

Utjecaj suše na kvalitetu gomolja krumpira

Bašić, Petar

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:204:294701>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-30**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

UTJECAJ SUŠE NA KVALITETU GOMOLJA KRUMPIRA

DIPLOMSKI RAD

Petar Bašić

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Biljne znanosti

UTJECAJ SUŠE NA KVALITETU GOMOLJA KRUMPIRA

DIPLOMSKI RAD

Petar Bašić

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Ivanka Habuš Jerčić

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Petar Bašić**, JMBAG 0068224903, rođen 30. 12. 1995. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ SUŠE NA KVALITETU GOMOLJA KRUMPIRA

Svojim potpisom jamčim:

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

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Petar Bašić**, JMBAG 0068224903, naslova

UTJECAJ SUŠE NA KVALITETU GOMOLJA KRUMPIRA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

1. izv. prof. dr. sc. Ivanka Habuš Jerčić mentor

2. prof. dr. sc. Snježana Kereša član

3. doc. dr. sc. Marina Brčić član

Zahvala

Prvenstveno zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Ivanki Habuš Jerčić na pomoći, podršci, predanosti, stručnom vođenju, sugestijama i strpljenju prilikom izrade ovog Diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se dr. sc. Ivani Tomaz na pomoći i sugestijama prilikom izrade praktičnog dijela ovog rada u laboratoriju.

Veliko hvala svim profesorima i djelatnicima Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu na njihovom radu, trudu i prenesenom znanju tokom mojih pet godina obrazovanja.

Hvala mojim roditeljima, bratu i ostatku obitelji koji su mi pružali podršku tijekom čitavog života i uvijek bili uvijek uz mene.

Hvala dragome Bogu na mome životu, obitelji i prijateljima te svim stazama kojima sam koračao i još moram koračati.

Petar Bašić

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Cilj rada.....	2
2. Suša	3
2.1. Definicije i podjele suše	3
2.2. Stres suše (nedostatak vode).....	4
2.3. Simptomi stresa suše	4
2.4. Odgovori biljaka na stres suše	5
2.5. Osjetljivost krumpira na sušu i temperaturu.....	6
3. Utjecaj suše na krumpir	7
3.1. Utjecaj suše uvjetovan razvojnim fazama krumpira	7
3.2. Utjecaj rane i kasne suše na rane i kasne genotipove krumpira	9
3.3. Utjecaj suše na nadzemni dio krumpira	10
3.3.1. Utjecaj suše na indeks lisne površine i gustoću lisnog sklopa	12
3.4. Utjecaj suše na fotosintezu	13
3.5. Utjecaj suše na podzemne dijelove krumpira	14
3.5.1. Utjecaj suše na korijenov sustav i stolone.....	14
3.5.2. Utjecaj suše na gomolj.....	15
3.6. Odgovori krumpira na stres suše	19
3.6.1. Odgovor na razini gena i proteina	19
3.6.2. Osmotska regulacija	20
3.6.3. Akumulacija reducirajućih šećera i stabilnost stanične membrane	21
3.6.4. Relativni sadržaj vode (RWC)	22
4. Materijali i metode	24
4.1. Biljni materijal	24

4.2. Tijek istraživanja.....	25
4.3. Fiziološke i kemijske analize	30
4.3.1. Određivanje RWC-a u listu.....	30
4.3.2. Određivanje sadržaja proteina u gomolju	30
4.3.3. Određivanje masenog udjela askorbinske kiseline u gomolju	31
4.3.4. Određivanje sadržaja prolina u gomolju	31
4.3.5. Određivanje sadržaja reducirajućih šećera u gomolju	32
4.4. Statističke analize.....	32
5. Rezultati i rasprava	33
5.1. Analiza varijance (ANOVA) RWC-a lista i komponenti prinosa	33
5.2. Utjecaj genotipa na prosječni RWC i komponente prinosa	35
5.3. Utjecaj tretmana na prosječni RWC i komponente prinosa.....	38
5.4. Interakcija genotip x tretman (G x T) za RWC i komponente prinosa	39
5.5. Analiza varijance (ANOVA) kemijskih komponenti gomolja	45
5.6. Utjecaj genotipa na prosječne vrijednosti kemijskih komponenti gomolja	46
5.7. Utjecaj tretmana na prosječne vrijednosti kemijskih komponenti gomolja	49
5.8. Interakcija genotip x tretman (G x T) za kemijske komponente gomolja	50
6. Zaključak.....	55
7. Popis literature	56
Životopis	65

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Petar Bašić**, naslova

UTJECAJ SUŠE NA KVALITETU GOMOLJA KRUMPIRA

Krumpir je kultura osjetljiva na sušu te je podložan gubitku kvantitete i kvalitete prinosa zbog stresa kojeg izaziva suša. U jeku globalno izraženih klimatskih promjena, izazov moderne agronomske znanosti je osigurati stabilnost kvantitete i kvalitete prinosa krumpira. Cilj ovog istraživanja bio je ispitati utjecaj stresa suše na kemijske parametre kvalitete gomolja pet tradicijskih hrvatskih genotipova krumpira. Utvrđeno je da je stres suše negativno utjecao na sve ispitivane genotipove, ali da odgovori tih genotipova na stres suše nisu bili jednaki. Iako je stres suše uzrokovao smanjenje RWC-a i negativno utjecao na smanjenje mase gomolja, neki od korištenih genotipova su, prema analizama kemijskih parametara kvalitete, pokazali tolerantnost na sušu. Analize su pokazale da postoje genotipovi koji u uvjetima stresa suše mogu zadržati zadovoljavajuću i relativno visoku kvalitetu gomolja, iako je gubitak kvantitete, barem u ovom istraživanju, neizbježan.

Ključne riječi: suša, stres, krumpir, gomolj, kvaliteta

Summary

Of the master's thesis – student **Petar Bašić**, entitled

INFLUENCE OF DROUGHT ON THE QUALITY OF POTATO TUBERS

Potato is a drought sensitive crop and is susceptible to a loss in both quantity and quality of yield due to the stress caused by drought. In the midst of globally pronounced climate change, the challenge of modern agronomic science is to ensure the stability of potato yield quantity and quality. The aim of this research was to investigate the impact of drought stress on the chemical parameters of tuber quality of five traditional Croatian potato genotypes. It was found that drought stress had a negative effect on all tested genotypes, but the responses of these genotypes to drought stress were not equal. Although drought stress led to a reduction in RWC and negatively affected the tuber mass reduction, some of the genotypes used showed tolerance to drought based on chemical quality parameter analyses. The analyses revealed that there are genotypes that can maintain satisfactory and relatively high tuber quality under drought stress conditions, although a loss in quantity, at least in this study, is unavoidable

Keyword: drought, stress, potato, tuber, quality

1. Uvod

Krumpir (*Solanum tuberosum* L.) je višegodišnja zeljasta biljka iz porodice pomoćnica (*Solanaceae*). Unutar porodice pomoćnica poznato je 115 rodova, a unutar roda *Solanum* poznato je više od 2000 vrsta od kojih preko 150 razvija gomolje (Reddy i sur. 2018.). Pradomovina krumpira je područje oko jezera Titicaca u južnoameričkim Andama koje se nalazi na teritoriju današnjeg Perua.

Na europsko tlo krumpir prvi put dolazi 1562. godine, kada je zasađen na Kanarskim otocima. Potpuno prihvaćanje krumpira kao kulture dogodilo se 1770. godine uslijed izbijanja gladi u Europi i provođenjem istraživanja kojim je Medicinski fakultet Sveučilišta Sorbona u Parizu 1771. godine potvrdio da je krumpir prikladan za ljudsku prehranu. Europske su države krumpir prenijele u svoje afričke i azijske kolonije te Australiju. Tako krumpir postaje globalna kultura čiji je uzgoj prisutan na tlima svih kontinenata, osim Antarktike, i u stalnom je porastu.

Po veličini proizvodnje, krumpir je danas četvrta najveća poljoprivredna kultura u svijetu, iza riže, pšenice i kukuruza (FAOSTAT 2022.). Prema podacima FAOSTAT-a (2022.), 2021. godine je na 18,13 milijuna hektara proizvedeno 376 milijuna tona krumpira sa svjetskim prosjekom proizvodnje od 21 tone po hektaru. Krumpir se danas uzgaja u približno 150 država, od kojih su najveći proizvođači krumpira: Kina (94,4 milijuna tona), Indija (54,2 milijuna tona), Ukrajina (21,4 milijuna tona), SAD (18,6 milijuna tona) i Rusija (18,3 milijuna tona) (FAOSTAT 2022.). Areal uzgoja krumpira je vrlo širok i proteže se od 69° sjeverne geografske širine do 50° južne geografske širine te od razine mora do 4000 metara nadmorske visine (Hijmans 2003.). Ovaj areal uzgoja može upućivati na dvije stvari: ili je krumpir posebno prilagodljiva kultura ili se na većini mjesta krumpir uzgaja u uvjetima koji za to nisu optimalni. Smatra se da je ova druga mogućnost izvjesnija te da će klimatske promjene uzrokovati pogoršanje uvjeta koji već sada nisu optimalni. To će za posljedicu imati pomicanje poljoprivredne proizvodnje iz onih područja u kojima je ona prilagođena za uzgoj krumpira na područja u kojima ona to nije. Ovakvo pomicanje uzrokovat će povećanje prinosa i održivosti proizvodnje u novim područjima, a opadanje prinosa i održivosti proizvodnje u područjima koja će biti negativno pogođena klimatskim promjenama (Raymundo i sur. 2014.).

Klimatske promjene neizbježne su pojave na globalnoj razini koje utječu, i koje će utjecati, na sve aspekte ljudskog života pa tako i na sigurnost hrane. Izravni učinci klimatskih promjena očitovat će se u povećanju temperature Zemljine površine, češćim i intenzivnijim sušama, neravnomjernim rasporedom padalina kroz godinu i nepredvidivo visokim količinama oborina (Anđelković 2018.). Ovakve promjene negativno će utjecati na globalnu proizvodnju i prinos krumpira, ali i na kvalitetu i tržišnu upotrebljivost proizvedenog krumpira.

Kako navode Sun i sur. (2015.), krumpir se smatra kulturom s učinkovitom potrošnjom vode koja proizvodi više kalorija po jedinici iskorištene vode od riže, pšenice i kukuruza. Tako je primjerice za proizvodnju kilograma krumpira potrebno 105 litara vode,

što je znatno manje od riže (1408 L za kg), pšenice (1159 L za kg) i kukuruza (710 L za kg) (Renault i Wallender 2000.). Unatoč toj velikoj učinkovitosti u korištenju vode, krumpir je vrlo osjetljiv na stres koji uzrokuje suša. Ukupna potreba za vodom varira između 350-550 mm, ovisno o vrsti tla, klimi i genotipu (rani ili kasni) (Reddy i sur. 2018.). Ako ove potrebe za vodom nisu zadovoljene, vrlo je važna dostupnost kvalitetne vode za navodnjavanje, tolerantnost krumpira na sušu ili sposobnost odgađanja štetnih učinaka suše.

Krumpir je zdrav izvor ugljikohidrata, dijetalnih vlakana, proteina, vitamina, antioksidansa i minerala (Beals 2019.). Na dnevnoj bazi ga konzumira više od milijardu ljudi (Mullins i sur. 2006.), a siromašna i najpothranjenija poljoprivredna gospodarstva mnogih zemalja u razvoju ovisе o krumpiru kao primarnom i sekundarnom izvoru hrane (Lutaladio i Castaidi 2009.). Upravo iz ovih razloga od velike je važnosti oplemenjivačkim i istraživačkim radom ublažiti negativne posljedice koje će intenzivnije suše, uzrokovane klimatskim promjenama, imati na proizvodnju i kvalitetu proizvedenog krumpira. To će se postići istraživanjem odgovora i stupanja tolerancije koje na stres suše pokazuju pojedini genotipovi krumpira. Proučavanjem podzemnih i nadzemnih dijelova biljke i njihovih odgovora na stres suše, treba odabrati najtolerantnije genotipove čiji prinos ima minimalne gubitke u kvantiteti i kvaliteti prinosa pri izloženosti stresnim uvjetima. Tako identificirane genotipove treba koristiti u proizvodnji ili kao roditelje u budućim oplemenjivačkim programima. Čak i s prilagodbom, očekuje se pad globalnog prinosa krumpira od 9% do 18%, dok će bez prilagodbe globalni prinosi pasti od 18% do 32% (Hijmans, 2003.).

1.1. Cilj rada

Ciljevi ovoga rada su istražiti odgovore na stres suše kod pet hrvatskih tradicijskih genotipova krumpira na temelju fiziološke analize lista te analize komponenti prinosa, kao i biokemijske analize njihovih gomolja. Prema rezultatima analiza, cilj je izdvojiti onaj genotip ili genotipove koji temeljem odgovora na stres suše i kvalitete gomolja pokazuju određeni stupanj tolerantnosti na sušu uz minimalan gubitak kvantitete i/ili kvalitete prinosa.

2. Suša

2.1. Definicije i podjele suše

Suša pripada grupi abiotskih stresova, odnosno stresova koje uzrokuje nepovoljno stanje okoliša u kojem se biljka razvija. Najznačajniji abiotski čimbenici koji mogu uzrokovati stres su: suša (nedostatak ili nedostupnost vode), temperatura, intenzitet sunčevog zračenja, trajanje fotoperioda, salinitet tla, kiselost ili lužnatost tla i poplave. Prema procjenama abiotski stres uzrokovan s jednim ili više nabrojanih čimbenika može, na globalnoj razini, uzrokovati do 50% prosječnih gubitaka prinosa različitih poljoprivrednih kultura (Wang i sur. 2003.).

Suša je jedan od najznačajnijih i višedimenzionalnih abiotskih stresova (Anjum i sur. 2011.), koji utječe na morfologiju, fiziologiju, ekološka, biokemijska i molekularna svojstva biljaka koje pogađa (Salehi-Lisar i Bakhshayeshan-Agdam 2016.). Javlja se u gotovo svim područjima, a posebno je istaknut utjecaj suše u aridnim (sušnim) i semiaridnim (polusušnim) regijama. Karakteristike suše mogu se značajno razlikovati ovisno o području kojeg pogađa (Rana i sur. 2013.). Vrlo ju je teško definirati, a može ju se opisati s meteorološkog, hidrološkog, agronomskog i socio-ekonomskog gledišta. U ovome radu pojam suša odnosi se na agronomsku ili poljoprivrednu sušu te stres koji uzrokuje na biljke (krumpir) i ovaj rad je promatra i analizira iz tog gledišta.

Agronomska ili poljoprivredna suša podrazumijeva manjak vode u površinskom soju tla koji se javlja u kritičnom razdoblju razvoja biljke i smanjuje vodni potencijal u biljnim tkivima (Mitra 2001., DHMZ 2023.). Agronomska suša može se podijeliti na povremenu i terminalnu sušu. Povremenu sušu čini niz razdoblja u kojima je tijekom vegetacije prisutan nedostatak vode. Nakon prestanka ovih razdoblja vlaga u tlu se obnavlja i tako omogućuje biljkama da se oporave od suše i nastave svoj rast i razvoj. Terminalna suša rezultira nemogućnošću obnavljanja razine vlage u tlu, što ozbiljno utječe na rast biljaka, a u ekstremnim slučajevima dovodi do uvenuća i smrti biljke (Nasir i Toth, 2022). Druga podjela agronomske suše je na ranu i kasnu sušu, ovisno o fazi razvoja i brzini razvoja pojedine poljoprivredne kulture na koju suša djeluje i vremenu pojavljivanja suše. Početak agronomske suše ovisi o stanju površinskog sloja tla. Čimbenici poput visoke temperature, niske relativne vlažnosti zraka i vjetra pojačavaju negativne posljedice kojima agronomska suša utječe na rast i razvoj biljaka, te kvantitetu i kvalitetu prinosa.

2.2. Stres suše (nedostatak vode)

Voda čini između 80-95% svježe biomase zeljastih biljaka i igra važnu ulogu u rastu, razvoju i metabolizmu (Salehi-Lisar i sur. 2012.). Također voda ima ulogu u gotovo svim biokemijskim procesima vezanim uz rast i razvoj biljnog organizma, kao i ulogu u formiranju, kvantiteti i kvaliteti prinosa. Postoji nekoliko razloga koji uzrokuju nedostatak vode u biljci, a koji uključuju: izostanak ili niske količine oborina, salinitet, visoke i niske temperature, te visok intenzitet svjetlosti.

Općenito s fiziološke i agronomske točke gledišta stres zbog suše nastaje kada je razina raspoložive vode za biljke u tlu smanjena zbog niske vlažnosti tla u određenom vremenskom intervalu (Dai 2012.). S druge strane stres zbog nedostatka vode nastaje kada je brzina transpiracije vode, koja se događa na površini lišća, veća od brzine unosa vode pomoću korijena (Salehi-Lisar i sur. 2012.). Ovakva neravnoteža u unosu vode koja rezultira gubitcima vode iz biljke uglavnom se javlja kada je vodni potencijal tla niži od vodnog potencijala korijena. Ipak biljne vrste koje se klasificiraju kao kserofiti (biljke aridnih ekosustava), mogu u sušnim pustinjским i polupustinjским uvjetima rasti bez nedostatka vode, zbog svojih posebnih prilagodbi. Stoga suša nije sinonim za nedostatak vode u biljci, već suša uzrokuje nedostatak vode (stres suše) kod onih biljaka koje nisu prilagođene stresu suše. Jedna od takvih, na sušu osjetljivih i neprilagođenih biljaka kod kojih ona uzrokuje nedostatak vode je i krumpir.

2.3. Simptomi stresa suše

Simptomi koji se kod biljaka javljaju uslijed stresa kojeg trpe zbog suše razlikuju se ovisno o biljnoj vrsti, stadiju razvoja u kojem se biljka nalazi, uvjetima u kojima biljka raste i drugim čimbenicima okoliša (Arbona i sur. 2013.). Na simptome koji se javljaju utječe intenzitet suše, vrijeme trajanja suše, progresivnost suše, fizikalno-kemijski uvjeti u tlu i vitalnost biljke. Što su intenzitet, vrijeme trajanja i progresivnost veći to će se prije narušiti fizikalno-kemijski uvjeti, što će negativno djelovati na vitalnost biljke. Što je djelovanje na vitalnost biljke negativnije, to će simptomi i posljedice suše biti izraženiji. Općenito simptomi suše uključuju: pad vrijednosti turgora u lišću, gubitak čvrstoće nadzemnog dijela, venuće, etiolizaciju, žutilo, smanjenje lisne površine i prerano otpadanje lišća (Akhtar i Nazir 2013.). Također Arbona i sur. (2013.), ističu da neki neobičniji simptomi stresa uvjetovani sušom uključuju: pucanje kore i grančica, odumiranje grana, stanjivanje krošnje kod drveća i grmlja, nekroze te slab i zaostao rast. U konačnici ekstremni stres suše dovodi do smrti biljnog organizma.

2.4. Odgovori biljaka na stres suše

Biljke su sesilni organizmi i moraju izdržati okolišne stresove koji na njih djeluju. Stoga su biljke razvile različite mehanizme odgovora na stres. Štoviše, budući da su biljke višestanični organizmi, njihov odgovor na stres kao što je stres suše, vrlo je složen (Salehi-Lisar i sur. 2012.). Prilagodbe biljaka na nedostatak vode mogući su fiziološkim, morfološkim, fenološkim, biokemijskim i molekularnim odgovorima. Odgovori na stres suše također mogu varirati od razine pojedinih tkiva ili pojedinih organa do odgovora na razini čitavog biljnog organizma. Strategije biljaka za suočavanje i odgovor na sušu mogu se podijeliti na tri glavna načina, a to su: izbjegavanje suše, tolerantnost na sušu i odgađanje suše.

Bijeg od suše podrazumijeva završetak sezonskog rasta ili kratkog životnog ciklusa i razmnožavanja prije nego okoliš postane suh i nastupi stres suše (Akhtar i Nazir 2013.). Dužina životnog ciklusa ovisi o genotipu i uvjetima okoliša. Ako su oni takvi da omogućuju biljkama rano cvjetanje, onda je za tu biljku moguće da svoj fenološki razvoj u potpunosti završi u razdoblju u kojem je razina dostupne vlage u tlu dovoljna za normalan rast i razvoj. Iako rano cvjetanje, a posljedično tome i rano sazrijevanje pomaže biljkama da ne dožive stres suše, ovakvo izbjegavanje posljedično dovodi do smanjenog prinosa (Akhtar i Nazir 2013.). Smanjenje prinosa posljedica je kraćeg trajanja razvojnih faza u kojima je biljkama ostavljen kraći vremenski period za formiranje, razvoj i rast prinosa.

Tolerantnost na sušu je odgovor na stres suše koji podrazumijeva zadržavanje normalnog funkcioniranja organizma pri nedostatku vode. Biljke to postižu osmotskom regulacijom nakupljanjem određenih osmolita (organskih ili anorganskih). Važniji su pri tom organski osmoliti kao npr. proteini, betain, prolin i ugljikohidratni osmoliti (šećeri i šećerni alkoholi) (Kereša i sur 2008.). Tako osmotska regulacija tolerantnim genotipovima izloženima suši omogućuje: (1) nastavak izduživanja listova, iako smanjenim intenzitetom, (2) ostanak puči otvorenih te njihovu bolju provodljivost i odvijanje fotosinteze, (3) nastavak rasta korijena i stoga bolju eksploataciju vlage iz tla, (4) kasnije venuće listova, (5) bolje nakupljanje suhe tvari i kao posljedicu svega navedenog veći prinos usjeva u stresnim uvjetima (Kereša i sur. 2008., Panda i sur 2021.).

Odgađanje (izbjegavanje) suše je odgovor na stres suše čiji je cilj očuvanje visokog vodnog potencijala u biljkama. Glavna karakteristika ovog odgovora je smanjenje gubitka vode kontrolom transpiracije pomoću puči i održavanje unosa vode pomoću ekstenzivnog korijena. Dubok i razgranat korijen omogućuje usvajanje vode sa velike površine ispod i oko biljke (Farooq i sur. 2009., Akhtar i Nazir 2013.). S druge strane kontrola transpiracije zatvaranjem puči ima za posljedicu smanjenje fotosinteze. Zato su biljke koje koriste ovaj odgovor na stres suše općenito fenotipski manje (Farooq i sur. 2009.). Karakteristična pojava kod ovakvog odgovora biljaka na stres suše je i rolanje listova (Panda i sur. 2021.).

2.5. Osjetljivost krumpira na sušu i temperaturu

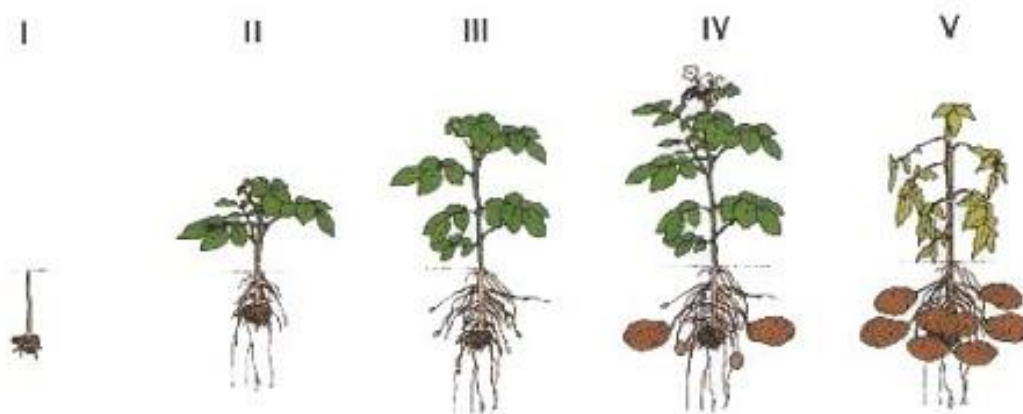
Glavni razlog velike osjetljivosti krumpira na sušu proizlazi iz plitkog korijenskog sustava (van Loon 1981.) i njegove malene gustoće (Gregory i Simmonds 1992.). Naime korijen krumpira najčešće prodire 40 - 50 cm u tlo, s izuzetkom rahlih i dubokih tala u kojima može dosegnuti i preko 1 m dubine. U površinskom oraničnom sloju tla (do 30 cm dubine), nalazi se više od 50 % mase korijena. Najviše se razvija u fazi cvatnje, a dozrijevanjem nasada korijen polako odumire (Lešić i sur. 2016). Zbog ovakvog korijenskog sustava nedugo nakon pojave suše u krumpiru se javlja i stres suše (nedostatak vode).

