

Multispektralne analize krumpira u uvjetima povišenih temperatura

Karačić, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:204:549263>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



MULTISPEKTRALNE ANALIZE KRUMPIRA U UVJETIMA POVIŠENIH TEMPERATURA

DIPLOMSKI RAD

Martina Karačić

Zagreb, rujan 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:

Agroekologija

MULTISPEKTRALNE ANALIZE KRUMPIRA U UVJETIMA POVIŠENIH TEMPERATURA

DIPLOMSKI RAD

Martina Karačić

Mentor:

doc. dr. sc. Boris Lazarević

Zagreb, rujan, 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Martina Karačić**, JMBAG 0178112013, rođen/a 11.08.1997. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

MULTISPEKTRALNE ANALIZE KRUMPIRA U UVJETIMA POVIŠENIH TEMPERATURA

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/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 upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Martine Karačić**, JMBAG 0178112013, naslova

MULTISPEKTRALNE ANALIZE KRUMPIRA U UVJETIMA POVIŠENIH TEMPERATURA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. Doc.dr.sc. Boris Lazarević, mentor

2. Prof. dr. sc. Milan Poljak, član

3. Doc.dr.sc. Hrvoje Kutnjak, član

Zahvala

Ovime želim zahvaliti prvenstveno mentoru doc.dr.sc. Borisu Lazareviću na pruženoj pomoći, strpljenju i svim korisnim savjetima koji su mi uvelike pomogli pri izradi ovog diplomskog rada. Isto tako želim zahvaliti svim ostalim djelatnicima Agronomskog fakulteta na stečenom znanju i iskustvima koje će mi koristiti kako u razvoju karijere tako i u životu.

Zahvaljujem i svojoj obitelji, posebno roditeljima koji su mi svojim razumijevanjem te bezuvjetnom podrškom omogućili završetak studija i na mene prenijeli ljubav prema agronomiji.

Na posljetku, želim se zahvaliti kolegicama Anđeli Kartelo i Patriciji Kardun koje su mi svojim prijateljstvom uljepšale vrijeme provedeno na fakultetu, ali i bile stalna potpora na svakom koraku ovog puta.

Sadržaj:

1. Uvod	1
2. Pregled literature	3
2.1. Utjecaj povišenih temperatura na krumpir	3
2.1.1. Odgovor nadzemnog dijela biljke na promjene u temperaturi	4
2.1.2. Odgovor podzemnog dijela biljke na promjene u temperaturi	5
2.1.3. Utjecaj povišenih temperatura na pigmente i vegetacijske indekse	6
2.2. Korištenje multispektralnih analiza za nedestruktivnu kvantifikaciju fizioloških parametara	7
2.2.1. RGB snimanje	9
2.2.2. Multispektralna snimanja i vegetacijski indeksi	9
3. Materijali i metode	11
4. Rezultati i rasprava	15
5. Zaključak	24
6. Popis literature	25
Životopis	31

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Martine Karačić**, naslova

MULTISPEKTRALNE ANALIZE KRUMPIRA U UVJETIMA POVIŠENIH TEMPERATURA

Krumpir je jedna od najvažnijih poljoprivrednih kultura i uz to je iznimno osjetljiv na visoke temperature. Visoke temperature utječu na mnoge fiziološke parametre kod krumpira uključujući i određene vegetacijske indekse te biljne pigmente. Multispektralne analize vrlo su koristan način nedestruktivne kvantifikacije fizioloških parametara kod biljke. Ovaj diplomski rad pokazat će na koji način možemo koristiti multispektralne analize u svrhu procjene stanja biljke u različitim temperaturnim tretmanima.

Pokus je proveden na krumpiru u komorama rasta pri četiri različita temperaturna režima. Multispektralne analize provedene su pomoću uređaja CropReporter™ te su mjereni parametri refleksije svjetlosti u crvenom, zelenom, specifično zelenom, plavom, infra crvenom i daleko crvenom spektru te spektri koji odgovaraju valnim duljinama klorofila i antocijana.

Toplinski stres značajno je utjecao na sve mjerene parametre, što ukazuje da toplinski stres utječe na promjene u strukturi stanica i sadržaju fotosintetskih pigmenata u listu krumpira.

Ključne riječi: krumpir, multispektralne analize, toplinski stres

Summary

Of the master's thesis - student **Martina Karačić**, entitled

MULTISPECTRAL ANALYSIS OF POTATO UNDER HIGH TEMPERATURE CONDITIONS

Potatoes are among the most important agricultural crops but they are very sensitive to high temperatures. High temperatures affect many physiological parameters including vegetation indices as well as plant pigments. Multispectral analyses are very effective, non-destructive way to assess plant stress levels. This thesis will focus on using multispectral analysis to assess conditions of the potato plant under different temperature regimes.

The experiment was carried out on the Bella Rosa potato. The plants were grown in growth chambers under four different temperature regimes. Multispectral analyses were performed using a CropReporter™ device. The parameters measured were: light reflection in the red, green, specific green, blue, infrared, far red spectrum as well as the spectrum corresponding to the wavelengths of chlorophyll and anthocyanins.

Heat stress significantly affected all measured parameters which indicates that high temperatures affect cell structure and photosynthetic pigments in potato leaves.

Keywords: potato, high temperature stress, multispectral analysis

1. Uvod

Krumpir (*Solanum tuberosum* L.) globalno je vrlo važna biljka koja daje visoke prinose nutritivno vrijedne hrane u obliku gomolja (Kuetze, 2014). Padmanabhan i sur. (2016) smatraju da je ključan za sprječavanje pothranjenosti u siromašnim dijelovima svijeta jer predstavlja jeftin izvor hrane bogate ugljikohidratima.

Kina je najveći svjetski proizvođač krumpira, s otprilike trećinom ukupne svjetske proizvodnje. Prema procjenama FAO-a, u 2019. godini proizvedeno je preko 370 milijuna metričkih tona krumpira u svijetu, što je znatno povećanje u odnosu na obujam proizvodnje od 333,6 milijuna tona u 2010. godini (Statista, 2021). U Hrvatskoj, proizvodnja krumpira u zadnjih pet godina kreće se između 16 000 i 20 000 kg ha^{-1} prema FAOSTAT-u, dok je konzumacija po glavi stanovništva zabilježena 2018. godine oko 40 kg krumpira (FAOSTAT, 2021) .

Krumpir potječe iz Anda u Južnoj Americi gdje se uglavnom uzgaja na nadmorskim visinama od dvije do četiri tisuće metara. U tim predjelima prevladavaju uvjeti kratkog dana, visokog intenziteta svjetlosti, hladnijih temperatura i visoke relativne vlažnosti zraka (Levy i Veilleux, 2007). Otkrićem Amerika, krumpir je dovezen u Europu gdje su uvjeti dužeg dana inhibirali rast i stvaranje gomolja, komercijalno važnog dijela biljke, te je došlo do potrebe da se selekcijom prilagodi novim uvjetima. Za rast i razvoj korijenovog sustava kod krumpira optimalne temperature su između 15 do 20 C°, dok je maksimalna temperatura oko 35 C°, a minimalna 10 C°. S druge strane, stabljika i lišće rastu na temperaturama od 7 do 30 C° s optimumom između 20 i 25 C° (Sattelmacher i sur., 1990)

Prema istraživanjima, do 2100. godine temperatura zraka na Zemlji mogla bi porasti za 1,6 do 3,8 C° (IPCC, 2007) Ako se ovakva i slična predviđanja o klimatskim promjenama ostvare, prinos krumpira mogao bi se značajno smanjiti, naročito u tropskim i suptropskim krajevima (Aien i sur., 2013).

Zbog globalnih klimatskih promjena, biljke su podložne raznim abiotičkim stresovima. Jedan od najznačajnijih je toplinski stres uzrokovan visokim temperaturama. Krumpir je vrlo osjetljiv

na visoke temperature (Levy i Veilleux, 2007). Temperatura značajno utječe na morfologiju biljke, primjerice broj listova, lisnu površinu te visinu stabljike. Isto tako, zabilježeno je da utječe na starenje listova te fiziološke procese kao što su disanje i fotosinteza (Timlin i sur., 2006). Kako bi se osigurala održiva proizvodnja hrane na Zemlji, ključno je razumjeti utjecat stresa visokih temperatura na biljku te njezin odgovor.

Multispektralne analize značajan su izvor informacija o stanju biljaka izloženih stresu, zbog mogućnosti nedestruktivne kvantifikacije fizioloških parametara kao što su sadržaj klorofila i antocijana, te različitih vegetacijskih indeksa (Lazarević i sur., 2021). Hipoteza ovog istraživanja jest da će povišene temperature utjecati na multispektralna svojstva lista krumpira.

Cilj ovog rada je utvrditi utjecaj povišenih temperatura na multispektralna svojstva lista krumpira.

2. Pregled literature

2.1. Utjecaj povišenih temperatura na krumpir

Krumpir je kultura koja se uzgaja diljem svijeta i u raznim klimatskim uvjetima, no najviši prosječni prinosi zabilježeni su u predjelima s umjerenom klimom kao što su sjever SAD-a i sjeverozapadna Europa. U ovim predjelima, krumpir se uzgaja u uvjetima dugog dana, umjerenih temperatura i sa suvremenim tehnikama uzgoja.

Postoje mnoga istraživanja o okolišnim čimbenicima koji utječu na stvaranje gomolja kod krumpira (Ewing i Struik, 1992; Struik i sur., 1999; Ewing i sur., 2004). U pravilu, periodi kratkog dana i niske temperature (naročito noću) potiču stvaranje gomolja te pozitivno utječu na broj stvorenih gomolja.

