

UTJECAJ SVJETLOSTI NA POKAZATELJE RASTA PAPRIKE (*Capsicum annuum* L.)

Kristić, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of agriculture / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:051661>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Marija Kristić

Diplomski studij Povrćarstvo i cvjećarstvo

UTJECAJ SVJETLOSTI NA POKAZATELJE RASTA PAPRIKE

(*Capsicum annuum* L.)

Diplomski rad

Osijek, 2016.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Marija Kristić

Diplomski studij Povrćarstvo i cvjećarstvo

UTJECAJ SVJETLOSTI NA POKAZATELJE RASTA PAPRIKE

(*Capsicum annuum* L.)

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof.dr.sc. Tihana Teklić, predsjednik
2. doc.dr.sc. Miroslav Lisjak, mentor
3. prof.dr.sc. Nada Parađiković, član

Osijek, 2016.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Svjetlost kao osnovni čimbenik biljne proizvodnje	1
1.2. Cilj istraživanja	6
2. PREGLED LITERATURE.....	7
3. MATERIJAL I METODE	16
3.1. Postavljanje pokusa.....	16
3.2. Određivanje morfoloških svojstva i SPAD indeksa.....	16
3.3. Određivanje sadržaja klorofila i karotenoida	17
3.4. Određivanje ukupnih fenola.....	18
3.5. Analize i obrada podataka.....	18
4. REZULTATI	19
5. RASPRAVA	34
6. ZAKLJUČAK	52
7. POPIS LITERATURE	53
8. SAŽETAK	60
9. SUMMARY.....	61
10. POPIS TABLICA	62
11. POPIS SLIKA	64
12. POPIS GRAFIKONA.....	66
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	67
BASIC DOCUMENTATION CARD.....	68

1. UVOD

1.1. Svjetlost kao osnovni čimbenik biljne proizvodnje

Svjetlost je vidljivi dio spektra i obuhvaća valne duljine od 380 - 750 nm, a ljudsko oko ga vidi kao različite boje. Prirodna dnevna svjetlost potječe od energije Sunčeva zračenja, koju sadrži vidljivi dio Sunčevog spektra (Dadaček i Volf, 2008.). Zahvaljujući Sunčevoj energiji i fotoautotrofnim organizmima koji je mogu iskoristiti u procesu fotosinteze gdje se iz anorganskih tvari primljenih iz okoliša sintetiziraju organske, na Zemlji postoji oblik kemijske energije koji je nužan za život. Fotoautotrofne biljke posjeduju biljna bojila, pigmente, koji apsorbiraju svjetlosnu energiju i pretvaraju ju u kemijsku, koja se pohranjuje u kemijskim vezama šećera i ostalih organskih molekula nastalih iz ugljikova dioksida i vode u procesu fotosinteze. Energija pohranjena u organskim molekulama koristi se u brojnim, životno važnim procesima koji se zbivaju u stanicama biljaka i služi kao izvor energije za sve poznate oblike života (Pevalek-Kozlina, 2003.).

Djelotvoran dio spektra za fotosintezu nalazi se u području crvene i plave svjetlosti, dok se središnji dio spektra, koji odgovara zelenoj svjetlosti, zbog svojstva klorofila ne koristi za fotosintezu. Od raznih klorofila pri fotosintezi najveće značenje ima klorofil a. U biljkama i nekim algama osim klorofila a redovito je prisutan i klorofil b, i to u koncentraciji koja može iznositi do oko 1/3 koncentracije klorofila a. Klorofil a je plavozelene boje i maksimalno apsorbira svjetlost valnih duljina 453 i 642 nm. Osnovna struktura klorofila je porfirinski sustav koji čine četiri pirolska prstena međusobno povezana metilnim skupinama u prstenasti sustav. Klorofil a na pirolskom prstenu br. II ima metilnu skupinu, a klorofil b aldehidnu skupinu. Djelotvoran spektar fotosinteze ne poklapa se u potpunosti s djelotvornim spektrom klorofila a. To je zbog toga što klorofil a nije jedini pigment u kloroplastima koji sudjeluje u fotosintezi, iako samo on može neposredno sudjelovati u svjetlosnim reakcijama koje Sunčevu energiju pretvaraju u kemijsku. No, i drugi pigmenti mogu apsorbirati svjetlost i prenositi energiju na klorofil a, koji se onda ponaša kao da je sam apsorbirao foton. Takvi pomoćni pigmenti su klorofil b i karotenoidi. Karotenoidi imaju karakterističnu žuto-narančastu boju, a najjače apsorbiraju svjetlost valnih duljina između 380 i 550 nm, proširujući tako spektar boja koje mogu pokretati fotosintezu. Karotenoidi imaju važnu zaštitnu ulogu, naime velike količine energije koju apsorbiraju pigmenti mogu oštetiti fotosintetske membrane, ako se ta energija ne pohrani fotokemijski (Pevalek-Kozlina, 2003.). Klorofili i karotenoidi sudjeluju u fotosintezi te spadaju u primarne metabolite, dok su fenoli organski spojevi koji nemaju nikakvu neposrednu ulogu u

primarnom metabolizmu i nazivaju se sekundarni metaboliti. Fenolni spojevi su najveća skupina sekundarnih metabolita. Do sada ih je otkriveno oko 8000, (Dai i Mumper, 2010.), a razvrstavamo ih u fenolne kiseline i flavonoide (Lovrić, 2014.). Uloge fenolnih spojeva u biljci su mnogobrojne: zaštita od UV zračenja, signalni su spojevi (utječu na sadržaj i protok anorganskih i organskih hranidbenih tvari u tlu, utječu na brzinu raspadanja i ciklus hranidbenih tvari), utječu na boju cvjetova koji privlače životinje koje sudjeluju u oprašivanju ili na boju plodova koje životinje jedu, reguliraju širenje biljnih stanica, utječu na aktivnost hormona rasta biljke, auksina, kontroliraju kretanje biljke, reguliraju klijanje sjemenja, imaju antifungalno djelovanje, utječu na induciranu otpornost prema bolestima, lignifikaciju, sintezu fitoaleksina (Lattanzio i sur., 2006.).

Osim što je izvor energije o kojem ovise sva živa bića, svjetlost ima i važnu regulatornu ulogu u rastu i razvitku biljaka (Pevalek-Kozlina, 2003.). Izuzevši neke minerale, biljkama je potrebna još samo voda, zrak i svjetlo za rast i razvoj. Kako bi usvojile minerale razvili su sustav korijenja i postale sesilni organizmi. Stoga ne mogu izbjeći nepovoljne uvjete. Da bi prevladali taj problem razvile su fascinantnu sposobnost prilagođavanja, posebno na promjene u uvjetima promjenjive svjetlosti. Biljke posjeduju niz fotoreceptora koji prate kvalitetu svjetla, količinu, intenzitet i trajanje osvjetljenja (Whitelam i Halliday, 2007.). Najistaknutiji među fotoreceptorima je fitokrom koji ima ključnu ulogu tijekom cijelog života biljke, i to od klijanja sjemena kroz cijelo razdoblje vegetativnog rasta do kontrole cvatnje (Parađiković, 2009.) Možemo reći da su fitokromi najvažniji pigmenti koji kontroliraju fiziološku reakciju biljaka na spektar svjetla (Patil i sur., 2001.). Fitokrom može postojati u dva oblika: plavi Pr koji apsorbira crvenu svjetlost (valne duljine 660 nm) i maslinastozeleni Pfr koji apsorbira daleko crvenu svjetlost (760 nm) (Teklić, 2012.). U neosvijetljenoj biljci fitokrom je prisutan u obliku koji apsorbira crvenu svjetlost (Pr). Osvjetljavanjem crvenom svjetlošću, Pr prelazi u oblik koji apsorbira tamnocrvenu svjetlost (Pfr). Osvjetljavanjem tamnocrvenom svjetlošću Pfr može prijeći u Pr. Pr oblik maksimalno apsorbira u crvenom dijelu spektra, a Pfr u tamnocrvenom dijelu spektra, iako se njihovi apsorpcijski spektri u crvenom dijelu svjetlosnog spektra značajno preklapaju. Oba oblika fitokroma također apsorbiraju i u plavom dijelu spektra koji pretvara Pr u Pfr, no većina učinaka plave svjetlosti pripisuje se djelovanju posebnog fotoreceptora kriptokroma. Razlika između kriptokroma i fitokroma jest što kriptokrom treba suradnju s UV-B receptorom, a fitokrom je i senzorski pigment i efektor, odnosno molekula koja djeluje. Kriptokrom je usko povezan s fitokromom (Pevalek-Kozlina, 2003.).

U proizvodnji povrća korištenje zdravih presadnica je vrlo važno. U povrćarstvu veću prednost ima sadnja presadnica nego izravna sjetva. Zbog visoke vlage zraka, niske razine osvjetljenja i gusto postavljenih presadnica u staklenicima, vjerojatnost da ćemo proizvesti etiolirane sadnice je velika. Etiolirane presadnice posađene kasnije na otvorenom ili u staklenicima rezultirati će smanjenim i kasnijim prinosom (Javanmardi, 2009). Rješenje prethodno nabrojanih problema je kontrola visine presadnica. Fiziološke reakcije biljaka mogu se upotrijebiti umjetno kemijskih usporivača rasta, koji i ovako izazivaju zabrinutost u pogledu zagađenja okoliša. Trenutno, visina povrća se može kontrolirati biološkim metodama, fizičkim postupcima i promjenama u uvjetima okoline (Javanmardi, 2009). Kvalitetne presadnice imaju deblju stabljiku, kratke internodije i veliko i tamnozeleno lišće. Te značajke poboljšavaju razvoj korijena nakon presađivanja i utječu na ranije ostvaren prinos te kvalitetu i količinu prinosa (Brazaityte i sur., 2009.). Kvaliteta i količina svjetla su važni faktori za proizvodnju kvalitetnih presadnica povrća. Promjene u kvaliteti svjetla moguće su upotrebom monokromatskih dioda (Brown i sur., 1995.) ili optičkim filterima (Masson i sur., 1991.) ili pokrivanjem tunela i staklenika s fotoselektivnim filterima (Kozai, 1999.). Vandre (2011.) u svojim istraživanjima objašnjava kako su fluorescentne cijevi najisplativije. Cijevi su se mogle dizajnirati tako da emitiraju boju po izboru, no ipak su daljnja istraživanja pokazala kako je maksimalan rast biljaka ostvaren pod hladnim bijelim fluorescentnim svjetlima. Tvrdi kako plavo-crvene fluorescentne žarulje mogu izazvati adekvatan odgovor nekih usjeva, ali hladno bijelo svjetlo je učinkovito za većinu usjeva. No, ipak LED diode su u tehnologiji izvrstan izvor svjetla za daljnja istraživanja. Njihova mala veličina, izdržljivost, dugi životni vijek, hladna emitirajuća površina i opcija odabira specifičnih valnih duljina za ciljane biljke čine LED diode prikladnijima za korištenje u biljnoj proizvodnji od mnogih drugih izvora osvjetljenja (Massa i sur., 2008.). Prvo istraživanje sa LED kao izvorom za osvjetljenje biljaka je provedeno sredinom 1980-ih u cilju podržavanja razvoja novih svjetlosnih sistema koji bi se koristili u sustavima za rast biljaka za istraživanje u svemirskim postajama i Space Shuttleu (Morrow, 2008.). Bula i sur. (1991.) na Wisconsin sveučilištu su prvi predložili korištenje LED dioda za uzgoj biljaka i izvijestili da je rast biljaka salate ispod crvenih LED dioda opremljenih s plavim fluorescentnim lampama bio ekvivalentan onima izraslim pod hladno-bijelom fluorescentnom svjetlosti sa žaruljama sa žarnom niti. Uporaba crvenog LED svjetla za ubrzavanje fotosinteze je široko prihvaćena zbog dva osnovna razloga. Prvi razlog, McCree krivulja (Sager i McFarlane, 1997.) pokazuje da su biljni pigmenti učinkovito apsorbirali crvene valne duljine (od 600 - 700 nm); drugi razlog, rane LED diode su emitirale crvenu

svjetlost sa najvećom učinkovitosti na 660 nm, blizu apsorpcijskog pika klorofila. Druge važne valne duljine uključene u rane studije su bile u plavom području (400 do 500 nm) vidljivog spektra. Plava svjetlost ima razne važne fotomorfološke uloge kod biljaka, uključujući kontrolu rada puči (Schwartz i Zeiger, 1984.), te tako utječe na metabolizam vode i izmjenu CO₂, izduživanje stabljike (Cosgnove, 1981.), i fototropizam (Blaauw i Blaauw-Jansen, 1970.). Otkriveno je kako fotoreceptori plavog svjetla iz klase kriptokroma rade u vezi sa crvenim/daleko-crvenim fotoreceptorima fitokroma u svrhu kontroliranja čimbenika kao što su cirkadijalni ritam i deetiolacija biljaka (Devlin i sur., 2007.). Interakcije su kompleksne i na molekularnoj razini još uvijek zamršene (Devlin i sur., 2007.), ali mnogi odgovori na pitanja dolaze od istraživanja sa izvorima svjetlosti uskih valnih duljina, gdje LED diode imaju jasne prednosti (Massa i sur., 2008.). Uzastopna istraživanja su pokazala da su hipokotili i kotiledoni sadnica salate ispod crvenog LED svjetla (660 nm) postali izduženi, ali se to može spriječiti dodatkom barem 15 μmol m⁻²s⁻¹ plavog svjetla (Hoenecke i sur., 1992.). Ova su otkrića inspirirala daljnji razvoj LED svjetlosnog sustava za uzgoj bilja u komorama te su LED svjetla korištena za uzgoj sadnica pšenice (*Triticum aestivum*) i bijele repe (*Brassica rapa*) (Morrow i sur., 1995.), krumpira (*Solanum tuberosum*), lisnih reznica (Croxdale i sur., 1997.), uročnjaka (*Arabidopsis thaliana*) (Stanković i sur., 2002.) i soje (*Glicine max*) (Zhou, 2005.). Potencijal LED dioda se nastavio istraživati na mnogim biljnim vrstama pa tako i na paprici (*Capsicum annuum*). Paprika je jednogodišnja biljka iz porodice Solonaceae. Visokovrijedno je povrće koje se ističe visokim sadržajem vitamina, alkaloida, pigmenata i hlapljivih ulja koji joj daju specifičan okus. Od svih povrćarskih kultura paprika sadrži najviše vitamina C, također je značajan izvor karotena (Parađiković, 2009.). Paprika se uspješno može uzgajati na otvorenom i u svim oblicima zaštićenih prostora (Matotan, 2004.). Minimalna temperatura klijanja paprike je 11 °C, a optimalna od 20 – 30 °C. Maksimalan rast utvrđen mjerenjem visinom i težinom biljke u vegetativnoj fazi bio je pri temperaturi od 21 do 26 °C. Potrebna suma srednjih dnevnih temperatura za uspješan uzgoj paprike ovisi o intenzitetu svjetla i dužini dana. Pri dobrom intenzitetu >10000 luxa i dužini dana većoj od 12 sati drži se da je potrebna suma srednjih dnevnih temperatura oko 3000 °C (Lešić i sur., 2002.). Intenzitet svjetla više utječe na prijelaz u generativnu fazu nego dužina dana. Od sjetve do početka cvatnje pri intenzitetu svjetlosti od 10000 do 20000 luxa potrebno je 50 do 60 dana (Somos, 1984.). Iako je paprika zapravo biljka kratkog dana, u uvjetima kratkog dana i slabog intenziteta svjetla zimi, dodatno osvjetljenje sve do 24 sata pospješuje generativnu fazu.

Velik je potrošač vode, a za rast su joj najbolja duboka, humusna, ocjedita i topla tla neutralne ili slabo alkalne reakcije (pH 6,5 – 7,5) (Parađiković, 2009.).

Kako god, prije desetak godina smatralo se kako LED lampe imaju brojne pogodnosti u odnosu na ostale lampe koje se koriste u hortikulturi. Produkcija LED svjetlosnog sistema može se podesiti fotoreceptorima biljke i optimizirati radi osiguravanja maksimalne proizvodnje bez gubitka energije ne neproduktivne valne duljine (Daugherty i Bugbee, 2001.; Sager i sur., 1982.). Mogućnosti kontrole sastava spektra i visoka proizvodnja svjetla sa malo radijacijske topline čine LED lampe potencijalno jednim od najznačajnijih napredaka u hortikulturnom osvjetljenju od razvoja HID lampi visokog intenziteta (Morrow, 2008.). No, je li se možda prenaglilo sa zaključkom? Ako se mnogim istraživanjima utvrdilo kako svaka biljna vrsta ima različite potrebe za različitim valnim duljinama, štoviše i pojedine sorte su imale različiti odgovor na jednake tretmane, koliko ima smisla onda ispitivati koje su valne duljine optimalne za rast svih biljnih vrsta i njihovih sorti i je li to sve uopće isplativo. Ieperen (2016.) tvrdi kako možda ipak LED rasvjeta nije u svim pogledima pogodna za biljke te postoji niz fiziološki negativnih učinaka na sam kemizam fotosinteze. Međutim, taj negativni efekat može biti maskiran velikom sposobnošću prilagodbe biljaka na uvjete osvjetljenja, što opet ne znači da se prolazak kroz fazu adaptacije ne može negativno odraziti na daljnji rast i razvoj biljaka.

Velik broj istraživanja imao je za cilj utvrditi upravo utjecaj svjetlosti na rast biljnih vrsta, i to koristeći umjetnu rasvjetu što pri klijanju sjemena, uzgoju presadnica, tijekom cijelog rasta i razvoja biljaka ili samo kao dodatno svjetlo.

1.2. Cilj istraživanja

1. Laboratorijskim analizama utvrditi sadržaj klorofila, karotenoida i fenola presadnica paprike nakon dodatnog osvjetljenja različitim tipovima LED i fluo svjetlima.
2. Utvrditi utjecaj različitih varijanti osvjetljenja na morfološka svojstva biljaka paprike, širina i dužina listova, visina do 1. nodija, ukupna visina, masa listova, lisna površina.
3. Utvrditi utjecaj različitih varijanti osvjetljenja (fluo cijevi, crveno LED svjetlo, plavo LED svjetlo, crveno+plavo LED svjetlo) na sadržaj klorofila, karotenoida i fenola i vrijednost SPAD indeksa presadnica paprike.

Osnovna hipoteza istraživanja je da svjetlost ima veliki utjecaj na rast i razvoj biljaka paprike. Laboratorijskim analizama i mjerenjem morfoloških komponenti bi se trebalo utvrditi pod kojom varijantom osvjetljenja (fluo rasvjeta te crveno, plavo, crveno+plavo LED svjetlo) je ostvaren bolji rast paprike što se ocjenjuje prema morfološkim i fiziološkim odgovorima.

2. PREGLED LITERATURE

Poudel i sur. (2008.) su istraživali utjecaj crvenog i plavog LED svjetla na rast i morfologiju vinove loze. Izbojci hibrida Franc, Ryuukyuuganebu i Kadainou R-1 su prvo uzgojeni na agaru bez NAA (naftil octena kiselina). Petnaest milimetara dugi izdanci izrezani su sa mladica te stavljeni pod crveno i plavo LED osvjetljenje dok je fluorescentno svjetlo korišteno kao kontrola. Vrijeme osvjetljenja je trajalo 16 sati uz temperaturu 25 °C. Duljina izdanaka, broj listova, duljine internodija i sadržaj klorofila su bili mjereni nakon mjesec dana pri prethodno navedenim uvjetima te su utvrđene vrijednosti prikazane na Slici 1.

Table 1 In vitro shoot morphogenesis of grape genotypes under different LEDs

	Hybrid Franc				Ryuukyuuganebu				Kadainou R-1			
	Plant height (mm)	Internode length (mm)	Shoot no.	Leaf no.	Plant height (mm)	Internode length (mm)	Shoot no.	Leaf no.	Plant height (mm)	Internode length (mm)	Shoot no.	Leaf no.
PGF	33.08a	8.65a	1.00a	3.20a	20.77ab	6.71a	1.2a	2.87a	19.21a	6.82a	1.13ab	2.1a
B-LEDs	30.58a	7.57a	1.07a	3.47a	18.97a	4.72a	1.6a	2.93a	23.7a	6.25a	1.0a	2.87a
R-LEDs	44.94b	16.55b	1.13a	3.20a	26.38b	9.79b	1.53a	2.4a	34.5b	12.91b	1.27b	2.87a

Data are means of 10 units per treatment replicated three times

Different letter (s) within column indicates significant difference at $P < 0.05$ by the Duncan's Multiple Range Test

Slika 1. Morfogeneza izdanaka tri genotipa vinove loze pod različitim LED svjetlom (Poudel i sur., 2008.)

Visina biljaka i dužina internodija je bila statistički značajno viša kod biljaka pod crvenim LED svjetlom kod svih genotipovima. Nije bilo značajne razlike kod broja izdanaka i korijena hibrida Franc i Ryuukyuuganebu kod različitih LED, ali je kod Kadainou R-1 uočena blaga razlika kod broja izdanaka. Sadržaj klorofila i broj puči je bio najveći kod biljaka koje su rasle pod plavim LED svjetlom, a najniži kod biljaka koje su rasle pod crvenim LED svjetlom kod svih genotipova. Pod plavom svjetlošću bile su veće puči za hibride Franc i Ryuukyuuganebu, a pod fluorescentnom svjetlošću veće puči su bile kod hibrida Kadainou R-1, međutim nije bilo statistički značajne razlike među tretmanima. Različite varijante LED svjetlosti nisu utjecale na postotak ukorijenjivanja hibrida Franc, ali je postotak ukorijenjivanja bio najviši pod crvenim LED, koje slijede plave LED odnosno fluorescentna svjetlost za Ryuukyuuganebu i Kadainou R-1. Korijeni su bili duži pod fluorescentnim lampama za hibride Franc i Kadainou R-1, dok je crveno svjetlo rezultiralo duljim korijenima za Ryuukyuuganebu. Na temelju ovog istraživanja, čini se da crvena LED svjetlost može biti djelotvorna za povećanje visine izdanaka, dužine internodija i učestalosti zakorijenjivanja, a plava za sintezu klorofila i razvoj puči.

Javanmardi i Emami (2013.) su proveli istraživanje koristeći monokromatske diode za poboljšanje presadnica rajčice i paprike s ciljem utvrđivanja učinka svjetla na učinkovitost rasta poslije presađivanja. Biljke su uzgajane šest tjedana u komori pod monokromatskim osvjetljenjem s fotoperiodom od 16 h, pri devet različitih kombinacija izvora svjetlosti i omjera broja crvenih odnosno plavih LED dioda (bijelo (W), crveno (R) i plavo (B) LED osvjetljenje). Presadnice rajčice i paprike koje su rasle samo pod crvenim svjetlom ili crvenim+plavim LED svjetlom imale su najveći promjer stabljike. Kombinacija crveno+bijelo svjetlo je imala jednak učinak na presadnice paprike. Presadnice rajčice i paprike pod bijelim svjetlom su bile najviše dok je plava svjetlost i plava+crvena svjetlost smanjila visinu presadnica rajčice i paprike. Najveća lisna površina dobivena je kod presadnica rajčice koje su rasle pod plavim svjetlom. Lisna površina biljaka paprike pod monokromatskom crvenom svjetlošću slična je svim tretmanima osim kombinacije 2R:1B i 1R:2B tretmanima, rezultirala je manjom lisnom površinom. Kod rajčica koje su rasle pod plavim svjetlom ili pod plavim u kombinaciji s crvenim svjetlom, utvrđena je najniža vrijednost klorofila, a kod paprike ja najniža vrijednost klorofila zabilježena kod onih koje su rasle pod plavim svjetlom. Kod presadnica paprike veći udio crvene svjetlosti (do 100 %) je smanjio broj listova prije formiranja prvog cvijeta. Kod presadnica rajčice vrijeme do prvog formiranog grozda bilo je veće kod bijelog svjetla, plavog svjetla i kod kombinacije 2W:1B. Brža cvatnja je bila postignuta kod presadnica koje su rasle pod kombinacijama 2R:1B i 2B:1R. Kod presadnica paprike najkasnije je došlo do cvatnje pod monokromatskim plavim svjetlom i kombinacijom 1W:2B. Monokromatska crvena svjetlost i kombinacija 2R:1B i 1R:2B su rezultirale manjim brojem dana do prvih formiranih cvjetova. I kod rajčice i kod paprike najveći dobiveni prinosi su bili pri tretmanima 2R:1B i 1R:2B. Najveći sadržaj vitamina C je utvrđen u plodovima rajčice i paprike koji su rasli pod plavim svjetlom. Autori zaključuju da iako ove dvije biljke spadaju u istu porodicu, reagiraju različito na tip osvjetljenja te njihove različite kombinacije.