Također krumpir je vrlo osjetljiva kultura u pogledu temperature. Iako se abiotički stres uzrokovan niskim ili visokim temperaturama razlikuje od stresa suše potrebno ga je spomenuti, jer je temperatura okoliša vrlo bitan čimbenik rasta i razvoja krumpira. Također abiotički stresovi vrlo često se pojavljuju zajedno i na biljkama ispoljavaju kombinirani učinak. Tako se stres uzrokovan sušom vrlo često pojavljuje u kombinaciji sa stresom kojeg uzrokuje visoka temperatura, a njihove učinke, i mehanizme kojima im se biljka odupire ponekad je teško razlikovati. Krumpir je kultura koja najbolje uspijeva u područjima sa umjerenom klimom. Odgovaraju mu topli dani, s hladnijim noćima, a ne daje dobre rezultate u područjima s visokom temperaturom (Hijmans 2003.). Karakteriziraju ga specifični temperaturni zahtjevi čije se granice i optimalne vrijednosti za rast nadzemnog djela i gomolja razlikuju (Van Dam i sur. 1996.). Krumpiru odgovara kada nema velikih temperaturnih kolebanja tijekom vegetacijske sezone, ali i tijekom zimskog mirovanja u skladištu. Stabljika se smrzava na temperaturama od -1 do -2 °C, minimalna temperatura za sadnju kreće se u rasponu 6 - 8 °C. Optimalne temperature za rast biljke kreću se u rasponu 16 - 25 °C, a optimalna temperatura za formiranje gomolja je od 14 - 20 °C. Temperature niže od 10 °C i više od 30 °C oštro inhibiraju rast gomolja, koji se ne formiraju ako je temperatura viša od 23 °C. Ovakvi temperaturni zahtjevi otežavaju uzgoj krumpira u tropskim i suptropskim područjima. Povećanje temperature u vegetativnoj fazi razvoja može utjecati na povećanje stope disanja, venuće biljke, smanjenu stopu fotosinteze i skraćivanje životnog ciklusa. Nasuprot tome, povećanje temperature u reproduktivnoj fazi može rezultirati manjim gomoljima, sporijom stopom nalijevanja gomolja i kraćim vremenom trajanja reproduktivne faze, što dovodi do manjeg prinosa (Hijmans 2003., Hatfield i Prueger 2015.).

3. Utjecaj suše na krumpir

3.1. Utjecaj suše uvjetovan razvojnim fazama krumpira

Razvoj krumpira dijeli se u pet različitih faza (slika 3.1.1.). Prva razvojna faza naziva se klijanje. U ovoj fazi dolazi do prestanka dormantnosti sjemena ili sjemenskog gomolja te početka razvoja klice. Faza klijanja traje između 15 - 20 dana, do pojave klice iznad površine tla. Nakon faze klijanja slijedi faza vegetativnog rasta. Ova faza također se naziva i fazom inicijacije stolona te traje 15 - 20 dana. U ovoj fazi razvijaju se svi vegetativni dijelovi biljke (lišće, stabljika, korijen i stoloni). Nakon razvoja vegetativnih dijelova biljke, započinje faza inicijacije gomolja, koja također traje 15 - 20 dana. U ovoj fazi započinje formiranje gomolja na stolonima u za to povoljnim uvjetima, bez njihovog povećanja. Ako krumpir cvate, najčešće cvate u ovoj fazi jer većina genotipova cvate 2 mjeseca nakon sadnje. Do povećanja gomolja dolazi u fazi nalijevanja gomolja koja traje 45 - 55 dana. U ovoj fazi stanice gomolja se povećavaju zbog nakupljanja vode, nutrijenata i ugljikohidrata. U petoj razvojnoj fazi, koja traje 20 - 25 dana, gomolji dozrijevaju, a nadzemni dio počinje odumirati, što označava skorbu berbu.



Slika 3.1.1. Razvojne faze krumpira

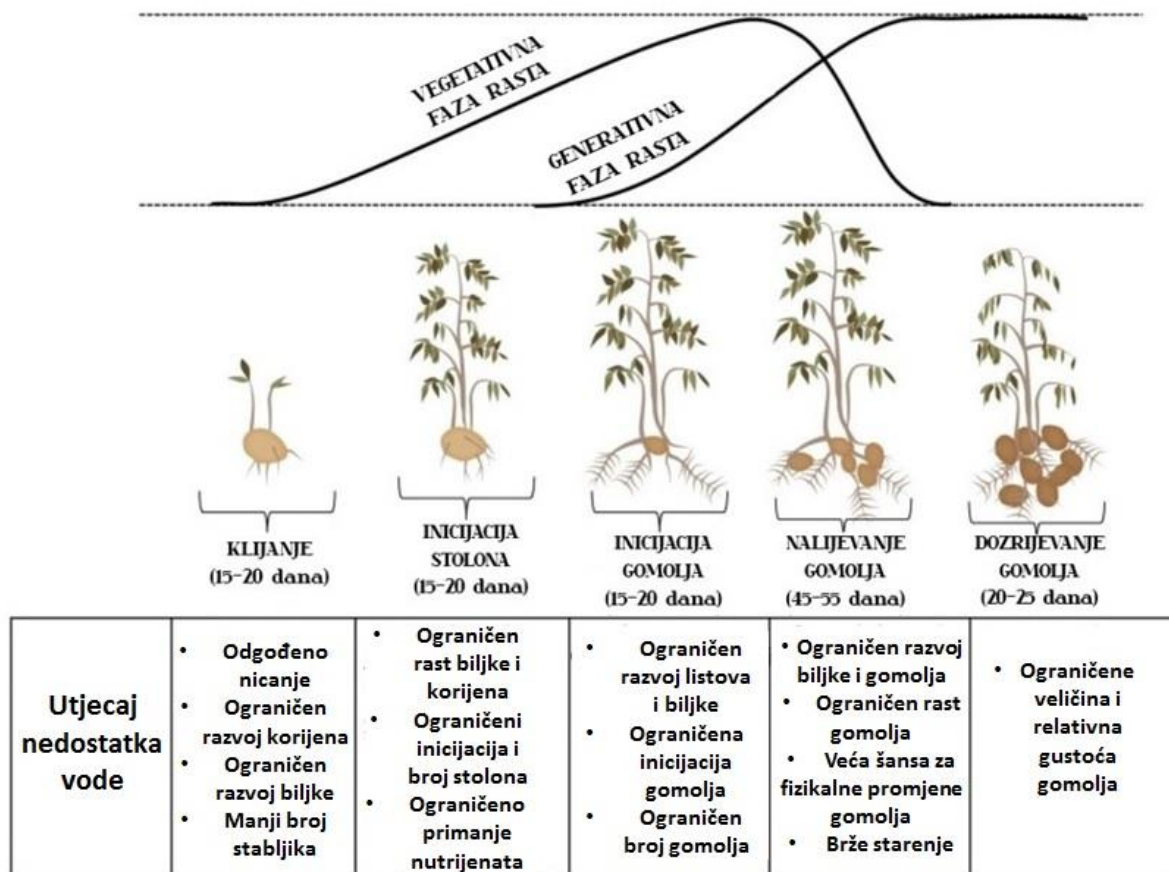
Izvor: <https://www.haifa-group.com/crop-guide/how-to-grow-potato>

Nedostatak vode smanjuje stopu fotosinteze i turgor biljnih stanica. Bez dovoljne količine fotosintetskih asimilata i uz smanjenu vrijednost turgora, dolazi do ograničenog rasta i razvoja biljke i gomolja (slika 3.1.2.). Iako na rast i prinos krumpira negativno utječe nedostatak vode u bilo kojoj razvojnoj fazi, taj negativni utjecaj najjači je u fazi inicijacije gomolja i cvatnje (Monneveux i sur. 2013., Sprenger i sur. 2016.). Suša tijekom inicijacije gomolja dovodi do manjeg broja gomolja i nižeg prinosa (Eiasu i sur. 2007.). Obidiegwu i sur. (2015.) tvrde da se suša tijekom ranih faza rasta (faza klijanja i faza vegetativnog rasta) smatra najštetnijom jer značajno smanjuje ukupnu lisnu površinu, stopu fotosinteze i raspodjelu asimilata prema korijenu, što dovodi do loše inicijacije gomolja. Loša inicijacija gomolja za posljedicu ima niži prinos. Ako se stres suše dogodi tijekom razvojne faze

nalijevanja, biljke će proizvesti manji broj gomolja. Također, suša u ovoj fazi dovodi do proizvodnje gomolja male mase (Aliche i sur. 2020.). Isti autori utvrdili su da se, unatoč proizvodnji malog broja gomolja malene mase, razvojne faze vegetativnog razvoja i inicijacije gomolja smatraju najkritičnijim i najosjetljivijim fazama na stres suše.

Wagg i sur. (2021.) u svojem su pokusu izložili biljke krumpira stresu suše u svakoj razvojnoj fazi. Došli su do zaključka da je vrijeme pojave stresa zbog nedostatka vode ključan čimbenik za raspoređivanje asimilata u nadzemnim i podzemnim dijelovima biljke. Time su dokazali da krumpir ima jedinstvene odgovore pojedinih dijelova biljke na nedostatak vode u svakoj razvojnoj fazi. Tijekom istraživanja, primijetili su da nedostatak vode u fazi klijanja rezultira malenim, ali sveobuhvatnim i dugotrajnim posljedicama. To je dokazano time što su biljke koje su bile izložene suši u fazi klijanja konstantno bile malo niže od kontrolnih biljaka tijekom cijelog perioda rasta. Također, te su biljke proizvele malo manju biomasu, ali i manji broj većih gomolja. Ovakav, relativno mali utjecaj suše u fazi klijanja, opravdavaju time što su biljke bile mlade i imale nisku razinu evapotranspiracije zbog čega potražnja za vodom nije bila velika, kao ni šteta. S druge strane, u fazi klijanja, diferencijacija biljnog tkiva tek započinje i svaka šteta nanesena u ovoj fazi prenosi se u kasnije razvojne faze. Ovo objašnjava sveobuhvatnost i dugotrajnost ukupnog utjecaja stresa suše u fazi klijanja. Unatoč tome, postoji mogućnost visokog stupnja oporavka od stresa suše u fazi klijanja.

Kada su pak stresu suše podvrgnute biljke krumpira u fazi vegetativnog razvoja i fazi inicijacije gomolja, došlo je do velikih razlika u visini biljaka, u usporedbi s kontrolom. Proizvodnja biomase ovih biljaka nije se oporavila i dosegla razine kontrolnih biljaka. Prinos gomolja bio je smanjen jer je razvoj gomolja značajno pogođen. Suša u ovim fazama rezultira većim ukupnim brojem gomolja, ali i većim udjelom malih i tržišno neupotrebljivih gomolja (manji od 30 mm), tako da je prosječna masa gomolja bila značajno manja od one kod kontrolnih biljaka. Samim time, i prinos te omjer suhe tvari bili su značajno manji. Time su Wagg i sur. (2021.) utvrdili da je krumpir na sušu najosjetljiviji u fazama vegetativnog razvoja i inicijacije gomolja, što se slaže s prethodnim istraživanjima.



Slika 3.1.2. Utjecaj suše u različitim razvojnim fazama krumpira

Izvor: Obidiegwu i sur. (2015.)

3.2. Utjecaj rane i kasne suše na rane i kasne genotipove krumpira

Rani genotipovi krumpira su genotipovi koji su spremni za branje 60 - 70 dana poslije sadnje, dok su kasni genotipovi za branje spremni 100 - 110 dana nakon sadnje (Reddy i sur. 2018.). Ovakva različita duljina trajanja vegetacije dovodi i do različitog učinka stresa suše, ovisno o vremenu njenog pojavljivanja. I rana i kasna suša značajno utječu na kvantitetu i kvalitetu prinosa krumpira. Međutim, rezultati istraživanja pokazuju dvojake rezultate o prikladnosti uzgoja ranih ili kasnih genotipova, ovisno o geografskom području na kojem su provedena.

Rana suša, koja se pojavljuje od faze klijanja do faze inicijacije gomolja, značajno smanjuje svježiu masu gomolja i ranih i kasnih genotipova. Kasna suša, koja traje od faze klijanja do faze nalijevanja gomolja puno jače utječe na rane genotipove nego na kasne genotipove (Chang i sur. 2018.). U svojem istraživanju, Chang i sur. (2018.) usporedili su rani genotip 'Chubae' i kasni genotip 'Jayoung' u Južnoj Koreji. Rani genotip imao je kraće razdoblje rasta, a pod stresom suše usporio je rast gomolja, što je dovelo do smanjene mase svježeg gomolja, manjeg prinosa i lošije kvalitete. S druge strane, kasni genotip odgodio je stvaranje gomolja i povećanje njihovog volumena te je time dobio vremena za oporavak od

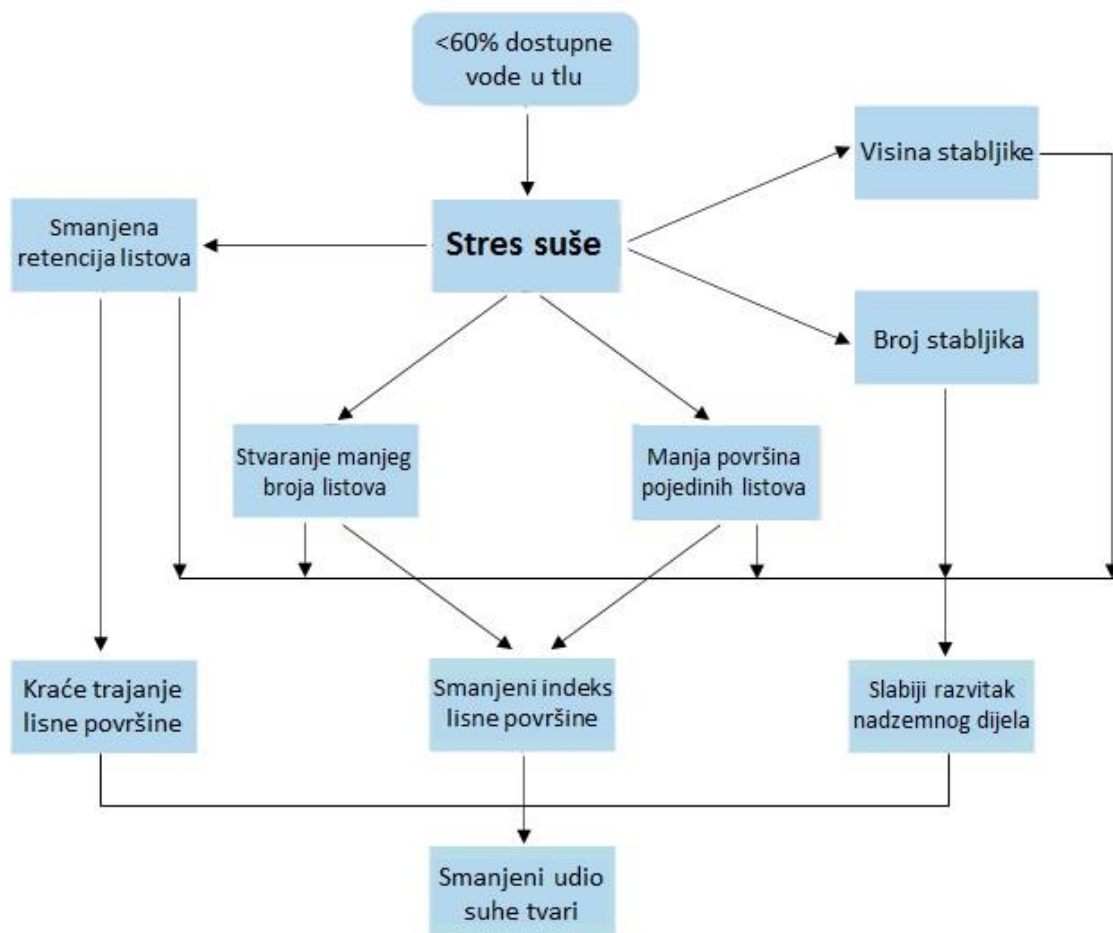
stresa suše. To je moguće zbog toga što je period njegove vegetacije duži, a za posljedicu je imao proizvodnju veće mase svježeg gomolja, veći prinos i bolju kvalitetu. Slične rezultate u svojim studijama zabilježili su: Curwen (1993.), Al Mahmud i sur. (2015.) i Salehi-Lisar i sur. (2016.).

S druge pak strane, Poštić i sur. (2017.) su za rane genotipove krumpira u Srbiji utvrdili otpornost na toplinski stres i stres suše u poljskim uvjetima. Genotipovi su bili podvrgnuti minimalnim padalinama i temperaturama većim od 40 °C u periodu od 20 dana, prema kraju njihove vegetacijske sezone. Suprotno njima, kasni genotipovi pokazali su osjetljivost na stres suše, jer ih je zahvatio u sredini vegetacijske sezone. Ovakvi rezultati istraživanja ukazuju na poteškoće u identificiranju ideotipa za promjenjivu klimu. Zbog velikih varijacija u količini oborina između godišnjih doba vrlo je teško utvrditi je li bolje posegnuti za uzgojem ranih ili kasnih genotipova, kada se suša može dogoditi u bilo kojem trenutku razvoja.

3.3. Utjecaj suše na nadzemni dio krumpira

Nadzemni dio krumpira podrazumijeva stabljiku koja na sebi nosi listove i cvjetove. Stabljika se razvija iz klice gomolja ili iz pravog sjemena te ima svoj podzemni i nadzemni dio. U nadzemnom dijelu stabljika je šuplja i ima uglast presjek, dok je u podzemnom dijelu stabljika ispunjena i ima okrugao presjek. Boja stabljike je najčešće zelena, a kod nekih genotipova ljubičasta. Broj stabljika koji krumpir razvija ovisi o genotipu i fiziološkoj dobi gomolja. Razlikuju se glavne i sekundarne stabljike. Glavne stabljike rastu izravno iz sjemenskog gomolja ili iz pravog sjemena, ponašaju se kao pojedinačne biljke te formiraju korijen, stolone i gomolje. Sekundarne stabljike razvijaju se i rastu iz glavnih stabljika, iznad i ispod zemlje. Ukupna visina podzemnog i nadzemnog dijela stabljike kreće se od 30 do 150 cm (Lešić i sur. 2016.). Nadzemni dio krumpira najviše se razvija u fazi vegetativnog rasta, a ta faza označena je kao jedna od najosjetljivijih na sušu. Osim već istaknutog rasta stabljike i stvaranja listova, u toj fazi razvoja povećava se visina biljke i indeks lisne površine.

Stres suše ima inhibitoran učinak na broj i visinu stabljika (Chang i sur. 2018.), rast novih listova (Aliche i sur. 2018.) i površinu lista (Kesiime i sur. 2016.) (slika 3.3.1.). Rast nadzemnog dijela ovisi o visokom turgorskom tlaku koji pomaže u širenju stanica, a samim time i rastu. Za održavanje visoke vrijednosti turgorskog tlaka, krumpir treba stalnu opskrbu vodom. Međutim, u uvjetima okoliša koje stvara suša, smanjuje se dostupna voda za biljku, što negativno utječe na rast nadzemnog dijela. Posebno je bitan pravilan rast i razvoj listova jer su oni ključan dio procesa transpiracije i fotosinteze. Prema Lazareviću i Poljaku (2019.) prvi proces inhibiran nedostatkom vode je rast stanica, posebice listova, te određena ograničenja fizioloških procesa. Kod većine biljaka rast lista prestaje ako je razina dostupne vode u tlu manja od 40 - 50% (Szabolcs i Pessaraki 1999.). Međutim, Weisz i sur. (1994.) utvrdili su da rast lišća kod krumpira prestaje kada je razina dostupne vode u tlu manja od 60%, što dokazuje osjetljivost krumpira na nedostatak vode. Smanjeni rast nadzemnog dijela stoga je prvi vidljivi učinak nedostatka vode u krumpiru.



Slika 3.3.1. Utjecaj suše na nadzemne dijelove krumpira

Izvor: Nasir i Toth (2022.)

Aliche i sur. (2018.) utvrdili su da i rana i kasna suša imaju inhibitorni učinak na rast i razvoj nadzemnog dijela krumpira. Rana suša usporava rast nadzemnog dijela produžujući vremenski period potreban za postizanje optimalnog indeksa lisne površine nadzemnog dijela. Kasna suša pak uzrokuje prerano odbacivanje zrelog lišća i inhibiciju formiranja mladog lišća. Chang i sur. (2018.) utvrdili su da rana suša može smanjiti duljinu stabljike biljke krumpira od 75% do 78%. Ometanje razvoja nadzemnog dijela, zbog negativnog utjecaja suše, direktno utječe na razvoj podzemnog dijela biljke krumpira s obzirom na to da razvoj podzemnog dijela direktno ovisi o asimilatima koje proizvodi nadzemni dio.

3.3.1. Utjecaj suše na indeks lisne površine i gustoću lisnog sklopa

Indeks lisne površine (eng. *leaf area index*, kratica LAI) i gustoća lisnog sklopa (eng. *leaf area density*, kratica LAD) važni su u određivanju prinosa gomolja (Najm i sur. 2010.). Indeks lisne površine definiran je kao površina zelenog lista po jedinici površine tla, a gustoća lisnog sklopa definirana je kao površina zelenog lista po jedinici površine volumena. Stres suše značajno smanjuje LAI i LAD kod krumpira. Istraživanje koje su proveli Michel i sur. (2019.) na genotipovima 'Russet Burbank', 'Moonlight' i 'Karak' otkrilo je da suša značajno smanjuje LAI kod svih testiranih genotipova. Rezultati ovog istraživanja potvrđeni su i drugim istraživanjem koje su proveli Pourasadollahi i sur. (2019.) u kojem je stres suše značajno smanjio LAI u genotipu 'Banba'. Stres suše smanjuje rast stanica što direktno utječe na veličinu lista, a veličina lista direktno utječe na LAI. Pourasadollahi i sur. (2019.) također su utvrdili da stres suše više utječe na LAI kod kasnih genotipova nego kod ranih genotipova krumpira.

U normalnim uvjetima krumpir povećava svoj LAI tijekom faze vegetativnog rasta do određenog vremena, zatim se LAI počinje smanjivati nakon čega slijedi odumiranje nadzemnog dijela u fazi dozrijevanja. Michel i sur. (2019.) utvrdili su da biljke krumpira u uvjetima stresa suše smanjuju svoj LAI već 30 dana nakon sadnje. Ovo dovodi do zaključka da se u stresu suše u fazi vegetativnog rasta, umjesto povećanja, događa smanjenje LAI-a. Ovakvo smanjenje ima negativan utjecaj i na LAD jer smanjuje ukupnu površinu za apsorpciju svjetlosti i trajanje apsorpcije što utječe na proizvodnju biomase (Chang i sur. 2018.). Ávila-Valdés i sur. (2020.) su u istraživanju na genotipovima 'Karu INIA' i 'Desirée' potvrdili da stres suše značajno smanjuje prinos gomolja utjecajem na LAD. Da bi se postigla tolerantnost na sušu i minimiziranje njezinih negativnih učinaka, u oplemenjivačkim programima trebalo bi raditi na genotipovima čiji list, a samim time i LAI i LAD neće biti teško pogođeni sušom.

3.4. Utjecaj suše na fotosintezu

Fotosinteza je proces u kojem se sunčeva energija koristi za sintetiziranje organskih spojeva. Smanjenje prinosa gomolja tijekom suše, uglavnom je posljedica inhibicije fotosinteze (Plich i sur. 2020.). Suša može inhibirati stopu fotosinteze na dva načina. Prvi način je već spomenut i odnosi se na utjecaj suše na broj i površinu listova. Smanjenjem lisne površine, smanjit će se i stopa fotosinteze. Drugi način inhibicije fotosinteze odnosi se na zatvaranje lisnih puči. Pod utjecajem stresa suše krumpir zatvara puči da bi smanjio gubitak vode uzrokovan transpiracijom i očuvao vodni status. Ovaj obrambeni mehanizam za posljedicu ima prestanak usvajanja ugljikovog dioksida (CO₂), što prvotno uzrokuje smanjenje brzine fotosinteze, a naposljetku i njezinu inhibiciju. Zatvaranje puči tijekom stresa suše hormonski je regulirano. Općenito, hormoni imaju ulogu u regulaciji biljnih procesa, a neki od njih sudjeluju u interakcijama s okolišnim stresovima kao što je suša (Kheradmand i sur. 2014.). Najvažniji hormon koji regulira otvorenost puči je abscizinska kiselina (eng. *abscisic acid*, kratica ABA). Nakon što biljku pogodi stres suše, ABA se sintetizira u korijenu i prenosi u nadzemni dio stabljike, posebice u lišće. Daljnji nedostatak vode inducira sintezu ABA-e u kloroplastima. U uvjetima nedostatka vode, koncentracija ABA-e u listu može porasti za više od 50 puta (Lazarević i Poljak, 2019.). U listovima, ABA služi kao signalna molekula koja inducira ekspresiju nekoliko gena povezanih sa stresom, uključujući one koji sudjeluju u mehanizmu zatvaranja puči (Cutler i sur. 2010.). Zatvaranje puči postiže se aktiviranjem Ca²⁺ kanala vezanjem ABA-e na receptor u stanicama zapornicama. Porast koncentracije kalcijevih iona u citosolu uzrokuje otvaranje izlaznih anionskih kanala i inhibiciju H⁺-ATPaze, što dovodi do depolarizacije membrane stanica zapornica. Depolarizacija membrane uzrokuje izlazak K⁺ iz stanica zapornica, pad turgora i zatvaranje puči (Lazarević i Poljak, 2019.).

