

Prinos i sadržaj fitonutrijenata mladih izdanaka brokule uz primjenu različitog spektra led osvjetljenja

Debelec, Kristijan

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:595107>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**PRINOS I SADRŽAJ FITONUTRIJENATA MLADIH IZDANAKA
BROKULE UZ PRIMJENU RAZLIČITOG SPEKTRA LED
OSVJETLJENJA**

DIPLOMSKI RAD

Kristijan Debelec

Zagreb, rujan, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Hortikultura - Ukrasno bilje

**PRINOS I SADRŽAJ FITONUTRIJENATA MLADIH IZDANAKA
BROKULE UZ PRIMJENU RAZLIČITOG SPEKTRA LED
OSVJETLJENJA**

DIPLOMSKI RAD

Kristijan Debelec

Mentor:

prof. dr. sc. Božidar Benko

Zagreb, rujan, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Kristijan Debelec**, JMBAG 0068220701, rođen 28.07.1994. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

**PRINOS I SADRŽAJ FITONUTRIJENATA MLADIH IZDANAKA BROKULE UZ PRIMJENU
RAZLIČITOG SPEKTRA LED OSVJETLJENJA**

Svojim potpisom jamčim:

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

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Kristijan Debelec**, JMBAG 0068220701, naslova

**PRINOS I SADRŽAJ FITONUTRIJENATA MLADIH IZDANAKA BROKULE UZ PRIMJENU RAZLIČITOG
SPEKTRA LED OSVJETLJENJA**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Prof. dr. sc. Božidar Benko

2. Izv. prof. dr. sc. Jana Šic Žlabur

3. Izv. prof. dr. sc. Sanja Fabek Uher

Zahvala

Ovime zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Božidaru Benku, na svoj pruženoj pomoći, suradnji i strpljivosti. Zahvaljujem se svojim roditeljima koji su držali nadu za moj uspjeh te gledali dalje od mene i gurali me najbolje što su znali te mi omogućili više obrazovanje. Posebne zahvale baki i dedi na podršci i dobroj vjeri te braći koja su me podržavala savjetima za lakše učenje. Zahvale svim kolegama koji su dijelili materijale ključne za polaganje i najtežih ispita te zahvale prijateljima za emocionalnu podršku, dobru volju i savjete što je pomoglo lakšem prolasku mog obrazovanja. Posebne zahvale Marku K., koji mi je svojom otvorenom direktnošću pomagao savjetima u životnim situacijama, poslovnim i privatnim. Na kraju, želio bih zahvaliti sebi, što sam vjerovao u sebe, što nisam odustajao, imao strpljenja i nastavio se boriti kroz sve što mi je život stavljao na put.

Sadržaj

1. Uvod	1
1.1. Cilj rada.....	1
2. Pregled literature	2
2.1. Brokula	2
2.2. Mladi izdanci	2
2.3. Vertikalni uzgoj.....	3
2.4. Osvjetljenje svjetlećim diodama	4
3. Materijali i metode rada	5
3.1. Postavljanje i provedba pokusa	5
3.2. Analiza ukupne suhe tvari	6
3.4. Analiza polifenolnih spojeva	7
3.5. Analiza pigmentnih spojeva	9
3.6. Analiza antioksidacijskog kapaciteta.....	11
3.7. Statistička obrada podataka.....	11
4. Rezultati i rasprava	12
4.1. Prinos mladih izdanaka	12
4.2. Sadržaj ukupne suhe tvari	13
4.3. Ukupni polifenolni spojevi.....	14
4.3.1. Ukupni flavonoidi i neflavonoidi.....	15
4.4. Sadržaj pigmentnih spojeva	16
4.5. Antioksidacijski kapacitet - FRAP metoda	20
6. Popis literature	22
Životopis	26

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Kristijan Debelec**, naslova

PRINOS I SADRŽAJ FITONUTRIJENATA MLADIH IZDANAKA BROKULE UZ PRIMJENU RAZLIČITOG SPEKTRA LED OSVJETLJENJA

Vertikalni uzgoj je tehnika uzgoja bilja u više razina, jedna iznad druge. Uključuje kontrolirane uvjete uzgoja koji optimiziraju rast biljaka kao i primjenu hidroponskih tehnika uzgoja. Cilj rada je utvrditi prinos i sadržaj fitonutrijenata mladih izdanaka brokule iz vertikalnog uzgoja uz primjenu LED dopunskog osvjetljenja različitih valnih duljina. Pokus je postavljen u komori za rast biljaka s kontroliranim uvjetima temperature i vlage zraka (25 °C, 60% relativne vlage zraka). U uzgoju mladih izdanaka brokule, nakon nicanja primijenjeno je dopunsko osvjetljenje svjetlećim, diodama sa tri različita spektra (crveni – 620 nm, plavi – 450 nm i kombinacija crvenog i plavog spektra 50:50%) i trajanjem fotoperioda 14 sati. Berba mladih izdanaka obavljena je 8 dana nakon sjetve. Prinos mladih izdanaka brokule uz primjenu kombiniranog crveno-plavog spektra te plavog spektra LED osvjetljenja iznosio je 1,2 kg/m², dok je uz primjenu crvenog spektra bio znatno manji i iznosio 1,05 kg/m². Najveći udio suhe tvari mladih izdanaka brokule uz primjenu kombiniranog crveno-plavog spektra LED osvjetljenja iznosio je 6,72 %. Primjena plavog LED osvjetljenja rezultirala je značajno većim sadržajem pigmentnih spojeva (klorofil a, ukupni klorofili, karotenoidi) u mladim izdancima brokule u usporedbi s crvenim, odnosno, kombiniranim crveno-plavim LED osvjetljenjem. Primjena kombiniranog spektra zračenja (620 nm +450 nm) rezultirala je značajno većim sadržajem ukupnih fenola i flavonoida u odnosu na plavi i crveni spektar LED osvjetljenja. Najviši antioksidacijski kapacitet utvrđen je u mladim izdancima uzgojenim uz primjenu kombiniranog crveno-plavog LED osvjetljenja (1228,21 μmol TE/g uzorka).

Ključne riječi: *Brassica oleracea* L. var. *italica*, mladi izdanci, LED, vertikalni uzgoj

Summary

Of the master's thesis – student **Kristijan Debeleć**, titled

YIELD AND PHYTONUTRIENT CONTENT OF BROCCOLI MICROGREENS USING DIFFERENT SPECTRUM OF LED LIGHTING

Vertical cultivation is a technique of growing plants in several levels, one above the other. It includes controlled growing conditions that optimize plant growth as well as the application of hydroponic growing techniques. The aim of the work is to determine the yield and content of phytonutrients of young broccoli shoots from vertical cultivation with the use of LED supplemental lighting of different wavelengths. The experiment was set up in a plant growth chamber with controlled temperature and humidity conditions (25 °C, 60% relative humidity). In the cultivation of young broccoli shoots, after emergence, supplemental lighting was applied with fluorescent diodes with three different spectra (red - 620 nm, blue - 450 nm and a combination of red and blue spectrum 50:50%) and a photoperiod duration of 14 hours. Young shoots were harvested 8 days after sowing. The yield of young broccoli shoots with the application of the combined red-blue spectrum and the blue spectrum of LED lighting was 1.2 kg/m², while with the application of the red spectrum it was significantly lower and amounted to 1.05 kg/m². The highest proportion of dry matter of young broccoli shoots with the application of the combined red-blue spectrum of LED lighting was 6.72%. The use of blue LED lighting resulted in a significantly higher content of pigment compounds (chlorophyll a, total chlorophylls, carotenoids) in young broccoli shoots compared to red, i.e., combined red-blue LED lighting. The use of a combined radiation spectrum (620 nm +450 nm) resulted in a significantly higher content of total phenols and flavonoids compared to the blue and red spectrum of LED lighting. The highest antioxidant capacity was determined in young shoots grown with the use of combined red-blue LED lighting (1228.21 μmol TE/g sample).

Keywords: *Brassica oleracea* L. var. *italica*, microgreens, LED, vertical farming

1. Uvod

Posljednjih godina sve je veći interes potrošača za zdravom hranom zbog osviještenosti o važnosti konzumacije raznolikih namirnica u prevenciji bolesti koje se sve češće javljaju u današnjem društvu radi neodgovarajuće prehrane (Ebert i sur., 2014). Prema definiciji International Food Information Council-a (IFIC), funkcionalna hrana je ona koja pruža veću dobrobit za zdravlje nego osnovna prehrana (Čalić i sur., 2011). Jedna od funkcionalnih namirnica koja se nalazi i na hrvatskom tržištu su mladi izdanci različitog povrća, aromatičnog bilja i žitarica, odnosno biljke u razvojnoj fazi kotiledona i djelomično ili potpuno razvijenih prvih pravih listova (Cerjak i sur., 2019; Di Gioia i sur., 2015). Mladi izdanci (eng. *microgreens*) smatraju se funkcionalnom hranom zato što dokazano imaju veću nutritivnu vrijednost u odnosu na ostale faze zrelosti određenih kultura (Bulgari i sur., 2021).

Vertikalni uzgoj je poljoprivredna tehnika koja uključuje veliku proizvodnju bilja u više razina u visokim građevinama. Omogućuje brzi rast i planiranu proizvodnju kontroliranjem okolišnih uvjeta i hranivih tvari za usjeve temeljene na hidroponiji, korištenjem najsuvremenijih metoda i tehnologija uzgoja u komorama rasta biljka (Abel, 2010; Banerjee i sur., 2014; Despommier, 2011). Proizvodnja se odvija tijekom cijele godine, a prednosti uključuju smanjenje upotrebe pesticida i herbicida te manju potrošnju vode, čak do 70% manje nego tradicionalnom poljoprivredom (Despommier, 2011).

