

Utjecaj stresa suše na parametre klorofilne fluorescencije kod graha

Car, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:204:609626>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-29**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



UTJECAJ STRESA SUŠE NA PARAMETRE KLOOROFILNE FLUORESCENCIJE KOD GRAHA

DIPLOMSKI RAD

Lucija Car

Zagreb, rujan, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:

Agroekologija

UTJECAJ STRESA SUŠE NA PARAMETRE KLOROFILNE FLUORESCENCIJE KOD GRAHA

DIPLOMSKI RAD

Lucija Car

Mentor: Doc. dr. sc. Boris Lazarević

Neposredni voditelj: Ana Nimac, mag. ing. agr

Zagreb, rujan, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Lucija Car**, JMBAG **0067501933** rođena **12.07.1993.** u **Zagrebu**, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ STRESA SUŠE NA PARAMETRE KLOROFILNE FLUORESCENCIJE KOD GRAHA

Svojim potpisom jamčim:

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

U Zagrebu, dana _____

Potpis studentice



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture



IZVJEŠĆE O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Lucija Car**, JMBAG **0067501933**, naslova

UTJECAJ STRESA SUŠE NA PARAMETRE KLOROFILNE FLUORESCENCIJE KOD GRAHA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

- | | | | |
|----|--|--------|-------|
| 1. | Doc. dr. sc. Boris Lazarević | mentor | _____ |
| 2. | Izv. prof. dr. sc. Klaudija Carović-Stanko | član | _____ |
| 3. | Doc. dr. sc. Marko Petek | član | _____ |

SAŽETAK

Stres suše jedan je od glavnih abiotičkih stresova koji negativno utječu na proizvodnju graha te uzrokuje smanjenje prinosa i značajno utječe na proces fotosinteze. Mjerenje klorofilne fluorescencije česta je metoda određivanja reakcije biljaka u stresnim uvjetima. Analiza klorofilne fluorescencije brza je, neinvazivna i relativno jednostavna metoda, te daje detaljne informacije o stanju fotosustava II (PSII) u uvjetima stresa. Cilj rada je upotrebom mjerenja klorofilne fluorescencije utvrditi utjecaj stresa suše na svjetlosne reakcije fotosinteze te razlike u tolerantnosti na stres suše kod hrvatskih tradicijskih kultivara graha. U pokusu je korišteno pet genotipova graha koji su izloženi stresu suše dodatkom polietilen glikola (PEG). Za mjerenje klorofilne fluorescencije korišten je sustav za snimanje i analizu CropReporter te su analizirani parametri F_v/F_m , F_q'/F_m' , ETR, NPQ i qP . Podaci su statistički obrađeni R softwareom (R Core Team, 2019) koristeći generalni linearni model. Iz rezultata istraživanja utvrđeno je da su se parametri F_q'/F_m' , ETR, NPQ i qP značajno promijenili pod utjecajem stresa suše dok je parametar F_v/F_m bio manje osjetljiv. Značajne promjene istraživanih parametara kod biljaka pod stresom suše pokazale su klorofilnu fluorescenciju pogodnom metodom za istraživanje genotipova graha tolerantnih na sušu.

Ključne riječi: stres suše, grah, klorofilna fluorescencija

SUMMARY

Drought stress is one of the main abiotic stresses that has negative effect on bean production and causes yield reduction, and significantly affects the process of photosynthesis. Measurement of chlorophyll fluorescence is a common method of determining the reaction of plants under stress conditions. Chlorophyll fluorescence analysis is a fast, non-invasive, and relatively simple method, and provides detailed information on the state of Photosystem II (PSII) under stress conditions. The aim of this study is to determine the influence of drought stress on photosynthesis light reactions and differences in drought stress tolerance in Croatian common bean landraces using measurements of chlorophyll fluorescence. Five bean genotypes exposed to drought stress with the addition of polyethylene glycol (PEG) were used in the experiment. The CropReporter imaging and analysis system was used to measure chlorophyll fluorescence, and the parameters F_v / F_m , F_q' / F_m' , ETR, NPQ and qP were analyzed. Data were statistically processed by R software (R Core Team, 2019) using a general linear model. The results of the study showed that the parameters F_q' / F_m' , ETR, NPQ and qP changed significantly under the influence of drought stress, while the parameter F_v / F_m was less sensitive. Significant changes in the measured parameters in plants under drought stress showed chlorophyll fluorescence as a suitable method for the research of drought tolerant common bean genotypes.

Key words: drought stress, common bean, chlorophyll fluorescence

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Cilj rada | 2 |
| 2. PREGLED LITERATURE | 3 |
| 2.1. Sistematska podjela | 3 |
| 2.2. Morfološke karakteristike graha | 3 |
| 2.3. Osnovne značajke uzgoja graha (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) | 4 |
| 2.4. Klorofilna fluorescencija | 6 |
| 2.5. Stres suše | 8 |
| 3. MATERIJALI I METODE | 10 |
| 3.1. Mjerenja | 10 |
| 3.2. Statistička obrada podataka | 12 |
| 4. REZULTATI I RASPRAVA | 13 |
| 5. ZAKLJUČAK | 18 |
| 6. POPIS LITERATURE | 19 |

1. UVOD

Stres suše jedan je od glavnih uzroka pada produktivnosti biljnih usjeva u svijetu, a smanjuje prosječni prinos usjeva za 50% (Wang i sur., 2003). Rastom svjetske populacije, predviđa se da će stres suše dovesti do ozbiljnog nedostatka hrane do 2050. godine (Somerville i Briscoe, 2001). Grah (*Phaseolus vulgaris* L.) je važna prehrambena namirnica i najviše konzumirana mahunarka u svijetu zbog visokog sadržaja bjelančevina te drugih hranjivih tvari kao što su folna kiselina, vlakna i složeni ugljikohidrati. U svijetu se za izravnu ljudsku konzumaciju uzgaja na površini većoj od 23 milijuna hektara, no čak 60% proizvodnje graha u svijetu pod direktnim je utjecajem stresa suše (Graham i Ranalli, 1997). Zbog navedenog, prosječni svjetski prinos graha je nizak ($<900 \text{ kg ha}^{-1}$) (Singh, 2001). Stres suše uzrokuje smanjenje sadržaja vode u biljnom tkivu, gubitak turgora i pritvaranje puči, što dovodi do značajne inhibicije fotosinteze, poremećaja metabolizma i u konačnici smrti biljke (Jaleel i sur., 2009). Za razumijevanje osnovnih mehanizama fotosinteze u fiziologiji bilja, ali i odgovora biljaka na abiotske i biotske stresove, sve se više koristi klorofilna fluorescencija. Mjerenje klorofilne fluorescencije nedestruktivna je i brza metoda koja daje detaljne informacije o stanju fotosustava II (PSII). Parametri dobiveni mjerenjem klorofilne fluorescencije, kao što su maksimalna efikasnost fotosustava II (F_v/F_m), efektivna efikasnost fotosustava II (F_q'/F_m'), nefotokemijsko gašenje (NPQ), relativni transport elektrona (ETR) te udio otvorenih fotosustava (qP) omogućuju detaljno istraživanje utjecaja stresnih čimbenika na svjetlosne reakcije fotosinteze te odabir na stres tolerantnih genotipova (Baker i Rosenqvist, 2004).