Hormoni rasta također igraju bitnu ulogu u odgovoru biljke na okolišne čimbenike. Tako primjerice giberelin (GA) koje endogeno ima u većim količinama u uvjetima dugog dana, inhibira rast i stvaranje gomolja. S druge strane, citokinini i apscizinska kiselina (ABA) potiču stvaranje gomolja. Također je zabilježeno da jasmonska kiselina i slični spojevi potiču stvaranje gomolja u *in vitro* uvjetima (Koda i sur., 1988; Koda i sur., 1991; Yamagishi i sur., 1993; Koda, 2002).

Iako stvaranje gomolja počinje u ranom stadiju rasta krumpira, jako mali broj njih dosegne zadovoljavajuću komercijalnu veličinu. Rast gomolja uvelike ovisi o samoj sorti, ali i o okolišnim uvjetima te je idealna umjerena temperatura i uvjeti kratkog dana. Ovakvi uvjeti pogoduju translokaciji hraniva u gomolje, istovremeno inhibirajući rast stabljike i nadzemnog dijela. S druge strane, u uvjetima dugog dana i visokih temperatura više će biti naglašen rast stabljike i korijena, dok će rast gomolja zaostajati (Levy i Veilleux, 2007).

Toplinski stres utječe na rast biljaka, kvalitetu i količinu prinosa te na strukturu i metaboličke funkcije stanica. Isto tako, utječe na fiziološke procese u biljkama kao što su promjene u sintezi proteina, enzimskoj aktivnosti te može utjecati na oštećenje fotosintetskog aparata (Taiz i Zeiger, 2015).

Proizvodnja i kvaliteta krumpira očituje se u mnogim faktorima, primjerice dinamici razvoja organa biljke: stabljike, lista, gomolja i korijena. Temperatura djeluje različito na svaki fiziološki proces u biljci i samim time je odgovor biljke na povišenje temperature različit ovisno o procesu.

2.1.1. Odgovor nadzemnog dijela biljke na promjene u temperaturi

Temperatura utječe na sve biljne organe. Kod lišća, možemo proučavati izgled, broj listova, veličinu te specifičnu lisnu površinu. Prema starijoj literaturi (Borah i Milthorpe, 1962; Vos, 1995) stopa pojave lišća dostiže svoj vrhunac kod dnevne temperature od 20 °C bez obzira na noćnu temperaturu. S druge strane, prema Marshallu (1992) ona linearno raste od 8 do 25 °C te pri višim temperaturama nema značajnog porasta. Ipak, novija literatura (Fleisher i sur., 2006) daje malo drugačije rezultate te kažu da je optimalna dnevna temperatura za pojavu listova oko 28 °C. Konačan broj listova na stabljici također je uvjetovan temperaturom zraka, no efekti su relativno mali u normalnim temperaturnim razmacima (Firman i sur., 1991; Almekinders i Struik, 1994).

Ewing i Struik (1992) za veličinu lista tvrde da će oni biti manji kod biljaka izloženih višim temperaturama, ali će se ukupna masa suhe tvari povećati odnosno biti će ih više. Isto tako, razna istraživanja govore o optimalnim temperaturama za rast lista, pa tako Benoit i suradnici (1983) u svojem radu dolaze do zaključka da je optimalna temperatura 25 °C što je malo niže u odnosu na optimalnu temperaturu za stopu pojave lišća. S druge strane, Vos (1995) smatra da optimalna temperatura mora biti niža kako bi list što duže i bolje rastao. Unatoč pozitivnom efektu koji viša temperatura ima na pojavu i broj listova, negativno može utjecati na individualnu veličinu svakog lista te samim time smanjiti ukupnu površinu lista.

Broj stabljika je uglavnom određen veličinom sjemena, fiziološkoj dobi sjemenskog krumpira i njegovim predtretmanima (Struik i Wiersema, 1999). Morfologija stabljike također je pod utjecajem temperature, tako primjerice visoke temperature potiču grananje (Struik i sur., 1989). Optimalna temperatura za rast stabljike viša je od optimalne temperature za rast lišća, pa time pri višim temperaturama dolazi do promjena u udjelu lišća na stabljici (Struik, 2007).

2.1.2. Odgovor podzemnog dijela biljke na promjene u temperaturi

Podzemne stabljike ili stoloni kod krumpira uzgajanih u umjerenim temperaturama uglavnom ne zahtijevaju posebnu indukciju za rast. Prvi stoloni mogu se pojaviti već i prije rasta nadzemnog dijela biljke, iako će to uvelike ovisiti o stanju pojedinog sjemenskog krumpira (Struik, 2007). Prema mnogim istraživanjima (Bodlander i sur., 1964; Burt, 1964; Saha i sur., 1974; Moorby i Milthrope, 1975) više temperature pogoduju rastu stolona te isto tako potiču grananje što automatski daje veći potencijalni broj gomolja po biljci (Struik i sur., 1989).

Kod krumpira, za formiranje i rast gomolja jako bitnu ulogu igra fotoperiod. Pošto se tradicionalno krumpir uzgajao u područjima s kratkim danom, takvi uvjeti omogućavaju bolji rast i razvoj gomolja. Struik i Ewing (1992 i 1995) zaključuju da temperatura može značajno utjecati na odgovor biljke na fotoperiod. Pa tako, više temperature mogu usporiti ili sasvim obustaviti stvaranje gomolja, naročito kada se radi o visokim noćnim temperaturama.

Postoje mnoga istraživanja koja se bave prinosom krumpira i utjecajem visokih temperatura na nj. Većina pokazuje da je optimalna temperatura za što veći prinos između 14 i 22 °C (Yamaguchi i sur., 1964; Marinus i Bodlander, 1975; Timlin i sur., 2006).

2.1.3. Utjecaj povišenih temperatura na pigmente i vegetacijske indekse

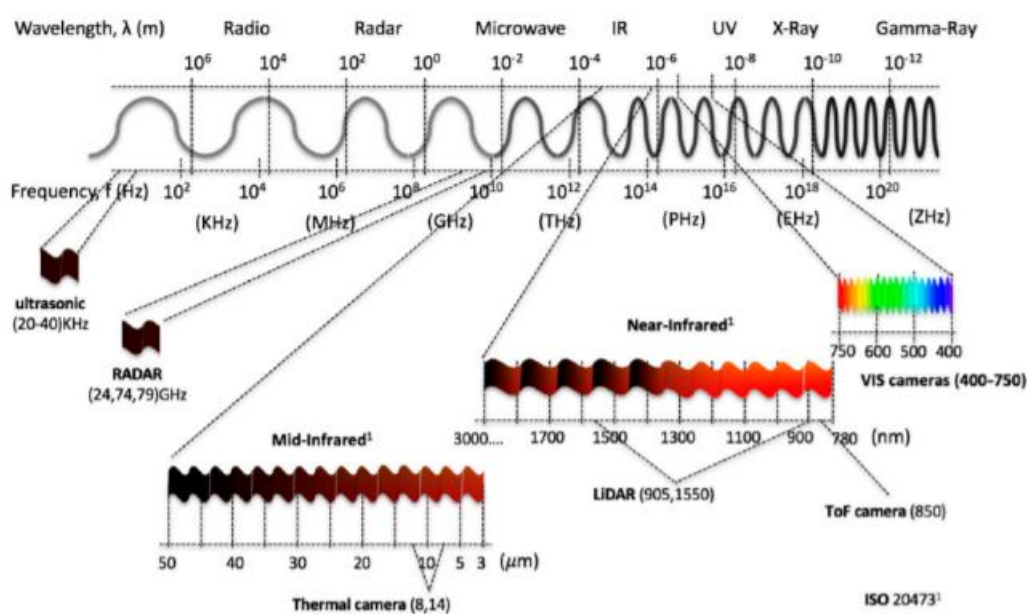
Optimalna temperatura za akumulaciju klorofila u biljci je oko 20 °C (Edwards i Cobb, 1997). Klorofil je usko povezan s procesom fotosinteze i funkcioniranjem fotosistema stoga svaka veća promjena koju stres uzrokuje fotosistemu samim time utjecati će i na količinu klorofila. Zabilježeno je da stres visokih temperatura smanjuje količinu klorofila u mnogim biljnim vrstama kao što su trstikasta vlasulja (*Festuca arundinacea*, L.) (Langjun i sur., 2006) kao i vrstama unutar porodice Solanum (Reynolds i sur., 1990).

Aien i suradnici (2013) proveli su istraživanja na dva kultivara krumpira, otpornom na stres i drugom manje otpornom. Zaključili su da količina klorofila *a*, kao i količina klorofila *b* značajno opada uslijed temperaturnog stresa kod oba kultivara te da će buduće klimatske promjene uvelike utjecati općenito na stopu fotosinteze kod krumpira bez obzira na njegovu osjetljivost na stres.

Mnoga fiziološka i kemijska svojstva biljaka utječu na način na koji njihova tkiva usvajaju i reflektiraju svjetlost. Kada je biljka izložena stresu ta se svojstva mogu promijeniti te se samim time mijenja i spektar zračenja reflektiran s listova (Zubler i Yoon, 2020). Klorofil je pigment koji sudjeluje u procesu fotosinteze te ima važnu ulogu u apsorpciji svjetlosti. Ako uslijed stresa dođe do promjene u sadržaju klorofila u listu, može doći do značajne promjene u načinu na koji biljka usvaja svjetlost. Tako je primjerice uočeno da pri smanjenoj količini klorofila u listu dolazi do povećane refleksije svjetlosti valne duljine 700 nm (Zhu i sur., 2020) te smanjene refleksije svjetlosti koje se nalaze u rasponu od 530 – 630 nm (Lichtenhaler i sur., 1996). Ostali pigmenti poput karotena i ksantofila također mogu promijeniti svojstva refleksije svjetlosti biljke (Gitelson i sur., 2002 i Vilfan i sur., 2018).