Učinci svjetlosti na rast i razvoj biljaka ovise o valnim duljinama svjetlosnog spektra koje biljka apsorbira. Valna duljina, intenzitet zračenja i fotoperiod su najvažniji čimbenici svjetlosti koji utječu na prinos, morfološka svojstva, te kemijski sastav biljaka (Hasan i sur., 2017). Fotosintetski aktivno zračenje (*Photosynthetic Active Radiation*; PAR), uključuje valne duljine u rasponu od 400 do 800 nm koje apsorbiraju dva glavna fotoreceptora: fitokromi, apsorbiraju crvene (600 do 700 nm) i tamno-crvene (700 do 800 nm) valne duljine, kriptokromi apsorbiraju plave (400 do 500 nm) i ultraljubičaste (280 do 400 nm) valne duljine (Hasan i sur., 2017; Zhang i sur., 2020).

Primjena valnih duljina crvenog spektra povećava biomasu, aktivira antioksidacijski sustav u biljci te povećava koncentraciju fenola. Primjena valnih duljina plavog spektra povećava sintezu klorofila, sadržaj polifenolnih spojeva i askorbinske kiseline (Lobiuc i sur., 2017; Ying i sur., 2020). Uz jednospektralno crveno svjetlo, kombinacija crvenih i plavih (crveno:plavih) LED dioda povećava nakupljanje primarnih metabolita, kao i antocijana, ukupnih polifenola i flavonoida (Hasan i sur., 2017).

1.1. Cilj rada

Cilj rada je utvrditi prinos i sadržaj fitonutrijenata mladih izdanaka brokule iz vertikalnog uzgoja uz primjenu LED dopunskog osvjetljenja različitih valnih duljina.

2. Pregled literature

2.1. Brokula

Brokula (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) je povrće iz porodice Brassicaceae kojoj pripadaju i cvjetača, kupus, kelj, koraba, kelj pupčar, postrna repa, raštika i druge. U ljudskoj prehrani koristi se vršni cvat te postrani cvatovi brokule smješteni na razgranatoj stabljici (Radojčić Redovniković i sur., 2016). Poput drugih vrsta iz porodice kupusnjača, brokula je bogat izvor, za zdravlje važnih, nutrijenata, vitamina te fitokemikalija (glukozinolata, polifenola, karotenoida). Povećano konzumiranje povrća iz skupine kupusnjača povezano je sa širokim spektrom pozitivnih utjecaja na smanjenje rizika kod uznapredovalih kroničnih bolesti, osobito na rizike povezane s razvojem raznih vrsta tumora (pluća, želuca, kolorektalnog sustava i prostate) (Podsędek, 2007; Moreno i sur., 2006).

Pozitivno djelovanje brokule na ljudsko zdravlje očituje se kroz antikancerogeno, protuupalno, imuno-stimulirajuće, protugljivično, protubakterijsko i protuvirusno djelovanje (Hollman i sur., 2000).

2.2. Mladi izdanci

Tijekom zadnjih dvadesetak godina raste interes potrošača za svježom, funkcionalnom i nutritivno bogatom hranom (Kyriacou i sur., 2016). Mladi izdanci (slika 2.2.1.) su specifični i popularani za uzgoj zbog jednostavnog i kratkog ciklusa uzgoja (Ebert i sur., 2015) i lakog klijanja (Kyriacou i sur., 2016). Za razliku od klijanaca, prema Berba i Uchanski (2012), proizvodnja mladih izdanaka je nešto duža te traje 7 do 10 dana, odnosno, 7 do 21 dan od početka klijanja do berbe (Di Gioia i sur., 2015).

Mladi izdanci predstavljaju novu kategoriju povrća s drugačijim svojstvima u odnosu na već poznate klijance i uobičajeno svježe rezano lisnato povrće (Di Gioia i sur., 2015).



Slika 2.2.1. Mladi izdanci brokule u rastu pod dodatnim osvjetljenjem (Foto: K. Debelec)

Sadržaj bioaktivnih spojeva u klijancima i mladim izdancima je veći nego u biljkama u tehnološkoj zrelosti (Kyriacou i sur., 2016.). Mladi izdanci mogu se jednostavno uzgojiti u zaštićenom prostoru, primjerice u plastenicima, staklenicima ili visokim tunelima te na otvorenom prostoru, ali i u kućanstvima. Također je popularna i hidroponska proizvodnja čiji se uzgoj temelji na hranivim otopinama bez supstrata tehnikom hranivog filma i tehnikom plime i oseke (Opačić i sur., 2018).

Zbog jednostavnog i uspješnog uzgoja koji ne zahtijeva velike uzgojne površine, može se lako proizvoditi u urbanim i prigradskim područjima gdje je zemljište ograničavajući faktor (Van lersel i sur., 2017).

Značaj mladih izdanaka jest u njihovoj nutritivnoj i potencijalno bioaktivnoj vrijednosti. Vrste koje se najčešće uzgajaju za upotrebu u fazi mladih izdanaka pripadaju porodicama Brassicaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae, Lamiaceae, Apiaceae, Amarillydaceae, Amaranthaceae i Cucurbitaceae (Kyriacou i sur., 2016). Mladi izdanci nude novu nišu na tržištu za proizvođače povrća, a mogu ih lako uzgajati i sami potrošači, posebno u gradskim ili predgradskim sredinama, pružajući stalan, cjelogodišnji izvor lako dostupnog, svježeg proizvoda bogatog hranjivim tvarima (Ebert i sur., 2015).

2.3. Vertikalni uzgoj

Riječ hidroponika dolazi od dvije grčke riječi '*hydro*' što znači voda i '*ponos*' što znači rad. Ovu riječ prvi puta 1929. godine upotrebljava dr. Gericke, koji je laboratorijsku tehniku razvio u komercijalni sustav uzgoja biljaka (Dunn i sur., 2017). Vertikalni uzgoj često uljučuje kontrolirane uvjete uzgoja (slika 2.3.1.) unutar visokih zgrada, čime se stvara bolja osiguranost hrane za urbanu populaciju (Despommier, 2011). Ovaj koncept također omogućava značajnu redukciju ugljičnog otiska poljoprivrede, smanjujući potrebu za transportom hrane te stvarajući nova radna mjesta (Despommier, 2011).

Sustav „*Ebb and Flow*“ (plima i oseka) funkcionira tako da otopina privremeno preplavi stolove za uzgoj hranivom otopinom, a zatim se otopina ispusti natrag u spremnik. Ova se radnja obično izvodi s potopnom pumpom spojenom na mjerač vremena. Tajmer je postavljen da se uključi nekoliko puta dnevno, ovisno o veličini i vrsti biljaka, temperaturi, vlažnosti i vrsti korištenog medija za uzgoj (Dunn i sur., 2017).



Slika 2.3.1. Vertikalni uzgoj u kontroliranim uvjetima

Izvor: U.S. Department of agriculture

<https://www.usda.gov/media/blog/2018/08/14/vertical-farming-future>

2.4. Osvjetljenje svjetlećim diodama

Intenzitet zračenja i fotoperiod svjetlećih dioda (LED) najvažniji su čimbenici koje je potrebno optimizirati u uzgoju biljaka u zaštićenim prostorima (Negri i sur., 2021). Vrste svjetiljki koje se obično koriste kao dodatna rasvjeta u staklenicima i klimatskim komorama su visokotlačne natrijeve svjetiljke (HPS), metalhalogene žarulje (MH), ksenonske i fluorescentne svjetiljke (Mitchell i sur., 2012.). Zbog brojnih nedostataka ovih izvora svjetlosti kao dopunske rasvjete, sve je veća upotreba svjetlosno emitirajućih dioda (LED) zbog niza prednosti, od pregrijavanja, visoke energetske učinkovitosti i trajnosti (Zhang i sur., 2019; Ma i sur., 2021).

Izlaganje plavom LED svjetlu uzrokuje širenje lišća kod biljaka poput salate. Također, plavo svjetlo povećava apsorpciju vlage u biljkama, što također pridonosi većoj težini svježeg lišća. U biljnoj proizvodnji proizvođači nastoje ostvariti što veći prinos, na koji u velikoj mjeri utječe svjetlost, uz druge faktore. U klima komori pri odabiru izvora dodatne rasvjete važno je odabrati izvor svjetlosti i kombinaciju valnih duljina koja će rezultirati najvećim prinosom (Jamal Uddin i sur. 2017). Nadalje Kamal i sur. (2020) naglašavaju da su mnoga izvješća pokazala pozitivan utjecaj crveno:plavog svjetla na rast biljaka i fotosintezu. Prema istim autorima uzimajući u obzir utjecaj kombinacije LED osvjetljenja na rast i nutritivnu vrijednost mladih izdanaka, utvrđeno je da je sadržaj filokinona, α -tokoferola, TAA i β -karotena mladih izdanaka različitih vrsta iz roda *Brassica* bio značajno veći u uzgoju pod kombiniranim crveno-plavim LED osvjetljenjem (80:20), u usporedbi s drugim kombinacijama svijetla.

