroz puči hladi list, a kada su puči zatvorene dolazi do porasta temperature lista (Grant i sur. 2006.).

U ovom istraživanju uspoređuje se preciznost termografije u odnosu na konvencionalne metode mjerenja fotosinteze i vodnog potencijala lista na presadnicama

rajčice za razlikovanje biljaka izloženihvodnom stresu i onih navodnjavanih. Na dio presadnica primijenjena je mikoriza kako bise utvrdilo vrijedi li isti model za obje varijante.

2. HIPOTEZE I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

2.1. Hipoteze istraživanja

Vodni stres utječe na provodljivost puči i uvjetuje promjene temperature lista presadnica.

Temperatura lista presadnica izmjerena infracrvenom kamerom može ocijeniti vodni stres biljke i provodljivost puči u danom trenutku.

2.2. Cilj istraživanja

Utvrditi u kolikoj mjeri vodni stres (nedostatak vode) utječe na temperaturu lista presadnica rajčice i učinak vodnog stresa na stopu fotosinteze te analizirati mogućnost primjene termografskih mjerenja za određivanje provodljivosti puči.

3. PREGLED LITERATURE

3.1. Rajčica *(Lycopersicon esculentum* Mill.*)*

Rajčica (*Lycopersicon esculentum* Mill.) je povrtna kultura čija se proizvodnja povećava iz godine u godinu, i u svijetu i u Hrvatskoj (Novak, 2012). Najveći svjetski proizvođač je Kina s 33,6 milijuna tona, a slijede ju Sjedinjene Američke Države s 11,5 milijuna tona te ostale zemlje s prinosima manjim od 10 milijuna tona. U Europi se proizvede 20,5 milijuna tona rajčice na 594.643 hektara, a najveći proizvođači su Italija (6 mil. tona), Španjolska (3,6 mil. tona), Rusija (2,3 mil.tona), i Ukrajina (1,5 mil. tona) (FAO, 2017).U Hrvatskoj se proizvede 43.600 tona rajčice na 3.500 ha, uz prosječan prinos od 12,4 t/ha. (DZS, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015).

3.1.1. Morfološka i biološka svojstva rajčice

Rajčica (*Lycopersicon esculentum* Mill.) je jednogodišnja zeljasta biljka iz porodice pomoćnica (*Solanaceae*). Korijenov sustav može doseći dubinu do 1 m, i promjer do 1,5 m, no glavnina se nalazi u površinskom sloju do 30 cm. Ima sposobnost stvaranja adventivnog korijenja na stabljici, najčešće na onom dijelu stabljike koja dotiče tlo (Lešić i sur., 2004). Stabljika je zeljasta, promjera 2 cm i pokrivena dlačicama. Uglavnom nema dovoljno sklerenhima pa kada je opterećena lišćem i plodovima, bez potpore, stabljika poliježe. List rajčice je neparno perast na dugoj peteljci. Liske su nejednake veličine, romboidnog oblika, manje ili više nazubljene, naborane i dlakave. Cvjetovi u grozdu se formiraju od dna prema vrhu cvata, pa u jednom cvatu može biti i razvijenih plodova i otvorenih cvjetova. Cvijet je dvospolan, pentameran, s pet lapova, pet latica i pet prašnika, ali većina krupnoplodnih kultivara ih ima i više. Prašnici su izduženi, cjevasto srasli i obuhvaćaju tučak. Prašnice uzdužno pucaju s unutrašnje strane još dok cvijet nije sasvim otvoren, pa tako pelud dospijeva na tučak, čime se osigurava samooplodnja. U nepovoljnim uvjetima, naročito pri visokim temperaturama, tučak se izduži iznad prašnika i tako omogućuje stranooplodnju uz pomoć insekata. Plodnica iz koje se razvija plod (mesnata boba) može biti dvogradna, trogradna ili višegradna (Lešić i sur., 2004). Plod rajčice sastoji se od mesa, stjenki perikarpa i pokožice te pulpe koja sadrži placentu, sjeme i želatinozno tkivo oko sjemena koje ispunjava komore. Plodovi mogu biti različitih boja i oblika. Nedozreli plodovi su zelene boje, a kad plod počne dozrijevati mijenja boju pokožice u bezbojnu ili žutu. Zreli plod je žute, narančaste, ružičaste, crvene ili crvenoljubičaste boje. Veličina ploda varira od vrlo sitnog, promjera manjeg od 3 cm, pa do vrlo krupnog, promjera i preko 10 cm. Oblik ploda rajčice može biti okruglo spljošten, okrugli, srcoliki, cilindrični, kruškoliki i šljivoliki (Lešić i sur., 2004). Sjeme je ovalno spljošteno, do 5 mm dugo, do 4 mm široko i do 2 mm debelo. Prekriveno je gustim dlačicama. U jednom gramu može biti 250 do 350 sjemenki (Lešić i sur., 2004), odnosno prema Rubatzky i Yamaguchi (1997) 300 do 350 sjemenki. Prema

Papadopoulos (1991) sjeme rajčice dugo zadržava sposobnost klijanja pa je i nakon 10 godina skladištenja u suhim i hladnim uvjetima moguće ostvariti klijavost preko 90%.

3.1.2. Agroekološki uvjeti za uzgoj rajčice

Rajčica zahtjeva rahlo tlo, dobre strukture, plodno, neutralno ili slabo kisele pH reakcije, od 6,0 do 6,5. Tla koja su bogata glinom treba izbjegavati, jer se na takvom tlu korijen ne može normalno razvijati. Isto tako, tlo na kojem se uzgaja ova kultura ne smije imati visoku razinu podzemnih voda (Maksimović, 2007). U pogledu temperature, za klijanje sjemena rajčice potrebna je minimalna temperatura od 10 °C, a optimalna temperatura iznosi 22 do 25 °C. Kasnije za rast i razvoj potrebna je temperatura od 18 do 22 °C. Kritična maksimalna temperatura je oko 32 °C, rast biljke prestaje na oko 50 °C, a smrzava se na oko -2 °C (Đurovka i sur., 2006). Rajčica ima velike zahtjeve prema svjetlošću. Za neometan rast i zriobu minimalna osvijetljenost je 5 000 do 10 000 luksa, dok je optimalna oko 35 000 luksa. Veći intenzitet svjetlosti, bez obzira na dužinu dana dovodi do ranije cvatnje (Parađiković, 2009).

3.1.3. Potreba rajčice za vodom

Rajčica je svrstana u kulture koje imaju srednje zahtjeve za vodom. Za normalan razvoj potrebna je umjerena vlažnost i zemljišta i zraka. Kritično razdoblje vezano uz vlagu je vrijeme cvatnje i zametanja plodova tijekom kojega, ukoliko nema dovoljno vlažnosti, može doći do opadanja cvjetova. Do vremena cvatnje, vlažnost tla treba održavati do 70% poljskog vodnog kapaciteta (PVK), a u vrijeme plodonošenja oko 80% PVK. Bošnjak i Pejić (1995) navode kako je u našim uvjetima potreba rajčice za 450 do 500 mm vode tijekom vegetacije dok su dnevne potrebe za vodom 3,6 do 4,5 mm. Autori navode kako do pojave prvih plodova sadržaj vode u tlu (supstratu) ne bi trebao biti ispod 70% PVK dok u razdoblju rasta ploda 80% PVK. Stres izazvan nedostatkom vode najveći negativan utjecaj na prinos ima u fazi presađivanja, cvatnje i rasta ploda (Bošnjak, 2003). Prema Parađiković (2009) vlažnost tla u zaštićenom prostoru bi trebala biti održavana na razini od 70 do 80% maksimalnog kapaciteta tla za vodu, dok bi relativna vlaga zraka trebala biti od 65 do 70%. Zahtjev kultura za vodom uzgajanih u zaštićenim prostorima je povećan iz razloga što je navodnjavanje jedini izvor potrebne vode jer je onemogućen ulazak prirodnih oborina, a pored toga nema kapilarnog uzdizanja podzemnih voda. Kulture uzgajane u zaštićenim prostorima u hidroponskim sustavima imaju intenzivan rast i veliki prirod zato što su tijekom cijele godine optimalno opskrbljene s vodom i hranjivim tvarima (Benko i sur., 2017). Bez obzira o kojem sustavu za navodnjavanje se govori, neophodno je osigurati pravilnu drenažu kako bi višak vode mogao otjecati. (Parađiković, 2009).

Tehnika navodnjavanja rajčice ovisi o tome je li rajčica uzgojena na otvorenome ili u zaštićenim prostorima, na tlu ili u supstratu. Bez obzira na metodu navodnjavanja i tehnologiju uzgoja rajčice prvi korak za uspješnu proizvodnju je analiza kvalitete vode za navodnjavanje. Na otvorenome polju rajčicu se najčešće navodnjava metodom kišenja,

površinski te lokalizirano. Učinkovitost navodnjavanja ovisi o tipu tla, odnosno njegovim infiltracijskim sposobnostima. Lokalizirano navodnjavanje je metoda koja se češće primjenjuje u zaštićenim prostorima (Parađiković, 2009).

3.2. Potrošnja obnovljivih slatkovodnih resursa

Crpljenje vode odnosi se na vodu koja je uklonjena iz izvora za određenu uporabu. Glavni sektor koji crpi vodu je poljoprivreda, koja ju koristi za navodnjavanje, čak 95% od sveukupnog crpljenja vode. Globalno crpljenje vode povećalo se s manje od 600 km^3/godišnje (1900) na gotovo 4000 km^3/godišnje (2010).

Neke zemlje, njih 27, 90 % vode koju crpe koristi za poljoprivredu, a 8 zemalja čak i više od 95%. S druge strane, 36 zemalja posvećuje manje od 10%, a 24 manje od 5% za poljoprivredu, od kojih se većina ne nalazi na mediteranskom dijelu Europe, gdje jeklima umjerena i grana poljoprivrede u gospodarstvu je niža. Čak 10 zemalja koristi više od 100% obnovljivih slatkovodnih resursa, od toga 7 na arapskom poluotoku, 1 u sjevernoj Africi i 2 u središnjojAziji. Također neke europske zemlje su pod vodnim stresom gdje crpe preko 20% resursa (FAO, 2016).

Klimatske promjene, povećanje svjetske manjkavosti vode, česte suše i globalno zatopljenje prijete dostatnosti zaliha vode za navodnjavanje. Dok je ljudska populacija i potražnja za slatkovodnim resursima sve veća, suša i redovita oskudica vode može ugroziti globalnu sigurnost hrane, te tako teško narušiti poljoprivrednu proizvodnju. Izazov je ispuniti zahtjeve potražnje, povećanjem kvalitete upravljanja sustavima za navodnjavanje i općenito cijelog uzgoja, a to zahtijeva dublje razumijevanje odgovora biljaka na abiotske čimbenike (Ihuoma i Madramootoo, 2017).