2.2. Korištenje multispektralnih analiza za nedestruktivnu kvantifikaciju fizioloških parametara

Stres kod biljaka moguće je pratiti pomoću spektrometrije ili snimanja lišća u vidljivom spektru (RGB ili crveno-zeleno-plavi spektar), ultraljubičastom (UV), infracrvenom (IR) i drugim dijelovima spektra. Snimanje koje koristi više specifičnih valnih duljina (multispektralno) ili u širokom rasponu valnih duljina (hiperspektralno) može pružiti informacije o stanju biljke i stresu kojima je izložena nedestruktivnom metodom (Zubler i Yoon, 2020).



Slika 2.1. : Prikaz raspona elektromagnetskog spektra koji se koristi za hiper i multispektralna istraživanja (Rosique i sur., 2019)

Multispektralne tehnike koriste podatke iz raspona valnih duljina, za razliku od hiperspektralnog koji se koristi stotinama pojedinačnih valnih duljina ili vrlo uskih raspona. Moguće je odabrati nekoliko valnih duljina ili valnih pojava koji su od interesa te se

ukomponiraju u uređaj koji se koristi spektroskopskim ili tehnikama snimanja (Zubler i Yoon, 2020).

Multispektralno snimanje uključuje prikupljanje podataka pomoću kamere ili drugog senzornog uređaja kako bismo dobili podatke u obliku slika za odabrano područje valnih duljina. S druge strane, multispektralna spektroskopija daje spektralne podatke za određene valne duljine (Zubler i Yoon, 2020).

Prednosti multispektralnog snimanja u odnosu na hiperspektralno je u njegovoj pristupačnosti i ekonomičnosti. Međutim, ono ne daje toliko precizne informacije o biljci i njenim okolišnim uvjetima upravo zbog širine područja valnih duljina koje se promatraju. Ipak, multispektralna snimanja imaju i prednost u fleksibilnosti i prenosivosti uređaja te relativno jednostavnom načinu korištenja (Zubler i Yoon, 2020).

Razni optički senzori kao što su hiperspektralni, multispektralni, toplinski i fluorescentni mogu se koristiti kako bi se evaluiralo zdravstveno stanje biljke. Generalno, najosjetljivije područje u elektromagnetskom spektru za evaluaciju zdravstvenog stanja biljke je vidljivi spektar (Carter, 1993).

Cilj snimanja biljaka je kvantitativno mjerenje fenotipova putem interakcije između biljaka i svjetlosti, primjerice reflektiranih, apsorbiranih ili prenesenih fotona. Svaka komponenta biljnih stanica i tkiva ima specifičnu valnu duljinu apsorpcije, refleksije i propusnosti. Primjerice, klorofil apsorbira uglavnom fotone u crvenom i plavom spektru vidljive svjetlosti, dok celuloza apsorbira fotone u širokom spektru od 2200 i 2500 nm (Li i sur., 2014)

Snimanje na različitim valnim duljinama koristi se za različite aspekte fenotipizacije biljaka. Slike nastale refleksijom u vidljivom dijelu spektru prvenstveno se koriste za mjerenje arhitekture biljke, na primjer biomase, površine lišća, boje, dinamike rasta, prinosa i raspodjele plodova, morfologije korijena te procjena bolesti lišća ili odgovor biljke na stres (Li i sur., 2014)

Elektromagnetski valovi smatraju se nositeljima informacija u multispektralnim analizama. Zdrave biljke imaju potpunu drugačiju interakciju s elektromagnetskim valovima (apsorpcija, refleksija, emitiranje) od zaraženih biljaka ili onih pod stresom. Zato su tehnike koje uključuju snimanje jako bitne za rano prepoznavanje bolesti ili stresa kod biljaka (Li i sur., 2014).

2.2.1. RGB snimanje

RGB snimanje, red-green-blue ili vidljivi spektar, radi na principu senzora koji koriste crveno, zeleno i plavo područje spektra kako bi stvorili slikovne podatke, što je standardni princip rada digitalnih kamera. Valne duljine koje se koriste su sljedeće: približno 400-499 nm za plavo svjetlo, 500-549 nm za zeleno svjetlo te 550-750 za crveno (Lowe i sur., 2017). Tako se RGB snimanje može smatrati specijalnim slučajem multispektralnog snimanja. Međutim, kako se podatci prilikom RGB snimanja obično prikupljaju fotoaparatom razlikuje se od multispektralnog snimanja u užem smislu. Multispektralno snimanje zahtjeva specifičnu opremu i instrumente za snimanje.

Glavna prednost RGB snimanja je niska cijena opreme te lako prenosiva i lagana oprema. Nadalje, RGB kamere u današnje vrijeme prisutne su i na mobilnim uređajima te se vrlo uspješno mogu primjenjivati u svrhu procjene stanja biljke (Naik i sur., 2017). Isto tako, ovakav način snimanja ne zahtjeva stručnu osobu za korištenje jer se koriste predmeti iz svakodnevne upotrebe kao što su digitalne kamere ili smartphone-i.

S druge strane, postoje i mnoge prepreke zbog kojih RGB snimanje nije najpouzdanija metoda određivanja stanja biljke. Faktori koji mogu utjecati na kvalitetu dobivenih podataka su osvjetljenje, doba dana, okolišni uvjeti te rezolucija spektra (Mattupalli i sur., 2018; Tao i sur., 2020).

2.2.2. Multispektralna snimanja i vegetacijski indeksi

Kod većine hiper i multispektralnih uređaja, dobivene rezultate potrebno je analizirati kako bismo dobili korisne informacije. Jednostavan način analize tih podataka je uzimanje u obzir samo malog broja podataka, odnosno određene točke u spektru valnih duljina. Stavljanjem refleksija određenih valne duljine u međusobne omjere omogućuje izračun različitih vegetacijskih indeksa (Lowe i sur., 2017)

Postoji niz takvih indeksa razvijenih ili unaprijed definiranih, primjerice znajući da se određena valna duljina odnosi na svojstva određene stanične strukture ili nastalih zbog određenih limita u valnim duljinama dobivenih od uređaja. Postoji mnogo različitih vegetacijskih indeksa i svaki koristi različite kombinacije valnih duljina za opisivanje nekog fiziološkog svojstva (Lowe i sur., 2017)

Jedan od najrasprostranjenijih i najpoznatijih vegetacijskih indeksa je normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (NDVI) koji se koristi za mjerenje općeg zdravstvenog stanja usjeva (Rouse Jr, 1972; Lasaponara i Masini, 2007). Podatak se dobiva računski, kao omjer NIR-IR i vidljivog spektra. Može se koristiti za razne svrhe u procjeni zdravstvenog stanja biljke. Većina vegetacijskih indeksa je vrlo specifična te funkcionira samo sa skupovima podataka za koje su dizajnirani (Lowe i sur., 2017).

Korištenje vegetacijskih indeksa u svrhu ranog prepoznavanja bolesti ili stresa kod biljaka koristi se sve više iz godine u godinu. Kombinacija određenih valnih duljina može nam ukazati na zdravstveni problem kod biljaka. Vegetacijski indeksi odličan su izvor podataka i pružaju nam uvid u stanje biljke (Lowe i sur., 2017).

3. Materijali i metode

Pokus je postavljen u komorama rasta na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Gomolji sorte Bella Rosa, prosječne mase 50 g posađeni su u plastične cijevi, visine 50 cm promjera 50 mm, ispunjenih s 3.5 kg TraySubstrate (Klasmann Deilmann).



Slika 3.1.: Prikaz uzgoja krumpira u komorama rasta

Klijanje gomolja i početni rast biljaka odvijao se pri temperaturi 20/15 °C dan/noć, 65 % relativne vlage zraka i $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ te 16/8 h fotoperiodu. U fazi dva potpuno razvijena lista odabrane su ujednačeno razvijene biljke te je po sedam biljaka uzgajano pri četiri različita

temperaturna režima: 20/15 °C (T1), 25/20 °C (T2), 30/25 °C (T3) i 35/30 °C (T4). Ostali uvjeti uzgoja bili su jednaki kao i u fazi klijanja biljaka.

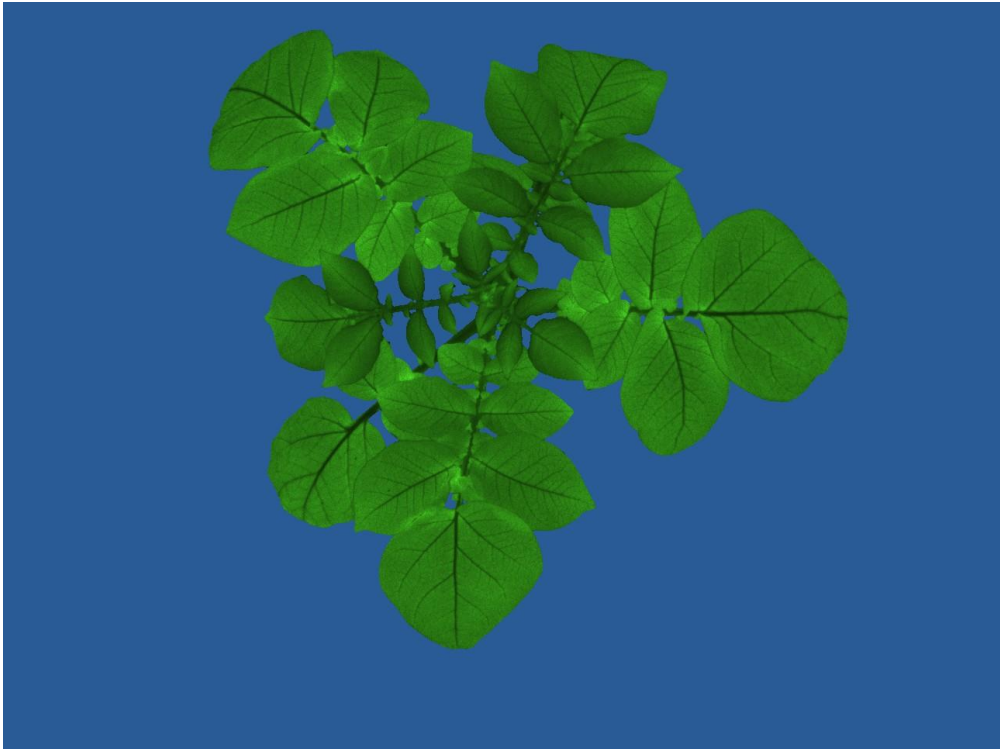
Pokus je postavljen po shemi potpuno slučajnog rasporeda pri čemu su pojedinačne biljke (7) smatrane pseudorepeticijama. Biljke su navodnjavane destiliranom vodom, a vlaga supstrata održavana je na 35 %. Vlaga supstrata je kontinuirano praćena pomoću HH2 senzora za mjerenje vlage (Delta-T Devices LTD., Cambridge, UK).