Kada su puči zbog stresa suše zatvorene duže vrijeme, a unos CO₂ inhibiran, u uvjetima zasićenosti fotosintetskog aparata svjetlom, dolazi do nakupljanja spojeva zaduženih za prijenos elektrona. Akumulacija ovih spojeva smanjuje koncentraciju molekularnog kisika (O₂) i dovodi do stvaranja reaktivnih oblika kisika (eng. *reactive oxygen species*, kratica ROS) uzrokujući tako oksidacijsko oštećenje kloroplasta (Arbona i sur. 2013.).

Sadržaj klorofila u listu može se koristiti za procjenu starenja lista i gubitka zelene površine uzrokovanog nedostatkom vode (Rudack i sur. 2017.). Sposobnost biljaka da zadrže indeks lisne površine, bez preranog starenja i otpadanja lista zbog stresa suše, korelira s produljenom i efikasnijom stopom fotosinteze. Ovakva korelacija rezultira višim i kvalitetnijim prinosom u stresu suše (Tuberosa, 2012.) i koristi se kao indikator tolerancije stresa suše kod krumpira (Rolando i sur. 2015.).

3.5. Utjecaj suše na podzemne dijelove krumpira

3.5.1. Utjecaj suše na korijenov sustav i stolone

Krumpir posjeduje plitak korijenov sustav koji slabo prodire u tlo što ga čini osjetljivim na stres suše (Joshi i sur. 2016.). Arhitektura korijenovog sustava, duljina korijena i masa korijena dobro su proučeni, ali rezultati istraživanja ne pokazuju jasan utjecaj suše na razvoj korijena. Albiski i sur. (2012.) utvrdili su smanjenje duljine korijena u stresu suše. Nasuprot ovog istraživanja, provedena su istraživanja koja su utvrdila povećanje duljine korijena ili nepromijenjenost duljine korijena u stresu suše (Lahlou i Ledent 2005., Boguszewska-Mańkowska i sur. 2020.). Slično ovima, i istraživanja vezana uz suhu masu korijena utvrdila su smanjenje (Lahlou i Ledent 2005., Mane i sur. 2008.), povećanje (Lahlou i Ledent 2005., Anithakumari i sur. 2011.) i nepromijenjenost (Mane i sur. 2008.) suhe mase korijena pri stresu suše.

Stoloni su podzemne bočne stabljike koje u tami humka rastu horizontalno i vršnim se zadebljanjem, u za to povoljnim uvjetima, počinju razvijati u gomolje (Lešić i sur. 2016.). Kontradiktorni rezultati dobiveni su i u istraživanjima broja stolona u stresu suše (Lahlou i Ledent 2005.).

Iznesene su mnoge pretpostavke koje bi mogle objasniti ove varijacije u opažanjima. Kao glavni razlog varijacija ističe se interakcija genotipa i okoliša ($G \times E$) (Joshi i sur. 2016., Zarzyńska i sur. 2017., Boguszewska-Mańkowska i sur. 2020.). Također, pretpostavlja se da varijacije proizlaze iz različitih reakcija na intenzitet i duljinu trajanja suše (Epstein i Grant 1973.). Varijacije u korijenovom sustavu ovise i o tome radi li se o ranim ili kasnim genotipovima krumpira. Kashiwagi i sur. (2000.) utvrdili su da kasni genotipovi imaju korijenov sustav koji prodire dublje u tlo i razvija veću masu u odnosu na rane genotipove. Proučavanje podzemnih dijelova također je pod utjecajem vrste tla, lokacije pokusa, fiziološke starosti gomolja, vrste metode koja se upotrebljava kod analize i načina provođenja izabrane metode (Obidiegwu i sur. 2015.). Ovakva nepredvidivost cijele grupe čimbenika čini proučavanje utjecaja stresa suše na podzemne dijelove krumpira još izazovnijim. Ipak, dokazane su razlike u duljini, površini, promjeru i suhoj masi korijena između genotipova tolerantnih i osjetljivih na stres suše. U istraživanju koje su proveli Zarzyńska i sur. (2017.), ispitivani genotipovi krumpira pokazali su značajne razlike u svim ispitanim parametrima. Ukupna duljina korijena po biljci kretala se od najkraćih 803,5 m, u genotipu 'Satina', do najdužih 1399 m, u genotipu 'Gawin'. Ukupna površina korijena kretala se od 79,5 m², u genotipu 'Satina', do 140,8 m², u genotipu 'Gawin'. Prosječni promjer korijena kretao se od 0,274 mm, u genotipu 'Bogatka', do 0,319 mm, u genotipu 'Gawin'. Suha masa korijena kretala se od 5,06 g, u genotipu 'Cekin', do 8,56 g, u genotipu 'Gawin'. Sukladno ovim rezultatima, najmanje smanjenje prinosa zabilježeno je kod genotipa 'Gawin', a najveće kod genotipa 'Cekin'. Iz ovog istraživanja vidljiv je pozitivan odnos između veličine korijenovog sustava i količine prinosa. Istraživanje koje je provela Rykaczewska (2015.)

pokazalo je pozitivan odnos između veličine korijenovog sustava i razvijanja nadzemne biomase te da genotip 'Tetida', okarakteriziran kao otporan na sušu, razvija korijenov sustav najveće mase.

Ovakvi rezultati pokazuju važnost korijena u borbi protiv stresa suše. Genotipovi sposobni za razvitak dubljih i većih korijenskih sustava bolje odgovaraju na stres suše te daju veći i kvalitetniji prinos. Puértolas i sur. (2014.) istaknuli su da snažan rast i proliferacija korijena u ranim fazama razvoja može biti selekcijska osobina za identifikaciju genotipova krumpira koji održavaju visoku razinu i kvalitetu prinosa u stresu suše. Zato je potrebno posvetiti dodatnu pozornost korijenu i njegovim svojstvima u budućim oplemenjivačkim programima, kojima će se nastojati odgovoriti na sve izraženije klimatske promjene.

3.5.2. Utjecaj suše na gomolj

Gomolj je modificirani dio stolona i glavni je skladišni organ biljke krumpira koji biljci omogućuje prezimljavanje i razmnožavanje. Na gomoljima se razlikuje pupčani dio, kojim je gomolj bio pričvršćen za stolon, i kruna na kojoj su koncentrirana okca. Okca sadrže nekoliko pupova i morfološki odgovaraju nodiju stabljike. Okca se mogu razviti u klicu, a ta klica može izrasti u stabljiku, bočnu stabljiku ili stolon. Gomolji mogu imati pokožicu crvene ili žute boje, a meso može biti krem bijele, žute, a kod nekih genotipova i ljubičaste boje. Količina i kvaliteta prinosa gomolja primarni su problemi u uzgoju krumpira i stoga najopsežnije proučavane karakteristike u proizvodnji krumpira. U posljednjih nekoliko desetljeća, učinak stresa suše na količinu i kvalitetu prinosa gomolja proučavan je na nekoliko različitih načina, a to su utjecaji suše na: svježu masu gomolja (Carli i sur. 2014.), broj gomolja (Deblonde i Ledent 2001.) i suhu tvar gomolja (Deblonde i sur. 1999.).

Jefferies i Mackerron (1993.) utvrdili su da prinos svježeg gomolja ovisi o raspodjeli suhe tvari i sadržaju vode u gomolju. Sadržaj vode, ovisno o genotipu, doprinosi do 80% u svježoj masi gomolja (Navarre i sur. 2009.). Stoga, suša i nedostatak vode koji joj je posljedica, snažno utječu na svježu masu gomolja (Carli i sur. 2014.). Istraživanje koje su proveli Aliche i sur. (2018.) utvrdilo je smanjenje svježe mase gomolja u suši kod 103 komercijalna genotipa. Isto istraživanje utvrdilo je također varijacije u svježoj masi gomolja između kontrolnih biljaka i biljaka pod stresom suše. Najveće smanjenje svježe mase gomolja u usporedbi s kontrolnim biljkama zabilježeno je kod genotipa 'Connantre', a iznosilo je 54%. Boguszewska-Mańkowska i sur. (2020.) proučavali su učinak stresa suše na svježu masu gomolja. Rezultati su pokazali smanjenje svježe mase gomolja kod svih genotipova, ali s velikom razlikom između tolerantnih genotipova i genotipova osjetljivih na stres suše. Svježa masa gomolja tolerantnog genotipa 'Gwiazada' iznosila je 1248 g, dok je svježa masa gomolja osjetljivog genotipa 'Cekin' iznosila 788 g. U obje ove studije istaknuto je da smanjenje sadržaja vode u gomolju, u stresu suše, dovodi do smanjenja prinosa. Lefèvre i sur. (2012.) utvrdili su da nekoliko andskih genotipova, kao adaptivan odgovor na sušu, pokazuju povećanje sadržaja vode u gomoljima u stresu suše. Međutim, ovi genotipovi genetski se razlikuju od komercijalnih genotipova i predstavljaju podvrstu krumpira (*Solanum tuberosum*

subsp. andigenum). U budućim oplemenjivačkim programima i istraživanjima, ovi genotipovi mogli bi poslužiti za dobivanje genotipova tolerantnih na stres suše.

Osim na masu svježeg gomolja, stres suše utječe na broj gomolja (Eiasu i sur. 2007.). Broj zametnutih gomolja ovisi o vremenu pojavljivanja i dužini trajanja stresa suše. Ako je krumpir izložen stresu suše kroz sve faze razvoja, od klijanja do dozrijevanja, broj gomolja smanjuje se kod svih genotipova (Aliche i sur. 2018.). Kratkotrajna rana suša pokazuje inhibitorski učinak na broj gomolja, dok kratkotrajna kasna suša pokazuje veći učinak na suhu tvar gomolja, nego na broj gomolja (Muthoni i Shimelis 2020.). Chang i sur. (2018.) utvrdili su da stres suše u fazama inicijacije stolona i inicijacije gomolja ima najveći učinak na broj gomolja, a samim time i na prinos krumpira. S druge pak strane, Rykaczewska (2017.) je utvrdila povećanje broja gomolja u stresu suše. Ovakvo povećanje može biti posljedica adaptivnog odgovora genotipova da održe prinos u stresu suše (Aliche i sur. 2018.) ili učinka već postojećeg abiotičkog stresa (npr. toplinski stres) koji odgađa fazu nalijevanja gomolja i rezultira produkcijom većeg broja malih gomolja (Haverkort 1987.). Rykaczewska (2017.) utvrdila je da u stresu suše raste broj tržišno neiskoristivih gomolja, manjih od 30 mm, dok se broj tržišno iskoristivih gomolja, većih od 30 mm, smanjuje.

Kvantitetu prinosa i njegovu kvalitetu određuje masa suhe tvari gomolja (Dull i sur. 1989.). Ukupna masa suhe tvari gomolja ovisi o količini proizvedenih asimilata i njihovoj raspodjeli u gomolje. Stoga stres suše indirektno utječe na masu suhe tvari gomolja kada djeluje na razvoj nadzemnog dijela i kada smanjuje fotosintetsku aktivnost u lišću. Ukupna masa suhe tvari smatra se važnijom od svježje mase gomolja jer predstavlja učinkovitost pojedinog genotipa u translokaciji asimilata u gomolje (Jovanović i sur. 2010.). Translokacija asimilata ovisna je o sadržaju vode u gomolju i koristi se za opisivanje kvalitete svih gomolja, a posebno onih namijenjenih za preradu (Ritchard i Scanuon 1997.). Steckel i Gray (1979.) u svojem su istraživanju utjecaja dugotrajnog stresa suše na tolerantne i osjetljive genotipove, utvrdili smanjenje ukupne mase suhe tvari gomolja kod svih genotipova. Smanjenje mase suhe tvari gomolja bilo je slične razine kod tolerantnih i kod osjetljivih genotipova. Međutim, genotipovi tolerantni na sušu dali su manji broj većih gomolja što je njihov prinos učinilo tržišno vrijednijim od prinosa osjetljivih genotipova. Jefferies i Mackerron (1993.) proučavali su odgovor 19 genotipova na stres suše, počevši od faze klijanja. U njihovom istraživanju utvrđeno je prosječno smanjenje ukupne mase suhe tvari gomolja od 44% i povećanju prosječne koncentracije suhe tvari od 52% u gomoljima izloženima stresu suše. Povećana koncentracija suhe tvari nije bila posljedica veće fotosintetske aktivnosti, već visoke razine translokacije asimilata u gomolje. Također je utvrđeno da iako je stres suše povećao koncentraciju suhe tvari, ukupna suha tvar bila je značajno smanjena u svim genotipovima. Veća koncentracija suhe tvari rezultat je smanjene količine vode u gomolju, a kako suša rezultira manjom veličinom gomolja, ukupna količina suhe tvari je u takvih uvjetima manja. Da se ukupna suha tvar u stresu suše smanjuje, utvrdili su i Lahlou i sur. (2003.). Isti autori također su utvrdili da se masa suhe tvari gomolja smanjuje neovisno o tome radi li se o ranim ili kasnim genotipovima. Ovakve rezultate smanjenja mase suhe tvari gomolja pokazalo je i istraživanje koje su proveli Ruttanaprasert i sur. (2016.) u kojem je utvrđeno da

stopa smanjenja mase suhe tvari gomolja ovisi o jačini suše. Pod blagim stresom suše, smanjenje ukupne suhe tvari gomolja variralo je, ovisno o stupnju tolerantnosti ili osjetljivosti genotipa, u rasponu od 49,3% do 85,2%. U uvjetima teškog (ekstremnog) stresa suše, ovaj je raspon varirao od 93,2% do 98,2%. Gubitci u prinosu i količini suhe tvari u gomolju uzrokovani stresom suše više se ne mogu nadomjestiti jednom kada sušni period završi (Meise i sur. 2019.). Ovakve znanstvene spoznaje naglašavaju važnost rada na otpornosti krumpira na gubitak mase suhe tvari. Ovi bi gubitci pojavom ekstremnih klimatskih promjena, a samim time i ekstremnih suša mogli postati globalno izražen problem.

Stres suše također, ovisno o intenzitetu i vremenu trajanja, može uzrokovati različite morfološke i fiziološke deformacije gomolja. Te deformacije na gomolju, koje su posljedica stresa suše (slika 3.5.2.1.), mogu biti promjene u obliku, veličini i tvrdoći gomolja, ali i promjene na razini stanice, odnosno tkiva. Kratkotrajni sušni stres dovodi do kvrgavih gomolja, bubrežastih gomolja, gomolja u obliku bučice i gomolja koji imaju sužene vrhove (van Loon, 1986.). Ove se deformacije događaju u najvećem postotku ako suša nastupi tijekom faze nalijevanja gomolja (Kumar i sur. 2021.). Ukoliko se izmjenjuju vlažna i sušna razdoblja tijekom vegetacije, na gomolju se pojavljuju pukotine u većem broju nego tijekom konstantne suše (Nichols i Ruf 1967.). Slični rezultati su dobiveni i u istraživanju provedenom na Novom Zelandu (Siano i sur. 2018.), što potvrđuje utjecaj stresa suše na gomolj krumpira u različitim geografskim i klimatskim područjima. Istraživanja su pokazala da je stres suše povezan sa pojavom „šećernih vrhova“ u gomolju (slika 3.5.2.2.) i da je njihov postotak veći prilikom vodnog deficita u usporedbi s normalnim uvjetima (Eldredge i sur., 1996.). Nema puno istraživanja novijeg datuma o utjecaju suše na fizikalna svojstva gomolja i fizikalne deformacije zbog stresa suše (Hill i sur. 2021.). Razlog tome je, najvjerojatnije, što se kao glavni parametar uglavnom proučava udio suhe tvari u gomolju. Međutim, ipak je dokazano da se čak i nakon kratkotrajnog sušnog razdoblja pojavljuju morfološki defekti (van Loon 1986.), a sekundarni rast se može dogoditi već i nakon što vodni potencijal gomolja padne ispod -500 kPa na samo tri dana (Moorby i sur. 1975.). Ako je suša dugotrajnija i jačeg intenziteta, tada će i veći broj gomolja imati sekundarni rast (Chang i sur. 2018).



Slika 3.5.2.1. Prikaz različitih morfoloških deformacija gomolja uzrokovanih stresom suše

Izvor: Siano i sur. (2018.)



Slika 3.5.2.2. Šćerni vrhovi na gomolju krumpira

Izvor: <https://spudsmart.com/stress-factors-and-management-practices-for-sugar-end-disorder-and-stem-end-chip-defect/>

3.6. Odgovori krumpira na stres suše

3.6.1. Odgovor na razini gena i proteina

Sposobnost održavanja visoke stope prinosa u uvjetima nedostatka vode, koje uzrokuje stres suše, poželjna je osobina genotipa. Također je važno da se, osim očuvanja stope prinosa, očuva kvaliteta i tržišna vrijednost prinosa. Ovi se ciljevi mogu postići poboljšanjima svojstava vezanih za odgađanje (izbjegavanje) i tolerantnost na sušu te drugih svojstava povezanih s optimalnim rastom i metabolizmom pod stresom suše (Okogbenin i sur. 2013.). Poželjna svojstva odgovora na stres suše moraju biti: genetski povezana s prinosom pod stresom suše, visoko nasljedna, genetski varijabilna, lako mjerljiva, stabilna i ne smiju uzrokovati smanjenje prinosa u uvjetima bez stresa suše (Okogbenin i sur. 2013.). Ovo predstavlja izazov za moderno oplemenjivanje bilja. U prošlosti je cilj oplemenjivačkih programa bilo povećanje količine prinosa i poboljšanje kvalitete gomolja. Također, cilj starijih oplemenjivačkih programa bilo je poboljšanje otpornosti na biotski stres, dok je otpornost na abiotički stres bila zanemarena (Schafleitner 2009.).

Oplemenjivački rad i istraživanje gena vezanih za abiotičke stresove te njihovu ekspresiju, potrebni su zbog sve izraženijih klimatskih promjena. Smatra se da je ekspresija koja reagira na stres važan mehanizam prilagodbe budući da igra važnu ulogu u tolerantnosti. Uz pomoć analiza prisutnosti i intenziteta ekspresije pojedinog gena, koji ima pouzdano identificiranu ulogu u odgovoru na stres, možemo razlikovati tolerantne genotipove od osjetljivih.

Istraživanja su pokazala da su transkripcije gena za glikolizu i razgradnju aminokiselina snažnije potisnute kod genotipova tolerantnih na sušu u usporedbi s osjetljivim genotipovima (Evers i sur. 2010.). Isto istraživanje potvrdilo je snažnije potiskivanje gena povezanih s fotosintezom kod tolerantnih genotipova. Prilikom oporavka fotosinteze nakon stresa, geni povezani s PSII imali su aktivacijski odgovor specifičan za genotip, a otporni genotipovi imali su veće stope nakupljanja saharoze i biosinteze stanične stijenke (Mane i sur. 2008.). Oporavak fotosinteze nakon stresa suše ovisi o stupnju inhibicije fotosinteze prilikom stresa suše (Galle i sur. 2010.), trajanju stresa suše (Ramirez i sur. 2016.) i kreće se u rasponu od nemogućnosti oporavka do potpunog oporavka. Pinheiro i Chaves (2011.) utvrdili su da biljke krumpira, koje pretrpe intenzivan stres suše, u dva koraka mogu povratiti samo 40% - 60% maksimalne stope fotosinteze. Prva faza obuhvaća prve sate ili dane nakon prestanka stresa suše i uključuje povećanje vodnog statusa u listu te ponovno otvaranje puči. Druga faza oporavka traje nekoliko dana i u njoj se nanovo sintetiziraju fotosintetski proteini. Genotipovi koji se označavaju kao tolerantni pokazuju mogućnost visoke ili potpune stope oporavka stope fotosinteze.

Vasquez-Robinet i sur. (2008.) utvrdili su u njihovom istraživanju da su geni zaduženi za ekspresiju antioksidansa i šaperona, koji su lokalizirani u kloroplastu, bili jače ekspimirani u genotipovima tolerantnima na sušu. Antioksidansi su molekule koje inhibiraju oksidaciju

drugih molekula i vrlo su bitni u odgovoru na stres suše. Jedan od najpoznatijih antioksidansa je vitamin C (askorbinska kiselina). Vitamin C uključen je u diobu stanica i sintezu stanične stijenke, a djeluje i kao inhibitor reaktivnih oblika kisika. Wegener i Jansen (2013.) u svom radu navode da su biokemijske reakcije krumpira na razini antioksidansa vrlo složene i da se, ovisno o genotipu i vrsti antioksidansa, javlja pad, stagnacija ili porast njihove koncentracije. Poželjno je izdvojiti genotipove koji akumuliraju više razine različitih antioksidansa jer takvi genotipovi bolje odgovaraju na stres suše.

Ambrosone i sur. (2013.) utvrdili su da geni uključeni u različite puteve metabolizma proteina sudjeluju u ranom odgovoru na stres suše. Kada su eksprimirani, ovi geni dovode do sinteze spojeva koji kontroliraju i pomažu pri savijanju lanca proteina te ga dovode u stabilnu konformaciju. Ti se spojevi nazivaju šaperoni. Također, ekspresija ovih gena utječe na promet i razgradnju proteina čime pridonose regulaciji sinteze proteina i sprječavaju velika stanična oštećenja koje može uzrokovati stres suše.

3.6.2. Osmotska regulacija

Osmotska regulacija (OR) definira se kao smanjenje osmotskog potencijala u stanici zbog aktivne akumulacije raznih vrsta anorganskih i organskih tvari, poput šećera, šećernih alkohola (manitol, sorbitol), aminokiselina i anorganskih iona (Fang i Xiong 2015.). Što je osmotski potencijal manji, odnosno negativniji, to je za biljku moguće veće usvajanje vode, povećanje turgora i otvaranje puči. Ovakvo snižavanje osmotskog potencijala moguće je nakupljanjem kompatibilnih osmotski aktivnih tvari (osmoprotektanata). Sprenger i sur. (2016.) ukazali su na povećano nakupljanje ovih tvari kao odgovor na stres suše. Ove tvari smanjuju osmotski potencijal u listu bez utjecaja na turgor. Kao rezultat toga, stanice lista mogu uzeti više vode iz tla i održati status vode u listu koji preživljava stres suše. Jedna od poznatijih i proučavanijih kompatibilnih osmotski aktivnih tvari je prolin. Prolin je aminokiselina koja se sintetizira u tkivima listova biljaka izloženih stresu suše i zajedno sa šećerom, brzo metabolizira u lišću nakon oporavka od stresa suše (Kameli i Losel, 1993.). Povećanje razine prolina u stanicama događa se zbog povećane sinteze prolina, ali i smanjene aktivnosti enzima koji ga razgrađuju. Prvi signal za nakupljanje prolina je nizak turgor, a postoji i visoka povezanost između nakupljanja prolina i tolerantnosti biljaka na stres suše (Rahdari i Huseini 2012.). Prolin ima funkciju inhibicije reaktivnih oblika kisika, funkciju osmotske regulacije i održavanja povoljnog omjera $NADP^+/NADPH$. Prolin može djelovati kao signalna molekula za modulaciju mitohondrijskih funkcija, utjecati na rast ili smrt stanice i potaknuti ekspresiju specifičnog gena, što može bitno utjecati na oporavak biljke (Obidiegwu i sur. 2015.).

Za osmotsku regulaciju i očuvanje stope fotosinteze, također su bitni otpor, provodljivost, veličina, broj i gustoća puči. Poželjna je osobina da puči pokazuju što veću razinu otpornosti prema ABA-i jer će biti potrebne veće koncentracije ABA-e da bi se puči zatvorile. Ovo za posljedicu ima veću provodljivost puči jer ostaju duže otvorene pa su samim time intenzitet i stopa fotosinteze veći. Yoo i sur. (2010.) pišu da su broj i gustoća puči

regulirani uvjetima okoliša kao što je suša, dok su Pieczynski i sur. (2013.) utvrdili da biljke tolerantne na sušu imaju veći broj puči na abaksijalnoj (donjoj), a manji broj puči na adaksijalnoj (gornjoj) površini lista. Zatvaranje puči u blagom do umjerenom stresu suše više je smanjilo stopu fotosinteze u starijim nego u mlađim listovima, koji su otporniji od starijih listova. Povećana tolerancija mladog lišća važna je jer omogućuje brzi oporavak nakon prestanka stresa (Pinheiro i Chaves, 2011.). Također, genotipovi koji su tolerantni na sušu imaju deblju kutikulu lista, po listu često imaju dlake ili trihome, mogu izlučivati vosak, a neki tolerantni genotipovi mogu uvijati listove. Iako karakteristike puči igraju važnu ulogu u određivanju brzine transpiracije i stope fotosinteze, a posebno u pružanju brzog odgovora na stres suše, veći dio kontrole gubitka vode tijekom životnog ciklusa krumpira postiže se prilagodbama lisne površine.