3.3. Utjecaj vodnog stresa na biljke

Rast biljaka uvjetovan je fotosintezom, međutim, višak svjetla može uzrokovati ozbiljnu štetu biljkama. Višak svjetlosti inducira foto-oksidaciju, koja rezultira povećanom proizvodnjom visoko reaktivnog kisika koji negativno utječe na biološke molekule i značajno smanjuje produktivnost biljke (Li i sur., 2009). Glavni negativni učinak viška svjetlosti je vodni stres. Vodni stres uzrokuje smanjenje vodnog potencijala u listovima i smanjenje otvaranja puči, što dovodi do manje regulacije gena povezanih s fotosintezom i manje dostupnosti CO_2 (Osakabe i Osakabe, 2012). Ako se stres produžuje, rast biljaka i produktivnost se znatno smanjuju (Osakabe i sur.,2014). Biljke su razvile razne molekularne mehanizme kako bi smanjile potrošnju resursa i prilagodile svoj rast kako bi se prilagodile nepovoljnim uvjetima okoline (Ha i sur., 2014).

3.3.1. Provodljivost puči

Regulacija puči je ključna odrednica biljne fotosinteze i vodenih odnosa koja utječe na opstanak biljaka, prilagodbu i rast. Aktivnost puči, na koju utječu stresovi u okolišu, može utjecati na apsorpciju CO_2 (Osakabe i Osakabe, 2014). Puči brzo reagiraju na abiotičke i biotičke čimbenike. Kao odgovor na nedostatak vode, ionski i sustavi za transport vode kroz membranu kontroliraju promjene turgora u stanicama i stimuliraju zatvaranje puči. Apscizinska kiselina se brzo proizvodi tijekom suše, izazivajući niz fizioloških odgovora, uključujući zatvaranje puči, koje je regulirano mrežom prijenosa signala (Behnam i sur., 2013). Provodljivost puči i transpiracija stoga su vrijedni fiziološki parametri koji se prate u poljoprivrednim znanostima (Costa i sur., 2013). Pod ograničenom raspoloživošću vode smanjenje provodljivosti puči može se pojaviti prije ikakvih promjena u vodnom statusu biljke (Davies i sur., 2000) što znači da praćenje provodljivosti puči može biti bolji indikator za nedostatak vode od praćenja vodnog potencijala (Jones, 2004).

3.4. Mikoriza

Mikoriza je najrasprostranjeniji odnos između mikroorganizama i višihbiljaka, a podrazumijeva simbiozu gljiva i korijena većine kopnenih biljnih vrsta (Marschner, 2012). Biljka domaćin opskrbljuje gljive ugljikovim spojevima koje same ne mogu sintetizirati, a biljke imaju korist u vidu efikasnije apsorpcije hraniva i vode (Giovannetti i Avio, 2002). Osim efikasnijeg usvajanja hraniva, mikoriza povećava otpornost biljke na abiotske stresove, sušu i salinitet tla (Porcel i sur., 2012). Iako su arbuskularne mikorizne gljive (AMG) prisutne i u tlu, zbog bolje iskoristivosti, biljke se mogu inokulirati s komercijalno dostupnim AMG. Danas se u povrćarskoj proizvodnji koriste različiti komercijalni pripravci s učinkovitim izolatima AMG. Inokulacija se odvija kod proizvodnje presadnica kako bi korijen presadnica bio koloniziran prije presađivanja na otvoreno (Baum i sur., 2015).

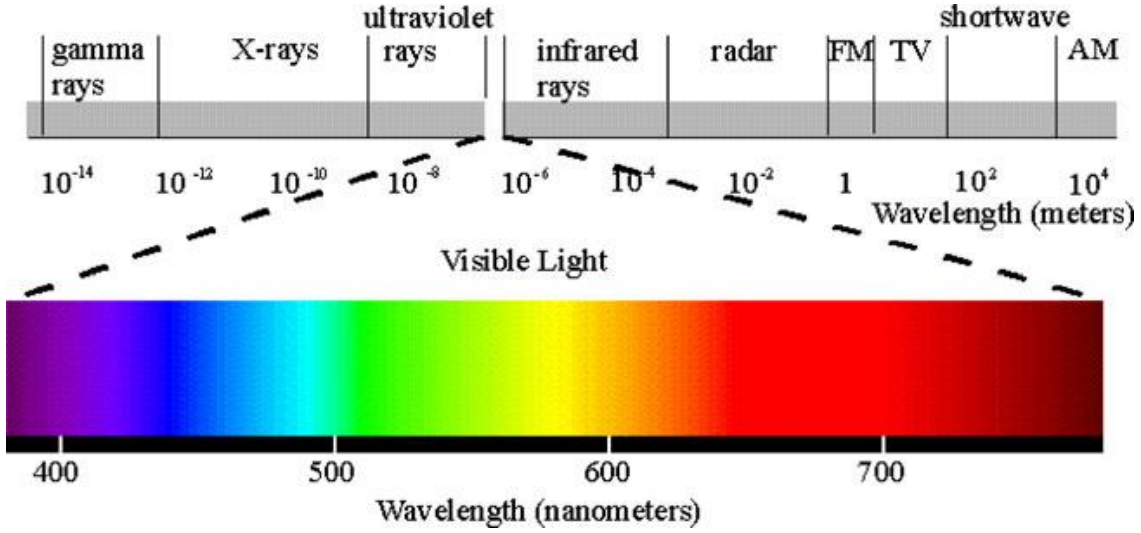
3.5. Metode za detekciju vodnog stresa

Konvencionalne metode za praćenje vodnog stresa usjeva oslanjaju se na mjerenja vlažnosti tla i praćenje meteoroloških varijabli za procjenu količine izgubljene vode iz biljke i tla tijekom određenog razdoblja. Redovno uzorkovanje tla za procjenu gubitka vode iz zone korijenapodrazumijeva da je kapacitet zadržavanja vode cijelog tla ujednačen, pa se samo nekoliko točaka mjerenja koristi za prikaz karakteristika zadržavanja vode cijelog tla.Metoda je dugotrajna,podrazumijeva jednaku gustoću biljke i istu brzinu transpiracije, preko cijelog polja, što je rijetko slučaj. Slično tome, mjerenje evapotranspiracije podrazumijeva da je cijeli nasad jednako pokriven i da je istitip tla na cijelojpovršini.Ove metode iziskuju puno vremena za provođenje i daju informacije koje su slab prikaz ukupnog statusa nasada. Ostale metode otkrivanja vodnog statusa uključuju izračun ravnoteže vode u tlu, izravno i neizravno mjerenje vodnog statusa biljke, putem provodljivosti puči i vodnog potencijala lista. Ovi

pristupi, iako pouzdani, intenzivni su, destruktivni i neprikladni za automatizaciju, zbog heterogenosti tla i krošnje usjeva (Ihuoma i Madramootoo, 2017).Modificirani uređaji za mjerenje koriste refleksiju, fluorescenciju ili termalne senzore od ranih 1980.-ih (Omasa i sur., 1983, Riera i sur. 2005) za nedestruktivne i neinvanzivne nadzore fiziološkog stanja biljke. Uporaba ovakvih tehnologija kod snimanja usjeva može pomoći u povećanju učinkovitosti u upravljanju i uzgoju usjeva ili pomaže praćenje i upravljanje prirodnim ekosustavima. Međutim, ove nove tehnike snimanja moraju biti potvrđene i kalibrirane prema klasičnim analizama razmjene plinova i vodnih odnosa (Chaves i sur., 2003). S obzirom da postoji veza između temperature lista i stresa usjeva (Cohen i sur., 2005), potencijal termografije za praćenje vodnog statusa biljke je jasan. Termografija može pokazati razlike između navodnjavanih i nenavodnjavanih biljaka, čak i vidljive razlike između različitih intenziteta navodnjavanja (Grant i sur., 2007, Padhi i sur., 2012).

3.6. Osnovni principi infracrvene termografije

Termografija je beskontaktna metoda mjerenja i bilježenja temperature i njezine raspodjele na površinama objekata. Infracrvena termografija je mjerna metoda kojom se bilježi zračenje površina objekata u određen području infracrvenog spektra (Andrassy i sur., 2008). Njen naziv potječe od grčkih riječi *therme* – toplina i *grafein* – pisati, time se podrazumijeva da nakon mjerenja ostaje trajan zapis o izmjerenoj dozračenoj količini zračenja s promatrane površine. Skup uređaja koji služi snimanju, zapisivanju i obradi, a po potrebi i ispisu termograma zove se termografski sustav. Termografski sustav pretvara nevidljivo-infracrveno-zračenje u vidljivi prikaz. Rezultat termografskog snimanja je termogram, dvodimenzionalna slika raspodjele intenziteta zračenja s površine objekta u vidnom polju kamere (Andrassy i sur., 2008). Dostupnost je oko 50-60 fotografija u sekundi, što termografiju čini osobito pogodnom za istraživanje brzih promjena termalnih uvjeta (Rahkonen i Jokela, 2003).Osnovni princip termografije je da svi objekti koji imaju temperaturu veću od apsolutne nule emitiraju toplinsko zračenje (Bulanon i sur., 2003).Toplinski su efekti vezani za područje valnih duljina od 0,1μm do oko 100 μm. Onaj dio spektra koji je vezan za izmjenu topline obuhvaća djelomično ultraljubičasto i u potpunosti vidljivo i infracrveno zračenje (Andrassy i sur.,2008). Područje infracrvenog dijela spektra nalazi se odmah iza vidljivog dijela spektra (slika 1.) i može se podijeliti na nekoliko dijelova. U termografskim uređajima najčešće se koriste dva područja IC-dijela spektra: SW-područje kratkih valova (blisko infracrveno zračenje) i LW-područje dugih valova (daleko infracrveno zračenje). Termalna kamera u sebi sadrži senzore osjetljive na infracrveno zračenje u rasponu od 7,5 do 15 μm (Bulanon i sur., 2003).



Slika 1. Elektromagnetski spektar (Izvor: Kaiser,1996)

3.7. Uporaba infracrvene termografije za određivanje vodnog potencijala lista

Infracrvena termografija, zajedno s dodatnim okolišnim mjerenjima, priznaje se kao alternativni pristup za detekciju vodenog stresa. Za detekciju vodnog stresa koristi se temperatura krošnje. Kako biljke apsorbiraju sunčevo zračenje,temperatura krošnje se povećava, ali se hladi kada se energija koristi za evapotranspiraciju. Biljke pod vodnim stresom imaju smanjenu transpiraciju i višutemperaturu listova u usporedbi s onima koji nisu pod vodnim stresom (Ihuoma i Madramootoo, 2017).

