

Prinos i mineralni sastav mladih izdanaka rotkvice uz primjenu različitog spektra LED osvjetljenja

Pejić, Mihaela

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:204:848177>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**PRINOS I MINERALNI SASTAV MLADIH
IZDANAKA ROTKVICE UZ PRIMJENU
RAZLIČITOG SPEKTRA LED OSVJETLJENJA**

DIPLOMSKI RAD

Mihaela Pejić

Zagreb, rujan, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Hortikultura - Povrćarstvo

**PRINOS I MINERALNI SASTAV MLADIH
IZDANAKA ROTKVICE UZ PRIMJENU
RAZLIČITOG SPEKTRA LED OSVJETLJENJA**

DIPLOMSKI RAD

Mihaela Pejić

Mentor:
Prof. dr. sc. Božidar Benko

Zagreb, rujan, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Mihaela Pejić**, JMBAG 0079071308, rođena 13.12.1998. u Sisku, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

**PRINOS I MINERALNI SASTAV MLADIH IZDANAKA ROTKVICE UZ
PRIMJENU RAZLIČITOG SPEKTRA LED OSVJETLJENJA**

Svojim potpisom jamčim:

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

U Zagrebu, dana _____

Potpis studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE
O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Mihaele Pejić**, JMBAG 0079071308, naslova

**PRINOS I MINERALNI SASTAV MLADIH IZDANAKA ROTKVICE UZ
PRIMJENU RAZLIČITOG SPEKTRA LED OSVJETLJENJA**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Prof. dr. sc. Božidar Benko mentor
2. Izv. prof. dr. sc. Sanja Radman član
3. Izv. prof. dr. sc. Marko Petek član

Zahvala

Hvala prof. dr. sc. Božidaru Benku za mentorstvo i pomoć pri pisanju diplomskog rada. Hvala i ostalim profesorima sa Zavoda za povrćarstvo na Agronomskom fakultetu za pruženo znanje.

Istraživanje ne bi bilo moguće bez tvrtke Vesela motika koja mi je dopustila izvođenje pokusa i hvala Roberti Vrkić koja mi je u svemu tome pomogla.

A za svu ljubav i podršku koju sam imala tijekom studiranja zahvaljujem svojim roditeljima. I veliko hvala mojoj obitelji i prijateljima koji su me bodrili, savjetovali i bili uz mene.

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Pregled literature | 2 |
| 2.1. Uzgoj mladih izdanaka | 2 |
| 2.2. Svjetlost..... | 3 |
| 2.3. Upotreba LED osvjetljenja..... | 3 |
| 3. Materijal i metode | 5 |
| 3.1. Provedba istraživanja..... | 5 |
| 3.2. Analiza biljnog materijala | 8 |
| 3.3. Statistička analiza podataka | 11 |
| 4. Rezultati i rasprava | 12 |
| 4.1. Prinos | 12 |
| 4.2. Suha tvar..... | 13 |
| 4.3. Količina makroelemenata | 14 |
| 4.3.1. Količina dušika..... | 14 |
| 4.3.2. Količina fosfora..... | 14 |
| 4.3.3. Količina kalija | 15 |
| 4.3.4. Količina kalcija | 16 |
| 4.3.5. Količina magnezija..... | 17 |
| 4.4. Količina mikroelemenata | 18 |
| 4.4.1. Količina željeza | 18 |
| 4.4.2. Količina cinka | 18 |
| 4.4.3. Količina mangana..... | 19 |
| 4.4.4. Količina bakra | 20 |
| 5. Zaključna razmatranja | 22 |
| 6. Literatura..... | 23 |

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Mihaele Pejić**, naslova

PRINOS I MINERALNI SASTAV MLADIH IZDANAKA ROTKVICE UZ PRIMJENU RAZLIČITOG SPEKTRA LED OSVJETLJENJA

Vertikalni uzgoj je tehnika uzgoja bilja u više razina, jedna iznad druge. Često uključuje kontrolirane uvjete uzgoja, koji imaju za cilj optimizirati rast biljaka kao i primjenu hidroponskih tehnika uzgoja. Ovom tehnikom se najčešće uzgajaju mladi izdanci, odnosno biljčice u fazi razvijenih kotiledonskih listova u komorama za rast biljaka, uz primjenu dopunskog osvjetljenja. Pokus je proveden u tri ponavljanja u klima komori uz temperaturu od 25 °C i RVZ od 60 %. U ovom istraživanju korišteno je LED osvjetljenje s tri različita spektra (plavi – 450 nm, crveni – 620 nm i kombinacija plavog i crvenog spektra 50:50) s fotoperiodom u trajanju 14 sati. Laboratorijskom analizom utvrđen je prinos (kg/m²) i mineralni sastav nakon različitih tretmana LED osvjetljenjem. U uzgoju mladih izdanaka rotkvice uz primjenu različitog LED osvjetljenja nije zabilježena značajna promjena u prinosu, količini suhe tvari i količini dušika. Plavo osvjetljenje značajno je povećalo koncentracije kalija i magnezija, dok je crveno osvjetljenje pozitivno utjecalo na sve mikroelemente osim cinka i makroelemente osim fosfora. Kombinirano LED osvjetljenje povećalo je koncentraciju mikroelemenata i makroelemenata, osim dušika.

Ključne riječi: *Raphanus sativus* var. *longipinnatus*, mladi izdanci, svjetlosni spektar, makroelementi, mikroelementi

Summary

Of the master's thesis - student **Mihaela Pejić**, entitled

YIELD AND MINERAL COMPOSITION OF RADISH MICROGREENS UNDER DIFFERENT SPECTRA OF LED LIGHTING

Vertical farming is a technique of growing plants on multiple levels, one above the other. It often involves controlled growing conditions to optimize plant growth and the application of hydroponic growing techniques. This method is used for growing microgreens, which are plants at the stage of developed cotyledon leaves, in plant growth chambers using supplemental lighting. The experiment was conducted in three repetitions in a climate chamber with a temperature of 25 °C and a relative humidity of 60%. In this research, LED lighting with three different spectra (blue – 450 nm, red – 620 nm, and a combination of blue and red spectra 50:50) was used with a photoperiod lasting 14 hours. Laboratory analysis determined the yield (kg/m²) and mineral composition after different LED lighting treatments. Radish microgreens were produced under various LED lighting conditions, showing no significant changes in yield, dry matter content, or nitrogen levels. Blue LED light significantly increased potassium and magnesium concentrations, while red LED light positively affected all micronutrients except zinc and all macronutrients except phosphorus. Combined LED lighting increased the concentration of both micronutrients and macronutrients, except for nitrogen.

Keywords: *Raphanus sativus* var. *longipinnatus*, microgreens, light spectrum, macroelements, microelements

1. Uvod

Prehrambene navike ljudi se mijenjaju zbog užurbanijeg načina života. Povećana je potražnja za proizvodima koji nude brzi pristup važnim vitaminima i mineralima. Upotrebom svježih hrane, bogate fiziološki aktivnim spojevima sprječavaju se mnoge zdravstvene tegobe. Mladi izdanci pozitivno utječu na zdravlje svojim antioksidativnim, antikancerogenim, antiproliferativnim, antiinflamatornim i antidijabetičkim svojstvima (Bhabani i sur., 2024; Lone i sur., 2024; Singh i sur., 2024).

Povećano je zanimanje za urbanu poljoprivredu uz korištenje različitih tehnika uzgoja (vertikalne farme, staklenici, plastenici, hidroponika, akvaponika) čiji je cilj održivost i pozitivno djelovanje na okoliš (Lone i sur., 2024). Proizvodnja mladih izdanaka ima veliki potencijal za održivi razvoj poljoprivredne industrije, jer svojom vrijednošću potiče gospodarski rast, tehnikom uzgoja čuva okoliš, a kvalitetom proizvoda poboljšava zdravlje ljudi (Singh i sur., 2024). Također, mogu biti jedno od rješenja za pothranjenost koja pogađa velik dio populacije, povećavajući dostupnost svježeg povrća u uvjetima klimatskih promjena i ljudskih sukoba (Giogia i sur., 2023).

Za uzgoj mladih izdanaka najčešće se koristi sjeme začinskog bilja, žitarica ili povrća. Vrijeme berbe u fazi razvoja kotiledona i prvog para pravih listova ovisi o biljnoj vrsti i obavlja se između 7. i 21. dana nakon sjetve (Lone i sur., 2024; Partap i sur., 2023). Najčešće se uzgajaju: amarant, suncokret, grašak, rotkvica, peršin, gorušica, bosiljak, cikla, rukola, kres salata itd. Mladi izdanci imaju veću nutritivnu vrijednost od klica i do 40 % veći udio hranivih tvari od zrelog povrća i voća (Singh i sur., 2024). Bogati su makro- i mikroelementima i odlikuje ih intenzivniji okus, ali ograničeni rok trajanja, odnosno kratka održivost poslije berbe, što predstavlja izazov u uzgoju i distribuciji (Lone i sur., 2024).