3. Materijali i metode rada

3.1. Postavljanje i provedba pokusa

Pokus je proveden tijekom ožujka 2022. godine u komori za rast biljaka tvrtke „Vesela Motika d.o.o.“ u Zagrebu. Pokus je postavljen u tri ponavljanja u klima komori s kontroliranim uvjetima temperature (25 °C) i relativnom vlagom zraka od 60 % sa dodatnim osvjetljenjem LED diodama različitog spektra zračenja. Temperaturna odstupanja tijekom uzgoja iznosila su 25 ± 2 °C, a relativna vlažnost zraka 60 ± 5 %.

Sjeme brokule (Lokvina, Varaždin) za uzgoj mladih izdanaka posijano je na prethodno navlažen supstrat „Domoflor“ („Colić Trade“, Hrvatska) u crne plastične posude dimenzija 0,35 x 0,24 m (0,0851 m²) u količini od 10 g po posudi bez prethodnog naklijavanja. Nakon sjetve, posude su pokrivene svjetlonepropusnim materijalom i ostavljene 2 dana na naklijavanje.

Nakon naklijavanja, posude su postavljene na police udaljene 31 cm od LED dioda uz redovito navodnjavane tehnikom „plime i oseke“, bez dodatnih hranivih tvari. U uzgoju biljaka korišteno je dodatno LED osvjetljenje u tri različita spektra: crveni (620 nm), kombinacija crvenog i plavog spektra u omjeru 50:50 i plavi (450 nm), tijekom fotoperioda od 14 sati. Korištene su LED lampe FLEX-PRO S7 (plavo svjetlo) i FLEX-PRO S4 (crveno svjetlo) (SANlight, Austria) (tablica 3.1.1.). Berba mladih izdanaka brokule obavljena je 8 dana nakon sjetve, ručnim rezanjem pomoću škarica pri dnu hipokotila u fazi razvijenih kotiledonskih listova. Nakon berbe mladi izdanci su stavljeni u čiste vrećice te dostavljeni u laboratorij Zavoda za održive tehnologije i obnovljive izvore energije Agronomskog fakulteta u Zagrebu za potrebe kemijske analize sadržaja fitonutrijenata. Prinos je mjereno na vagi i izražen je u kg/m².

Tablica 3.1.1. Rasvjeta mladih izdanaka sa LED lampama

Tip lampe	S7	S4	S7+S4
Spektar (nm)	450	620	450+620
Efikasnost ($\mu\text{mol J}^{-1}$)	2.6	2.3	2.6/2.3
PPFD ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	419.80	371.76	395.58
DLI ($\text{mol m}^{-2} \text{dan}^{-1}$)	21.14	18.72	19.93

PPFD – photosynthetic photon flux density (gustoća toka fotosintetskih fotona), DLI – daily light integral (dnevni svjetlosni integral)

3.2. Analiza ukupne suhe tvari

Za određivanje suhe tvari korištena je metoda sušenja pri 105 °C (AOAC, 1995).

Aparatura i pribor:

- laboratorijski sušionik
- eksikator
- staklene posudice
- analitička vaga
- stakleni štapić
- kvarcni pijesak

Postupak određivanja:

U osušenu i izvaganu staklenu posudicu stavi se oko 5 g kvarcnog pijeska. Pomoćni materijal se potom osuši u laboratorijskom sušioniku pod određenim uvjetima sa skinutim poklopcem. Nakon sušenja poklopac se stavi na posudicu, posudica se izvadi iz sušionika i ohladi u eksikatoru, a zatim važe s točnošću 0,0002 g. U posudicu s pijeskom stavi se oko 2,5 g pripremljenog uzorka, koji se dobro izmiješa staklenim štapićem i sve zajedno se izvaže. Staklena posudica u kojoj se nalazi pijesak i ispitivana količina uzorka stavi se u laboratorijski sušionik zagrijan na 105 °C ± 0,5 °C u kojem se zagrijava. Nakon hlađenja i vaganja, sušenje se nastavlja sve dok razlika nakon dva uzastopna sušenja u razmaku od pola sata ne bude manja od 0,001 g. Iznova se važe s točnošću ± 0,0002 g.

Formula:
$$\text{suha tvar (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

Gdje je:

m_0 (g) - masa posudice i pomoćnog materijala (kvarcni pijesak, stakleni štapić, poklopac)

m_1 (g) - masa posudice s ispitivanim uzorkom prije sušenja,

m_2 (g) - masa posudice nakon sušenja.

3.4. Analiza polifenolnih spojeva

Fenolni spojevi određivani su Folin-Ciocalteu metodom spektrofotometrijski, mjerenjem nastalog intenziteta obojenja pri valnoj duljini 765 nm (Zhishen i sur., 1999) koristeći Folin-Ciocalteu reagens. Metoda se bazira na kolornoj reakciji fenola s Folin-Ciocalteu reagensom. Folin-Ciocalteu reagens sastoji se od fosfovolframove i fosfomolibdenove kiseline, gdje se pri oksidaciji fenolnih spojeva ove kiseline reduciraju u volfram-oksidi i molibden-oksidi koji su plavo obojeni (Ough i Amerine, 1988). Ukupni fenoli mjere se u miligramima ekvivalenata galne kiseline na 100 grama svježe mase (SM) uzorka. Galna kiselina služi za određivanje baždarnog pravca koji se koristi u metodi za određivanje ukupnih fenola.

Aparatura i pribor:

- tehnička vaga (s točnošću $\pm 0,01$)
- konusna tikvica
- odmjerne tikvice (50 i 100 mL)
- obični lijevak
- filter papir
- povratno hladilo
- pipete (1, 2, 5, 10 i 25 mL)
- kivete
- spektrofotometar

Kemikalije:

- etanol (80%)
- Folin-Ciocalteu reagens
- zasićena otopina natrijevog karbonata (Na_2CO_3)

a) Izrada baždarnog pravca:

Za pripremu baždarnog pravca odvažuje se 500 mg galne kiseline koja se otopi u 80 %-om etanolu i nadopuni u odmjerne tikvici od 100 mL do oznake. Od pripremljene otopine galne kiseline prirede se razrjeđenja, tako da se otpipetira redom (0, 1, 2, 3, 5 i 10) mL alikvota standarda u svaku tikvicu i potom se nadopunjavaju do oznake 80 % etanolom. Koncentracije galne kiseline u tikvicama iznose (0, 50, 100, 150, 250 i 500) mg/L. Iz svake tikvice otpipetira se 0,5 mL uzorka u odmjerne tikvice od 50 mL. Potom se dodaje redom 30 mL destilirane vode, 2,5 mL F.C. reagensa i 7,5 mL zasićene otopine natrijevog karbonata. Dobro se izmiješa i nadopunjava destiliranom vodom do oznake. Uzorci se ostave dva sata na sobnoj temperaturi. Nakon toga

mjeri se apsorbancija pri valnoj duljini 750 nm uz destiliranu vodu kao slijepu probu. Iz izmjerenih vrijednosti apsorbancija nacrtava se baždarni pravac tako da se na apscisi nanese koncentracija galne kiseline (mg/L), a na ordinati izmjerene vrijednosti apsorbancije.

b) Ekstrakcija fenolnih spojeva iz povrća:

Na tehničkoj vagi odvažuje se 10 g uzroka s točnošću $\pm 0,01$ i homogenizira s 40 mL 80 %-og etanola. Homogena smjesa se kuha 10 min uz povratno hladilo te se dobiveni ekstrakt filtrira u odmjernu tikvicu od 100 mL preko naboranog filter papira. Zaostali talog zajedno s filter papirom ponovno se prebaci u tikvicu sa šlifom, doda se 50 mL 80%-og etanola i uz povratno hladilo se kuha još 10 min. Dobiveni ekstrakt se spoji s prethodno dobivenim ekstraktom te se odmjerna tikvica nadopuni do oznake 80%-im etanolom. Reakcija s Folin-Ciocalteu reagensom provodi se kako slijedi: u odmjernu tikvicu od 50 mL se otpipetira 0,5 mL ekstrakta i redom doda 30 mL destilirane vode, 2,5 mL Folin-Ciocalteu reagensa (razrijeđenog u omjeru 1:2 destiliranom vodom) i 7,5 mL otopine zasićenog natrijeva karbonata. Sadržaj tikvice se dobro promućka i nadopuni destiliranom vodom do oznake. Uzorci se ostave stajati 2 h na sobnoj temperaturi nakon čega se izmjeri apsorbancija pri valnoj duljini od 750 nm uz destiliranu vodu kao slijepu probu.

Račun: Baždarni pravac nacrtava se pomoću računala u programu Microsoft Excel te se izračuna jednačba pravca prema kojoj se izračuna koncentracija ukupnih fenola.

Formula za izračun:

$$y = 0,001 x + 0,0436$$

Prema kojoj je: y – apsorbancija na 750 nm

x – koncentracija galne kiseline (mg/ L)

Za taloženje flavonoidnih fenolnih spojeva preporuča se upotreba formaldehida. Formaldehid reagira s C-6 ili C-8 pozicijom na 5,7-dihidroksi flavonoidu stvarajući metilol derivate koji zatim reagiraju s drugim flavonoidnim spojevima na C-6 ili C-8 poziciji. Iz toga nastaju kondenzirane molekule koje se uklone filtriranjem. Ostatak neflavonoidnih fenola određuje se po metodi za ukupne fenole (Ough i Amerine, 1988). Razlika ukupnih fenola i neflavonoida daje sadržaj flavonoida.