3.7.1. Indeks vodnog stresa krošnje (CWSI)

CWSI izveden iz temperature krošnje uglavnom je usvojen kao alat za određivanje vodnog statusa biljke i rasporeda navodnjavanja u mnogim kulturama (Aladenola i Madramootoo, 2014; Bellvert i sur., 2016). CWSI teorija temelji se na načelu da transpiracija hladi površinu listova i ako je vlažnost tla u zoni korijena osiromašena, ako je smanjena provodljivost puči i transpiracija, onda je povećana temperatura listova. Koncept korištenja CWSI-a za poboljšanje rasporeda navodnjavanja dobilo je popularnost kada su Idso i suradnici (1981) uočili linearni odnos između temperature krošnje izmjerene infracrvenom termografijom i temperature zraka i manjka isparavanja, te razvili empirijsku metodu za mjerenje vodnog stresa usjeva. Formula CWSI-a koristi dva osnovnapraga. Donja osnovna vrijednost predstavlja temperaturu krošnje (Tc) minus temperatura zraka(Ta) od dobro navodnjavanog usjeva, maksimalne transpiracije, a gornje osnovice predstavljaju (Tc-Ta) od usjeva koji nije navodnjavan.

$$CWSI = \frac{[(Tc - Ta) - (Tnws - Ta)]}{[(Tdry - Ta) - (Tnws - Ta)]}$$

Gdje je: Tc: Temperatura krošnje (°C), Ta: temperatura zraka (°C), Tnws: Temperatura navodnjavanog usjeva (°C) i Tdry: temperatura nenavodnjavanog (°C).

Unutar nekoliko proteklih godina došlo je do poboljšanja formule CWSI-a za praćenje vodnog stresa i rasporeda navodnjavanja u različitim kulturama. U istraživanju Cohena i njegovih suradnika (2005) vodni potencijal lista (LWP) je izmjeren tlačnom komorom i paralelno s time je provedeno snimanje na usjevima pamuka (*Gossypium barbadense* L.). Usporedbom rezultata mjerenja LWP i dobivenih temperatura krošnje iz termograma pronađena je dobra korelacija između tih dvaju mjerenja. Znanstvenici predlažu da bi se trebao razviti sofisticiraniji indeks koji bi uključivao i dnevno vrijeme provedeno pod vodnim stresom, a koji je posljedica toga što su neki listovi osunčani, a drugi djelomično zasjenjeni. Grant i suradnici (2007) istraživali su odnos između temperature trsa, listova i provodljivosti puči mjerene porometrom kako bi optimizirali termografsko snimanje za određivanje reakcije biljke na nedostatak vode u tlu. Istraživanje je provedeno na vinovoj lozi. Dobiveni rezultati ukazuju da je termografija učinkovita metoda u otkrivanju vodnog stresa te da promatranje krošnje kao cjeline daje precizniji uvod nego promatranje pojedinačnih listova. Pretpostavka je da snimanje krošnje kao cjeline smanjuje utjecaj nepovoljne orijentacije pojedinih listova i izbjegava greške uzrokovane izborom nereprezentativnih listova za mjerenje.

Grant i suradnici (2011) proveli su istraživanje da bi istražili koji je optimalan način za određivanje vodnih svojstava sorti jagoda zbog činjenice da je za dugoročnu održivost uzgoja potreban razvoj sorti s većom učinkovitosti iskorištenja vode (eng. *water use efficiency*, WUE). WUE može se definirati kao omjer prinosa i utrošene vode, tj. s fiziološke strane kao omjer fotosinteze i transpiracije. Visok WUE je često povezan sa smanjenom provodljivosti puči, a koja za sobom povlači smanjen rast i urod. Optimalan usjev bi prema tome trebao imati i visok WUE i relativno visoku provodljivost puči. Zbog toga je važno da se lako i brzo mogu otkriti ta svojstva tijekom razvoja novih sorata. Grant i suradnici (2011) su htjeli dokazati da pomoću termografije i analize izotopa ugljika postoji varijacija u fiziologiji lista između različitih sorti jagoda, a koja bi mogla pomoći u razvoju sorti jagoda s većim WUE. Rezultati potvrđuju da bi termografija trebala biti pouzdan alat za određivanje varijacija između sorti u daljnjem razvoju programa uzgoja novih sorata. Cohen i suradnici (2014) žele definirati vezu između vodnog potencijala lista i izmjerenih temperaturi krošnje i listova te postoji li veza između tih odnosa za različite sorte i fenofaze. Izradili su kartu LWP-a gdje su oni podijeljeni u 5 razreda a svaki razred je označavao različitu razinu vodnog stresa u biljci. Dobivena karta LWP-a je dobro odgovarala stvarnom stanju u polju čime je pokazano da se predviđanje LWP-a na temelju termografskih snimki može precizno i pouzdano koristiti na terenu.

Potreban je daljnji napredak i dodatna usavršavanja prije nego bi se infracrvena termografija rutinski koristila za potrebe navodnjavanja. Potrebno je praćenje usjeva tijekom cijele sezone i na kraju je potrebno usporediti rezultate dobivene pomoću infracrvene kamere s onima dobivenim klasičnim metodama (Costa i sur., 2013).

U nekim slučajevima, termogram je dovoljan za prikaz varijacija u vodnom statusu biljke. Na većim površinama koriste se zračne letjelice s kamerom kako bi se pokazale varijacije na nekoj površini u isto vrijeme (Grant i sur., 2016). U tom slučaju ključna je rezolucija. Berni i suradnici (2009) određivali su temperaturu pojedinog stabla s termogramima dobivenih iz zraka, pružajući rezoluciju od 40 cm; to nije bilo moguće kada je letjelica letjela više gdje je razlučivost bila 2m. Jedna zračna ili satelitska snimka može biti dovoljna za određivanje područja (usjeva) s različitim potrebama vode i reprezentativna biljka unutar svake zone može se kontinuirano pratiti (npr. mjerenje varijacija promjera stabljike ili protok tekućine) kako bi se odredila potreba za vodom tijekom sezone. Garciá - Tejero i suradnici (2011) predlažu da kombinacijom nadzora maksimalnog dnevnog skupljanja debla (dobivenog iz pojedine biljke) i formulom: temperatura krošnje – temperatura zraka (dobivenog s polja) pomaže odrediti potrebe navodnjavanja u voćnjacima s prostornim varijacijama u vodnom statusu biljke. Također, zračno ili ono dobiveno snimanjem sa zemlje može pomoći kod otkrivanja neispravnosti (npr. curenja) sustava navodnjavanja, što rezultira velikim gubitkom vode (Thomson i sur., 2012).

4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

Presadnice rajčice su uzgajane na Institutu za poljoprivredu i turizam u Poreču (slika 2.). Snimanje je provedeno na pokušalištu Zavoda za povrćarstvo Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, infracrvenom kamerom Zavoda za termodinamiku, toplinsku i procesnu tehniku Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Sve ostale analize provedene su u laboratoriju Zavoda za melioracije Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.



Slika 2. Presadnice rajčice u plasteniku rasadnika Longo, Rovinj
(Izvor: Monika Zovko)

4.1. Vrijeme i način provođenja istraživanja

Istraživanje je provedeno 2017. godine na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Ručna sjetva sjemena je obavljena24. ožujka 2017. u zaštićenom prostoru rasadnika Longo u Rovinju. Presadnice su 3. svibnja 2017. Dostavljene na Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, a 4. svibnja 2017. presađene u negrijani plastenik Zavoda za povrćarstvo.

U pokusu je bilo 80 presadnica raspoređenih u četiri grupe. Grupe su podijeljene prema planiranim tretmanima pokusa: mikoriza navodnjavano (mik nav), mikoriza nenavodnjavano (mik vs), bezmikorize navodnjavano (nmik nav), bezmikorize nenavodnjavano (nmik vs). Jedna paleta sa 20 lončića s presadnicama, čini jedan tretman. Presadnice su uzgajane narednih 12 dana u negrijanom plasteniku dok nisu postigle zadovoljavajući razvoj stabljike i pokrivenost lišćem.

Prva termalna snimanjaobavljena su 16. svibnja 2017. Prvo jutarnje snimanje je počelo u 8 sati i nastavljeno svakih pola sata do podneva. Na isti način provedena su i snimanja 17. i 18. svibnja.

4.2. Presadnice korištene u istraživanju

Prije sjetve sjeme je dezinficirano u 10% otopini vodikovog peroksida. Polovica od ukupnog broja presadnica bila je nacijepljena mikoriznim gljivama. Mikorize su neposredno prije sjetve miješane sa supstratom Klassman KKS BIO-Potgrond, aplicirane su „Aegis microgranule“ mikorize u količini 1g mikorize na 50 ml supstrata (1 g preparata ima 50 spora, tako da je primijenjena 1 spora na 1 ml supstrata). Presadnice su uzgojene u rasadniku uz uobičajene mjere njege i navodnjavanja dok nisu razvile 3-4 lista i postigle visinu do 10 cm. Presadnice s grudom supstrata presađene su u plastične lončiće volumena 1,1 L, koristeći gotovi komercijalni supstrat.Ulončićima se nalazila plastična vrećica koja je imala ulogu sprječavanja gubitka vode kroz dno posude (slika 3.).



Slika 3. Presadnice rajčice

4.3. Provođenje navodnjavanja

Nakon presađivanja određena je ukupna masa svakog zasađenog lončića. Navodnjavanje je obavljeno ručno s 280-300 g vode po lončiću, ovisno o određenoj masi lončića sa supstratom i biljkom. Navodnjavalo se svaki drugi dan. Prihrana vodotopivim mineralnim gnojivom (Polyfeed 9:12:36) obavljena je dva puta, drugog i osmog dana nakon presađivanja.

Prvog dana snimanja sve su biljke navodnjavane. Dvije navodnjavane grupe sa 150 ml vode, aone nenavodnjavane grupe sa 100 ml. Drugi i treći dan vaganje je ponovljeno ujutro prije početka snimanja i tada se biljkama iz navodnjavanih skupina dodavalo onoliko vode

koliko je potrebno da postigne početnu masu kao prvog dana, dok se nenavodnjavanim biljkama samo bilježila masa bez dodatka vode.

4.4. Provođenje snimanja

Termografsko snimanje je provedeno kamerom tipa SC2000 proizvođača FLIR, vlasništvo Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Kamera je bila postavljena na tronožac na visini od 1,8 m iznad tla i 1,1 m od presadnica. Snimanja su provođena svakih pola sata (slika 4.).