Lin i sur. (2013.) su istraživali utjecaj tri različita tipa LED svjetla na biljnu masu i akumulaciju klorofila, karotenoida, topivih proteina, šećera i nitrata u lišću salate. Također su ocjenjivali i svojstva (hrskavost, slatkoća, oblik i boja) svježe biljke. Biljke su uzgajane u hidroponima s 16 h fotoperiodom pri temperaturama 24/20 °C (dan/noć), 75 % relativne vlage zraka s razinom CO₂ 900 mol⁻¹ C i protokom fotona 210 μmol m⁻²s⁻¹. Biljke su uzgajane u komori za rast 20 dana (15 dana nakon sjetve) pod crveno-plavim (RB) LED osvjetljenjem, crveno-plavim-bijelim (RBW) LED osvjetljenjem i fluorescentnim lampama

(FL) kao kontrolom. Svježa i suha masa izdanaka i korijena, kao i hrskavost, slatkoća i oblik biljke pod kombiniranom RBW svjetlošću su bile više od biljaka pod RB svjetlom. Svježa masa izdanaka pod RBW svjetlom se povećala za 10 % u usporedbi s kontrolom pod FL osvjetljenjem. Sadržaj topivih šećera kod biljaka uzgojenih pod RBW svjetlom je bio najveći, a najmanji pod RB dok je sadržaj nitrata bio najniži kod biljaka koje su rasle pod RBW, a najviši pod RB svjetlom. Međutim, pri navedenim uvjetima osvjetljenja nisu utvrđene međusobne značajne razlike u sadržaju klorofila, karotenoida te topivih proteina.

Fan i sur. (2013.) su ispitivali utjecaj intenziteta svjetla na rast i razvoj lišća presadnica rajčice uzgojenih pod kombinacijom crvenog i plavog LED svjetla. Rezultati su pokazali kako su svježa i suha masa te promjer stabljike bili značajno veći kod biljaka uzgojenih na 300, 450 i 550 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ u usporedbi s nižim ispitivanim vrijednostima PPFD. Energetska učinkovitost svjetlosti je bila najviša pri 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Kada je PPFD povećan na 50 do 550 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, uočeno je smanjenje površine lista. Pod 300 i 450 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ debljina lišća, palisadni i spužvasti parenhim su veći, ukupni broj puči te površina puči po jedinici lisne površine također je bila veća. Najviša neto stopa fotosinteze (P_n) zabilježena je pri 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Rezultatima pokazuju da u usporedbi s drugim svjetlosnim tretmanima, 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PPFD-a je najpovoljnije utjecalo na presadnice rajčice.

Choi i sur. (2015.) su istraživali proizvodnju fitokemikalija koje određuju kvalitetu ploda i ocijenili svojstva rasta zrelih biljaka jagode tijekom uzgoja pri tri različite valne duljine (plava, crvena, plava+crvena) LED svjetla. Biljke su uzgajane u komorama koje su kao jedini izvor svjetla imale LED svjetla i u plasteniku koji je uz prirodno svjetlo okoline imao i dodatno LED svjetlo. Uočeno je kako listovi biljaka uzgojenih u komori pokazuju povišene razine klorofila u usporedbi s biljkama iz plastenika. Za razliku od toga biljke uzgojene u plasteniku s dodatnim LED svjetlom imale su puno veći prinos ploda od onih uzgojenih u komori. Veći prinos plodova je ostvaren u plasteniku kod biljaka koje su rasle pod prirodnim osvjetljenjem s dopunskim plavim LED svjetlom ili plavo+crvenim LED svjetlom. Nadalje, veća akumulacija organskih kiselina i fitokemikalija kao što su fenolni spojevi je utvrđena u plodovima biljaka uzgojenih u plastenicima pod prirodnim svjetlom i dopunskim crvenim LED svjetlom ili kombinacijom plavog i crvenog LED svjetla.

Kombinacija crvenog i plavog svjetla kao dopunsko osvjetljenje je korisno za poboljšanje rasta i razvoja difenbahije i fikusa, bez ikakvih negativnih učinaka na biokemijska svojstva. Heo i sur., 2010. su ispitivali učinke dopunskog LED svjetla na rast i biokemijske parametre

dviju prethodno navedenih vrsta. Monokromatsko crveno svjetlo i plavo+crveno LED svjetlo su povećali visinu biljaka i broj denaturiranog lišća, a kombinacija plavog i crvenog svjetla je potakla usvajanje i iskorištavanje dušika u fikusu. Suha masa i sadržaj škroba difenbahije i fikusa te broj grana i porast stabljike kod difenbahije su bili veći pri kombinaciji plavog i crvenog LED svjetla. Također, autori navode da bilo koji od tipa osvjetljenja LED svjetlom nije utjecao na sadržaj klorofila a i b i ukupnih karotenoida.

Plava svjetlost potiče rast i povećava sadržaj antioksidanasa u sadnicama salate (Johkan i sur., 2010.). Znanstvenici su istraživali učinak različitog LED osvjetljenja (crveno, plavo, crveno+plavo) na kvalitetu sadnica i prinos salate. Klijance salate su uzgajali u uvjetima različitog osvjetljenja tijekom jednog tjedna te je utvrđena veća površina lista i masa svježih izdanaka, odnosno suha masa mladica i korijena sadnica salate pri plavom svjetlu u usporedbi s sadnicama uzgojenim pod bijelim fluorescentnim svjetlom. Omjer dužine korijena i izdanka te specifična površina listova je bila smanjena pri plavom osvjetljenju. Ukupni sadržaj klorofila u biljkama salate pri plavom i crvenom svjetlu je bio manji od utvrđenog kod biljaka pri fluorescentnom svjetlu. Međutim, omjer klorofila a i b te sadržaj karotenoida se povećao pod plavim svjetlom. Sadržaj polifenola i ukupni antioksidativni status bili su veći kod sadnica pri plavom svjetlu nego u onih pri fluorescentnom osvjetljenju.

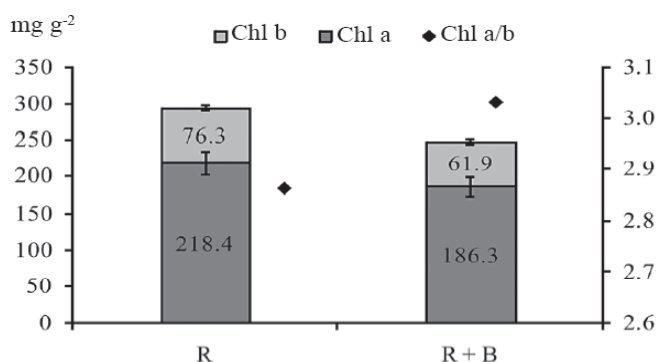
Kombinacija crvenog i plavog LED svjetla je nužna za rast frigo sadnica jagoda (Samuoliene i sur., 2010.). Frigo sadnice jagoda su rasle u komori mjesec dana pod različitim LED svjetlima. Korištene su crvena svjetlost (640 nm) uz protok fotona $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, kombinacija crvenog (640 nm) i plavog svjetla (455 nm) uz protok fotona 174,5 i $25,5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Svjetla faza je trajala 16 h, uz dnevnu temperaturu 21°C odnosno noćnu 16°C . Nakon tretmana sadnice jagoda su presađene na gredice prekrivene bijelom folijom u plastenik. Kod sadnica pri crvenom LED svjetlu primijećeno je produljenje cvjetne stapke i cijele biljke. Također, uočen je pozitivan utjecaj crveno+plavog svjetla na formiranje vriježa, cvjetova i nadzemnog dijela biljke (Slika 2.).

Table 1. The influence of different lighting on ‘Elkat’ frigo strawberries assimilative indices

Assimilative indices	R	R + B
Shoot/root ratio	0.88 ± 0.041	0.50 ± 0.023
Leaf area ratio cm ² g ⁻¹	0.14 ± 0.017	0.12 ± 0.019
Specific leaf area m ² kg ⁻¹	15.40 ± 1.610	18.30 ± 1.440
Leaf weight ratio kg kg ⁻¹	0.49 ± 0.010	0.48 ± 0.006
Whole plant dry weight g	34.30 ± 0.160	33.80 ± 0.680
Length of flowering stem cm	11.90 ± 0.900	8.40 ± 0.800

Notes. R – 640 nm, R + B – 640 nm, 455 nm. The standard deviation of the mean ($p = 0.05$) are presented.

Slika 2. Utjecaj različitog svjetla na asimilacijski indeks jagoda „Elkat“
(Samuoliene i sur., 2010.)



Notes. Explanations under Table 1.

Figure 1. The content and ratio of photosynthetic pigments in strawberry leaves under red and red + blue LEDs treatment

Slika 3. Sadržaj i odnos fotosintetskih pigmenata u listovima jagode pod crvenim i crveno+plavim LED tretmanom (Samuoliene i sur., 2010.)

Jagode uzgajane pri crvenom+plavom osvjetljenju su akumulirale manje klorofila a i b u odnosu na biljke pri crvenom svjetlu, no ipak odnos klorofila a i b je bio viši pri kombinaciji obaju istpitivanih valnih duljina (Slika 3.). Značajno povećanje sadržaja glukoze i fruktoze u listu jagode utvrđeno je u varijanti plavo+crveno svjetlo, dok su biljke pod crvenim svjetlom akumulirale znatno manje glukoze i fruktoze. Nijedan tretman nije negativno i trajno utjecao na plodove, međutim pri crvenom LED svjetlu biljke su razvile plodove manjih veličina u odnosu na biljke uzgajane pod crveno+plavim svjetlom.

Vinković i sur. (2016.) su utvrđivali utjecaj dodatnog LED osvjetljenja na promjer i visinu stabljike te prinos i masu ploda rajčice u hidroponskom uzgoju na kokosovim vlaknima. LED lampe su bile opremljene s plavim i crvenim diodama te postavljene iznad redova.

Biljke su bile dodatno osvijetljene prosječno 5 sati dnevno tijekom 112 dana, tj. do kraja treće berbe. Dodatno osvijetljenje LED lampama u njihovom istraživanju značajno je utjecalo na morfološke pokazatelje rasta i razvoja, kao i na masu i prinos ploda rajčice. Utvrđeno je da tretman s LED lampama značajno povećava promjer stabljike rajčice, a smanjuje ukupnu visinu. Također LED svjetla su pozitivno utjecala na povećanje prosječne mase ploda, povećanje prosječnog prinosa po biljci. Ekonomskom analizom utvrđeno je da primjena LED rasvjete ne ostvaruje očekivanu neto dobit, nego gubitak, što je uvjetovano visokom cijenom električne energije te se u našim krajevima preporučuje LED rasvjetu koristiti samo u proizvodnji presadnica povrćarskih kultura, jer njihova primjena utječe na uravnotežen rast i razvoj istih, što je preduvjet buduće uspješne proizvodnje.

Prema Ouzounisu i sur. (2016.) rajčica uzgajana pri čistoj crvenoj te kombinaciji crvenih i plavih LED dioda kod kojih je utvrđeno manje morfoloških abnormalnosti lista te je povećana biljna masa. Također dolazi do promjene u provodljivosti puči i sekundarnom metabolizmu u odnosu na samo crveno svjetlo. Istraživano je devet genotipova rajčice koji su uzgajani pri 100 % crvenom LED svjetlu i kombinaciji 88 % crveno i 12 % plavo LED svjetlo. Kombinacija plavog i crvenog svjetla povećala je ukupnu suhu tvar u sedam od devet genotipova u odnosu na čisto crveno svjetlo. Na gornjim ili donjim listovima zabilježeno je kovrčanje kod svih genotipova koji su rasli pod 100 % crvenim svjetlom. Provodljivost puči nije bila pod značajnim utjecajem dodatnog plavog svjetla, međutim u kombinaciji s crvenim, plavo svjetlo je povećalo sadržaj klorofila i karotenoida u listovima rajčice kod tri genotipa.

Naznin i sur. (2016.) u svom istraživanju navode kako su biljke korijandera uzgajane pod 100 % crvenim LED svjetlom pokazale značajan pad antioksidativnih svojstava. Cilj istraživanja je bio procijeniti rast i nakupljanje antioksidanasa u biljkama korijandera uzgojenih u različitim omjerima crvenih i plavih LED dioda. Biljke su uzgajane ispod četiri varijante osvijetljenja: crveno LED svjetlo (100 %) i tri omjera crvenog (661 nm) i plavog (449 nm) LED svjetla (5:1, 10:1, 19:1), protok fotona je iznosio $120 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Uzgoj biljaka korijandera pod različitim omjerima crvenog i plavog svjetla rezultirao je povećanjem broja listova i izdanaka te svježje i suhe mase. Najveća akumulacija svježje i suhe mase je bila kod biljaka uzgajanih pri omjeru dioda 10:1 u korist crvene te se vrijednost nije značajno razlikovala od dobivene pri kombinaciji u omjeru 19:1.

Jurčević (2015.) uspoređuje utjecaj različite kombinacije LED osvjetljenja s crvenim i plavim diodama s fluorescentnim lampama. Ispitivana je klijavost, energija klijanja te parametri rasta kod klijanaca tri različite sorte klijanaca salate (Posavka, Ljubljanska ledenka i Nansen). Sjeme je posijano na filter papir i postavljeno ispod fluo odnosno LED osvjetljenja u kombinaciji 2:1 u korist crvenih dioda. Tijekom trajanja pokusa, temperatura u komori je bila 25 °C, a osvjetljenje je bilo podešeno na dnevno noćni režim rada u omjeru 16:8 sati. Značajno veća klijavost i energija klijanja je utvrđena kod LED osvjetljenja u usporedbi s fluo osvjetljenjem. Najveću klijavost i energiju klijanja je imala sorta Ledenka, a najmanju sorta Nansen. Prosječno, značajno veća masa klijanaca je utvrđena kod fluo osvjetljenja, međutim kod sorte Ledenka je zabilježena značajno veća masa klijanaca kod LED osvjetljenja. Nadalje, značajno veća masa klijanaca je utvrđena kod sorte Posavka u usporedbi sa sortama Nansen i Ledenka koje su se također značajno razlikovale u masi klijanaca. Značajno viši klijanci su utvrđeni kod fluo osvjetljenja. Što se tiče sorte, značajno veća visina je izmjerena kod sorte Ledenka u usporedbi sa sortama Nansen i Posavka.

Parađiković (2015.) istražuje utjecaj vrste i dužine trajanja dodatnog monokromatskog LED svjetla na sadržaj funkcionalnih komponenti timijana te na broj i dužinu izboja. Biljke su uzgajane bez dodatnog osvjetljenja te s dodatnim crvenim i/ili plavim LED svjetlom u 2 vremenska perioda tijekom dana (od 7 - 10 i 16 – 19 h). Uzorci su analizirani dva i četiri tjedna nakon tretmana. Na varijanti dodatnog osvjetljenja plavim svjetlom je utvrđen najveći sadržaj vitamina C i prolina dok je na varijanti crveno+plavo LED osvjetljenje utvrđen najveći sadržaj ukupnih fenola i najviši antioksidativni kapacitet. Varijanta crveno LED osvjetljenje je rezultirala najvećim brojem izboja budući da crvena svjetlost dokazano potiče na pojačani lateralni prijenos auksina, a što je poželjno u komercijalnoj proizvodnji ove biljke gdje je cilj dobiti što više mladih izboja koji su bogati različitim funkcionalnim komponentama

Vrdoljak (2015.) ispituje utjecaj LED osvjetljenja kao kombinacija plavih i crvenih dioda i fluorescentnog osvjetljenja na klijavost sjemena mrkve i špinata posijanog u Petrijeve zdjelice te naklijavano pri LED i fluo svjetlu. Temperatura u komori je bila 25 °C, a rasvjeta je bila postavljena na dnevno-noćni režim u omjeru 16:8 sati. Nakon 7 dana od postavljanja pokusa izmjerena je energija klijanja, a nakon 14 dana ukupna klijavost. Nakon mjerenja klijavosti izmjerena je ukupna duljina i masa klijanaca mrkve i špinata. Kod mrkve je utvrđena manja prosječna klijavost kod LED osvjetljenja u usporedbi s fluo rasvjetom dok je energija klijanja kod LED rasvjete je bila nešto viša u usporedbi s fluo rasvjetom te se

vrijednosti nisu međusobno značajno razlikovale. Međutim, značajno veća visina klijanaca mrkve je utvrđena pri fluo rasvjeti. Kod špinata, klijavost, masa klijanaca i visina klijanaca u varijanti LED su bili značajno veći u usporedbi s fluo rasvjetom.

Schuerger i sur. (1997.) su ispitivali anatomska svojstva paprike razvijene pod crvenim LED lampama opremljene s plavim ili daleko-crvenim svjetlom. Biljke paprike su uzgajane pod nizom MH (kontrola) ili LED lampi sa različitim spektrom kako bi se odredio utjecaj kvalitete svjetla na anatomiju lišća i stabljike. Prvi red LED lampi (660) osvjetljavao je sa 99 % crvenog svjetla na 660 nm i 1% daleko-crvenog svjetla između 700-800 nm. Drugi red LED (660 / 735) lampi osvjetljavao je sa 83 % crvenog (660 nm) i 17 % daleko-crvenog svjetla na 735 nm. Treći red LED lampi (660 / plave) osvjetljavao je sa 98 % crvenog (660 nm), 1 % plavog (između 350 - 550 nm) i 1 % daleko-crvenog svjetla (između 700 - 800 nm). Debljina lista paprike je bila najviša kod biljaka uzgojenih pod MH lampama, a najniža kod biljaka uzgojenih pri 660 ili 660 / 735 nm LED lampama. Kada je plava svjetlost kombinirana s crvenim LED diodama, debljina listova je bila značajno niža nego kod kontrole, ali značajno viša nego kod biljaka pri 660 ili 660 / 735 nm. Razlike u debljini listova bile su rezultat prorjeđivanja palisadnog i spužvastog tkiva mezofila kod biljaka uzgojenih pod LED diodama. Nadalje, spužvasti mezofil kod biljaka pod LED 660 i 660 / 735 je bio skloniji dezorganizaciji u usporedbi s ostalim varijantama. Adaksijalni slojevi epiderme su bili slični kod kontrolnih biljaka i 660 / plava svjetlost, i u oba slučaja su bili značajno veći nego adaksijalni epidermalni slojevi u paprici uzgajanoj pod LED diodama bez plave svjetlosti. Uočene su kristalne tvorevine kalcijevog oksalata u listovima paprike izrasle pod MH i LED izvorima svjetlosti. Broj kloroplasta po stanici palisadnog parenhima je bio najviši kod biljaka uzgajanih pod MH lampama, srednje visok kod biljaka pri 660 / plava i najniži kod biljaka u varijanti 660 ili 660 / 735.

Son i Oh (2013.) objašnjavaju kako plava i crvena LED svjetlost se obično koristi za rast biljaka, jer klorofil a i b učinkovito apsorbiraju valne duljine u plavim i crvenim rasponima. U istraživanju su utvrdili učinke plave i crvene LED svjetlosti na oblik lista, rast biljaka i akumulacije antioksidanasa, fenolnih spojeva na crvenom listu salate Sunmang i zelenom listu salate Grand Rapid TBR. Sadnice zelene salate su uzgojene u normalnim uvjetima rasta (20 °C, fluorescentne lampe + visokotlačne natrijeve žarulje $177 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 12 h fotoperiod) tijekom 18 dana. Zatim su prenesene u komore gdje je temperatura iznosila 20 °C i uzgajane pri različitim kombinacijama plavih (456 nm) i crvenih (655 nm) LED dioda (plava:crvena = 0:100 (0 B), 13:87 (13 B), 26:74 (26 B), 35:65 (35 B), 47:53 (47 B) i 59:41

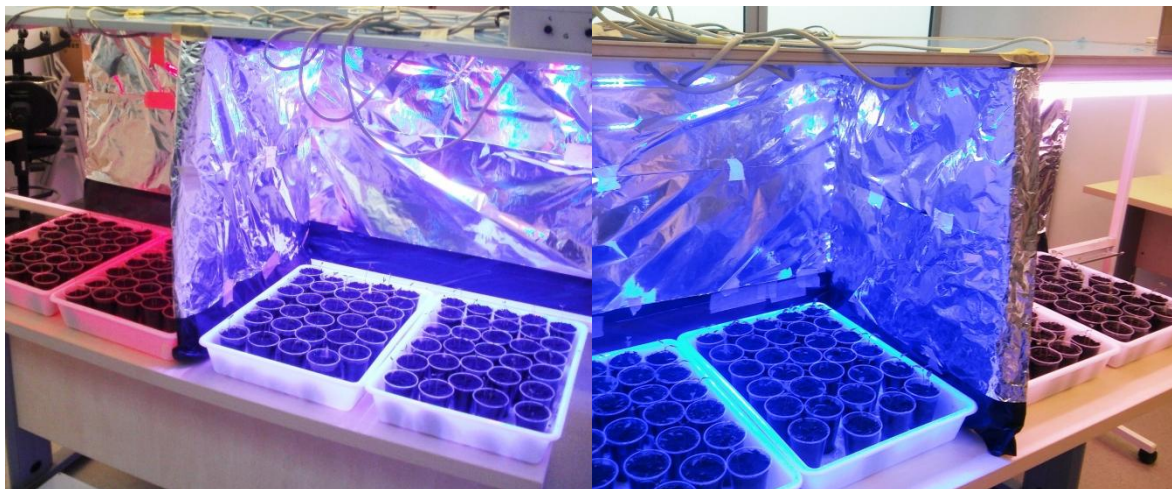
(59 B)) te pod istim intenzitetom svjetla i fotoperiodom ($171 \pm 7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 12 h fotoperiod). Indeks oblika lista (omjer dužine i širine lista) dvije sorte salate pod plavim LED svjetlom je bio sličan kontrolnim biljkama bez obzira na omjer plavog i crvenog svjetla. Međutim, tretman 0 B (100 % crveno LED svjetlo) je ima značajno veći indeks oblika lista te su listovi imali izdužen oblik u usporedbi s drugim varijantama tretmana. Povećanje razine plavog svjetla je negativno utjecalo na rast salate. Većina obilježja rasta (svježa i suha masa biljaka, lisna površina) su bila najviša u varijanti bez plavog svjetla i to za obje sorte u usporedbi sa svim ostalim varijantama LED osvjetljenja. SPAD vrijednost klorofila, ukupna koncentracija fenola i flavonoida i antioksidacijski kapacitet u obje sorte zelene salate su bili značajno viši u tretmanima s većom razinom plavog LED svjetla (59 B, 47 B i 35 B) u odnosu na biljke pri 0 B i kontroli.

