Ispitivanje otpornosti na sušu hibrida kukuruza različitih FAO grupa u ranoj vegetativnoj fazi

Topić, 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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:604364

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Ispitivanje otpornosti na sušu hibrida kukuruza različitih FAO grupa u ranoj vegetativnoj fazi

DIPLOMSKI RAD

Lucija Topić

Zagreb, rujan, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Diplomski studij:

Biljne znanosti

Ispitivanje otpornosti na sušu hibrida kukuruza različitih FAO grupa u ranoj vegetativnoj fazi

DIPLOMSKI RAD

Lucija Topić

Mentor:

Prof.dr.sc. Snježana Kereša

Zagreb, rujan, 2020.

Ovaj rad rezultat je istraživanja na projektu „Procjena adaptabilnosti hrvatskog sortimenta kukuruza i soje u funkciji oplemenjivanja za tolerantnost na sušu“ financiranog od Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ).

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Lucija Topić**, JMBAG 017809387, rođen/a 28.12.1992. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SUŠU HIBRIDA KUKURUZA RAZLIČITIH FAO GRUPA U RANOJ VEGETATIVNOJ FAZI

Svojim potpisom jamčim:

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

U Zagrebu, dana _____

_____

Potpis studenta / studentice

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Lucija Topić**, JMBAG 017809387, naslova

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SUŠU HIBRIDA KUKURUZA RAZLIČITIH FAO GRUPA U RANOJ VEGETATIVNOJ FAZI

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana

_____ .

Povjerenstvo: potpisi:

1. Prof.dr.sc. Snježana Kereša mentor _____
2. Prof.dr.sc. Hrvoje Šarčević član _____
3. Doc.dr.sc. Ivanka Habuš Jerčić član _____

Sadržaj

1. Uvod 1

1.1. Cilj istraživanja 1

2. Pregled literature 2

2.1. Značajke kukuruza 2

2.2. Proizvodnja kukuruza u Hrvatskoj i svijetu 2

2.3. Podrijetlo kukuruza 5

2.4. Klasifikacija kukuruza 5

3. Razvoj inbred linija i dobivanje hibrida kukuruza 7

3.1. Inbred linije kukuruza 7

3.2. Križanje inbred linija 8

4. Utjecaj suše na kukuruz 9

4.1. Utjecaj suše na kukuruz u ranim fazama rasta 10

4.2. Utjecaj suše u fazi intenzivnog rasta 11

5. Svojstva koja doprinose tolerantnosti kukuruza na sušu 13

6. Materijali i metode 15

6.1. Biljni materijal 15

6.2. Postavljanje pokusa 15

6.3. Mjerenje svojstva 16

6.4. Statistička analiza podataka 16

7. Rezultati i rasprava 17

7.1. Uspostava pokusa 17

7.2. Vrijednosti svojstava u kontroli i suši ovisno o FAO grupi 17

7.3. Utjecaj tretmana suše na masu korijena 19

7.4. Utjecaj tretmana suše na masu izdanka 22

7.5. Utjecaj tretmana suše na duljinu korijena i izdanka 23

7.6. Efikasnost tolerantnosti na sušu 26
8. Zaključak 28
9. Popis literature 29
Popis slika 32
Popis grafikona 32
Popis tablica 32
Životopis 33