3.6.3. Akumulacija reducirajućih šećera i stabilnost stanične membrane

Svi abiotički stresovi, uključujući stres suše, mogu izazvati nakupljanje reducirajućih šećera (saharoza, glukoza, trehaloza i fruktoza), kao i šećernih alkohola (manitol, sorbitol i ononitol) u biljkama (Zulfiqar i sur. 2020.). U gomolju se, pod utjecajem stresa suše, škrob pretvara u reducirajuće šećere. Veće nakupljanje šećera u gomolju može imati nepovoljne učinke na fotosintezu, stanično disanje, prinos, kvalitetu gomolja i ljudsko zdravlje (Saddhe i sur. 2020.). Otporni škrob (škrob koji se ne može reducirati) u krumpiru ima probiotička svojstva jer potiče proizvodnju metabolita, kao što su kratkolančane masne kiseline, putem crijevne mikrobiote. Ti su metaboliti prepoznati po svojim zdravstvenim prednostima, kao što su kontrola razine glukoze, inzulina i kolesterola (Lacavé i sur. 2022.).

Rudack i sur. (2017.) utvrdili su da stres suše smanjuje prinos škroba u prosjeku za 55%. Na prinos škroba značajno su utjecali genotip i interakcija genotip \times tretman (G \times T). Reducirajući šećeri u gomolju se nakupljaju kao način odgovora na stres suše. Rudack i sur. (2017.) utvrdili su pozitivnu korelaciju između sadržaja prolina i ukupnog sadržaja reducirajućih šećera, što ukazuje na njihovu ulogu u osmotskoj regulaciji. Vrijeme pojave suše vrlo je važno za nakupljanje reducirajućih šećera. Kumar i Kumar (2020.) utvrdili su da stres suše prije faze inicijacije gomolja nema štetan učinak na kvalitetu, dok stres suše u fazi nalijevanja gomolja uzrokuje smanjenu specifičnu težinu i tamnjenje prilikom prženja. Isti autori utvrdili su da je razina reducirajućih šećera u fazi inicijacije gomolja u stresu suše veća od 35%, dok je ta razina u fazi nalijevanja gomolja veća od 25%. U svrhu prerade, poželjna je niska razina reducirajućih šećera (manje od 0,1%) kako bi se izbjegla tamna boja i gorak okus proizvoda od prerađenog krumpira. Rudack i sur. (2017.) utvrdili su da u stresu suše akumulacija reducirajućih šećera raste sa starošću biljke, dok u odsustvu stresa suše akumulacija značajno pada. Ovo je rezultiralo razlikom od 18,65% između različitih tretmana.

Dakle, šećeri imaju bitnu ulogu u odgovoru krumpira na sušu. Gupta i Kaur (2005.) utvrdili su da šećeri modificiraju transkripciju mnogih gena povezanih sa stresom suše. Sadržaj šećera u gomolju nasljedna je karakteristika i na njega utječu genotip, tip genotipa (rani ili kasni), godišnje doba (u onim područjima gdje se krumpir može uzgajati tokom cijele

godine), mjesto proizvodnje te uvjeti skladištenja. Stoga je vidljivo da je nakupljanje reducirajućih šećera dobro u svrhu odgovora na stres suše, ali loše za kvalitetu gomolja. Ako se krumpir uzgaja s namjenom za industrijsku preradu, trebalo bi pribjeći postojećim ili razviti nove genotipove s visokom razinom otpornog škroba u gomoljima. Stoga bi takvi genotipovi trebali pokazivati druge mehanizme tolerancije na stres suše. Jedan od takvih mehanizama je stabilnost stanične membrane (eng. *cell membrane stability*, kratica CMS). Za funkcioniranje ovog mehanizma vrlo je bitno spriječiti nakupljanje ROS-a jer oni uzrokuju poremećaj sastava i smanjenje integriteta stanične membrane (Zhu 2016.). Visoka stabilnost stanične membrane omogućuje pravilno odvijanje staničnih procesa. Povećana stabilnost stanične membrane povezana je s očvršćivanjem stanične stijenke, što rezultira manjom veličinom zrelih stanica koje zahtijevaju manju količinu otopljenih tvari za održavanje turgora. Ovako se neizravno smanjuje koncentracija otopljenih tvari u stanici. Rudack i sur. (2017.) utvrdili su da genotipovi krumpira koji favoriziraju mehanizam CMS-a u odnosu na osmotsku regulaciju i akumulaciju reducirajućih šećera, imaju veći i kvalitetniji prinos gomolja pod dugotrajnim stresom suše.

3.6.4. Relativni sadržaj vode (RWC)

Relativni sadržaj vode (eng. *relative water content*, kratica RWC) ključni je pokazatelj vodnog statusa biljke. RWC procjenjuje vodni status u listu koji je rezultat razlike između opskrbe lista vodom i brzine transpiracije (Soltys-Kalina i sur. 2016.). Biljke koje mogu održati adekvatan RWC tijekom duljeg vremenskog razdoblja u uvjetima stresa suše imaju veću vjerojatnost kontinuiranog metaboličkog funkcioniranja i preživljavanja. Genotipovi koji pokazuju tolerantnost na sušu mogu održati veću staničnu hidrataciju u uvjetima stresa suše (McCann i Huang 2008.). Stoga se genotipovi koji održavaju visok RWC u uvjetima stresa suše smatraju tolerantnima (Soltys-Kalina i sur. 2016.), a RWC se uspješno koristi za razlikovanje osjetljivih od tolerantnih genotipova (Obidiegwu i sur. 2015.)

Mahmud i sur. (2014.) utvrdili su da RWC opada kako raste intenzitet suše. U uvjetima dobrog navodnjavanja, RWC se kretao u rasponu 89% - 91%. U uvjetima umjerene suše, RWC se kretao u rasponu 83% - 87%, dok se u uvjetima jake suše kretao u rasponu 72% - 77%. Slične rezultate u svojim su istraživanjima dobili Omae i sur. (2005.) i Choudhury (2009.). U istraživanju koje su proveli Gerwais i sur. (2021.) utvrđen je RWC kod kontrolnih genotipova u rasponu 80% - 87%. Pri izlaganju stresu suše, isti genotipovi imali su RWC u rasponu 52% - 55%. Suša je smanjila RWC za 25 - 35% kod svih genotipova. Isti autori utvrdili su da razlike u prinosu gomolja među genotipovima u stresu suše nisu bile povezane s razlikama u RWC-u, već s fiziološkim i biokemijskim faktorima.

Suprotno ovom istraživanju Soltys-Kalina i sur. (2016.) proveli su istraživanje na genotipu 'Katahdin'. Genotip 'Katahdin' stari je genotip krumpira porijeklom iz Sjeverne Amerike koji daje visok i kvalitetan prinos. Može se prilagoditi širokom rasponu uzgojnih uvjeta (vrsta tla, klima), tolerantan je na sušu i ima gomolje dobre kvalitete čak i u vrućim i suhim uvjetima. 'Katahdin' ima visoku učestalost oplodnje i stoga je korišten kao muški ili

ženski roditelj u uzgoju više od 200 genotipova krumpira diljem svijeta. Osim genotipa 'Katahdin' korišteno je i 17 drugih genotipova krumpira dobivenih od genotipa 'Katahdin' (Katahdin je bio jedan od roditelja). Tih 17 genotipova dobiveno je, i pušteno u prodaju, od strane oplemenjivačkih institucija u SAD-u, Nizozemskoj, Rumunjskoj, Poljskoj, Velikoj Britaniji, bivšoj Jugoslaviji i SSSR-u. RWC među genotipovima u kontroli bio je sličan i prikazan vrijednošću od 100%. U stresu suše, RWC se kretao u rasponu 64% - 86% RWC-a kontrole. Izdvojeno je 6 genotipova čiji je RWC bio viši od 80% RWC-a kontrole, kao i 2 genotipa koji su imali najmanji RWC koji je iznosio 64% i 67% RWC-a kontrole. Kod genotipova izloženih stresu suše zabilježen je pad prinosa gomolja, a uzimajući u obzir RWC i razinu pada prinosa, 18 genotipova podijeljeno je u 4 skupine. Prvu skupinu karakterizira visok RWC i mali gubitci prinosa. Drugu skupinu karakterizira visok RWC i veliki gubitci prinosa. Treću skupinu karakterizira nizak RWC i veliki gubitci prinosa, dok četvrtu skupinu karakterizira nizak RWC i mali gubitci prinosa. Relativni gubitak prinosa kretao se u rasponu 13% - 71%. U odgovorima na izazove koje na razvoj biljaka i kvantitetu i kvalitetu prinosa postavlja stres suše trebalo bi upotrebljavati genotipove iz prve skupine. Iako genotipovi druge skupine imaju visok RWC koji može ukazivati na njihovu toleranciju na stres suše, imaju vrlo visok gubitak prinosa pa se u pitanje dovodi njihova ekonomska isplativost. Genotipovi proizašli od jednog roditelja koji je tolerantan na sušu mogu davati vrlo različite odgovore na stres suše ovisno o genetskim čimbenicima naslijeđenim od drugog roditelja. Također, visok RWC ne mora nužno značiti mali gubitak prinosa, već ti gubitci mogu biti vrlo visoki. RWC se, kao čimbenik tolerancije na stres suše, mora koristiti u kombinaciji s drugim čimbenicima da bi se došlo do najtolerantnijih genotipova koji imaju nisku razinu gubitka prinosa i visoku razinu očuvanja kvalitete.

4. Materijali i metode

4.1. Biljni materijal

U istraživanju je korišteno pet hrvatskih tradicijskih genotipova krumpira. Korišteni su genotipovi: 'Lipice žuti', 'Križpolje' ('Žuti krušni'), 'Plitvički', 'Poli' i 'Brinjak' (Tablica 4.1.1.). Svi genotipovi prikupljeni su na području Republike Hrvatske u sklopu Nacionalnog programa očuvanja i održive uporabe za hranu i poljoprivredu u Republici Hrvatskoj. Korišteni genotipovi pohranjeni su u Nacionalnu banku biljnih gena i evidentirani u Hrvatskoj bazi podataka o biljnim genetskim izvorima (eng. *Croatian Plant Genetic Resources Database*, kratica CPGRD) (CPGRD 2023.).

Tablica 4.1.1. Genotipovi krumpira korišteni u istraživanju

Izvor: CPGRD

Broj primke	Naziv primke	Lokacija mjesta prikupljanja	Geografska širina	Geografska dužina
IND00075	Lipice žuti	Lipice	450025N	0151601E
IND00088	Križpolje (Žuti krušni)	Križpolje	450143N	0151102E
IND00086	Plitvički	Duga Resa	452730N	0152922E
IND00062	Poli	Crni Kal	445426N	0150409E
IND00068	Brinjak	Ogulin	451452N	0151306E

Morfološke osobine istraživanih genotipova opisane su na Zavodu za specijalnu proizvodnju bilja prema UPOV deskriptorima tijekom 2017. ('Poly'), 2018. ('Brinjak') i 2021. godine ('Lipice žuti', 'Križpolje' i 'Plitvički') za potrebe Hrvatske baze podataka o biljnim genetskim izvorima.

Genotip 'Lipice žuti' je niskog je i poluuspravnog tipa rasta. Strukturom listova pripada u lisni tip. Obojanosti antocijanom je odsutna i na stabljici i na cvjetnom vjenčiću. Učestalost cvjetova je srednja. Gomolj je okrugao, žute pokožice i srednje žute boje mesa. Klica je srednje veličine i jajolikog oblika.

Genotip 'Križpolje' je uspravnog tipa rasta, vrlo nizak. Strukturom listova pripada u prijelazni tip. Obojanosti stabljike i cvjetnog vjenčića antocijanom je odsutna. Niske je učestalosti pojave cvjetova. Gomolj je okrugao, žute pokožice i srednje žute boje mesa. Klica je mala i široko cilindričnog oblika.

Genotip 'Plitvički' je uspravnog tip rasta, srednje visine. Strukturom listova pripada u tip stabljike. Obojanost stabljike antocijanom je slaba, dok je obojanost cvjetnog vjenčića antocijanom odsutna. Gomolj je dugačko ovalan, crvene pokožice i tamno žute boje mesa. Klica je velika i široko cilindričnog oblika.

Genotip 'Poli' prema tipu rasta je poluuspravan, niske visine biljke. Strukturom listova pripada u prijelazni tip. Obojanosti stabljike antocijanom, kao i obojanost cvjetnog vjenčića, je odsutna. Učestalost pojave cvjetova je srednja. Gomolj je okrugao, žute pokožice i srednje žute boje mesa. Klica je mala i jajolikog oblika.

Genotip 'Brinjak' niske je visine, a prema tipu rasta je poluuspravan. Strukturom listova pripada u prijelazni tip. Obojanosti stabljike antocijanom, kao i obojanost cvjetnog vjenčića, je odsutna. Srednje je učestalosti cvjetova. Gomolj je okrugao, svijetlo bež boje pokožice i srednje žute boje mesa. Klica je srednje veličine, jajolikog oblika.

4.2. Tijek istraživanja

Istraživanje je provedeno na 75 biljaka, odnosno svaki genotip je bio zastupljen sa 15 biljaka. Pokus je trajao ukupno 142 dana, a započeo je uzgojem svih pet genotipova u kulturi tkiva. Biljke su u kulturi tkiva umnožene polaganjem jednonodalnih segmenata na Murashige i Skoog (MS) hranjivu podlogu koja nije sadržavala regulatore rasta, a uzgoj u kulturi tkiva trajao je 29 dana. Tijekom tog perioda biljke su razvile stabljiku, ali i korijen. Nakon toga biljke su presađene u male tegle dimenzija 7 x 3 x 3 cm (slika 4.2.1.) u sterilni (steriliziran gama zračenjem) Kekkila TSM 3 supstrat i aklimatizirane na uvijete komore rasta 10 dana (slika 4.2.2.).



Slika 4.2.1. Biljke krumpira u malim teglama



Slika 4.2.2. Aklimatizacija biljaka krumpira

Nakon aklimatizacije biljčice su presađene u veće tegle dimenzija 30 x 10 x 10 cm (slika 4.2.3.) u kojima će ostati do kraja razvoja. Za ovo je korišten Kekkila TSM 3 supstrat koji se sastoji od mješavine crnog i smeđeg treseta pomiješan s 5% kvarcnog, sterilnog pijeska. U svaku teglu dodana je ista količina supstrata te je određen maksimalni poljski kapacitet tla za vodu prema kojem je postavljena razina zalijevanja biljaka.



Slika 4.2.3. Biljke krumpira nakon aklimatizacije i presadnje u velike tegle

Nakon presađivanja u velike tegle započeo je period rasta i razvoja biljaka u kojem one nisu bile izložene stresu suše (slika 4.2.4.). Ovaj period trajao je 47 dana u komori rasta. Uvjeti u komori rasta tokom aklimatizacije, rasta i izlaganja stresu suše bili su isti. Dan je trajao 16 sati, dok je noć trajala 8 sati. Temperatura zraka u komori tokom dana iznosila je 23 °C, dok je tokom noći iznosila 19 °C.



Slika 4.2.4. Krumpir u komori rasta prije početka stresa suše

Nakon perioda rasta i razvoja bez utjecaja suše uslijedilo je razdoblje od 56 dana u kojem je osam biljaka svakog genotipa (ukupno 40 biljaka) izloženo stresu suše i zalijevano na 60% utvrđenog ukupnog poljskog kapaciteta tla za vodu. Ostalih sedam biljaka svakog genotipa (ukupno 35 biljaka) predstavljale su kontrolne biljke, zalijevane su normalno i nisu bile izložene stresu suše. Uzorci lista za utvrđivanje RWC-a uzeti su 49. dan nakon početka stresa suše. Nakon 56 dana od početka tretmana suše (slika 4.2.5. i slika 4.2.6.) izvađeni su gomolji svih biljaka iz pokusa. Gomolji biljaka u stresu suše i gomolji kontrolnih biljaka su nakon vađenja oprani, prebrojani, izvagani i uspoređeni za svaki kultivar (slika 4.2.7. i slika 4.2.8.). Uzeti su uzorci gomolja za određivanje svježe mase gomolja, utvrđivanje suhe tvari te kemijske analize. Uzorci za kemijske analize su liofilizirani i samljeveni u fini prah.



Slika 4.2.5. Usporedba kontrolne biljke (lijevo) i biljke u stresu suše (desno) na primjeru genotipa 'Plitvički'

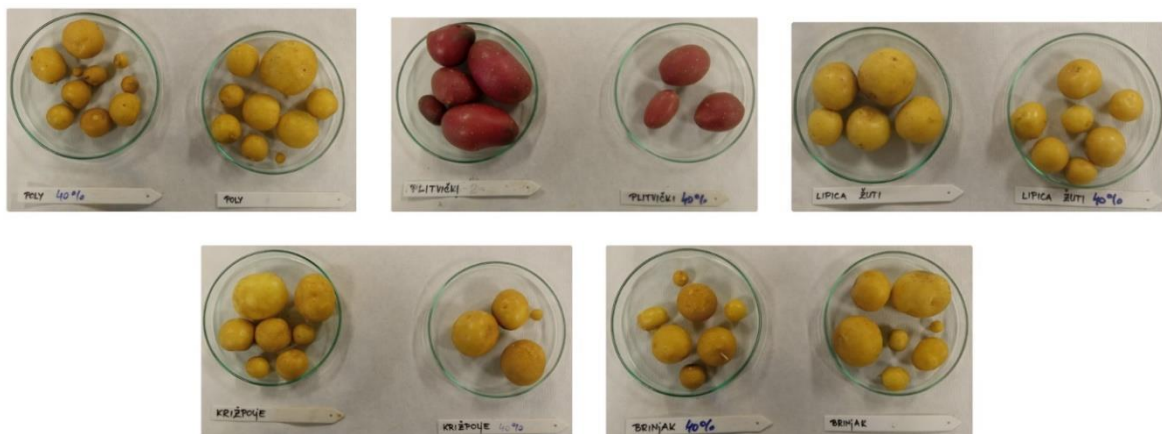


Slika 4.2.6. Usporedba kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše

Prikazani su genotipovi gore: 'Poli' i 'Plitvički'; dolje: 'Križpolje', 'Brinjak' i 'Lipice žuti'



Slika 4.2.7. Usporedba gomolja kontrolne biljke (lijevo) i gomolja biljke u stresu suše (desno) na primjeru genotipa 'Lipice žuti'



Slika 4.2.8. Usporedba gomolja kontrolnih biljaka i gomolja biljaka u stresu suše
Prikazani su genotipovi gore: 'Poli', 'Plitvički' i 'Lipice žuti'; dolje: 'Križpolje' i 'Brinjak'

4.3. Fiziološke i kemijske analize

4.3.1. Određivanje RWC-a u listu

Za određivanje RWC-a listovi biljaka su razrezani na 4 djela i odmah je izvagana masa svježe tvari (eng. *fresh weight*, kratica FW). Lisno tkivo je zatim prebačeno u čašu s destiliranom vodom i ostavljeno tri sata na sobnoj temperaturi, kako bi se postigao maksimalni turgor (do maksimalne razine hidracije). Za određivanje vrijednost mase pri maksimalnom turgoru (eng. *turgid weight*, kratica TW) lisno tkivo je izvađeno iz vode, posušeno papirnatim ručnikom i ponovo izvagano. Uzorak je potom pincetom premješten u papirnatu vrećicu i stavljen u sušionik na 105°C. Nakon 24 sata određena je masa suhe tvari (eng. *dry weight*, kratica DW). Vaganje je izvršeno analitičkom laboratorijskom vagom s preciznošću od 0,0001 g. Svaki uzorak izmjeren je u 5 ponavljanja. Analiza je izvršena na način kojeg su opisali Keles i Öncel (2004.). Konačna vrijednost RWC-a izračunata je prema standardnom izrazu koristeći vrijednosti FW, TW i DW.

Izraz za računanje RWC-a glasi:

$$\text{RWC} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})$$

Gdje je:

FW= masa svježe tvari lista

TW= masa svježe tvari lista kod maksimalnog turgora

DW= masa suhe tvari lista

4.3.2. Određivanje sadržaja proteina u gomolju

Sadržaj proteina određen je spektrofotometrijskom metodom prema Bradfordu (1976.). Bradford radna otopina pripremljena je miješanjem Bradfordovog reagensa (Protein Assay Dye Reagent Concentrate, Bio-Rad, SAD) i vode u omjeru 1:4 v/v. Nakon što je napravljena razrijeđena BSA otopina za standardnu krivulju, pripremljena je slijepa proba koja se sastojala od 20 µl destilirane vode i 1 ml Bradford otopine. Ekstrakcija proteina topljivih u vodi provedena je na način da je na 0,05 g usitnjenog uzorka dodan 1 ml otopine koja se sastojala od fosfata, K₂SO₄, 2%-tnog polivinilpirolidona (eng. *polyvinylpyrrolidone*, kratica PVP), 1 mmol askorbata, 0,1% Triton X-100 i 1 mmol etilendiamintetraoctene kiseline (kratica EDTA). Vrijednost pH podešena je na 7. Tako priređena ekstrakcijska smjesa centrifugirana je 20 min na 4 °C i maksimalnom broju okretaja u minuti (eng. *revolutions per minute*, kratica rpm). Supernatant je izdvojen i korišten za daljnje analize. Alikvot od 100 µl uzorka pomiješan je s 5 ml Bradfordove radne otopine te je ostavljen na inkubaciju pri sobnoj temperaturi u trajanju od 10 min. Apsorbancija je izmjerena pri valnoj duljini od 595 nm. Kvantifikacija proteina provedena je metodom vanjskog standarda uz albumin iz seruma goveda kao standard. Sva mjerenja su provedena u tri ponavljanja, a rezultati su izraženi u g/kg suhog gomolja.

4.3.3. Određivanje masenog udjela askorbinske kiseline u gomolju

Maseni udio askorbinske kiseline određen je titracijom prema metodi opisanoj u Smirnoff (2000.). Na 2,5 g liofiliziranog usitnjenog uzorka dodano je 10 mL destilirane vode. Nakon što je smjesa homogenizirana uzet je alikvot od 2 ml koji je potom centrifugiran u trajanju od 10 min na maksimalnom rpm. Nakon centrifugiranja 1 ml supernatanta prenesen je u epruvetu te je potom dodavana 0,1%-tne otopine diklorfenolindofenola (DCPIP) u volumenu od 1 µl do promjene boje u svijetlo plavu ili ružičastu boju. Temeljem utroška 0,1%-tne otopine DCIPP određen je maseni udio askorbinske kiseline u uzorku. Sva mjerenja su provedena u tri ponavljanja. Rezultati su izraženi u g/kg suhog gomolja.

4.3.4. Određivanje sadržaja prolina u gomolju

Sadržaj prolina određen je spektrofotometrijskom metodom opisanoj u Carillo i Gibon (2011.). Metoda je malo modificirana s obzirom da se koncentracija prolina mjerila u liofiliziranom gomolju, a ne u svježem lisnom tkivu. Slijepa proba pripremljena je od 20 µl destilirane vode. Analiza u istraživanju provedena je na slijedeći način. Prah usitnjenog uzorka mase 0,025 g pomiješan je s 1 ml hladnog 70%-tnog etanola te je dobivena smjesa pomiješana. U tako priređenu homogenu ekstrakcijsku smjesu dodano je 1 ml hladnog 70%-tnog etanola, a nakon čega je provedeno centrifugiranje u trajanju od 10 min na 4 °C i maksimalnom broju okretaja. Alikvot od 500 µl centrifugiranog uzorka pomiješan je s 500 µl 60%-tne octene kiseline i 500 µl 1%-tnog ninhidrina. Dobivena smjesa stavljena je u termomikser (eng. *thermoshaker*) na temperaturu od 95°C u trajanju od 20 min, a nakon čega je stavljena na led u trajanju od 15 min. Smjesa je potom centrifugirana u trajanju od 10 min pri 10 000 rpm te je na poslijetku spektrofotometrom izmjerena apsorbancija pri 520 nm. Sadržaj prolina dobivena je prema slijedećoj jednadžbi:

$$\text{Prolin} = \frac{(\text{Abs}_{\text{ekstrakta}} - \text{slijepa proba})}{\text{nagib}} \times \frac{V_{\text{ekstrakta}}}{V_{\text{aliquota}}} \times \frac{1}{\text{DW}}$$

Gdje su:

Abs_{ekstrakta}= apsorbancija određena s ekstraktom

Slijepa proba (izražena apsorbancijom) i **nagib** (izražen kao apsorbancija/nmol) određeni su linearnom regresijom dobivene kalibracijske krivulje.

V_{ekstrakta}= ukupni volumen ekstrakta

V_{aliquota}= ukupni volumen uzorka korištenog u analizi

DW= količina ekstrahiranog biljnog materijala (izražena u mg)

Rezultati su izraženi u µmol/g suhog gomolja.