Slika 4. Postavljanje mjerne linije za snimanje rajčica

Tablica 1. Okolišni uvjeti u zaštićenom prostoru tijekom provedbe termalnih snimanja

DAN SNIMANJA:		16.05.2017.							Prosjek
TERMOGRAMI	1	2	3	4	5	6	7	8	
Vrijeme (h)						11:00	11:30	12:00	
Rel. vl. (%)						41.2	41.2	32.0	38.1
Temp. (°C)						33	32	27	30.7
DAN SNIMANJA:		17.05.2017.							Prosjek
TERMOGRAMI	1	2	3	4	5	6	7	8	
Vrijeme (h)	8:20	9:10	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	
Rel. vl. (%)	40.1	43.7	40.2	39.8	37.0	39.0	39.2	39.2	39.80
Temp. (°C)	25.8	25.2	27.4	29.8	28.2	32.5		46.2	28.2

DAN SNIMANJA:		18.05.2017.							Prosjek
TERMOGRAMI	1	2	3	4	5	6	7	8	
Vrijeme (h)	8:20	9:00	9:30	10:00	10:30				
Rel. vl. (%)	50.7	32.6	38.0	34.0	37.0	38.5			38.50
Temp. (°C)	20.5	28.3	26.5	28.7	27.9	26.38			26.4

4.5. Mjerenje temperature

Podaci o temperaturi su bilježeni termoparovima tipa T (bakar - konstantan) razreda točnosti ±0,1 °C. Napon generiran na termoparovima je pretvaran na A/D pretvaraču Agilent 34972A u digitalni signal. Datalogger je bio spojen na računalo na kojemu su se pomoću softvera Agilent Benchlink Data Logger neprekidno bilježili izmjereni podaci u intervalu od 5 minuta.Mjerenja su provodili djelatnici Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

Mjerenje temperature je provedeno na četiri točke. U svakoj od četiri grupe izabrana je jedna biljka u koju su umetnuta dva termopara. Jedan u stabljiku neposredno prije prve grane, a drugi u peteljku, dok je treći bio umetnut u tlo posude iste biljke. Dodatnim termoparom se mjerila temperatura zraka.

4.6. Fiziološka svojstva presadnica

4.6.1. Mjerenje vodnog potencijala

Mjerenje vodnog potencijala lista provedeno je u tlačno prenosivoj komori (Plant water status console, Soilmoisture Equipment Corporation, USA). Mjerenje je provedeno svakog dana ina svakoj grupi, tako da su iz svake grupe odabrana tri potpuno razvijena lista (slika 5.).



Slika 5. Instrument za mjerenje vodnog potencijala lista

4.6.2. Mjerenje fotosinteze

Intenzitet fotosinteze mjeren je pomoću terenskog prenosivog instrumenta LCpro+ portable photosynthesis system, ADC BioScientific Ltd., Great Britain (slika 6.). Mjeren je intenzitet fotosinteze (A, μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}) na najmlađem fiziološki zrelom listu, na tri biljke u svakoj grupi. Uz podatke o intenzitetu fotosinteze pomoću istog uređaja dobiveni su i podaci o koncentraciji intercelularnog CO_2 lista (Ci, μmol mol^{-1}), provodljivosti puči (gs, mol H_2O m^{-2} s^{-1}) i transpiraciji (E, mol H_2O m^{-2} s^{-1}).



Slika 6. Mjerenje fotosinteze
(Izvor: Borjan Ranilović)

4.6.3. Mjerenje klorofila

Mjerenje sadržaja klorofila je provedeno terenskim klorofil – metrom (CCM-200 plus Chlorophyll Content Meter, ADC BioScientific Ltd., Great Britain). Iz svake grupe su odabrana tri potpuno razvijena lista na kojima je provedeno mjerenje.

4.6.4. Mjerenje dušika

Mjerenje sadržaja dušika je provedeno pomoću ručnog optičkog instrumenta za mjerenje dušika.

4.6.5. Mjerenje indeksa vodnog potencijala (eng. *crop water stress index* - CWSI)

U literaturi (Idso i sur., 1981) koja obrađuje područje vodnog stresa biljaka, značajka CWSI se računa preko jednadžbe:

$$CWSI = (\vartheta i - \vartheta wet)/(\vartheta dry - \vartheta wet)$$

pri čemu je:
- ϑi temperatura krošnje °C;

- ϑwet temperatura vlažne izoterme; temperatura lista dobro opskrbljenog vodom kojemu su puči potpuno otvorene °C ;

- ϑdry suha referentna temperatura, temperatura lista kod kojega su puči u potpunosti zatvorene °C, računa se kao:

$$\vartheta dry = \vartheta air - 0{,}5\ °C$$

pri čemu je ϑair temperatura zraka °C.

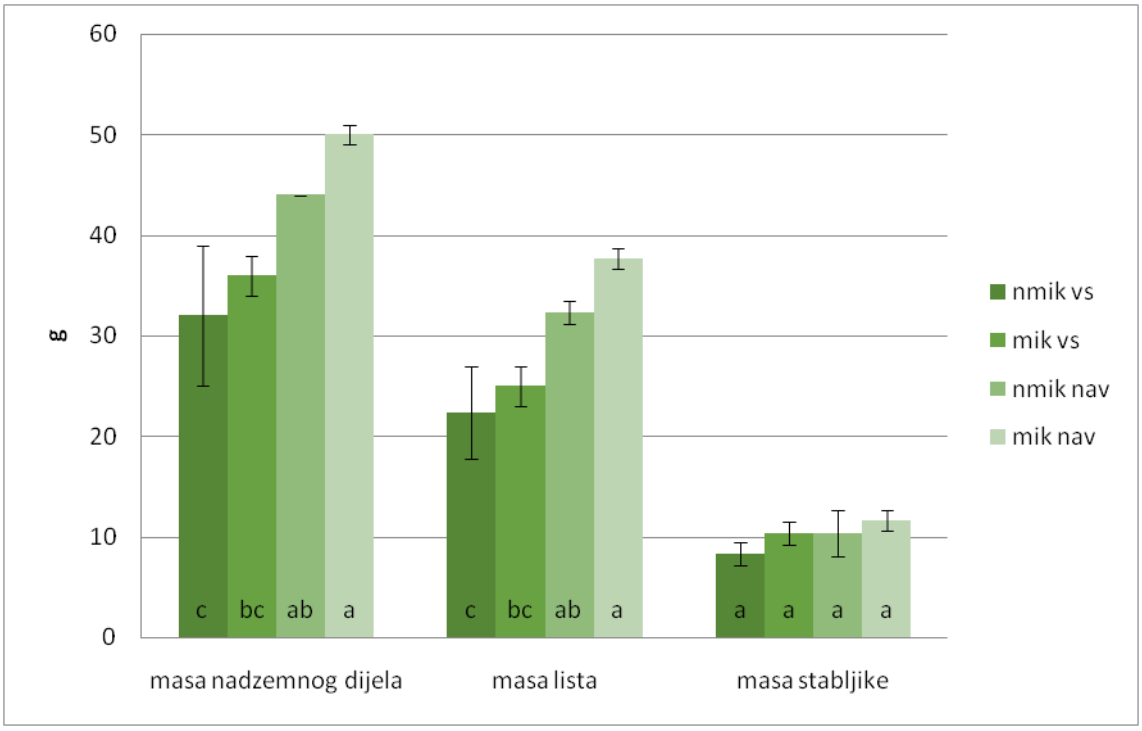
4.7. Statistička obrada podataka

Dobiveni rezultati analizirani su pomoću statističkog programa SAS verzije 9.3. (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) metodom ANOVA i LSD testom na $P \leq 0{,}05$.

5. REZULTATI I RASPRAVA

5.1. Masa nadzemnog dijela, lista i stabljike

Na temelju podataka o masi nadzemnog dijela, lista i stabljike izrađen je grafikon iz kojeg se vide vrijednosti ukupne mase dobivene u pojedinoj varijanti navodnjavanja.



Grafikon 1. Masa nadzemnog dijela, lista i stabljike rajčice

Prikazane su prosječne vrijednosti uz standardnu grešku; vrijednosti označene istim slovom unutar varijanti nisu statistički značajne prema Tukeyevom HSD testu na nivou $P \leq 0.05$ ili 0.01. Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano

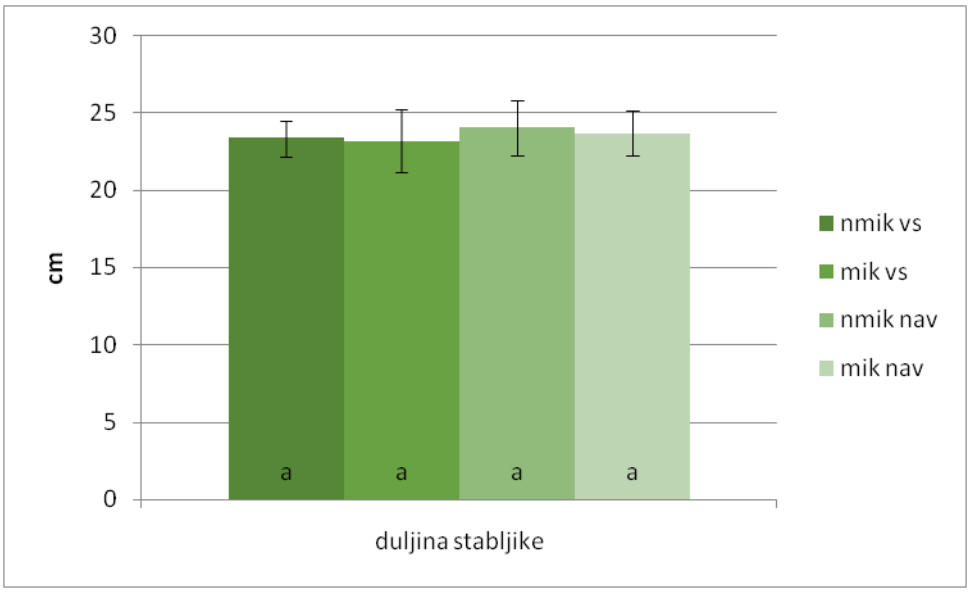
U grafikonu 1. se uočava da je masa nadzemnog dijela bilaizmeđu 32 i 50 g ovisno o varijanti navodnjavanja.Rezultati ukazuju da jestatistički značajno najveća masa nadzemnog dijela kod varijante gdje je bilo navodnjavano i mikoriziranoi iznosila je 50 g. Masa lista je variralaizmeđu 22 g i 37 g, a značajno najveću masu lista također ima varijanta koja je mikorizirana i navodnjavana. Kod mase stabljike koja je između 8 g i 11 g nema statistički značajne razlike među varijantama.