Jeongwook i sur. (2002.) su istraživali učinke različite svjetlosti (monokromatsko plavo, crveno ili kombinacija fluorescentnih lampi s LED lampama (plave, crvene ili daleko-crvene)) na rast i morfologiju presadnica kadife i kadulje. Dobivene rezultate su usporedili s rezultatima biljaka koje su rasle pod širokim spektrom fluorescentnih lampi uz 16 sati fotoperiod. Suha masa presadnica kadife bila je značajno veća pri uzgoju pod monokromatskim crvenim svjetlom, kombinacijom fluorescentnog svjetla i crvenog LED svjetla te pod fluorescentnim svjetlom bez monokromatskog plavog svjetla. Kod kadulje, suha masa je bila znatno veća pri kombinaciji fluorescentnog svjetla i plavog LED svjetla, fluorescentnog svjetla i crvenog LED svjetla i fluorescentnog svjetla i daleko-crvenog svjetla u odnosu na ostale ispitivane varijante. Najveće visine stabljike kadife su utvrđene pod monokromatskim plavim svjetlom te su bile tri puta veće nego pri tretmanu s fluorescentnim svjetlom. Tretman s fluorescentnim i daleko-crvenim svjetlom je utjecao na povećanje visine stabljike kod kadulje. Broj vidljivih cvjetnih pupova kod kadife je bio mnogo veći pri kombinaciji fluorescentnih cijevi i crvenog svjetla te u kontroli dok je kod kadulje broj cvjetnih pupova bio sličan u svim tretmanima. Različito varijante osvjetljenja također su utjecale na trajanje cvatnje kod obje cvjetne vrste. U usporedbi s monokromatskim plavim ili crvenim svjetlom, broj puči je bio veći pri kombinaciji fluorescentnog svjetla s LED svjetlima u obje cvjetne vrste.

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Postavljanje pokusa

Sjeme paprike (*Capsicum annuum* L.) sorte Kalifornijsko čudo je posijano u plastične čaše od 0,2 l koje su prethodno napunjene navlaženim tresetom (Eko kompost, mješavina ovčjeg gnoja i treseta; proizvođač: Eko Farma) na dubinu 1 cm. U jednu čašu posijane su dvije sjemenke. Sjeme je posijano 8. ožujka, a 14 dana nakon što je posijano, sjeme je izniklo i iznad čaša su postavljene lampe crvene, plave, crveno+plave LED svjetlosti i fluorescentne cijevi (OSRAM 36 W L 36W/77 TS FLUORA). Tretmani su podijeljeni crnim vrećama koje su prekrivene aluminijskom folijom. Ispod svake lampe stalo je 60 plastičnih čaša s biljkama, podijeljenih u 3 repeticije te je u svakoj repeticiji bilo 20 biljaka/čaša s biljkama. Svjetlosna faza je trajala u vremenu od 7:00 do 19:00 h (fotoperiod od 12 h). Temperatura zraka je bila konstantna od 24 – 25 °C. Pod plavim LED lampama izmjereno je luxometrom 220 luxa, pod crvenim LED lampama izmjereno je 700 luxa, pod kombinacijom crveno+plavog svjetla izmjereno je 900 luxa i pod fluorescentnim lampama izmjereno je 1300 luxa osvjetljenja.



Slika 4. a Postavljen pokus
Foto: Marija Kristić

Slika 4. b Postavljen pokus
Foto: Marija Kristić

3.2. Određivanje morfoloških svojstva i SPAD indeksa

20 dana nakon postavljanja rasvjete (34 dana nakon sjetve) su prvi put obavljena morfološka mjerenja (visina biljaka do 1. nodija, ukupna visina, dužina i širina prvog para listova) i to na šest biljaka iz svake repeticije te su se mjerenja ponavljala svaka 3-4 dana sve do kraja istraživanja. 34 dana nakon postavljanja rasvjete iznad biljaka (48 dana nakon sjetve) je prvi

put izmjeren SPAD indeks na jednom listu od svake biljke u svakoj repetitiji pod svakom lampom te je nadalje mjeren svaka dva dana. SPAD indeks mjeren je klorofil metrom SPAD-502 Plus, Konica Minolta. 35 dana nakon postavljanja lampi (49 dana nakon sjetve) su uzorci listova ubrani za daljnje analize te prethodno skenirani na skeneru SAMSUNG SC X 3205 i izvagani. Uzorci su uzimani sa pet biljaka iz svake repetitije, a do dana analiza su bili pohranjeni na -80 °C. Nakon tjedan dana (56 dana nakon sjetve) ponovljeno je uzimanje uzorka listova za analize. Za sve laboratorijske analize biljni materijal je usitnjen tekućim dušikom i na analitičkoj vagi s četiri decimale odvagane su odgovarajuće mase za svaku analizu. Skenovi listova su obrađeni u programu Leaf Area FOR Everyone by Veiko Lehsten (izvor: <http://www.landeco.uni-oldenburg.de>). Dobiveni podaci površina pojedinačnih listova su zbrojeni te su izračunate srednje vrijednosti koje su na kraju statistički obrađene.

3.3. Određivanje sadržaja klorofila i karotenoida

Biljno tkivo se usitni tekućim dušikom te se na analitičkoj vagi odvaže 0,1 g macerata u plastične epruvete od 15 ml s navojem. U epruvete se doda malo praha $MgCO_3$ (na vrh noža) radi neutralizacije kiselosti i 10 ml acetona. Uzorci se homogeniziraju na vorteksu (10-tak sekundi) dva puta u razmaku 10-ak minuta, a nakon toga se centrifugiraju na 14000 rpm u trajanju od 10 minuta. Automatskom pipetom se pipetiraju supernatanti u kivetu te se na spektrofotometru mjere apsorbancije na valnim duljinama 662, 644 i 440 nm. Aceton se koristi kao slijepa proba. Dobivene vrijednosti apsorbancije (A_{662} , A_{644} i A_{440}) uvrste se u Holm-Wetstteinove jednadžbe za izračunavanje koncentracije pigmenata u $mg\ dm^{-3}$ i to klorofila a, klorofila b, ukupnih klorofila i karotenoida:

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

$$\text{Klorofil b} = 21,426 \times A_{644} - 4,65 \times A_{662}$$

$$\text{Klorofil a+b} = 5,134 \times A_{662} + 20,436 \times A_{644}$$

$$\text{Karotenoidi} = 4,695 \times A_{440} - 0,268 \times (\text{klorofil a+b}).$$

Dobivene vrijednosti su preračunate i izražene kao miligram na gram svježe tvari (mg / g Sv.T.) uzevši u obzir odvaganu masu tkiva i razrijeđenje.

3.4. Određivanje ukupnih fenola

Za određivanje ukupnih fenola po Folin-Ciocalteu-u korištene su galna kiselina i zasićena otopina Na_2CO_3 . Za pripremu galne kiseline u odmjernu tikvicu od 100 ml treba se otopiti 5 mg GA u 10 ml etanola te nadopuniti dH_2O do oznake 100 ml. Zasićena otopina Na_2CO_3 priprema otapanjem 100 g bezvodnog Na_2CO_3 u 400 ml dH_2O te se otopina zagrijava do točke vrenja. Nakon hlađenja, otopini se dodaje par kristalića Na_2CO_3 te se nakon 24 sata profiltrira i nadopuni sa dH_2O do oznake 500 ml. Biljno tikvo (listovi) se koristeći tekući dušik maceriraju do finog praha, te se važe na analitičkoj vagi 0,2 g u plastične epruvete od 15 ml. U epruvete se zatim dodaje 2,5 ml 70 % etanola i vorteksira. Uzorci se ostave u hladnjaku 48 sati te se centrifugiraju 20 min pri 16000 g. 20 μg uzorka se pipetira u plastične epruvete od 2 ml, dodaje se 1,5 ml dH_2O , 100 μl Folin-Ciocalteu reagensa te se dobro vorteksira. Nakon što 5 minuta odstoje, dodaje se 300 μl zasićene otopine Na_2CO_3 i zatim ponovno vorteksira. Reakcijska smjesa se inkubira 60 minuta na 37 °C, a nakon inkubacije se mjeri apsorbanca pri 765 nm. Koncentracija ukupnih fenola izračunava se pomoću jednadžbi pravca te izrazi u ekvivalentima galne kiseline (mg GAE / g_{vari}). Za slijepu probu se koristi 20 μl otapala korištenog za ekstrakciju ukupnih fenola iz tkiva.

3.5. Analize i obrada podataka

Analize klorofila, karotenoida i fenola obuhvaćale su spektrofotometrijsko određivanje koncentracije klorofila, karotenoida i fenola. Mjerenja su obavljena na uređaju Varian Cary 50 UV-VIS Spectrophotometer uz programsku podršku Cary WinUV software. Istraživanje je provedeno kao dvofaktorijski pokus s tri ponavljanja sa 20 biljaka u jednom ponavljanju. Svi određeni rezultati su dobiveni metodama statističke obrade podataka pomoću SAS Software 9.1.3., programske podrške (2002.,-2003., SAS Institute Inc., Cary, USA) i Microsoft Office Excell 2007. Korištene su slijedeće statističke metode: analiza varijance (ANOVA), statistički testovi značajnosti utjecaja primijenjenih tretmana – F test i Fisher's LSD test (eng. Least Significant Difference).

4. REZULTATI

U prosjeku za sve termine mjerenja, F testom je utvrđen značajan utjecaj varijante osvjetljenja na sve mjerene morfološke parametre lista (širina listova, dužina listova, omjer širine i dužine listova, visina do 1. nodija, ukupna visina biljka, omjer ukupne visine biljka i visine do 1. nodija), ($P < 0,0001$), (Tablica 1.).

Tablica 1. Utjecaj varijanti osvjetljenja i termina mjerenja te njihovih interakcija na širinu listova (Š.L.; cm), dužinu listova (D.L.; cm), omjer širine i dužine listova (Š.L./D.L.), visinu do prvog nodija (V do 1. N.; cm), ukupnu visinu biljke (V.B.; cm) te omjer ukupne visine biljke i visine do prvog nodija (V.B./V. do 1. N.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

VARIJANTE TRETMANA		Š.L.	D.L.	Š.L./D.L.	V. do 1. N.	V.B.	V.B./V. do 1. N.
SVJETLO	KONTROLA	3,06 ^B	4,78 ^C	1,56 ^B	3,80 ^C	5,31 ^{B,c}	1,39 ^C
	CRVENO	2,64 ^C	4,12 ^D	1,56 ^B	4,72 ^A	6,63 ^{A,ab}	1,40 ^C
	PLAVO	3,16 ^B	5,39 ^B	1,70 ^A	3,52 ^D	6,49 ^{A,b}	1,84 ^A
	C+P	3,39 ^A	5,81 ^A	1,71 ^A	4,05 ^B	6,74 ^{A,a}	1,66 ^B
	F test	63,98	182,69	19,87	60,76	58,99	297,35
	P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
TERMIN MJERENJA	20 DAN	2,19 ^{F,f}	3,56 ^E	1,61	3,93	4,79 ^F	1,22 ^G
	23 DAN	2,50 ^{E,e}	4,25 ^D	1,69	3,93	5,24 ^E	1,34 ^F
	27 DAN	2,97 ^{D,d}	4,83 ^C	1,61	4,06	5,84 ^D	1,44 ^E
	31 DAN	3,24 ^{C,c}	5,32 ^B	1,63	4,14	6,41 ^C	1,56 ^D
	34 DAN	3,40 ^{BC,b}	5,49 ^B	1,61	4,02	6,70 ^C	1,68 ^C
	37 DAN	3,51 ^{AB,ab}	5,77 ^A	1,64	4,07	7,21 ^B	1,79 ^B
	41 DAN	3,62 ^{A,a}	5,94 ^A	1,64	4,02	7,87 ^A	1,98 ^A
	F test	107,89	143,34	1,24	0,76	90,65	254,82
	P	<0,0001	<0,0001	0,2987	0,6076	<0,0001	<0,0001
SVJETLO x TERMIN MJERENJA	F test	5,47	5,64	0,42	0,13	2,67	13,62
	P	<0,0001	<0,0001	0,9762	1,0000	0,0026	0,0026

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

Prema LSD testu, značajno najveća širina (3,39 cm) i dužina listova (5,81 cm) su utvrđene u varijanti osvjetljenja crveno + plavo LED svjetlo. Značajno najmanja širina (2,64 cm) i dužina listova (4,12 cm) izmjerene su kod biljaka paprika uzgajanih pod crvenim LED svjetlom. Širine listova utvrđene u varijanti tretmana plavo LED osvjetljenje i kod kontrole se nisu međusobno statistički značajno razlikovale, dok su se dužine listova u varijanti tretmana plavo LED osvjetljenje (5,39 cm) i kod kontrole (4,78 cm) statistički međusobno razlikovale.

U prosjeku za sve varijante osvjetljenja, prema F testu, termini mjerenja su statistički značajno utjecali na širinu listova ($P<0,0001$), dužinu listova ($P<0,0001$), ukupnu visinu biljke ($P<0,0001$) te omjer ukupne visine biljke i visine do 1. nodija ($P<0,0001$). LSD testom je utvrđena značajno najmanja širina (2,19 cm) i dužina listova (3,56 cm) u prvom terminu mjerenja, a značajno statističke najviše vrijednosti širine (3,62 cm) i dužine listova (5,94 cm) su utvrđene u zadnjem terminu mjerenja. F testom je utvrđen značajan utjecaj interakcije svjetlo x datum mjerenja na širinu listova ($P<0,0001$), dužinu listova ($P<0,0001$), ukupnu visinu biljke ($P=0,0026$) te omjer ukupne visine biljke i visine do 1. nodija ($P=0,0026$).

F testom je utvrđen značajan utjecaj termina mjerenja na širinu listova, dužinu listova, ukupnu visinu biljka te omjer ukupne visine biljka i visine do 1. nodija pri kontroli ($P<0,0001$), crvenom LED svjetlu ($P<0,0001$), plavom LED svjetlu ($P<0,0001$) te crveno+plavom LED svjetlu (kl a, $P=0,0158$; kl b, $P=0,0044$, visina biljka i omjer visine biljka i visine do 1. nodija, $P<0,0001$), (Tablica 2.).

Prema LSD testu, kod biljaka koje su bile u varijanti kontrola utvrđene su značajne razlike u širini listova, dužini listova, ukupnoj visini biljaka te u omjeru ukupne visine biljke i visine do 1. nodija. U prvom terminu mjerenja utvrđena je najmanja širina (2,01 cm) i dužina listova (3,11 cm), a u posljednjem terminu je utvrđena najveća širina (3,76 cm) i dužina listova (5,90 cm). Ukupna visina biljaka je bila najniža u prvom terminu mjerenja (4,19 cm), a najviša u zadnjem terminu mjerenja (6,34 cm). U varijanti osvjetljenja crvenog LED svjetla statistički značajna najmanja širina listova (1,37 cm) utvrđena je u prvom terminu mjerenja, a tako i dužina listova (2,13 cm), dok je u zadnjem mjerenju utvrđena najveća širina (3,51 cm) i dužina listova (5,40 cm). Ukupna visina biljaka statistički najniža je bila utvrđena u prvom mjerenju (5,17 cm), a u zadnjem mjerenju je bila najviša (7,95 cm). Kod biljaka pod plavim LED svjetlom u prvom mjerenju utvrđena je statistički značajna najmanja širina (2,45 cm), dužina listova (4,11 cm) te ukupna visina biljaka (4,46 cm), dok u zadnjem mjerenju utvrđena je najveća širina (3,57 cm), dužina listova (6,19 cm) te ukupna visina listova (9,04 cm). Kod biljaka u varijanti osvjetljenja pod crveno+plavim LED svjetlom u prvom mjerenju utvrđena je najmanja širina (2,93 cm), dužina listova (4,91 cm) i ukupna visina biljaka (5,36 cm), dok je u zadnjem mjerenju utvrđena najviša širina (3,66 cm), dužina listova (6,28 cm) i ukupna visina biljaka (8,14 cm).

Tablica 2. Utjecaj termina mjerenja, prikazanih po različitim varijantama osvjetljenja, na širinu listova (Š.L.; cm), dužinu listova (D.L.; cm), omjer širine i dužine listova (Š.L./D.L.), visinu do prvog nodija (V do 1. N.; cm), ukupnu visinu biljke (V.B.; cm) te omjer ukupne visine biljke i visine do prvog nodija (V.B./V. do 1. N.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

KONTROLA						
	Š.L.	D.L.	Š.L. / D.L.	V. do 1. N.	V.B.	V.B./V. do 1. N.
20 DAN	2,01 ^{C,e}	3,11 ^{D,e}	1,55	3,67	4,19 ^{C,e}	1,14 ^G
23 DAN	2,38 ^{C,d}	3,76 ^{D,d}	1,57	3,67	4,51 ^{C,d,e}	1,22 ^F
27 DAN	2,94 ^{B,c}	4,52 ^{C,c}	1,53	3,79	4,98 ^{BC,cd}	1,31 ^E
31 DAN	3,28 ^{AB,bc}	5,17 ^{BC,b}	1,57	4,00	5,58 ^{AB,bc}	1,39 ^D
34 DAN	3,47 ^{A,ab}	5,36 ^{AB,b}	1,54	3,80	5,60 ^{AB,bc}	1,47 ^C
37 DAN	3,58 ^{A,ab}	5,68 ^{AB,ab}	1,58	3,85	6,01 ^{A,ab}	1,56 ^B
41 DAN	3,76 ^{A,a}	5,90 ^{A,a}	1,56	3,80	6,34 ^{A,a}	1,66 ^A
F test	32,65	36,66	0,64	0,47	10,72	103,36
P	<0,0001	<0,0001	0,7006	0,8209	0,0001	<0,0001
CRVENO						
20 DAN	1,37 ^{F,g}	2,13 ^{F,e}	1,55	4,58	5,17 ^{E,e}	1,13 ^{E,g}
23 DAN	1,76 ^{E,f}	2,97 ^{E,d}	1,70	4,54	5,58 ^{DE,e}	1,23 ^{D,f}
27 DAN	2,47 ^{D,e}	3,86 ^{D,c}	1,56	4,82	6,34 ^{CD,d}	1,31 ^{D,e}
31 DAN	2,92 ^{C,d}	4,53 ^{C,b}	1,55	4,84	6,84 ^{BC,cd}	1,41 ^{C,d}
34 DAN	3,15 ^{B,c}	4,78 ^{BC,b}	1,51	4,77	7,04 ^{BC,bc}	1,47 ^{BC,c}
37 DAN	3,33 ^{AB,b}	5,16 ^{AB,a}	1,54	4,80	7,46 ^{AB,ab}	1,55 ^{B,b}
41 DAN	3,51 ^{A,a}	5,40 ^{A,a}	1,54	4,74	7,95 ^{A,a}	1,67 ^{A,a}
F test	239,50	139,40	0,67	0,42	23,63	86,52
P	<0,0001	<0,0001	0,6749	0,8515	<0,0001	<0,0001
PLAVO						
20 DAN	2,45 ^{C,c}	4,11 ^{F,e}	1,68	3,43	4,46 ^{D,f}	1,29 ^{D,g}
23 DAN	2,72 ^{C,c}	4,64 ^{E,d}	1,70	3,47	5,01 ^{D,ef}	1,44 ^{D,f}
27 DAN	3,15 ^{B,b}	5,28 ^{D,c}	1,67	3,50	5,71 ^{CD,de}	1,63 ^{C,e}
31 DAN	3,34 ^{AB,ab}	5,64 ^{C,b}	1,69	3,65	6,43 ^{BC,cd}	1,76 ^{C,d}
34 DAN	3,41 ^{AB,ab}	5,81 ^{BC,b}	1,70	3,54	7,10 ^{B,bc}	2,00 ^{B,c}
37 DAN	3,49 ^{AB,a}	6,09 ^{AB,a}	1,74	3,57	7,69 ^{B,b}	2,16 ^{B,b}
41 DAN	3,57 ^{A,a}	6,19 ^{A,a}	1,73	3,52	9,04 ^{A,a}	2,57 ^{A,a}
F test	20,99	121,24	0,66	0,11	25,90	112,10
P	<0,0001	<0,0001	0,6832	0,9942	<0,0001	<0,0001
C+P						
20 DAN	2,93 ^{B,c}	4,91 ^{B,c}	1,68	4,04	5,36 ^F	1,32 ^{F,e}
23 DAN	3,16 ^{AB,bc}	5,65 ^{AB,b}	1,78	4,04	5,87 ^E	1,45 ^{FE,de}
27 DAN	3,34 ^{AB,abc}	5,68 ^{AB,b}	1,70	4,15	6,32 ^D	1,52 ^{DE,d}
31 DAN	3,44 ^{AB,ab}	5,95 ^{A,ab}	1,73	4,06	6,79 ^C	1,67 ^{CD,c}
34 DAN	3,58 ^{A,ab}	6,00 ^{A,ab}	1,68	3,98	7,05 ^C	1,77 ^{BC,bc}
37 DAN	3,65 ^{A,a}	6,17 ^{A,ab}	1,69	4,07	7,69 ^B	1,89 ^{AB,b}
41 DAN	3,66 ^{A,a}	6,28 ^{A,a}	1,71	4,02	8,14 ^A	2,03 ^{A,a}
F test	3,96	5,42	0,53	0,21	96,52	32,19
P	0,0158	0,0044	0,7787	0,9684	<0,0001	<0,0001

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

Prema F testu u prvom terminu mjerenja, 11. travnja, utvrđen je znatan utjecaj različitih varijanti osvjetljenja na širinu listova ($P < 0,0001$), dužinu listova ($P < 0,0001$), visine do 1. nodija ($P = 0,0121$), ukupne visine biljke ($P = 0,0157$) te omjera ukupne visine biljke i visine do 1. nodija ($P < 0,0001$), (Tablica 3.).

LSD testom je utvrđeno da u prva četiri mjerenja najveću širinu listova imaju biljke paprike koje su rasle pod crveno plavom svjetlošću, a u daljnjim terminima mjerenja nema statistički značajnih razlika u širini listova između biljaka koje su rasle ispod različitih lampi. Statistički značajna najniža širina listova u prvom mjerenju je utvrđena kod biljaka pod crvenom lampom, dok su listovi biljaka koji su rasli pod plavim LED svjetlom i kontrolom približno jednaki. Dužine listova biljaka paprike se u svim terminima mjerenja prema LSD testu statistički značajno razlikuju, a omjer širine i dužine listova se statistički ne razlikuje samo u prvom i drugom terminu mjerenja. Visina do prvog nodija, ukupna visina biljke i omjer ukupne visine biljke i visine do prvog nodija prema LSD testu se statistički značajno razlikuju u svim terminima mjerenja. Prema LSD testu statistički značajna najniža vrijednost ukupne visine biljke u svim terminima mjerenja je izmjerena kod biljaka u kontroli. U prvom terminu mjerenja statistički značajno najviša ukupna visina biljaka je izmjerena kod biljaka koje su rasle pod crveno+plavim LED osvjetljenjem. U posljednjem mjerenju utvrđene su najveće razlike između vrijednosti ukupnih visina biljaka, te je kod biljaka koje su rasle pod kontrolom utvrđena statistički značajna najniža ukupna visina biljaka, a statistički značajna najviša ukupna visina kod biljaka koje su rasle pod plavom lampom.