1.1. Cilj rada

Cilj rada je upotrebom mjerenja klorofilne fluorescencije utvrditi utjecaj stresa suše na svjetlosne reakcije fotosinteze te razlike u tolerantnosti na stres suše kod hrvatskih tradicijskih kultivara graha.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Sistematska podjela

U Tablici 1. je prikazana sistematska podjela graha.

Tablica 1. Sistematska podjela graha

(<https://hirc.botanic.hr/fcd/DetailFrame.aspx?IdVrste=12644&taxon=Phaseolus+vulgaris+L.>)

| | |
|-----------------|------------------------------|
| RED | Fabales |
| PORODICA | Fabaceae |
| ROD | <i>Phaseolus</i> |
| VRSTA | <i>Phaseolus vulgaris</i> L. |

2.2. Morfološke karakteristike graha

Primarni korijen graha započinje svoj razvoj iz korijenove klice na donjem kraju hipokotila zametka. Primarni korijen se prvi izdužuje, zatim se postupno razvija bočno korijenje šireći se u površinskom sloju tla (Nassar i sur., 2010). Na korijenu se u određenim uvjetima razvijaju bakterije roda *Rhizobium*, što rezultira nepravilnim korijenovim kvržicama (nodulama) (Purseglove, 1968). Stabljika može biti kratka (30-60 cm) ili duga do 3 m koja se ovija oko potpore (Gentry, 1969). Biljke graha razvijaju dvije vrste listova: jednostavne i složene. Jednostavni list čine prva dva bazalna lista, nasuprotno raspoređena, srcolikog oblika s cjelovitim rubom. Dugi su 2 cm dugi, a široki 1,5 cm široki (Nassar i sur., 2010). Složene listove čine svi ostali listovi osim prva dva bazalna lista, a podijeljeni su na liske. Listovi su trodjelni (trifoladni), tj. s tri liske, pršljenasto spojene s terminalnom peteljkom duljom od dvije bočne (Slika 1) (Purseglove, 1968; Wortmann, 2006).

Formiranje cvjetova u biljci *P. vulgaris* L. započinje u starosti od 5 tjedana u obliku cvjetnih pupova. Tjedan dana kasnije počinje otvaranje cvjetnih pupova i cvjetanje, a nakon 8 tjedana dolazi do potpunog cvjetanja i početka formiranja plodova (Nassar i sur., 2010). Cvat je aksilarni grozd koji nosi nekoliko cvjetova (2-3) (Purseglove, 1968). Čaška je zelene boje, obično sadrži 5 latica od kojih je stražnja (zastavica) najudaljenija od centra, dvije bočne latice (krila) i dvije prednje spojene latice (lađica) (Slika 1) (Bailey, 1975).



Slika 1. Složeni list (a) i reproduktivni organi (cvat i cvijet) (b-d) graha. (b) Vjenčić sa zastavicom, 2 bočne latice (krila) i 2 lađice. (c) Cvijet nakon uklanjanja vjenčića. (d) Tučak s jednogradnom plodnicom.

(Izvor: <https://scialert.net/fulltext/?doi=ijb.2010.323.333>)

2.3. Osnovne značajke uzgoja graha (*Phaseolus vulgaris* L.)

Grah (*Phaseolus vulgaris* L.) jedna je od najčešće uzgajanih i konzumiranih mahunarki u svijetu (Blair i sur., 2009). Njegova je komercijalna vrijednost veća od svih ostalih usjeva mahunarki (Broughton i sur., 2003). Uzgaja se zbog zelenih mahuna i suhog sjemena koje se bere u zreloj fazi (Lešić i sur., 2004). U ljudskoj prehrani predstavlja vrijedan izvor bjelanjčevina, vlakana, složenih ugljikohidrata te vitamina i minerala. Osim visokog udjela hranjivih tvari, grah ima važnu ulogu fiksacije dušika u tlu u simbiozi s bakterijama roda *Rhizobium*, pribavljanja minerala iz dubljih slojeva tla i dodavanja organske tvari u tlo, što doprinosi zdravlju tla i stabilnosti agroekosustava (Rajnović, 2017).

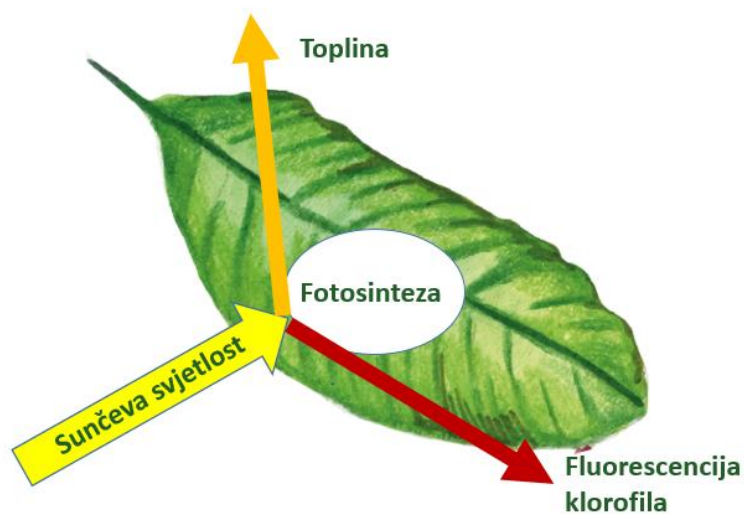
Grah je jednogodišnja i samooplodna biljna vrsta koja intenzivno raste na cijelom tropskom području i nekim umjerenim regijama, s definiranim vlažnim i suhim periodima, ali više preferira regije s umjerenom kišom, nego suha područja ili područja s prekomjernim oborinama (Coelho i sur., 2009). Uspješno se proizvodi bez navodnjavanja u regijama koje primaju od 25 cm do preko 40 cm kiše tijekom vegetacijske sezone (Wortmann, 2006), dok

komercijalna proizvodnja u razvijenim zemljama i u aridnim suptropskim regijama može koristiti navodnjavanje. FAO (2014) navodi kako je ukupna proizvodnja graha za zrno u 2014. iznosila preko 26 milijuna tona, iako su u ovaj broj uključene i druge vrste graha, te ostale manje jestive mahunarke. Prinos mahunarki značajno smanjuju abiotiska i edafska ograničenja, poput slanosti, niske plodnosti tla, toplinskog stresa i stresa suše, što je glavno i uobičajeno ograničenje za uzgoj. Za povećanje proizvodnje i produktivnosti ove mahunarke neophodno je razumijevanje načina reagiranja na biotske i abiotske stresove te detaljno poznavanje njihove genetske varijabilnosti kako bi se razvile otpornije sorte (Miklas i sur., 2006).

2.4. Klorofilna fluorescencija

Mjerenje klorofilne fluorescencije česta je metoda određivanja reakcije biljaka u stresnim uvjetima (Baker i Rosenqvist, 2004). Analiza klorofilne fluorescencije brza je, neinvazivna i relativno jednostavna metoda, te daje detaljne informacije o stanju fotosustava II (PSII) u uvjetima stresa. Značajna je u razumijevanju osnovnih mehanizama fotosinteze i reakcije biljaka na promjene u okolini (Furbank i sur., 2009). Povezanost klorofilne fluorescencije i mehanizama fotosinteze bila je predmet velikog broja istraživanja budući da je Kautsky (Kautsky i Hirsch, 1931) utvrdio kako intenzitet fluorescencije u zelenom listu pokazuje karakteristične promjene nakon osvjetljenja.