Patane i Saita (2015) u svom istraživanju gdje su uspoređivali masu nadzemnog dijela, lista i stabljike u odnosu na režim navodnjavanja i gustoću sklopa (2,5 biljke po m^2 i 5 biljaka po m^2) su dobili vrijednosti mase nadzemnog dijela od 65,3 g kod nenavodnjavanog tretmana, 87,8 g kod 50% navodnjavanja i 102,2 g kod 100% navodnjavanja. Rezultati u usporedbi s ovim istraživanjima su slični s obzirom da je i ovdje dobiveno da je najveća masa nadzemnog dijela zabilježena kod navodnjavanih varijanti. Masa lista u istraživanju Patane i Saita (2015)

iznosi 42,5 g kod nenavodnjavanog tretmana, 59,4 g kod 50% navodnjavanja i 71,2 g kod 100% navodnjavane varijante, što se također potvrdilo i u ovom istraživanju da najveću masu lista imaju navodnjavane varijante. Isto je i s masom stabljike gdje su Patane i Saita (2015) dobili najveću masu kod 100% navodnjavane varijante (28,4 g), dok je najmanja masa zabilježena kod nenavodnjavane varijante i iznosila je 19,7 g.

5.1.2. Duljina stabljike

U grafikonu 3. prikazane su vrijednosti duljine stabljike presadnica rajčice nakon provedenog navodnjavanja.



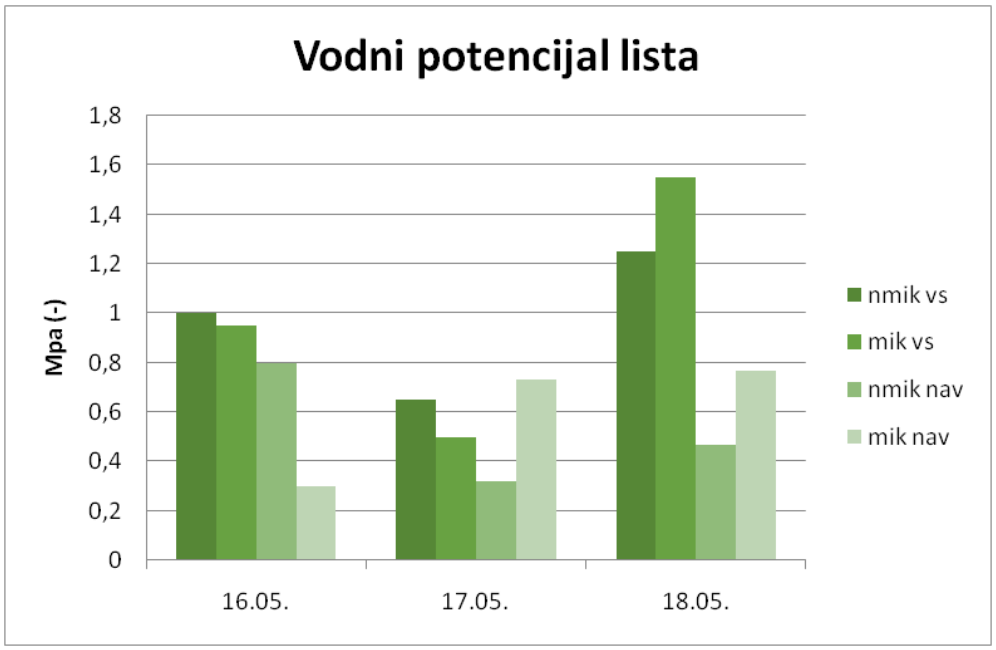
Grafikon 3. Duljina stabljike presadnica rajčice

Prikazane su prosječne vrijednosti uz standardnu grešku; vrijednosti označene istim slovom unutar varijanti nisu statistički značajne prema Tukeyevom HSD testu na nivou $P \leq 0.05$ ili 0.01. Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano

Najduža stabljikaje izmjerena kod navodnjavane nemikorizirane varijante (24 cm), dok je najkraću imala mikorizirana varijanta pod vodnim stresom (23,16 cm). Između varijanti nema statistički značajne razlike. PremaAlaoui i sur. (2014) količina navodnjavanja i učestalost statistički ne utječu na duljinu stabljike što dokazuje i ovo istraživanje. Nema statistički značajne razlike između mikoriziranih i nemikoriziranih varijnati. Razlog tomu je što je period istraživanja prekratak da se vidi utjecaj na vegetacijski rast, on inače bude vidljiv kad se presadnica presadi na polje.

5.2. Vodni potencijal

U grafikonu 4. prikazan je vodni potencijal po varijantama izmjeren tijekom 3 dana.



Grafikon 4. Vodni potencijal presadnica rajčice

Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano

Prvi dan (16. svibnja) najmanji vodni potencijal zabilježen je kod nemikorizirane nenavodnjavane varijante i iznosi -1 MPa, dok najveći vodni potencijal ima mikorizirano navodnjavana varijanta (-0,3 MPa). Drugi dan (17. svibnja) vodni potencijal je veći od prethodnog dana osim kod mikorizirane navodnjavane varijante gdje je vodni potencijal manjii iznosi (-0,7 MPa). Treći dan, varijante pod vodnim stresom imaju najmanjivodni potencijal, nemikorizirana nenavodnjavana varijanta ima najmanju zabilježenu vrijednost (-1,5 MPa).

Tablica 2. Rezultati mjerenja vodnog potencijala lista (prosjek sva tri dana mjerenja)

Izvor varijabilnosti	AVG	MIN	MAX	SD	CV
Način navodnjavanja					
nmik vs	-0.957 ab	-0.3	-1.4	-0.365	-3.824
mik vs	-1.014 a	-0.4	-1.65	-0.531	-5.237
nmik nav	-0.45 b	-0.2	-1.0	-0.318	-7.066
mik nav	-0.686 ab	-0.3	-1.0	-0.234	-3.411

Prikazane su prosječne vrijednosti uz standardnu grešku; vrijednosti označene istim slovom unutar varijanti nisu statistički značajne prema Tukeyevom HSD testu na nivou $P \leq 0.05$ ili 0.01. Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano.

Prosječna vrijednost vodnog potencijala ima statistički značajnu razliku između nemikorizirane navodnjavane i mikorizirane nenavodnjavane varijante, dok između nemikorizirane nenavodnjavane i mikorizirane navodnjavane nema statistički značajne razlike. Najveća prosječna vrijednost iznosi -0,45 MPa kod nemikorizirane navodnjavane što je i očekivano s obzirom da ta varijanta nije pod vodnim stresom, dok je najmanja kod mikorizirane nenavodnjavane (-1,014 MPa).

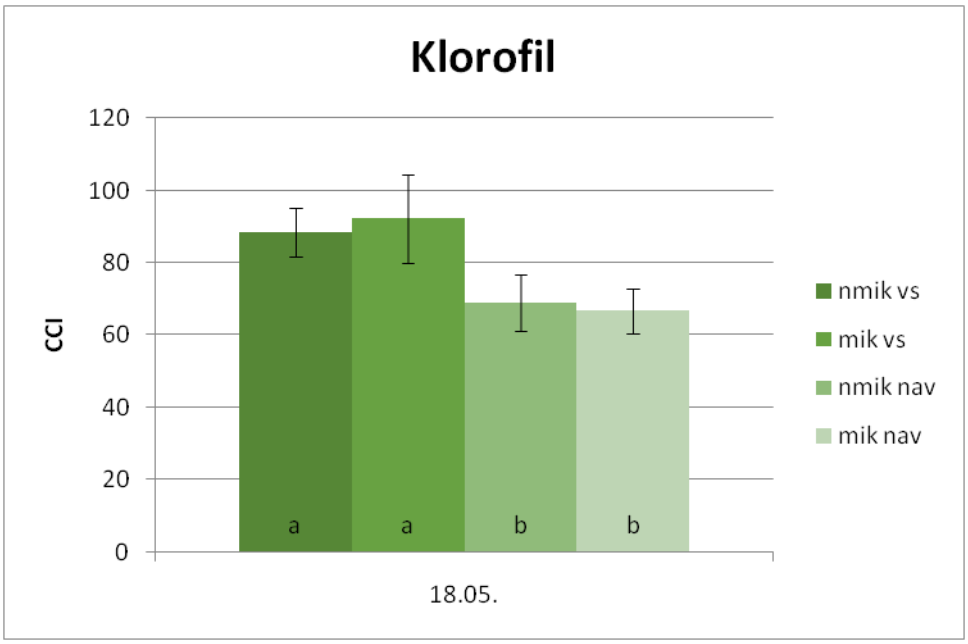
Status biljnog podrijetla klasificiran je u pet unaprijed određenih kategorija (Romić i sur. 2015) prema LWP.U Tablici 3. prikazane su razine nedostatka vode s obzirom na vrijednost vodnog potencijala. Varijante pod vodnim stresom prema tablici imaju slabi nedostatak vode, dok navodnjavane varijante prema tablici nemaju nedostatka vode. Veća izraženost nedostatka vode nije vidljiva s obzirom na kratki period mjerenja.

Tablica 3. Vrijednosti vodnog potencijala prema LWP:

Razina nedostatka vode	*Vrijednosti vodnog potencijala (MPa) prema LWP*
Nema nedostatka vode	LWP> -0,9 MPa
Slabi nedostatak vode	-0,9 MPa ≥LWP> -1,1 MPa
Srednji do slabi nedostatak vode	-1,1 MPa ≥LWP> -1,3 MPa
Srednji do ozbiljni nedostatak vode	-1,3 MPa ≥LWP> -1,4 MPa
Ozbiljni nedostatak vode	-1,4 MPa ≥ LWP

5.3. Klorofil

U Grafikonu 5.prikazani su rezultati mjerenja klorofila.