Tablica 3. Utjecaj varijante osvjetljenja, prikazanih po terminima mjerenja, na širinu listova (Š.L.; cm), dužinu listova (D.L.; cm), omjer širine i dužine listova (Š.L. / D.L.), visinu do prvog nodija (V do 1. N.; cm), ukupnu visinu biljke (V.B.; cm) te omjer ukupne visine biljke i visine do prvog nodija (V.B./V. do 1. N.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

20 DAN						
	Š.L.	D.L.	Š.L. / D.L.	V. do 1. N.	V.B.	V.B./V. do 1. N.
KONTROLA	2,01 ^{B,c}	3,11 ^C	1,55	3,67 ^{B,bc}	4,19 ^{B,b}	1,14 ^B
CRVENO	1,37 ^{C,d}	2,13 ^D	1,55	4,58 ^{A,a}	5,17 ^{AB,a}	1,13 ^B
PLAVO	2,45 ^{B,b}	4,11 ^B	1,68	3,43 ^{B,c}	4,46 ^{AB,b}	1,29 ^A
C+P	2,93 ^{A,a}	4,91 ^A	1,68	4,04 ^{AB,ab}	5,36 ^{A,a}	1,32 ^A
F test	48,81	76,44	0,69	7,09	6,47	34,74
P	<0,0001	<0,0001	0,5826	0,0121	0,0157	<0,0001
23 DAN						
KONTROLA	2,38 ^{B,b}	3,76 ^{BC,c}	1,57	3,67 ^{B,bc}	4,51 ^{B,c}	1,22 ^B
CRVENO	1,76 ^{C,c}	2,97 ^{C,d}	1,70	4,54 ^{A,a}	5,58 ^{A,ab}	1,23 ^B
PLAVO	2,72 ^{AB,b}	4,64 ^{AB,b}	1,70	3,47 ^{B,c}	5,01 ^{AB,bc}	1,44 ^A
C+P	3,16 ^{A,a}	5,65 ^{A,a}	1,78	4,04 ^{AB,ab}	5,87 ^{A,a}	1,45 ^A
F test	31,56	24,56	1,43	8,01	10,17	108,07
P	<0,0001	0,0002	0,3052	0,0086	0,0042	<0,0001
27 DAN						
KONTROLA	2,94 ^{A,b}	4,52 ^{B,c}	1,53 ^{B,b}	3,79 ^{B,bc}	4,98 ^{B,b}	1,31 ^C
CRVENO	2,47 ^{B,c}	3,86 ^{C,d}	1,56 ^{AB,b}	4,82 ^{A,a}	6,34 ^{A,a}	1,31 ^C
PLAVO	3,15 ^{A,ab}	5,28 ^{A,b}	1,67 ^{AB,a}	3,50 ^{B,c}	5,71 ^{AB,a}	1,63 ^A
C+P	3,34 ^{A,a}	5,68 ^{A,a}	1,70 ^{A,a}	4,15 ^{AB,b}	6,32 ^{A,a}	1,52 ^B
F test	17,27	61,26	7,55	11,54	8,47	79,32
P	0,0007	<0,0001	0,0102	0,0028	0,0073	<0,0001
31 DAN						
KONTROLA	3,28 ^{AB,a}	5,17 ^{B,b}	1,57 ^{BC,b}	4,00 ^B	5,58 ^{B,b}	1,39 ^{B,c}
CRVENO	2,92 ^{B,b}	4,53 ^{C,c}	1,55 ^{C,b}	4,84 ^A	6,84 ^{A,a}	1,41 ^{B,c}
PLAVO	3,34 ^{AB,a}	5,64 ^{AB,a}	1,69 ^{AB,a}	3,65 ^B	6,43 ^{AB,a}	1,76 ^{A,a}
C+P	3,44 ^{A,a}	5,95 ^{A,a}	1,73 ^{A,a}	4,06 ^B	6,79 ^{A,a}	1,67 ^{A,b}
F test	5,61	33,49	9,46	9,87	7,47	58,60
P	0,0228	<0,0001	0,0052	0,0046	0,0105	<0,0001
34 DAN						
KONTROLA	3,47	5,36 ^{BC,b}	1,54 ^{BC,b}	3,80 ^{B,b}	5,60 ^B	1,47 ^C
CRVENO	3,15	4,78 ^{C,c}	1,51 ^{C,b}	4,77 ^{A,a}	7,04 ^A	1,47 ^C
PLAVO	3,41	5,81 ^{AB,a}	1,70 ^{A,a}	3,54 ^{B,b}	7,10 ^A	2,00 ^A
C+P	3,58	6,00 ^{A,a}	1,68 ^{AB,a}	3,98 ^{AB,b}	7,05 ^A	1,77 ^B
F test	2,76	19,17	9,97	8,87	7,22	133,81
P	0,1113	0,0005	0,0044	0,0063	0,0115	<0,0001
37 DAN						
KONTROLA	3,58	5,68 ^{AB,b}	1,58 ^{BC,b}	3,85 ^{AB,b}	6,01 ^B	1,56 ^C
CRVENO	3,33	5,16 ^{B,c}	1,54 ^{C,b}	4,80 ^{A,a}	7,46 ^A	1,55 ^C
PLAVO	3,49	6,09 ^{A,ab}	1,74 ^{A,a}	3,57 ^{B,b}	7,69 ^A	2,16 ^A
C+P	3,65	6,17 ^{A,a}	1,69 ^{AB,a}	4,07 ^{AB,b}	7,69 ^A	1,89 ^B
F test	1,38	13,43	10,49	7,35	10,55	38,76
P	0,3165	0,0017	0,0038	0,0110	0,0037	<0,0001
41 DAN						
KONTROLA	3,76	5,90 ^{AB,a}	1,56 ^B	3,80 ^{B,b}	6,34 ^{C,c}	1,66 ^C
CRVENO	3,51	5,40 ^{B,b}	1,54 ^B	4,74 ^{A,a}	7,95 ^{B,b}	1,67 ^C
PLAVO	3,57	6,19 ^{A,a}	1,73 ^A	3,52 ^{B,b}	9,04 ^{A,a}	2,57 ^A
C+P	3,66	6,28 ^{A,a}	1,71 ^A	4,02 ^{AB,b}	8,14 ^{AB,b}	2,03 ^B
F test	0,97	8,39	10,46	9,80	26,33	49,16
P	0,4544	0,0075	0,0038	0,0047	0,0002	<0,0001

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

U prosjeku za za obje varijante mjerenja odnosno za sve varijante osvjetljenja, F testom je utvrđen značajan utjecaj oba navedena tretmana na lisnu površinu i masu listova ($P < 0,0001$), (Tablica 4.).

Tablica 4. Utjecaj varijanti osvjetljenja i termina mjerenja te njihovih interakcija na lisnu površinu (mm^2) i masu listova (g) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

VARIJANTE TRETMANA		LISNA POVRŠINA	MASA LISTOVA
SVJETLO	KONTROLA	17,67 ^{B,c}	4,87 ^{C,c}
	CRVENO	13,62 ^{B,d}	3,60 ^{C,d}
	PLAVO	28,82 ^{A,b}	8,85 ^{B,b}
	C+P	33,49 ^{A,a}	12,74 ^{A,a}
	F test	63,51	114,83
	P	<0,0001	<0,0001
MJERENJE	1. MJERENJE	17,76 ^B	5,53 ^B
	2. MJERENJE	29,04 ^A	9,50 ^A
	F test	93,27	105,96
	P	<0,0001	<0,0001
SVJETLO x MJERENJE	F test	5,61	4,93
	P	0,0080	0,0130

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

Prema LSD testu na razini značajnosti 99 %, značajno najveća lisna površina (33,49 mm^2) i masa listova (12,74 g) su utvrđene u varijanti osvjetljenja crveno+plavo LED svjetlo. Spomenuta vrijednost lisne površine se nije značajno razlikovala od one utvrđene u varijanti plavo LED osvjetljenje, međutim na 95 % značajnosti i ove se dvije varijante značajno razlikuju. Značajno najmanje vrijednosti lisne površine utvrđene su kod biljaka paprike uzgajanih pod crvenim LED svjetlom (13,62 mm^2), a također i najmanja masa listova (3,60 g).

U prosjeku za sve varijante osvjetljenja, termini mjerenja su značajno utjecali na lisnu površinu ($P < 0,0001$) i masu listova ($P < 0,0001$) biljaka paprike.

Prema F testu utvrđen je značajan utjecaj interakcije svjetlo x mjerenje na lisnu površinu ($P=0,0080$) i masu listova ($P=0,0130$).

Prema F testu utvrđen je statistički značajan utjecaj varijante osvjetljenja na lisnu površinu ($P < 0,0001$; $P=0,0002$) i masu listova ($P < 0,0001$; $P < 0,0001$) i u prvom i u drugom terminu mjerenja, (Tablica 5.).

Tablica 5. Utjecaj varijante osvjetljenja, prikazanih po terminima mjerenja, na lisnu površinu (mm²) i masu listova (g) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

1. MJERENJE		
	LISNA POVRŠINA	MASA LISTOVA
KONTROLA	11,51 ^B	2,93 ^C
CRVENO	11,01 ^B	2,81 ^C
PLAVO	24,20 ^A	6,26 ^B
C+P	24,32 ^A	10,11 ^A
F test	107,95	252,88
P	<0,0001	<0,0001
2. MJERENJE		
KONTROLA	23,82 ^{BC,c}	6,81 ^{C,c}
CRVENO	16,22 ^{C,d}	4,39 ^{C,d}
PLAVO	33,44 ^{AB,b}	11,43 ^{B,b}
C+P	42,65 ^{A,a}	15,37 ^{A,a}
F test	26,78	43,39
P	0,0002	<0,0001

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

U prvom terminu mjerenja vrijednosti lisne površine se statistički međusobno ne razlikuju kod biljaka koje su rasle pri plavom i crveno+plavom LED osvjetljenju te kod biljaka koje su rasle pod crvenim LED osvjetljenjem i fluo cijevima. Statistički značajno veća lisna površina je utvrđena kod biljaka koje su rasle pod plavim LED osvjetljenjem (24,20 mm²) i crveno+plavim LED osvjetljenjem (24,32 mm²). U prvom terminu mjerenja značajno najviša masa listova utvrđena kod biljaka u varijanti crveno+plavo LED svjetlo (10,11 g) dok su značajno niže vrijednosti spomenutog parametra utvrđene kod biljaka uzgajanih pod fluo cijevima (2,93 g) te crvenom LED rasvjetom (2,81 g) te se nisu međusobno značajno razlikovale. Statistički značajno više mase listova od onih utvrđenih pod fluo cijevima i crvenom LED rasvjetom su utvrđene pri plavom LED osvjetljenju (6,26 g), ujedno je ta vrijednost mase listova statistički značajno niža od one vrijednosti dobivene pod kombinacijom crveno+plavog LED osvjetljenja. U drugom mjerenju, koje je bilo nakon tjedan dana, značajno najviša lisna površina je utvrđena kod biljaka koje su rasle pod kombinacijom crveno+plavo LED svjetlom (42,65 mm²), a najniža kod biljaka koje su rasle pod crvenim svjetlom (16,22 mm²). Značajno najnižu lisnu masu su imale biljke koje su rasle pod crvenim LED svjetlom (4,39 g), dok je najveća lisna masa utvrđena kod biljaka uzgajanih pri kombinaciji crveno+plavo LED svjetlo (15,37 g), isto kao i u prvom terminu mjerenja.

U svim varijantama osvjetljenja, F testom je utvrđen statistički značajan utjecaj datuma mjerenja na lisnu površinu i masu listova, (Tablica 6.).

Tablica 6. Utjecaj termina mjerenja, prikazanih po različitim varijantama osvjetljenja, na lisnu površinu (mm²) i masu listova (g) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

KONTROLA		
VARIJANTA	LISNA POVRŠINA	MASA LISTOVA
1. MJERENJE	11,51 ^B	2,93 ^B
2. MJERENJE	23,82 ^A	6,81 ^A
F test	27,80	28,85
P	0,0062	0,0058
CRVENO		
1. MJERENJE	11,01 ^B	2,81 ^B
2. MJERENJE	16,22 ^A	4,39 ^A
F test	30,10	46,32
P	0,0054	0,0024
PLAVO		
1. MJERENJE	24,20 ^B	6,26 ^B
2. MJERENJE	33,44 ^A	11,43 ^A
F test	46,59	99,80
P	0,0024	0,0006
C+P		
1. MJERENJE	24,32 ^B	10,11 ^b
2. MJERENJE	42,65 ^A	15,37 ^a
F test	24,68	17,99
P	0,0077	0,0133

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

U svim varijantama osvjetljenja uvijek su statistički značajno više vrijednosti lisne mase i površine listova dobivene u drugom mjerenju, dok su u prvom mjerenju dobivene niže vrijednosti. Kod biljaka koje su rasle pod crveno+plavim svjetlom između vrijednosti mase listova prvog i drugog termina mjerenja nema statistički značajnih razlika na 99 % međutim na 95 % je kao i u ostalim varijantama, utvrđena statistički značajno viša masa listova u drugom mjerenju.

Prema rezultatima F testa, utvrđen je značajan utjecaj varijante osvjetljenja na SPAD indeks ($P<0,0001$), (Tablica 7.). Prema LSD testu najveća vrijednost SPAD indeksa je utvrđena kod varijante osvjetljenja crveno+plavo svjetlo (38,95), a najniža vrijednosti je utvrđena kod biljaka paprike koje su rasle ispod crvene svjetlosti (24,88). Vrijednost SPAD indeksa utvrđena u varijantama osvjetljenja plave svjetlosti i kontrole se statistički značajno razlikovala te je kod plave svjetlosti SPAD indeks bio veći (32,18) od kontrole (29,09).

Tablica 7. Utjecaj varijanti osvjetljenja i termina mjerenja te njihovih interakcija na SPAD indeks kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

VARIJANTE TRETMANA		SPAD INDEKS
SVJETLO	KONTROLA	29,09 ^C
	CRVENO	24,88 ^D
	PLAVO	32,18 ^B
	C+P	38,95 ^A
	F test	317,85
	P	<0,0001
TERMIN MJERENJA	34 DAN	29,04 ^{C,c}
	36 DAN	31,01 ^{B,b}
	38 DAN	32,20 ^{AB,a}
	41 DAN	32,85 ^{A,a}
	F test	25,32
	P	<0,0001
SVJETLO x TERMIN MJERENJA	F test	0,22
	P	0,9894

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

U prosjeku za sve varijante osvjetljenja, F testom je utvrđen statistički značajan utjecaj termina mjerenja odnosno starosti biljke te interakcije svjetla x termin mjerenja na vrijednost SPAD indeksa ($P<0,0001$). U prvom terminu mjerenja SPAD indeks je bio najmanji (29,04), a svakim sljedećim mjerenjem vrijednost SPAD indeksa je rasla, međutim vrijednosti u zadnja dva mjerenja se nisu značajno razlikovale.

Kod svakog termina mjerenja, F testom je utvrđen značajan utjecaj varijanti osvjetljenja (kontrola, crveno LED svjetlo, plavo LED svjetlo i crveno+plavo LED svjetlo) na SPAD indeks ($P<0,0001$), (Tablica 8.). Prema LSD testu u svakom terminu mjerenja utvrđena je statistički značajna najniža vrijednost u varijanti osvjetljenja crveno LED svjetlo, a statistički značajna najviša vrijednost je utvrđena u varijanti osvjetljenja crveno+plavo svjetlo. U svim terminima mjerenja sve varijante se statistički značajno razlikuju prema vrijednostima SPAD indexa jedna od druge.

Tablica 8. Utjecaj varijante osvjetljenja, prikazanih po terminima mjerenja, na SPAD indeks kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

34 DAN	
	SPAD INDEKS
KONTROLA	27,02 ^C
CRVENO	22,62 ^D
PLAVO	29,85 ^B
C+P	36,68 ^A
F test	103,85
P	<0,0001
36 DAN	
KONTROLA	29,14 ^C
CRVENO	24,43 ^D
PLAVO	32,10 ^B
C+P	38,36 ^A
F test	160,52
P	<0,0001
38 DAN	
KONTROLA	29,65 ^{BC,c}
CRVENO	25,87 ^{C,d}
PLAVO	33,41 ^{B,b}
C+P	39,87 ^{A,a}
F test	54,76
P	<0,0001
41 DAN	
KONTROLA	30,57 ^{B,c}
CRVENO	26,60 ^{C,d}
PLAVO	33,35 ^{B,b}
C+P	40,89 ^{A,a}
F test	63,71
P	<0,0001

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

Prema rezultatima F testa utvrđen je statistički značajan utjecaj termina mjerenja na SPAD indeks kod biljaka koje su rasle pod fluo cijevima, crvenim svjetlom te plavim svjetlom, dok kod biljaka koje su rasle pod crvenom+plavim svjetlom nema statistički značajnog utjecaja (Tablica 9.). Prema LSD testu kod svih tipova osvjetljenja je utvrđena statistički najniža vrijednost SPAD indeksa u prvom mjerenju. Kod biljaka koje su rasle pod fluo cijevima vrijednosti SPAD kod drugog i trećeg te trećeg i četvrtog termina mjerenja se ne razlikuju značajno. U varijanti crveno LED svjetlo utvrđene su značajne razlike u SPAD vrijednosti

između svih varijanti tretmana dok se u varijanti plavo LED svjetlo vrijednosti navedenog parametra izmjerene u prva tri termina nisu značajno razlikovale.

Tablica 9. Utjecaj termina mjerenja, prikazanih po različitim varijantama osvjetljenja na SPAD indeks kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

KONTROLA	
34 DAN	27,02 ^{B,c}
36 DAN	29,14 ^{A,b}
38 DAN	29,65 ^{A,ab}
41 DAN	30,57 ^{A,a}
F test	14,56
P	0,0013
CRVENO	
34 DAN	22,62 ^{C,d}
36 DAN	24,43 ^{B,c}
38 DAN	25,87 ^{A,b}
41 DAN	26,60 ^{A,a}
F test	74,26
P	<0,0001
PLAVO	
34 DAN	29,85 ^{B,b}
36 DAN	32,10 ^{AB,a}
38 DAN	33,41 ^{A,a}
41 DAN	33,35 ^{A,a}
F test	11,09
P	0,0032
C+P	
34 DAN	36,68
36 DAN	38,36
38 DAN	39,87
41 DAN	40,89
F test	2,55
P	0,1293

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

U prosjeku za oba termina analize, F testom je utvrđen značajan utjecaj varijanti osvjetljenja na klorofil a, klorofil b, klorofil a+b, karotenoide, omjer klorofila a i klorofila b, fenole ($P<0,0001$) te omjer klorofila i karotenoida ($P=0,0024$), (Tablica 10.). LSD testom statistički značajna najniža količina klorofila a (1,118 mg/g Sv.T.), b (0,421 mg/g Sv.T.) te ukupnih klorofila (1,539 mg/g Sv.T.) je utvrđena u varijanti osvjetljenja crveno LED svjetlo.

Tablica 10. Utjecaj varijanti osvjetljenja i termina analize te njihove interakcije na klorofil a (kl a; mg/g Sv.T.), klorofil b(kl b; mg/g Sv.T.), klorofil a+b (kl a+b; mg/g Sv.T.), karotenoide (kar; mg/g Sv.T.), omjer klorofila a i klorofila b (kl a/kl b), omjer klorofila i karotenoida (kl/kar) te fenola(mg/g Sv.T.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

VARIJANTE TRETMANA		kl a	kl b	kl a+b	kar	kl a/kl b	kl/kar	fenoli
SVJETLO	KONTROLA	1,289 ^A	0,524 ^A	1,814 ^A	0,403 ^B	2,463 ^{C,c}	4,521 ^{A,a}	0,863 ^{B,c}
	CRVENO	1,118 ^B	0,421 ^B	1,539 ^B	0,333 ^C	2,656 ^{A,a}	4,622 ^{A,a}	0,498 ^{C,d}
	PLAVO	1,316 ^A	0,511 ^A	1,827 ^A	0,420 ^{AB}	2,575 ^{B,b}	4,392 ^{AB,a}	1,363 ^{A,b}
	C+P	1,345 ^A	0,517 ^A	1,863 ^A	0,452 ^A	2,602 ^{AB,b}	4,125 ^{B,b}	1,559 ^A
	F test	18,33	24,87	20,25	21,48	26,87	7,49	61,28
	P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0024	<0,0001
TERMIN ANALIZE	1. TERMIN	1,185 ^B	0,449 ^B	1,635 ^B	0,359 ^B	2,634 ^A	4,568 ^A	1,025
	2. TERMIN	1,349 ^A	0,537 ^A	1,887 ^A	0,445 ^A	2,514 ^B	4,261 ^B	1,117
	F test	47,11	82,04	57,76	62,91	59,23	15,27	2,22
	P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0013	0,1559
SVJETLO x TERMIN ANALIZE	F test	17,79	9,99	15,64	5,53	10,47	1,14	0,76
	P	<0,0001	0,0006	<0,0001	0,0084	0,0005	0,3619	0,5335

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

Prema LSD testu vrijednosti klorofila a i klorofila b te ukupnih klorofila se značajno ne razlikuju u varijantama plavo LED svjetlo (kl a =1,316; kl b= 0,511), crveno+plavo LED svjetlo (kl a =1,345; kl b= 0,517) i kontrola (kl a = 1,289; kl b= 0,524). Značajno najniži sadržaj karotenoida je utvrđen u varijanti osvjetljenja crvenog LED svjetla (0,333 mg/g Sv.T.), a najviša vrijednost karotenoida je utvrđena u varijanti osvjetljenja crveno+plavo LED svjetla (0,452 mg/g Sv.T.). Prema F testu, u prosjeku za sve varijante osvjetljenja, klorofil a, klorofil b, klorofil a+b, karotenoide, omjer klorofila a i klorofila b ($P<0,0001$), omjer klorofila i karotenoida ($P=0,0013$) utvrđen je statistički značajan utjecaj termina mjerenja, dok na sadržaj fenola termina analize nije značajno utjecao. Prema rezultatima F testa utvrđen je značajan utjecaj interakcije svjetlo x termin analize na klorofil a ($P<0,0001$), klorofil b ($P=0,0006$), klorofil a+b ($P<0,0001$), karotenoide ($P=0,0084$) te omjer klorofila a i klorofila b ($P=0,0005$).

Prema F testu, osvjetljenje je i u 1. i u 2. terminu analize imalo statistički značajan utjecaj na sadržaj fotosintetskih pigmenata i fenole (Tablica 11.).

Tablica 11. Utjecaj varijante osvjetljenja, prikazanih po terminima analize, na klorofil a (kl a), klorofil b (kl b), klorofil a+b (kl a+b), karotenoide (kar), omjer klorofila a i klorofila b (kl a/kl b) , omjer klorofila i karotenoida (kl/kar) te fenole (mg/g Sv.T.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

1. TERMIN ANALIZE							
	kl a	kl b	kl a+b	kar	kl a/kl b	kl/kar	Fenoli
KONTROLA	1,111 ^{BC}	0,446 ^{B,b}	1,558 ^{BC,b}	0,334 ^{BC}	2,494 ^{C,c}	4,661	0,829 ^{B,c}
CRVENO	1,026 ^C	0,380 ^{C,c}	1,405 ^{C,c}	0,301 ^C	2,702 ^{AB,a}	4,665	0,520 ^{C,d}
PLAVO	1,200 ^B	0,460 ^{AB,b}	1,660 ^{B,b}	0,362 ^B	2,604 ^{BC,b}	4,588	1,258 ^{A,b}
C+P	1,404 ^A	0,512 ^{A,a}	1,917 ^{A,a}	0,439 ^A	2,737 ^{A,a}	4,361	1,495 ^{A,a}
F test	28,91	20,90	26,80	31,86	21,73	1,52	45,84
P	0,0001	0,0004	0,0002	<0,0001	0,0003	0,2818	<0,0001
2. TERMIN ANALIZE							
KONTROLA	1,467 ^{A,a}	0,603 ^{A,a}	2,071 ^{A,a}	0,473 ^A	2,432 ^{C,b}	4,381 ^{AB,ab}	0,898 ^{B,b}
CRVENO	1,209 ^{C,b}	0,463 ^{C,c}	1,673 ^{C,b}	0,365 ^B	2,610 ^{A,a}	4,580 ^{A,a}	0,477 ^{B,c}
PLAVO	1,433 ^{AB,a}	0,562 ^{AB,ab}	1,995 ^{AB,a}	0,477 ^A	2,547 ^{AB,a}	4,196 ^{AB,bc}	1,469 ^{A,a}
C+P	1,286 ^{BC,b}	0,521 ^{BC,b}	1,808 ^{BC,b}	0,465 ^A	2,466 ^{BC,b}	3,888 ^{B,c}	1,624 ^{A,a}
F test	10,81	15,30	12,19	7,96	14,79	7,62	25,45
P	0,0035	0,0011	0,0024	0,0087	0,0013	0,0099	0,0002

Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

U prvom terminu analize, prema LSD testu, statistički značajna najviša vrijednost klorofila a (1,404 mg/g Sv.T.), klorofila b (0,512 mg/g Sv.T.), ukupnih klorofila (1,917 mg/g Sv.T.), karotenoida (0,439 mg/g Sv.T.), omjera klorofila i karotenoida (2,737) i fenola (1,495 mg/g Sv.T.) je utvrđena u varijanti osvjetljenja crveno+plavo svjetlo. Najniža vrijednost klorofila a (0,026 mg/g Sv.T.), klorofila b (0,380 mg/g Sv.T.), ukupnih klorofila (1,405 mg/g Sv.T.), karotenoida (0,301 mg/g Sv.T.) i fenola (0,520 mg/g Sv.T.) je utvrđena u varijanti osvjetljenja crveno LED svjetlo, dok je najniža vrijednost omjera klorofila a i klorofila b (2,494 mg/g Sv.T.) utvrđena u varijanti kontrole. U drugom terminu analize najviše vrijednosti klorofila a (1,467 mg/g Sv.T.), klorofila b (0,603 mg/g Sv.T.) i klorofila a+b (2,071 mg/g Sv.T.) su utvrđene kod biljaka koje su rasle pod fluo cijevima međutim nisu se značajno razlikovale od utvrđenih u varijanti plavo LED svjetlo. Najniža vrijednost karotenoida utvrđena je kod biljaka u varijanti crveno LED svjetlo, a više vrijednosti koje se međusobno nisu statistički značajno razlikovale su utvrđene u ostalim varijantama osvjetljenja. Najviše vrijednosti omjera klorofila a i klorofila b (2,610) te omjera klorofila i karotenoida (4,580) utvrđene su u varijanti crveno LED osvjetljenje. Statistički značajno najviše vrijednosti fenola utvrđene su kod biljaka koje su rasle pod plavim svjetlom (1,469

mg/g Sv.T.) i crveno+plavim svjetlom (1,624 mg/g Sv.T.) te se međusobno nisu značajno razlikovale.