Aparatura i pribor:

- filter papir
- stakleni lijevci

- Erlenmeyer-ova tikvica sa šlifom i čepom volumena 25 mL
- pipete volumena (1 mL, 2 mL, 5 mL, 10 mL, 25 mL)
- analitička vaga
- staklene kivete
- spektrofotometar (Shimadzu 1900i)

Kemikalije:

- klorovodična kiselina, HCl 1:4 (koncentrirana HCl razrijedi se vodom u omjeru 1:4)
- formaldehid (13 mL 37 %-og formaldehida u 100 mL vode)
- dušik za propuhivanje uzorka
- zasićena otopina natrijeva karbonata
- Folin-Ciocalteu reagens
- 80 %-ni etanol

Postupak određivanja:

Otpipetira se 10 mL ekstrakta u tikvicu od 25 mL i doda 5 mL otopine HCl (1:4) te 5 mL formaldehida. Smjesa se propuše dušikom, zatvori i ostavi stajati 24 sata na sobnoj temperaturi u mraku. Sljedeći dan se profiltrira preko filter papira i slijedi isti postupak kao za određivanje ukupnih fenola.

Račun:

Koncentracija neflavonoida izračunava se na isti način kao i koncentracija ukupnih fenola uzimajući u obzir i dodatna razrjeđenja. Iz razlike količine ukupnih fenola i neflavonoida odredi se količina ukupnih flavonoida.

3.5. Analiza pigmentnih spojeva

Analiza pigmentnih spojeva napravljena je spektrofotometrijskom metodom po Holmu (1954.) i Wettsteinu (1957.). Ovom metodom određuje se koncentracija kloroplastnih pigmenata: klorofil a, klorofil b, ukupni klorofili, te karotenoida u acetonskom ekstraktu biljnog materijala. Postupak ekstrakcije i određivanja klorofila treba se izvoditi brzo u zamračenim uvjetima (Holm, 1954; Wettstein, 1957).

Aparatura i pribor:

- vaga
- staklena kiveta
- laboratorijski homogenizator

- Erlenmayerova tikvica (300 mL)
- vakuum pumpa na vodeni mlaz
- odmjerna tikvica (25 mL)
- spektrofotometar (Shimadzu 1900i)

Kemikalije:

- aceton
- magnezijev karbonat (MgCO_3)

Priprema uzorka:

Odvagan je uzorak mase 0,2 g u staklenu kivetu, dodano je malo praha magnezijeva karbonata zbog neutralizacije kiselosti te ukupni volumen od 15 mL acetona. Uzorak je homogeniziran laboratorijskim homogenizatorom (IKA Ultraturax T18, Njemačka). Smjesa je kvantitativno prenijeta na Büchnerov lijevak postavljen na Erlenmayerovu tikvicu umetnutu u vakuum bocu. Macerat je profiltriran uz pomoć vakuuma uz ispiranje lijevka acetonom te kvantitativno prenesen u odmjernu tikvicu (25 mL) i nadopuni acetonom do oznake.

Postupak određivanja:

Na spektrofotometru se očita apsorbanca u dobivenom filtratu pri valnim duljinama 662, 644 i 440 nm, uz aceton kao slijepu probu.

Formula:

$$\text{klorofil a} = 9,784 \times A_{662} - 0,990 \times A_{644} \text{ mg / L}$$

$$\text{klorofil b} = 21,426 \times A_{644} - 4,65 \times A_{662} \text{ mg / L}$$

$$\text{klorofil a + b} = 5,134 \times A_{662} + 20,436 \times A_{644} \text{ mg / L}$$

$$\text{karatenoidi} = 4,695 \times A_{440} - 0,268 \times (\text{klorofil a} + \text{b}) \text{ mg / L}$$

Formula za izračunavanje koncentracije pigmenata u mg/g svježe tvari:

$$c \text{ mg/g} = \frac{c1 \times V}{m}$$

Prema kojoj je:

c (mg/g) – masena koncentracija pigmenata

c1 (mg/L) – masena koncentracija pigmenata

V (mL) – volumen filtrata

m (mg) – masa uzorka

3.6. Analiza antioksidacijskog kapaciteta

Antioksidacijski kapacitet određen je FRAP metodom prema Benzie i Strain (1996) spektrofotometrijski. FRAP metoda mjeri antioksidacijski kapacitet u uzorcima putem redukcije Fe(III) iona u Fe(II) ion pri pH 3,6, smanjujući bezbojni Fe(III)-tripiridil-triazin (Fe(III)-TPTZ) u intenzivno plavo obojeni kompleks (Fe(II)-TPTZ). Svježi FRAP reagens pripremljen je miješanjem 0,3 M acetatnog pufera, otopine 10 mM TPTZ reagensa u 40 mM HCl i 20 mM FeCl₃×6H₂O u omjeru 10:1:1. Za reakciju, izmiješani su destilirana voda (960 µL), ekstrakti uzoraka (320 µL) i FRAP reagens (8320 µL). Iste su reakcije pripremljene i za slijepu probu, osim što je umjesto ekstrakta uzorka korišten 80 % EtOH. Pripremljene smjese inkubirane su 5 min pri 37 °C u vodenoj kupelji, dok su apsorbancije mjerene spektrofotometrijski pri 593 nm. Trolox je korišten kao vanjski standard, a standardna otopina (2 mM) pripremljena je u 80 % etanolu. Rezultati su izraženi kao µmol TE/g uzorka.

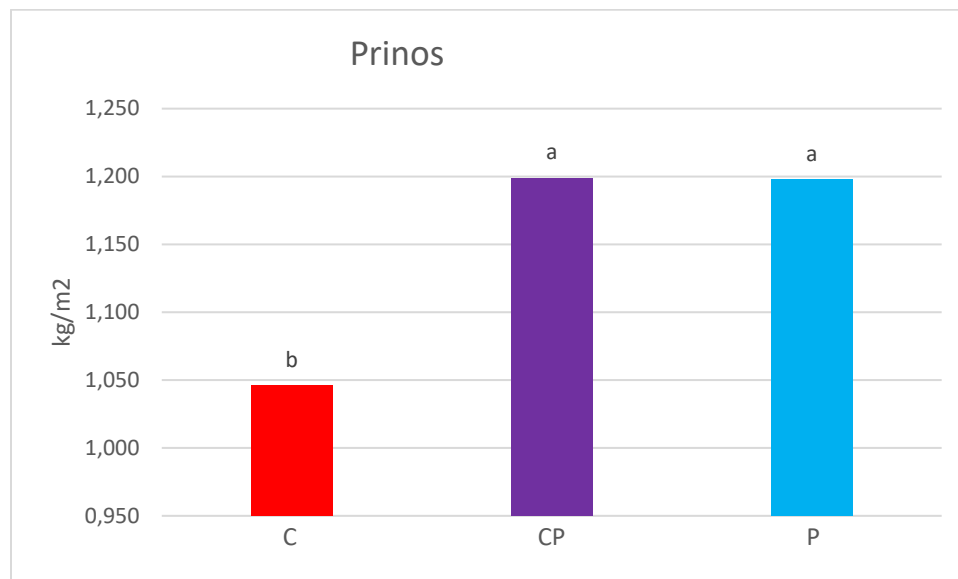
3.7. Statistička obrada podataka

Statistička analiza provedena je analizom varijance (ANOVA). Srednje vrijednosti uspoređivane su testom (LSD) na razini značajnosti 5 %. Za postupke statističke analize korišten je PROC GLM u SAS® softveru verzija 9.3 (2010).

4. Rezultati i rasprava

4.1. Prinos mladih izdanaka

Prinos mladih izdanaka brokule, ovisno o spektru dopunskog LED osvjetljenja prikazan je u grafikonu 4.1.1. U ovom pokusu najveći prinos postignut je tretmanom pod kombiniranim valnim duljinama crvenog i plavog LED osvjetljenja (1,199 kg/m²) i plavim valnim duljinama (1,198 kg/m²). Najmanji prinos postignut je kod primjene samo crvenog dopunskog LED osvjetljenja (1,046 kg/m²).



C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar

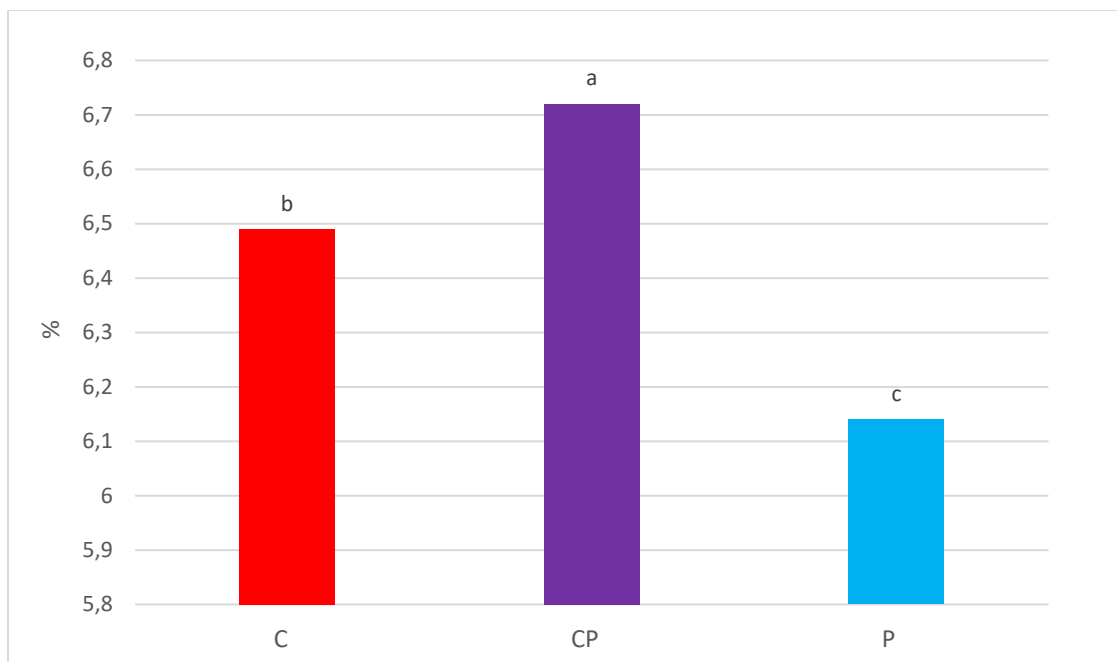
Srednje vrijednosti praćene istim slovom ne razlikuju se značajno prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Grafikon 4.1.1. Prinos mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

Prema Jones-Baumgardtu i sur. (2020.) produženi hipokotili važno su svojstvo rasta za mnoge komercijalne uzgajivače mladih izdanaka jer je time olakšana berba, ali izduženi hipokotil smanjuje robusnost ubranih izdanaka.