Jedan od glavnih vegetacijskih čimbenika koji utječe na biosintezu metabolita i antioksidativnih spojeva u biljakama povećavajući nutritivnu vrijednost je svjetlost. Svjetlost je važna za proces fotosinteze i sudjeluje u prijenosu specifičnih signala koji reguliraju razvoj, rast i metabolizam biljaka (Mlinarić i sur., 2020; Paradiso i sur., 2021). Uz korištenje dopunskog osvjetljenja povećana je učinkovitost pretvorbe električne energije u svjetlost, uz prilagodbu spektra svjetlosti prema potrebama biljke i djelovanju na primarne i sekundarne metaboličke procese u biljci (Appolloni i sur., 2021). Prilikom primjene LED osvjetljenja moguće je uz reguliranje duljine fotoperioda regulirati i spektar zračenja. Dostupna literatura opisuje različite reakcije biljaka na različite vrste svjetlosti kod primjene na različitim vrstama biljaka. Za povećanje prinosa i kvalitete biljaka potrebno je za svaku biljnu vrstu istražiti koja vrsta je najučinkovitija (Shibaeva i sur., 2022).

Cilj istraživanja je utvrditi postoje li razlike u prinosu i mineralnom sastavu mladih izdanaka rotkvice iz vertikalnog uzgoja, uz primjenu LED osvjetljenja različitih valnih duljina.

2. Pregled literature

2.1. Uzgoj mladih izdanaka

Mladi izdanci (eng. *microgreens*) su naziv za mlade biljke koje se nalaze između stadija klijanaca (eng. *sprouts*) koji su najmanji i najmlađi i mladog lisnatog povrća za rez (eng. *baby leaf*) koje je nešto duže od mladih izdanaka, ali se bere kasnije. S obzirom kako ne postoji točan botanički termin koji definira što su mladi izdanci, u literaturi se koriste slične definicije mladih izdanaka kojom se opisuje njihova proizvodnja (Lone i sur., 2024).

Mladi izdanci mogu se uzgajati na različite načine, u manjim količinama za osobnu upotrebu ili u većim količinama za komercijalnu svrhu. Povećan je interes za komercijalnu proizvodnju mladih izdanaka, iako je njihova faza rasta kratka i dalje zahtijevaju pažljivu njegu. Mladi izdanci mogu se uzgajati na otvorenom i u zaštićenim prostorima, korištenjem prirodne svjetlosti ili dopunskog osvjetljenja, a uzgoj je moguć u supstratu ili u mediju bez tla. Odabir odgovarajućeg supstrata jedan je od ključnih koraka u uspješnoj proizvodnji mladih izdanaka. Osim što predstavlja jedan od glavnih troškova u uzgoju, supstrat ima značajan utjecaj na prinos i kvalitetu biljaka. Kvalitetan supstrat uz optimalne uvjete uzgoja poput svjetlosti, temperature i vlage, osigurava brži rast i bolji razvoj povećavajući prinos i kvalitetu (Gunjal i sur., 2024; Dhaka i sur., 2023; Stoleru i sur., 2017). Uzgojem u zaštićenom prostoru, mladi izdanci zaštićeni su od vanjskih utjecaja, a ujedno je osigurana dostupnost tijekom cijele godine. Zbog male visine biljaka, mladi se izdanci u zaštićenim prostorima uzgajaju tehnikom vertikalnog uzgoja, što je pogodno i za urbane sredine bog nedostatka prostora, odnosno obradivih površina (Du i sur., 2022).

Upotreba kvalitetnog i netretiranog sjemena u uzgoju mladih izdanaka je vrlo važno, s obzirom da se konzumira cijela uzgojena biljka. S agronomskog i komercijalnog stajališta sjeme koje se koristi za uzgoj mladih izdanaka karakterizira dostupnost kvalitetnog sjemena, njegov kapacitet klijanja i niska cijena (Bhaswant i sur., 2023).

Beru se na razini tla između prvog i trećeg tjedna nakon sjetve. Visina mladih izdanaka varira od 2,5 do 7,6 cm, ovisno o vrsti. Unatoč maloj veličini, moguće je osjetiti različite intenzivne okuse sa različitim teksturama okusa. U vrijeme berbe biljka ima razvijene kotiledone i ima ili nema jedan par pravih listova. Različiti uvjeti uzgoja utječu na rast mladih izdanaka i mineralni sastav (Lenzi i sur., 2019; Xiao i sur., 2012). Vrkić i sur. (2024) navode mogućnost kontroliranja abiotskih čimbenika čime se osiguravaju optimalni uvjeti za rast mladih izdanaka u zatvorenim prostorima, bez sunčevog svjetla.

2.2. Svjetlost

Na rast i razvoj biljaka, odnosno na prinos i kvalitetu, utječu klimatski (ekološki) čimbenici područja u kojem biljka raste. Ekološki čimbenici uključuju: zrak, toplinu, svjetlost, vodu, tlo, zemljopisnu širinu i nadmorsku visinu (Voća i sur., 2020). Svjetlost, zajedno s vodom i toplinom, jedan je od ključnih čimbenika, kako na otvorenom, tako i u zaštićenim prostorima. Svjetlost u potpunosti regulira metabolizam i fiziološke procese biljaka. Spektar svjetlosti djeluje kao višestruki signal za regulaciju, no mnoge pojedinačne komponente spektra još su nedovoljno istražene (Ptushenko i sur., 2020).

Intenzitet svjetla ima ključnu ulogu kod rasta biljaka, jer biljke uzgojene s manje svjetlosti su pokazale osjetljivost na fotoinhibiciju za razliku od onih koje su uzgojene s većim intenzitetom svjetlosti (Fan i sur., 2013). U usporedbi sa starijim listovima, mlađi listovi pokazuju veću fotosintetsku aktivnost (Vukadinović i Vukadinović, 2016). Vukadinović i sur. (2014) navode kako visoki stresni intenzitet može dovesti to fotooštećenja, fotoaktivacije, fotoinhibicije i degradacije proteina.

Učinkoviti dijelovi spektra za fotosintezu nalaze se u plavom i crvenom području koje apsorbiraju najviše klorofili. Klorofil ima dva apsorpcijska maksimuma: jedan je u plavom, a drugi u crvenom dijelu spektra. A valne duljine zelene i žute svjetlosti se reflektiraju, što klorofilu daje njegovu boju: plavo-zelenu za klorofil a i žuto-zelenu za klorofil b (Vukadinović i sur., 2014).

Sastav spektra svjetlosti utječe na fotosintezu i važan je pri uzgoju biljaka u zaštićenim prostorima. Fotosinteza koristi zračenje u rasponu od 400 do 700 nm. Ispod 390 nm nalazi se ultraljubičasti (UV) dio spektra, dok je iznad 760 nm infracrveni (IR) dio spektra. Kombinacija svih valnih duljina vidljivog spektra stvara bijelu svjetlost (Vukadinović i sur., 2014).

2.3. Upotreba LED osvjetljenja

Najčešće korišteni izvori dopunskog, odnosno proizvodnog osvjetljenja poput metal-halidnih lampi, visokotlačnih natrijevih lampi i fluorescentnih lampi su slabe kvalitete i neučinkoviti. Stoga su zamijenjeni učinkovitijim i efikasnijim LED osvjetljenjem, čiji je spektar zračenja moguće kontrolirati i prilagođavati, pri čemu se utječe na fotone koji izmjenjuju dinamiku rasta i kvalitetu biljke putem fotoreceptora. Kombinacija različitog spektra LED osvjetljenja, crvenog i plavog, pokazala se efikasnijom za razliku od visokotlačnih natrijevih i fluorescentnih žarulja pri uzgoju klijanaca, mladih izdanaka i ostalog povrća (Zhang i sur., 2020; Samuoliene i sur., 2023).

Rehman i sur. (2017) su u radu objasnili kako LED proizvodno osvjetljenje može biti ekonomičan i učinkovit izvor svjetlosti potrebne za rast i razvoj biljaka, posebno u zatvorenim sustavima proizvodnje. Alrifai i sur. (2019) navode kako je dopunskim osvjetljenjem moguće utjecati na fotosintezu, čime dolazi do izraženije sinteze i nakupljanja sekundarnih metabolita kod biljaka uzgojenih pod zasebnim crvenim i plavim spektrom LED osvjetljenja u usporedbi s bijelim spektrom LED osvjetljenja.

Korištenje dopunskog ili proizvodnog osvjetljenja u kontroliranim uvjetima bez utjecaja vanjskih čimbenika omogućava stabilnu proizvodnju povrća. Uz mijenjanje uvjeta uzgoja potrebno je smanjiti troškove električne energije, ali i dalje osigurati dovoljnu kvalitetu proizvodnje. Kvaliteta svjetlosti utječe na rast i razvoj biljaka (Kaneko-Ohashi i sur., 2007). U istraživanju koje su proveli Qiao i sur. (2024.), upotrebom kombiniranog crvenog i plavog spektra osvjetljenja je utvrđena bolja učinkovitost za proizvodnju mladih izdanaka heljde u odnosu na bijelu svjetlost. Veći udio crvenog spektra rezultirao je većom biomasom, dok je povećani udio plavog svjetla doprinio boljoj nutritivnoj vrijednosti.