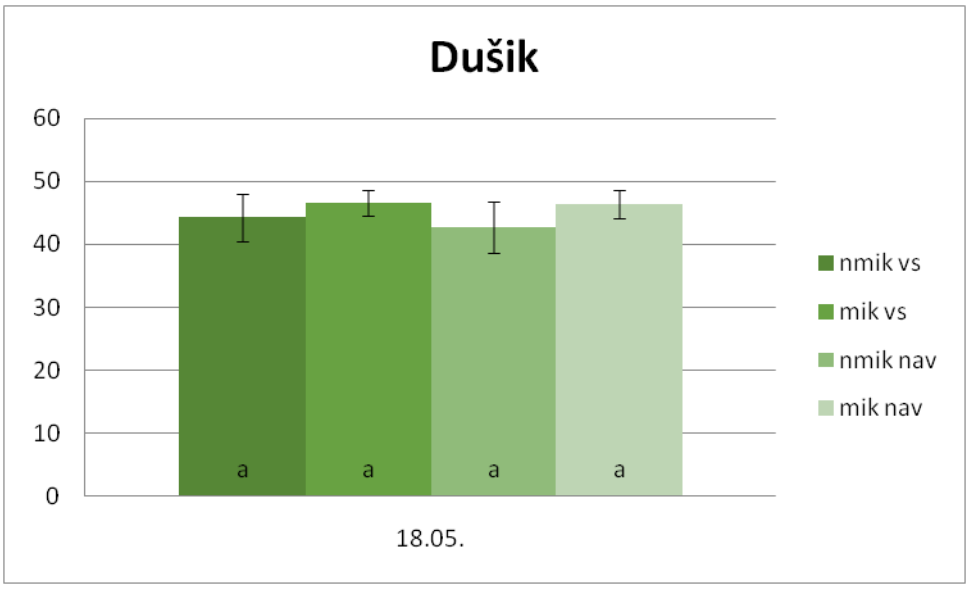
Grafikon 5. Rezultati mjerenja klorofila

Prikazane su prosječne vrijednosti uz standardnu grešku; vrijednosti označene istim slovom unutar varijanti nisu statistički značajne prema Tukeyevom HSD testu na nivou $P \leq 0.05$ ili 0.01. Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano

Nenavodnjavane varijante su statistički značajno različite od navodnjavanih varijanti. Najvišu vrijednost ima mikorizirana nenavodnjavana varijanta i iznosi 90 CCI, dok najmanju ima mikorizirana navodnjavana varijanta (65 CCI).

5.4. Dušik

Nedostatak dušika uzrokuje formiranje manje asimilacijske površine, otežanu tvorbu i manji sadržaj klorofila. Deficit dušika smanjuje intenzitet fotosinteze kao i provodljivost puči kod rajčice (Heuvelink, 2005).



Grafikon 6. Rezultati mjerenja dušika

Prikazane su prosječne vrijednosti uz standardnu grešku; vrijednosti označene istim slovom unutar varijanti nisu statistički značajne prema Tukeyevom HSD testu na nivou P ≤ 0.05 ili 0.01. Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano

Najveću vrijednost ima mikorizirana nenavodnjavana varijanta i iznosi 46,6. Najmanju vrijednost od 42,7 ima nemikorizirana navodnjavana varijanta. Između varijanti nema statistički značajne razlike (grafikon 6).

5.5. Fotosinteza

Tablica 4. Rezultati mjerenja fotosinteze i provodljivosti puči

Izvor varijabilnosti	Intenzitet fotosinteze (A, µmol CO2 m-2 s-1)			Provodljivost puči (gs, mol H_2O m-2 s-1)		
	Mjerenje					
	1	2	3	1	2	3
nmik vs	1.16	5.8	1.37	-	-	-
mik vs	1.37	1.07	1.15	-	-	-
nmik nav	13.12	23.33	18.51	0.12	0.16	0.13
mik nav	24.04	14.67	22.27	0.22	0.09	0.19

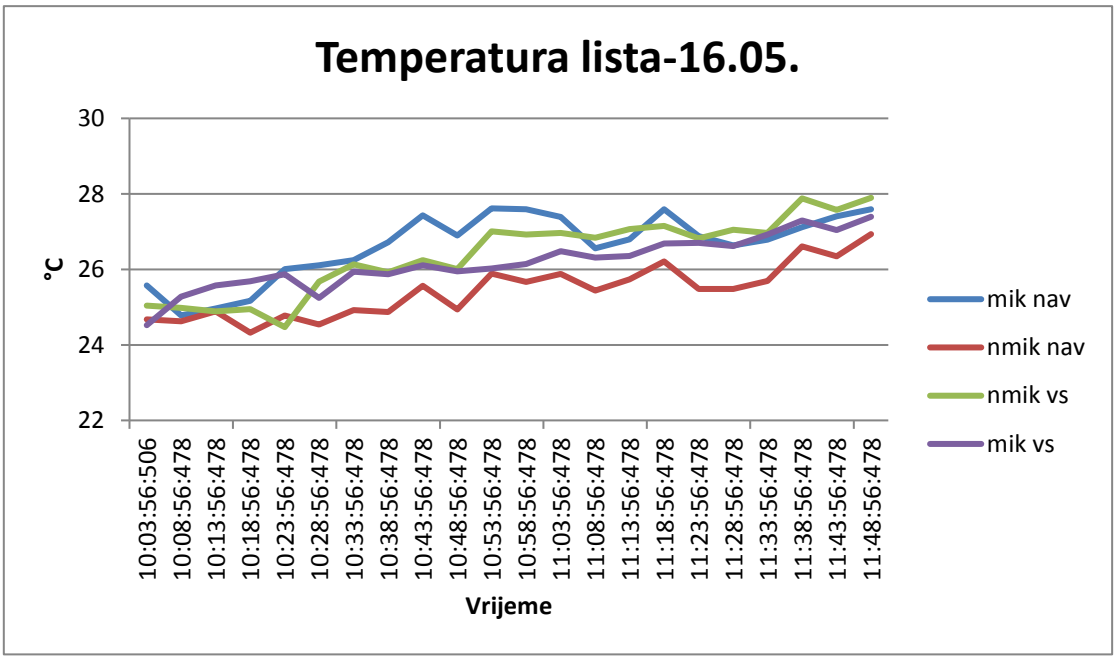
Prikazane su prosječne vrijednosti uz standardnu grešku; vrijednosti označene istim slovom unutar varijanti nisu statistički značajne prema Tukeyevom HSD testu na nivou P ≤ 0.05 ili 0.01. Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano.

Najveći intenzitet fotosinteze imaju navodnjavane varijante. Mikorizirana navodnjavana varijanta ima najveću zabilježenu vrijednost 24.04 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. Najmanji intenzitet fotosinteze izmjeren je kod mikorizirane nenavodnjavane varijante i iznosi 1.07 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}. S porastom temperature raste i intenzitet disanja što umanjuje fotosintezu (Heuvelink, 2005) što je potvrđeno i ovim istraživanjem. Marschner (1995) navodi kako smanjen intenzitet fotosinteze može biti uzrokovan smanjenim sadržajem vode u listu, što može biti uzrokovano smanjenom vlažnosti tla i zraka. Zbog toga što je već počelo venuće na nenavodnjavanim uzorcima na njima nisu uspjela mjerenja otvorenosti puči i fotosinteze, stoga postoje samo rezultati za navodnjavane uzorke. Neće biti moguće uspoređivati odnos između otvorenosti puči i temperature listova.

Vrijednosti provodljivosti puči obično su više kod mikoriziranih biljaka u odnosu na nemikorizirane, što se pripisuje ekstraradikalnim hifama i mikoriziranom korijenovom sustavu koji ima mogućnost prodora u sitnije pore tla. Međutim ako se radi o već koloniziranom tlu vrijednosti provodljivosti puči su više kod neinokuliranih biljaka bez obzira na navodnjavanje ili sušu nego kod onih koje su inokulirane. Kao mogući razlog navode interakciju različitih organizama tla i arbuskularne mikorizne gljive u rizosferi (Koltai i Kapulnik, 2010). I ovo istraživanje je pokazalo da kod navodnjavanja, mikorizirana varijanta ima veću provodljivost puči u odnosu na nemikoriziranu.

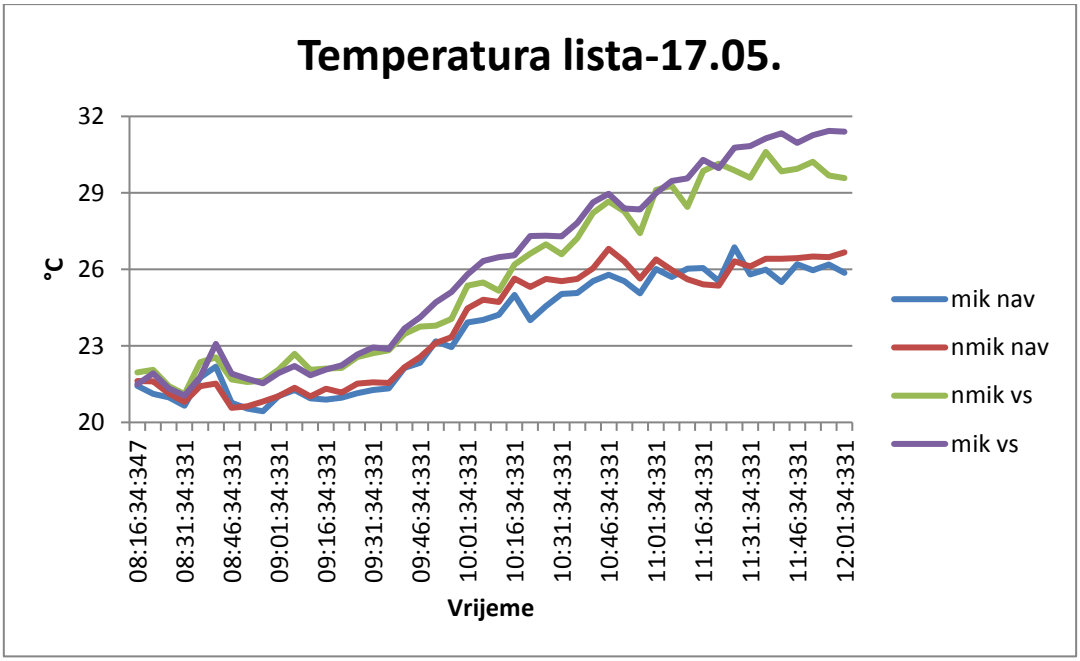
5.6. Temperatura lista izmjerena termoparovima

Mjerenja temperature lista termoparovima provedena su 16., 17. i 18. svibnja 2017. Rezultati su prikazani u grafikonima 7., 8. i 9. Najviše temperature zabilježene su pri kraju mjerenja što je očekivano s obzirom da se prostor s vremenom značajno zagrijao.