Multispektralne analize obavljene su nakon deset dana uzgoja biljaka u različitim temperaturnim tretmanima slikanjem biljaka pomoću CropReporter™ (PhenoVation B.V., Wageningen, The Netherlands) uređaja. Slike reflektirane svjetlosti valnih dužina u crvenom R_{Red} – 640 nm, zelenom, R_{Green} – 550 nm, specifično zelenom (SpGrn) – 510-590 nm, plavom R_{Blue} – 475 nm, infra crvenom R_{NIR} – 769 nm, i daleko crvenom R_{FarRed} – 710 nm dijelu spektra, te spektrima koji odgovaraju refleksiji valnih dužina klorofila R_{Chl} – 730 nm i antocijana R_{Anth} – 540 nm, korištene su za izračun različitih vegetacijskih indeksa:

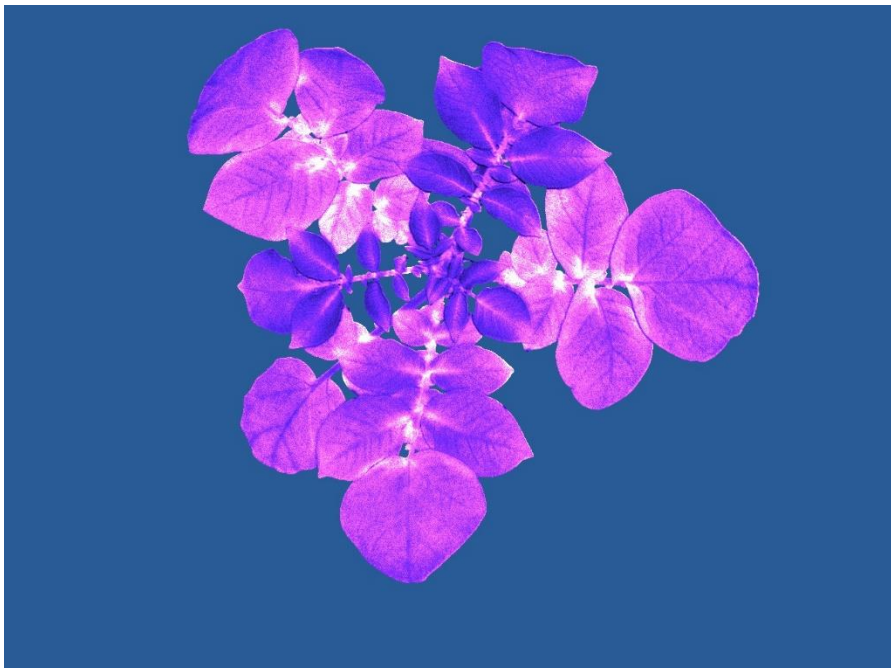
Indeks sadržaja klorofila $CHI = (R_{Chl})^{-1} - (R_{NIR})^{-1}$ (Gitelson i sur., 2003) (Slika 3.2.),

Indeks sadržaja antocijana $ARI = (R_{Anth})^{-1} - (R_{FarRed})^{-1}$ (Gitelson i sur., 2001), (Slika 3.3.)

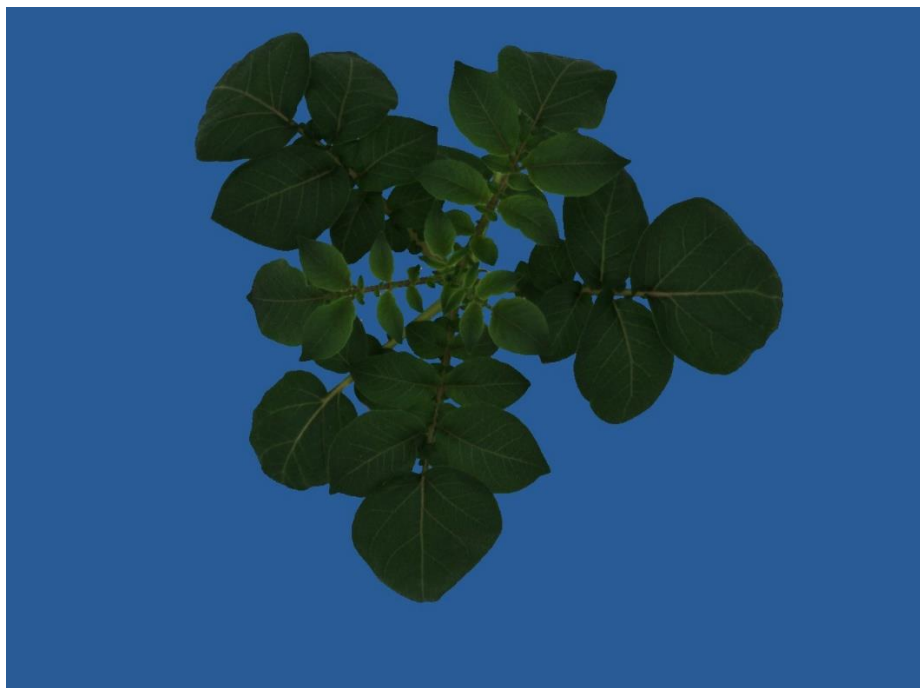
Normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks $NDVI = (R_{NIR} - R_{Red}) / (R_{NIR} + R_{Red})$ (Rouse i sur., 1974)



Slika 3.2. : Prikaz reflektirane svjetlosti dobiven pomoću CropReporterTM pri valnoj duljini R_{Chl} – 730 nm koja odgovara refleksiji valnih duljina klorofila.



Slika 3.3.: Prikaz reflektirane svjetlosti dobiven pomoću CropReporterTM pri valnoj duljini R_{Anth} – 540 nm koja odgovara refleksiji valnih duljina antocijana.



Slika 3.4. : Prikaz reflektirane svjetlosti dobiven pomoću CropReporter™ pri valnim dužinama u crvenom R_{Red} – 640 nm, zelenom, R_{Green} – 550 nm i plavom R_{Blue} – 475 nm spektru.

Podaci su analizirani jednosmjernom analizom varijance (ONE WAY ANOVA) u statističkom programu SAS (9.4). Srednje vrijednosti tretmana uspoređivane su Tukey's HSD testom. Podaci su prikazani kao srednje vrijednosti \pm standardna devijacija srednje vrijednosti (SD).

4. Rezultati i rasprava

Tablicom analize varijance (ANOVA) prikazan je utjecaj tretmana na parametre mjerene multispektralnim analizama: refleksija u crvenom (R_{Red} – 640 nm) , zelenom (R_{Green} – 550 nm), plavom (R_{Blue} – 475 nm) i specifično zelenom (SpcGrn - 510-590 nm) spektru te vegetacijskih indeksa izračunatim iz multispektralnih mjerenja: indeks sadržaja klorofila (CHI), indeks sadržaja antocijana (ARI) i normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (NDVI) (Tablica 4.1.).

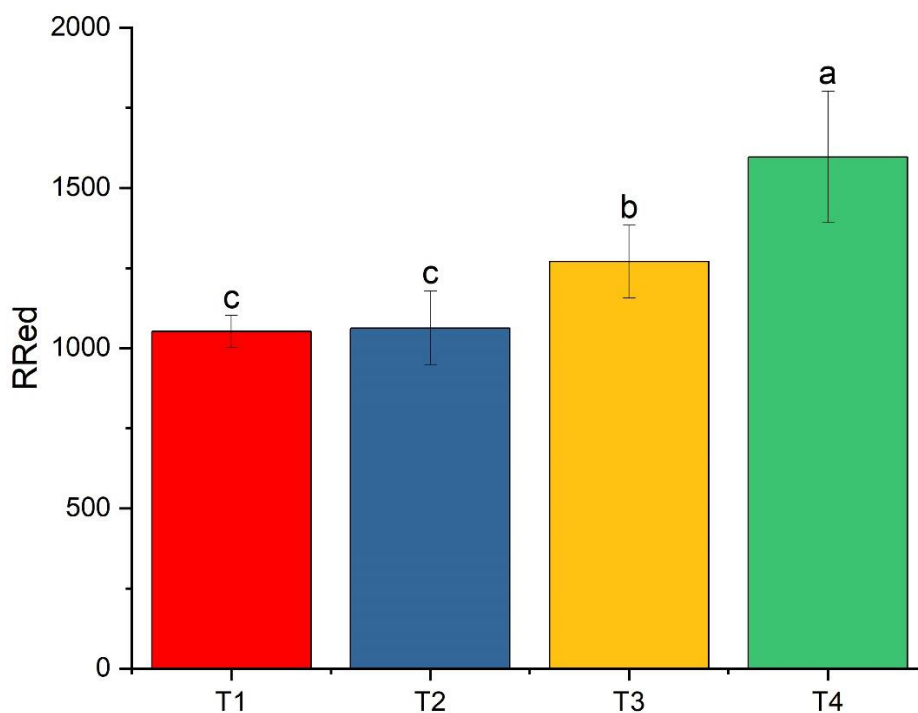
Tablica 4.1. Analiza varijance (ANOVA) za parametre multispektralnih analiza biljaka krumpira, sorte Bella Rosa, uzgajanih u različitim temperaturnim tretmanima (T1-T4) (20/15 °C, 25/20 °C, 30/25°C i 35/30 °C).