Sažetak

Diplomskog rada studenta/ice **Lucije Topić**, naslova

ISPITIVANJE OTPORNOSTI NA SUŠU HIBRIDA KUKURUZA RAZLIČITIH FAO GRUPA U RANOJ VEGETATIVNOJ FAZI

Kukuruz (Zea mays) je jedna od najznačajnijih žitarica današnjice. Zbog lakog uzgoja kukuruz se uzgaja diljem svijeta te sve više potiskuje pšenicu i rižu. Osjetljiva je kultura na sušu. Suša je jedan od najvažnijih abiotskih stresova koji utječe na rast, razvoj i produktivnost biljaka, čime se u velikoj mjeri smanjuje prinos poljoprivrednih kultura širom svijeta. U ranim vegetativnim fazama rasta, kukuruzu je potrebna određena količina vode kako bi se usjev pravilno razvijao te kako bi se održala normalna biljna struktura za provođenje svih fizioloških i metaboličkih procesa, o kojoj na kraju ovisi potencijalni prinos. Najveće potrebe kukuruza za vodom su neposredno prije metličanja, tijekom svilanja i oplodnje te na početku nalijevanja zrna, a ako se suša javi u tim fazama gubitak prinosa može biti do 50%. Zbog navedenih razloga, oplemenjivači tragaju za hibridom koji će u uvjetima suše održati stabilan i zadovoljavajući prinos. Cilj ovog istraživanja je utvrditi tolerantnost na sušu hibrida kukuruza dviju različitih FAO grupa u ranoj vegetativnoj fazi razvoja. Kao biljni materijal korišteno je po osam genotipova (hibrida) kukuruza iz FAO grupe 300 i osam genotipova iz FAO grupe 600, u ranom vegetativnom rastu. Sjeme je naklijavano u komori rasta na 22 °C i fotoperiodu 16 h dan/ 8 h noć. Sedmi dan od sjetve, biljčice su pažljivo odvajane i presađivane u plastične cijevi napunjene vermikulitom. Cijevi su položene u kade napunjene polovičnom koncentracijom Hoaglad-ove otopine (kontrola) ili iste Hoaglad-ove otopine sa 6 % otopljenog polietilen-glikola (PEG) 8000. Izmjerena je duljina i masa svježeg i suhog izdanka i korijena svake biljke te je izračunato i jedno izvedeno svojstvo – efikasnost tolerantnosti na sušu (DTE). Na kraju pokusa bila je uočljiva vrlo velika razlika između biljaka uzgojenih u suši i kontroli. Prosječne vrijednosti svojstava pokazuju da su vrijednosti mjerenih svojstava, osim mase suhog korijena, manje u PEG-u nego u kontroli, što znači da je PEG, simulirajući sušu, negativno djelovao na razvoj biljaka. Signifikantne razlike između FAO grupe 300 i FAO grupe 600 uočene su za slijedeća svojstva: duljina korijena u PEG-u, duljina izdanka u kontroli i PEG-u te za masu svježeg izdanka u kontroli i PEG-u. Promatrajući pojedinačne hibride, genotipovi 8 i 30 su genotipovi koji su u suši zadržali visoke vrijednosti za veći broj ovdje mjerenih svojstava te ih možemo smatrati tolerantnima na sušu u fazi ranog vegetativnog rasta.

Ključne riječi: suša, kukuruz, FAO grupe, genotypes, PEG, korijen, izdanak.

Summary

Of the master's thesis – student **Lucija Topić,** entitled

Drought tolerance testing of maize hybrids of different FAO groups in early vegetative phase

Maize (Zea mays) is one of the most important cereals of nowadays and is a susceptible crop to drought. Because of its easy cultivation, corn is grown all over the world and is increasingly suppressing wheat and rice. The crop is sensitive to drought. Drought is one of the most important abiotic stress that affects plant growth, development and productivity, greatly reducing the yield of cultivated species worldwide. In the early vegetative stages of growth, maize needs a certain amount of water in order to develop properly and maintain a normal plant structure to carry out all physiological and metabolic processes, on which potential yield ultimately depends. The greatest needs of maize for water are just before brooming, during silking and fertilization, at the beginning of grain filling, and if drought occurs in these stages, the loss of yield can be up to 50%. For these reasons, breeders are looking for a hybrid that will maintain a stable and satisfactory yield under the drought conditions. The aim of this study was to determine the drought tolerance of maize hybrids of two different FAO groups in the early vegetative stage. As plant material eight genotypes (hybrids) of maize from FAO group 300 and eight genotypes from FAO group 600 were used, in early vegetative growth. Seeds were germinated in a growth chamber at 22 ° C and photoperiod 16 h day / 8 h night. On the seventh day after sowing, the plants were carefully separated and transplanted into plastic tubes filled with vermiculite. The tubes were placed in tubs filled with half the concentration of Hoaglad's solution (control) or the same Hoaglad's solution with 6% dissolved polyethylene glycol (PEG) 8000. The length and weight of the fresh and dry roots and shoots of each plant were measured and it was calculated one derived property - drought tolerance efficiency (DTE). At the end of the experiment, a very large difference was observed between plants grown in drought and control. The average values of the properties show that the values of the measured properties, apart from the dry root mass, are lower in PEG than in the control, which means that PEG, simulating drought, had a negative effect on plant development. Significant differences between FAO groups 300 and FAO groups 600 were observed for the following traits: root length in PEG, shoot length in control and PEG and for the weight of the fresh shoots in control and PEG. Observing individual hybrids, genotypes 8 and 30 are genotypes that have retained high values in drought for a number of traits measured here and can be considered drought tolerant in the early vegetative growth phase.

Keywords: drought, maize, FAO groups, genotypes, PEG, root, shoot.