F testom je utvrđen značajan utjecaj termina analize u različitim varijantama osvjetljenja na klorofil a , klorofil b, klorofil a+b, karotenoide, omjer klorofila a/b te omjer klorofila i karotenoida (Tablica 12.).

Tablica 12. Utjecaj termina analize, prikazanih po različitim varijantama osvjetljenja, na klorofil a (kl a), klorofil b (kl b), klorofil a+b (kl a+b), karotenoide (kar), omjer klorofila a i klorofila b (kl a/kl b) , omjer klorofila i karotenoida (kl/kar) te fenola (mg/g Sv.T.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.).

KONTROLA							
	kl a	kl b	kl a+b	kar	kl a/kl b	kl/kar	Fenoli
1. TERMIN ANALIZE	1,111 ^B	0,446 ^B	1,557 ^B	0,334 ^B	2,494	4,661	0,829
2. TERMIN ANALIZE	1,467 ^A	0,603 ^A	2,071 ^A	0,473 ^A	2,432	4,381	0,898
F test	85,37	41,85	68,47	114,64	1,57	2,03	2,44
P	0,0008	0,0029	0,0012	0,0004	0,2791	0,2275	0,1933
CRVENO							
1. TERMIN ANALIZE	1,026 ^b	0,379 ^B	1,405 ^B	0,301 ^b	2,702 ^A	4,665	0,520
2. TERMIN ANALIZE	1,209 ^a	0,463 ^A	1,673 ^A	0,365 ^a	2,610 ^B	4,580	0,477
F test	20,50	40,69	24,89	16,65	25,46	0,76	2,74
P	0,0106	0,0031	0,0076	0,0151	0,0073	0,4319	0,1730
PLAVO							
1. TERMIN ANALIZE	1,199 ^b	0,460 ^B	1,660 ^b	0,362 ^b	2,604	4,588	1,258
2. TERMIN ANALIZE	1,433 ^a	0,562 ^A	1,995 ^a	0,477 ^a	2,547	4,196	1,469
F test	17,85	26,37	20,15	10,88	4,87	3,50	2,06
P	0,0134	0,0068	0,0109	0,0300	0,0919	0,1348	0,2246
C+P							
1. TERMIN ANALIZE	1,404	0,512	1,917	0,439	2,737 ^A	4,361 ^A	1,495
2. TERMIN ANALIZE	1,286	0,521	1,808	0,465	2,466 ^B	3,888 ^B	1,624
F test	4,75	0,22	2,26	2,64	157,99	31,95	0,46
P	0,0949	0,6626	0,2070	0,1793	0,0002	0,0048	0,5333

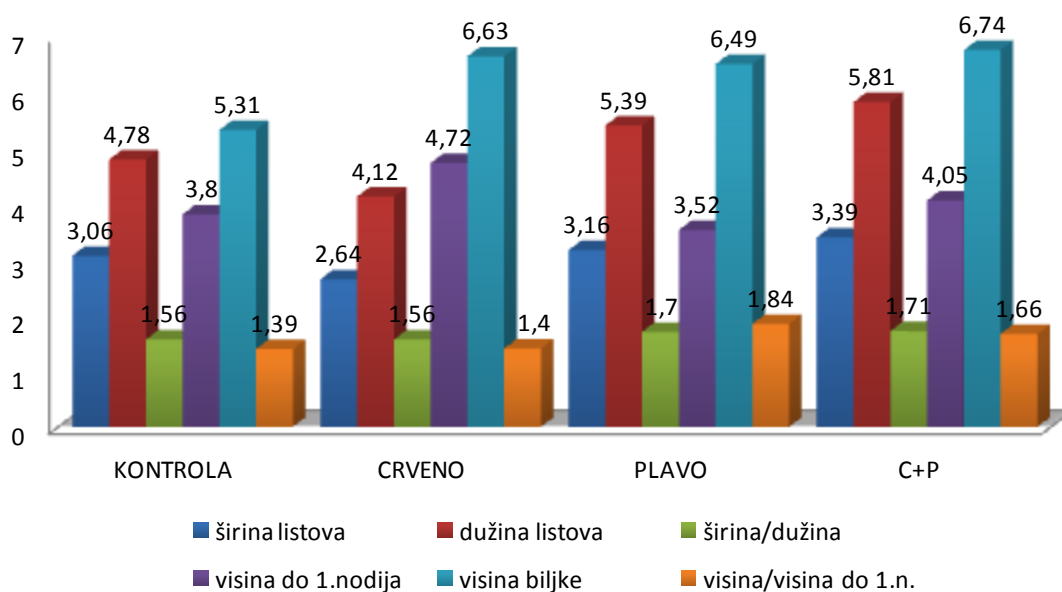
Podaci su prosjek tri ponavljanja; ANOVA, F test; prosjeci označeni različitim slovom se razlikuju prema LSD testu (^{a,b,c} $P=0,05$; ^{A,B,C} $P=0,01$).

U kontroli, statistički značajno niži sadržaj klorofila a (1,111 mg/g Sv.T.), b (0,446 mg/g Sv.T.), ukupnih klorofila (1,557 mg/g Sv.T.) te karotenoida (0,334 mg/g Sv.T.) je utvrđen u prvom terminu mjerenju. U varijanti osvjetljenja crveno LED svjetlo, prema F testu, utvrđen je značajan utjecaj termina mjerenja na klorofil a, b, klorofil a+b, karotenoide te omjer klorofila a/b. Značajno niži sadržaj klorofila a (1,026 mg/g Sv.T.), klorofila b (0,379 mg/g Sv.T.), klorofila a+b (1,405 mg/g Sv.T.) i karotenoida (0,301 mg/g Sv.T.) je utvrđen u

prvom mjerenju, dok je niža vrijednost omjera klorofila a i b utvrđena u drugom terminu mjerenja (2,610). Prema LSD testu u varijanti plavo LED svjetlo utvrđene su statistički značajno niže vrijednosti klorofila a, klorofila b, klorofila a+b i karotenoida u prvom terminu analize. U varijanti osvjetljenja crveno+plavo LED svjetlo termin analize je značajno utjecao na omjer klorofila a i b te na omjer klorofila i karotenoida s time da su značajno viši omjeri navedenih parametara utvrđeni u prvom terminu analize (kl a/b 2,737; kl/kar 4,361).

5. RASPRAVA

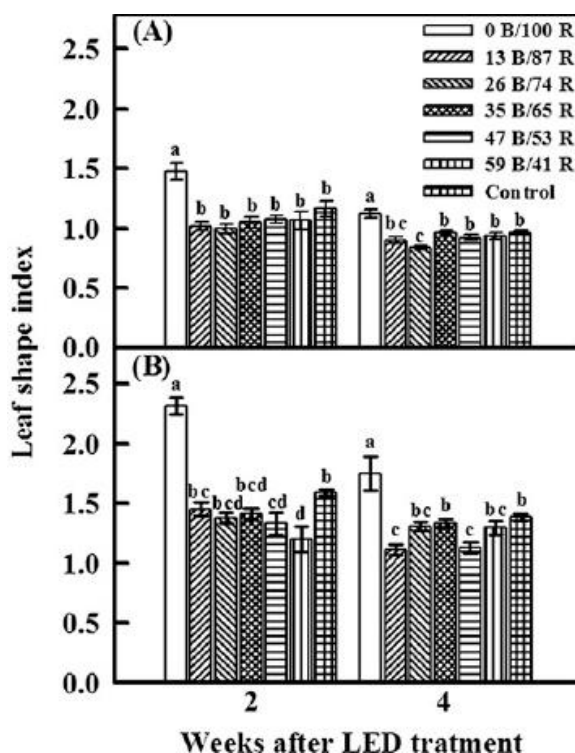
Znanstvenici odavno znaju da na razvoj biljaka i fiziologiju veliki utjecaj ima svjetlost (McNellis i Deng, 1995.). Uzgoj sadnica pod plavim svjetlom pokazalo se da povećava prinos usjeva nakon sadnje zbog visoke akumulacije fenolnih spojeva. Iako je većina istraživanja pokazala da plavo svjetlo ili kombinacija crvenog i plavog svjetla kod biljaka postiže veću biomasu (Matsuda i sur., 2008.; Yorio i sur., 2001.), neka istraživanja su pokazala kako se prinos i kvaliteta usjeva može poboljšati kontrolom kvalitete svjetla (Hanyu i Shoji, 2002.). Javanmardi i Emami (2013.) tvrde kako se monokromatsko LED svjetlo može koristiti kao ekološki i ekonomični način da se postigne željeni rast i razvoj biljaka. U ovom istraživanju biljke paprike su tretirane crvenim LED svjetlom, plavim LED svjetlom i kombinacijom crveno+plavog LED svjetla te su dobiveni podaci uspoređeni s podacima biljaka koje su rasle pod fluorescentnim lampama (kontrola).



Graf 1. Prikaz utjecaja varijante osvjetljenja na morfološka svojstva biljaka paprike

Tip osvjetljenja je značajno utjecao na morfološka svojstva biljaka paprike prikazane kroz mjerene parametre čije su se vrijednosti značajno razlikovale ovisno o vrsti osvjetljenja pod kojim su biljke uzgajane. Najveća širina i dužina listova je utvrđena kod biljaka koje su rasle pod kombinacijom crvenog i plavog LED svjetla te je najmanja širina i dužina listova utvrđena kod biljaka pod crvenim LED svjetlom (Graf 1.). Kombinacija crveno i plavog

LED svjetla potakla je rast listova. Li i Kubota (2009.) su ispitivali učinke dopunske svjetlosti na rast i sadržaj fitokemikalija listova salate. Koristili su dopunsko UV, plavo, zeleno, crveno i daleko crveno LED svjetlo kao dodatno svjetlo uz bijele fluorescentne lampe. LED diode su emitirale svjetlost u različitim dijelovima spektra s različitom gustoćom fotona UV ($18 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), B, G, R ($130 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) i FR ($160 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) uz fotoperiod 16 sati, dok je temperatura zraka (dan/noć) iznosila 25/20 °C u svim tretmanima. Nakon 12 dana pod svjetlom (22 dana nakon sjetve) duljina i širina lišća se značajno povećala 44 % i 15 % kod biljaka koje su rasle pod daleko crvenim svjetlom u odnosu na biljke koje su rasle pod bijelim svjetlom. Son i Oh (2013.) su također istraživali utjecaj različite svjetlosti na rast salate te su utvrdili kako indeks oblika lista (širina/dužina lista) dviju sorti uzgajanih pod dodatnim plavim LED svjetlom je bio u sličan kontroli, bez obzira na omjer plavog i crvenog svjetla, iako je u varijanti 100 % crveno svjetlo utvrđen značajno veći indeks oblika lista, odnosno izdužen oblik lista, u usporedbi s ostalim tretmanima (Slika 5. i Slika 6.).



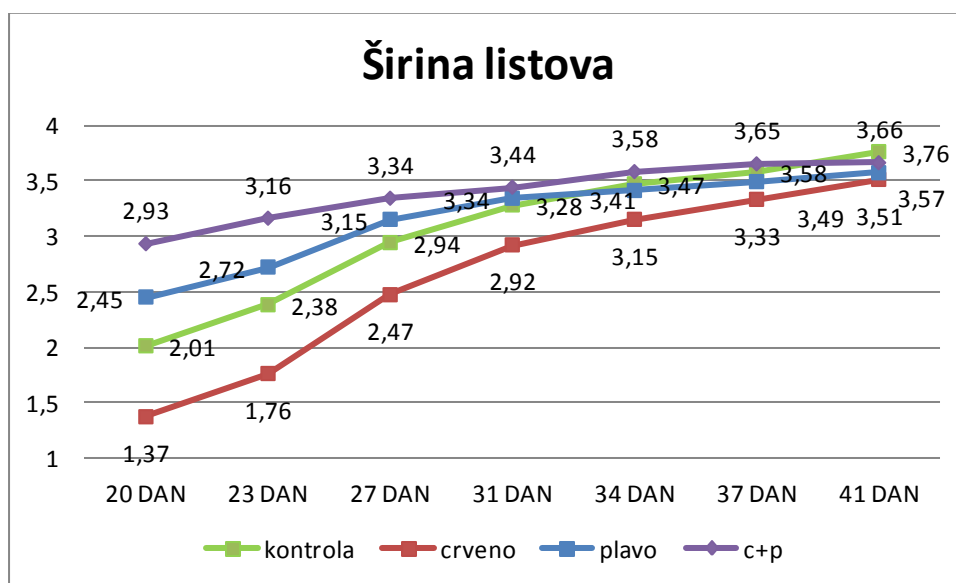
Slika 5. Utjecaj različitih kombinacija crveno+plavog svjetla na indeks oblika lista dviju sorti salate (Son i Oh, 2013.)



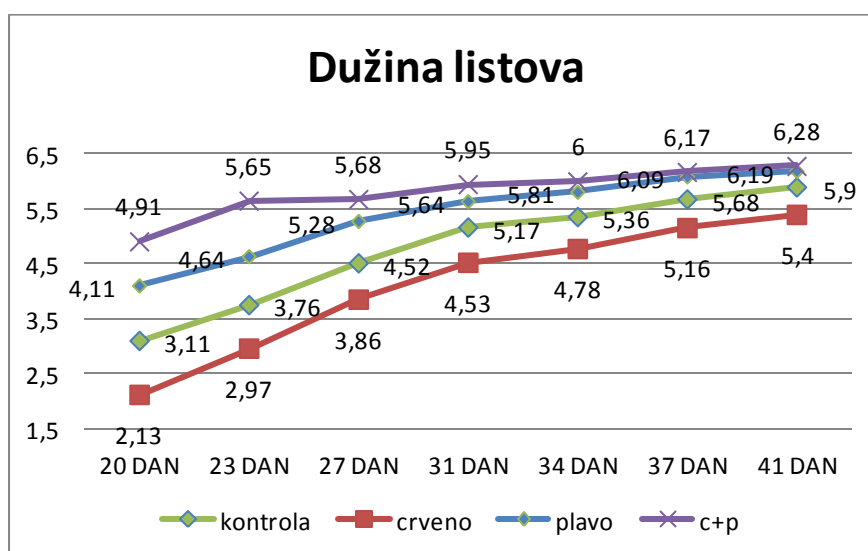
Slika 6. Biljke salate tretirane različitim kombinacijama crveno+plavog svjetla (Son i Oh, 2013.)

Azad i sur. (2011.) su ispitivali utjecaj različitog LED svjetla na rast i sadržaj fitokemikalija presadnica paprike koristeći LED izvore svjetlosti različitih valnih duljina, plavo (470 nm,

B), crveno (660 nm, R), plavo+crvenog (BR), daleko crveno (740 nm, FR) i UV-B (300 nm). Crveno svjetlo je povećalo širinu listova za 50 %, a plava svjetlost je povećala dužinu listova do 13 %. U našim istraživanjima najveću širinu i dužinu listova su imale biljke koje su rasle pod kombinacijom crveno i plavog LED svjetla (Graf 2. i 3.). Međutim, u zadnjem mjerenju najveća širina je utvrđena kod kontrole, odnosno biljaka koje su rasle pod fluorescentnim svjetlom. Također se iz grafova vidi da su razlike u širini i dužini listova pri prvom mjerenju (20 dana nakon postavljanja svjetla) bile najveće ali su se kasnije smanjivale te pri zadnjem mjerenju bile vrlo slične što dokazuje ekofiziološku adaptaciju morfologije lista na uvjete osvjetljenja kroz određeni vremenski period.

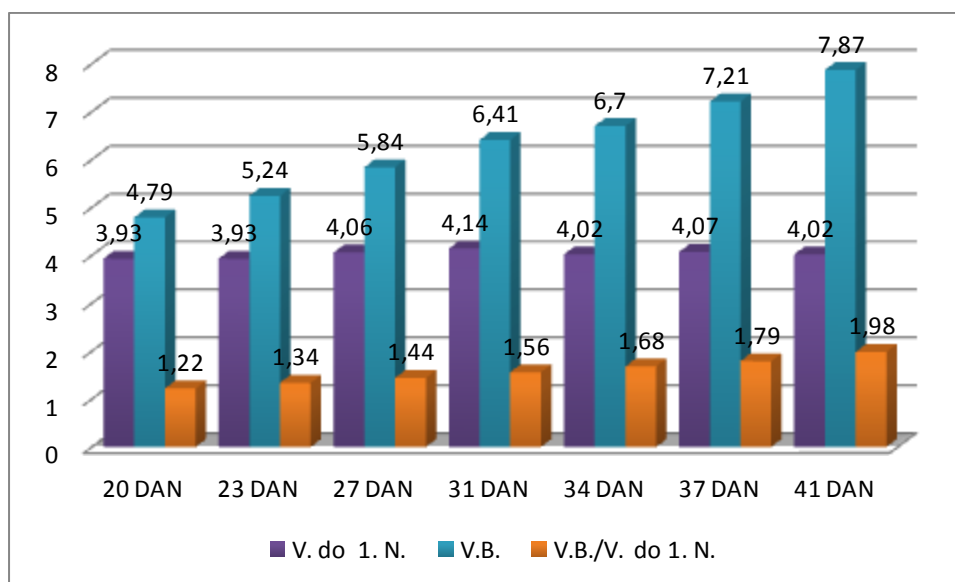


Graf 2. Utjecaj trajanja i varijante osvjetljenja na širinu listova paprike (cm)



Graf 3. Utjecaj trajanja i varijante osvjetljenja na dužinu listova paprike (cm)

U zadnjem mjerenju (41 dan pod lampama) najviše su bile biljke paprike pod plavim LED svjetlom (9,04 cm), a najnižu kontrola (6,34 cm). Najveća izmjerena visina do 1. nodija je kod biljaka koje su rasle pod crvenim LED svjetlom (4,74 cm), zatim iza njih slijede biljke pod crveno+plavim svjetlom (4,02 cm), fluorescentnim svjetlom (3,80 cm) i plavim svjetlom (3,52 cm). Razlike visine do 1. nodija po terminima mjerenja nema, što je vidljivo iz Grafa 4.



Graf 4. Utjecaj trajanja osvjetljenja na porast biljaka paprike

Tijekom mjerenja visine do 1. nodija i ukupne visine presadnica, primjećene su promjene u boji stabljike presadnica paprike. Naime, presadnice paprike koje su rasle pod kombinacijom crvenog i plavog LED svjetla te plavog LED svjetla su počele poprimiti plavkastu do ljubičastu boju (15 dana od postavljanja osvjetljenja), (Slika 7. i Slika 8.).



Slika 7. Zelena boja stabljike presadnica paprike koje su rasle pod crvenim svjetlom

Foto: Marija Kristić



Slika 8. Stabljike presadnica paprike pod crveno+plavim LED svjetlom su ljubičaste boje

Foto: Marija Kristić

Također pod plavim LED svjetlom te kombinacijom crvenog i plavog LED svjetla primijećeno je formiranje korijenčića 23 dana od postavljanja LED rasvjete (Slika 9.).



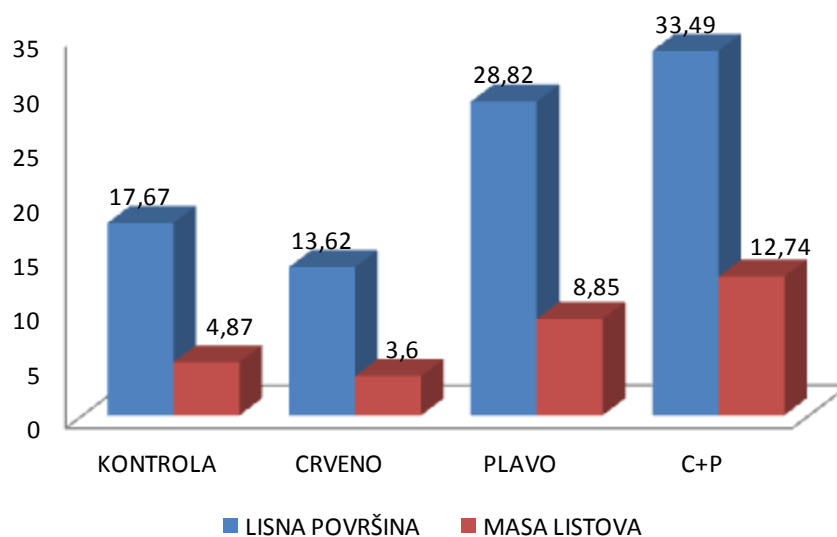
Slika 9. Korijenčići na stabljici presadnica paprike koje su rasle pod crveno+plavim LED svjetlom

Foto: Ivan Leninger; Marija Kristić

Visoki omjeri crvenog do daleko crvenog svjetla mogu potaknuti odgovor fitokroma (matično istežanje, cvjetanje, provodljivost puči ili biljne anatomije), dok plava svjetlost je važna u formiranju klorofila, razvoja kloroplasta, aktivacije cirkadijanog ritma fotosinteze, sinteze enzima i fotomorfogeneze (Ménard i sur., 2006.). Nanzin i sur. (2016.) su koristili različite omjere crvene i plave LED svjetlosti kako bi poboljšali rast biljaka jagoda. Cilj istraživanja je bio utvrditi rast biljaka jagoda pod različitim omjerima crveno i plavog svjetla u odnosu na natrijeve lampe (HPS). Ispitana su tri različita omjera crvenog (661 nm) i plavog (449 nm) svjetla (5:1, 10:1 i 19:1) a HPS je korištena kao kontrola. Biljke jagoda uzgajane pod različitim omjerima crvenog i plavog svjetla su imale veću visinu za razliku od biljaka pod HPS lampama. Poudel i sur. (2008.) tvrde kako su visina biljaka i dužina internodija bili značajno duži kod biljaka koje su izrasle pod crvenim LED svjetlom i to kod svih genotipova vinove loze. Također, istraživanja Yanagija i sur. (1996.) su pokazala da su biljke zelene salate rasle samo pod crvenim LED svjetlom imale duže stabljike od biljaka izraslih samo pod plavim LED svjetlom, a slične rezultate su dobili i Azad i sur. (2011.)

kojima su utvrdili povećanje ukupne dužine stabljike i duljine stabljike između nodija za 17 % i 34 % kod biljaka paprike (*Capsicum annuum*) koje su rasle pod daleko crvenim svjetlom. Lee (2010.) u svojim istraživanjima također navodi da crveno svjetlo povećava rast biljaka salate (*Lactuca sativa*). Ngoc Ai i sur. (2016.) objašnjavaju kako su biljke petunije pod bijelim svjetlom imale značajno viši rast u usporedbi s biljkama pod plavim ili crvenim svjetlom. Zaključuju kako drugačiji izvori svjetla drugačije utječu na rast biljaka pod različitim eksperimentalnim uvjetima, te da poboljšani rast biljaka pod bijelim svjetlom može biti uslijed optimalne fotosinteze nastale upravo zbog eksperimentalnih uvjeta. Nadalje, Glowacka (2004.) navodi kako su kod rajčice koja je rasla pod plavim svjetlom utvrđene niže stabljike, kao i Javanmardi i Emami, (2013.) koji tvrde da samo plava svjetlost ili plava u kombinaciji s crvenom smanjuje visinu presadnica rajčice i paprike, dok je visina presadnica rajčice i paprike pod bijelim svjetlom bila najviša. Ti rezultati se podudaraju sa istraživanjem u kojem je visina biljaka rajčice bila smanjena pri izloženosti plavoj svjetlosti u usporedbi s prirodnim svjetlom (Mortensen i Stromme, 1987.). Kim i sur. (2004.) su ispitali utjecaj LED svjetla na rast biljčica krizantema te su utvrdili najveću duljinu stabljike kod biljaka pod crvenim i daleko crvenim svjetlom u usporedbi s biljkama pod fluorescentnim svjetlom, plavim ili pod kombinacijama crvenog i plavog svjetla. Brown i sur. (1995.) su mjerili rast i podjelu suhe tvari biljaka paprike (*Capsicum annuum*) koje su rasle pod crvenim LED svjetlom, crvenim LED svjetlom s dodatnim plavim ili daleko crvenim svjetlom ili pod MH lampama. Dodatak daleko crvenog svjetla rezultirao je višim biljkama nego samo crveno LED svjetlo.