Na tržištu su dostupni različiti tipovi žarulja za dopunsko osvjetljenje, ali su se svjetleće diode (eng. *light emitting diodes* - LED) pokazale kao najbolja opcija za upotrebu u zatvorenom prostoru za vertikalni uzgoj. Uz mogućnost reguliranja spektra zračenja, prednost je u njihovom dugom radnom vijeku, malom utrošku energije i mogućnosti povezivanja s digitalnim sustavima (Appolloni i sur., 2021). Smanjenje potrošnje energije tijekom osvjetljenja predstavlja važan čimbenik pri odabiru tehnologije. Time se pokušavaju smanjiti utjecaji promjene klime i samog utroška energije. Svjetlost je jedan od glavnih izvora energije i ima ulogu u biosintezi brojnih spojeva (Artés-Hernández i sur., 2022).

3. Materijal i metode

3.1. Provedba istraživanja

Istraživanje utjecaja primjene LED osvjetljenja različitih valnih duljina na prinos i mineralni sastav mladih izdanaka rotkvice provedeno je tijekom ožujka, 2024. godine, u komori za rast biljaka tvrtke Vesela Motika.

Za potrebe ovog istraživanja korišteno je sjeme Daikon rotkvice (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*), proizvođača BAVICCHI S.P.A (Italija), namijenjeno za uzgoj mladih izdanaka (Slika 3.1.1.). Sjeme je certificirano, porijeklom iz ekološkog uzgoja, nije tretirano s obzirom na duljinu proizvodnog ciklusa i krajnje korištenje.



Slika 3.1.1. Ambalaža sjemena
Foto: M. Pejić

Pokus je proveden u komori za rast biljaka, sa mogućnošću reguliranja uvjeta temperature i relativne vlage zraka te duljine fotoperioda, odnosno trajanja osvjetljenja, koristeći vertikalni sustav uzgoja na policama (slika 3.1.2.). Sjetva sjemena rotkvice je obavljena u plastične plitice površine 0,0851 m², u tri ponavljanja. Svaka plitica je prethodno napunjena s 2 L tresetnog supstrata Klasmann TS 3. Ukupno je korišteno 9 plastičnih plitica s utroškom sjemena od 60 g po plitici (470 g/m²).

Nakon sjetve obavljene 5. ožujka, plitice su tretirane otopinom vode i dezinfekcijskog sredstva Genox u omjeru 3:1. Zatim su smještene u klijaliste, u kojem je održavana konstantna temperatura od 25 ± 1 °C i relativna vlažnost zraka (RVZ) od 75 ± 10 %. Plitice su u klijalistu ostavljene tri dana kako bi se omogućilo optimalno i ravnomjerno klijanje sjemena.



Slika 3.1.2. Vertikalni sustav uzgoja mladih izdanaka

Foto: M. Pejić

Nakon tri dana (7. ožujka), plitice sa biljčicama u fazi nicanja su postavljene na police udaljene 31 cm od LED žarulja i redovito navodnjavane vodom, bez dodavanja hraniva. Mladi izdanci bili su izloženi proizvodnom LED osvjetljenju uz fotoperiod od 14 sati dnevno. Primijenjena su tri različita spektra proizvodnog osvjetljenja (slika 3.1.3., 3.1.4. i 3.1.5.): plavi (450 nm), crveni (620 nm) i kombinacija plavog i crvenog spektra u omjeru 50: 50. Korištene su LED žarulje FLEX-PRO S7 (plavi spektar) i FLEX-PRO S4 (crveni spektar) te kombinacija ovih dviju žarulja (S7 + S4) proizvođača SANSOL GmbH, Austrija (tablica 3.1.1.). Iznad svake police postavljene su dvije žarulje.

Tablica 3.1.1. Primijenjeni spektar zračenja u uzgoju mladih izdanaka rotkvice

| Tip žarulje* | S7 | S4 | S7+S4 |
|--|--------|--------|---------|
| Spektar, nm | 450 | 620 | 450+620 |
| Efikasnost, $\mu\text{mol/J}$ | 2,6 | 2,3 | 2,6/2,3 |
| PPFD ^a , $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ | 419,80 | 371,76 | 395,78 |
| DLI ^b , $\text{mol/m}^2/\text{day}$ | 21,14 | 18,72 | 19,93 |

*Tip žarulja: S7 – plavi spektar (450 nm); S4 – crveni spektar (620 nm); S7+S4 – kombinacija plavog i crvenog spektra 50:50

^aPPFD – gustoća toka fotona (eng. *photosynthetic photon flux density*)

^bDLI – dnevni svjetlosni integral (eng. *daily light integral*)



Slika 3.1.3. Plavi spektar LED
osvjetljenja
Foto: M. Pejić



Slika 3.1.4. Crveni spektar
osvjetljenja
Foto: M. Pejić



Slika 3.1.5. Kombinacija plavog i
crvenog spektra osvjetljenja
Foto: M. Pejić

Ručna berba mladih izdanaka obavljena je 11. ožujka, rezanjem pri dnu hipokotila (slika 3.1.6.). U berbi je utvrđen prinos i izražen u kg/m^2 . Prikupljeni su reprezentativni uzorci svježeg biljnog materijala, mase oko 500 g. Uzorci su u najkraćem mogućem roku dostavljeni u laboratorij Zavoda za ishranu bilja Agronomskog fakulteta u Zagrebu radi kemijske analize. U laboratoriju su utvrđeni udio suhe tvari (%) i mineralni sastav mladih izdanaka.



Slika 3.1.6. Berba mladih izdanaka
Foto: M. Pejić

3.2. Analiza biljnog materijala

Suha tvar određena je gravimetrijskom metodom, gdje se ukupna suha tvar izražava u postotcima (%) i čini cjelokupnu količinu tvari iz sastava proizvoda koja ne isparava pod određenim uvjetima. Obavlja se u zagrijanom sušioniku na temperaturi 105 °C. Metoda je namijenjena određivanju ukupne suhe tvari u proizvodima od voća i povrća.

Korišteni pribor i oprema:

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

Izračun se obavlja sljedećom formulom:

$$\text{Suha tvar (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100$$

gdje m_0 predstavlja masu posudice i pomoćnog materijala (kvarcni pijesak, stakleni štapić i poklopac) (g); m_1 je masa posudice s ispitivanim uzorkom prije sušenja (g) i m_2 je masa posudice s ostatkom nakon sušenja (g).

Količina makroelemenata izražena je kao postotak suhe tvari (% ST) za N, P, K, Ca, Mg, s obzirom na varijabilan sadržaj vode u njima. Za preračun fosfora i kalija iz oksidnog oblika (P_2O_5 i K_2O) u elementarni oblik korišteni su faktori: $P = P_2O_5 \times 0,436$ i $K = K_2O \times 0,830$, a sirovi proteini su preračunati korištenjem formule: $\% N \times 6,25$ (Brlek, 2019). Količina mikroelemenata je izražena u mg/kg ST.

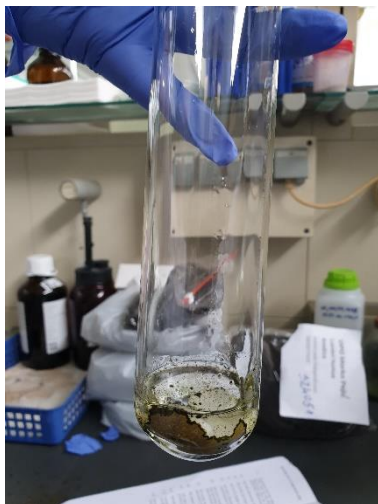
Za određivanje ukupnog dušika koristi se metoda po Kjeldahl-u. Metoda se temelji na razaranju uzorka pomoću koncentrirane fenolsulfonske kiseline u prisustvu katalizatora i uz primjenu topline, prikazano na Slikama 3.1.7., 3.1.8., 3.1.9. Na slici 3.1.10. prikazan je uređaj Kjeltec uz pomoć kojeg se vrši destilacija, koja je potrebna za ekstrakciju ukupnog dušika iz uzorka. Za postupak titracije koristi se klorovodična kiselina (slika 3.1.11. i 3.1.12.).

Korišteni pribor i oprema:

- analitička vaga
- kiveta za Kjeltec sustav
- menzura
- blok za spaljivanje
- erlenmeyerova tikvica
- Kjeltec TM9
- bireta za titraciju

Kemikalije:

- 96 % sumporna kiselina
- tableta za spaljivanje
- borna kiselina
- natrijev hidroksid (NaOH, $c = 0,1 \text{ mol/L}$)
- klorovodična kiselina (HCl, $c = 0,1 \text{ mol/L}$)



Slika 3.1.4. Postupak prije spaljivanja
Foto: M. Pejić



Slika 3.1.5. Postupak spaljivanja
Foto: M. Pejić



Slika 3.1.6. Postupak poslije spaljivanja
Foto: M. Pejić



Slika 3.1.7. Destilacija uz pomoć Kjeltec uređaja
Foto: M. Pejić



Slika 3.1.8. Postupak prije titracije
Foto: M. Pejić



Slika 3.1.9. Postupak nakon titracije
Foto: M. Pejić

Koncentrirane kiseline HNO_3 i HClO_4 koje su korištene za digestiju uzoraka uz pomoć Milestone 1200 Mega Microwave Digester-a (Slika 3.1.13.). Količina fosfora u uzorcima koji su prikazani na Slici 3.1.14., je određena spektrofotometrijski nakon digestije. Također, količina kalija se određuje plamenfotometrijom uz pomoć plamen fotometra nakon digestije uz pomoć koncentriranih kiselina HNO_3 i HClO_4 .