4.2. Sadržaj ukupne suhe tvari

Iz grafikona 4.2.1. vidljive su statistički opravdane razlike u sadržaju ukupne suhe tvari mladih izdanaka brokule ovisno o spektru LED osvjetljenja. Najviši sadržaj suhe tvari (6,72 %) mladih izdanaka brokule utvrđen je pod utjecajem kombiniranog crveno-plavog spektra LED osvjetljenja. Niži sadržaj suhe tvari ostvaren je pod utjecajem crvenog spektra LED osvjetljenja (6,49 %), a najniži sadržaj suhe tvari (6,14 %) dobiven je pod plavim spektrom LED osvjetljenja.



C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar

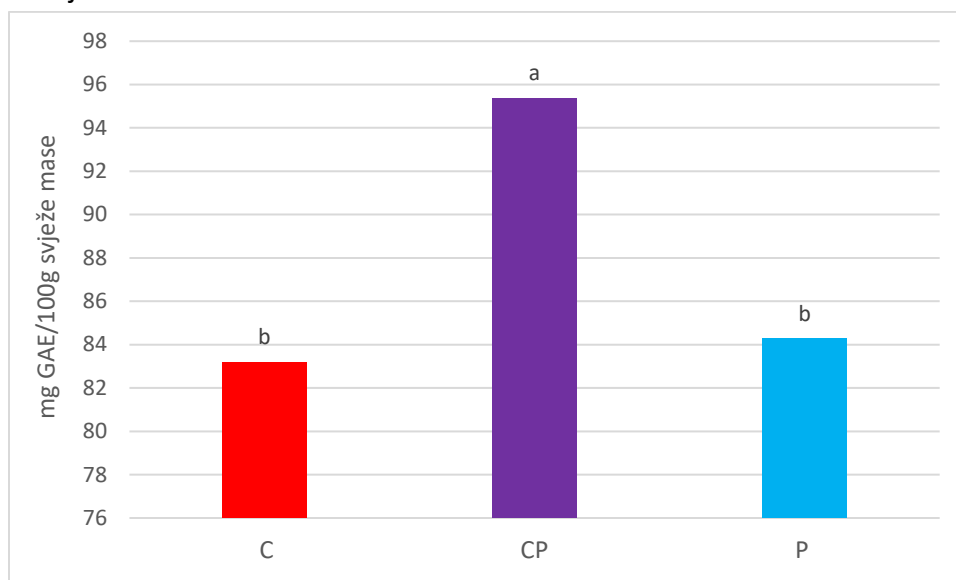
Različita slova pokazuju značajnu statističku razliku između srednjih vrijednosti prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Grafikon 4.2.1. Sadržaj suhe tvari mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

Opačić i sur. (2016) utvrdili su manju količinu suhe tvari (4,59 do 8,70 %) u mladim izdancima uzgojenim na klasičnom supstratu namijenjenom uzgoju povrća. U istom istraživanju utvrđena količina suhe tvari u mladim izdancima brokule (5,08 %) manja je od vrijednosti suhe tvari dobivene uzgojem mladih izdanaka brokule uz primjenu kombiniranog crveno-plavog spektra LED osvjetljenja (6,72 %) u ovom radu.

4.3. Ukupni polifenolni spojevi

U grafikonu 4.3.1. vidljive su statistički opravdane razlike u sadržaju ukupnih polifenola mladih izdanaka brokule uslijed različitih spektara LED osvjetljenja. Ukupne polifenole predstavljaju flavonoidi i neflavonoidi. Sadržaj ukupnih polifenola bio je u rasponu od 83,16 do 95,36 mg GAE/100 g SM. Najveći sadržaj ukupnih polifenola (95,36 mg GAE/100 g SM) utvrđen je uzgojem pod kombiniranim crvenim i plavim spektrom LED osvjetljenja. Značajno niže vrijednosti ukupnih polifenola utvrđene su kod mladih izdanaka brokule tretiranih samo crvenim (83,16 mg GAE/100 g SM) ili samo plavim (84,26 mg GAE/100 g SM) spektrom osvjetljenja bez statistički značajne razlike.



C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar

Srednje vrijednosti praćene istim slovom ne razlikuju se značajno prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

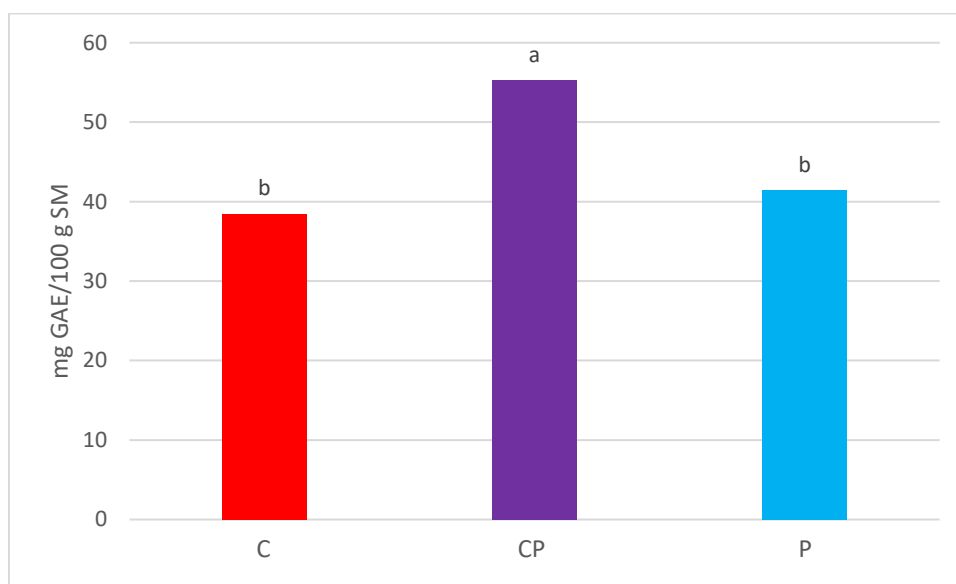
Grafikon 4.3.1. Sadržaj ukupnih fenola mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

U istraživanju Kowitcharoen i sur. (2021) uzgajani su mladi izdanci vrsta iz porodica Brassicaceae, Fabaceae, Polygonaceae, Malvaceae i Convolvulaceae. Sadržaj ukupnih fenola u mladim izdancima brokule uzgojenim pod bijelim fluorescentnim svjetlom iznosio je 87,56 mg GAE/100 g SM što je manje od vrijednosti ukupnih fenola mladih izdanaka brokule dobivenih uzgojem pod kombiniranim crveno-plavim spektrom LED osvjetljenja (95,36 mg GAE/100 g SM).

U istraživanju Fabek Uher i sur. (2023) sadržaj ukupnih fenola mladih izdanaka crvenog kupusa uzgojenih u plutajućem hidroponu bio je 115,31 mg GAE/100 g SM, što je veće od najvećih vrijednosti ukupnih fenola u ovom diplomskom radu. Fenolni spojevi imaju imunomodulirajuće djelovanje na ljudski imunološki sustav. Njihove raznolike strukture mogu se povezati s brojnim antioksidativna svojstva (Zhang i sur., 2020).

4.3.1. Ukupni flavonoidi i neflavonoidi

U grafikonu 4.3.1.1. prikazan je sadržaj flavonoida mladih izdanaka brokule uzgojenih pod 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja. Najveći sadržaj flavonoida utvrđen je u mladim izdancima uzgajanima ispod kombiniranog crvenog i plavog spektra LED osvjetljenja (55,27 mg GAE/100 g SM), dok su značajno manje vrijednosti utvrđene pod utjecajem crvenog spektra (38,47 mg GAE/100 g SM) i plavog spektra (41,43 mg GAE/100 g SM). U istraživanju Fabek Uher i sur. (2023) sadržaj flavonoida mladih izdanaka varirao je između 60,11 (lucerna) i 214,47 mg GAE/100 g SM (komorač) što je više od vrijednosti flavonoida mladih izdanaka brokule u ovom radu (55,27 mg GAE/100 g SM).