Gotovo sva apsorpcija svjetlosti obavi se u pigmentima kloroplasta. Apsorpcija svjetlosti plavog ili crvenog dijela spektra uzrokuje prijelaz molekule klorofila u pobuđeno stanje. Dio absorbirane svjetlosti ulazi u fotosintezu (fotokemijska pretvorba), no dio se emitira u obliku topline ili u obliku fotona crvene svjetlosti tzv. fluorescencije klorofila a. Fluorescentna svjetlost uvijek ima veću valnu duljinu i manju energiju od svjetlosti koja ju je izazvala (Slika 2). Variranje fluorescencije klorofila uvijek se promatra u klorofilu a u fotosustavu II, ona je varijabilna i ključna za prepoznavanje stresnih uvjeta (Nimac i sur., 2018). U optimalnim okolišnim uvjetima se najveći dio absorbirane energije (oko 95%) koristi za reakcije fotosinteze. Tri spomenuta načina oslobađanja energije su u međusobnoj kompeticiji što znači da povećanje učinkovitosti jednoga od njih dovodi do smanjenja druga dva (Murchie i Lawson, 2013). Stoga, određivanjem prinosa klorofilne fluorescencije dobivaju se podaci o promjenama učinkovitosti fotokemijskih reakcija i rasipanju topline. Kako je klorofilna fluorescencija mjera ponovno emitirane svjetlosti (crvene valne duljine) iz PSII, to znači da bilo koja okolna svjetlost može ometati njeno mjerenje i zato se mnogi sustavi moraju koristiti u tami ili u visoko kontroliranom svjetlosnom okruženju. Uređaj će mjeriti samo fluorescenciju koja je rezultat pobude mjernim snopom i neće dozvoliti smetnje okolne svjetlosti. Kad se svjetlost, dovoljna za pokretanje fotosinteze, primijeni na list nakon razdoblja tame, dolazi do porasta prinosa klorofilne fluorescencije u vremenskom periodu od jedne sekunde (Murchie i Lawson, 2013). Taj porast je obično rezultat smanjenja akceptora elektrona u tilakoidnoj membrani. Specijalni klorofil u PSII, P680, izbacuje elektron izveden cijepanjem vode na akceptor elektrona QA (vezani kinon), no, QA ne može prihvatiti još jedan elektron iz P680 dok ne prenese postojeći elektron na sljedeći nosač, QB (Murchie i Lawson, 2013). U ovom se stanju reakcijski centar smatra "zatvorenim".



Slika 2. Iskorištenje svjetlosne energije koju apsorbira fotosustav II (PSII)

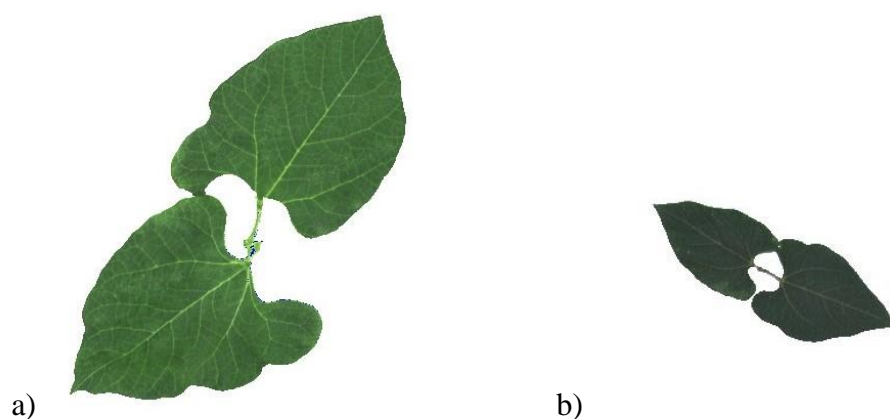
(Izvor: Nimac i sur., 2018)

Butler (1978) je razvio jednostavan model za fotokemijske reakcije PSII u kojem je fotokemija u kompeticiji s procesima fluorescencije i gubitkom topline zbog pobudne energije u anteni PSII. Ovaj je model je počivao na konceptu da prijenos elektrona iz reakcijskog centra klorofila PSII (P680) u primarni kinonski akceptor PSII (QA) ugasi fluorescenciju, a proces je nazvan fotokemijskim gašenjem (Duysens i Sweers, 1963). Dakle, fotokemijsko gašenje je rezultat upotrebe energije pobude unutar PSII za pokretanje transporta elektrona od P680 do QA. Nefotokemijsko gašenje događa se kad se poveća brzina kojom se energija pobuđivanja unutar PSII gubi kao toplina. Za procjenu fotokemije PSII ključno je odrediti gašenje fluorescencije koje proizlazi iz fotokemijskih i nefotokemijskih procesa. S razvojem novih fluorimetara s modulacijskim impulsom (Schreiber i sur., 1986), postupak razlikovanja različitih oblika gašenja je vrlo olakšan. U bilo kojem trenutku, na uzorak se može primijeniti kratki impuls (oko 500 ms u duljini) zasićene bijele svjetlosti (oko 2000 W/m^2) kako bi se potaknula potpuna redukcija akceptora QA i na taj način privremeno uklonilo svo fotokemijsko gašenje (Schreiber i Bilger, 1987). Također, prema Schreiber i Bilger (1987) pretpostavlja se da se svako preostalo gašenje sastoji od nefotokemijskog gašenja.

2.5. Stres suše

Svjetska poljoprivredna proizvodnja podliježe sve većim ekološkim ograničenjima u obliku abiotskih stresova koji nepovoljno utječu na rast i razvoj biljaka, uzrokujući propadanje usjeva i smanjenje prosječnog prinosa većine glavnih kultura (Buchanan i sur., 2000; Bartels i Sunkar, 2005). Među raznim oblicima abiotskih stresova koji utječu na poljoprivrednu proizvodnju, stres suše smatra se glavnim uzrokom gubitka usjeva u svijetu, a smanjuje prosječni prinos za 50% (Wang i sur., 2003). Stres zapravo predstavlja izmijenjeno fiziološko stanje uzrokovano faktorima koji imaju tendenciju narušavanja ravnoteže, a suša je meteorološki pojam i obično se definira kao razdoblje bez značajnijih oborina (Jaleel i sur., 2009). Općenito, stres suše nastaje kada je raspoloživa voda u tlu smanjena i kada atmosferski uvjeti uzrokuju neprestani gubitak vode transpiracijom ili isparavanjem. Budući da je opskrba vodom ograničena, a svjetska populacija sve veća, predviđa se da će stres suše dovesti do ozbiljnog nedostatka hrane do 2050. godine (Somerville i Briscoe, 2001).

Prevladavajući stres suše, biljke pokazuju različite fiziološke i biokemijske reakcije na staničnoj razini i razini cijelog organizma. Reakcije biljaka na stres značajno se razlikuju, ovisno o intenzitetu i trajanju stresa, kao i o biljnoj vrsti i fazi njenog rasta (Chaves i sur., 2002; Jaleel i sur., 2008). Fiziološki odgovor biljaka na stres suše uključuje smanjenje sadržaja vode u listu, smanjeni vodni potencijal u listovima i gubitak turgora, zatvaranje puči i smanjenje rasta stanica, što može rezultirati zaustavljanjem fotosinteze, poremećajem metabolizma i konačno smrću biljke (Jaleel i sur., 2008). Rast stanica jedan je od fizioloških procesa najosjetljivijih na sušu zbog smanjenja turgora (Taiz i Zeiger, 2006). Smanjena mitotična, produljenje i širenje stanica rezultiraju smanjenom visinom biljke, smanjenim rastom listova i rastom usjeva u uvjetima suše (Slika 3) (Nonami, 1998; Kaya i sur., 2006).