<i>IZVOR VARIJABILNOSTI</i>	<i>n-1</i>	<i>R_{Red}</i>	<i>R_{Green}</i>	<i>R_{Blue}</i>	<i>SpcGrn</i>	<i>CHI</i>	<i>ARI</i>	<i>NDVI</i>
<i>TRETMAN</i>	3	***	***	***	***	**	***	***
<i>BILJKA</i>	6	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Razina statističke značajnosti: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$; n.s. nije signifikantno

Iz tablice ANOVA-e vidljivo je da su se tretmani međusobno razlikovali u svim parametrima, dok kod jedinki biljke nije bilo značajne razlike stoga se dalje u radu osvrćemo samo na razlike u tretmanima.

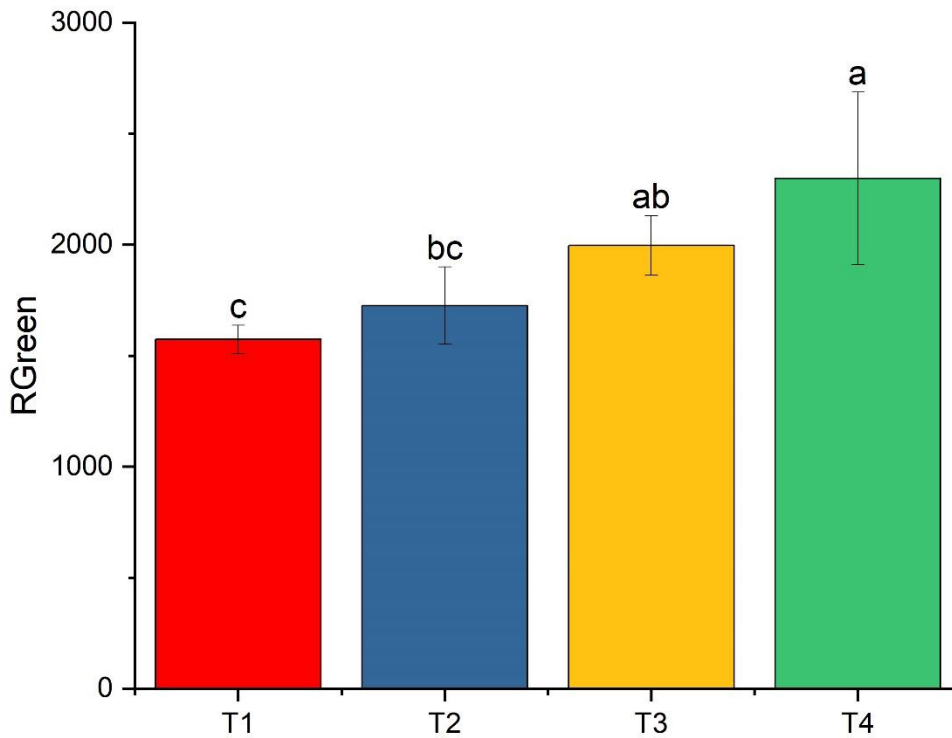
Slijedi grafički prikaz prosječnih vrijednosti refleksije u crvenom - R_{Red} (graf. 4.1) spektru u različitim temperaturnim tretmanima (20/15 °C, 25/20 °C, 30/25°C C i 35/30 °C).



Graf. 4.1. Prosječne vrijednosti refleksije u crvenom spektru pri različitim temperaturnim tretmanima (T1: 20/15 °C, T2: 25/20 °C, T3: 30/25°C i T4: 35/30 °C); stupci označeni različitim slovima podrazumijevaju statistički značajne razlike dok stupci označeni istim slovom nisu međusobno značajno različiti, prema Tukey's HSD testu.

Iz grafikona 4.1. vidljivo je da postoji značajna razlika kod refleksije u crvenom spektru obzirom na temperaturne tretmane, pri čemu je najviša prosječna refleksija zabilježena pri najvišoj temperaturi od 35/30 °C, odnosno T4. Isto tako, između T1 i T2 nema značajne razlike.

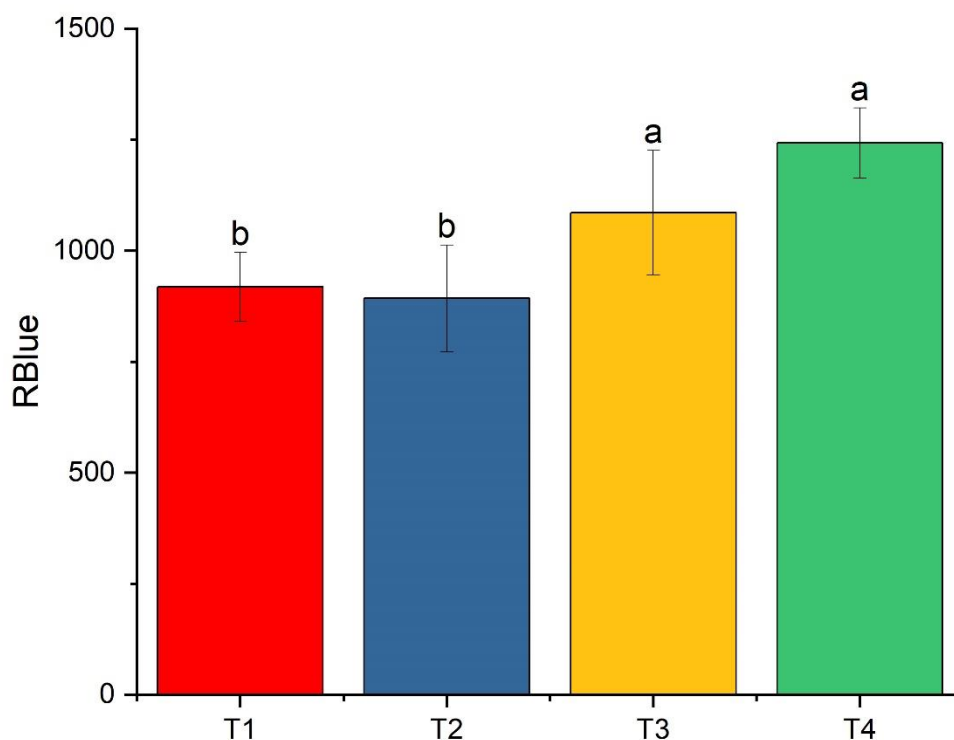
Slijedi grafički prikaz prosječnih vrijednosti refleksije u zelenom -R_{Green} (graf. 4.2) spektru u različitim temperaturnim tretmanima (20/15 °C, 25/20 °C, 30/25°C C i 35/30 °C).



Graf. 4.2. Prosječne vrijednosti refleksije u zelenom spektru pri različitim temperaturnim tretmanima (T1: 20/15 °C, T2: 25/20 °C, T3: 30/25°C i T4: 35/30 °C); stupci označeni različitim slovima podrazumijevaju statistički značajne razlike dok stupci označeni istim slovom nisu međusobno značajno različiti, prema Tukey's HSD testu.

Grafikon 4.2. pokazuje kako se vrijednosti refleksije u zelenom spektru značajno razlikuju između T4 u odnosu na T1 i T2, te između T3 i T1. Prosječne vrijednosti refleksije u zelenom spektru postižu najveću vrijednost pri visokim temperaturama, 35/30 °C.

Slijedi grafički prikaz prosječnih vrijednosti refleksije u plavom - R_{Blue} (graf. 4.3.) spektru u različitim temperaturnim tretmanima (20/15 °C, 25/20 °C, 30/25°C C i 35/30 °C).