4.3.5. Određivanje sadržaja reducirajućih šećera u gomolju

Sadržaj reducirajućih šećera u uzorcima suhog gomolja krumpira određen je spektrofotometrijski uz 3,5-dinitrosalicilnu kiselinu (DNS) kao reagens. Ekstrakcija reducirajućih šećera provedena je iz 100 mg suhog uzorka u prisutnosti 2 ml 80%-tnog etanola pri sobnoj temperaturi preko noći. Ekstrakcijska je smjesa centrifugirana pri 25 °C i 15 000 rpm u trajanju od 10 min. Supernatant je kvantitativno prenesen te je primjenom vakuuma uparen do suha. Dobiveni je talog otopljen u 1 ml vode. Alikvot od 300 µL dobivenog ekstrakta pomiješan je s 300 µL reagensa DNS te je potom reakcijska smjesa ostavljena na inkubaciju u trajanju od 5 min pri 100 °C. Nakon hlađenja u reakcijsku smjesu dodano je 3 ml vode te je izmjerena apsorbancija pri valnoj duljini od 510 nm. Kvantifikacija reducirajućih šećera provedena je metodom vanjskog standarda uz glukozu kao standard. Sva mjerenja su provedena u tri ponavljanja, a rezultati su izraženi u mg/kg suhog gomolja u ekvivalentima glukoze.

4.4. Statističke analize

Statistička analiza komponenti prinosa i kemijske kvalitete gomolja provedena je prema linearnome modelu koji je uključivao genotip i tretman kao fiksne efekte, a interakciju genotip x tretman kao slučajni efekt. Prosjeci genotipova i tretmana su uspoređeni korištenjem Bonferroni testa. Za analizu podataka korišten je programski paket SAS 9.4 (SAS Institute Inc, 2011.).

5. Rezultati i rasprava

5.1. Analiza varijance (ANOVA) RWC-a lista i komponenti prinosa

Vrlo često se u procesu dokazivanja da se biljka nalazi u stresu suše koristi relativni sadržaj vode (RWC) u listu. Što je RWC lista niži to je biljka više u stresu. U ovom istraživanju RWC je korišten kao parametar za određivanje suše i intenziteta kojim je djelovala na pojedini genotip. Tablica 5.1.1. prikazuje rezultate analize varijance RWC-a lista.

Tablica 5.1.1. Rezultati analize varijance za relativni sadržaj vode u gomolju

Izvor varijabilnosti	RWC	
	F vrijednost	Pr>F
Genotip (G)	5,13	**
Tretman (T)	469,53	***
Interakcija Genotip x Tretman (G x T)	3,75	*

Signifikantnost F vrijednosti kod: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$

Utvrđena je značajna razlika između genotipova, visoko značajna razlika između tretmana i nisko značajna razlika u interakciji genotip x tretman (G x T) za promatrano svojstvo RWC-a lista.

U tablici 5.1.2. prikazani su rezultati analize varijance za komponente prinosa. Analizirane komponente prinosa u ovom istraživanju su: broj gomolja, masa gomolja i sadržaj suhe tvari.

Tablica 5.1.2. Rezultati analize varijance za komponente prinosa

Izvor varijabilnosti	Broj gomolja		Masa gomolja		Sadržaj suhe tvari	
	F vrijednost	Pr>F	F vrijednost	Pr>F	F vrijednost	Pr>F
Genotip (G)	31,36	***	5,58	**	308,38	***
Tretman (T)	2,00	n.s.	306,34	***	585,93	***
Interakcija Genotip x Tretman (G x T)	8,95	**	12,48	***	226,52	***

Signifikantnost F vrijednosti kod: *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ***p ≤ 0,001, n.s. – nije signifikantno

Između genotipova utvrđena je visoko značajna razlika za svojstva: broj gomolja i sadržaj suhe tvari, dok je za svojstvo mase gomolja utvrđena značajna razlika.

Između tretmana utvrđena je visoko značajna razlika za svojstva: masa gomolja i sadržaj suhe tvari, dok između tretmana nije utvrđena statistički značajna razlika za broj gomolja.

U interakciji genotipa i tretmana utvrđena je visoko značajna razlika za svojstva: masa gomolja i sadržaj suhe tvari, dok je za svojstvo broja gomolja utvrđena značajna razlika.

5.2. Utjecaj genotipa na prosječni RWC i komponente prinosa

U tablici 5.2.1 prikazan je utjecaj genotipa na prosječni RWC i komponente prinosa. Tablica prikazuje razlike u prosječnim vrijednostima ispitivanih parametara (prosječni RWC i stresa suše) za svaki korišteni genotip zasebno.

Tablica 5.2.1. Utjecaj genotipa na prosječni RWC i komponente prinosa

Genotip	RWC (%)	Broj gomolja	Masa gomolja (g)	Sadržaj suhe tvari (%)
Brinjak	74,09 AB	7,33 B	77,63 B	24,5 AB
Križpolje	68,77 B	6,17 BC	87,13 AB	24,8 A
Lipice žuti	69,45 B	10,17 A	89,03 AB	24,2 BC
Plitvički	75,61 A	4,33 C	100,13 A	20,5 D
Poli	69,65 AB	9,33 A	93,80 A	23,9 C

Vrijednosti u stupcima označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Prosječni RWC lista je izražen u postotku i vidljivo je da je najveći prosječni postotak RWC-a imao genotip 'Plitvički' (75,61 %), dok je najmanji prosječni postotak RWC-a zabilježen kod genotipa 'Križpolje' (68,77 %). Utvrđeno je da je prosječni postotak RWC-a genotipa 'Plitvički' značajno veći od prosječnog postotka RWC-a genotipova 'Križpolje' i 'Lipice žuti'. Nisu utvrđene značajne razlike prosječnog postotka RWC-a između drugih genotipova (tablica 5.2.1.). Ovakvi rezultati slični su rezultatima koje su dobili Soltys-Kalina i sur. (2016.) i Gerwais i sur. (2021.) u kojima je prisutna razlika u RWC-u između korištenih genotipova. Viši postotak RWC-a ukazuje na bolji vodni status u listu koji je rezultat razlike između opskrbe lista vodom i brzine transpiracije. Stoga se za genotipove 'Plitvički' i 'Brinjak' (prosječni postotak RWC-a genotipa 'Brinjak' je 74,09%) na temelju prosječnog postotka RWC-a, može reći da imaju veću vjerojatnost kontinuiranog metaboličkog funkcioniranja i preživljavanja stresa suše. Iako se RWC uspješno koristi za razlikovanje osjetljivih od tolerantnih genotipova, prilikom detekcije tolerantnih genotipova u obzir se moraju uzeti i drugi faktori jer je, kako su utvrdili Soltys-Kalina i sur. (2016.), kod pojedinih genotipova moguće imati visok RWC, ali i visoke gubitke prinosa.

Najveći prosječni broj gomolja imao je genotip 'Lipice žuti' (10,17), dok je najmanji prosječni broj gomolja imao genotip 'Plitvički' (4,33). Genotipovi 'Lipice žuti' i 'Poli' imali su značajno veći prosječni broj gomolja (10,17 i 9,33) od ostalih genotipova. Genotip 'Brinjak' imao je značajno manji prosječni broj gomolja (7,33) od prethodno navedenih genotipova (tablica 5.2.1.). Ovakvi rezultati u skladu su s rezultatima drugih istraživanja s obzirom na to da se prosječni broj gomolja u stresu suše može smanjiti ili povećati, ovisno o genotipu. Gervais i sur. (2021.) utvrdili su smanjenje prosječnog broja gomolja za većinu genotipova krumpira u stresu suše, dok je Rykaczewska (2017.) utvrdila povećanje prosječnog broja gomolja nekih genotipova u stresu suše. Rykaczewska (2017.) je također utvrdila da neki genotipovi u stresu suše proizvode veći broj gomolja, ali da su ti gomolji većinom maleni i tržno neupotrebljivi, dok se broj velikih tržno upotrebljivih gomolja smanjuje. Ovakvi rezultati ukazuju na to da je smanjenje ili povećanje broja gomolja pod snažnim utjecajem genotipa i posljedica su mogućih adaptivnih odgovora određenog genotipa na stres suše, kako su u istraživanju utvrdili Aliche i sur. (2018.). U procjeni tolerantnosti nekog genotipa na stres suše i njegove prikladnosti za uzgoj u uvjetima stresa suše na temelju broja gomolja treba biti oprezan. Broj gomolja se kao faktor tolerantnosti može koristiti samo u kombinaciji sa drugim faktorima. Treba pribjeći i drugim faktorima jer je u uvjetima stresa suše bolje uzgajati genotip koji daje manji broj gomolja koji su tržno upotrebljivi od genotipa koji daje veliki broj gomolja koji su tržno neupotrebljivi.

Prosječna masa gomolja izražena je u gramima, a najveću prosječnu masu gomolja imao je genotip 'Plitvički' (100,13 g), dok je najmanju prosječnu masu gomolja imao genotip 'Brinjak' (77,63 g). Značajna razlika u prosječnoj masi gomolja utvrđena je između genotipova 'Plitvički' i 'Poli' (prosječna masa gomolja genotipa 'Poli' iznosila je 93,80 g) u odnosu na genotip 'Brinjak'. Između ostalih genotipova nisu utvrđene značajne razlike u prosječnoj masi gomolja (tablica 5.2.1.). Rezultati ovog istraživanja ukazuju na značajne razlike prosječne mase gomolja ovisno o genotipu. Carly i sur. (2014.) i Obidiegwu i sur. (2015.) utvrdili da stres suše značajno utječe na masu gomolja. Aliche i sur. (2018.) utvrdili su smanjenje prosječne mase gomolja kod 103 komercijalna genotipa. Stoga je vrlo bitno izdvojiti one genotipove koji u stresu suše bilježe veću prosječnu masu gomolja.

Prosječni sadržaj suhe tvari gomolja izražen je postotkom, a najveći prosječni sadržaj suhe tvari gomolja imao je genotip 'Križpolje' (24,8 %), dok je najmanji prosječni sadržaj suhe tvari gomolja imao genotip 'Plitvički' (20,5 %). Prosječni sadržaj suhe tvari gomolja genotipa 'Križpolje' značajno je veći od prosječnog sadržaja suhe tvari gomolja genotipova 'Lipice žuti', 'Plitvički' i 'Poli', dok u odnosu na genotip 'Brinjak' nije utvrđena značajna razlika. Prosječni sadržaj suhe tvari gomolja genotipa 'Brinjak' (24,5 %) bio je značajno veći u odnosu na prosječni sadržaj suhe tvari gomolja genotipova 'Plitvički' i 'Poli', dok u odnosu na genotipove 'Križpolje' i 'Lipice žuti' nije utvrđena značajna razlika. Genotip 'Plitvički' imao je značajno manji prosječni sadržaj suhe tvari gomolja od svih ostalih genotipova (tablica 5.2.1.). Steckel i Gray (1979.) utvrdili su dosljedno smanjenje sadržaja suhe tvari gomolja zbog stresa suše i u tolerantnim i u osjetljivim genotipovima. Lahlou i sur. (2003.) utvrdili su smanjenje sadržaja suhe tvari kod komercijalnih genotipova, ali u različitom postotku. Raspon gubitka sadržaja

suhe tvari kretao se 38% - 11%, što potvrđuje da će se gubitak sadržaja suhe tvari svakako dogoditi, ali će varirati ovisno o genotipu. Gomolji krumpira s većim sadržajem suhe tvari smatraju se kvalitetnijim i tržišno vrijednijim, te je potrebno detektirati genotipove koji u uvjetima stresa suše zadržavaju veći postotak sadržaja suhe tvari gomolja.

5.3. Utjecaj tretmana na prosječni RWC i komponente prinosa

Tablica 5.3.1. prikazuje utjecaj koji je tretman (kontrola, suša) imao na prosječni RWC i komponente prinosa i prikazuje razlike u prosječnim vrijednostima ispitivanih parametara za kontrolne biljke i biljke koje su bile u stresu suše.

Tablica 5.3.1. Utjecaj tretmana na prosječni RWC i komponente prinosa

Tretman	RWC (%)	Broj gomolja	Masa gomolja (g)	Sadržaj suhe tvari (%)
Kontrola (K)	84,82 A	7,73 A	117,19 A	24,7 A
Suša (S)	58,21 B	7,20 A	61,9 B	22,5 B

Vrijednosti u stupcima označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Utvrđeno je da je prosječni RWC svih genotipova u kontroli (84,82 %) bio značajno veći od prosječnog RWC-a svih genotipova u suši (58,21 %) (tablica 5.3.1.). Prosječni RWC genotipova u suši bio je manji za 31,37 % u usporedbi s prosječnim RWC-om genotipova u kontroli. Ovakav rezultat u skladu je sa istraživanjem kojeg su proveli Gerwais i sur. (2021.), koji su utvrdili da suša uzrokuje smanjenje RWC-a između kontrole i tretmana u rasponu od 35 % - 37 %.

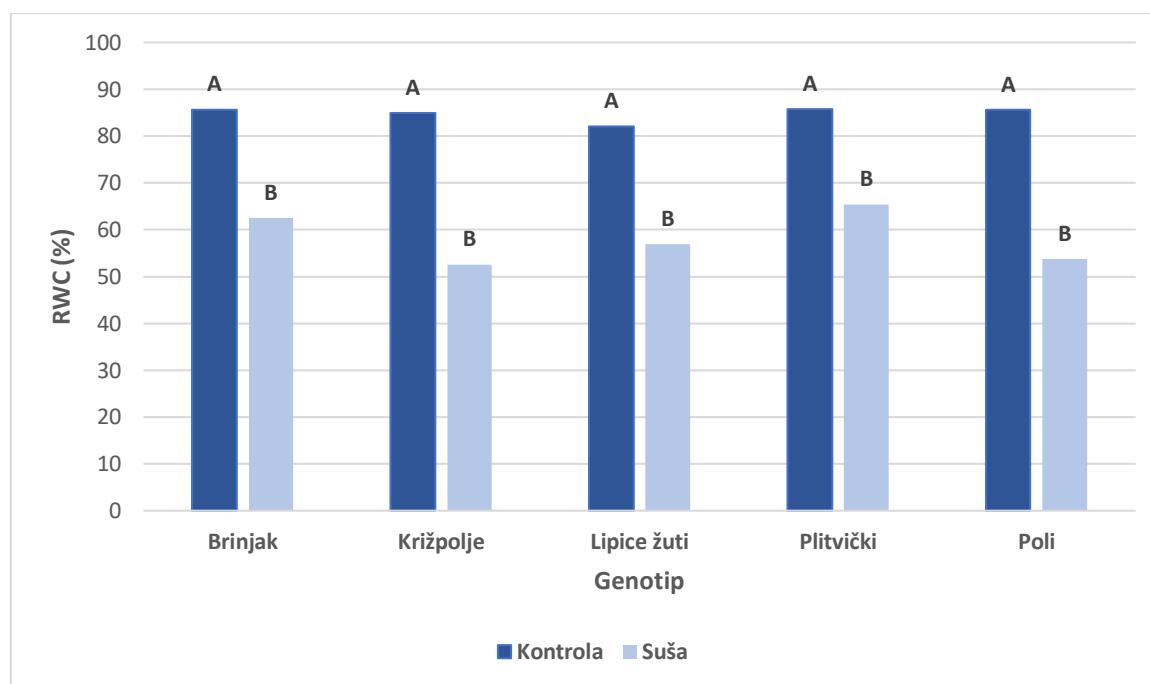
Nije utvrđena značajna razlika u prosječnom broju gomolja između kontrole (7,73) i suše (7,20) (tablica 5.3.1.). Ovakav rezultat i promjena u prosječnom broju gomolja između genotipova u kontroli i suši od 6,86 % u skladu su sa rezultatima koje su utvrdili Rykaczewska (2017.) i Gervais i sur. (2021.). Efekt suše na broj gomolja može biti dvojak te može doći do povećanja (Rykaczewska 2017.) ili smanjenja (Gervais i sur. 2021.) broja gomolja. Na broj gomolja prvenstveno utječe genotip, dok stres suše samo inducira odgovor pojedinog genotipa.

Prosječna masa gomolja u kontroli (117,19 g) bila je značajno veća od prosječne mase gomolja u suši (61,9 g) (tablica 5.3.1.). Prosječna masa gomolja genotipova u suši bila je manja za 47,18 % od prosječne mase gomolja genotipova u kontroli. Ovakav rezultat u skladu je sa rezultatom kojeg su dobili Aliche i sur. (2018.) u kojem je ustanovljeno da suša uzrokuje smanjenje prosječne mase gomolja, u navedenom istraživanju najveće smanjenje iznosilo je 54%.

Prosječni sadržaj suhe tvari gomolja bio je značajno veći kod genotipova u kontroli (24,7 %) od prosječnog sadržaja suhe tvari genotipova u suši (22,5 %) (tablica 5.3.1.). Sadržaj suhe tvari gomolja genotipova u suši bio je manji za 8,9 % u usporedbi sa sadržajem suhe tvari gomolja genotipova u kontroli. Ovakav rezultat u skladu je s rezultatima koje su dobili Stark i sur. (2013.), Soltys-Kalina i sur. (2016) i Rykaczewska (2017.) u kojima je suša uzrokovala smanjenje prosječnog sadržaja suhe tvari gomolja.

5.4. Interakcija genotip x tretman (G x T) za RWC i komponente prinosa

Graf 5.4.1. prikazuje rezultate interakcije genotip x tretman za RWC. Prikazane su prosječne vrijednosti RWC-a kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za sve korištene genotipove.



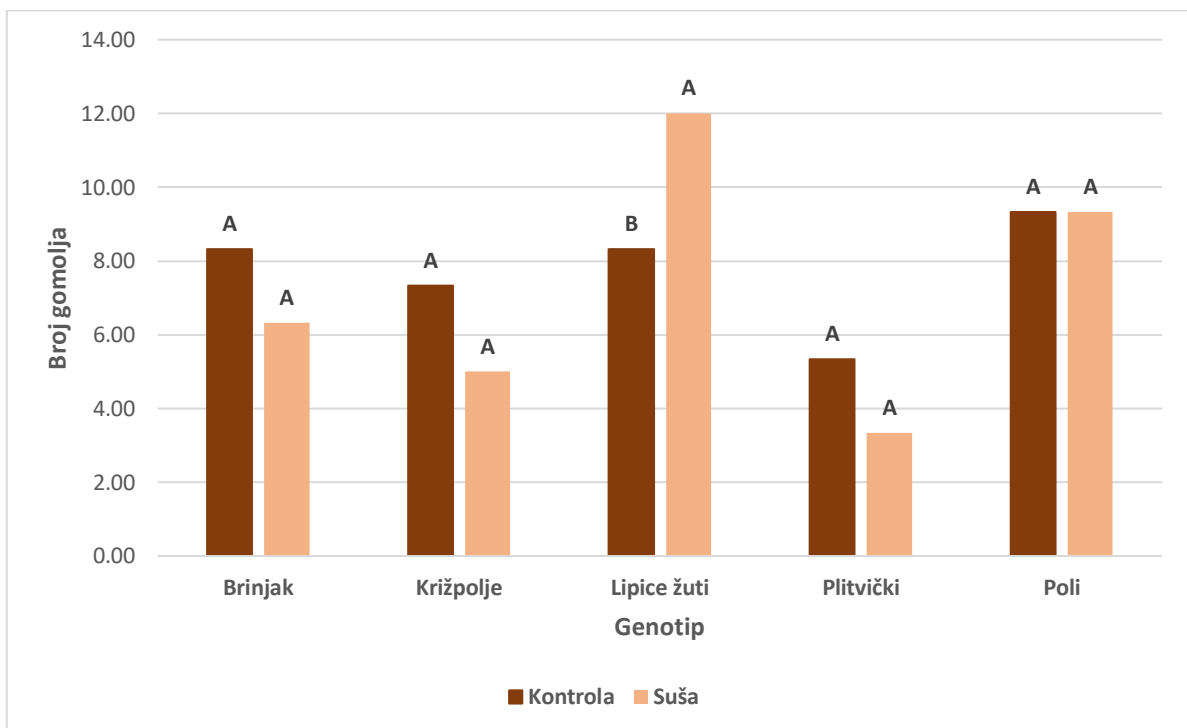
Graf 5.4.1. Interakcija genotip x tretman za prosječni RWC kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za svaki korišteni genotip

Vrijednosti u stupcima unutar istog genotipa označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Najveći RWC kontrolnih biljaka utvrđen je kod genotipa 'Plitvički' (85,82 %), dok je najmanji RWC kontrolnih biljaka utvrđen kod genotipa 'Lipice žuti' (82,05 %). Razlika između najvećeg i najmanjeg utvrđenog RWC-a kod kontrolnih biljaka iznosila je 4,4 %. Kod biljaka u stresu suše genotip 'Plitvički' također je imao najveći RWC (65,40 %), dok je najmanji RWC biljaka u stresu suše imao genotip 'Križpolje' (52,58 %) (graf 5.4.1.). Razlika između najvećeg i najmanjeg utvrđenog RWC-a kod biljaka u stresu suše iznosila je 19,6 %. RWC kontrolnih biljaka bio je značajno veći u usporedbi s RWC-om biljaka u stresu suše kod svih genotipova. Najmanji gubitak RWC-a u stresu suše, u usporedbi s kontrolnim biljkama za pojedini genotip utvrđen je kod genotipa 'Plitvički', u kojem je RWC biljaka u stresu suše bio 23,8 % manji od RWC-a kontrolnih biljaka. Najveći gubitak RWC-a biljaka u stresu suše u usporedbi s kontrolnim biljkama za pojedini genotip utvrđen je kod genotipa 'Križpolje', u kojem je RWC biljaka u stresu suše bio 38,11 % manji od RWC-a kontrolnih biljaka. Iako kontrolne biljke svih genotipova imaju sličnu razinu RWC-a, s malom stopom razlike, u stresu suše moguće je podijeliti kultivare u dvije skupine. Prvu skupinu čine genotipovi 'Plitvički' i 'Brinjak'. Ovi genotipovi su u stresu suše zadržali veći prosječni RWC s manjom stopom gubitka u odnosu na kontrolne biljke. Drugu skupinu čine genotipovi 'Križpolje', 'Poli' i 'Lipice žuti' koji su u

stresu suše nešto više smanjili RWC u odnosu na kontrolu. Rezultati ovog istraživanja slažu se s rezultatima istraživanja koje su proveli Soltys-Kalina i sur. (2016.). Ovakvi rezultati mogu upućivati na moguću tolerantnost prve skupine genotipova na stres suše i njihovu prikladnost za uzgoj ili korištenje u oplemenjivačkim programima. Ipak RWC se ne smije koristiti kao jedini faktor prilikom ove odluke.

Graf 5.4.2. prikazuje rezultate interakcije genotip x tretman za prosječni broj gomolja. Prikazane su prosječne vrijednosti broja gomolja kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za sve korištene genotipove.