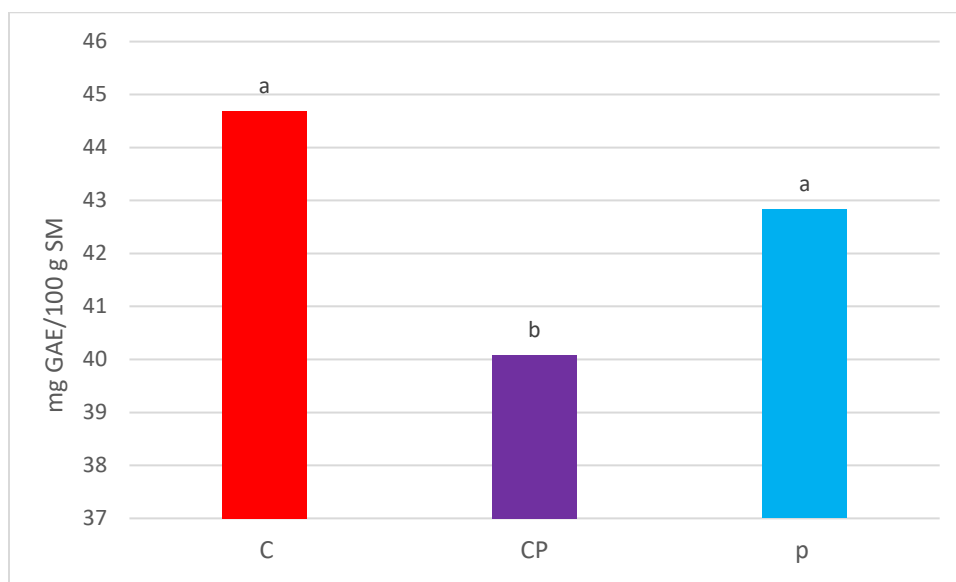


C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar

Srednje vrijednosti praćene istim slovom ne razlikuju se značajno prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Graf 4.3.1.1 Sadržaj flavonoida mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

U grafikonu 4.3.1.2. prikazan je veći sadržaj neflavonoida pod utjecajem crvenog spektra (44,69 mg GAE/100 g SM) i plavog spektra (42,83 mg GAE/100 g SM). Pod utjecajem kombiniranog crveno-plavog spektra LED osvjetljenja ostvaren je značajno manji sadržaj neflavonoida (40,08 mg GAE/100 g SM). U istraživanju Fabek Uher i sur. (2023) u uzgoju mladih izdanaka u plutajućem hidroponu količina neflavonoida crvenog kupusa iznosila je 51,02 mg GAE/100 g SM, dok je količina flavonoida, za crveni kupus, iznosila je 64,29 mg GAE/100 g SM, što je više od vrijednosti ostvarenih u uzgoju u tresetnom supstratu vertikalnog uzgoja u ovom radu.

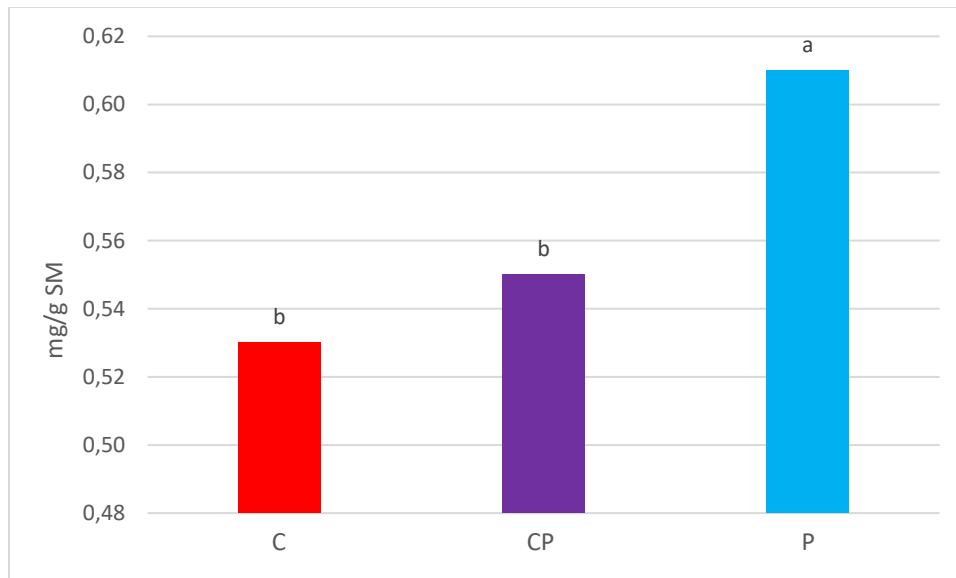


C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar
Srednje vrijednosti praćene istim slovom ne razlikuju se značajno prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Grafikon 4.3.1.2. Sadržaj neflavonoida mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

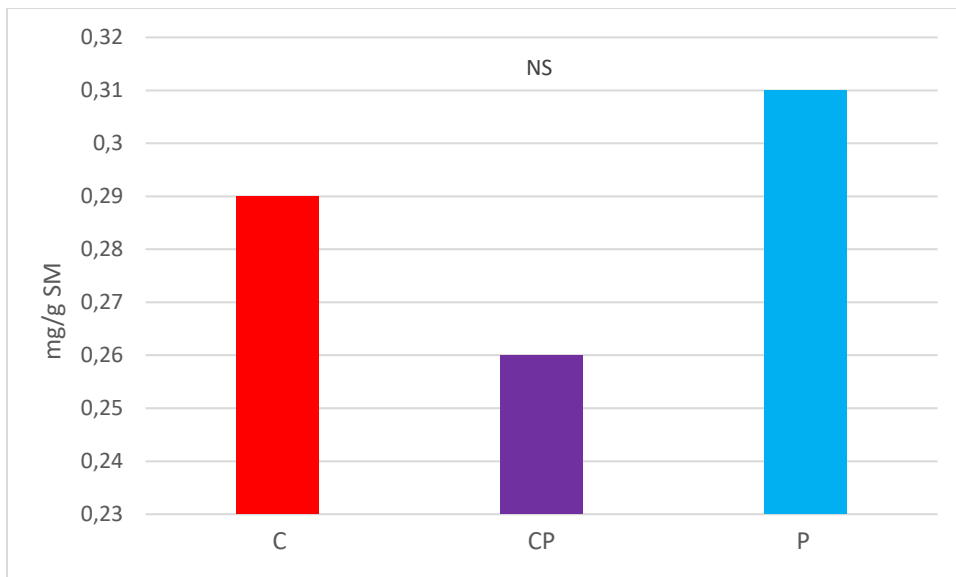
4.4. Sadržaj pigmentnih spojeva

U ovom istraživanju analizirani su sljedeći pigmenti: klorofil *a*, klorofil *b*, ukupni klorofili te karotenoidi. U grafikonu 4.4.1 prikazan je sadržaj klorofila *a* u mladim izdancima brokule pod utjecajem 3 različita spektra. Vidljivo je da su najviše klorofila *a* sadržavali mladi izdanci brokule pod utjecajem plavog spektra LED osvjetljenja (0,61 mg/g SM), dok je manja i statistički jednaka količina utvrđena primjenom crvenog i plavog spektra. U grafikonu 4.4.2. prikazan je sadržaj klorofila *b* u mladim izdancima brokule te nisu utvrđene statistički značajne razlike u između testiranih LED osvjetljenja. Najveći sadržaj klorofila *b* ostvaren je kod plavog spektra (0,31 mg/g SM), a najmanji kod kombiniranog crveno-plavog spektra (0,26 mg/g SM).



C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar
 Srednje vrijednosti praćene istim slovom ne razlikuju se značajno prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Grafikon 4.4.1. Sadržaj klorofila *a* mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja



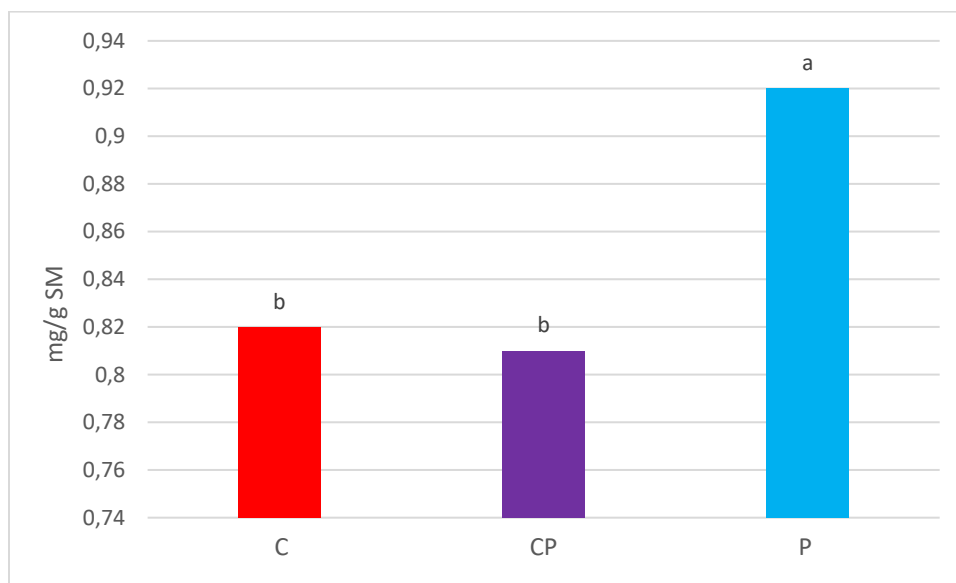
C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar
 NS – nema statističke razlike prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Grafikon 4.4.2. Sadržaj klorofila *b* mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

Ukupni klorofili su prikazani u grafikonu 4.4.3. gdje je najveća vrijednost ukupnih klorofila dobivena pod utjecajem plavog spektra (0,92 mg/g SM) LED osvjetljenja, dok je najniža vrijednost dobivena kod kombiniranog crveno-plavog spektra (0,81 mg/g SM) osvjetljenja bez statistički značajne razlike od crvenog spektra (0,82 mg/g SM).