Slika 3. a) biljke graha uzgajane u hranjivoj otopini
b) biljke graha uzgajane u uvjetima suše (hranjiva otopina + PEG)

(Autor: A. Nimac)

Istraživanjem otpornosti graha na stres suše, Schulze (1986) te Kubiske i Abrams (1993), zaključili su da biljke graha otpornije na sušu mogu održavati veću stopu fotosinteze i stomatalnu provodljivost od biljaka graha osjetljivih na sušu. Također, dosadašnja istraživanja pokazala su da uobičajeni genotipovi graha u uvjetima suše daju znatno veći prinos sjemena u usporedbi s tradicionalnim i standardnim kultivarima uzgojenim u sličnim uvjetima suše (Téran i Singh, 2002). Postoje i velike razlike između tradicionalnih i modernih sorti drugih kultura u pogledu upotrebe vode i učinkovitosti korištenja vode kada su izloženi stresu suše.

Prema El-TohaMyju i sur. (1999) vodni stres rezultira padom potencijala vode u listovima, stomatalnom vodljivošću, brzinom fotosinteze i svim parametrima rasta, produktivnosti i kvalitete biljaka graha. Općenito, suša uzrokuje značajno smanjenje prinosa sjemena graha, iako je raspon smanjenja vrlo promjenjiv zbog razlika u vremenu i intenzitetu nametnutog stresa i korištenih genotipova.

Na razini izdanka, grah reagira na stres suše kretanjem listova te klonulošću i ispadanjem listova (Adams i sur., 1985). Prema Asfawu i sur. (2012), već su identificirani različiti adaptivni mehanizmi na deficit vode u različitim genotipovima graha, uključujući (1) produbljivanje korijenovog sustava koji povećava apsorpciju vode u dubljim slojevima; (2) maksimiziranje učinkovitosti korištenja vode za fotosintezu, rast i razvoj; (3) brži prijenos fotoasimilata do sjemena pod stresom i (4) fenološka plastičnost, koja uključuje ranu zrelost, izbjegavanje suše i oporavak nakon suše.

3. MATERIJALI I METODE

Pokus je postavljen u kontroliranim uvjetima u komori rasta na Sveučilištu u Zagrebu Agronomskom fakultetu. U pokusu je korišteno sjeme pet tradicijskih kultivara graha: 'Biser', 'Puter', 'Tetovac', 'Trešnjevac', 'Zelenčec'. Sjeme je naklijavano u rolicama nakon sterilizacije u 15% natrijevom hipokloritu i 70% alkoholu te ispiranja destiliranom vodom. Sjeme se naklijavalo u rolicama umočenim u destiliranu vodu u tami na temperaturi od 28°C. Ujednačeno razvijeni klijanci su se 5. dan od naklijavanja presađivali na pleksiglase i uzgajali u „pouch“ sustavu (Slika 4); stavljeni su u kade ispunjene hranjivom otopinom (kontrola i PEG) i uzgajaju u svjetlosnim uvjetima, pri temperaturi od 25°C, relativnoj vlazi zraka 70%. U pokusu su se koristila dva tretmana: 1. kontrolna otopina i 2. otopina s dodatkom polietilen glikola (PEG) pomoću kojeg se stimulira stres suše (-1 MPa). U svakom tretmanu uzgajalo se 5 biljaka od svakog kultivara.



Slika 4. „Pouch“ metoda uzgoja klijanaca graha

(Autor: A. Nimac)

3.1. Mjerenja

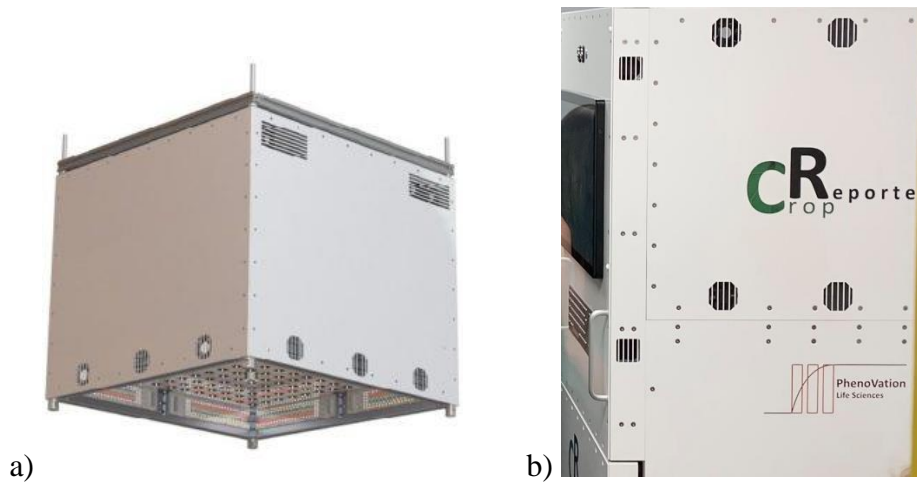
Šesti dan od primjene tretmana, upotrebom CropReporter sustava za snimanje (Slika 5) i analizu klorofilne fluorescencije analizirani su parametri F_v/F_m , F_q'/F_m' , ETR, NPQ, qP (Tablica 1). CropReporter omogućuje prikaz cijele biljke u megapikselskoj razlučivosti dajući informaciju o 0-, I- i P razini Kautsky indukcijske krivulje fotosustava II. Parametri fluorescencije izračunavaju se po pikselu i prikazuju kao slike. Crop reporter omogućuje adaptaciju biljke na tamne uvjete te snimanje u svjetlosnim uvjetima pri čemu dobivamo

informaciju o pokazateljima fluorescencije klorofila; maksimalna učinkovitost PSII, stopi prijenosa elektrona, nefotokemijskom gašenju itd.

Tablica 1. Analizirani parametri klorofilne fluorescencije

| Parametar | Definicija | Fiziološka relevantnost |
|------------------|---|---|
| Fv/Fm | maksimalna efikasnost fotosustava II | Maksimalna učinkovitost pri kojoj se svjetlost koju apsorbira PSII koristi za smanjenje QA. |
| Fq'/Fm' | efektivna učinkovitost fotosustava II | Procjenjuje učinkovitost pri kojoj se svjetlost koju apsorbira PSII koristi za smanjenje QA. Kod određene fotosintetski aktivne gustoće protoka fotona (PPFD), ovaj parametar daje procjenu kvantnog prinosa linearnog protoka elektrona kroz PSII. |
| ETR | relativni transport elektrona | Predstavlja udio ukupnog fotosintetskog zračenja (400-700 nm) koje apsorbira PSII. |
| NPQ | nefotokemijsko gašenje | Kontrolira tj. procjenjuje konstantu brzine gubitka topline iz PSII. |
| qP | fotokemijsko gašenje (udio otvorenih fotosustava) | Povezuje maksimalnu učinkovitost PSII s radnom učinkovitošću. Nelinearno povezana s omjerom otvorenih PSII centara. |

Izvor: (Baker, 2008)



Slika 5. Crop reporter fenotipizacijska platforma

(Izvor: a) <https://www.phenovation.com/cropreporter/>, b) Autor: A. Nimac)

3.2. Statistička obrada podataka

Dobiveni podaci analizirani su analizom varijance (ANOVA), koristeći R računalni sustav (R Core Team, 2019), prema generalnom linearnom modelu. Razlike između prosječnih vrijednosti varijabli utvrđene su Tukeyjevim testom ($P < 0,05$). Rezultati su prikazani grafički pomoću stupaca koji odgovaraju srednjim vrijednostima.