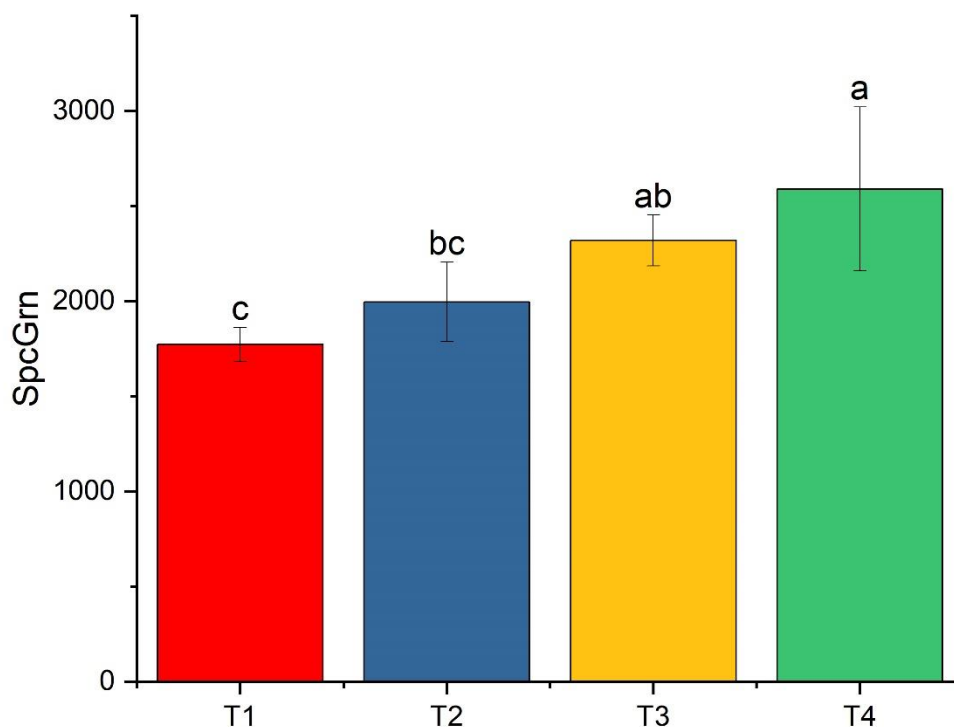


Significance Level: 0.05

Graf. 4.3. Prosječne vrijednosti refleksije u plavom spektru pri različitim temperaturnim tretmanima (T1: 20/15 °C, T2: 25/20 °C, T3: 30/25°C i T4: 35/30 °C); stupci označeni različitim slovima podrazumijevaju statistički značajne razlike dok stupci označeni istim slovom nisu međusobno značajno različiti, prema Tukey's HSD testu.

Iz grafikona 4.3. vidljivo je da se prosječne vrijednosti refleksije u plavom spektru značajno razlikuju ovisno o temperaturnom tretmanu. Pa tako, dva tretmana s nižom temperaturom (T1 i T2) ne razlikuju se međusobno, dok postoje značajne razlike s dva tretmana više temperature (T3 i T4). Nadalje, tretmani više temperature također međusobno nemaju značajne razlike. Najvišu vrijednost refleksija u plavom spektru postiže pri visokim temperaturama, dok pri nižim temperaturama ima i nižu vrijednost.

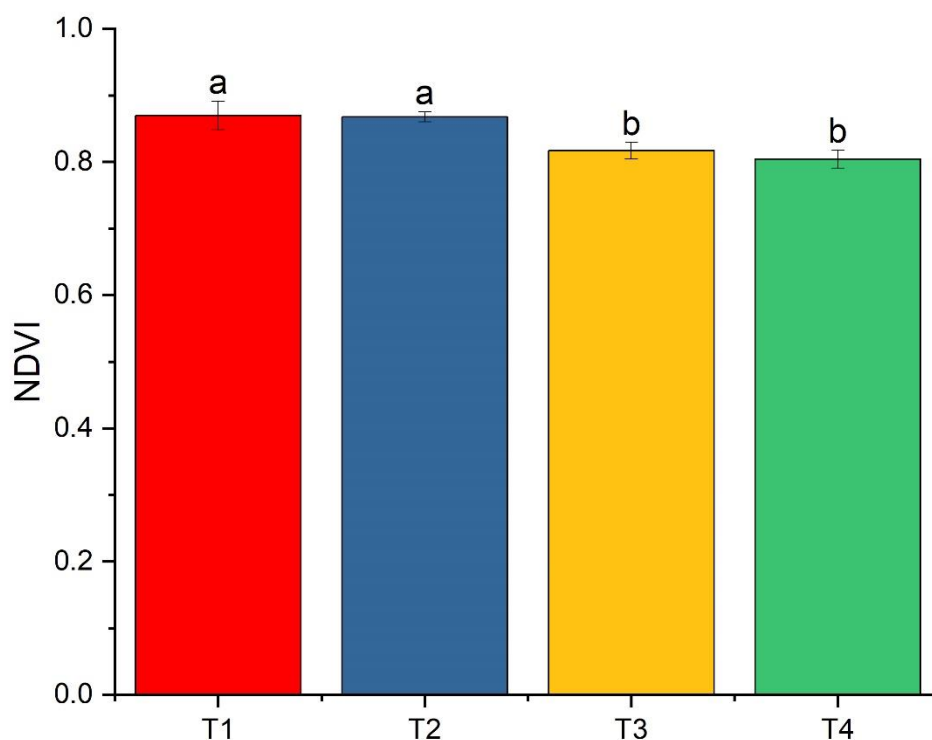
Slijedi grafički prikaz prosječnih vrijednosti refleksije u specifično zelenom - SpcGrn (graf 4.4.) spektru u različitim temperaturnim tretmanima (20/15 °C, 25/20 °C, 30/25°C C i 35/30 °C).



Graf 4.4. Prosječne vrijednosti refleksije u specifičnom zelenom spektru pri različitim temperaturnim tretmanima (T1: 20/15 °C, T2: 25/20 °C, T3: 30/25°C i T4: 35/30 °C); stupci označeni različitim slovima podrazumijevaju statistički značajne razlike dok stupci označeni istim slovom nisu međusobno značajno različiti, prema Tukey's HSD testu.

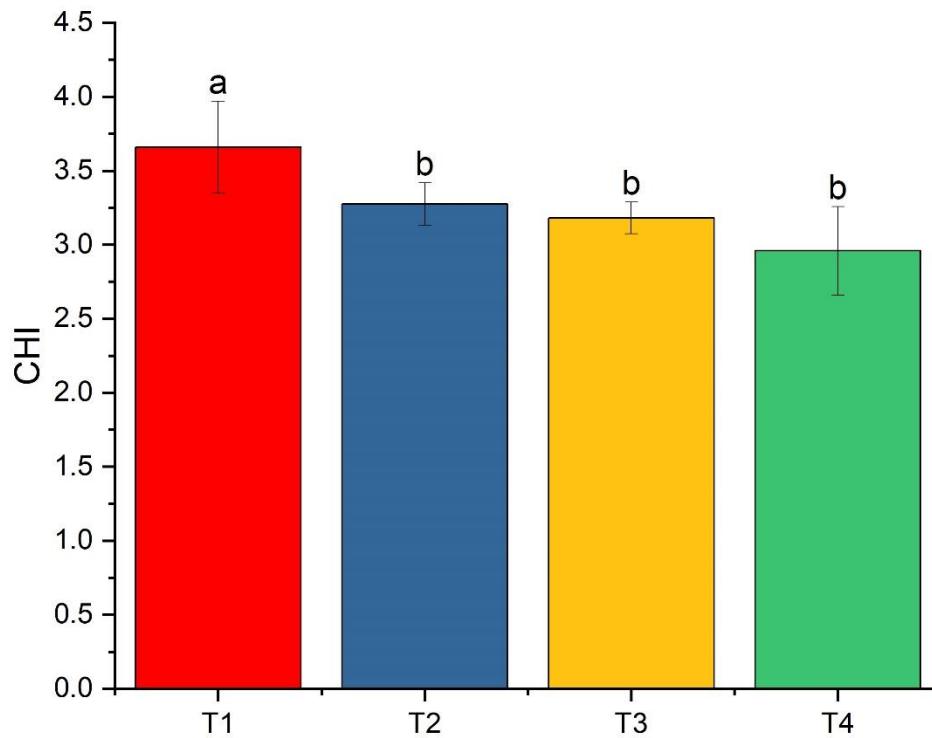
U grafikonu 4.4. možemo primijetiti sličan uzorak ponašanja prosječnih vrijednosti refleksije u specifičnom zelenom spektru sa onima u zelenom spektru. Pa tako, vidimo da se vrijednosti značajno razlikuju između T1 i T4 te T1 i T3. Najvišu prosječnu vrijednost refleksija u SpcGreen postiže u najvišem temperaturnom tretmanu, odnosno temperaturama 35/30 °C, dok najmanju postiže u najnižem temperaturnom tretmanu, T1 pri 20/15 °C.

Nadalje, slijede grafički prikazi prosječnih vrijednosti vegetacijskih indeksa u različitim temperaturnim tretmanima (20/15 °C, 25/20 °C, 30/25°C C i 35/30 °C), dobivenih računskim putem iz podataka RGB snimaka te NIR i FarRed snimaka, u ovom slučaju normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (Graf 4.5.) , indeks sadržaja klorofila (Graf. 4.6.) te indeks sadržaja antocijana (Graf 4.7.).



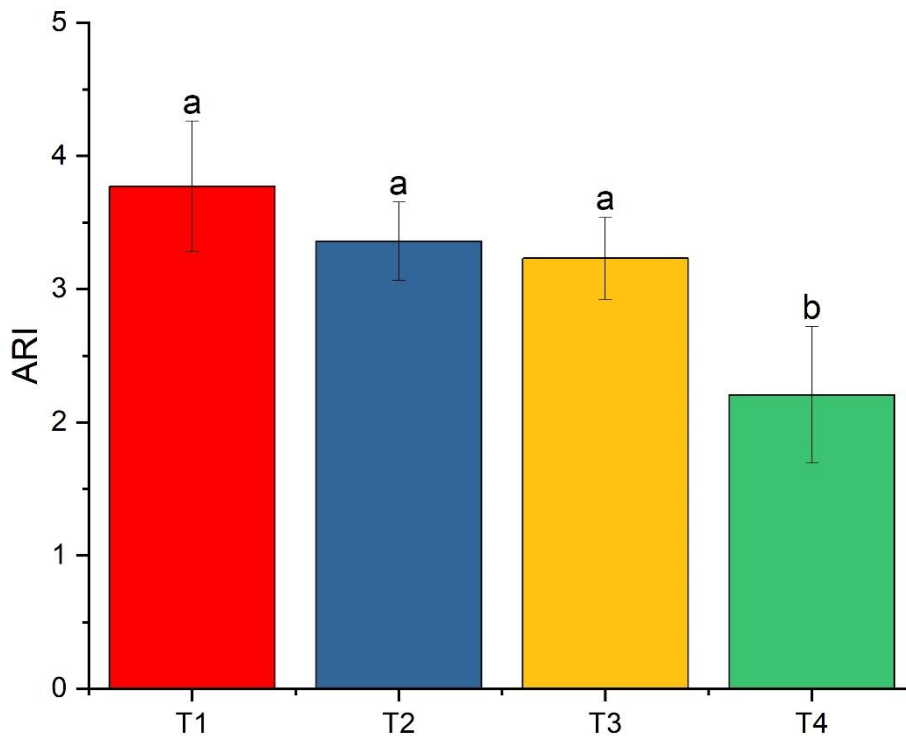
Graf. 4.5. Prosječne vrijednosti normaliziranog diferencijalnog vegetacijskog indeksa (NDVI) pri različitim temperaturnim tretmanima (T1: 20/15 °C, T2: 25/20 °C, T3: 30/25°C i T4: 35/30 °C); stupci označeni različitim slovima podrazumijevaju statistički značajne razlike dok stupci označeni istim slovom nisu međusobno značajno različiti, prema Tukey's HSD testu.