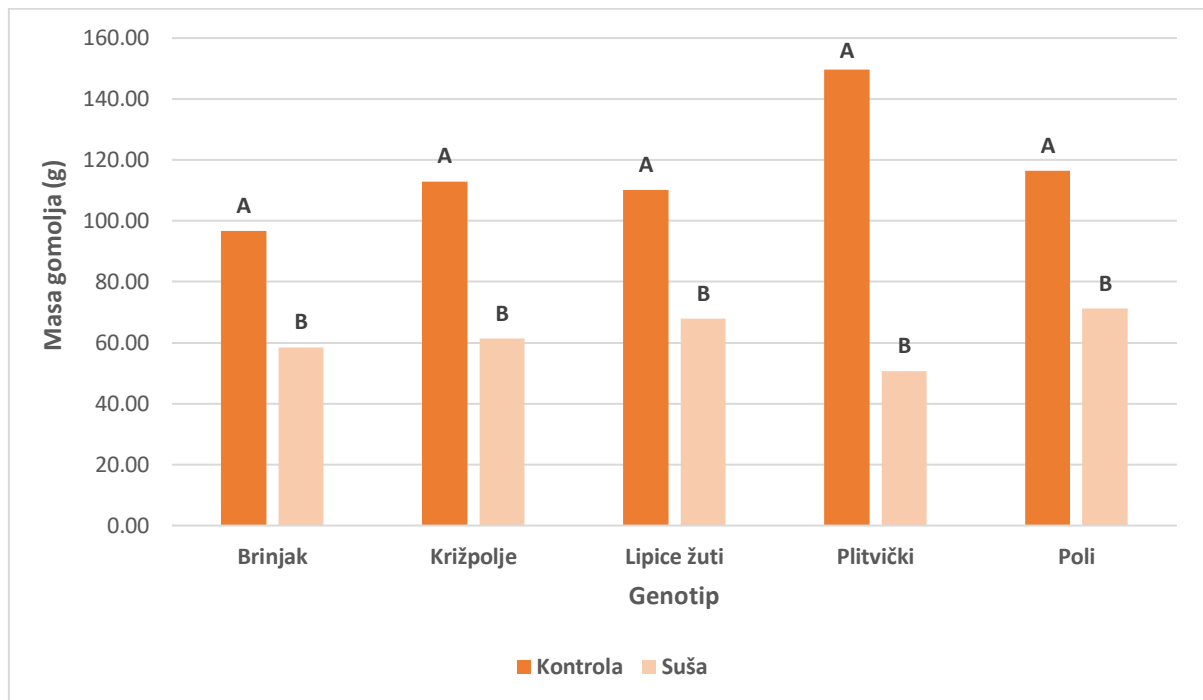
Graf 5.4.2. Interakcija genotip x tretman za prosječni broj gomolja kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za svaki korišteni genotip

Vrijednosti u stupcima unutar istog genotipa označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Najveći broj gomolja u kontroli utvrđen je kod genotipa 'Poli' (9,33), dok je najmanji broj gomolja utvrđen kod genotipa 'Plitvički' (5,33). Razlika između genotipova s najvećim i najmanjim brojem gomolja u kontroli iznosila je 42,9 %. Kod biljaka u stresu suše genotip 'Lipice žuti' imao je najveći broj gomolja (12,00), dok je najmanji također imao genotip 'Plitvički' (3,33) (graf 5.4.2.). Razlika između genotipova s najvećim i najmanjim brojem gomolja kod biljaka u stresu suše iznosila je 72,25 %. Jedini genotip kod kojeg je utvrđena značajna razlika u broju gomolja između kontrole i suše je 'Lipice žuti'. To je ujedno jedini genotip kod kojeg je utvrđen porast broja gomolja u stresu suše u odnosu na kontrolu. Kod ostalih genotipova nije utvrđena značajna razlika između broja gomolja kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše. Najmanji gubitak broja gomolja u usporedbi kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše utvrđen je kod genotipa 'Brinjak', u kojem je prosječni broj gomolja biljaka u

stresu suše bio 24 % manji od prosječnog broja gomolja kontrolnih biljaka. Najveći gubitak broja gomolja u usporedbi kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše utvrđen je kod genotipa 'Plitvički', u kojem je broj gomolja biljaka u stresu suše bio 37,52 % manji od broja gomolja kontrolnih biljaka. Kod genotipa 'Lipice žuti' utvrđen je porast broja gomolja biljaka u stresu suše u usporedbi s kontrolnim biljkama od 30,58 %. Dobiveni rezultati pokazuju nepredvidivost u predviđanju tolerantnosti na sušu na temelju broja gomolja i u skladu su s rezultatima koje su dobili Rykaczewska (2017.) i Gervais i sur. (2021.). Pod utjecajem stresa suše može doći do smanjenja, nepromijenjenosti ili povećanja broja gomolja, ovisno o genotipu. Možda je upravo nemogućnost suše da promijeni prosječni broj gomolja genotipa 'Poli' indikator njegove tolerantnosti. Tolerantnost se ne može utvrditi samo na temelju prosječnog broja gomolja i potrebno je istražiti kvalitetu gomolja genotipa 'Poli'. Kvaliteta gomolja i njegova tržišna upotrebljivost, a samim time i ekonomska isplativost puno su bitniji faktori od kvantitete i broja gomolja. Postavlja se pitanje je li bolje imati genotip krumpira koji daje mali broj visoko kvalitetnih, tržišno upotrebljivih i ekonomski isplativih gomolja, ili genotip koji daje veći broj manje kvalitetnih, upitno tržišno upotrebljivih i upitno ekonomski isplativih gomolja. Isti genotip krumpira može različito reagirati na stres suše u različitim uzgojnim uvjetima, samim time treba istražiti koliki broj gomolja pojedini genotip formira u različitim uzgojnim uvjetima. Samo ovakvim detaljnim istraživanjem i optimiziranjem uzgojnih uvjeta i odgovora na stres suše (kao i na druge stresove) može se doći do željenog genotipa koji stvara optimalan broj gomolja. Također bitno je broj gomolja kombinirati s drugim faktorima tolerantnosti da bi se došlo do genotipa koji u određenim uzgojnim uvjetima, izložen određenim stresovima, daje najveću kvantitetu i kvalitetu prinosa koji je tržišno upotrebljiv i ekonomski isplativ.

Graf 5.4.3. prikazuje rezultate interakcije genotip x tretman za prosječnu masu gomolja. Prikazane su prosječne vrijednosti mase gomolja kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za sve korištene genotipove.



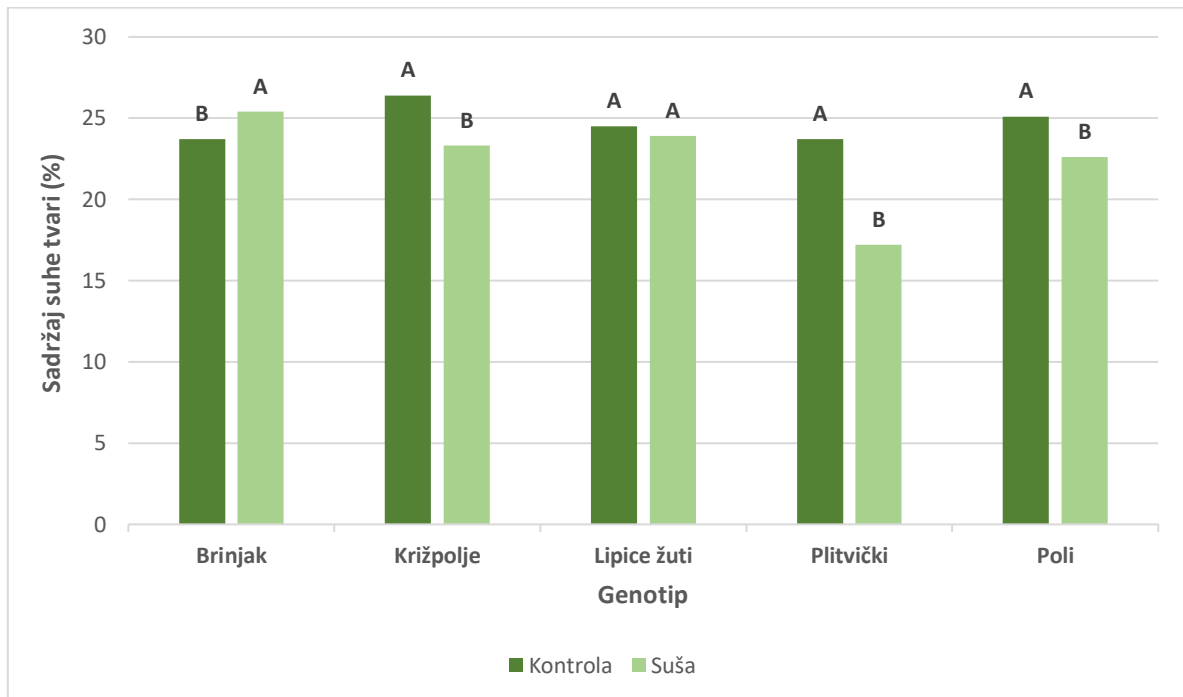
Graf 5.4.3. Interakcija genotip x tretman za prosječnu masu gomolja kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za svaki korišteni genotip

Vrijednosti u stupcima unutar istog genotipa označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Najveća masa gomolja u kontroli utvrđena je kod genotipa 'Plitvički' (149,66 g), dok je najmanja utvrđena kod genotipa 'Brinjak' (96,80 g). Razlika između najveće i najmanje utvrđene prosječne mase gomolja kontrolnih biljaka iznosila je 31,16 %. U suši najveća masa gomolja utvrđena je kod genotipa 'Poli' (71,20 g), dok je najmanja masa gomolja utvrđena kod genotipa 'Plitvički' (50,60 g) (graf 5.4.3.). Razlika između najveće i najmanje utvrđene mase gomolja biljaka u stresu suše iznosila je 28,93 %. Masa gomolja u kontroli bila je značajno veća u usporedbi s masom gomolja u suši kod svih genotipova. Najmanji gubitak mase gomolja u suši utvrđen je kod genotipa 'Lipice žuti', kod kojeg je masa gomolja u stresu suše bila 38,32 % manja od mase gomolja kontrolnih biljaka. Najveći gubitak mase gomolja u suši utvrđen je kod genotipa 'Plitvički', kod kojeg je masa gomolja biljaka u stresu suše bila 66,19 % manja od mase gomolja u kontroli. Na osnovi dobivenih rezultata utvrđeno je smanjenje mase gomolja između kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše kod svih genotipova, što se slaže s rezultatima istraživanja koje su proveli Carly i sur. (2014.) i Obidiegwu i sur. (2015.) i rezultatima koje su utvrdili Aliche i sur. (2018.). Iz rezultata je vidljivo da jedino genotip 'Plitvički' ima značajno veću masu gomolja u kontrolnim uvjetima od ostalih testiranih genotipova, međutim suša je utjecala na značajno smanjenje te mase. S druge pak strane, u suši nije utvrđena značajna razlika u masi gomolja među testiranim

genotipovima. Stoga je vrlo važno prilikom odabira genotipa imati u vidu okolinske uvjete u kojima će se odvijati proizvodnja krumpira.

Graf 5.4.4. prikazuje rezultate interakcije genotip x tretman za prosječni sadržaj suhe tvari gomolja. Prikazane su prosječne vrijednost sadržaja suhe tvari gomolja kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za sve korištene genotipove.



Graf 5.4.4. Interakcija genotip x tretman za prosječni sadržaj suhe tvari gomolja kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za svaki korišteni genotip

Vrijednosti u stupcima unutar istog genotipa označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Najveći sadržaj suhe tvari gomolja u kontroli utvrđen je kod genotipa 'Križpolje' (26,4 %), dok je najmanji utvrđen kod genotipova 'Brinjak' i 'Plitvički' (23,7 %). Razlika između najvećeg i najmanjeg utvrđenog sadržaja suhe tvari gomolja kontrolnih biljaka iznosila je 10,15 %. U suši najveći sadržaj suhe tvari gomolja utvrđen je kod genotipa 'Brinjak' (25,4 %), dok je najmanji utvrđen kod genotipa 'Plitvički' (17,2 %) (graf 5.4.4.). Razlika između najvećeg i najmanjeg utvrđenog sadržaja suhe tvari gomolja u suši iznosila je 32,28 %. Kod genotipa 'Brinjak' utvrđen je značajan porast sadržaja suhe tvari gomolja u suši u odnosu na kontrolu, dok kod genotipa 'Lipice žuti' nije utvrđena značajna razlika među tretmanima. Kod ostalih genotipova dogodio se pad sadržaja suhe tvari gomolja biljaka u stresu suše u odnosu na kontrolu. Najmanji gubitak sadržaja suhe tvari gomolja u usporedbi kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za pojedini genotip utvrđen je kod genotipa 'Lipice žuti', kod kojeg je sadržaj suhe tvari gomolja u suši bio 2,45 % manji od sadržaja suhe tvari u kontroli. Najveći gubitak sadržaja suhe tvari gomolja u usporedbi kontrole i suše utvrđen je kod genotipa 'Plitvički', kod kojeg je sadržaj suhe tvari gomolja u suši bio 27,43 % manji nego u kontroli.

Kod genotipa 'Brinjak' sadržaj suhe tvari gomolja biljaka u stresu suše u usporedbi s kontrolnim biljkama bilježi porast od 6,69 %. Iz rezultata je vidljivo da u većini korištenih genotipova dolazi do smanjenja prosječnog sadržaja suhe tvari gomolja biljaka u stresu suše. To smanjenje, ovisno o genotipu, može i ne mora biti značajno. Ovi rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Steckel i Gray (1979.). Povećanje prosječnog sadržaja suhe tvari gomolja biljaka u stresu suše kod genotipa 'Brinjak' vjerojatno nije posljedica veće fotosintetske aktivnosti već smanjenja količine vode u gomolju. Uvjeti stresa suše mogu rezultirati većom koncentracijom suhe tvari gomolja, ali kako suša rezultira manjom veličinom gomolja, što je istraživanjem potvrđeno za genotip 'Brinjak' (graf 5.4.3.), ukupna količina suhe tvari gomolja je manja. Ovakvu pretpostavku potvrđuje istraživanje koje su proveli Jefferies i Mackerron (1993.). Prema tome, treba biti oprezan pri izboru genotipova za uzgoj u stresu suše na temelju sadržaja suhe tvari gomolja. Genotipovi koji bilježe porast sadržaja suhe tvari gomolja biljaka u stresu suše, najčešće to čine na štetu veličine gomolja.

5.5. Analiza varijance (ANOVA) kemijskih komponenti gomolja

U tablici 5.5.1. prikazani su rezultati analize varijance za kemijske komponente gomolja. Analizirane kemijske komponente gomolja u ovom istraživanju su: sadržaj prolina, sadržaj proteina, maseni udio askorbinske kiseline i sadržaj reducirajućih šećera.

Tablica 5.5.1. Rezultati analize varijance za kemijske komponente gomolja

	Sadržaj prolina		Sadržaj proteina		Maseni udio askorbinske kiseline		Sadržaj reducirajućih šećera	
	F vrijednost	Pr>F	F vrijednost	Pr>F	F vrijednost	Pr>F	F vrijednost	Pr>F
Genotip (G)	48,4	***	5,25	**	26,49	***	137,71	***
Tretman (T)	218,52	***	114,81	***	1,38	n.s.	50,22	***
Interakcija G x T	23,13	***	3,17	*	1,5	n.s.	98,07	***

Signifikantnost F vrijednosti kod: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$, n.s. – nije signifikantno

Između genotipova utvrđena je visoko značajna razlika za svojstva: sadržaj prolina, maseni udio askorbinske kiseline i sadržaj reducirajućih šećera, dok je za svojstvo sadržaja proteina utvrđena značajna razlika.

Između tretmana utvrđena je visoko značajna razlika za svojstva: sadržaj prolina, sadržaj proteina i sadržaj reducirajućih šećera, dok za svojstvo masenog udjela askorbinske kiseline nije utvrđena statistički značajna razlika.

U interakciji genotipa i tretmana utvrđena je visoko značajna razlika za svojstva: sadržaj prolina i sadržaj reducirajućih šećera. Za svojstvo sadržaja proteina utvrđena je nisko značajna razlika, dok za svojstvo masenog udjela askorbinske kiseline nije utvrđena statistički značajna razlika.

5.6. Utjecaj genotipa na prosječne vrijednosti kemijskih komponenti gomolja

U tablici 5.6.1. prikazan je utjecaj genotipa na kemijske komponente gomolja. Tablica prikazuje razlike u prosječnim vrijednostima ispitivanih parametara za svaki korišteni genotip zasebno.

Tablica 5.6.1. Utjecaj genotipa na prosječne vrijednosti kemijskih komponenti gomolja

Genotip	Sadržaj prolina ($\mu\text{mol/g}$)	Sadržaj proteina (g/kg)	Maseni udio askorbinske kiseline (g/kg)	Sadržaj reducirajućih šećera (mg/kg)
Brinjak	0,24 C	17,20 A	6,16 B	79,44 D
Križpolje	0,31 BC	15,65 B	5,02 C	204,18 A
Lipice žuti	0,33 BC	16,12 AB	6,20 B	118,78 B
Plitvički	0,88 A	15,76 AB	7,53 A	118,71 B
Poli	0,46 B	15,21 B	4,74 C	94,18 C

Vrijednosti u stupcima označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Prosječni sadržaj prolina izražen je u μmol prolina/g suhog gomolja. Najviši prosječni sadržaj prolina utvrđen je kod genotipa 'Plitvički' (0,88 $\mu\text{mol/g}$), dok je najniži prosječni sadržaj prolina utvrđen kod genotipa 'Brinjak' (0,24 $\mu\text{mol/g}$). Prosječni sadržaj prolina genotipa 'Plitvički' bio je značajno viši od prosječnog sadržaja prolina svih ostalih genotipova. Nije utvrđena značajna razlika u prosječnom sadržaju prolina između genotipa 'Poli' (0,46 $\mu\text{mol/g}$) i genotipova 'Križpolje' (0,31 $\mu\text{mol/g}$) i 'Lipice žuti' (0,33 $\mu\text{mol/g}$). Genotip 'Brinjak' imao je značajno niži prosječni sadržaj prolina od genotipova 'Plitvički' i 'Poli', dok u usporedbi s genotipovima 'Križpolje' i 'Lipice žuti' nije utvrđena značajna razlika u prosječnom sadržaju prolina (tablica 5.6.1.). Ovakvi rezultati u skladu su s rezultatima koje su dobili Al Mahmud i sur. (2015.), koji su utvrdili da pojedini genotipovi akumuliraju više prosječne razine prolina u uvjetima stresa suše. Isti autori utvrdili su da takvi genotipovi bolje uspijevaju u uvjetima stresa suše te su ih označili kao tolerantnije na stres suše.

Prosječni sadržaj proteina izražen je u g proteina/kg suhog gomolja. Ovaj postupak određivanja sadržaja proteina temelji se na brzom pomaku maksimuma apsorpcije, od 465 nm na 595 nm, koji se javlja u trenutku kada se boja Coomassie briljant plavo G-250 (eng. *Coomassie Brilliant Blue*), u kiseloj otopini, veže na bočne ogranke bazičnih i aromatskih aminokiselina pri čemu se boja otopine mijenja iz zelenkaste u plavu. Smatra se da se u kiseloj sredini (otopini) elektrostatskim silama sulfonske skupine bolje vežu s navedenim aminokiselinskim ostacima polipeptida. Najviši prosječni sadržaj proteina utvrđen je kod genotipa 'Brinjak' (17,20 g/kg), dok je najniži prosječni sadržaj proteina utvrđen kod genotipa 'Poli' (15,21 g/kg). Prosječni sadržaj proteina genotipa 'Brinjak' bio je značajno viši od prosječnog sadržaja proteina genotipova 'Križpolje' (15,65 g/kg) i 'Poli'. Između ostalih genotipova nije utvrđena značajna razlika u prosječnom sadržaju proteina (tablica 5.6.1.). Ovakvi rezultati u skladu su s rezultatima koje su dobili Gervais i sur. (2021.), koji su utvrdili da genotipovi označeni kao tolerantni nakupljaju više razine proteina od genotipova koji su označeni osjetljivima na stres suše. Također, Shinozaki i Yamaguchi-Shinozaki (2007.) ističu da je otpornost na stres suše, na molekularnoj i genomskoj razini, uvjetovana ekspresijom različitih gena povezanih sa stresom suše koji kodiraju proteine. Samim time, genotipovi s višim prosječnim sadržajem proteina imaju veću vjerojatnost otpornosti ili tolerantnosti na stres suše.

Prosječni maseni udio askorbinske kiseline izražen je u g askorbinske kiseline/kg suhog gomolja. Princip ove metode temelji se na titraciji diklorfenolindofenolom (sin. fenol-indo-2,6-diklorfenolom) (eng. *dichlorophenolindophenol* ili *phenol-indo-2,6-dichlorophenol*, kratica DCPIP). Askorbinska kiselina reagira s DCPIP-om mijenjajući njegovu plavu boju u bezbojnu. Ova reakcija odvija se u omjeru 1:1. Prema tome ako poznata količina otopine DCPIP-a reagira s ekstraktom biljnog tkiva, upotrijebljena količina DCPIP-a daje izravnu mjeru prisutne askorbinske kiseline. Najveći prosječni maseni udio askorbinske kiseline utvrđen je kod genotipa 'Plitvički' (7,53 g/kg), dok je najmanji prosječni maseni udio askorbinske kiseline utvrđen kod genotipa 'Poli' (4,74 g/kg) (tablica 5.6.1.). Prosječni maseni udio askorbinske kiseline genotipa 'Plitvički' bio je značajno veći u odnosu na prosječni maseni udio askorbinske kiseline svih ostalih genotipova. Prosječni maseni udio askorbinske kiseline genotipova 'Brinjak' (6,16 g/kg) i 'Lipice žuti' (6,20 g/kg) bio je značajno manji od prosječnog masenog udjela askorbinske kiseline genotipa 'Plitvički', dok je u odnosu na prosječni maseni udio askorbinske kiseline genotipova 'Križpolje' (5,02 g/kg) i 'Poli' bio značajno veći. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Andre i sur. (2009.), koji su utvrdili da stres suše ima slab utjecaj na sadržaj antioksidansa, među kojima je i askorbinska kiselina, te da taj sadržaj pokazuje velike varijacije ovisno o genotipu. Isti autori utvrdili su da su te varijacije izraženije kod genotipova crvene boje pokožice.

Prosječni sadržaj reducirajućih šećera izražen je u mg šećera/kg suhog gomolja. Najviši prosječni sadržaj reducirajućih šećera utvrđen je kod genotipa 'Križpolje' (204,18 mg/kg), dok je najmanji prosječni sadržaj reducirajućih šećera utvrđen kod genotipa 'Brinjak' (79,44 mg/kg) (tablica 5.6.1.). Prosječni sadržaj reducirajućih šećera genotipa 'Križpolje' bio je značajno viši od prosječnog sadržaja reducirajućih šećera svih ostalih genotipova.

Genotipovi 'Lipice žuti' (118,78 mg/kg) i 'Plitvički' (118,71 mg/kg) imali su značajno niži prosječni sadržaj reducirajućih šećera u odnosu na genotip 'Križpolje', dok je u odnosu na genotipove 'Poli' (94,18 mg/kg) i 'Brinjak' prosječni sadržaj reducirajućih šećera bio značajno viši. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Gupta i Kaur (2005.), koji su utvrdili da šećeri modificiraju transkripciju mnogih gena povezanih sa stresom suše. Stoga je za očekivati da genotipovi s višim prosječnim sadržajem reducirajućih šećera budu tolerantniji na stres suše. S druge pak strane, iako je akumulacija reducirajućih šećera dobra u svrhu odgovora na stres suše, loše se odražava na kvalitetu gomolja. U industrijskoj preradi poželjni su oni genotipovi koji akumuliraju niske ili vrlo niske razine reducirajućih šećera, dok otpornost ili tolerantnost na sušu održavaju drugim mehanizmima.

5.7. Utjecaj tretmana na prosječne vrijednosti kemijskih komponenti gomolja

Tablica 5.7.1. prikazuje prosječni utjecaj koji je tretman suše imao na kemijske komponente gomolja i prikazuje razlike u prosječnim vrijednostima ispitivanih parametara za kontrolne biljke i biljke koje su bile u stresu suše.

Tablica 5.7.1. Utjecaj tretmana na prosječne vrijednosti kemijskih komponenti gomolja

Tretman	Sadržaj prolina ($\mu\text{mol/g}$)	Sadržaj proteina (g/kg)	Maseni udio askorbinske kiseline (g/kg)	Sadržaj reducirajućih šećera (mg/kg)
Kontrola (K)	0,20 B	14,42 B	6,04 A	101,85 B
Suša (S)	0,69 A	17,56 A	5,82 A	132,27 A

Vrijednosti u stupcima označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Prosječni sadržaj prolina svih genotipova u tretmanu suše (0,69 $\mu\text{mol/g}$) bio je značajno viši (71,01 %) od prosječnog sadržaja prolina svih genotipova kontrole (0,20 $\mu\text{mol/g}$) (tablica 5.7.1.). Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Crusciol i sur. (2009.), koji su utvrdili da izloženost biljaka stresu suše rezultira višom koncentracijom prolina.

Prosječni sadržaj proteina svih genotipova u tretmanu suše (17,56 g/kg) bio je značajno viši (17,9 %) od prosječnog sadržaja proteina svih genotipova u kontroli (14,42 g/kg) (tablica 5.7.1.). Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Shinozaki i Yamaguchi-Shinozaki (2007.), koji su utvrdili da stres suše potiče ekspresiju brojnih gena koji kodiraju proteine u svrhu odgovora na stres. Samim time došlo je do povećanja sadržaja proteina u biljkama izloženima stresu suše.