4. REZULTATI I RASPRAVA

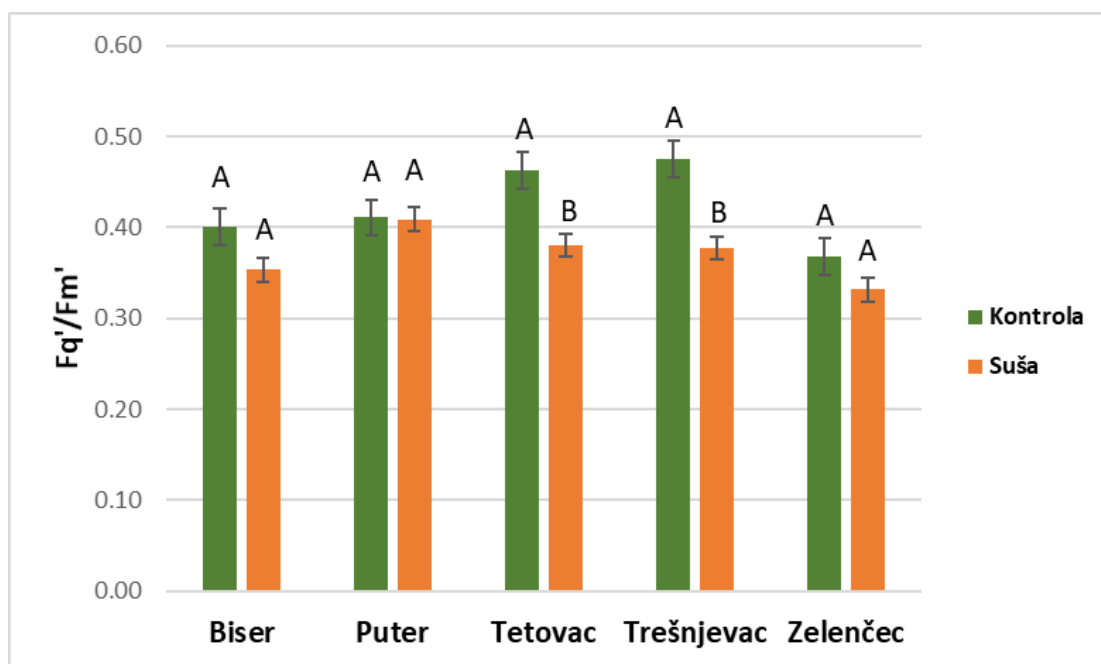
Tablicom 2 prikazana je analiza varijance (ANOVA) svojstava fluorescencije klorofila genotipova graha uzgajanih u kontrolnim uvjetima i uvjetima suše. Iz prikazane tablice vidljivo je da su se tretmani međusobno razlikovali u svim izmjerenim parametrima, osim u maksimalnoj efikasnosti fotosustava II (Fv/Fm) gdje razlika nije signifikantna. Statistički značajne razlike genotipova i interakcije Tretmana x Tradicijski kultivar utvrđene su za efektivnu efikasnost fotosustava II (Fq'/Fm'), brzinu transporta elektrona (ETR) i nefotokemijsko čišćenje (NPQ), dok razlike u Fv/Fm i qP nisu bile signifikantne.

Tablica 2. Analiza varijance (ANOVA) za parametre dobivene mjerenjem klorofilne fluorescencije kod genotipova graha uzgajanih u kontrolnim uvjetima i uvjetima stresa suše.

| Izvor varijabilnosti | DF | Fv/Fm | Fq'/Fm' | ETR | NPQ | qP |
|-------------------------------|----|-------|---------|-----|-----|-----|
| Tretman | 1 | ns | ** | *** | *** | *** |
| Trad. kultivar | 4 | ns | ** | ** | *** | ns |
| Tretman*Trad. kultivar | 4 | ns | * | ** | ** | ns |

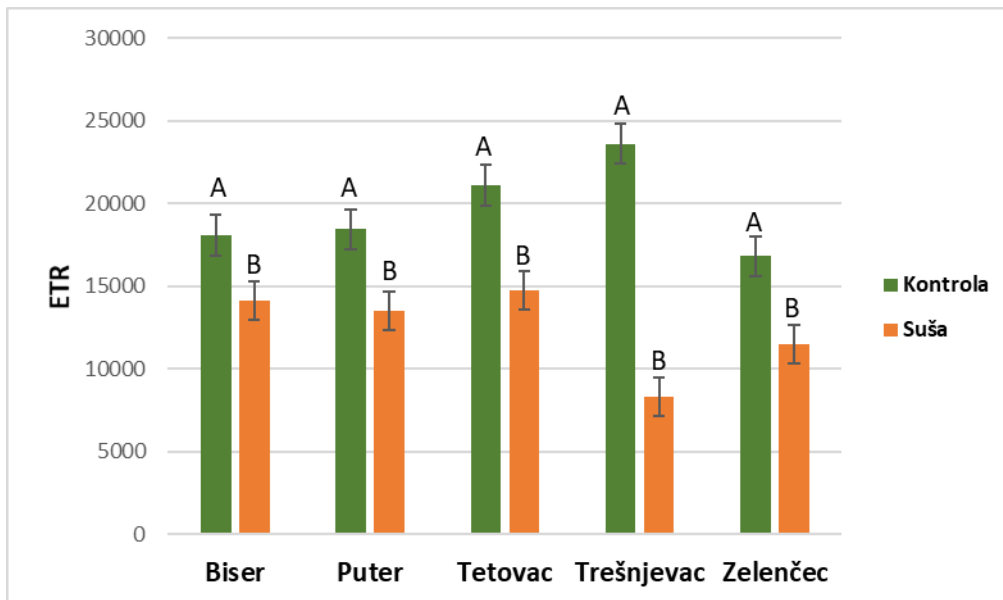
DF: broj stupnjeva slobode izvora varijabilnosti; razina signifikantnosti: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$, ns - nije signifikantno. Fv/Fm – maksimalna efikasnost fotosustava II (PSII), Fq'/Fm' – efektivna kvantna efikasnost fotosustava II (PSII), ETR – brzina transporta elektrona u svjetlosnim reakcijama, NPQ- nefotokemijsko čišćenje, qP – udio otvorenih fotosustava II (PSII).

Grafikon 1 prikazuje razlike u prosječnim vrijednostima efektivne učinkovitosti fotosustava II (PSII) u kontroli i tretmanu suše za pet genotipova graha. Iz grafikona je uočljivo da su kontrolni tradicijski kultivari kod 'Tetovca' i 'Trešnjevca' imali veću prosječnu efektivnu učinkovitost PSII u odnosu na genotipove pod sušom, a kod 'Bisera', 'Putera' i 'Zelenčeca' nema značajnih razlika u Fq'/Fm' između kontrole i tretmana suše.