U istraživanju Vrkić i sur (2024) najveći sadržaj klorofila *a* dobiven je utjecajem kombiniranog crveno-plavog spektra osvjetljenja (0,45 mg/g SM) što je za trećinu manje od sadržaja klorofila u ovom radu (0,61 mg/g SM).

Usporedimo li sadržaj klorofila *b* iz ovog rada sa rezultatima klorofila *b* mladih izdanaka brokule istraživanja Vrkić i sur. (2024), vidljiv je isti nedostatak statistički značajne razlike između utjecaja različitih osvjetljenja na sadržaj klorofila *b*.



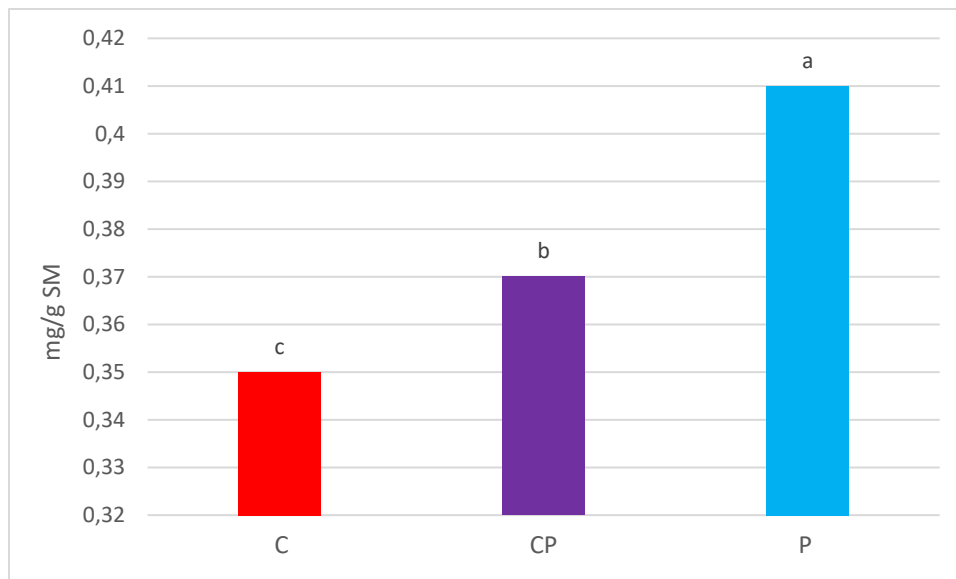
C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar

Srednje vrijednosti praćene istim slovom ne razlikuju se značajno prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Grafikon 4.4.3. Sadržaj ukupnih klorofila mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

U istraživanju Vrkić i sur. (2024) najveći sadržaj ukupnih klorofila (0,65 mg/g SM) u mladim izdancima brokule postignut je pod utjecajem kombiniranog crveno-plavog spektra osvjetljenja dok je u ovom radu najveći prinos ukupnih klorofila postignut pod utjecajem plavog spektra LED osvjetljenja (0,92 mg/g SM). U istraživanju Kowitcharoen i sur. (2021) sadržaj ukupnih klorofila u mladim izdancima brokule pod utjecajem bijelog fluorescentnog osvjetljenja iznosio je 0,52 mg/g SM, što je manje od sadržaja ukupnih klorofila dobivenih pod plavim spektrom (0,92 mg/g SM) u ovom radu.

U grafikonu 4.4.4. prikazan je sadržaj ukupnih karotenoida mladih izdanaka brokule pri čemu je najveći sadržaj pod utjecajem plavog spektra (0,41 mg/g SM). U uzgoju pod kombiniranim crveno-plavim spektrom i crvenim spektrom ostvaren je značajno manji sadržaj karotenoida (0,37 mg/g SM, odnosno, 0,35 mg/g SM).



C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar

Različita slova pokazuju značajnu statističku razliku između srednjih vrijednosti prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Grafikon 4.4.4. Sadržaj ukupnih karotenoida mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

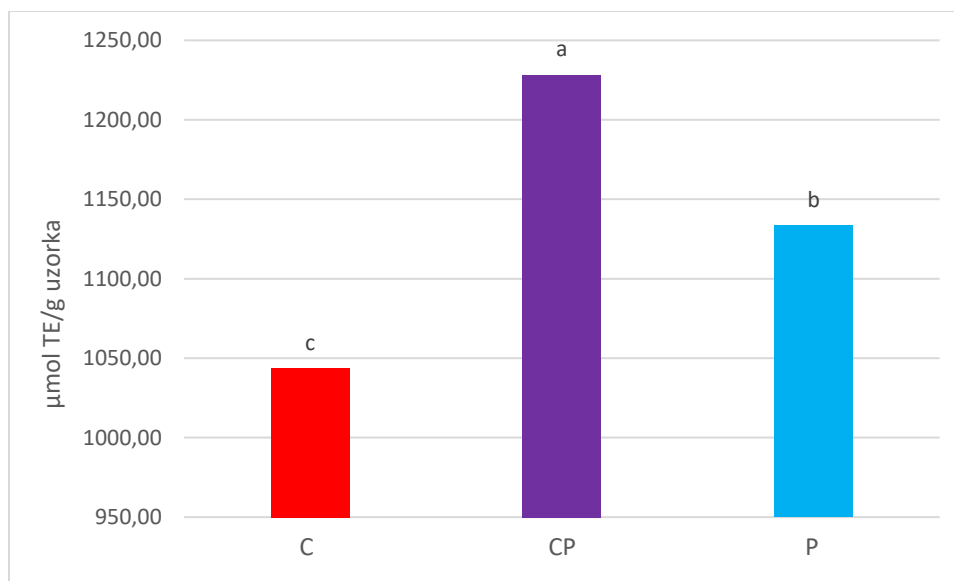
U istraživanju Kowitcharoen i sur. (2021) sadržaj ukupnih karotenoida u mladim izdancima brokule pod utjecajem bijelog fluorescentnog osvjetljenja iznosio je 0,135 mg/g SM, što je manje od sadržaja ukupnih karotenoida dobivenih pod plavim spektrom (0,41 mg/g SM) u ovom radu.

U istraživanju Fabek Uher i sur. (2023) količina karotenoida u mladim izdancima crvenog kupusa iznosila je 0,122 mg/g SM pri čemu kod uzgoja u plutajućem hidroponu nije korišteno dodatno osvjetljenje.

U istraživanju Vrkić i sur. (2024) utvrđen je podjednak sadržaj ukupnih karotenoida u mladim izdancima brokule (0,15 mg/g SM). Navedene vrijednosti značajno su manje od sadržaja karotenoida mladih izdanaka brokule uzgojenih pod plavim spektrom LED osvjetljenja (0,41 mg/g SM) u ovom radu.

4.5. Antioksidacijski kapacitet - FRAP metoda

U ovom istraživanju utvrđen je statistički opravdan utjecaj različitog spektra dodatnog LED osvjetljenja na antioksidacijski kapacitet mladih izdanaka brokule. Rezultati su izraženi kao $\mu\text{mol TE/g}$ uzorka. U grafikonu 4.5.1. vidljivo je kako najveći antioksidacijski kapacitet imaju mladi izdanci brokule pod utjecajem kombiniranog crveno-plavog spektra ($1228,21 \mu\text{mol TE/g}$ uzorka) LED osvjetljenja, a najmanji je ostvaren uz primjenu crvenog spektra ($1043,80 \mu\text{mol TE/g}$ uzorka).



C - crveni spektar, CP - crveno-plavi spektar, P – plavi spektar

Različita slova pokazuju značajnu statističku razliku između srednjih vrijednosti prema LSD testu ($p \leq 0,05$)

Grafikon 4.5.1. Sadržaj antioksidacijskog kapaciteta mladih izdanaka brokule uzgojenih uz 3 različita spektra dopunskog LED osvjetljenja

U istraživanju Fabek Uher i sur. (2021) antioksidacijski kapacitet crvenog kupusa iznosio je $2410,47 \mu\text{mol TE/L}$ pri čemu kod uzgoja u plutajućem hidroponu nije bilo primjene dodatnog osvjetljenja.

U istraživanju Vrkić i sur. (2024) antioksidacijski kapacitet mladih izdanaka brokule iznosio je iznad $1500 \mu\text{mol TE/L}$ uz korištenje plavog i kombiniranog crveno-plavog spektra LED osvjetljenja. Navedena vrijednost je veća od antioksidacijskog kapaciteta mladih izdanaka brokule uzgojenih pod kombiniranim crveno-plavim spektrom LED osvjetljenja ($1228,21 \mu\text{mol TE/g}$ uzorka) u ovom radu.