Slika 3.1.103. Uzorci u digestoru
Foto: M. Pejić



Slika 3.1.114. Uzorci nakon digestije

Foto: M. Pejić

Kalcij, magnezij, željezo, mangan, cink i bakar analizirani su atomskom apsorpcijskom spektrofotometrijom nakon digestije s koncentriranim kiselinama HNO_3 i HClO_4 .

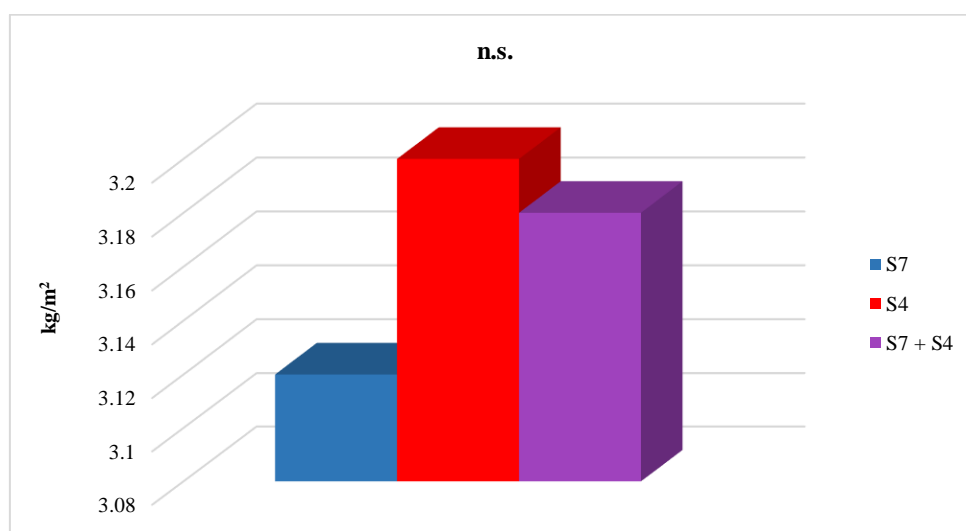
3.3. Statistička analiza podataka

Statistička obrada podataka je provedena u programu SAS® Software v.9.4 (2013). Razlike između istraživanih tretmana za navedena promatrana svojstva su analizirana uz pomoć analize varijance (ANOVA). Značajne razlike između prosječnih vrijednosti su utvrđene LSD t-testom na razini signifikantnosti $p \leq 0,05$.

4. Rezultati i rasprava

4.1. Prinos

U grafikonu 4.1.1. prikazan je prosječan prinos mladih izdanaka rotkvice ovisno o primijenjenom proizvodnom osvjetljenju. Uočava se da između tri različita tretmana osvjetljenja nisu utvrđene značajne razlike. Najveći prinos (3,20 kg/m²) mladih izdanaka rotkvice utvrđen je primjenom crvenog spektra osvjetljenja, dok je najmanji prinos (3,12 kg/m²) utvrđen primjenom plavog osvjetljenja.



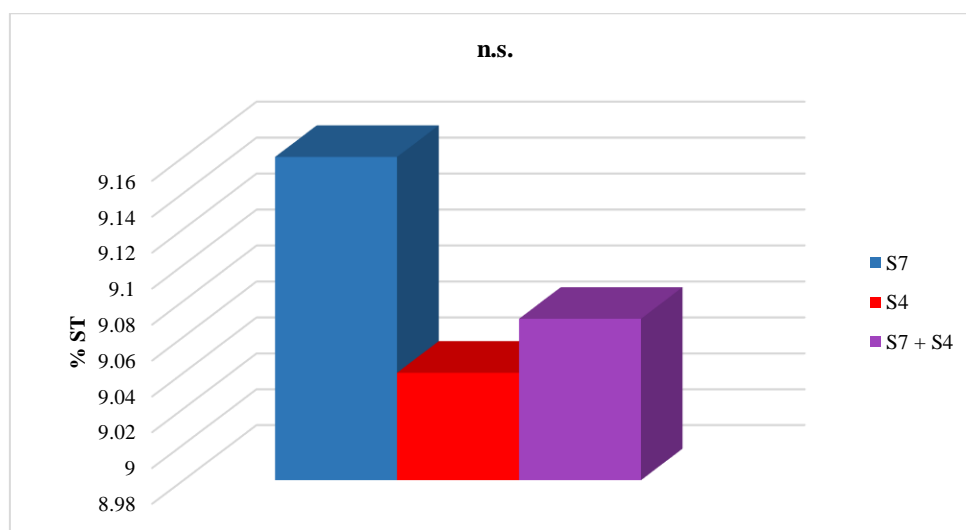
Grafikon 4.1.1. Prosječan prinos mladih izdanaka (kg/m²) rotkvice pri osvjetljenju različitim valnim duljinama S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

Kamal i sur. (2020) istraživali su utjecaj LED osvjetljenja na uzgoj različitih vrsta iz roda *Brassica*. Utvrdili su kako tretman plavim spektrom LED osvjetljenja dovodi do smanjenja prinosa, što je istovjetno rezultatima ostvarenima u ovom istraživanju, ali bez značajnih razlika između tretmana. U istraživanju Ampim i sur. (2020) mladi izdanci amaranta tretirani kombiniranim osvjetljenjem ostvarili su prinos od 8,32 kg/m² što je znatno više u odnosu na rezultate ostvarene u ovom istraživanju.

Haddaji i sur. (2023) su tijekom istraživanja utjecaja različitih LED tretmana utvrdili kako spektar crvenog osvjetljenja značajno poboljšava vegetativni rast mladih izdanaka piskavice (0,23 kg/m²), kopra (0,14 kg/m²) i krasuljice (0,61 kg/m²) što je značajno manje od prinosa u ovom istraživanju. U istraživanju uzgoja mladih izdanaka u sustavu bez tla D'Imperio i sur. (2023) su ostvarili znatno veći prinos rotkvice (7,17 kg/m²) i graška (5,58 kg/m²) u odnosu na istraživanje provedeno za izradu ovog diplomskog rada.

4.2. Suha tvar

Količina suhe tvari (ST) se nije razlikovala između tretmana (n.s.). U grafikonu 4.2.1. je prikazana prosječna količina suhe tvari u mladim izdancima rotkvice. Najveća količina suhe tvari (9,16 %) utvrđena je u izdancima koji su tretiranih plavim spektrom. Kombinirano osvjetljenje (S7 + S4) rezultiralo je nešto manjom količinom suhe tvari (9,07 %). Najmanja količina suhe tvari utvrđena je u mladim izdancima nakon primjene crvenog osvjetljenja (9,04 %).



Grafikon 4.2.1. Prosječan količina suhe tvari mladih izdanaka

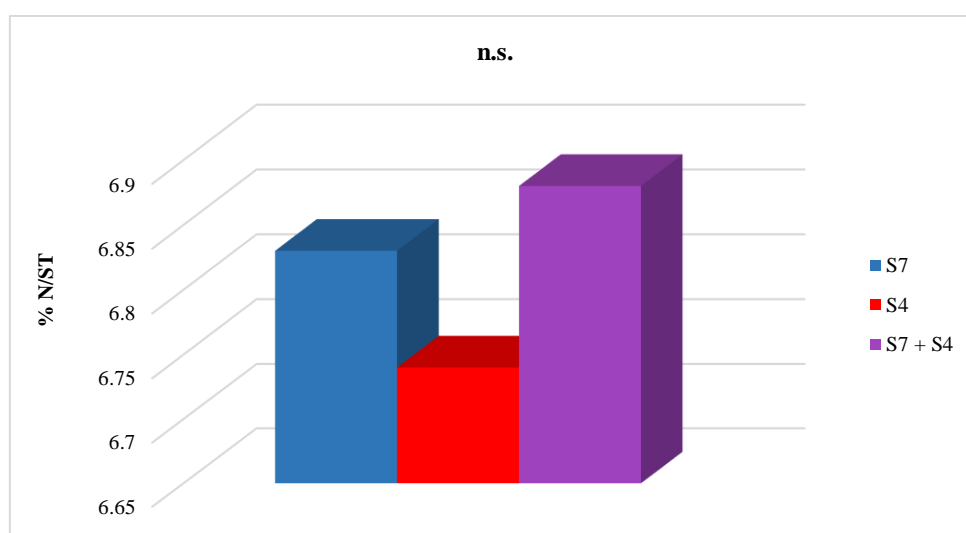
S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

Primjenom kombiniranog osvjetljenja Kamal i sur. (2020) su utvrdili manje količine suhe tvari mladih izdanaka (6,18-6,90 %) u odnosu na rezultate iz ovog rada. Madar i Hajos (2020) istraživali su utjecaj različitih uvjeta uzgoja na mlade izdanke, pri čemu su najviše vrijednosti suhe tvari utvrđene kod cikle i blitve (~10 %), što je približno vrijednostima istraživanja. . Dok u ovom istraživanju nisu utvrđene značajne razlike između vrijednosti suhe tvari pri različitim tretmanima LED osvjetljenjem, Lobiuc i sur. (2017) su najveće vrijednosti utvrdili kod tretmana kombiniranim LED osvjetljenjem s većim udjelom plave svjetlosti na mlade izdanake. Tretmani s većim udjelom crvene svjetlosti i one s jednakim udjelom imaju nižu vrijednost suhe tvari.