Iz grafikona 4.5. vidimo da postoje značajne razlike među temperaturnim tretmanima za prosječne vrijednosti NDVI, pa se tako dva niža temperaturna tretmana (T1 i T2) ne razlikuju međusobno, ali se značajno razlikuju od dva viša temperaturna tretmana (T3 i T4). Isto tako, nema značajnih razlika između dva viša temperaturna tretmana. Više prosječne vrijednosti NDVI zabilježene su kod dva niža temperaturna tretmana T1 i T2.



Graf. 4.6. Prosječne vrijednosti indeksa sadržaja klorofila (CHI) pri različitim temperaturnim tretmanima (T1: 20/15 °C, T2: 25/20 °C, T3: 30/25°C i T4: 35/30 °C); stupci označeni različitim slovima podrazumijevaju statistički značajne razlike dok stupci označeni istim slovom nisu međusobno značajno različiti, prema Tukey's HSD testu.

Iz grafikona 4.6. vidljivo je da se samo T1, odnosno najniži temperaturni tretman, značajno razlikuje od ostala tri tretmana za prosječne vrijednosti CHI. Isto tako, T1 ima i najvišu vrijednost, dok se ostala tri tretmana međusobno ne razlikuju značajno.



Graf. 4.7. Prosječne vrijednosti indeksa sadržaja antocijana (ARI) pri različitim temperaturnim tretmanima (T1: 20/15 °C, T2: 25/20 °C, T3: 30/25°C i T4: 35/30 °C); stupci označeni različitim slovima podrazumijevaju statistički značajne razlike dok stupci označeni istim slovom nisu međusobno značajno različiti, prema Tukey's HSD testu.

Iz grafikona 4.7. vidljivo je da se prosječne vrijednosti indeksa sadržaja antocijana značajno razlikuju samo kod najvišeg temperaturnog tretmana, odnosno T4 u odnosu na ostale tretmane dok između ostala tri tretmana nema značajne razlike.

Fotosintetski aparat kod biljaka iznimno je osjetljiv na visoke temperature, posebice sinteza klorofila (Sinsawat i sur., 2004) što je vidljivo i u ovom istraživanju (graf 4.6.). Uslijed pada sadržaja klorofila pri visokim temperaturama dolazi i do povećane refleksije u crvenom i plavom spektru, pošto klorofili uglavnom usvajaju svjetlost iz tog spektra (Lichtenthaler i Buschmann, 2001).

Iz dobivenih rezultata možemo vidjeti da je uslijed povećanja temperature kod krumpira uz povećanje refleksije u crvenom i plavom spektru, došlo i do veće refleksije u zelenom dijelu spektra, bez obzira na pad sadržaja klorofila. Ovaj podatak nam ukazuje na činjenicu da je uz klorofile, došlo i do smanjenja sadržaja drugih fotosintetskih pigmenata kao što su karotenoidi i ksantofili, čija je uloga usvajanje valnih duljina koje klorofili ne apsorbiraju – valne duljine zelenog spektra (Lichtenhaler i Buschmann, 2001).

Nadalje, u grafikonu 4.7. vidimo da je došlo i do pada sadržaja antocijana. Sve je više dokaza da antocijani igraju bitnu ulogu u odgovoru biljaka na razne abiotičke stresove (Anderson i Jordheim, 2006), posebice na stres izazvan prekomjernom svjetlošću (Zhu, 2018) kada se koncentracije folijarnih antocijana uglavnom povećavaju kod mnogih biljnih vrsta te djeluju kao foto zaštitnici. Mogući razlog pada sadržaja antocijana u ovom istraživanju je manjak energije kod biljaka izloženih stresu te činjenica da su sve jedinice uzgajane pri niskom intenzitetu svjetla ($250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (NDVI) već je postao standard za procjenu zdravstvenog stanja usjeva i jedan je od najčešće korištenih vegetacijskih indeksa za ranu detekciju stresa kod biljaka (Rouse i sur., 1974; Tucker i Choudhury, 1987). U ovom istraživanju zabilježen je pad NDVI pri visokim temperaturama (graf 4.5.) što samo potvrđuje već poznata istraživanja u kojima je pokazano da je NDVI osjetljiv na visoke temperature (Maselli, 2004; Mao i sur, 2013).

5. Zaključak

Korištenjem multispektralnih analiza kod krumpira sorte Bella Rosa pri četiri različita temperaturna tretmana (20/15 °C, 25/20 °C, 30/25°C C i 35/30 °C) utvrđeno je da toplinski stres značajno utječe na sve mjerene parametre.

Parametri koji su imali više prosječne vrijednosti pri najvišem temperaturnom tretmanu (35/30C°) bili su refleksija u crvenom (R_{Red} – 640 nm) , zelenom (R_{Green} – 550 nm) , plavom (R_{Blue} – 475 nm) i specifično zelenom (SpGrn - 510-590 nm) spektru. S druge strane, vegetacijski indeksi, indeks sadržaja klorofila (CHI), indeks sadržaja antocijana (ARI) i normalizirani diferencijalni vegetacijski indeks (NDVI) pokazali su više vrijednosti pri najnižem temperaturnom tretmanu (20/15 °C).

Sa porastom temperature došlo je do fizioloških promjena u stanicama lista kao što su pad sadržaja fotosintetskih pigmenata, prvenstveno klorofila, ali i karotena i ksantofila. Isto tako, došlo je i do pada sadržaja antocijana koji su zaštitni pigmenti te bi njihova sinteza trebala biti veća kod biljaka izloženih stresu. S druge strane, NDVI je očekivano pokazao niže rezultate pri visokim temperaturama.

6. Popis literature

1. Aien A., Khetarpal S., Pandey S.K., Singh M.P. (2013). Impact of elevated atmospheric CO₂ concentration on growth and yield of potato cultivars. *World Applied Sciences Journal*. 24 (4): 429-435.
2. Almekinders C.J.M. & Struik P.C. (1994). Photothermal response of sympodium development and flowering in potato (*Solanum tuberosum* L.) under controlled conditions. *Wageningen Journal of Life Science*. 42 (4).
3. Anderson, Ø.M. & Jordheim, M. (2006). The Anthocyanins. In: *Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications* (Ø.M. Anderson and K.R. Markham). CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, 471–551.
4. Benoit G.R., Stanley C.D., Grant W.J. & Torrey D.B. (1983). Potato top growth as influenced by temperatures. *American potato journal*. 60: 489-501.
5. Bodlaender K.B.A., Lugt C. & Marinus J. (1964). The induction of second-growth in potato tubers. *European potato journal*. 7: 57-71.
6. Borah M.N. & Milthorpe F.L. (1962). Growth of the potato as influenced by temperature. *Indian Journal of Plant Physiology*. 5: 53-72.
7. Burt R.L. (1964). Influence of short periods of low temperature on tuber initiation in the potato. *European potato journal*. 7: 197-208.
8. Carter G.A. (1993). Responses of Leaf Spectral Reflectance to Plant Stress. *American Journal of Botany*. 80 (3): 239-243.
9. Cui, L., Cao, R., Li, J., Zhang L. & Wang J. (2006) High temperature effects on ammonium assimilation in leaves of two *Festuca arundinacea* cultivars with different heat susceptibility. *Plant Growth Regul.* 49: 127–136.
10. Edwards E.J & Cobb A.H. (1997). Effect of Temperature on Glycoalkaloid and Chlorophyll Accumulation in Potatoes (*Solanum tuberosum* L. Cv. King Edward) Stored at Low Photon Flux Density , including preliminary modeling using an artificial neural network. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45(4): 1032-1038.
11. Ewing E.E., Simko I., Omer E.A. & Davies P.J. (2004). Polygene mapping as a tool to study the physiology of potato tuberization and dormancy. *American journal of potato research*. 81: 281-289.