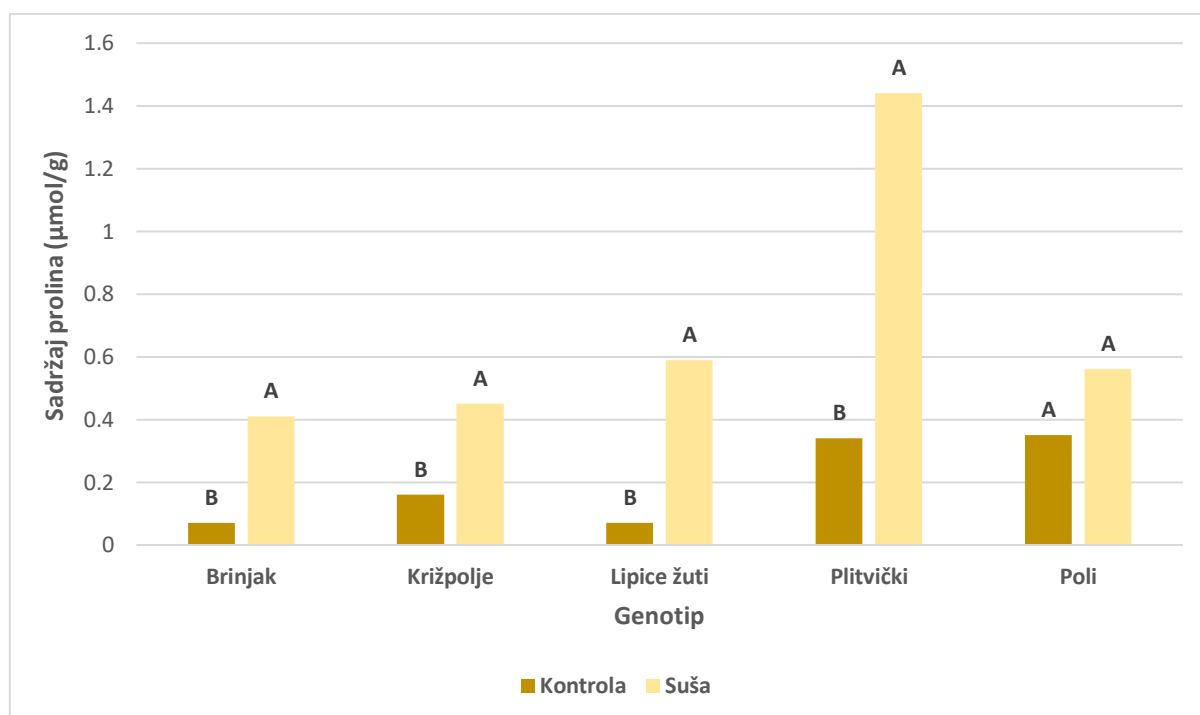
Nije utvrđena značajna razlika između prosječnog masenog udjela askorbinske kiseline svih genotipova u kontroli (6,04 g/kg) i prosječnog masenog udjela askorbinske kiseline svih genotipova u suši (5,82 g/kg) (tablica 5.7.1.). Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Andre i sur. (2009), koji su utvrdili da stres suše ne utječe ili ima slab utjecaj na sadržaj antioksidansa, među kojima je i askorbinska kiselina.

Prosječni sadržaj reducirajućih šećera svih genotipova u suši (132,27 mg/kg) bio je značajno viši (23 %) od prosječnog sadržaja reducirajućih šećera svih genotipova u kontroli (101,85 mg/kg) (tablica 5.7.1.). Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Rudack i sur. (2017), koji su utvrdili da se reducirajući šećeri u gomolju nakupljaju kao jedan od načina odgovora na stres suše. Isti autori utvrdili su razliku u prosječnom sadržaju reducirajućih šećera između tretmana koja je iznosila 18,65 %.

5.8. Interakcija genotip x tretman (G x T) za kemijske komponente gomolja

Interakcija genotip x tretman utvrđena je za svojstva: sadržaj prolina, sadržaj proteina i sadržaj reducirajućih šećera. Analiza varijance kemijskih komponenti gomolja pokazala je da interakcija genotip x tretman nije značajno utjecala na maseni udio askorbinske kiseline, pa za to svojstvo interakcija genotip x tretman nije utvrđivana.

Graf 5.8.1. prikazuje rezultate interakcije genotip x tretman za prosječni sadržaj prolina u gomolju. Prikazane su prosječne vrijednosti sadržaja prolina u gomolju kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za sve korištene genotipove.



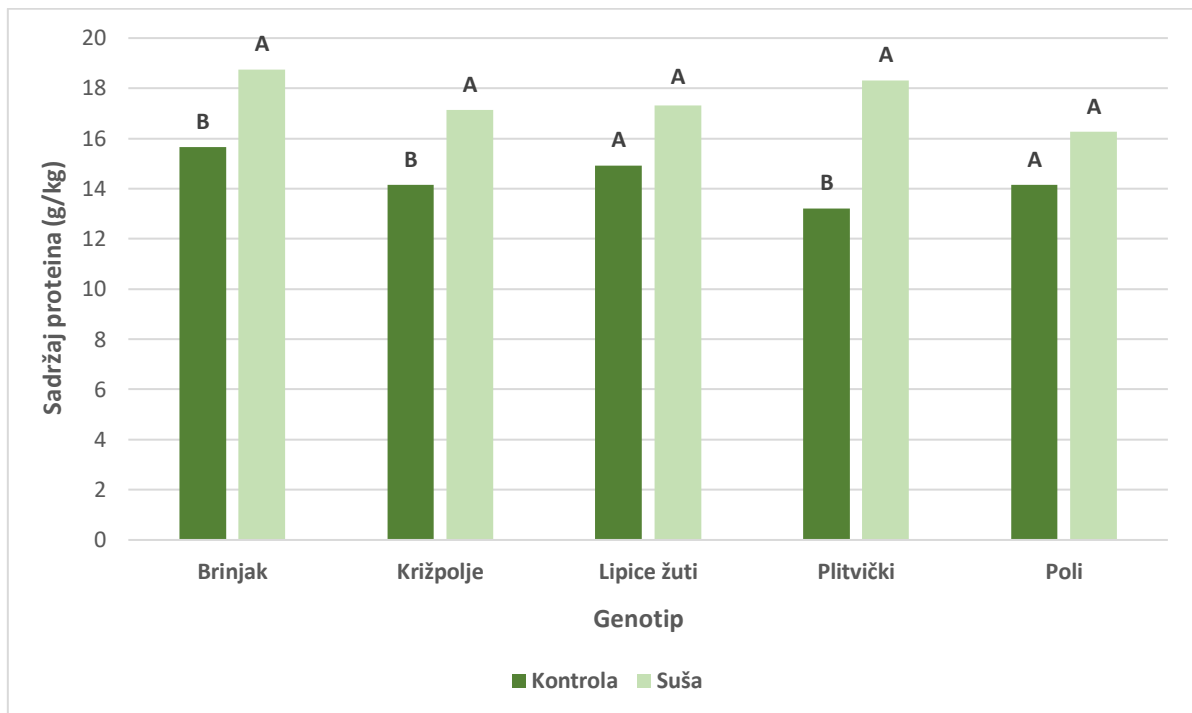
Graf 5.8.1. Interakcija genotip x tretman za prosječni sadržaj prolina u gomolju kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za svaki korišteni genotip

Vrijednosti u stupcima unutar istog genotipa označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Najviši sadržaj prolina u kontroli utvrđen je kod genotipa 'Poli' (0,35 µmol/g), dok je najniži utvrđen kod genotipova 'Brinjak' i 'Lipice žuti' (0,07 µmol/g). Razlika između najvišeg i najnižeg utvrđenog sadržaja prolina kod kontrolnih biljaka iznosila je 80 %. Kod biljaka u stresu suše najviši sadržaj prolina utvrđen je kod genotipa 'Plitvički' (1,44 µmol/g), dok je najniži sadržaj prolina utvrđen kod genotipa 'Brinjak' (0,41 µmol/g) (graf 5.8.1.). Razlika između najvišeg i najnižeg utvrđenog sadržaja prolina kod biljaka u stresu suše iznosila je 71,53 %. Kod svih korištenih genotipova dogodio se porast prosječnog sadržaja prolina kod biljaka u stresu suše u usporedbi s kontrolnim biljkama. Kod genotipova 'Brinjak', 'Križpolje', 'Lipice žuti' i 'Plitvički' sadržaj prolina bio je značajno viši kod biljaka u stresu suše u usporedbi s kontrolnim biljkama. Kod genotipa 'Poli' nije utvrđena značajna razlika u sadržaju

prolina između biljaka u stresu suše i kontrolnih biljaka. Najmanje povećanje sadržaja prolina između tretmana suše i kontrole, za pojedini genotip, utvrđen je kod genotipa 'Poli' (37,5 %). Najveće povećanje sadržaja prolina u stresu suše utvrđeno je kod genotipa 'Lipice žuti', kod kojeg je sadržaj prolina u suši bio 88,14 % viši od sadržaja prolina u kontroli. Najveći sadržaj prolina u suši imao je genotip 'Plitvički'. Kod navedenog genotipa utvrđeno je povećanje sadržaja prolina u suši za 76,4 %. Dobiveni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja kojeg su proveli Crusciol i sur. (2009.). U istraživanju koje su proveli navedeni autori, kao i u ovom istraživanju, došlo je do porasta prosječnog sadržaja prolina zbog utjecaja stres suše. Nadalje, rezultati se podudaraju s rezultatima koje su u svom istraživanju utvrdili Al Mahmud i sur. (2015.), koji ističu da pojedini genotipovi akumuliraju veći sadržaj prolina u uvjetima stresa suše. Isti autori tvrde da genotipovi koji akumuliraju više prolina bolje uspijevaju u uvjetima stresa suše i ubrajaju ih u tolerantne genotipove. Prema tome, na temelju dobivenih rezultata ovog istraživanja, prema prosječnom sadržaju prolina, genotip 'Plitvički' mogao bi biti tolerantan na stres suše. I ostali korišteni genotipovi također su povisili prosječni sadržaj prolina u stresu suše te je vidljivo da i oni, iako to čine manje efektivno od genotipa 'Plitvički', akumulacijom i povećanjem sadržaja prolina odgovaraju na stres suše.

Graf 5.8.2. prikazuje rezultate interakcije genotip x tretman za sadržaj proteina u gomolju. Prikazane su vrijednosti sadržaja proteina u gomolju kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za sve korištene genotipove.



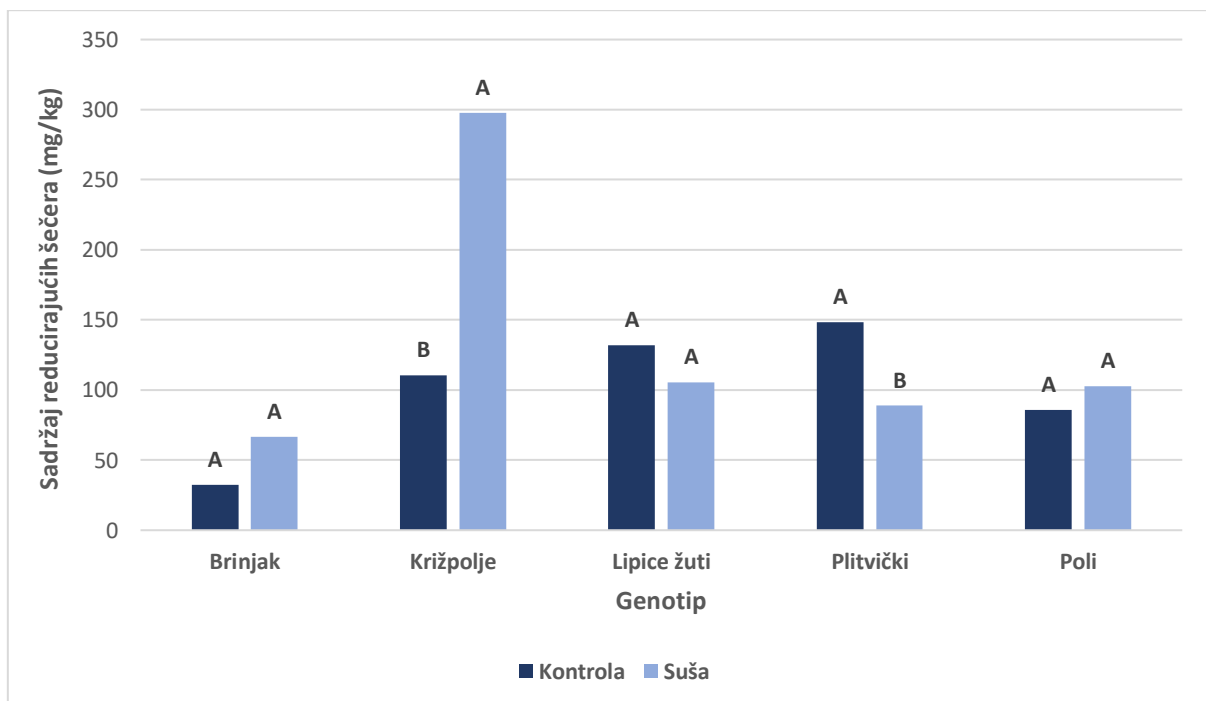
Graf 5.8.2. Interakcija genotip x tretman za prosječni sadržaj proteina u gomolju kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za svaki korišteni genotip

Vrijednosti u stupcima unutar istog genotipa označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Među testiranim genotipovima nije utvrđena značajna razlika u sadržaju proteina u oba tretmana. Najveći sadržaj proteina u kontroli utvrđen je kod genotipa 'Brinjak' (15,65 g/kg), dok je najniži utvrđen kod genotipa 'Plitvički' (13,21 g/kg). Razlika između najvećeg i najmanjeg utvrđenog sadržaja proteina kod kontrolnih biljaka iznosila je 15,6 %. Kod biljaka u stresu suše najveći sadržaj proteina utvrđen je kod genotipa 'Brinjak' (18,75 g/kg), dok je najmanji sadržaj proteina utvrđen kod genotipa 'Poli' (16,27 g/kg) (graf 5.8.2.). Razlika između najvećeg i najmanjeg utvrđenog sadržaja proteina kod biljaka u stresu suše iznosila je 13,23 %. Kod svih korištenih genotipova utvrđen je porast sadržaja proteina kod biljaka u stresu suše u usporedbi s kontrolnim biljkama. Kod genotipova 'Brinjak', 'Križpolje' i 'Plitvički' sadržaj proteina bio je značajno veći u suši, dok kod genotipova 'Lipice žuti' i 'Poli' nije utvrđena značajna razlika u sadržaju proteina među tretmanima. Najveće povećanje sadržaja proteina u suši utvrđeno je kod genotipa 'Plitvički' (27,85 %). Utvrđeno povećanje sadržaja proteina kod svih korištenih genotipova, a ponajprije kod genotipa 'Plitvički' u skladu je s istraživanjem kojeg su proveli Gervais i sur. (2021.). Povećanje sadržaja proteina vjerojatno je posljedica ekspresije gena u svrhu odgovora na stres suše kako su istaknuli Shinozaki i Yamaguchi-Shinozaki (2007.). Dakle, stres suše potiče odgovor genoma, odgovor genoma očituje se ekspresijom gena, a ekspresija gena rezultira sintezom proteina. Prema

tome, za očekivati je da oni genotipovi koji bilježe veće povećanje sadržaja proteina, posjeduju bolje mehanizme tolerantnosti na sušu. Primjer takvih proteina koji genotipovima pružaju mogućnost adekvatnijeg odgovora na stres suše su dehidrini. Dehidrini svojom sposobnošću zamjene vodu, što im omogućuje njihova hidroksilna (OH) skupina, a time smanjuju oštećenja izazvana dehidracijom. Prema tome, genotip 'Plitvički', u pogledu sadržaja proteina, pokazuje mogućnost najboljeg odgovora na stres suše zbog najvišeg rasta prosječnog sadržaja proteina te je za očekivati da pokazuje viši stupanj tolerancije ili otpornosti na stres suše od ostalih korištenih genotipova.

Graf 5.8.3. prikazuje rezultate interakcije genotip x tretman za prosječni sadržaj reducirajućih šećera u gomolju. Prikazane su prosječne vrijednosti sadržaja reducirajućih šećera u gomolju kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za sve korištene genotipove.



Graf 5.8.3. Interakcija genotip x tretman za prosječni sadržaj reducirajućih šećera u gomolju kontrolnih biljaka i biljaka u stresu suše za svaki korišteni genotip

Vrijednosti u stupcima unutar istog genotipa označene različitim slovom značajno se razlikuju kod $p \leq 0,05$

Kod testiranih genotipova nije utvrđena značajna razlika u sadržaju reducirajućih šećera u kontroli, međutim u suši je utvrđen značajno veći sadržaj reducirajućih šećera kod genotipa 'Križpolje' u odnosu na ostale genotipove. Najveći sadržaj reducirajućih šećera u kontroli utvrđen je kod genotipa 'Plitvički' (148,45 mg/kg), dok je najmanji utvrđen kod genotipa 'Brinjak' (32,37 mg/kg). Razlika između najvećeg i najmanjeg utvrđenog sadržaja reducirajućih šećera u kontroli iznosila je 78,19 %. Kod biljaka u stresu suše najveći sadržaj reducirajućih šećera utvrđen je kod genotipa 'Križpolje' (297,84 mg/kg), dok je najmanji utvrđen kod genotipa 'Brinjak' (66,52 mg/kg) (graf 5.8.3.). Razlika između najvećeg i

najmanjeg utvrđenog sadržaja reducirajućih šećera kod biljaka u stresu suše iznosila je 77,67 %. Kod genotipova 'Brinjak', 'Križpolje' i 'Poli' povećao se sadržaj reducirajućih šećera kod biljaka u suši. Kod genotipa 'Križpolje' sadržaj reducirajućih šećera bio je značajno veći kod biljaka u stresu suše. Kod genotipova 'Brinjak' i 'Poli' nije utvrđena značajna razlika u sadržaju reducirajućih šećera među tretmanima. Kod genotipova 'Plitvički' i 'Lipice žuti' došlo je do smanjenja sadržaja reducirajućih šećera u suši. Kod genotipa 'Plitvički' sadržaj reducirajućih šećera bio je značajno manji u suši, dok kod genotipa 'Lipice žuti' nije utvrđena značajna razlika među tretmanima. Dobiveni rezultati ukazuju na mogućnost otpornosti ili tolerantnosti genotipa 'Križpolje' na stres suše. Rudack i sur. (2017.) utvrdili su da se reducirajući šećeri u gomolju nakupljaju kao jedan od načina odgovora na stres suše. Šećeri modificiraju transkripciju mnogih gena povezanih sa stresom suše (Gupta i Kaur, 2005.). Stoga je za očekivati da značajno povećanje prosječnog sadržaja reducirajućih šećera kod genotipa 'Križpolje' utječe na genetski odgovor tog genotipa na stres suše. Ipak, ovaj mehanizam otpornosti ili tolerantnosti na stres suše smatra se nepovoljnim jer povećanje prosječnog sadržaja reducirajućih šećera smanjuje kvalitetu gomolja, naročito u pogledu industrijske prerade. U modernoj agronomskoj proizvodnji teži se genotipovima krumpira koji otpornost ili tolerantnost na sušu održavaju drugim mehanizmima, dok razvojem i dozrijevanjem smanjuju prosječni sadržaj reducirajućih šećera. Iako genotip 'Križpolje' možda posjeduje otpornost ili tolerantnost na stres suše, uvjetovane visokim prosječnim sadržajem reducirajućih šećera, puno boljima se smatraju genotipovi 'Lipice žuti' i 'Plitvički'. Ovi genotipovi održavaju moguću otpornost ili tolerantnost na stres suše drugim mehanizmima (sadržaj prolina, sadržaj proteina), dok sadržaj reducirajućih šećera smanjuju.

Nakon analize rezultata kemijskih komponenti gomolja, u pogledu prosječnog sadržaja prolina, mogu se izdvojiti dva genotipa. Prvi genotip je genotip 'Plitvički', čije biljke u stresu suše imaju najviši prosječni sadržaj prolina. Drugi genotip je genotip 'Lipice žuti', čije biljke u stresu suše bilježe najviši porast prosječnog sadržaja prolina. U pogledu prosječnog sadržaja proteina, mogu se izdvojiti tri genotipa. To su genotipovi 'Brinjak', 'Lipice žuti' i 'Plitvički'. Genotipovi 'Brinjak' i 'Lipice žuti' bilježe slične vrijednosti prosječnog sadržaja proteina te sličan porast prosječnog sadržaja proteina, dok genotip 'Plitvički' ima najviši porast prosječnog sadržaja proteina. U pogledu prosječnog sadržaja reducirajućih šećera, može se izdvojiti genotip 'Križpolje', ali kako je već istaknuto, ovakav mehanizam moguće otpornosti ili tolerantnosti na stres suše, u agronomskom, ekonomskom te prehrambeno-nutricionističkom pogledu, više je mana nego prednost.

6. Zaključak

Cilj ovog rada bio je utvrditi učinak suše na pet hrvatskih tradicijskih genotipova krumpira na temelju fiziološke analize lista te analize komponenti prinosa, kao i biokemijske analize njihovih gomolja. Na temelju dobivenih rezultata utvrđeno je sljedeće:

- Inducirani stres suše značajno je utjecao na smanjenje RWC-a kod svih analiziranih genotipova
- Stres suše značajno je utjecao na masu gomolja i masu suhe tvari, međutim ne i na broj gomolja
 - Manja masa gomolja utvrđena je kod svih genotipova u suši
 - Kod većine genotipova utvrđeno je smanjenje suhe tvari u suši, osim kod 'Brinjaka' (povećanje suhe tvari u suši) te 'Lipice žuti' (nema značajne razlike u sadržaju suhe tvari između kontrole i suše)
 - Jedini genotip kod kojeg je utvrđen veći broj gomolja u suši je 'Lipice žuti'
- Stres suše značajno je utjecao na sadržaj prolina, proteina i reducirajućih šećera u gomolju, međutim nije utjecao na maseni udio askorbinske kiseline
 - Veći sadržaj prolina utvrđen je kod svih genotipova u suši
 - Kod većine genotipova je utvrđen veći sadržaj proteina u suši, osim kod 'Lipice žuti' i 'Poli' kod kojih nije utvrđena značajna razlika u sadržaju proteina među tretmanima
 - Kod većine genotipova nije utvrđena značajna razlika u sadržaju reducirajućih šećera među tretmanima, osim kod 'Križpolja' (značajno veći sadržaj reducirajućih šećera u suši) i 'Plitvičkog' (značajno manji sadržaj reducirajućih šećera u suši)
- Na osnovi dobivenih rezultata (uzimajući u obzir komponente prinosa, kao i kvalitetu gomolja) genotip 'Plitvički' posjeduje najviše svojstava kako bi osigurao siguran, ekonomski isplativ i kvalitetan prinos u sušnim uvjetima

7. Popis literature

1. Akhtar, I., Nazir, N. (2013). Effect of waterlogging and drought stress in plants. *Int J Water Res Environ Sci.* 2:34–40.
2. Al Mahmud, A., Hossain, M., Kadian, M.S., Hoque, M.A. (2015). Physiological and Biochemical Changes in Potato under Water Stress Condition. *Indian J. Plant Physiol.* 20, 297–303.
3. Albiski, F., Najla, S., Sanoubar, R. (2012). In vitro screening of potato lines for drought tolerance. *Physiol Mol Biol Plants.* 18, 315–321. <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0127-5>
4. Aliche, E. B., Oortwijn, M., Theeuwen, T. P. J. M., Bachem, C. W. B., Visser, R. G. F., van der Linden, C. G. (2018). Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agric. Wat. Man.* 206, 20–30. doi: 10.1016/j.agwat.2018.04.013.
5. Aliche, E. B., Theeuwen, T. P. J. M., Oortwijn, M., Visser, R. G. F., van der Linden, C. G. (2020). Carbon partitioning mechanisms in potato under drought stress. *Plant Physiol. Biochem.* 146, 211–219. doi: 10.1016/j.plaphy.2019.11.019
6. Ambrosone, A., Di Giacomo, M., Leone, A., Grillo, M. S., Costa, A. (2013). Identification of early induced genes upon water deficit in potato cell cultures by cDNA-AFLP. *J. Plant Res.* 126, 169–178. doi: 10.1007/s10265-012-0505-7
7. Andre, C. M., Schafleitner, R., Guignard, C., Oufir, M., Alvarado Aliaga, C. A., Nomberto, G. (2009). Modification of the health-promoting value of potato tubers field grown under drought stress: emphasis on dietary antioxidant and glycoalkaloid contents in five native andean cultivars (*Solanum tuberosum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 57, 599–609. doi: 10.1021/jf8025452
8. Anđelković, V. (2018). Introductory Chapter: Climate Changes and Abiotic Stress. U: *Plants, Plant, Abiotic Stress and Responses to Climate Change*, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.76102.
9. Anithakumari, A.M., Dolstra, O., Vosman, B. (2011). In vitro screening and QTL analysis for drought tolerance in diploid potato. *Euphytica.* 181, 357–369. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0446-6>
10. Anjum, S.A., Wang, L.C.; Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., Zou, C.M. (2011). Brassinolide Application Improves the Drought Tolerance in Maize through Modulation of Enzymatic Antioxidants and Leaf Gas Exchange. *J. Agron. Crop Sci.* 197, 177–185.
11. Arbona, V., Manzi, M., de Ollas, C., Gómez-Cadenas, A. (2013). Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants. *Int J Mol Sci.* 14:4885–911.
12. Ávila-Valdés, A., Quinet, M., Lutts, S., Martínez, J.P., Lizana, X.C. (2020). Tuber Yield and Quality Responses of Potato to Moderate Temperature Increase during Tuber Bulking under Two Water Availability Scenarios. *Field Crops Res.* 251, 107786.