4.3. Količina makroelemenata

4.3.1. Količina dušika

Količina ukupnog dušika se nije značajno razlikovala između tretmana. U grafikonu 4.3.1.1. je prikazana prosječna količina ukupnog dušika u mladim izdancima rotkvice. Najveća količina ukupnog dušika (6,88 % N/ST) utvrđena je u izdancima koji su tretirani kombiniranim osvjetljenjem (S7 + S4). Tretmani plavog osvjetljenja rezultirali su nešto manjom količinom ukupnog dušika (6,38 % N/ST). Najmanja količina suhe tvari utvrđena je u mladim izdancima nakon primjene crvenog osvjetljenja (6,74 % N/ST).



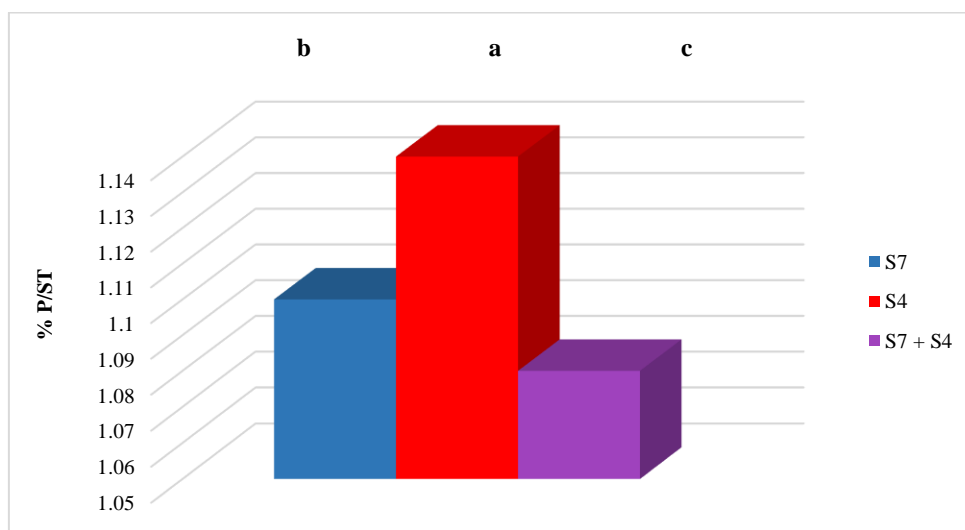
Grafikon 4.3.1.1. Prosječna količina ukupnog dušika mladih izdanaka

S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

U radu Toscano i sur. (2021) količina dušika u mladim izdancima amaranta i poljske vrzine tretiranih različitim spektrima LED osvjetljenja kretale su se od 0,13 do 0,16 % što je znatno manje nego u ovom radu. Količina dušika pri različitim dozama fertirigacije utvrđenih u mladim izdancima rotkvice daikon varira u rasponu od 4,72 % do 5,75 % (Li i sur., 2023).

4.3.2. Količina fosfora

Količina fosfora u mladim izdancima rotkvice je značajno varirala ovisno o tretmanu LED osvjetljenjem (grafikon 4.3.2.1.). Najveća količina fosfora (1,14 % P/ST) utvrđena je u izdancima koji su tretirani crvenim osvjetljenjem. Tretman plavog osvjetljenja rezultirao je značajno manjom količinom fosfora (1,10 % P/ST), dok je najmanja količina fosfora (1,08 % P/ST) utvrđena je u mladim izdancima nakon primjene kombiniranog osvjetljenja (S7 + S4).



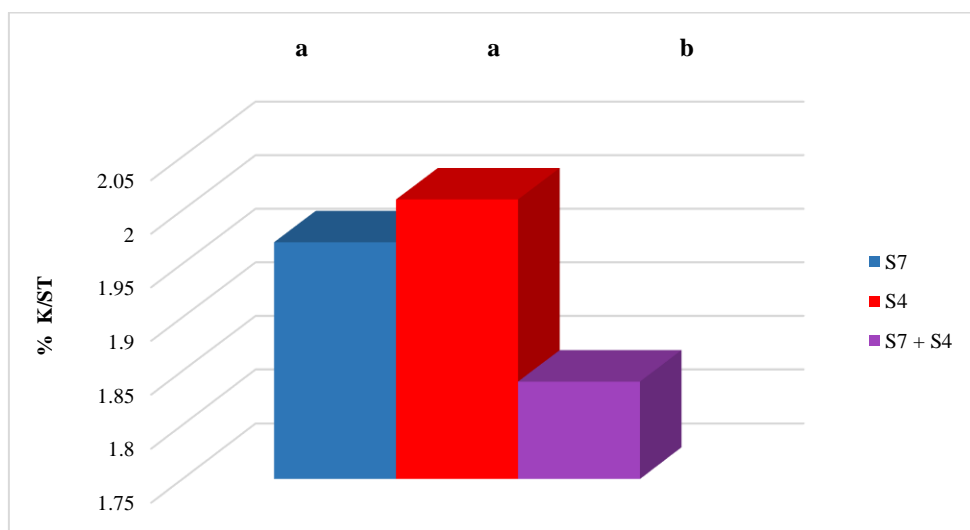
Grafikon 4.3.2.1. Prosječna količina ukupnog fosfora mladih izdanaka
 S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

Tijekom istraživanja Brazaitytė i sur. (2021) su u mladim izdancima gorušice, uz upotrebu kombiniranog LED osvjetljenja, utvrdili oko 9 % manje količine fosfora od količina utvrđenih u ovom radu. Li i sur. (2023) su tijekom uzgoja mladih izdanaka različitim dozama fertirigacije utvrdili količine fosfora između 1,21 i 1,27 % ST, što je nešto više od količina fosfora utvrđenih u ovom istraživanju. Kamal i sur. (2020) istraživanjem utjecaja kombiniranog osvjetljenja na mlade izdanke iz porodice Brassicaceae u svježoj masi utvrđuju količinu fosfora koja u rasponu od 0,059 % do 0,068 %.

4.3.3. Količina kalija

U grafikonu 4.3.3.1. prikazana je prosječna količina kalija u mladim izdancima rotkvice ovisno o tretmanu osvjetljenja. Nije uočena značajna razlika u prosječnoj količini kalija između mladih izdanaka rotkvice tretiranih plavim (1,97 % K/ST) i crvenim (2,01 % K/ST) osvjetljenjem. Kombinirano osvjetljenje (S7 + S4) rezultiralo je značajno manjom količinom (1,84 % K/ST) kalija u mladim izdancima rotkvice.

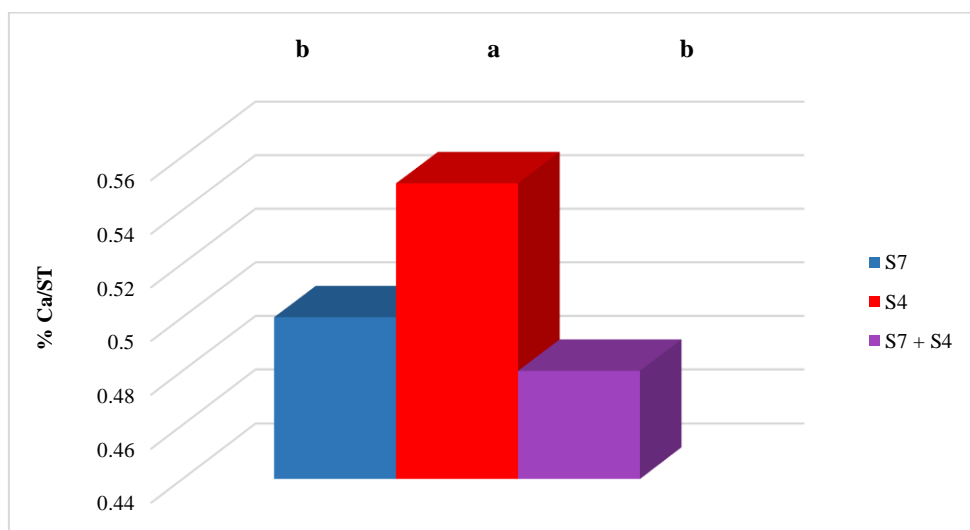
Prosječne količina kalija u mladim izdancima cikle (5,28 %) i brokule (2,58 %) veće su pri uzgoju na juti i drugim supstratima (Opačić i sur. 2020). U uzgoju mladih izdanaka gorušice tretiranih različitim spektrom LED osvjetljenja, količina kalija je također veća od količine u ovom radu i iznosila je od 2,24 do 2,63 % (Brazaitytė i sur., 2021). Istraživanjem Li i sur. (2023) utjecajem različitih doza fertirigacije na mlade izdanke, utvrđene su veće količine koje se bile u rasponu od 3,55 do 3,92 %.