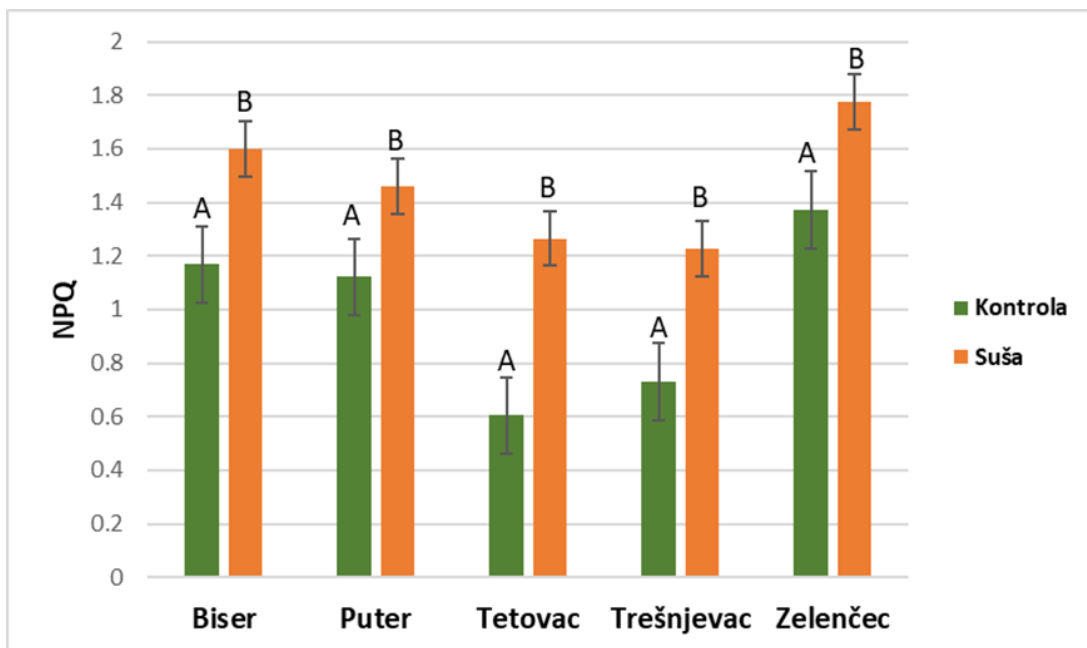
Grafikon 1. Razlike u prosječnim vrijednostima efektivne efikasnosti fotosustava dva (Fq'/Fm') u kontroli i tretmanu suše za pet tradicijskih kultivara graha. Tretmani označeni istim slovom ne razlikuju se značajno na temelju Tukeyjevog testa.

Grafikon 2 prikazuje brzinu transporta elektrona u svjetlosnim reakcijama (ETR) u kontroli i tretmanu suše za pet tradicijskih kultivara graha. Iz grafikona je uočljivo da su se svi tradicijski kultivari kontrole značajno razlikovali od tretmana suše, tj. imali su veći prosječni ETR u odnosu na tretman suše.



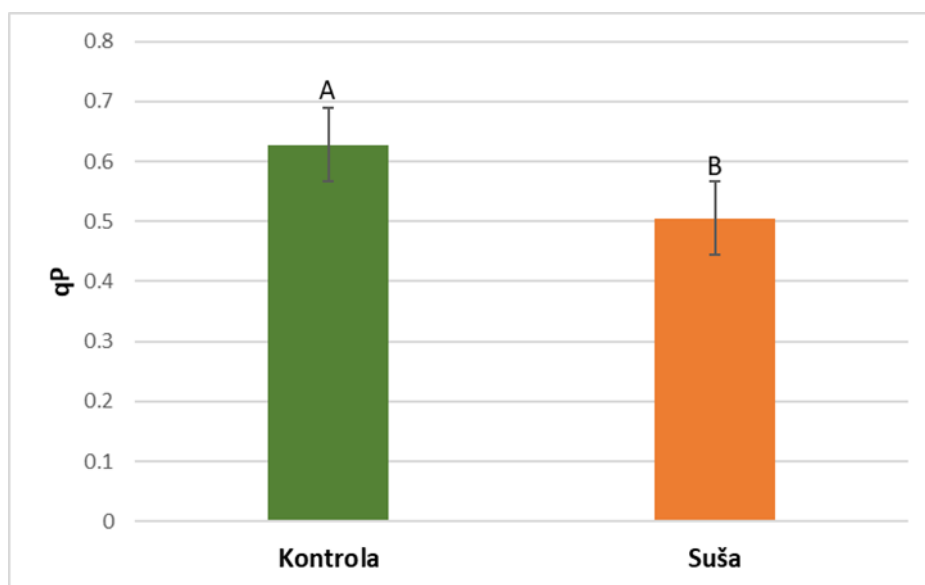
Grafikon 2. Razlike u vrijednostima relativnog transporta elektrona (ETR) u kontroli i tretmanu suše za pet tradicijskih kultivara graha. Tretmani označeni istim slovom ne razlikuju se značajno na temelju Tukeyjevog testa.

Grafikon 3 prikazuje razlike u vrijednostima nefotokemijskog čišćenja (NPQ) u kontroli i tretmanu suše za pet tradicijskih kultivara graha. Iz grafikona je vidljivo da su svi tradicijski kultivari u kontrolnoj otopini imali manju vrijednost nefotokemijskog čišćenja u odnosu na genotipove pod sušom.



Grafikon 3. Razlike u vrijednostima nefotokemijskog čišćenja (NPQ) u kontroli i tretmanu suše za pet tradicijskih kultivara graha. Tretmani označeni istim slovom ne razlikuju se značajno na temelju Tukeyjevog testa.

Grafikon 4 prikazuje razliku udjela otvorenih fotosustava II (qP) između kontrole i tretmana suše. Iz grafikona je uočljivo da su genotipovi kontrole imali veći prosječni qP (0,63) u odnosu na tretman suše (0,51).



Grafikon 4. Utjecaj tretmana suše na udio otvorenih fotosustava (qP) biljaka graha. Stupcima su prikazane srednje vrijednosti qP za svih pet tradicijskih kultivara graha. Različita slova

pridružena stupcima ukazuju na značajne razlike srednjih vrijednosti temeljene na Tukeyjevom testu.

Iako je kvantna efikasnost fotosustava II (F_v/F_m) jedan od najčešće mjenjenih parametara klorofilne fluorescencije za ispitivanje utjecaja stresa, rezultat je pokazao da stres suše nije značajno utjecao na ovaj parametar. Mnoga druga istraživanja pokazala su sličan odgovor F_v/F_m na sušu što ukazuje da nije došlo do trajne fotoinhibicije. Guretzki i Papenbrock (2013) nisu pronašli značajne razlike u F_v/F_m između kontrole i suše kod vrste *L. purpureus* pod blagim stresom, kao ni Clavel i sur. (2006) kod linija graška te Živčák i sur. (2008) na sortama pšenice. Ovaj parametar je ipak neosjetljiv na smanjenje sadržaja vode u listu te ga se ne može koristiti za praćenje ranih simptoma utjecaja stresa suše (Bukhov i Carpentier, 2004; Ohashi i sur., 2006).