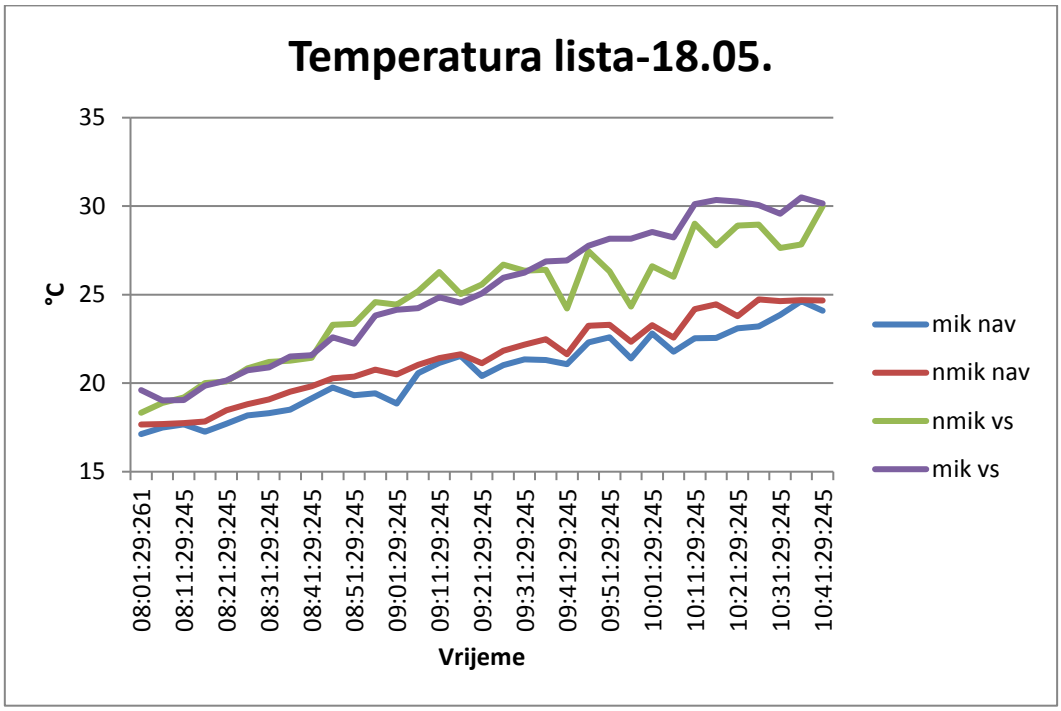
Grafikon 7. Temperatura lista izmjerena pomoću termoparova 1. dan snimanja

Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano



Grafikon 8. Temperatura lista izmjerena pomoću termoparova 2. dan snimanja

Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano



Grafikon 9. Temperatura lista izmjerena pomoću termoparova 3. dan snimanja

Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano

Temperatura lista navodnjavanih uzoraka znatno je niža od temperature lista nenavodnjavanih presadnica rajčice. Razlika između navodnjavanih i nenavodnjavanih varijanata raste s danima mjerenja, jer se biljke pod vodnim stresom sve više zagrijavaju, dok je kod navodnjavanih varijanti povećana transpiracija i listovi se hlade. Dobiveni su očekivani rezultati koji potvrđuju prethodna istraživanja (Grant i sur., 2006., Grant i sur., 2007). Temperature listova oba navodnjavana uzorka su međusobno slične, a isti je slučaj i s temperaturama listova oba nenavodnjavana uzorka. Na osnovu temperatura ne može se primijetiti značajan utjecaj mikorize. Mikorizirane presadnice u pravilu su imale malo niže temperature listova kod navodnjavanih varijanti, a blago više temperature kod nenavodnjavanih varijanti.

5.7. Temperatura lista dobivena iz analiziranih termograma

Rezultati termografskog mjerenja bili su termogrami snimljeni tijekom dva dana (17. i 18. svibnja 2017) mjerenja. Dobiveni rezultati su prikazani u tablicama 5 i6.

Tablica 5. Rezultati analize termograma prikazane u °C (17. svibanj 2017.)

1.dan mjerenja-17.05.2017.			
Izvor varijabilnosti	AVG	MIN	MAX
Način navodnjavanja			
nmik vs	29.97 a	21.3	38.5
mik vs	29.85 ab	21.2	37.8
nmik nav	27.52 bc	20.7	34.5
mik nav	26.7 c	19.2	35.3

Prikazane su prosječne vrijednosti uz standardnu grešku; vrijednosti označene istim slovom varijanti nisu statistički značajne prema Tukeyevom HSD testu na nivou $P \leq 0.05$ ili 0.01. Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano.

Najmanju zabilježenu prosječnu temperaturu ima mikorizirana navodnjavana varijanta i iznosi 26.7.2 °C. Navodnjavane i nenavodnjavane varijante se statistički značajno razlikuju dok između nemikorizirane navodnjavane i mikorizirane nenavodnjavane nema statistički značajne razlike. Najveću prosječnu temperaturu ima nemikorizirana varijanta pod vodnim stresom i iznosi 29.97°C.

Tablica 6. Rezultati analize termograma prikazane u °C (18. svibanj 2017.)

2.dan mjerenja-18.05.2017.			
Izvor varijabilnosti	AVG	MIN	MAX
Način navodnjavanja			
nmik vs	27.4 a	19.5	36.2
mik vs	28.45 a	20.8	37.9
nmik nav	24.22 b	18.9	34.3
mik nav	24.89 b	18	34.3

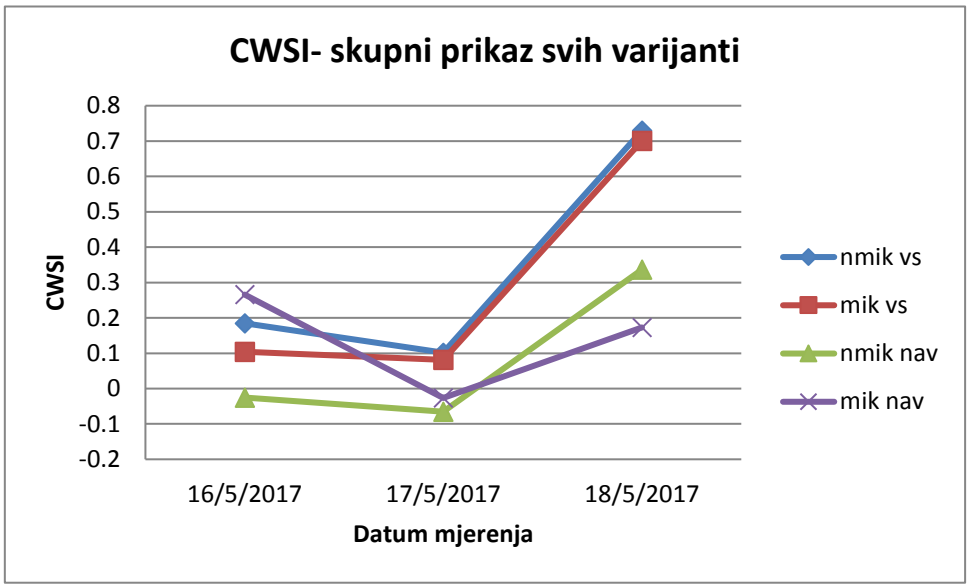
Prikazane su prosječne vrijednosti uz standardnu grešku; vrijednosti označene istim slovom unutar varijanti nisu statistički značajne prema Tukeyevom HSD testu na nivou $P \leq 0.05$ ili 0.01. Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano.

Drugi dan mjerenja rezultati su slični prethodnom danu. Najveću zabilježenu prosječnu temperaturu lista ima mikorizirana varijanta pod vodnim stresom, dok najmanju prosječnu temperaturu ima nemikorizirana navodnjavana varijanta. Između navodnjavanih i nenavodnjavanih varijanti postoji statistički značajna razlika. Rezultati su slični onima

izmjerenim pomoću termoparova, a odgovaraju i dosadašnjim istraživanjima (Grant i sur., 2006., Grant i sur., 2007). Razlog tomu je smanjena transpiracija koja uzrokuje slabije hlađenje što dovodi do povećanja temperature lista.

5.8. Rezultati izračuna temperaturnog indeksa CWSI

Temeljem rezultata mjerenja temperature izračunat je temperaturni indeks (CWSI) prema jednadžbi (4.6.5.). Izračun je temeljen na mjerenim vrijednostima temperature i relativne vlažnosti zraka te dobivenim srednjim vrijednostima temperatura iz analiziranih termograma.



Grafikon 10. Vrijednosti indeksa vodnog stresa prikazane po datumima

Legenda: nmik vs- nemikorizirano vodni stres, mik vs- mikorizirano vodni stres, nmik nav- nemikorizirano navodnjavano, mik nav- mikorizirano navodnjavano

Kod svih varijanti drugi dan mjerenja temperatura lista se smanjila, dok je treći dan značajno porasla. Najmanja razlika u povećanju temperature je kod mikorizirane navodnjavane varijante. Najviše temperature listova su zabilježene kod nenavodnjavanih varijanti. Najnižu temperaturu ima nemikorizirana navodnjavana varijanta. Rezultati su slični onima iz literaturnih izvora koji govore da povećanje razine stresa biljke rezultira porastom temperature lista, a time i porastom vrijednosti CWSI (Grant i sur., 2006). Mikorizirani uzorci nisu pokazali značajnu razliku u odnosu na nemikorizirane uzorke. Na osnovu dobivenih vrijednosti temperatura i CWSI nema dokaza koji bi govorili u korist primjene mikorize kao metode smanjivanja temperature lista ili CWSI-a biljke izložene vodnom stresu.

6. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju provedena su mjerenja fizikalnihi bioloških svojstava presadnica rajčice. Različite varijante navodnjavanja pokazala su različite učinke na svojstva presadnica i to: mikorizirana i navodnjavana varijanta ima najveću masu nadzemnog dijela, lista i stabljike. Nema statistički značajne razlike između mikoriziranih i nemikoriziranih varijanti kod duljine stabljike. Razlog tomu je što je period istraživanja prekratak da se vidi utjecaj na vegetacijski rast, on inače bude vidljiv kad se presadnica presadi na polje.

Najviše vrijednosti vodnog potencijala lista izmjerene su kod navodnjavane nemikorizirane varijante, dok su najmanje vrijednosti vodnog potencijala lista izmjerene na mikoriziranoj nenavodnjavanoj varijanti koje upućuju na nedostatak vode. Najveće temperature lista izmjerene termoparovima su zabilježene kod tretmana pod vodnim stresom. Budući da mjerenja fotosinteze nisu bila uspješna s obzirom na venuće, nije bilo moguće analizirati poveznicu između temperature lista i provodljivosti puči.

Slični obrasci vodnog stresa utvrđeni su i kvantitativnim analizama termograma prikupljenih termografskim snimanjima presadnica rajčice. Najniže temperature listova zabilježene su kod navodnjavanih presadnica, dok su najviše temperature lista zabilježene na nenavodnjavanim presadnicama. Između navodnjavanih i nenavodnjavanih presadnica postoji statistički značajna razlika.

Zaključeno je da temperatura lista presadnica izmjerena infracrvenom kamerom može ocijeniti vodni stres presadnica rajčice.