Grafikon 4.3.3.1. Prosječna količina ukupnog kalija mladih izdanaka
 S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

4.3.4. Količina kalcija

Količina kalcija u mladim izdancima rotkvice tretiranih crvenim osvjetljenjem bila je znatno veća u odnosu na tretmane plavim i kombiniranim (S7 + S4) osvjetljenjem. Iz grafikona 4.3.4.1. vidljivo je kako količina kalcija kod tretmana crvenim osvjetljenjem iznosi 0,55 % Ca/ST. Najmanja količina kalcija (0,48 % Ca/ST) uočena je u mladim izdancima rotkvice tretiranih kombiniranim (S7 + S4) i nešto većom plavim osvjetljenjem (0,5 % Ca/ST).

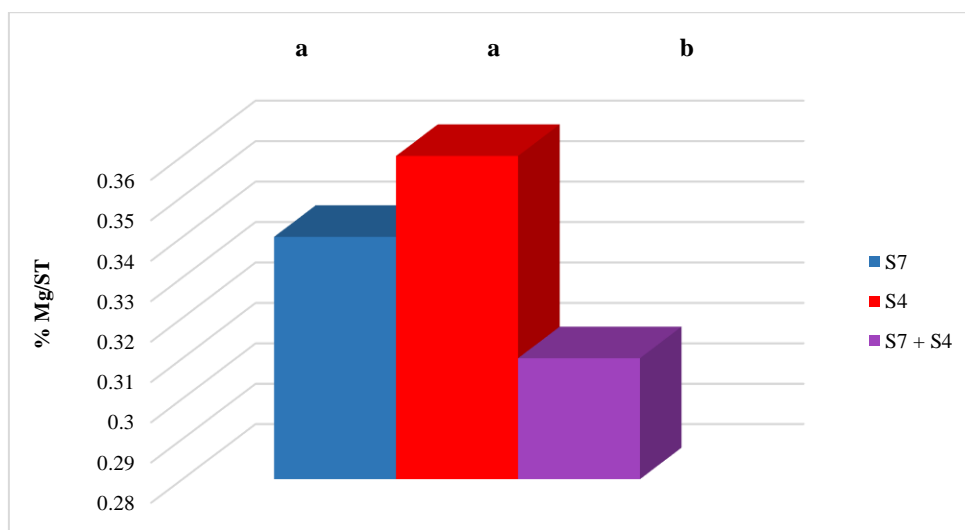


Grafikon 4.3.4.1. Prosječna količina kalcija mladih izdanaka
 S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

Količine kalcija u svježoj masi mladih izdanaka različitih vrsta iz porodice Brassicaceae, tretiranih kombiniranim osvjetljenjem znatno su manje i iznose od 0,18 do 0,32 % (Kamal i sur., 2016). Pri osvjetljenju mladih izdanaka gorušice s jednakim udjelima plave i crvene svjetlosti količina kalcija iznosi 1,9 % i veća je nego u ovom radu (Brazaitytė i sur. (2021). Veće količine kalcija (0,89-1,00 %) u odnosu na ovo istraživanje, utvrđene su u mladim izdancima rotkvice daikon pri različitim dozama fertirigacije (Li i sur., 2023). Prosječne količine kalcija u mladim izdancima cikle (0,74 %) i brokule (1,15 %) uzgojenma na različitim supstratima navode Opačić i sur. (2020) i one su nešto veće od količina kalcija u ovom radu pri različitim tretmanima LED osvjetljenjem.

4.3.5. Količina magnezija

Količina magnezija u mladim izdancima rotkvice je pri tretmanima plavim i crvenim osvjetljenjem bila značajno veće nego pri kombiniranom osvjetljenju (grafikon 4.3.5.1.). Najveće količine magnezija u mladim izdancima rotkvice uočeni su kod tretmana crvenim (0,36 % Mg/ST) i plavim (0,34 % Mg/ST) osvjetljenjem, dok je značajno manje magnezija (0,31 % Mg/ST) utvrđeno u mladim izdancima nakon primjene kombiniranog osvjetljenja (S7 + S4).



4.3.5.1. Prosječna količina magnezija mladih izdanaka

S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

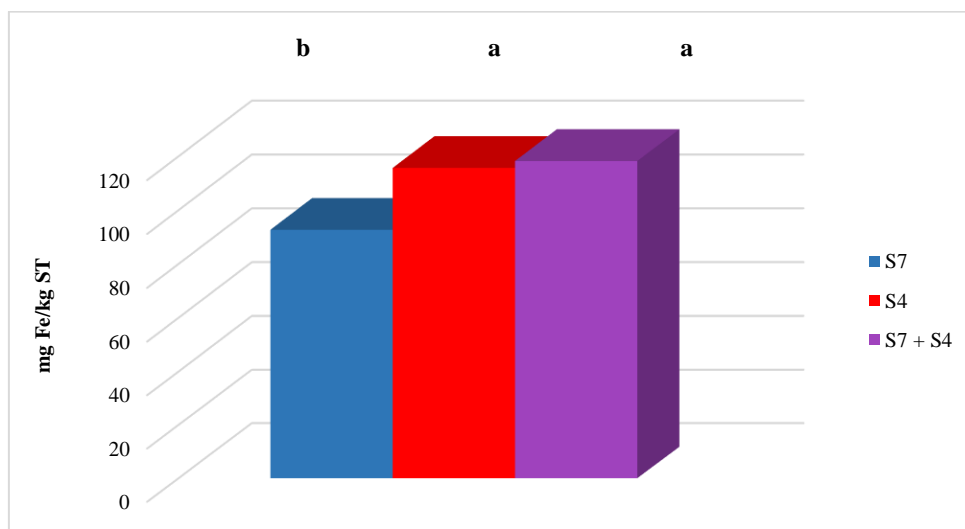
Količine magnezija utvrđene u ovom istraživanju sukladne su količinama utvrđenima u istraživanju Li i sur. (2023) pri različitim dozama fertirigacije (0,37 % do 0,40 %), tijekom uzgoja iste vrste mladih izdanaka. Najveća količina magnezija u istraživanju Brazaitytė i sur. (2021) utvrđena je pri kombiniranom LED osvjetljenju s jednakim udjelima crvenog i plavog

spektra svjetlosti i iznosi 0,59 %. Utvrđene prosječne količine magnezija u mladim izdancima cikle (0,74 %) i brokule (0,46 %) u istraživanju Opačić i sur. (2020) bile su veće od vrijednosti u našem istraživanju.

4.4. Količina mikroelemenata

4.4.1. Količina željeza

Količina željeza se nije značajno razlikovala između tretmana crvenog i kombiniranog osvjetljenja, dok je značajno manja količina utvrđena u mladim izdancima uzgajanima pod plavim osvjetljenjem (grafikon 4.4.1.1.) Najveća količina željeza (118,23 mg Fe/kg ST) utvrđena je u izdancima koji su tretirani kombiniranim osvjetljenjem (S7 + S4) a statistički podjednaka (115,67 mg Fe/kg ST) u onima tretiranim crvenim osvjetljenjem. Signifikantno manja količina željeza (92,67 mg Fe/kg ST) uočena je u mladim izdancima nakon primjene plavog osvjetljenja.



Grafikon 4.4.1.1. Prosječna količina željeza mladih izdanaka

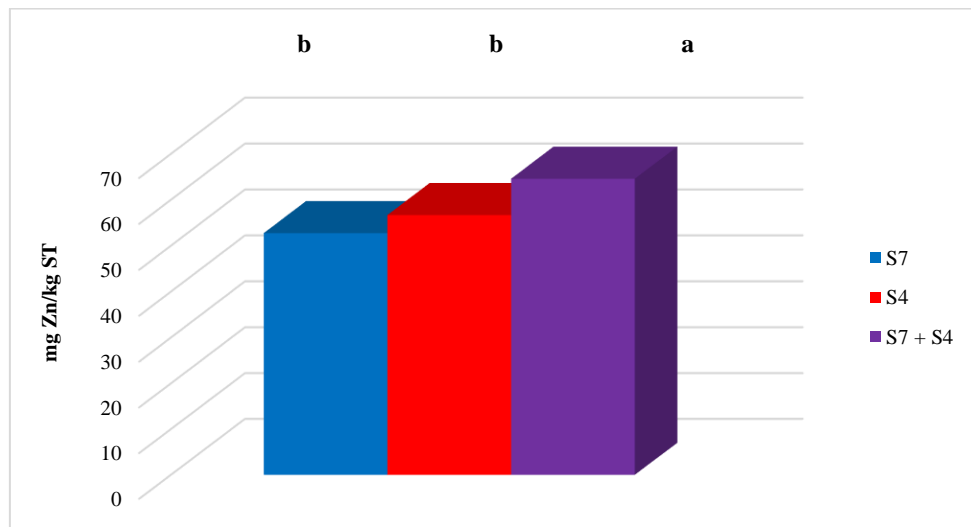
S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

U istraživanju Xiao i sur. (2016) prosječna količina željeza u mladim izdancima rotkvice iznosila je 57 mg/kg svježe mase. Kamal i sur. (2020) su utvrdili prosječne količine željeza u različitim vrstama u rasponu od 69 do 77 mg/kg svježe mase mladih izdanaka.