12. Ewing, E.E., & P.C. Struik. (1992). Tuber formation in potato: Induction, initiation, and growth. *Horticultural reviews*. 14(89) : 197.
13. FAOSTAT (2021). Food and agriculture organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#home> pristup: 8.6.2021.
14. Firman D.M., O'Brien P.J. & Allen E.J. (1991). Leaf and flower initiation in potato (*Solanum tuberosum*) sprouts and stems in relation to number of nodes and tuber initiation. *The Journal of Agricultural Science*. 117(1): 61-74.
15. Fleisher D.H., Shillito R.M., Timlin D.J., Kim S.H. & Reddy V.R. (2006). Approaches to modeling potato leaf appearance rate. *Agronomy journal*. 98(3): 522.
16. Gitelson A.A., Gritz Y. & Merzlyak M.N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of plant physiology*. 160(3): 271-282.
17. Gitelson A.A., Kaufman Y.J., Stark R. & Rundquist D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*. 80(1): 76-87.
18. Gitelson A.A., Merzlyak M.N. & Chivkunova O.B. (2001). Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and photobiology*. 74(1): 38-45.
19. IPCC (2007). Intergovernmental panel on climate change. <https://www.ipcc.ch/> - pristup: 8.6.2021.
20. Koda Y. (2002). Involvement of jasmonic acid and related compounds in various morphogenic events of crops. *Japanese journal of crop science*. 71(1): 1-10.
21. Koda Y., Kikuta Y., Tazald H., Tsujino Y., Sakamura S. & Yoshiharm T. (1991). Potato tuber-inducing activities of jasmonic acid and related compounds. *Phytochemistry*. 30(5): 1435-1438.
22. Koda Y., Omer E.A., Yoshihara T., Shibata H., Sakamura S. & Okazawa Y. (1988). Isolation of a specific potato tuber-inducing substance from potato leaves. *Plant and cell physiology*. 29(6): 1047-1051.
23. Kuete V. (2014). *Toxicological Survey of African Medicinal Plants*. Elsevier, London.

24. Lasaponara R & Masini N. (2007). Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multispectral imagery. *Journal of archaeological science*. 34(2); 214-221.
25. Lazarević B., Šatović Z., Nimac A., Vidak M., Gunjača J., Politeo O., Carović-Stanko K. (2021). Application of Phenotyping Methods in Detection of Drought and Salinity Stress in Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Frontiers in Plant Science*. 12: 174.
26. Levy D. & Veilleux R. E. (2007). Adaptation of potato to high temperatures and salinity-a review. *American journal of potato research*. 84(6): 487-506.
27. Li L., Zhang Q. & Huang D. (2014). A Review of Imaging Techniques for Plant Phenotyping. *Sensors*. 14(11): 20078-20111.
28. Lichtenthaler H.K., Gitelson A.A. & Lang, M. (1996). Non-Destructive Determination of Chlorophyll Content of Leaves of a Green and an Aurea Mutant of Tobacco by Reflectance Measurements. *Journal of Plant Physiology*. 148(3-4): 483-493.
29. Lichtenthaler H.K. & Buschmann C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 1(1): f4-3.
30. Lowe A., Harrison N. & French A.P. (2017). Hyperspectral image analysis techniques for the detection and classification of the early onset of plant disease and stress. *Plant methods*. 13(1): 1-12.
31. Mao J.F., Shi X.Y., Thornton P.E., Hoffman F.M., Zhu Z.C. & Myneni R.B. (2013). Global Latitudinal-Asymmetric Vegetation Growth Trends and Their Driving Mechanisms: 1982–2009. *Remote Sensing*. 5(3): 1484–1497.
32. Marinus J. & Bodlaender K.B.A. (1975). Response of some potato varieties to temperature. *Potato Research*. 18(2): 189-204.
33. Marshall J.W. & Crawford A.M. (1992). A DNA probe which distinguishes *Globodera pallida* Pa2/3 from *G. rostochiensis* Ro1 and other cyst-forming nematodes. *New Zealand journal of zoology*. 19(3-4): 133-138.
34. Maselli, F. (2004). Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multiyear NDVI data. *Remote sensing of environment*. 89(4): 423–433.

35. Mattupalli C., Moffet C.A., Shah K.N. & Young C.A. (2018). Supervised Classification of RGB Aerial Imagery to Evaluate the Impact of a Root Rot Disease. *Remote sensing*. 10(6): 917.
36. Moorby J. & Milthorpe F.J. (1975). An introduction to plant physiology. In: *Crop Physiology: Some Case Histories* (Evans L.T.). Cambridge University Press, London and New York, 211.
37. Naik, H.S., Zhang, J., Lofquist, A., Assefa T., Sarkar S., Ackerman D., Singh A., Singh A.K. & Ganapathysubramanian B. (2017). A real-time phenotyping framework using machine learning for plant stress severity rating in soybean. *Plant Methods*. 13(1): 1-12.
38. Padmanabhan P., Sullivan J.A. & Paliyath G. (2016). Potatoes and Related Crops. In: *The Encyclopedia of Food and Health* (Caballero B., Finglas P.M. & Toldra F.). Elsevier, Oxford and Waltham.
39. Reynolds M.P., Ewing E.E. & Owens T.G. (1990). Photosynthesis at high temperature in tuber-bearing *Solanum* species: a comparison between accessions of contrasting heat tolerance. *Plant physiology*. 93(2): 791-797.
40. Rouse Jr J.W. (1972). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Md, 371.
41. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. & Deering, W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA special publication. 351: 309.
42. Saha S.N., Murti G.S.R., Banerjee V.N., Purohit A.N. & Singh M. (1974). Effect of night temperatures on growth and development of indian potato varieties under short-day condition. *Indian journal of agricultural science*. 44(6): 376-382.
43. Sattelmacher B., Marschner H., Kuhne R. (1990). Effects of root zone temperature on root activity of two potato (*Solanum tuberosum* L.) clones with different adaptation to high temperature. *Journal of agronomy and crop science*. 165(2-3): 131-137.
44. Sinsawat V., Leipner J., Stamp P. & Fracheboud Y. (2004). Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L.) grown at control or high temperature. *Environmental and Experimental Botany*. 52 (2): 123-129.
45. STATISTA (2021). <https://www.statista.com/> -pristup: 27.5.2021.

46. Struik P.C. & Ewing E.E. (1995). Crop physiology of potato (*Solanum tuberosum* L.): responses to photoperiod and temperatures relevant to crop modelling. In: *Potato Ecology and Modelling of Crops Under Conditions Limiting Growth* (Haverkort A.J. & MacKerron D.K.L.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 19.
47. Struik P.C. & Wiersema S.G. (1999). *Seed Potato Technology*. Wageningen Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands, 383.
48. Struik P.C. (2007). Responses of the Potato Plant to Temperature. In: *Potato Biology and Biotechnology* (Struik P.C.). Elsevier Science BV, 367-391.
49. Struik P.C., Vreugdenhil D., van Eck H.J., Bachem C.W. & Visser R.G.F. (1999). Physiological and genetic control of tuber formation. *Potato Research*. 42 (2) :313-331.
50. Struik P.C., Geertsema J. & Custers C.H.M.G. (1989). Effects of shoot, root and stolon temperature on the development of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. III. Development of tubers. *Potato research*. 32(2): 151-158.
51. Taiz, L. Zeiger, E., Moller, I.M. and Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates Incorporated, Sunderland, CT.
52. Tao C., Zhu H., Sun P., Wu R. & Zheng Z. (2020). Hyperspectral image recovery based on fusion of coded aperture snapshot spectral imaging and RGB images by guided filtering. *Optics Communications*. 458: 124804.
53. Timlin D., Fleisher D.H., Reddy V.R. (2006). Whole Plant Photosynthesis, Development, and Carbon Partitioning in Potato as a Function of Temperature. *Agronomy journal*. 98(5): 1195-1203.
54. Tucker C.R., Choudhury B.J. (1987). Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sensing of Environment*. 23(2): 243-251.
55. Vilfan N., Van der Tol C., Yang P., Wyber R., Malenovský Z., Robinson S.A., Verhoef W. (2018). Extending Fluspect to simulate xanthophyll driven leaf reflectance dynamics. *Remote Sensing of Environment*. 211: 345-356.
56. Vos J. (1995). In: *Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System; A Comparison of Potato Growth Models* (Kabat P., Marshall B., van den Broek B.J., Vos J. & van Keulen H.), p. 21. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands

57. Yamagishi K., Mitsumori C., Takahashi K., Fujino K., Koda Y. & Kikuta Y. (1993). Jasmonic acid inducible gene expression of a Kunitz-type proteinase inhibitor in potato tuber disks. *Plant molecular biology*. 21(3): 539-541.
58. Yamaguchi M., Timm H. & Spurr A.R. (1964). Effects of soil temperature on growth and nutrition of potato plants and tuberization, composition, and periderm structure of tubers. In *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 84: 412-423.
59. Zhu F. (2018). Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*. 109: 232-249.
60. Zhu W., Sun Z., Yang T., Jing Li, Peng J., Zhu K., Li S., Gong H., Lyu Y., Li B. & Liao X. (2020). Estimating leaf chlorophyll content of crops via optimal unmanned aerial vehicle hyperspectral data at multi-scales *Computers and Electronics in Agriculture*. 178: 105786.
61. Zubler A.V. & Yoon J.Y. (2020). Proximal Methods for Plant Stress Detection Using Optical Sensors and Machine Learning. *Biosensors*. 10(12): 193.

Životopis

Martina Karačić rođena je 11. kolovoza 1997. godine u Zagrebu. Završila je opći smjer zagrebačke IX. Gimnazije. U listopadu 2016. godine započela je preddiplomski studij hortikultura na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu te 2019. godine stekla titulu sveučilišne prvostupnice. Nastavila je studij na Agronomskom fakultetu upisavši 2019. godine diplomski studij agroekologije te ga završila 2021. godine.

Radno iskustvo stekla je radom pod studentskim ugovorom za firme kao što su HomeOGarden vodeći edukacije i promocije za proizvode namijenjene organskom vrtlarenju, te obavljajući administrativne poslove u Agenciji za plaćanje u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju gdje radi i trenutno. Jezici kojima se služi stručno su engleski jezik na razini B2 i njemački jezik na razini A2.