13. Beals, K. A. (2019). Potatoes, nutrition and health. *Am. J. Potato Res.* 96, 102–110. doi: 10.1007/s12230-018-09705-4
14. Boguszewska-Mańkowska, D., Zarzyńska, K., Nosalewicz, A. (2020). Drought Differentially Affects Root System Size and Architecture of Potato Cultivars with Differing Drought Tolerance. *Am. J. Potato Res.* 97, 54–62. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09755-2>
15. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive assay for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72, 248-254.
16. Carillo, P., Gibon, Y. (2011). PROTOCOL: Extraction and determination of proline. PrometheusWiki.
17. Carli, C., Yuldashev, F., Khalikov, D., Condori, B., Mares, V., Monneveux, P. (2014). Effect of Different Irrigation Regimes on Yield, Water Use Efficiency and Quality of Potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Lowlands of Tashkent, Uzbekistan: A Field and Modeling Perspective. *Field Crops Res.* 163, 90–99.
18. Chang, D.C., Jin, Y.I., Nam, J.H., Cheon, C.G., Cho, J.H., Kim, S.J., Yu, H.-S. (2018). Early Drought Effect on Canopy Development and Tuber Growth of Potato Cultivars with Different Maturities. *Field Crops Res.* 215, 156–162.
19. Choudhury, A.K. (2009). Water stress tolerance of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Ph.D. Dissertation. Department of Agronomy. Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahaman Agricultural University, Salna, Gazipur-1703. Bangladesh.
20. CPGRD (2023). Croatian Plant Genetic Resources Database. [https://cpgrd.hapih.hr/ - pristup](https://cpgrd.hapih.hr/-pristup) 14. 08. 2023.
21. Crusciol, C. A. C., Pulz, A. L., Lemos, L. B., Soratto, R. P., Lima, G. P. P. (2009). Effects of Silicon and Drought Stress on Tuber Yield and Leaf Biochemical Characteristics in Potato. *Crop Science*, 49(3), 949. doi:10.2135/cropsci2008.04.0233
22. Curwen, D. (1993). Water Management. *Potato Health Management*; American Phytophthological Society: St. Paul, MN, USA, pp. 67–75.
23. Cutler, S. R., Rodriguez, P. L., Finkelstein, R. R., Abrams, S. R. (2010). Abscisic acid: emergence of a core signaling network. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 651–679. doi: 10.1146/annurev-arplant-042809-112122
24. Dai, A. (2010). Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45–65. doi:10.1002/wcc.81
25. Deblonde, P.M.K., Haverkort, A.J., Ledent, J.-F. (1999). Responses of Early and Late Potato Cultivars to Moderate Drought Conditions: Agronomic Parameters and Carbon Isotope Discrimination. *Eur. J. Agron.* 11, 91–105.
26. Deblonde, P.M.K., Ledent, J.-F. (2001). Effects of Moderate Drought Conditions on Green Leaf Number, Stem Height, Leaf Length and Tuber Yield of Potato Cultivars. *Eur. J. Agron.* 14, 31–41.
27. DHMZ (2023). Državni hidrometeorološki zavod. <https://meteo.hr/index.php- pristup> 28.07.2023.

28. Dull, G.G., Birth, G.S., Leffler, R.G. (1989). Use of near infrared analysis for the nondestructive measurement of dry matter in potatoes. *American Potato Journal* 66, 215–225 <https://doi.org/10.1007/BF02853444>
29. Eiasu, B. K., Soundy, P., Hammes, P. S. (2007). Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield components to gelpolymer soil amendments and irrigation regimes. *N. Z. J. Crop Hort.* 35, 25–31. doi: 10.1080/01140670709510164
30. Eldredge, E.P., Holmes, Z.A., Mosley, A.R., Shock, C.C., Stieber, T.D. (1996). Effects of transitory water stress on potato tuber stem-end reducing sugar and fry color. *American Potato Journal*, 73(11), 517–530. doi: 10.1007/bf02851697
31. Epstein, E., Grant, W.J. (1973). Water Stress Relations of the Potato Plant under Field Conditions 1. *Agron. J.* 65, 400–404.
32. Evers, D., Lefevre, I., Legay, S., Lamoureux, D., Hausman, J.-F., Rosales, R. O. G. (2010). Identification of drought-responsive compounds in potato through a combined transcriptomic and targeted metabolite approach. *J. Exp. Bot.* 61, 2327–2343. doi: 10.1093/jxb/erq060
33. Fang Y., Xiong L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences* 72(4):673-689
34. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron Sustain Dev.* 29:185–212.
35. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). FAOSTAT statistical database. [Rome] :FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#home> – pristup 26. 07. 2023.
36. Galle, A., Florez-Sarsa, I., Thameur, A., de Paepe, R., Flexas, J., Ribas-Carbo, M. (2010). Effects of drought stress and subsequent rewatering on photosynthetic and respiratory pathways in *Nicotina sylvestris* wild type and the mitochondrial complex I-deficient CMSII mutant *Journal of Experimental Botany*, 61, 765–775
37. Gervais, T., Creelman, A., Li, X.Q., Bizimungu, B., De Koeyer, D., Dahal, K. (2021). Potato Response to Drought Stress: Physiological and Growth Basis. *Front. Plant Sci.* 12:698060. doi: 10.3389/fpls.2021.698060
38. Gregory, P.J., Simmonds, L.P. (1992). Water relations and growth of potatoes. U: The potato crop – the scientific basis for improvement, pp. 214–246. Springer, Dordrecht.
39. Gupta, A.K., Kaur, N. (2005). Sugar signalling and gene expression in relation to carbohydrate metabolism under abiotic stresses in plants. *Journal of Biosciences* 30, 761–776.
40. Hatfield, J.L., Prueger, J.H. (2015). Temperature Extremes: Effect on Plant Growth and Development. *Weather Clim. Extrem.* 10, 4–10.
41. Haverkort, A.J. (1987). Climate and Potato Crop Growth Interactions in Africa's Continental Divide Region. *Agrometeorol. Potato Crop* 214. 137–148.
42. Hijmans, R.J. (2003). The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research* 80: 271–280.

43. Hill, D., Nelson, D., Hammond, J., Bell, L. (2021). Morphophysiology of potato (*Solanum tuberosum* L.) in response to drought stress: paving the way forward. *Front. Plant Sci.* 15:675690. doi: 10.3389/fpls.2021.675690
44. Jefferies, R.A., Mackerron, D.K.L. (1993). Responses of Potato Genotypes to Drought. II. Leaf Area Index, Growth and Yield. *Ann. Appl. Biol.* 122, 105–112.
45. Joshi, M., Fogelman, E., Belausov, E., Ginzberg, I. (2016). Potato Root System Development and Factors That Determine Its Architecture. *J. Plant Physiol.* 205, 113–123
46. Jovanović, Z., Štikić, R., Vučelić-Radović, B., Pauković, M., Bročić, Z., Matović, G., Rovčanin, S., Mojević, M. (2010). Partial Root-Zone Drying Increases WUE, N and Antioxidant Content in Field Potatoes. *Eur. J. Agron.* 33, 124–131.
47. Kameli, A., D.M. Losel. (1993). Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress. *New Phytol.* 125:609–614.
48. Kashiwagi, J., Iwama, K., Hasegawa, T., Nagata, T. (2000). The Relationship between the Root Mass in Seedlings and Tuber Generations in Potato. U: Proceedings of the 12th Symposium of ISTRC, Tsukuba, Japan, 10–16 September; pp. 446–450.
49. Keles Y., Öncel, I. (2004). Growth and Solute Composition in Two Wheat Species Experiencing Combined Influence of Stress Conditions. *Russ J Plant Physl* 51(5): 203–208.
50. Kereša, S., Barić, M., Horvat, M., Habuš Jerčić, I. (2008). Mehanizmi tolerantnosti biljaka na sušu i njihova genska osnova kod pšenice. *Sjemenarstvo*, 25 (1), 35-45. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/26062>
51. Kesiime, V.E., Tusiime, G., Kashaija, I.N., Edema, R., Gibson, P., Namugga, P., Kakuhenzire, R. (2016). Characterization and Evaluation of Potato Genotypes (*Solanum tuberosum* L.) for Tolerance to Drought in Uganda. *Am. J. Potato Res.* 93, 543–551.
52. Kheradmand, M.A., Shahmoradzadeh Fahraji, S., Fatahi, E., Raoofi, M.M. (2014). Effect of water stress on oil yield and some characteristics of *Brassica napus*. *Intl Res J Appl Basic Sci.* 8:1447–53.
53. Kumar S., Kumar D. (2020). *Abiotic Stresses in Potato Crop*. Learning Media Publications, Meerut.
54. Kumar, S., Kumar, D., Singh, B., Singh, Y. P., Singh, P., Kumar, A. (2021). Effect of water stress on tuber quality (dumbel, pointed, cracks and total deformed tubers) in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Annals of Horticulture*, 14(1), 84-88. doi: 10.5958/0976-4623.2021.00016.5
55. Lacavé, G., Soto-Maldonado, C., Walter, A., Zúniga-Hansen, M., Pérez-Torres, E. (2022). Effect of Drought Stress on Bioactives and Starch in Chilean Potato Landraces. *Potato Res.* 65, 757–776. doi: 10.1007/s11540-022-09547-y
56. Lahlou, O., Ouattar, S., Ledent, J.-F. (2003). The Effect of Drought and Cultivar on Growth Parameters, Yield and Yield Components of Potato. *Agronomie.* 23, 257–268.

57. Lahlou, O., Ledent, J.-F. (2005). Root Mass and Depth, Stolons and Roots Formed on Stolons in Four Cultivars of Potato under Water Stress. *Eur. J. Agron.* 22, 159–173.
58. Lazarević, Boris., Poljak, Milan. (2019). *Fiziologija bilja*. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
59. Lefèvre, I., Ziebel, J., Guignard, C., Hausman, J.-F., Gutiérrez Rosales, R.O., Bonierbale, M., Hoffmann, L., Schafleitner, R., Evers, D. (2012). Drought Impacts Mineral Contents in Andean Potato Cultivars. *J. Agron. Crop Sci.* 198, 196–206.
60. Lešić, R., Borošić, J., Buturac, I., Herak Ćustić, M., Poljak, M., Romić, D. (2016). *Povrčarstvo*. treće dopunjeno izdanje, Zrinski d.d., Čakovec.
61. Litaladio, N., Castaldi, L. (2009). Potato: the hidden treasure. *J. Food Composit. Anal.* 22, 491–493. doi: 10.1016/j.jfca.2009.05.002
62. Mahmud, A.A., Bazzaz, M., Khan, S.A., Hossain, A., Kadian, M.S. (2014). Tuber yield, tuber quality and plant water status of potato under drought and well watered condition. *Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary*. (USA). ISSN 0975-5896. 14(10):101-107.
63. Mane, S.P., Robinet, C.V., Ulanov, A., Schafleitner, R., Tincopa, L., Gaudin, A., Nomberto, G., Alvarado, C., Solis, C., Bolivar, L.A. (2008). Molecular and Physiological Adaptation to Prolonged Drought Stress in the Leaves of Two Andean Potato Genotypes. *Funct. Plant Biol.* 35, 669–688.
64. McCann, S. E., Huang, B. (2008). Evaluation of drought tolerance and avoidance traits for six creeping bentgrass cultivars. *HortScience* 43, 519–524.
65. Meise, P., Seddig, S., Uptmoor, R., Ordon, F., Schum, A. (2019). Assessment of Yield and Yield Components of Starch Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) Under Nitrogen Deficiency and Drought Stress Conditions. *Potato Research*. doi: 10.1007/s11540-018-9407-y
66. Michel, A.J., Teixeira, E.I., Brown, H.E., Dellow, S.J., Maley, S., Gillespie, R.N., Richards, K.K. (2019). Water Stress Responses of Three Potato Cultivars. *Agronomy NZ*. 49, 25–37.
67. Mitra, J. (2001). Genetics and Genetic Improvement of Drought Resistance in Crop Plants. *Curr. Sci.* 758–763.
68. Monneveux, P., Ramirez, D. A., Pino, M. T. (2013). Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.) Can we learn from drought tolerance research in cereals? *Plant Science*, 205–206, 76–86.
69. Moorby, J., Munns, R., Walcott, J. (1975). Effect of water deficit on photosynthesis and tuber metabolism in potatoes. *Funct. Plant Biol.* 2, 323. doi: 10.1071/pp9750323
70. Mullins, E., Milbourne, D., Petti, C., Doyle-Prestwich, B. M., Meade, C. (2006). Potato in the age of biotechnology. *Trends Plant Sci.* 11, 254–260. doi: 10.1016/j.tplants.2006.03.002
71. Muthoni, J., Shimelis, H. (2020). Heat and Drought Stress and Their Implications on Potato Production under Dry African Tropics. *Aust. J. Crop Sci.* 14, 1405–1414.

72. Najm, A., Haj Seyed Hadi, M., Fazeli, F., Darzi, M., Shamorady, R. (2010). Effect of Utilization of Organic and Inorganic Nitrogen Source on the Potato Shoots Dry Matter, Leaf Area Index and Plant Height, during Middle Stage of Growth. *World Acad. Sci. Eng. Technol.* 47, 900–903.
73. Nasir, M.W., Toth, Z. (2022). Effect of Drought Stress on Potato Production: A Review. *Agronomy*, 12, 635. doi: 10.3390/agronomy12030635
74. Navarre, D.A., Goyer, A., Shakya, R. (2009). Nutritional Value of Potatoes: Vitamin, Phytonutrient, and Mineral Content. U: *Advances in Potato Chemistry and Technology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 395–424.
75. Nichols, D.F., Ruf, Jr. R.H. (1967). Relation between moisture stress and potato tuber development. *Proc Am Soc Hortic Sci.*, 91: 443-447.
76. Obidiegwu, J., Bryan, G., Jones, G., Prashar, A. (2015). Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Iz: Plant Sci.* 6:542. doi: 10.3389/fpls.2015.00542
77. Okogbenin, E., Setter, T. L., Ferguson, M., Mutegi, R., Ceballos, H., Olasanmi, B. (2013). Phenotypic approaches to drought in cassava: review. *Front. Physiol.* 4:93. doi: 10.3389/fphys.2013.00093
78. Omae, H., Kumar, A., Egawa, Y., Kashiwaba, K., Shono, M. (2005). Midday drop of leaf water content to drought tolerance in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Plant Prod. Sci.* 8: 465-467.
79. Panda, D., Mishra, S. S., Behera, P. K. (2021). Drought Tolerance in Rice: Focus on Recent Mechanisms and Approaches. *Rice Science*, 28(2), 119–132. doi:10.1016/j.rsci.2021.01.002
80. Pieczynski, M., Marczewski, W., Hennig, J., Dolata, J., Bielewicz, D., Piaztek, P., Szweykowska-Kulinska, Z. (2013). Down-regulation of CBP80 gene expression as a strategy to engineer a drought-tolerant potato. *Plant Biotechnology Journal*, 11, 459–469.
81. Pinheiro, C., Chaves, M. M. (2011). Photosynthesis and drought: Can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, 62(3), 869–882. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq340>
82. Plich, J., Boguszewska-Mankowska, D., Marczewski, W. (2020). Relations between photosynthetic parameters and drought-induced tuber yield decrease in Katahdin-derived potato cultivars. *Pot. Res.* 63, 463–477. doi: 10.1007/s11540-020-09451-3
83. Poštić, DŽ., Stanisavljević, R., Strbanović, R., Djukanović, L., Starović, M., Aleksić, G., Gavrilović, V. (2017). Response different of potato cultivars to a severe hot and drought. *Proceedings of the 20th Triennial EAPR Conference 9th-14th July 2017, Versailles, France.*
84. Poursadollahi, A., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., Sohrabi, Y. (2019). Physiological and Agro-Morphological Response of Potato to Drought Stress and Hormone Application. *J. Plant Physiol. Breed.* 9, 47–61.

85. Pritchard, M.K., Scanlon, M.G. (1997). Mapping Dry Matter and Sugars in Potato Tubers for Prediction of Whole Tuber Process Quality. *Can. J. Plant Sci.* 77, 461–467.
86. Puértolas, J., Ballester, C., Elphinstone, E. D., Dodd, I. C. (2014). Two potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties differ in drought tolerance due to differences in root growth at depth. *Funct. Plant Biol.* 41, 1107–1118. doi: 10.1071/FP14105
87. Rahdari, P., Hoseini, S.M. (2012). Drought stress: a review. *Intl J Agron Plant Prod.* 3:443–6.
88. Ramirez, D. A., Yactayoa, W., Rencs, L. R., Rolando, J. L., Palacios, S., de Mendiburu, F., Quiroza, R. (2016). Defining biological thresholds associated to plant water status for monitoring water restriction effects: Stomatal conductance and photosynthesis recovery as key indicators in potato. *Agricultural Water Management*, 177, 369–378.
89. Rana. R.M., Rehman, S.U., Ahmed, J., Bilal, M. (2013). A comprehensive overview of recent advances in drought stress tolerance research in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian J Agric Biol.* 1:29–37.
90. Raymundo, R., Asseng, S., Cammarano, D., Quiroz, R. (2014). Potato, sweet potato, and yam models for climate change: a review. *Field Crop Res* 166:173–185
91. Reddy, B.J., Mandal, R., Chakroborty, M., Hijam, L., Dutta, P. (2018). A Review on Potato (*Solanum tuberosum* L.) and its Genetic Diversity. *International Journal of Genetics*, ISSN: 0975- 2862 & E- ISSN: 0975-9158, Volume 10, Issue 2, str.-360-364. doi: <http://dx.doi.org/10.9735/0975-2862.10.2.360-364>
92. Renault, D., Wallender, W.W. (2000). Nutritional Water Productivity and Diets. *Agric. Water Manag.* 45, 275–296.
93. Rolando, J.L., Ramírez D.A., Yactayo, W., Monneveux, P., Quiroz, R. (2015) Leaf greenness as a drought tolerance related trait in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Environ. Exp. Bot.* 110: 27–35.
94. Rudack, K., Seddig, S., Sprenger, H., Köhl, K., Uptmoor, R., Ordon, F. (2017). Drought stress-induced changes in starch yield and physiological traits in potato. *J. Agron. Crop Sci.* 203: 494–505.
95. Ruttanaprasert, R., Jogloy, S., Vorasoot, N., Kesmala, T., Kanwar, R.S., Holbrook, C.C., Patanothai, A. (2016). Effects of Water Stress on Total Biomass, Tuber Yield, Harvest Index and Water Use Efficiency in Jerusalem Artichoke. *Agric. Water Manag.* 166, 130–138.
96. Rykaczewska, K. (2015). Morphology and anatomy of the root system of new potato cultivars. Part I. Morphology of the root system. *Biuletyn Instytutu Hodowli I Aklimatyzacji Roślin*, 275: 99–109.
97. Rykaczewska, K. (2017). Impact of Heat and Drought Stresses on Size and Quality of the Potato Yield. *Plant Soil Environ.* 63, 40–46.
98. Saddhe, A.A., Manuka, R., Penna, S. (2020). Plant sugars: Homeostasis and transport under abiotic stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 171(4), 739–75 doi: 10.1111/ppl.13283

99. Salehi-Lisar, S.Y., Motafakkerazad, R., Hossain, M.M., Rahman, I.M.M. (2012). Water stress in plants: causes, effects and responses, water stress. U: Ismail Md. Mofizur Rahman, editor. InTech.
100. Salehi-Lisar, S.Y., Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought Stress in Plants: Causes, Consequences, and Tolerance. U; Drought Stress Tolerance in Plants (ur. Hossain, M.A.), Springer: Cham, Switzerland, 2016; Volume 1, pp. 1–16.
101. Schafleitner, R. (2009). Growing more potatoes with less water. *Tropical Plant Biology* 2, 111–121.
102. Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. (2007). Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *J. Exp. Bot.* 58, 221–227. doi: 10.1093/jxb/erl164
103. Siano, A., Kerckhoffs, L.H.J., Roskrige, N., Sofkova-Bobcheva, S. (2018). Yield and tuber quality variability in commercial potato cultivars under abiotic stress in New Zealand. *Agronomy Society NZ*, 48. 149–163.
104. Smirnoff, N. (2000). Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-facetted molecule. *Current Opinion in Plant Biology*, 3(3), 229–235. doi:10.1016/s1369-5266(00)80070-9
105. Soltys-Kalina, D., Plich, J., Strzelczyk-Żyta, D., Śliwka, J., Marczewski, W. (2016). The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of ‘Katahdin’- derived potato cultivars. *Breed. Sci.* 66: 328–331.
106. Sprenger, H., Kurowsky, C., Horn, R., Erban, A., Seddig, S., Rudack, K., Kopka, J. (2016). The drought response of potato reference cultivars with contrasting tolerance. *Plant, Cell and Environment*, 39, 2370–2389.
107. Stark, J.C., Love, S.L., King, B.A., Marshall, J.M., Bohl, W.H., Salaiz, T. (2013). Potato Cultivar Response to Seasonal Drought Patterns. *Am. J. Potato Res.* 90, 207–216.
108. Steckel, J., Gray, D. (1979). Drought tolerance in potatoes. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 375–381. doi:10.1017/S0021859600062900
109. Sun, Y., Cui, X., Liu, F. (2015). Effect of Irrigation Regimes and Phosphorus Rates on Water and Phosphorus Use Efficiencies in Potato. *Sci. Hortic.* 190, 64–69.
110. Szabolcs, I., Pessarakli, M. (1999). *Handbook of Plant and Crop Stress*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, Volume 1.
111. Tuberosa, R. (2012). Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. *Front. Physiol.* 3: 347.
112. van Dam, J., Kooman, P.L., Struik, P.C. (1996). Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research* 39: 51–62.
113. van Loon, C.D. (1981). The effect of water stress on potato growth, development and yield. *American Journal of Potato Research* 58, 51–69.
114. van Loon, C.D. (1986). Drought, a major constraint to potato production and possibilities for screening for drought resistance, U: A.G.B. Beekman (Ed.), *Potato research of tomorrow, Proceedings of International Seminar, Pudoc, Wageningen, The Netherlands*, 5-16.

115. Vasquez-Robinet, C., Mane, S. P., Ulanov, A. V., Watkinson, J. I., Stromberg, V. K., De Koeyer, D. (2008). Physiological and molecular adaptations to drought in Andean potato genotypes. *J. Exp. Bot.* 59, 2109–2123. doi: 10.1093/jxb/ern073
116. Wagg, C., Hann, S., Kupriyanovich, Y., Li, S. (2021). Timing of short period water stress determines potato plant growth, yield and tuber quality. *Agricultural Water Management*, 247, 106731. doi:10.1016/j.agwat.2020.106731
117. Wang, W., Vinocur, B., Altman, A. (2003). Plant Responses to Drought, Salinity and Extreme Temperatures: Towards Genetic Engineering for Stress Tolerance. *Planta*, 218, 1–14.
118. Wegener, C. B., Jansen, G. (2013). Antioxidants in different potato genotypes: effect of drought and wounding stress. *Agriculture* 3, 131–146. doi: 10.3390/agriculture3010131
119. Weisz, R., Kaminski, J., Smilowitz, Z. (1994). Water Deficit Effects on Potato Leaf Growth and Transpiration: Utilizing Fraction Extractable Soil Water for Comparison with Other Crops. *Am. Potato J.* 71, 829–840.
120. Yoo, C. Y., Pence, H. E., Jin, J. B., Miura, K., Gosney, M. J., Hasegawa, P. M., Mickelbart, M. V. (2010). The Arabidopsis GTL1 transcription factor regulates water use efficiency and drought tolerance by modulating stomatal density via transrepression of SDD1. *Plant Cell*, 22, 4128–4141.
121. Zarzyńska, K., Boguszewska-Mańkowska, D., Nosalewicz, A. (2017). Differences in Size and Architecture of the Potato Cultivars Root System and Their Tolerance to Drought Stress. *Plant Soil Environ.* 63, 159–164.
122. Zhu, J.-K. (2016). Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell* 167: 313–324. doi:10.1016/j.cell.2016.08.029
123. Zulfiqar, F., Akram, N.A., Ashraf, M. (2020). Osmoprotection in plants under abiotic stresses: new insights into a classical phenomenon. *Planta* 251: 3

Životopis

Petar Bašić rođen je 30. prosinca 1995. godine u Zagrebu. Pohađao je Osnovnu školu Perušić od 2002. godine do 2010. godine. Završio je od 2010. godine do 2014. godine Opću gimnaziju u Gospiću. Upisao se na preddiplomski studij Urbano šumarstvo zaštita prirode i okoliša na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 2014. godine i pohađao ga do 2018. godine kada se prebacio na preddiplomski studij Agroekologija na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu kojeg je završio 2021. godine. Nakon završenog preddiplomskog studija, upisao je diplomski studij Biljne znanosti na Agronomskom fakultetu.

Osim svojeg materinjeg, hrvatskog jezika tečno govori i sporazumijeva se na engleskom jeziku. Uz fakultetsko obrazovanje sudjelovao je i u Akademiji regionalnoga razvoja i fondova Europske unije u projektu Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije pod istim nazivom i završio program ljetne škole pod nazivom „Molecular Diversity and Plant Breeding.“ Tokom akademske godine 2022/2023 nagrađen je Rektorovom nagradom za rad „Molekularna varijabilnost hrvatskih tradicijskih kultivara krumpira (*Solanum tuberosum* L.).“