Ostali parametri klorofilne fluorescencije kao što su F_q'/F_m' , ETR, qP i NPQ osjetljiviji su na stres suše u odnosu na F_v/F_m koji nije pokazao značajne promjene. Stres suše izazvao je smanjenje F_q'/F_m' , ETR i qP, dok se NPQ značajno povećao kod svih pet kultivara. Ovi rezultati su u skladu s Wangom i sur. (2002) koji su utvrdili da pod stresom blage i srednje suše vrijednosti F_q'/F_m' i ETR padaju te da smanjenje qP pokazuje da je sposobnost fotokemijske pretvorbe osjetljivija na stupanj i trajanje stresa suše. Porast nefotokemijskog čišćenja (NPQ) ukazuje na povećanje rasipanja viška energije kroz nefotokemijske puteve (ksantofilni ciklus), što predstavlja obrambeni mehanizam za održavanje normalne fotosinteze u biljkama (Demmig-Adams i Iii, 1996). Smanjenje fotokemijske učinkovitosti povećava NPQ, a višak svjetlosne energije ne može se koristiti za fotosintetski prijenos elektrona i odvođenje topline. Apsorbirana svjetlosna energija nakuplja se u lokalnom dijelu optičkog sustava, uzrokujući oštećenje strukture PSII i smanjenje fotokemijske aktivnosti u reakcijskom centru, što je u skladu s prethodnim istraživanjima (Pastenes i Horton, 1996).

5. ZAKLJUČAK

Iz provedenog istraživanja može se zaključiti da je stres suše izazvao značajne promjene u udjelu otvorenih fotosustava (qP), nefotokemijskom čišćenju (NPQ) i relativnom transportu elektrona (ETR) između kontrole i tretmana suše u svih 5 tradicijskih kultivara graha. Parametar F_q/F_m između kontrole i suše značajno se razlikovao kod 'Tetovca' i 'Trešnjevca', dok kod ostala 3 tradicijska kultivara stres suše nije uzrokovao značajne promjene. S obzirom da maksimalna učinkovitost fotosustava II (F_v/F_m) nije bila osjetljiva na stres izazvan sušom, možemo zaključiti da nije dobar pokazatelj stresa suše u ranoj fazi razvoja biljaka graha. Kako je tolerancija PSII na sušu velika, određivanje fluorescencije trebalo bi provoditi pod jakim i dužim stresom suše pa bi vjerojatnost značajnije promjene F_v/F_m bila veća uslijed pojave fotoinhibicije. Prema tome, ostali parametri klorofilne fluorescencije (qP, NPQ, ETR i F_q/F_m) osjetljiviji su na stres suše u odnosu na F_v/F_m , što ih čini boljim pokazateljima stresa suše u ranijim fazama.

Promatrajući rezultate analize svih parametara, od 5 tradicijskih kultivara kao one koji su pokazali određenu tolerantnost na stres suše, odnosno one koji su pokazale male razlike u vrijednostima u kontroli i stresu suše, su 'Biser', 'Puter' i 'Zelenčec', dok su kod 'Tetovca' i 'Trešnjevca' ostvarene velike razlike u vrijednostima za sve parametre između kontrole i suše.

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da stres suše kod biljaka utječe na fotosintetsku učinkovitost, što se odražava na parametre klorofilne fluorescencije. Zbog velike osjetljivosti, klorofilna fluorescencija pogodna je metoda za analizu interakcije biljke i faktora stresa, što u konačnici omogućuje odabir genotipova tolerantnih na stres suše na brz i jednostavan način.

6. POPIS LITERATURE

1. Adams M.W., Coyne D.P., Davis J.H.C., Graham P.H., Francis C.A. (1985). Common bean (*Phaseolus vulgaris L.*). In: Summerfield, R.J., Roberts, E.H. (Eds.), Grain legume crops. Collins, London, UK, 433-476.
2. Anjum F., Yaseen M., Rasul E., Wahid A., Anjum S. (2003). Water stress in barley (*Hordeum vulgare L.*). I. Effect on chemical composition and chlorophyll contents, Pakistan J. Agr. Sci. 40, 45–49.
3. Asfaw A., Blair M.W., Struik P.C. (2012). Multi-environment quantitative trait loci analysis for photosynthetic acquisition, accumulation, and remobilization traits in common bean under drought stress. G3 (Bethesda). 2: 579-595.
4. Bailey L.H. (1975). Manual of Cultivated Plants. 15th ed., Macmillan Publishing Co., New York.
5. Baker N. R. (2008). Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. Annual Review of Plant Biology. 59:89–113.
6. Baker N.R., Rosenqvist E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany 55, 1607–1621.
7. Bartels D., Sunkar R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. Critical Rev. Plant Sci. 24:23, 58.
8. Beebe S.E., Rao I.M., Cajiao C., Grajales M. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. Crop Sci. 48: 582-592.
9. Bota J., Flexas J., Medrano H. (2004). Is photosynthesis limited by decreased Rubisco activity and RuBP content under progressive water stress? New Phytol. 162, 671–681.
10. Buchanan B.B., Gruissem W., Jones R.L. (2000). Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville: American Society Plant Physiologists.
11. Bukhov, N.G., Carpentier, R. (2004). Effects of water stress on the photosynthetic efficiency of plants. U: Papageorgiou, G.C., Govindjee, G. (ur.). Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis. Advances in photosynthesis and respiration Series, Springer, Dordrecht, 321-362.
12. Butler W.L. (1978). Energy distribution in the photochemical apparatus of photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology 29, 457–478.

13. Chakir S., Jensen M. (1999). How does *Lobaria pulmonaria* regulate Photosystem II during progressive desiccation and osmotic water stress? A chlorophyll fluorescence study at room temperature and at 77 K. *Physiol Plant.*, 105, 257–265.
14. Chase M. W. i sur. (1993). Phylogenetics of seed plants: an analysis of nucleotide sequences from the plastid gene *rbcL*. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 80 : 528 – 580.
15. Chaves M.M. (1991). Effects of water deficits on carbon assimilation. *J. Exp. Bot.*, 42, 1-16.
16. Chaves M.M., Pereira J.S., Maroco J., Rodrigues M.L., Ricardo C.P.P., Osorio M.L., Carvalho I., Faria T., Pinheiro C. (2002). How plants cope with water stress in the field. *Photosynthesis and growth. Ann Bot.* 89:907-16.
17. Clavel D., Diouf O., Khalfaoui J.L., Braconnier S. (2006). Genotypes variation in fluorescence parameters among closely related groundnut (*Arachis hypogaea L.*) lines and their potential for drought screening programs. *Field Crop Res* 96: 296-306.
18. Coelho R.C., Faria M.A., Rocha J., Reis A., Oliveira M.B.P.P., Nunes E. (2009). Assessing genetic variability in germplasm of *Phaseolus vulgaris L.* collected in Northern Portugal. *Scientia Horticulturae* 122(3):333-338.
19. Cornic G. (1994). Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. In: *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the field.* Eds. N.R. Baker, J.R. Boyer, Bios Scientific Publishers, Oxford, 297-313.
20. Cornic G., Ghashghaie J., Genty B., Briantais J.M. (1992). Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. *Photosynthetica*, 27, 295-3.
21. Cronquist A. (1981). *An Integrated System of Classification of Flowering Plants.* Columbia University Press, New York, 587-601.
22. Demmig-Adams B., Iii W. W. A. (1996). The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends Plant Sci.* 1, 21-26. 10.1016/S1360-1385(96)80019-7 [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
23. Duysens L.N.M., Sweers H.E. (1963). Mechanism of two photochemical reactions in algae as studied by means of fluorescence. In: *Studies on Microalgae and Photosynthetic Bacteria.* University of Tokyo Press, Tokyo, 353-372.
24. El-Tohamy W., Schnitzler W.H., El-Behairy U., Singer S.M. (1999). Effect of long-term drought stress on growth and yield of bean plants (*Phaseolus vulgaris L.*). *Angewandte Botanik* 73(5):173-177.
25. Flora Croatica Database. (<https://hirc.botanic.hr/fcd/DetailFrame.aspx?IdVrste=12644&taxon=Phaseolus+vulgaris+L.>)