4.4.2. Količina cinka

U grafikonu 4.4.2.1. prikazana je prosječna količina cinka u mladim izdancima rotkvice. Najveća količina cinka (64,57 mg Zn/kg ST) utvrđena je u izdancima tretiranim

kombiniranim osvjetljenjem (S7 + S4). Značajno manje količine cinka utvrđene su u izdancima tretiranih crvenim (56,67 mg Zn/kg ST) i plavim osvjetljenjem (52,73 mg Zn/kg ST).



Grafikon 4.4.2.1. Prosječna količina cinka mladih izdanaka

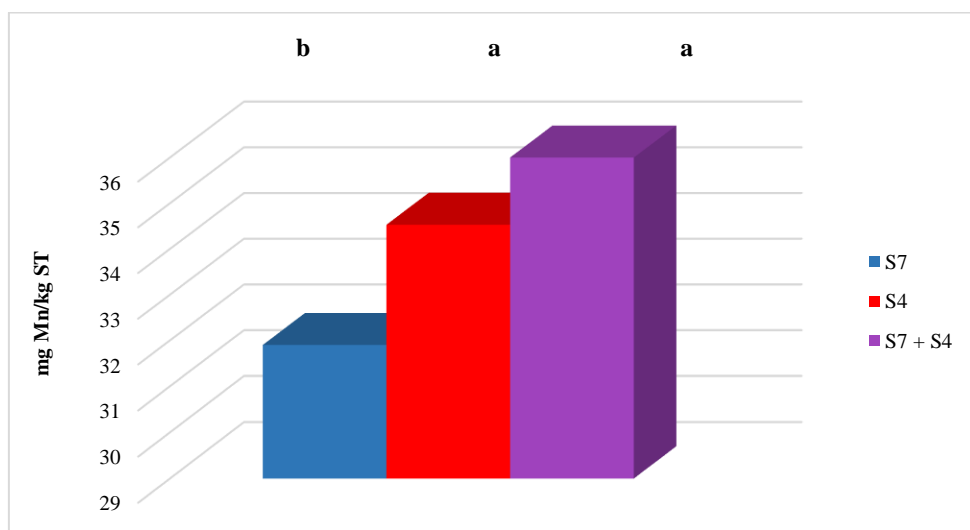
S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

Najveća količina cinka (43,00 mg/kg svježe mase) u istraživanju Kamal i sur. (2020) utvrđena je pri uzgoju mladih izdanaka plave korabice kombiniranim osvjetljenjem dok u ovom radu prosječna količina cinka nakon tretmana kombiniranim osvjetljenjem iznosi 64,57 mg/kg ST. U istraživanju Xiao i sur. (2016) mladih izdanaka rapini, čija je vrijednost 51,00 mg/kg Cu svježe mase usporedbi s najmanjom količinom cinka nakon tretmana plavog osvjetljenja (52,73 mg Zn/kg ST).

4.4.3. Količina mangana

Iz grafikona 4.4.3.1. vidljivo je kako se prosječna količina mangana u mladim izdancima rotkvice nije značajno razlikovala između tretmana crvenim (34,53 mg Mn/kg ST) i kombiniranim osvjetljenjem (36,0 mg Mn/kg ST). Značajno manja količina mangana (31,9 mg Mn/kg ST) utvrđena je u izdancima uz primjenu plavog osvjetljenja.

Istraživanjem Xiao i sur. (2016) utvrđeno je variranje količine mangana u različitim vrstama mladih izdanaka u rasponu od 17 do 44 mg/kg. Rezultati ostvaren u ovom istraživanju ne odstupaju od tih vrijednosti. Također, tijekom istraživanja utjecaja kombiniranog osvjetljenja na različite vrste mladih izdanaka porodice Brassiaceae nisu utvrđena odstupanja u količini mangana u mladim izdancima, čija je vrijednost iznosila od 34 do 46 mg/kg (Kamal i sur., 2020).

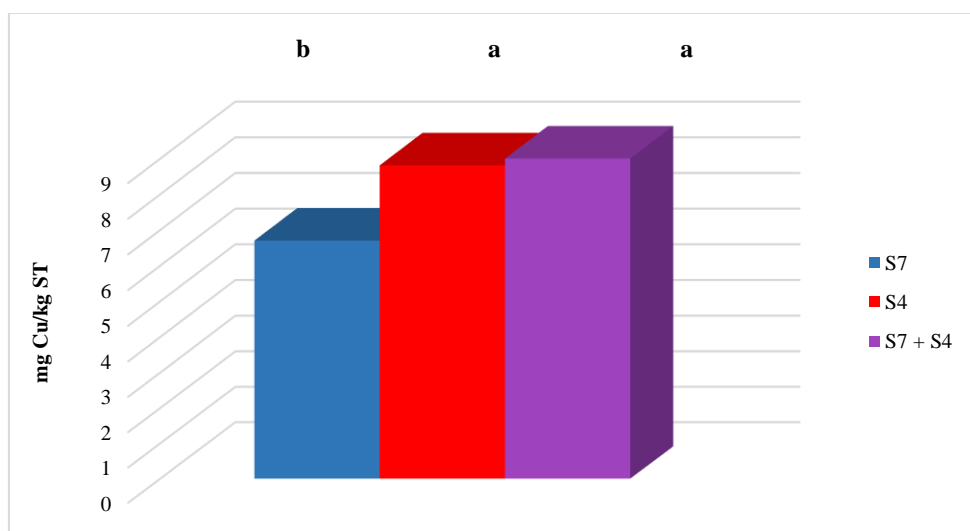


4.4.3.1 Prosječna količina mangana mladih izdanaka

S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

4.4.4. Količina bakra

Količina bakra nije se značajno razlikovala između tretmana crvenim i kombiniranim (S7 + S4) osvjetljenjem i iznosila je 8,81, odnosno 9,00 mg Cu/kg ST (grafikon 4.4.4.1.). Značajno manja količina bakra (6,70 mg Cu/kg ST) utvrđena je u izdancima tretiranim plavim osvjetljenjem.



Grafikon 4.4.4.1. Prosječna količina bakra mladih izdanaka

S7 – plavi spektar osvjetljenja; S4 – crveni; S7 + S4 – kombinirano osvjetljenje s plavim i crvenim spektrom

Kamal i sur. (2020) su istraživali utjecaj kombiniranog osvjetljenja na količinu bakra kod mladih izdanaka iz porodice Brassicaceae i kod brokule je utvrđena veća količina (11,00 mg/kg) bakra od prosječne količine kod mladih izdanaka rotkvice nakon različitih tretmana LED osvjetljenjem (6,70-9,00 mg Cu/kg ST). U istraživanju Xiao i sur. (2016) su utvrdili manje količine (5,00 mg/kg) bakra pri uzgoju mladih izdanaka rotkvice daikon, a najveće količine su zabilježili kod plave korabice i crvene rotkvice (11,00 mg/kg).

5. Zaključna razmatranja

Na temelju rezultata istraživanja o utjecaju različitog spektra LED osvjetljenja na prinos i mineralni sastav mladih izdanaka rotkvice, može se zaključiti:

- Pri uzgoju mladih izdanaka rotkvice pod različitim tretmanima LED osvjetljenjem nije uočena značajna razlika u ostvarenom prinosu, količini suhe tvari i količini dušika; dok je najviši prinos zabilježen pri crvenom osvjetljenju, najviše suhe tvari i dušika utvrđeno pri plavom osvjetljenju,
- Mladi izdanci uzgajani pod crvenim spektrom LED osvjetljenja sadržavali su najveće količine fosfora, kalija, kalcija i magnezija, uvijek znatno više u odnosu na kombinirani spektar zračenja,
- Primjena kombiniranog LED osvjetljenja rezultirala je povećanim količinama praćenih mikroelemenata (željezo, mangan, cink, bakar) u mladim izdancima; količina je uvijek bila znatno veća nego pri plavom osvjetljenju,
- S obzirom na dobivene rezultate za uzgoj mladih izdanaka rotkvice preporuka je korištenje crvenog spektra LED osvjetljenja.