Najveća lisna površina ($42,65 \text{ mm}^2$) i masa listova (15,37 g) su utvrđene kod biljaka uzgajanih pri kombinaciji crvenog i plavog LED svjetla, zatim slijedi plavo LED svjetlo te kontrola i tretman crvenim svjetlom pod kojim su rasle biljke s najnižim utvrđenim vrijednostima navedenih parametara ($16,22 \text{ mm}^2$; 4,39 g) (Graf 5.).



Graf 5. Utjecaj varijanti osvjetljenja na lisnu površinu i masu listova paprike

Od samog početka rasta listova vidjela se razlika u morfološkim svojstvima. Listovi paprike koja je rasla pod crvenom lampom su bili najsvjetliji, najmanji, s jako izraženom bijelom nervaturom. Listovi presadnica koje su rasle pod crveno plavim LED svjetlom su bili najveći i najtamniji i bilo ih je najviše, dok su listovi pod kontrolom i pod plavim svjetlom na izgled bili jako slični, osim što ih je pod plavim bilo više razvijenih (Slika 10. i Slika 11.). Pri kraju pokusa presadnice pod svima svjetlima, osim pod crvenim su morfološki bile slične (oblik, boja i veličina). 32 dana nakon postavljanja pokusa (45 dana nakon sjetve) kod presadnica paprike pod crveno plavim svjetlom pojavili su se prvi cvjetni pupovi (Slika 12.).



Slika 10. Presadnice paprike 24 dana nakon postavljanja pokusa
 (Gore lijevo: plavo osvjetljenje; dolje lijevo: kontrola; gore desno: crveno plavo osvjetljenje;
 dolje desno: crveno osvjetljenje)
 Foto: Marija Kristić



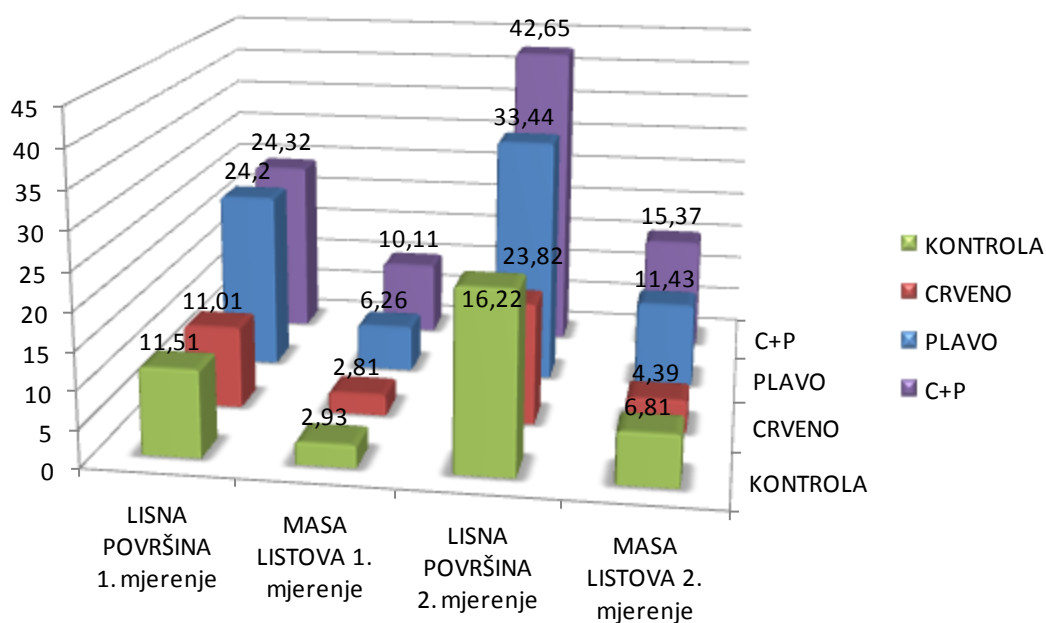
Slika 11. Presadnice paprike 41 dan nakon postavljanja pokusa
 Foto: Marija Kristić
 (Gore lijevo: plavo osvjetljenje; dolje lijevo: kontrola; gore desno: crveno plavo osvjetljenje;
 dolje desno: crveno osvjetljenje)



Slika 12. Prvi cvjetni pupovi pod crveno+plavim LED svjetlom 32 dana nakon postavljanja pokusa

Foto: Marija Kristić

Iz Grafa 6. vidljivo je najveće povećanje lisne površine od 1. do 2. mjerenja kod kontrole, gdje se lisna površina povećala za 107 %. Činjenica je da pod crveno+plavim svjetlom je najveća lisna površina, no tjedan dana nakon 1. mjerenja lisna površina je pod tim svjetlom povećana za 75 %. Također i masa listova se pod kontrolom nakon tjedan dana od prvog mjerenja povećala za 132 %, dok se pod kombinacijom crvenog i plavog LED svjetla povećala za 52 %.



Graf 6. Utjecaj trajanja tretmana svjetla te varijante tretmana na lisnu površinu i masu listova

Javanmardi i Emami (2013.) su najveću lisnu površinu utvrdili kod presadnica rajčice koje su rasle pod plavim LED svjetlom. Lisna površina presadnica paprike je bila slična u svim varijantama osim pri kombinacijama crvenog i plavog svjetla (2R:1B; 1R:2B) gdje je utvrđena najniža vrijednost. Najveća lisna površina kod paprike je bila pod crvenim svjetlom. Autori su zaključili da iako rajčica i paprika spadaju u istu porodicu reagiraju različito. Svojim istraživanjem utjecaja različitog svjetla na krizanteme, Kim i sur., (2004.) su utvrdili najveću površinu lista pod fluorescentnim svjetlom i pod kombinacijom crvenog i plavog svjetla, dok su Johkan i sur. (2010.) najveću površinu lista dobili kod biljaka salate uzgajane po plavim LED svjetlom (Slika 13.).

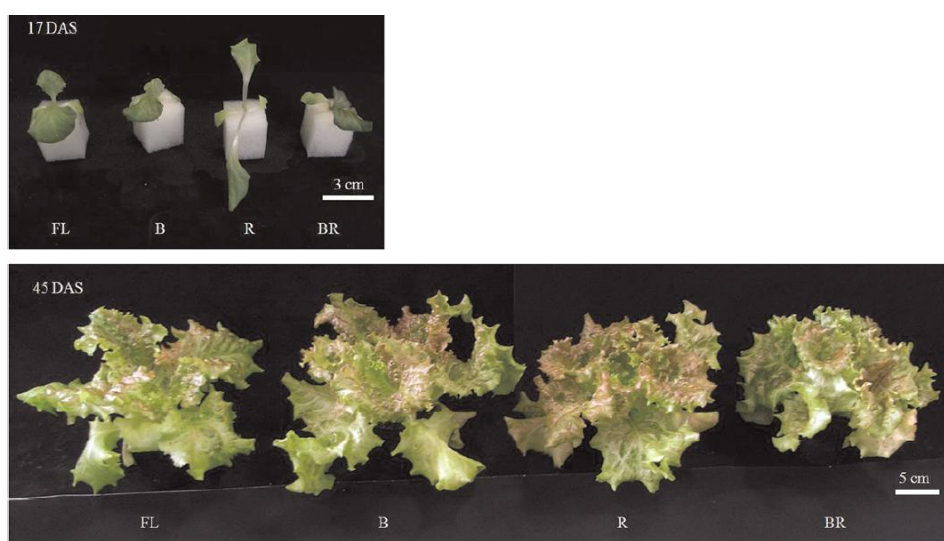


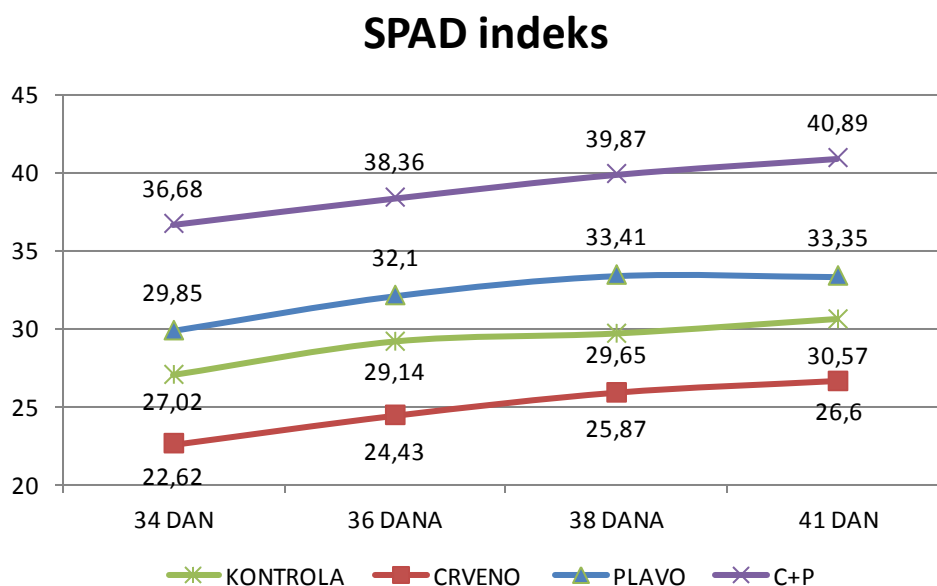
Fig. 3. Morphology of red leaf lettuce plants treated with a white fluorescent lamp (FL), blue (B), red (R), and blue + red (BR) light-emitting diode (LED) lights 17 (upper) and 45 (lower) days after sowing (DAS). Total photosynthetic photon flux (PPF) was $100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for all lighting treatments.

Slika 13. Morfologija salate uzgajane pod fluorescentnim svjetlom, plavim, crvenim i plavo+crvenim LED svjetlom 17 i 45 dana (Johkan i sur., 2010.)

Samuoliene i sur. (2012.) istraživali utjecaj svjetlosti različitih valnih duljina (455, 470, 505 i 530 nm) kao dopuna HPS lampama, na uzgoj presadnica krastavaca Mirabelle F1, rajčice Magnus F1 i paprike sorte Reda. Tijekom uzgoja presadnica fotoperiod se održavao na 18 sati, temperatura dan/noć je bila 20-23/15-18 °C i relativna vlaga zraka je iznosila 50-60 %. Utvrdili su da je dopunsko svjetlo valnih duljina 455 (plavo), 470 (plavo) i 505 utjecalo na povećanje površine lista i lisne mase te svjež i suhe tvari. Hernandez i sur. (2016.) su pratili rast i morfologiju sadnica biljaka koje su rasle pod različitim kombinacijama LED svjetla. Pošto biljne vrste imaju specifične odgovore na plavu (B) i crvenu (R) svjetlost cilj istraživanja je bio procijeniti optimalni omjer crveno-plavog svjetla za krastavac „Cumlaude“ i rajčicu „Komeett“ koji su uzgajani u jednakim uvjetima (PPF $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, fotoperiod 18 sati, temperatura 25 °C). LED svjetla u plavom (455 nm) i crvenom dijelu

spektra (661) su koristili kao jedini izvor osvjetljenja, a postotak plavih dioda naspram crvenih je bio 0, 10, 30, 50, 75 i 100 %. Kod rajčice je utvrđeno povećanje suhe mase i površine lista s povećanjem udjela plavog svjetla između 30 - 50 %, a povećanjem udjela plave svjetlosti (50 do 100 %) izostao je pozitivan učinak na navedene parametre. Biljke uzgajane pri 30 % i 50 % udjela plave svjetlosti su imale 66 % i 59 % veću suhu masu od biljaka uzgajanih pod fluorescentnim lampama.

SPAD indeks je zapravo relativni indeks sadržaj klorofila u listu odnosno potencijal fotosintetske aktivnosti lista. Najviša vrijednost SPAD indeksa izmjerena je kod biljaka koje su rasle pod kombinacijom crvenog i plavog svjetla (40,89), zatim je kod biljaka pod plavim svjetlom (33,35) te pod fluorescentnim svjetlom (30,57) dok je pod crvenim izmjerena najniža vrijednost SPAD indeksa (26,6). Tijekom četiri mjerenja utvrđeno je povećanje SPAD vrijednosti što ukazuje na veću koncentraciju klorofila po jedinici površine lista, no blagi rast pod crveno plavim svjetlom koji vidimo iz Grafa 7. se ipak statistički ne razlikuje po terminima mjerenja. Svaka kultura ima jedinstven SPAD raspon.



Graf 7. Vrijednosti SPAD indeksa listova paprike po terminima mjerenja u različitim osvjetljenjima

Poudel i sur. (2008.) su utvrdili najveći sadržaj klorofila kod biljaka koje su rasle pod plavim LED svjetlom, a najniži kod biljaka koje su rasle pod crvenim LED svjetlom kod svih genotipova vinove loze (Slika 14.).

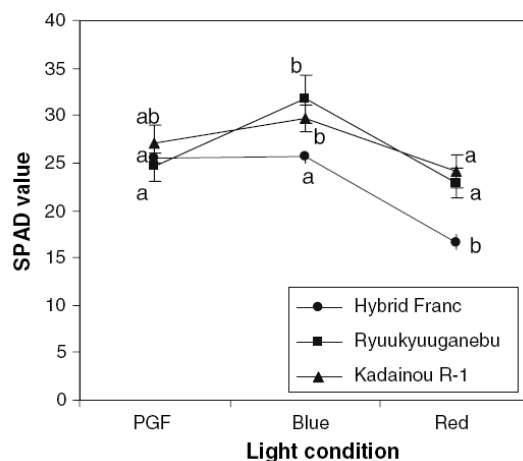


Fig. 2 Chlorophyll content of grape genotypes as affected by different lighting systems. Data are means of 10 units per treatment replicated three times. Vertical bars represent $\pm$ standard error. Different letter (s) within the same cultivar indicates significant difference at $P < 0.05$ by the Duncan's Multiple Range Test

Slika 14. Utjecaj različitih tretmana svjetla na sadržaj klorofila u tri genotipa vinove loze (Poudel i sur., 2008.)

SPAD vrijednost (klorofila) rasla je pod visokim omjerima plavog LED svjetla, kao što su 59 B, 47 B i 35 B (Son i Oh, 2013.), (Slika 15.).

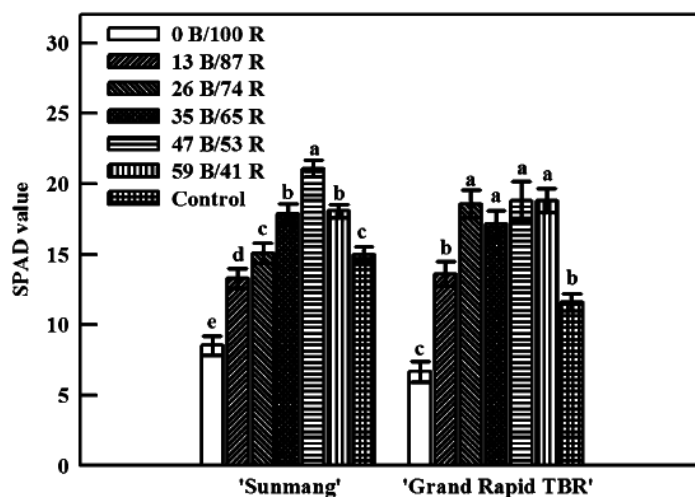
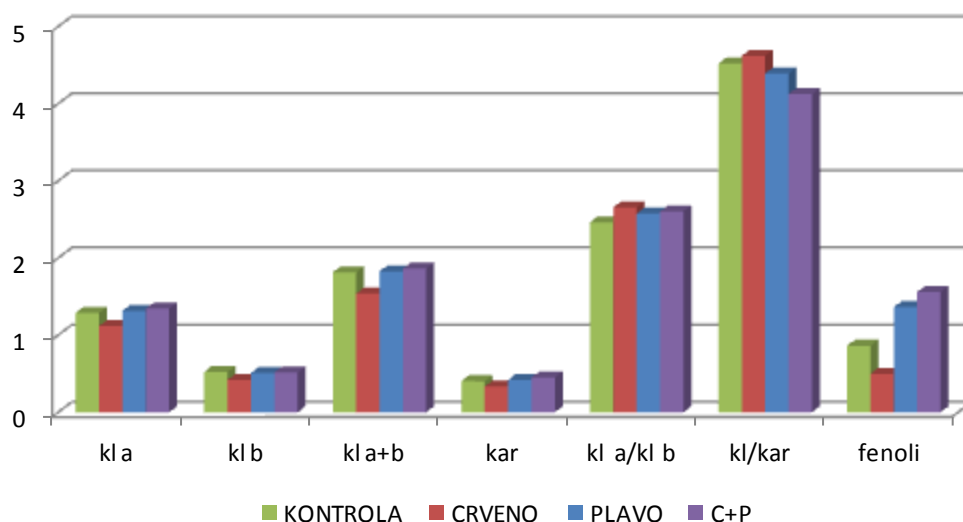


Fig. 2. SPAD value (chlorophyll content) of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes (LEDs) at 4 weeks after the onset of LED treatment. Control represents fluorescent lamp and high-pressure sodium lamp. The data indicate the means $\pm$ SE (n = 8). Significant at $P = 0.001$.

Slika 15. SPAD vrijednost dviju salata uzgajanih 4 tjedna pod različitim kombinacijama plave i crvene LED svjetlosti (Son i Oh, 2013.)



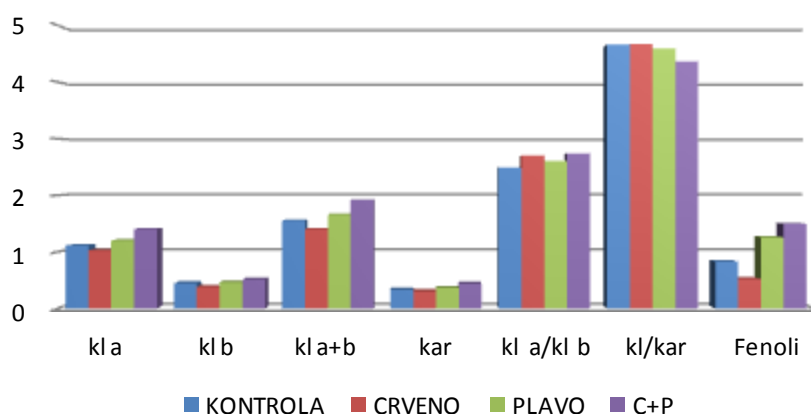
Graf 8. Prosječne vrijednosti pigmenta i fenola u listu paprike dobivene pri različitim varijantama LED osvjetljenja

Iz Grafa 8. vidimo kako su pod crveno plavim LED svjetlom utvrđene najveće vrijednosti sadržaja klorofila, karotenoida i fenola dok su najniže vrijednosti navedenih pokazatelja dobivene u tretmanu crveno LED svjetlo. Javanmardi i Emami (2013.) su kod rajčice koja je rasla pod plavim svjetlom ili pod kombinacijom plavog i crvenog svjetla utvrdili najnižu vrijednost klorofila, a kod paprike je najniža vrijednost zabilježena kod onih biljaka koje su rasle pod plavim svjetlom. Od prije se plavo svjetlo smatra važnim faktorom u formiranju klorofila i razvoju kloroplasta (Akoyunoglou i Anni, 1984.). Hogewoning i sur. (2010.) su naklijavali sjeme krastavca (*Cucumis sativus* cv. Hoffmanns Giganta) u kontroliranim uvjetima ispod bijelih fluorescentnih lampi. Nakon tjedan dana, kada su se kotiledone razvile, presadnice su presađene u hidroponski sustav te su biljke osvjetljavane u trajanju od 16 sati plavim (450 nm) i crvenim (638 nm) LED svjetlima s različitim udjelom plave svjetlosti (0B, 7B, 15B, 22B, 30B, 50B i 100B) u odnosu na crveno. Utvrdili su kako se sadržaj ukupnih klorofila u listu biljaka krastavaca povećavao s povećanjem udjela plavog svjetla.

Također, o povećanju pigmenata u listovima koji su rasli pod plavim svjetlom govore i Li i Kubota (2009.) koji su svojim istraživanjem utjecaja različitog svjetla na rast salate utvrdili da se koncentracija karotenoida povećala za 12 % kod varijante osvjetljenja s plavim svjetlom, a da se kod varijante osvjetljenja s daleko crvenim svjetlom koncentracija karotenoida i klorofila smanjila za 11 % i 14 % u usporedbi s biljkama u kontroli koje su rasle pod bijelim svjetlom. Slični su rezultati dobiveni i u našim istraživanjima gdje je u

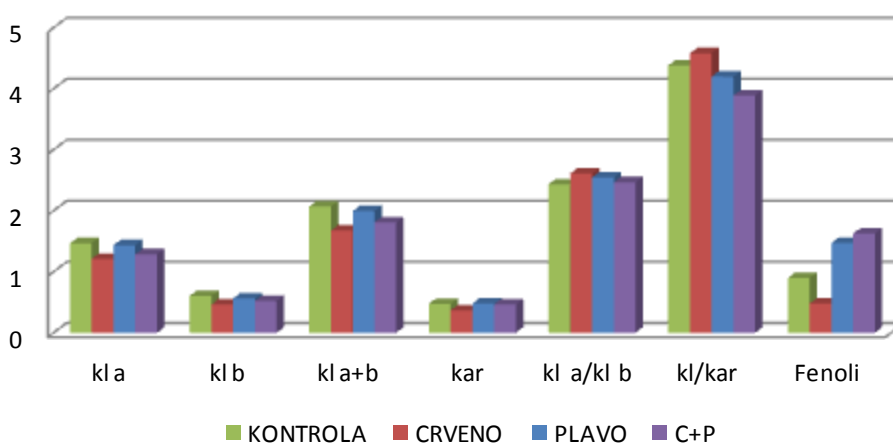
prvom terminu analize utvrđena znatno veća razlika u sadržaju klorofila između pojedinih varijanti osvjetljenja dok su u drugom terminu mjerenja te razlike bile nešto manje ali isto tako statistički značajne (Graf 9. i 10.).