5. POPIS LITERATURE:

[1] Aladenola O, Madramootoo C.(2014.). Response of greenhouse-grown bell pepper(Capsicum annuum L.) to variable irrigation. Canadian J. Plant Sci. 94, 303–310

[2] Alaoui S.M, Salghi R, Abouatallah A, Jaouhari N, Hammou B. (2014.). Impact of Drip Irrigation Scheduling on Vegetative Parameters in Tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) Under Unheated Greenhouse Journal of Engineering Research and Applications ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 1pp.71-76

[3] Andrassy M, Boras I, Švaić S. (2008.). Osnove termografije s primjenom. Kigen d.o.o. Zagreb

[4] BaumC, El-Tohamy W, Gruda N. (2015.). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. Scientia Horticulturae, 187, 131-141

[5] Behnam B, Iuchi S, Fujita M, Fujita Y, Takasaki H, Osakabe Y. (2013.). Characterization of the promoter region of an Arabidopsis gene for 9-cis- epoxy carotenoid dioxy genase involved in dehydration-inducible transcription. DNA Res. 20, 315–324

[6] Bellvert J, Marsal J, Girona J, Gonzalez-Dugo V, Fereres E, Ustin S.L, Zarco-Tejada P.J.(2016.). Airborne thermal imagery to detect the seasonal evolution ofcrop water status in peach, nectarine and saturn peach orchards. Remote Sens.8, 39

[7] Benko B, Bručić I, Dobričević N, Voća S, Radman S, Uher S. F. (2017.). Effects of biostimulants on yield and quality of soilless grown tomatoes. In 8th CASEE Conference 2017" Sustainable development in Europe-cooperation between science and practice-Whats the position of Central and South Eastern Europe?"

[8] Berni JAJ, Zarco-Tejada PJ, Suárez L, Fereres E. (2009.). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. Transactions onGeoscience and Remote Sensing 47, 722–738

[9] Bošnjak Đ, Pejić B. (1995.). Turnus kao osnova zalivnog režima paradajza. Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 29: 369-375

[10] Bošnjak Đ. (2003.). Navodnjavanje u bašti. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet Novi Sad. Monografija, str. 124

[11] Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS. (2003.). Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. Funct Plant Biol 30: 239–264

[12] Cohen Y, Alchanatis V, Meron M, Saranga Y, Tsipris J. (2005.). Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis, Journal of Experimental Botany, Vol. 56, No. 417, pp. 1843–1852

[13] Cohen Y, Alchanatis V, Sela E, Saranga Y, Cohen S, Meron M, Bosak A, Tsipris J, Ostrovsky V, Orolov V, Levi A, Brikman R. (2014.). Crop water status estimation using thermography: multi-year model development using ground-based thermal images, Precision Agriculture

[14] Costa J.M, Grant O.M, Chaves M.M. (2013.). Thermography to explore plant–environment interactions, Journal of Experimental Botany, Volume 64, Issue 13, Pages 3937–3949

[15] Davies WJ, Bacon MA, Thompson DS, Sobeih W, Rodrı´guez LG. (2000.). Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants' chemical signalling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. J Exp Bot 51: 1617–1626
[16] Državni zavod za statistiku (2010.). Poljoprivredna proizvodnja u 2009. Republika Hrvatska. Zagreb
[17] Đurovka M, Lazić B, Bajkin A, Potkonjak A, Marković V, Ilin Ž, Todorović V. (2006.). Proizvodnja povrća i cveća u zaštićenom prostoru. Poljoprivredni fakultet Banja Luka
[18] FAO. (2016.). AQUASTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pristupljeno: 26.06.2018
[19] FAO (2017.). FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pritupljeno: 02. 08. 2018
[20] Garciá-Tejero I, Durán-Zuazo VH, Muriel-Fernández JL, Jiménez-Bocanegra JA. (2011.). Linking canopy temperature and trunk diameter fluctuations with other physiological water status tools for water stress management in citrus orchards. Functional PlantBiology 38, 106–117
[21] Giovannetti M, Avio L. (2002.). Biotechnology of arbuscular mycorrhizas. In Applied mycology and biotechnology(Vol. 2, pp. 275-310). Elsevier
[22] Grant O. M, Chaves M. M, Jones H. G. (2006.). Optimizing thermal imaging as a technique for detecting stomatal closure induced by drought stress under greenhouse conditions. Physiologia
[23] Grant O. M, Tronina Ł, Jones H. G, Chaves M. M.(2007.). Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes, Journal of Experimental Botany, Vol. 58, No. 4, pp. 815–825.Plantarum, 127: 507–518
[24] Grant O. M, Ochagavía H, Baluja J, Diago M. P, Tardáguila J. (2016.). Thermal imaging to detect spatial and temporal variation in the water status of grapevine (Vitis vinifera L.), The Journal of Horticultural Science and Biotechnology
[25] Ha C.V, Leyva-González M.A, Osakabe Y, Tran U.T, Nishiyama R, Watanabe Y, Tanaka M, Seki M, Yamaguchi S, Dong N.V, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K, Herrera-Estrella L, Tran L.S. (2014.). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.111(2):851-6
[26] Heuvelink E. (2005.). Tomatoes. CABI.
[27] Idso S, Jackson R, Pinter P, Reginato R, Hatfield J.(1981.). Normalizing the stressdegree- day parameter for environmental variability. Agric. Meteorol. 24, 45–55
[28] Ihuoma S.O, Madramootoo C.A. (2017.). Recent advances in crop water stress detection, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 141; 267-275
[29] Jones HG. (2004.). Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. J Exp Bot 55: 2427–2436
[30] Kaiser P. K. (1996.). The joy of visual perception http://www.yorku.ca/eye/spectrum.gif Pristupljeno: 30. listopad 2018.
[31] Koltai H, Kapulnik Y. (2010.). Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Springer

[32] Lešić R., Borošić J, Buturac I, Ćustić M, Poljak M, Romić D. (2002.). Povrćarstvo.Zrinski. Čakovec.
[33] Li Z, Wakao S, Fischer B.B, Niyogi K.K.(2009.).Sensing and responding to excess light. Annu. Rev. Plant Biol. 60, 239–260
[34] Maceljski M, Cvjetković B, Ostojić Z, Barčić J.I, Pagliarini N, Oštrec Lj, Barić K, Čizmič I. (2004.). Štetočinje povrća. Zrinski d.d. Čakovec
[35] Maksimović P. (2009.). Proizvodnja povrća u zaštićenom prostoru Partenon. Beograd
[36] Marschner H. (1995.). Mineral nutrition of higher plants. Academic press
[37] Marschner P. (2012.). Rhizosphere biology. In Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition pp. 369-388
[38] Meron M, Tsipris J, Orlov V, Alchanatis V, Cohen Y. (2010.). Crop water stress mapping for site-specific irrigation by thermal imagery and artificial reference surfaces. Precision Agriculture
[39] Novak A. (2012.). Karakterizacija patotipova gljivice passalora fulva (cooke) u. braun&crous uzročnika baršunaste plijesni lista rajčice u Hrvatskoj. Poljoprivreda. 18(2), 65-66
[40] Omasa K, Hashimoto Y, Aiga I. (1983.). Observation of stomatal movements of intact plants using an image instrumentation system with a light microscope. Plant Cell Physiol 24. 281–288
[41] Osakabe K, Osakabe Y.(2012.).“Plant light stress,”in Encyclopaedia of Life Sciences, ed. S. A. Robinson (London: Nature Publishing Group)
[42] Osakabe Y, Osakabe K, Shinozaki K.(2014.).Tran L-SP. Response of plants to water stress. Frontiers in Plant Science. 5:86
[43] Padhi J, Misra RK, Payero JO. (2012.). Estimation of soil water deficit in an irrigated cotton field with infrared thermography. Field CropsResearch126, 45–55
[44] Papadopoulos A.P. (1991.). Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media, Canada
[45] Parađiković N. (2009.). Opće i specijalno povrćarstvo, Sveučilište "Josipa Jurja Strossmayera", Poljoprivredni fakultet
[46] Patanè C, Saita A. (2015.). Biomass, fruit yield, water productivity and quality response of processing tomato to plant density and deficit irrigation under a semi-arid Mediterranean climate. Crop and Pasture Science66, 224-234
[47] Porcel R, Aroca R, Ruiz-Lozano J. M. (2012.). Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Agronomy for Sustainable Development, 32(1), 181-200
[48] Romić D, Romić M, Ondrašek G, Bakić H, Bubalo M, Zovko M, Matijević L,Husnjak S, Jungić D, Rubinić V, Karloglan Kontić J, Maletić E, Preiner D,Marković Z, Stupić D, Andabak Ž, Čoga L, Lazarević B, Perica S, Strikić F,Žanetić M, Klepo T, Jukić Špika M. (2015.). Pilot projekt navodnjavanja drvenastihkultura (vinove loze i masline) uzgajanih na osvojenim krškim površinama na područjuDonje polje - Jadrtovac kod Šibenika; Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
[49] Sharma P, Kothari M, Lakhawat S.S, Bhakar Sr. (2015.). Effect of Deficit Irrigation on Growth and Yield of Tomato under Drip Irrigation in Shade Net House. 52. 42-47

[50] Rastija D, Zebec V, Semialjac Z, Dadić M, Heček N. (2016.). „Voda kao agroekološki činitelj proizvodnje povrća u kontinentalnoj Hrvatskoj“ Zbornik radova
[51] Riera M, Valon C, Fenzi F, Giraudat J, Leung J. (2005.). The genetics of adaptive responses to drought stress: abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent signalling components. Physiol Plant 123: 111–119
[52] RubatzkyV.E, Yamaguchi Mas. (1997.). World Vegetables
[53] Thomson SJ, Ouellet-Plamondon CM, DeFauw SL, Huang Y, Fisher DK, English PJ. (2012.). Potential and challenges in use of thermal imaging for humid region irrigation system management. Journal of Agricultural Science4, 103–116

Životopis

Josipa Mikulić rođena je 29. listopada 1994. godine u Zagrebu. Godine 2013. završava Križanićevu XVI. jezičnu gimnaziju u Zagrebu. Iste godine upisuje studij Hortikulture na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Prediplomski studij završava 2016. godine gdje stječe akademski naziv sveučilišne prvostupnice inžinjera hortikulture.Govori tri strana jezika od kojih engleski na C1 razini, talijanski na B2 i njemački na A2 razini.

Autorica je nekoliko istraživačkih radova povezanih s termografijom. Radovi su vezani uz korištenje infracrvene termografije u poljoprivredi, tretmanima poslije berbe i određivanju vodnog stresa. Sudjeluje na različitim simpozijima, između ostalih u Vodicama gdjedobiva nagradu za najbolji poster pod naslovom „Primjena infracrvene termografije za determinaciju vodnog stresa kod presadnica rajčice“.