6. Literatura

1. Alrifai O., Hao X., Marcone F. M., Tsao R. (2019). Current Review of the Modulatory Effects of LED Lights on Photosynthesis of Secondary Metabolites and Future Perspectives of Microgreen Vegetables. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 67, 6075 – 6090. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31021630/>
2. Ampim P. A. Y., Olvera- Gonzalez J. E., Obeng E., Weerasooriya A., Osuji G. (2017). Growing Vegetable Amaranth Microgreens Using Different Light Regimes. *Poljoprivredni i fakultet prirodnih znanosti, Prairie View A&M Sveučilište, Texas*. <https://www.ams.usda.gov/sites/>
3. Appolloni E., Pennisi G., Zauli I., Carotti L., Paucek I., Quaini S., Orsini F., Gianquinto G. (2021). Beyond vegetables: effects of indoor LED light on specialized metabolite biosynthesis in medicinal and aromatic plants, edible flowers, and microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 102: 472-487. <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.11513>
4. Artés-Hernandez F., Castillejo N., Martinez-Zamora L. (2022). *Foods*. 11(3), 265. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/3/265>
5. Bhaswant M., Shanmugam K. D., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. (2023). Microgreens-A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. *Molecules*. 15;28(2):867. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36677933/>
6. Brazaitytė A., 1, Miliauskienė J., Vaštakaitė-Kairienė V., Sutulienė R., Laužikė K., Duchovskis P, Małek S. (2021). Effect of Different Ratios of Blue and Red LED Light on Brassicaceae Microgreens under a Controlled Environment. *Plants*. Vol 10(4), 801. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/4/801>
7. Brlek T. (2019). Utjecaj supstrata na prinos i nutritivnu vrijednost mladih izdanaka povrća i suncokreta. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb. <https://zir.nsk.hr/islandora/object/agr:1603>
8. Dhaka A. S., Dikshit H. K., Mishra G. P., Tontang M. T., Meena N. L., Kumar R. R., Ramesh S. V., Narwal S., Aski M., Thimmegowda V.. (2023). Evaluation of Growth Conditions, Antioxidant Potential, and Sensory Attributes of Six Diverse Microgreens Species. *Agriculture*. 13(3):676. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030676>
9. D'Imperio M., Bonelli L., Mininni C., Renna M., Montesano F. F., Parente A., Serio F. (2023). Soilless cultivation systems to produce tailored microgreens for specific nutritional needs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol 104, 6, 3371-3380.
10. Du M., Xiao Z., Luo Y. (2022). *Current Opinion in Food Science*. Vol 46, 100863. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214799322000650>

11. Fan X. X., Xu G. Z., Liu Y. X., Tang M. C., Wang W. L., Han I. X. (2023). 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, 2013, 50-55. <https://www.researchgate.net/publication/257148314>
12. Gioia D. F., Hong C. J., Pisani C., Petropoulos A. S., Bai J., Roskopf N. E. (2023). Yield performance, mineral profile, and nitrate content in a selection of seventeen microgreen species. *Frontiers in Plant Science*. Volume 14 – 2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10399459/>
13. Gunjal M., Singh J., Kaur S., Nanda V., Mehta C. M., Bhadariya V., Rasane P. (2024). *South African Journal of Botany*. Vol 165, 188-201. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254629923007822>
14. Haddaji E. H., Akodad M., Skalli A., Moumen A., Bellahcen S., Elhani S., Urrestarazu M., Kolar M., Imperl J., Petrova P., Baghour M. (2023). Effects of Light-Emitting Diodes (LEDs) on Growth, Nitrates and Osmoprotectant Content in Microgreens of Aromatic and Medicinal Plants. *Horticulturae*. 9(4), 494. <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/4/494>
15. Kamal Y. K., Khodaeiaminjan M., El-Tantawy A. A., Moneim D. A., Salam A. A., Ash-shormillesy S. M. A. I., Attia A., Ali M. A. S., Herranz R., El-Esawi M. A., Nassrallah A. A., Ramadan M. F. (2020). *Physiologia Plantarum*. Vol 169, 4, 625-638. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/>
16. Kaneko-Ohashi K., Takase M., Kon N., Fujiwara K., Kurata K. (2007). Effect of Light Quality on Growth and Vegetable Quality in Leaf Lettuce, Spinach and Komatsuna. *Environmental Control in Biology*. Vol 45(3), 189-198. https://www.jstage.jst.go.jp/article/ecb/45/3/45_3_189/pdf-char/ja
17. Lenzi A., Orlandini A., Bulgari R., Ferrante A., Bruschi P. (2019). Antioxidant and Mineral Composition of Three Wild Leafy Species: A Comparison Between Microgreens and Baby Greens. *Foods*. 8(10): 487. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6835962/>
18. Li T., Arthur D. J., Bi G. (2023). Shoot Yield and Mineral Nutrient Concentrations of Six Microgreens in the Brassicaceae Family Affected by Fertigation Rate. *Horticulturae*. 9(11), 1217. <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/11/1217>
19. Lobiuc A., Vasilache V., Oroian M., Stoleru T., Burducea M., Pintilie O., Zamfirache M. (2017). *Molecules*. Vol 22(12), 2111. <https://www.mdpi.com/1420-3049/22/12/2111>
20. Lone J. K., Pandey R., Gayacharan. (2024). Microgreens on the rise: Expanding our horizons from farm to fork. *Heliyon*. 11;10(4):e25870. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38390124/>

21. Madar A. K., Hajos M. T. (2020). Evaluation of various microgreen vegetables. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 66(4), 3227–3231. Elérés forrás <https://eviko.szte.hu/index.php/eviko/article/view/222>
22. Mlinarić S., Gvozdić V., Vuković A., Varga M., Vlašiček I., Cesar V., Begović L. (2020). The Effect of Light on Antioxidant Properties and Metabolic Profile of Chia Microgreens. *Applied Sciences*. 10(17), 5731. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/5731>
23. Opačić N., Brlek T., Slunjski S., Kljak K., Radman S., Fabek Uher S. (2020). Količina makroelemenata u mladim izdancima cikle i brokule. Zbornik radova 55. hrvatskog i 15. međunarodnog simpozija agronoma. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 16.-21.02.2020, Vodice, Hrvatska, str. 218-222. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203248166>
24. Paradiso R., Proietti S. (2022). Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. *Journal of Plant Growth Regulation*. 41, 742–780. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-021-10337-y>
25. Partap M., Sharma D., Deekshith HN., Thakur M., Verma V., Ujala, Bhargava B. (2023). Microgreen: A tiny plant with superfood potential. *Journal of Functional Foods*. 107(3):105697. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464623002979>
26. Ptushenko S. O., Ptushenko V. V., Solovchenko E. A. (2020). Spectrum of Light as a Determinant of Plant Functioning: A Historical Perspective. *Life*. 10(3), 25. <https://www.mdpi.com/2075-1729/10/3/25>
27. Qiao J., Li Z., Lv Z., Liu S., Chen S., Feng Y. (2024). Effects of Different Combinations of Red and Blue Light on the Edible Organ Morphology and Quality of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) Microgreens. *Agronomy*. 14(4), 751. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/4/751>
28. Samuolienė G., Brazaitytė a., Jankauskienė J., Viršilė A., Sirtautas R, Noviškova A, Sakalauskienė S, Sakalauskaitė J., Duchovskis P. (2013) LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. *Central European Journal of Biology*. Volume 8, 1241-1249. <https://link.springer.com/article/10.2478/s11535-013-0246-1>
29. Shibaeva G. T., Sherudilo G. E., Rubaeva A. A., Titov F. A. (2022). Continuous LED Lighting Enhances Yield and Nutritional Value of Four Genotypes of Brassicaceae Microgreens. *Plants*. 11(2), 176. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35050064/>

30. Singh A., Singh J., Kaur S., Gunjal M., Kaur J., Nanda V., Ullah R., Ercisli S., Rasane P. (2024). Emergence of microgreens as a valuable food, current understanding of their market and consumer perception: A review. *Food Chemistry*: X. 23(1):101527. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590157524004140>
31. Singh S., Singh S. (2024). Microgreens: A Nutrient-Dense Solution to Combat Malnutrition in an Expanding World. *Vigyan Varta*. Volume 5, Issue 4. https://vigyanvarta.in/adminpanel/upload_doc/VV_0424_36.pdf
32. Toscano S., Cavallaro V., Ferrante A., Romano D., Patane C. (2021). Effects of Different Light Spectra on Final Biomass Production and Nutritional Quality of Two Microgreens. *Plants*. 10 (8), 1584. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/8/1584>
33. Vrkić R., Hadelan L., Sušac Z. M. (2024). Proizvodnja i financijske značajke mladih izdanaka – prikaz iz prakse. *Glasnik Zaštite bilja*. Vol. 47. No. 3. <https://hrcak.srce.hr/en/316340>
34. Vukadinović V., Jug I., Đurđević B. (2014). *Ekofiziologija bilja*. Naklada NSS. Osijek
35. Vukadinović V., Vukadinović V. (2016). *Tlo, gnojidba i prinos*. Elektroničko izdanje. Osijek https://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/eKnjiga_Tlo-gnojidba-prinos.pdf
36. Xiao Z., Codling E. E., Luo Y., Nou X., Lester G. E., Wang Q. (2016). Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*. Vol 46, 87-93. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889157516300448>
37. Xiao Z., Lester E. G., Luo Y., Wang Q. (2012). Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60, 31, 7644 – 7651. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22812633/>
38. 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, pp. 203-216. <https://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/39500/>

Životopis

Mihaela Pejić rođena je 13.12.1998. godine u Sisku (RH). Godine 2013. upisuje srednju školu u Katoličkom školskom centru (KŠC) „Don Bosco“ u Žepču, smjer poljoprivredni tehničar – fitofarmaceut. Završetkom srednje škole 2017. godine upisuje prijediplomski studij na Fakultetu agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, smjer Hortikultura. Godine 2022. stječe zvanje sveučilišna prvostupnica (baccalaurea) inženjerka agronomije. Obrazovanje nastavlja 2022. godine i upisuje diplomski studij Povrčarstvo na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Aktivno se služi engleskim jezikom u govoru i pismu.