1. mjerenje



Graf 9. Utjecaj varijante osvjetljenja na sadržaj pigmenata i fenola u prvom mjerenju

2. mjerenje (42 dana)



Graf 10. Utjecaj varijante osvjetljenja na sadržaj pigmenata i fenola u drugom mjerenju

Wu i sur. (2007.) su osvjetljavali sadnice graška crvenim (625-630 nm) i plavim (465-470 nm) svjetlom 96 sati te su proučavali promjene u sadržaju klorofila i β -karotena te uspoređivali rezultate s biljkama osvjetljivanih bijelim svjetlom. Sadržaj klorofila u listovima je naglo porastao kod sadnica pod plavim svjetlom, ali ne značajno, no zato je

sadržaj β -karotena bio značajno veći u lišću pod crvenim svjetlom. Johkan i sur. (2010.) tvrde kako je ukupni sadržaj klorofila kod biljaka salate pod plavim i crvenim svjetlom bio manji od utvrđenog u biljkama pod fluo svjetlom, a omjer klorofila a/b i sadržaj karotenoida se povećao pod plavim svjetlom (Slika 16.).

Table 2. Effects of light-emitting diode lights on contents of chlorophyll a, b, a/b ratio, and carotenoids in red leaf lettuce plants.

DAS ^z	Spectrum ^y	Total Chl ($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ DMW)	Chl a/b	Carotenoids ($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ DMW)
10	FL ^x	9.0	3.3	248
17	FL	8.6 a ^w	3.4 a	263 bc
	Blue (470 nm)	8.2 ab	4.1 b	287 ab
	Red (660 nm)	7.3 c	3.4 a	231 c
	Blue + red (470 + 660 nm)	8.1 b	4.0 b	304 a
45	FL	8.4 a	3.7 a	276 a
	Blue (470 nm)	6.7 a	3.6 a	228 a
	Red (660 nm)	7.3 a	3.5 a	247 a
	Blue + red (470 + 660 nm)	6.4 a	3.6 a	220 a

^zDays after sowing. 17 DAS = raising seedlings; 45 DAS = final cultivation.

^yPhotosynthetic photon flux $100 \pm 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

^xWhite fluorescent lamp.

^wDifferent letters indicate significance difference ($P < 0.05$; Tukey's multiple range test, $n = 6$).

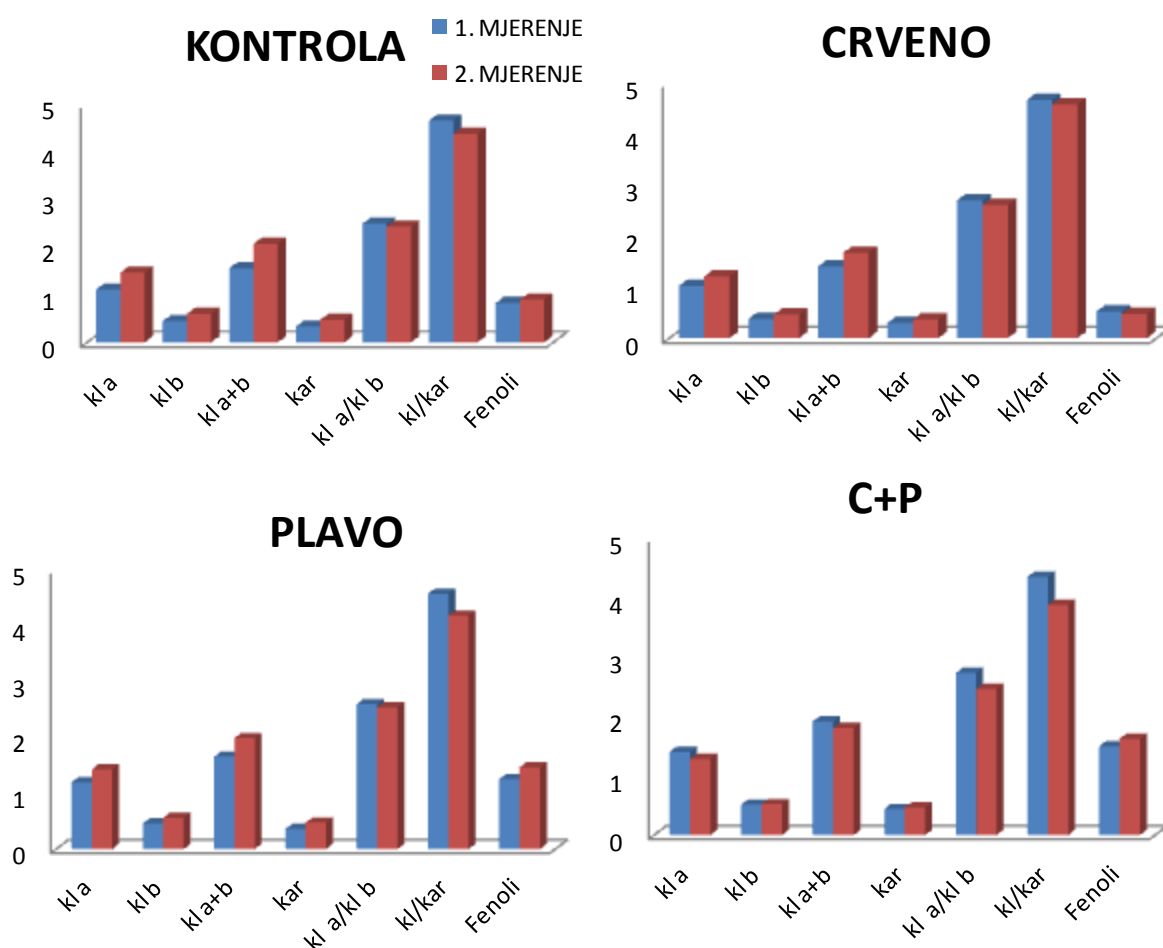
Slika 16. Utjecaj LED svjetla na sadržaj klorofila a, b, omjer a/b i karotenoida u listu salate (Johkan i sur., 2010.)

Ouzounis i sur. (2015.) su svojim istraživanjem utvrdili kako primjena dodatnog plavog svjetla povećava količinu pigmenata u dvije sorte salate Batavia i Lollo Rossa uzgajane u stakleniku u kasnu zimu pod prirodnim svjetlom i dopunskim osvjetljenjem različite dužine trajanja te na dvije razine gustoće fotona (45 i $80 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Utvrđeno je kako sve varijante dodatnog plavog osvjetljenja rezultiraju većom količinom pigmenata u odnosu na kontrolu. Samuoliene i sur. (2012.) su dobili slične rezultate koji su pokazali da je učinak dopunskog svjetla 455 (plavo), 470 (plavo) i 505 (zeleno) nm LED osvjetljenja s visokotlačnim natrijevim lampama povećao sadržaj fotosintetskih pigmenata svih biljnih presadnica (rajčica, paprika, krastavac). Ouzounis i sur. (2016.) su također utvrdili povećanje sadržaja klorofila i karotenoida u tri genotipa rajčice, od sveukupno njih devet, pod plavim svjetlom. Azad (2011.) tvrdi kako je plava svjetlost povećala ukupni sadržaj klorofila u listu paprike i do 2 puta u odnosu na kontrolu. Shin i sur. (2012.) su u svom istraživanju primijetili značajno povećanje fotosintetskih pigmenata u biljkama *Doritaenopsis* uzgojenim pod kombinacijom crvenog i plavog LED svjetla, u odnosu na čisto crveno, plavo ili fluorescentno svjetlo (Slika 17.).

Light treatments	Chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)			Chlorophyll a/b ratio	Carotenoids (mg g ⁻¹ FW)
	a	b	Total		
Fluorescent	2.3b	1.4bc	3.7b	1.7a	0.4b
Red LED	2.1c	1.1c	3.2c	1.8a	0.4b
Blue LED	2.3b	1.5b	3.8b	1.5b	0.4b
Red + blue LED	3.1a	1.8a	4.9a	1.7a	0.5a

^a Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, $P = 0.05$

Slika 17. Utjecaj crvenog, plavog, crveno+plavog LED svjetla i fluorescentnih cijevi na klorofile i karotenoide u listovima *Doritaenopsis* nakon osam tjedana. (Shin i sur., 2012.)



Graf 11. Utjecaj trajanja varijanti osvjetljenja na sadržaj pigmenata i fenola u listu paprike

Drugim mjerenjem je utvrđen porast svih mjerenih pigmenata pri svim varijantama osvjetljenja osim pri kombinaciji crveno+plavo LED osvjetljenje gdje je zamjećen pad

sadržaja klorofila. Razlog tomu može biti degradacija ili pak to da nije bilo potrebno sintetizirati puno klorofila jer je dovoljno svjetla za proces fotosinteze što je i fiziološka prilagodba biljaka u uvjetima dovoljne količine svjetla kada se smanjuje omjer klorofil/kloroplast. Također se iz Grafa 11. vidi kako su najviše vrijednosti utvrđene pri kombinaciji crvenog i plavog osvjetljenja, a najniže pri crvenom osvjetljenju.

Li i Kubota (2009.) tvrde kako je koncentracija fenola u listovima salate povećana za 6 % kod varijante osvjetljenja s crvenim svjetlom. Johkan i sur. (2010.) su utvrdili da je polifenolni sadržaj bio veći kod sadnica salate uzgajane pod plavim svjetlom nego kod onih pod fluorescentnim svjetlom (Slika 18.).

Table 3. Effects of light-emitting diode lights on contents of phenols, anthocyanin, chlorogenic acid, and TAS in red leaf lettuce plants.

DAS ^z	Spectrum ^y	Total phenols ^x (nmol·mg ⁻¹ DMW)	Chlorogenic acid (nmol·mg ⁻¹ DMW)	Anthocyanin (OD530 mg ⁻¹ DMW)	TAS ^w (nmol·mg ⁻¹ DMW)
10	FL ^v	55.4	2.5	0.07	278
17	FL	75.7 c ^u	6.2 b	0.08 c	332 c
	Blue (470 nm)	118.7 b	15.0 a	0.15 b	547 b
	Red (660 nm)	47.0 d	1.9 c	0.06 d	194 d
	Blue + red (470 + 660 nm)	161.6 a	14.7 a	0.27 a	749 a
45	FL	138.8 a	8.1 a	0.11 a	376 a
	Blue (470 nm)	126.8 a	6.7 a	0.14 a	424 a
	Red (660 nm)	139.9 a	8.7 a	0.12 a	421 a
	Blue + red (470 + 660 nm)	138.3 a	9.1 a	0.13 a	481 a

^zDays after sowing. 17 DAS = raising seedlings; 45 DAS = final cultivation.

^yPhotosynthetic photon flux $100 \pm 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

^xChlorogenic acid equivalent.

^wTotal antioxidant system, Trolox equivalent.

^vWhite fluorescent lamp.

^uDifferent letters indicate significance difference ($P < 0.05$; Tukey's multiple range test, $n = 6$).

Slika 18. Utjecaj LED svjetla na sadržaj fenola, antocijanina, klorogenične kiseline i ukupne antioksidativne sposobnosti (Johkan i sur., 2010.)

Ukupna koncentracija fenola i flavonoida u listovima salate je rasla pod visokim omjerima plavog LED svjetla (kao što su 59 B, 47 B i 35 B) i bila je značajno viša u usporedbi s 0 B ili kontrolom (Son i Oh, 2013.). Azad (2011.) tvrdi kako je crveno svjetlo povećalo ukupne fenole u listu paprike. Bantis i sur. (2016.) su ispitali utjecaj različitog LED svjetla na morfološka svojstva i sadržaj fenola biljaka bosiljka (*Ocimum basilicum*). Dva kultivara bosiljka „Lettuce Leaf (LL)“ i „Red Rubin (RR)“ su uzgajana pri pet različitih varijanti osvjetljenja u kontroliranim uvjetima u klima komori (Slika 19). Za sve tretmane PPFD je iznosio $200 \pm 20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Table 1

Spectral distribution and red:far-red (R:FR) ratio for the five light treatments.

Light treatments	<400 nm	400–500 nm	500–600 nm	600–700 nm	700–800 nm	R:FR
Control (FL)	0%	35%	24%	37%	4%	5.74
AP673L	0%	12%	19%	61%	8%	5.56
G2	0%	8%	2%	65%	25%	2.51
AP67	0%	14%	16%	53%	17%	2.77
NS1	1%	20%	39%	35%	5%	8.16

Slika 19. Objašnjenje pet tretmana svjetla korištenih pri istraživanju njihovog utjecaja na rast dva kultivara bosiljka (Bantis i sur.,2016.)

Ukupni sadržaj fenola bio je značajno viši pri tretmanu NS1 u odnosu na ostale tretmane. Sadržaj fenola kod sorte „LL“ je bio 3,9 puta veći od kontrole, a kod sorte „RR“ 3,7 puta veći također od kontrole. U zaključku autori tvrde kako proizvodnja fenolnih spojeva istodobno ovisi o svjetlosnim uvjetima, fiziološkim i biokemijskim čimbenicima (Slika 20.).

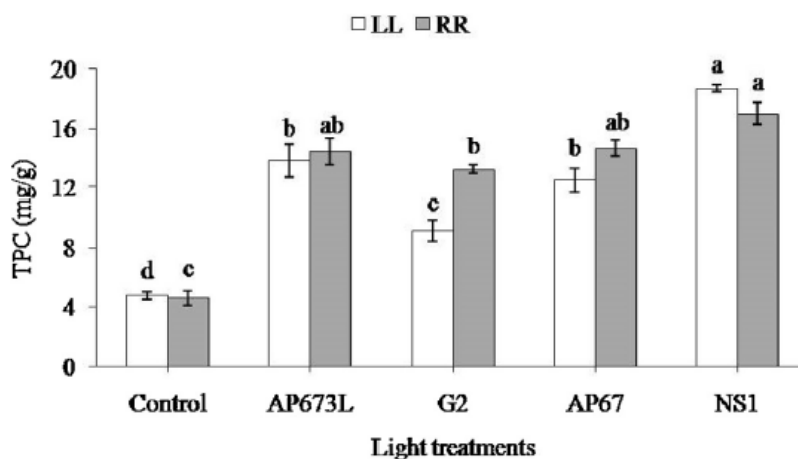


Fig. 3. Total phenolic content (TPC) of *Ocimum basilicum* “LL” and “RR” seedlings grown under the five different light treatments with the same abbreviations as in Table 1. Data are mean values ($n = 5$) $\pm$ SE. Error bars represent the SE. Bars followed by a different letter within a cultivar differ significantly ($\alpha = 0.05$).

Slika 20. Utjecaj pet tretmana svjetla na sadržaj ukupnih fenola u dva kultivara bosiljka (*Ocimum basilicum*) (Bantis i sur., 2016.)

Ouzounis i sur. (2015.) su u svojim istraživanjima na salati utvrdili da dodatno plavo svjetlo rezultira većom količinu fenolne kiseline i flavonoida u odnosu na kontrolu.

U našim istraživanjima, u svim varijantama osvjetljenja primjećen je rast sadržaja fenola u 2. mjerjenju s obzirom na sadržaj fenola u 1. mjerjenju osim pri crvenom LED osvjetljenju gdje je došlo do pada sadržaja fenola u listu paprike, međutim statistički beznačajnog.

6. ZAKLJUČAK

1. U prosjeku, širina listova, dužina listova, omjer širine/dužine listova, visina do 1. nodija, ukupna visina te omjer visine biljke/visine do 1. nodija su bili pod utjecajem sva četiri tretmana osvjetljenja, dok su pod utjecajem datuma mjerenja bili širina listova, dužina listova, ukupna visina biljke te omjer visine biljke/visine do 1. nodija.
2. Najviše vrijednosti svih morfoloških svojstava su bile utvrđene pod crveno+plavim LED svjetlom, osim visine do 1. nodija čije su najveće vrijednosti utvrđene pod crvenim LED svjetlom što upućuje na pojačano izduživanje biljaka uslijed slabe kvalitete i nedovoljne količine osvjetljenja.
3. Najniže vrijednosti širine i dužine listova su utvrđene kod biljaka uzgajanih pod crvenim LED svjetlom. Nadalje, omjer širine/dužine listova i omjer visine biljke/visine do 1. nodija je bio najmanji kod crvenog svjetla i kontrole.
4. Najmanja visina do 1. nodija je utvrđena kod biljaka koje su rasle pod plavim LED svjetlom, a ukupna visina biljaka je bila najmanja pod fluorescentnim svjetlom (kontrolom).
5. Najviše vrijednosti lisne površine i mase listova su utvrđene kod biljaka paprike koje su rasle pod kombinacijom crvenog i plavog svjetla, a najniže vrijednosti navedenog morfološkog pokazatelja rasta su utvrđene pod crvenim LED svjetlom.
6. Najveće povećanje lisne površine i mase listova od prvog do drugog termina mjerenja je utvrđeno u kontroli gdje je lisna površina porasla za 107 %, a masa listova za 132 %.
7. Najviša vrijednost SPAD indeksa je utvrđena u varijanti crveno+plavo LED osvjetljenje, a najniža vrijednost je utvrđena kod listova biljaka koji su rasli pri crvenom LED svjetlu.
8. Sve varijante osvjetljenja su imale utjecaj na klorofila a, klorofil b, klorofile a+b, karotenoide, omjer klorofila a/klorofila b, omjer klorofila/karotenoida te na fenole, dok je termin mjerenja utjecao na sve vrijednosti kloroplastnih pigmenata. Najniže vrijednosti svih pigmenata i fenola su utvrđene kod biljaka koje su rasle pod crvenim svjetlom.
9. Iz dobivenih podataka se može zaključiti da kombinacija plavog i crvenog LED osvjetljenja pozitivno djeluje na razvoj presadnica paprike te skraćuje period do formiranja prvih cvjetnih pupova.

7. POPIS LITERATURE

1. Akoyunoglou, G. and Anni, H. (1984.): Blue light effect on chloroplast development in higher plants. Blue light effects in biological systems. Springer-Verlag, Berlin
2. Azad, M.O.K., Chun, I.J., Jeong, J.H., Kwon, S.T., Hwang, J.M.(2011.): Response of the Growth Characteristics and Phytochemical Contents of Baby Pepper Plants (*Capsicum annuum* L.) with Supplemental LED Light in Glass House. Journal of Environment and Biosciences, 20, 182-188.
3. Bantis, F., Ouzounis, T., Radoglou, K. (2016.): Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. Scientia Horticulturae 198, 277-283.
4. Blaauw, O. and Blaauw-Jansen, G. (1970.): The phototropic responses of *Avena coleoptiles*. Acta Botan. Neer. 19, 755-763.
5. Brazaityte, A., Duchovskis, P., Urbonavičiute, A., Samuoliene, G., Jankauskiene, J., Kasiulevičiute – Bonakere, A., Bliznikas, Z., Novičkovas, A., Breive, K. and Žukauskas, A. (2009.): The effect of light-emitting diodes lighting on cucumber transplants and after-effect on yield. Zemdirbyste – Agriculture. 96, 102-118.
6. Brown, C.S., Schuerger A.C., Sager J.C. (1995.): Growth and Photomorphogenesis of Pepper Plants under Red Light-emitting Diodes with Supplemental Blue or Far-red Lighting. J. Amer. Soc.Hort.Sci. 120 (5) , 808-813.
7. Bula, R.J., Morrow, R.C., Tibbitts, T.W., Barta, D.J., Ignatius, R.W. and Martin, T.S. (1991.): Light-emitting diodes as a radiation source for plants. Scientia Horticulturae 26, 203-205.
8. Choi, H.G., Moon, B.Y., Kang, N.J. (2015.): Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. Scientia Horticulturae, Volume 189, 22-31.
9. Cosgrove, D.J. (1981.): Rapid suppression of growth by blue light. Plant Physiol. 67, 584-590.
10. Croxdale, J., Cook, M., Tibbitts, T.W., Brown, C.S. and Wheeler, R.M. (1997.): Structure of potato tubers formed during spaceflight. J.Expt.Bot. 48, 2037-2043.
11. Dadaček, N. i Peremin Volf, T. (2008.): Agroklimatologija. Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, Križevci
12. Dai, J., Mumper, R.J. (2010.): Plantphenolics: extraction, analysis and the antioxidant and anticancer properties. Molecules, 15, 7313-7352.

13. Daugher, T. and Bugbee, B. (2001.): Differences in the response of wheat, soybean and lettuce to reduced blue radiation. *Photochem. Photobiol.* 73, 199-207.
14. Devlin, P.F., Christie, J.M. and Terry, M.J. (2007.): Many hands make light work. *J. Expt. Bot.* 58, 3071-3077.
15. Fan, X.X., Xu, Z.G., Liu, X.Y., Tang, C.M., Wang, L.W., Han, X.I. (2013.): Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, Volume 153, 50-55.
16. Glowacka, B.(2004.): The effect of blue light on the height and habit of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) transplant. *Folia Hort.* 16, 3-10.
17. Hanyu, H. and Shoji, K. (2002.): Acceleration of growth in spinach by short-term exposure to red and blue light at the beginning and at the end of the daily dark period. *Acta Hort* 580, 145-150.
18. Heo, J.W., Lee, Y.B., Kim, D.E., Chang, Y.S., Chun, C. (2010.): Effects of Supplementary LED Lighting on Growth and Biochemical Parameters in *Dieffenbachia amoena* "Camella" and *Ficus elastica* "Melany". *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(1), 51-58.
19. Hernandez, R., Eguchi, T., Kubota, C. (2016.): Growth and morphology of vegetable seedlings under different blue and red photon flux ratios using light-emitting diodes as sole-source lighting. VIII International Symposium on Light in Horticulture. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.26
20. Hoenecke, M.E., Bula, R.J. and Tibbitts, T.W. (1992.): Importance of blue photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *Scientia Horticulturae* 27, 427-430.
21. Hogewoning, S.W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., Ieperen, W.V. and Harbinson, J. (2010.): Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of Experimental Botany.* 61(11), 3107-3117.
22. Ieperen, W. (2016.): Plant growth control by light spectrum: fact or fiction?. *Acta Hort. (ISHS)* 1134:19-24
23. Javanmardi, J. (2009.): Scientific and applied basis for vegetable transplant production. Mashad Univ. Press, Mashad, Iran.
24. Javanmardi, J. and Emami, S. (2013.): Response of Tomato and Pepper Transplants to Light Spectra Provided by Light Emitting Diodes. *International Journal of Vegetable Science.* 19, 138-149

25. Jeongwook, H., Lee, C., Chakrabarty, D. and Paek, K. (2002.): Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a Light-Emitting Diode (LED). *Plant Growth Regulation* 38, 225 - 230.
26. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S.N., and Yoshihara, T. (2010.): Blue Light-emitting Diode Light Irradiation of Seedlings Improves Seedling Quality and Growth after Transplanting in Red Leaf Lettuce. *Scientia Horticulturae*, 45(12), 1809-1814.
27. Jurčević, J. (2015.): Diplomski rad: Utjecaj LED osvjetljenja na klijavost salate. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, Mentor: Tomislav Vinković.
28. Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W., Paek, K.Y. (2004.): Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Scientia Horticulturae*. 101(1-2), 143-151.
29. Kozai, T., Ohya, K., Aftren, F., Zobayed, S., Kubota, C., Hoshi, T. and Chun, C. (1999.): Transplant production in closed systems with artificial lighting for solving global issues on environmental conservation, food, resource and energy. Proc. ACESYS III Conference, 20-20 July 1999., Rutgers University New Brunswick, N.J.
30. Lattanzio, V., Lattanzio, V.M.T., Cardinali, A. (2006.): Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. *Phytochemistry: Advances in Research*, Ed. Imperato, F. 23-67. Research Signpost, Trivandrum, Kerala, India
31. Lee, J.G., Oh, S.S., Cha, S.H., Jang, Y.A., Kim, S.Y., Um, Y.C., Cheong, S.R. (2010.): Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. *Bio-Environment Cont.* 19, 351-359.
32. Lešić, R. i sur. (2002.): Povrćarstvo. ZRINSKI d.d., Čakovec
33. Li, Q. and Kubota, C. (2009.): Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany* 67, 59-64
34. Lin, K.H., Huang, M.Y., Huang, W.D., Hsu, M.H., Yang, Z.W., Yang, C.M. (2013.): The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, Volume 150, 86-91.
35. Lisjak, M., Špoljarević, M., Agić, D., Andrić, L. (2009.): Praktikum iz fiziologije bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
36. Lovrić, S. (2014.): Završni rad: Fiziološka i ekološka značajnost fenolnih spojeva u biljci. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, 4. i 15.-18.str., Mentor: Vesna Rastija

37. Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M. and Mitchell, C.A. (2008.): Plant productivity in response to LED lighting. *Scientia Horticulturae*, 43 (7), 1951-1956.
38. Masson, J., Tremblay, N. and Gosselin, A. (1991.): Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence vegetable transplant production. I. Transplant growth. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* 116, 594-598.
39. Matotan, Z. (2004.): *Suvremena proizvodnja povrća*. Nakladni zavod Globus d.o.o., Zagreb
40. Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K. and Kurata, K. (2008.): Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant Cell Physiol* 49, 664-670.
41. McNellis, T.W. and Deng, X.W. (1995.): Light control of seedling morphogenetic pattern. *Plant Cell* 7, 1749-1761
42. Menard, C., Dorais, M., Hovi, T., Gosselin, A. (2006.): Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. *Acta Horticulturae* 711(711), 291-296. DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.711.39 07.08.2016.
43. Morrow, R.C. (2008.): LED Lighting in Horticulture. *Scientia Horticulturae* vol. 43 (7), 1947-1950.
44. Morrow, R.C., Duffie, N.A., Tibbitts, T.W., Bula, R.J., Barta, D.J., Ming, D.W., Wheeler, R.M. and Porterfield, D.M. (1995.): Plant response in the astroculture flight experiment unit. SAE Technical Paper, 951624.
45. Mortensen, L.M. and Strome, E. (1987.): Effects of light quality on some greenhouse crops. *Sci. Hort.* 33, 27-36.
46. Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V., Hao, X. (2016.): Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties. VIII International Symposium on Light in Horticulture. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.30. 07.08.2016.
47. Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V., Hao, X. (2016.): Using different ratios of red and blue LEDs to improve the growth of strawberry plants. VIII International Symposium on Light in Horticulture. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.17. 07.08.2016.
48. Ngoc Ai, T., Naing, A.H., Kim, C.K. (2016.): Influences of different light sources and light/dark cycles on anthocyanin accumulation and plant growth in *Petunia*. *J Plant Biotechnol.* 43, 119-124.