26. Food and Agricultural Organization (FAO) (2014). Food and Agricultural Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2014/en/>
27. Furbank R.T., Von Caemmerer S., Sheehy J., Edwards G. (2009). C-4 rice: a challenge for plant phenomics. *Functional Plant Biology* 36, 845–856.
28. Gentry H.S. (1969). Origin of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. *Economic Botany*, Vol. 23, No. 1, 55-69, <http://dx.doi.org/10.1007/BF02862972>
29. Graham P., Ranalli P. (1997). Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research*, 53, 131-146. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00112-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00112-3).
30. Guretzki S., Papenbrock J. (2013). Comparative analysis of methods analyzing effects of drought on the herbaceous plant lab purpureus. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 86: 47-54
31. Hoekstra F.A., Golovina E.A., Buitink J. (2001). Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends Plant Sci.* 6, 431–438.
32. Hutchinson J. (1973). *The Families of Flowering Plants*. 3rd Edn., The Clarendon Press, Oxford, 189-196.
33. ITIS (2014), „ITIS standard report page: *Phaseolus vulgaris*, Taxonomic Serial No.: 26857“, Integrated Taxonomic Information System, www.itis.gov
34. Jaleel C.A., Gopi R., Panneerselvam R. (2008). Growth and photosynthetic pigments responses of two varieties of *Catharanthus roseus* to triadimefon treatment. *Comp. Rend. Biol.*, 331: 272–277.
35. Jaleel C.A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Al-Juburi H.J., Somasundaram R., Panneerselvam R. (2009). Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. *Int. J. Agric. Biol.*, 11: 100–105.
36. Jones S.B., Luchsinger A.E. (1987). *Plant Systematics*. 2nd Edn., McGraw-Hill Inc., New York, 356-361.
37. Kanechi M., Kunitomo E., Inagaki N., Maekawa S. (1995). Water stress effects on ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and its relationship to photosynthesis in sunflower leaves. In: *Photosynthesis: from light to biosphere*. Vol. IV. Ed. M. Mathis, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht - London, 597-600.
38. Kautsky H., Hirsch A. (1931). Neue Versuche zur Kohlenstoffassimilation. *Naturwissenschaften* 19:964.
39. Kaya M.D., Okçub G., Ataka M., Çikilic Y., Kolsarıcıa Ö. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Eur. J. Agron.* 24, 291–295.

40. Kubiske M.E., Abrams M.D. (1993). Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis in 19 temperate tree species on contrasting sites during wet and dry years. *Plant, Cell Environment* 16, 1123–1129.
41. Lawlor D.W., Cornic G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants, *Plant Cell Environ.* 25, 275–294.
42. Lešić, R., Borošić J., Buturac I., Herak-Čustić M., Poljak M., Romić D. 2004., Povrćarstvo. Zrinski, Čakovec.
43. Miklas P.N., Kelly J.D., Beebe S.E., Blair M.W. (2006). Common bean breeding for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical to MAS breeding. *Euphytica* 147:105-131.
44. Morgan P.W. (1990). Effects of abiotic stresses on plant hormone systems, in: *Stress Responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms*, Wiley-Liss, Inc., pp. 113–146.
45. Murchie E.H., Lawson T. (2013). *Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice*
46. Nassar R.M.A., Ahmed Y.M., Boghdady M.S. (2010). Botanical Studies on *Phaseolus vulgaris* L. I-Morphology of Vegetative and Reproductive Growth. *International Journal of Botany* 6 (3): 323-333.
47. Nimac A., Carović-Stanko K., Lazarević B. (2018). Protokoli za mjerenje fluorescencije klorofila kod biljaka u uvjetima stresa nedostatka vode. Kongresno izlaganje, 11. međunarodni kongres "Oplemenjivanje bilja, sjemenarstvo i rasadničarstvo".
48. Nogués S., Baker N.R. (2000). Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *J. Exp. Bot.*, 51, 1309-1317.
49. Nonami H. (1998). Plant water relations and control of cell elongation at low water potentials. *J. Plant Res.* 111, 373–382.
50. Ohashi, Y., Nakayama, N., Saneoka H., Fujita, K. (2006). Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biol. Plant.*, 50: 138-141.
51. Pastenes C., Horton P. (1996). Effect of high temperature on photosynthesis in beans. I. Oxygen evolution and chlorophyll fluorescence. *Plant Physiology* 112, 1245– 1252.
52. Purseglove J.W. (1968). *Tropical Crops: Dicotyledons*, Longmans, London.
53. R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.r-project.org>
54. Rajnović, I. (2017). Bioraznolikost i simbiozna učinkovitost prirodnih populacija rizobija koje noduliraju grah (*Phaseolus vulgaris* L.), doktorski rad.

55. Rendle A.B. (1967). The Classification of Flowering Plants. Vol. 2, Cambridge University Press, Cambridge, 348-370.
56. Schreiber V., Schliwa V., Bilger W. (1986). Continuous recording of photochemical and non-photochemical fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynth Res* 9.
57. Schulze E.D. (1986). Carbon Dioxide and Water Vapor Exchange in Response to Drought in the Atmosphere and in the Soil. *Annual Review of Plant Physiology* Vol. 37:247-274.
58. Shangguan Z., Shao M., Dyckmans J. (1999). Interaction of osmotic adjustment and photosynthesis in winter wheat under soil drought. *J. Plant Physiol.*, 154, 753-758.
59. Somerville C., Briscoe J. (2001). Genetic engineering and water, *Science* 292, 2217.
60. Taiz L., Zeiger E. (2006). *Plant Physiology*. 4th Ed., Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts.
61. Terán H., Singh S.P. (2002). Comparison of Sources and Lines Selected for Drought Resistance in Common Bean. *Crop Science* 42(1):64-70.
62. Tezara W., Mitchell V.J., Driscoll S.D., Lawlor D.W. (1999). Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*, 401, 914-917.
63. Voet D., Voet J.G. (2004). *Biochemistry*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 871-908.
64. 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.
65. Wortmann C.S. (2006), „*Phaseolus vulgaris* L. (common bean): Prota 1: Cereals and pulses/Céréales et légumes secs“, [http://database.prota.org/PROTAhtml/Phaseolus%20vulgaris%20\(common%20bean\)_En.htm](http://database.prota.org/PROTAhtml/Phaseolus%20vulgaris%20(common%20bean)_En.htm)
66. Živčák M., Brestič M., Olšovská K., Slamka P. (2008). Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L. *Plant Soil Environ* 54(4): 133-139

ŽIVOTOPIS

Lucija Car rođena je u Zagrebu, 12. srpnja 1993. godine. Završava X. gimnaziju „Ivan Supek“ u Zagrebu 2012. godine te 2015. upisuje smjer „Agroekologije“ na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Po završetku preddiplomskog studija, upisuje diplomski studij „Agroekologija“.