5. Zaključak

Na temelju istraživanja utjecaja različitih spektra LED osvjetljenja na prinos i sadržaj fitonutrijenata u mladim izdancima brokule može se zaključiti sljedeće:

- Prinos mladih izdanaka brokule uz primjenu kombiniranog crveno-plavog spektra te plavog spektra LED osvjetljenja iznosio je 1,2 kg/m², dok je uz primjenu crvenog spektra bio znatno manji i iznosio 1,05 kg/m²,
- Sadržaj ukupne suhe tvari mladih izdanaka bio je najveći pod utjecajem kombiniranog crveno-plavog spektra LED osvjetljenja (6,72 %),
- Primjena kombiniranog spektra zračenja (450 nm + 620 nm) rezultirala je značajno većim sadržajem ukupnih polifenola i flavonoida u odnosu na plavi i crveni spektar LED osvjetljenja. Istovremeno, sadržaj neflavonoida je pod utjecajem crvenog i plavog spektra bio signifikantno veći od kombiniranog,
- Primjena plavog LED osvjetljenja rezultirala je povećanim (klorofil b), odnosno značajno većim sadržajem pigmentnih spojeva (klorofil a, ukupni klorofili, karotenoidi) u usporedbi s crvenim odnosno kombiniranim crveno-plavim LED osvjetljenjem,
- Najviši antioksidacijski kapacitet imaju mladi izdanci uzgojeni uz primjenu kombiniranog crveno-plavog LED osvjetljenja (1228,21 μmol TE/g uzorka).

6. Popis literature

1. Abel, C. (2010). The vertical garden city: towards a new urban topology. *CTBUH Journal*, (2), 20–30.
2. Banerjee, C., & Adenaeuer, L. (2014). Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. *Journal of Agricultural Studies*, 2(1), 40. <http://doi.org/10.5296/jas.v2i1.4526>
3. Bulgari R., Negri M., Santoro P., Ferrante A. (2021). Quality evaluation of indoor-grown microgreens cultivated on three different substrates. *Horticulturae* 7(5):96. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050096>
4. Cerjak, M., Rustan, M., Juračak, J. (2019). Struktura i izgledi za razvoj hrvatskog tržišta mikrozelenja. *Agroeconomia Croatica* 9(1): 142-152.
5. Čalić, S., Friganović, E., Maleš, V., Mustapić, A. (2011). Funkcionalna hrana i potrošači. *Praktični menadžment* 2(1): 51-57.
6. Despommier, D. (2011). The vertical farm: controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations. *Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 6(2), 233–236. <http://doi.org/10.1007/s00003-010-0654-3>
7. Di Gioia, F., Santamaria, P. (2015). Microgreens: novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. *ECO-logica srl, Bari*.
8. Dunn B., Shrestha A., (2017). Hydroponics. Oklahoma State University, Oklahoma Cooperative Extension Service, HLA-6442
9. Ebert, A.W., Wu, T.H., Yang, R.Y. (2015). Amaranth sprouts and microgreens – a homestead vegetable production option to enhance food and nutrient security in the rural-urban continuum. *Proceedings of the regional symposium on sustaining small-scale vegetable production and marketing systems for food and nutrition security*. Taiwan: AVRDC Publication, 233-244. DOI: 10.13140/2.1.2722.6404
10. Fabek Uher S., Radman S., Opačić N., Dujmović M., Benko B., Lagundžija D., Mijić V., Prša L., Babac S., Šic Žlabur J. (2023). Alfalfa, cabbage, beet and fennel microgreens in floating hydroponics-perspective nutritious food?. *Plants* 12(11):2098. <https://doi.org/10.3390/plants12112098>
11. Hasan M., Bashir T., Ghosh R., Lee S.K., Bae H. (2017). An overview of LEDs' effects on the production of bioactive compounds and crop quality. *Molecules* 22(9):1420. doi: 10.3390/molecules22091420

12. Hollman, P.C.H., Arts, I.C.W. (2000). Flavonols, flavones and flavanols-nature, occurrence and dietary burden. *J. Sci. Food Agric.* 80(7): 1081-1093. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<1081::AID-JSFA566>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<1081::AID-JSFA566>3.0.CO;2-G)
13. Jones-Baumgardt C., Llewellyn D., Zheng Y. (2020). Different microgreen genotypes have unique growth and yield responses to intensity of supplemental PAR from light emitting diodes during winter greenhouse production in Southern Ontario, Canada. *HortScience* 55(2): 156-163. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14478-19>
14. Kamal Y.K., Khodaeiaminjan M., El-Tantway A.A., Moneim D.A., Salam A.A., Ashshormillesy S.M.A.I., Attia A., Ali M.A.S., Herranz R., El-Esawi M.A., Nassrallah A.A., Ramadan M.F. (2020). Evaluation of growth and nutritional value of Brassica microgreens grown under red, blue and green LEDs combinations. *Physiologia Plantarum* 169(4): 625-638. <https://doi.org/10.1111/ppl.13083>
15. Kowitcharoen L., Phornvillay S., Lekham P., Pongprasert N., Srilaong V. (2021). Bioactive composition and nutritional profile of microgreens cultivated in Thailand. *Appl. Sci.* 11(17): 7981. <https://doi.org/10.3390/app11177981>
16. Kyriacou, M.C., Roupael, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S., Santamaria P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology* 57 (Part A): 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>
17. Lobiuc A., Vasilache V., Oroian M., Stoleru T., Burducea M., Pintilie O., Zamfirache M.-M. (2017). Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in Acyanic and Cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens. *Molecules*, 22(12), 2111. <https://doi.org/10.3390/molecules22122111>
18. Ma Y., Xu A., Cheng Z.M. (2021) Effects of light emitting diode lights on plant growth, development and traits a meta-analysis. *Horticultural Plant Journal* 7(6): 552-564. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.05.007>
19. Mitchell C.A., Both A-J, Bourget C.M., Burr J.F., Kubota C., Lopez R.G., Morrow R.C., Runkle E.S. (2012). LEDs: The future of greenhouse lighting! *Chronica Horticulturae* 52(1): 6-12.
20. Moreno, D. A., Carvajal, M., Lopez-Berenguer, C., Garcia-Viguera, C. (2006). Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 41(5): 1508-22. doi: 10.1016/j.jpba.2006.04.003.

21. Opačić, N., Šagud, A., Skomrak, A., Đurak, J., Kos, F., Butković, M. i Fabek Uher, S. (2018). Microgreens kao funkcionalna hrana. *Glasnik Zaštite Bilja* 41(3): 18-25. <https://doi.org/10.31727/gzb.41.3.3>
22. Podsędek, A., (2007) Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *Food Sci. Technol.* 40(1): 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023>
23. Radojčić Redovniković I., Cvjetko Bubalo M., Panić M., Radošević K. (2016) Biološki aktivni spojevi glukozinati i polifenoli u cvatu, listu i stabljici brokule (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) *Glasnik Zaštite Bilja* 39(5): 24-29. <https://hrcak.srce.hr/168266>
24. Turner E.R., Luo Y., Buchanan R.L. (2020). Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. *Journal of Food Science* 85 (4): 870-882. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15049>
25. Uddin A.F.M. J., Jahan I.A., Laila B., Rini S. (2017). LED light supplementation on growth, yield and seed production of broccoli. *Int. J. Bus. Soc. Sci. Res.* 5(4): 95-102 <http://www.ijbssr.com/currentissueview/14013221>
26. Van Iersel M.W., Gianino D. (2017). An adaptive control approach for light-emitting diode lights can reduce the energy costs of supplemental lighting in greenhouses. *HortScience* 52 (1): 72-77. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11385-16>
27. Vrkić R., Benko B., Fabek Uher S. i Šic Žlabur J.(2024) Yield and morphology of mustard and garden cress microgreens grown under LED's supplemental lighting. *Acta Hortic.* 1391: 329-334. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1391.45>
28. Vrkić R., Šic Žlabur J., Dujmović M., Benko B. (2024) Can LED Lighting Be a Sustainable Solution for Producing Nutritionally Valuable Microgreens? *Horticulturae*, 10(3): 249. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030249>
29. Xiao Z., Lester G.E., Park E., Saftner R.A., Luo Y., Wang Q. (2015). Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. *Postharvest Biology and Technology* 110: 140-148. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.021>
30. Ying Q., Kong Y., Zheng Y. (2020). Applying blue light alone, or in combination with far-red light, during nighttime increases elongation without compromising yield and quality of indoor-grown microgreens. *HortScience*, 55(6), 876–881. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14899-20>

31. Zhang M., Whitman M.K., Runkle E.S. (2019). Manipulating growth, color and taste attributes of fresh cut lettuce by greenhouse supplemental lighting. *Scientia Horticulturae* 252: 274-282. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.051>
32. Zhang X., Bian Z., Yuan X., Chen X., Lu C. (2020). A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. *Trends in Food Science & Technology* 99: 203-216. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.031>

Životopis

Kristijan Debelec rođen je u Zagrebu 28. srpnja 1994. godine. Pohađao je Osnovnu školu Gustava Krkleca u Novom Zagrebu te osnovnu glazbenu školu, gdje je učio svirati flautu. Po završetku osnovnoškolskog obrazovanja, 2009. godine upisuje Prirodoslovnu školu Vladimira Preloga u Zagrebu, smjer ekološki tehničar. Nakon završene srednje škole, 2013. godine upisuje Sveučilište u Zagrebu Šumarski Fakultet, koji napušta i 2015. godine upisuje prijediplomski studij Hortikulture na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom Fakultetu. Prijediplomski studij završava 2020. godine i upisuje diplomski studij Hortikultura, usmjerenje Ukrasno bilje, tijekom kojeg razvija zanimanje za hidroponski uzgoj te samoniklo ljekovito i aromatično bilje. Služi se Engleskim jezikom u govoru i pismu i dobro barata Microsoft Office alatima. Posjeduje vozačku dozvolu B kategorije. Slobodno vrijeme provodi u vježbanju, čitanju, učenju Nizozemskog, odlaskom u prirodu, šetnji s psom te druženju sa prijateljima.