49. Ouzounis, T., Heuvelink, E., Ji, Y., Schouten, H.J., Visser, R.F.G., Marcelis, L.F.M. (2016.): Blue and red LED lighting effects on plant biomass, stomatal conductance, and metabolite content in nine tomato genotypes. VIII International Symposium on Light in Horticulture. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.34. 07.08.2016.
50. Ouzounis, T., Parjikolaei, B.R., Frette, X., Rosenqvist, E. and Ottosen, C.O. (2015.): Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigment in *Lactuca sativa*. Front. Plant Sci. 6:19. DOI: 10.3389/fpls.2015.00019.
51. Parađiković, L. (2015.): Diplomski rad: Utjecaj monokromatske svjetlosti na sadržaj funkcionalnih komponenti timijana (*Thymus vulgaris* L.). Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, 19. i 45.str. , Mentor: Tomislav Vinković
52. Parađiković, N. (2009.): Opće i specijalno povrćarstvo. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek
53. Patil, G.G., Oi, R., Gissinger, A. and Moe, R. (2001.): Plant morphology is affected by light quality selective plastic films and alternating day and night temperature. Gartenbauwissenschaft. 66, 53 - 60.
54. Pevalsek-Kozlina, B. (2003.): Fiziologija bilja. Profil international, Zagreb
55. Poudel, P. R., Kataoka I., Mochioka R. (2008.): Effect of red- and blue- light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. Plant Cell Tiss Organ Cult. 92, 147 - 153.
56. Sager, J., Edwards, J. and Klein, W. (1982.): Light energy utilization efficiency for photosynthesis. Trans. ASAE 25, 1737 - 1746.
57. Sager, J.C. and McFarlane, J.C. (1997.): Radiation, p. 1 - 29. In: Langhans, R.W. and Tibbitts, T.W.(eds.). Plant growth chamber handbook. Iowa State Univ. Press: North Central Region Research Publication No.340, Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Special Report no. 99, Ames, IA.
58. Samuoliene, G., Brazaityte, A., Duchovskis, P., Viršile, A., Jankauskiene, J., Sirtautas, R., Novičkovas, A., Sakalauskiene, S. and Sakalauskaite, J. (2012.): Cultivation of Vegetable Transplants Using Solid-State Lamps for the Short-Wavelength Supplementary Lighting in Greenhouses. Acta Hort. 952, 885 - 892.
59. Samuoliene, G., Brazaityte, A., Viršile, A., Šabajeviene, G., Duchovskis, P. (2010.): The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. Zemdirbyste, 97(2), 99 - 104.

60. Schuerger, A., Brown C.S., Stryjewski E.C. (1997.): Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany* 79, 273 - 282.
61. Schwartz, A. and Zeiger, E. (1984.): Metabolic energy for stomatal opening: Roles of photophosphorylation and oxidative phosphorylation. *Planta* 161, 129 - 136.
62. Shin, K.S., Murthy, H.N., Heo, J.W., Hahn, E.J., Paek, K.Y. (2007.): The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiol Plant.* 30, 339-343.
63. Somos, A. (1984.): The paprika. Akademiai Kiado, Budapest
64. Son, K.H. and Oh, M.M. (2013.): Leaf Shape, Growth, and Antioxidant Phenolic Compounds of Two Lettuce Cultivars Grown under Various Combinations of Blue and Red Light- emitting Diodes. *Scientia Horticulturae*, 48(8), 988-955.
65. Stankovic, B., Zhou, W. and Link, B.M. (2002.): Seed to seed growth of *Arabidopsis thaliana* on the International Space Station. SAE Technical Paper. 2002-01-2284.
66. Teklić, T. (2012.): Fiziologija bilja u povrćarstvu i cvjećarstvu. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek skripta
67. Vandre, W. (2006.): Fluorescent lights for plant growth. University of Alaska Fairbanks. College of Rural Alaska, Cooperative Extension Service.
68. Vinković, T., Parađiković, N., Tkalec, M., Lisjak, M., Teklić, T., Zmaić, K., Vidaković, M. (2016.): Utjecaj LED osvjetljenja na prinos i parametre rasta rajčice. *Poljoprivreda*, 22, 3-9.
69. Vrdoljak, M. (2015.): Diplomski rad: Utjecaj LED osvjetljenja na klijavost mrkve i špinata. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, Mentor: Tomislav Vinković
70. Whitelam C. G. and Halliday J. K. (2007.): Annual Plant Reviews, Light and Plant Development: Hiltbrunner A., Nagy F. and Schafer E., 3.
71. Wu, M.C., Hou, C.Y., Jiang, C.M., Wang, Y.T., Wang, C.Y., Chen, H.H., Chang, H.M. (2007.): A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. *Food Chemistry*. 101(4), 1753-1758.
72. Yanagi, T., Okamoto, K. and Takita, S. (1996.): Effect of blue, red and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. *Acta Hort.* 440, 117-122.
73. Yorio, N.C., Goins, G.D., Kagie, H.R., Wheeler, R.M. and Sager, J.C. (2001.): Improving spinach, radish and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *Scientia Horticulturae* 36, 380-383.

74. Zhou, W. (2005.): Advanced Astroculture plant growth unit: Capabilities and performances. SAE Tehnical Paper 2005-01-2840.

Internet stranice:

75. <https://www.uni-oldenburg.de/en/biology/landeco/download-and-service/software/lafore/>

pristupila: 23.09.2016.

8. SAŽETAK

Kvaliteta i količina svjetla su važni faktori za proizvodnju kvalitetnih presadnica povrća. Djelotvoran dio spektra za fotosintezu je u području crvene i plave svjetlosti pa se u proizvodnji presadnica često koristi dopunska LED rasvjeta koja emitira svjetlost upravo pri rasponu navedenih valnih duljina. Cilj ovog istraživanja je bio utvrditi utjecaj crvenog, plavog te kombinacije crvenog i plavog LED i fluorescentnog svjetla na morfološka svojstva, SPAD indeks te sadržaj klorofila, karotenoida i fenola u listu paprike (*Capsicum annuum* L.) u dva termina mjerenja tijekom rasta paprike. Najveći sadržaj klorofila, karotenoida, SPAD indeks te najveća lisna površina je utvrđena u varijanti tretmana crveno+plavo LED osvjetljenje. Najniže vrijednosti širine i dužine listova su utvrđene kod biljaka uzgajanih pod crvenim LED svjetlom dok je najmanja ukupna visina biljaka utvrđena kod biljaka uzgajanih pod fluorescentnim svjetlom. Iz navedenih rezultata možemo zaključiti da dodatno LED osvjetljenje koristeći kombinacije svjetlosti iz plavog i crvenog dijela spektra može pozitivno utjecati na rast i razvoj presadnica paprike. Daljnjim istraživanjima je potrebno utvrditi najpovoljniji omjer valnih duljina iz navedenog dijela spektra u različitim fazama rasta i razvoja ali i za pojedine sorte, pošto brojna istraživanja potvrđuju da je različiti odgovor sorti unutar iste biljne vrste.

9. SUMMARY

The quality and quantity of light are important factors for the production of quality seedlings of vegetables. Effective portion of the spectrum for photosynthesis is in the red and blue light, however, in the production of seedlings additional LED lighting that emits light just in the range of those wavelengths are often used. The aim of this study was to determine the effect of red, blue and combinations of red and blue LED lights and fluorescent lights on morphological characteristics, SPAD index and the content of chlorophyll, carotenoids and phenol in the leaves of pepper (*Capsicum annuum* L.) in two terms of measurements during the growth. The highest content of chlorophyll, carotenoids, SPAD index and the largest leaf area was established in the treatment red + blue LED illumination. The lowest values of the width and length of the leaves were found in plants grown under red LED light while the lowest total plant height determined in plants grown under fluorescent lights. From these results we conclude that additional LED lighting using a combination of light from the blue and red parts of the spectrum can positively affect the growth and development of seedlings of pepper. Further research is needed to determine the most favorable ratio of before mentioned wavelengths of the spectrum through the stages of growth and development as well as for individual varieties, because numerous studies confirm different response of certain varieties in the same plant species.

10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Utjecaj varijanti osvjetljenja i termina mjerenja te njihovih interakcija na širinu listova (Š.L.; cm), dužinu listova (D.L.; cm), omjer širine i dužine listova (Š.L./D.L.), visinu do prvog nodija (V do 1. N.; cm), ukupnu visinu biljke (V.B.; cm) te omjer ukupne visine biljke i visine do prvog nodija (V.B./V. do 1. N.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 19.)

Tablica 2. Utjecaj termina mjerenja, prikazanih po različitim varijantama osvjetljenja, na širinu listova (Š.L.; cm), dužinu listova (D.L.; cm), omjer širine i dužine listova (Š.L./D.L.), visinu do prvog nodija (V do 1. N.; cm), ukupnu visinu biljke (V.B.; cm) te omjer ukupne visine biljke i visine do prvog nodija (V.B./V. do 1. N.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 21.)

Tablica 3. Utjecaj varijante osvjetljenja, prikazanih po terminima mjerenja, na širinu listova (Š.L.; cm), dužinu listova (D.L.; cm), omjer širine i dužine listova (Š.L. / D.L.), visinu do prvog nodija (V do 1. N.; cm), ukupnu visinu biljke (V.B.; cm) te omjer ukupne visine biljke i visine do prvog nodija (V.B./V. do 1. N.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 23.)

Tablica 4. Utjecaj varijanti osvjetljenja i termina mjerenja te njihovih interakcija na lisnu površinu (mm²) i masu listova (g) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 24.)

Tablica 5. Utjecaj varijante osvjetljenja, prikazanih po terminima mjerenja, na lisnu površinu (mm²) i masu listova (g) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 25.)

Tablica 6. Utjecaj termina mjerenja, prikazanih po različitim varijantama osvjetljenja, na lisnu površinu (mm²) i masu listova (g) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 26.)

Tablica 7. Utjecaj varijanti osvjetljenja i termina mjerenja te njihovih interakcija na SPAD indeks kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 27.)

Tablica 8. Utjecaj varijante osvjetljenja, prikazanih po terminima mjerenja, na SPAD indeks kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 28.)

Tablica 9. Utjecaj termina mjerenja, prikazanih po različitim varijantama osvjetljenja na SPAD index kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 29.)

Tablica 10. Utjecaj varijanti osvjetljenja i termina analize te njihovih interakcija na klorofil a (kl a; mg/g Sv.T.), klorofil b (kl b; mg/g Sv.T.), klorofil a+b (kl a+b; mg/g Sv.T.), karotenoide (kar; mg/g Sv.T.), omjer klorofila a i klorofila b (kl a/kl b), omjer klorofila i karotenoida (kl/kar) te fenola (mg/g Sv.T.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 30.)

Tablica 11. Utjecaj varijante osvjetljenja, prikazanih po terminima analize, na klorofil a (kl a), klorofil b (kl b), klorofil a+b (kl a+b), karotenoide (kar), omjer klorofila a i klorofila b (kl

a/kl b) , omjer klorofila i karotenoida (kl/kar) te fenole (mg/g Sv.T.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 31.)

Tablica 12. Utjecaj termina analize, prikazanih po različitim varijantama osvjetljenja, na klorofil a (kl a), klorofil b (kl b), klorofil a+b (kl a+b), karotenoide (kar), omjer klorofila a i klorofila b (kl a /kl b) , omjer klorofila i karotenoida (kl/kar) te fenola (mg/g Sv.T.) kod biljaka paprike (*Capsicum annuum* L.). (Stranica 32.)

11. POPIS SLIKA

Slika 1. Morfogeneza izdanaka tri genotipa vinove loze pod različitim LED svjetlom (Poudel i sur., 2008.) (Stranica 7.)

Slika 2. Utjecaj različitog svjetla na asimilacijski indeks jagoda „Elkat“ (Samuoliene i sur., 2010.) (Stranica 11.)

Slika 3. Sadržaj i odnos fotosintetskih pigmenata u listovima jagode pod crvenim i crveno+plavim LED tretmanom (Samuoliene i sur., 2010.) (Stranica 11.)

Slika 4. (a i b) Postavljen pokus (Stranica 16.)

Slika 5. Utjecaj različitih kombinacija crveno+plavog svjetla na indeks oblika lista dviju sorti salate (Son i Oh, 2013.) (Stranica 35.)

Slika 6. Biljke salate tretirane različitim kombinacijama crveno+plavog svjetla (Son i Oh, 2013.) (Slika 35.)

Slika 7. Zelena boja stabljike presadnica paprike koje su rasle pod crvenim LED svjetlom (Stranica 37.)

Slika 8. Stabljike presadnica paprike pod crveno+plavim LED svjetlom su ljubičaste boje (Stranica 37.)

Slika 9. Korijenčići na stabljici presadnica paprike koje su rasle pod crveno+plavim LED svjetlom (Stranica 38.)

Slika 10. Presadnice paprike 24 dana nakon postavljanja pokusa (Gore lijevo: plavo osvjetljenje; dolje lijevo: kontrola; gore desno: crveno plavo osvjetljenje; dolje desno: crveno osvjetljenje) (Stranica 41.)

Slika 11. Presadnice paprike 41 dan nakon postavljanja pokusa (Gore lijevo: plavo osvjetljenje; dolje lijevo: kontrola; gore desno: crveno plavo osvjetljenje; dolje desno: crveno osvjetljenje) (Stranica 41.)

Slika 12. Prvi cvjetni pupovi pod crveno+plavim LED svjetlom 32 dana nakon postavljanja pokusa (Stranica 42.)

Slika 13. Morfologija salate uzgajane pod fluorescentnim svjetlom, plavim, crvenim i plavo+crvenim LED svjetlom 17 i 45 dana (Johkan i sur., 2010.) (Stranica 43.)

Slika 14. Utjecaj različitih tretmana svjetla na sadržaj klorofila u tri genotipa vinove loze (Poudel i sur., 2008.) (Stranica 45.)

Slika 15. SPAD vrijednost dviju salata uzgajanih 4 tjedna pod različitim kombinacijama plave i crvene LED svjetlosti (Son i Oh, 2013.) (Stranica 45.)

Slika 16. Utjecaj LED svjetla na sadržaj klorofila a, b, omjer a/b i karotenoida u listu salate (Johkan i sur., 2010.) (Stranica 48.)

Slika 17. Utjecaj crvenog, plavog, crveno+plavog LED svjetla i fluorescentnih cijevi na klorofile i karotenoide u listovima *Doritaenopsis* nakon osam tjedana (Shin i sur., 2012.) (Stranica 49.)

Slika 18. Utjecaj LED svjetla na sadržaj fenola, antocijanina, i klorogenične kiseline i ukupne antioksidativne sposobnosti (Johkan i sur., 2010.) (Stranica 50.)

Slika 19. Objašnjenje pet tretmana svjetla korištenih pri istraživanju njihovog utjecaja na rast dva kultivara bosiljka (Bantis i sur., 2016.) (Stranica 51.)

Slika 20. Utjecaj pet tretmana svjetla na sadržaj ukupnih fenola u dva kultivara bosiljka (*Ocimum basilicum*) (Bantis i sur., 2016.) (Stranica 51.)

12. POPIS GRAFIKONA

Graf 1. Prikaz utjecaja varijante osvjetljenja na morfološka svojstva biljaka paprike (Stranica 34.)

Graf 2. Utjecaj trajanja i varijante osvjetljenja na širinu listova paprike (cm) (Stranica 36.)

Graf 3. Utjecaj trajanja i varijante osvjetljenja na dužinu listova paprike (cm) (Stranica 36.)

Graf 4. Utjecaj trajanja osvjetljenja na porast biljaka paprike (Stranica 37.)

Graf 5. Utjecaj varijanti osvjetljenja na lisnu površinu i masu listova paprike (Stranica 40.)

Graf 6. Utjecaj trajanja tretmana svjetla te varijante tretmana na lisnu površinu i masu listova (Stranica 42.)

Graf 7. Vrijednosti SPAD indeksa listova paprike po terminima mjerenja u različitim osvjetljenjima (Stranica 44.)

Graf 8. Prosječne vrijednosti pigmenta i fenola u listu paprike dobivene pri različitim varijantama LED osvjetljenja (Stranica 46.)

Graf 9. Utjecaj varijante osvjetljenja na sadržaj pigmenata i fenola u prvom mjerenju (Stranica 47.)

Graf 10. Utjecaj varijante osvjetljenja na sadržaj pigmenata i fenola u drugom mjerenju (Stranica 47.)

Graf 11. Utjecaj trajanja varijanti osvjetljenja na sadržaj pigmenta i fenola u listu paprike (Stranica 49.)

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij, smjer Povrćarstvo i cvjećarstvo

Diplomski rad

UTJECAJ SVJETLOSTI NA POKAZATELJE RASTA PAPRIKE (*Capsicum annuum* L.)

Marija Kristić

Sažetak:

Kvaliteta i količina svjetla su važni faktori za proizvodnju kvalitetnih presadnica povrća. Djelotvoran dio spektra za fotosintezu je u području crvene i plave svjetlosti pa se u proizvodnji presadnica često koristi dopunska LED rasvjeta koja emitira svjetlost upravo pri rasponu navedenih valnih duljina. Cilj ovog istraživanja je bio utvrditi utjecaj crvenog, plavog te kombinacije crvenog i plavog LED i fluorescentnog svjetla na morfološka svojstva, SPAD indeks te sadržaj klorofila, karotenoida i fenola u listu paprike (*Capsicum annuum* L.) u dva termina mjerenja tijekom rasta paprike. Najveći sadržaj klorofila, karotenoida, SPAD indeks te najveća lisna površina je utvrđena u varijanti tretmana crveno+plavo LED osvjetljenje. Najniže vrijednosti širine i dužine listova su utvrđene kod biljaka uzgajanih pod crvenim LED svjetlom dok je najmanja ukupna visina biljaka utvrđena kod biljaka uzgajanih pod fluorescentnim svjetlom. Iz navedenih rezultata možemo zaključiti da dodatno LED osvjetljenje koristeći kombinacije svjetlosti iz plavog i crvenog dijela spektra može pozitivno utjecati na rast i razvoj presadnica paprike. Daljnjim istraživanjima je potrebno utvrditi najpovoljniji omjer valnih duljina iz navedenog dijela spektra kroz pojedine faze rasta i razvoja ali i za pojedine sorte, pošto brojna istraživanja potvrđuju da je različiti odgovor pojedinih sorti unutar iste biljne vrste.

Rad je izrađen pri: Poljoprivredni fakultet u Osijeku

Mentor: doc.dr.sc. Miroslav Lisjak

Broj stranica: 68

Broj slika i grafikona: 31

Broj tablica: 12

Broj literaturnih navoda: 75

Broj priloga: 0

Jezik izvornika: Hrvatski

Ključne riječi: LED osvjetljenje, paprika, pigmenti, fenoli, SPAD indeks

Datum obrane: 30.09.2016.

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof.dr.sc. Tihana Teklić, predsjednik
2. doc.dr.sc. Miroslav Lisjak, mentor
3. prof.dr.sc. Nada Parađiković, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku, Sveučilište u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Faculty of Agriculture

University Graduate Studies, course Vegetable and flower growing

Graduate thesis

THE INFLUENCE OF LIGHT ON GROWTH PARAMETERS OF PEPPER

(Capsicum annuum L.)

Marija Kristić

Abstract:

The quality and quantity of light are important factors for the production of quality seedlings of vegetables. Effective portion of the spectrum for photosynthesis is in the red and blue light, however, in the production of seedlings additional LED lighting that emits light just in the range of those wavelengths are often used. The aim of this study was to determine the effect of red, blue and combinations of red and blue LED lights and fluorescent lights on morphological characteristics, SPAD index and the content of chlorophyll, carotenoids and phenol in the leaves of pepper (*Capsicum annuum* L.) in two terms of measurements during the growth. The highest content of chlorophyll, carotenoids, SPAD index and the largest leaf area was established in the treatment red + blue LED illumination. The lowest values of the width and length of the leaves were found in plants grown under red LED light while the lowest total plant height determined in plants grown under fluorescent lights. From these results we conclude that additional LED lighting using a combination of light from the blue and red parts of the spectrum can positively affect the growth and development of seedlings of pepper. Further research is needed to determine the most favorable ratio of before mentioned wavelengths of the spectrum through the stages of growth and development as well as for individual varieties, because numerous studies confirm different response of certain varieties in the same plant species.

Thesis performed at: Faculty of Agriculture in Osijek

Mentor: PhD Miroslav Lisjak, assistant professor

Number of pages: 68

Number of figures: 31

Number of tables: 12

Number of references: 75

Number of appendices: 0

Original in: Croatian

Key words: LED lights, pepper, pigments, phenols, SPAD index

Thesis defended on date: 30.09.2016.

Reviewers:

1. PhD Tihana Teklić, full professor

2. PhD Miroslav Lisjak, assistant professor

3. PhD Nada Parađiković, full professor

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agriculture in Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Kralja Petra Svačića 1d.