1. Uvod

Kukuruz (Zea mays) je jedna od najznačajnijih žitarica današnjice, a njegova je upotreba vrlo široka, od hrane za ljude i stoku, do proizvodnje biogoriva. Zbog lakog uzgoja kukuruz se uzgaja diljem svijeta te sve više potiskuje pšenicu i rižu. Kukuruz je stranooplodna biljka, a najčešća metoda oplemenjivanja kukuruza je pedigre metoda. U posljednje vrijeme svjedoci smo vrlo velikih klimatskih promjena, u kojima dominiraju česta razdoblja suše. Suša je jedan od najvažnijih abiotskih utjecaja u poljoprivredi širom svijeta, a posljedice suše predstavljaju sve veći problem za poljoprivrednike. Od nedostatka vlage prinos kukuruza se drastično smanjuje, s obzirom da je vrlo osjetljiva kultura na sušu. Iako kukuruz ima dubok korijenov sustav kojim crpi vodu iz dubljih slojeva tla, u određenim fazama razvoja, štete od suše rezultiraju gubitkom prinosa do 50%. Zbog navedenih razloga, oplemenjivači tragaju za genotipovima kukuruza koji će u uvjetima suše održati normalnu biljnu strukturu, te stabilan i zadovoljavajući prinos. U ovom radu razrađene su štetne posljedice suše na kukuruz u svim fazama rasta i razvoja, s naglaskom na ispitivanje na sušu FAO grupe 300 i 600 u ranoj vegetativnoj fazi, te su navedena svojstva koja utječu na tolerantnost kukuruza na sušu. U rezultatima i raspravi bit će obrađeni podaci ovog istraživanja, u kojem je mjerena duljina i masa svježeg i suhog korijena i izdanka u kontroli i u PEG-om (polietilen glikolom) induciranoj suši, te će se njihovom usporedbom pokušati procijeniti koji genotipovi iz dviju različitih FAO grupa dobro podnose sušu u ranom vegetativnom rastu.

1.1. Cilj istraživanja

Cilj rada je utvrditi tolerantnost na sušu hibrida kukuruza dviju različitih FAO grupa u ranoj vegetativnoj fazi razvoja.

2. Pregled literature

2.1. Značajke kukuruza

Kukuruz je, uz pšenicu i rižu, jedna od tri vodeće poljoprivredne kulture u svijetu. Gospodarsko značenje kukuruza je vrlo veliko s obzirom na činjenicu da se uzgaja na značajnim površinama. Kukuruz je biljka koja ima najveći genetički potencijal rodnosti među žitaricama, najistraženija je biljna vrsta u genetici i selekciji, ima široku primjenu u ishrani ljudi i stoke, kao i u prerađivačkoj industriji (Kovačević i Rastija, 2014). U ljudskoj prehrani i u industriji se koriste svi dijelovi biljke kukuruza, osim korijena. Za silažu i prehranu stoke koriste se cijele stabljike s listom i klipom u zelenom stanju. Zrno sadrži 70-75% ugljikohidrata, 10% bjelančevina, oko 5% ulja, 15% mineralnih tvari, te 2,5% celuloze, te je zbog toga značajna sirovina u pripravljanju koncentrirane stočne hrane (www.agroklub.com).

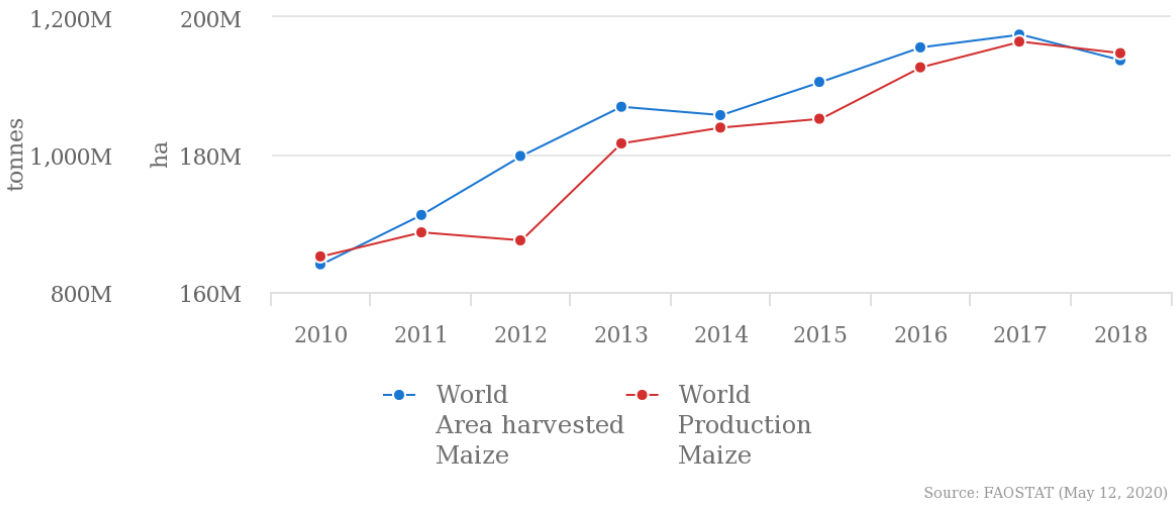
Za ljudsku prehranu kukuruz se prerađuje za proizvodnju kukuruzne krupice (palente) i brašna za proizvodnju kruha te pahuljica. Kukuruz sadrži obilje vitamina B i esencijalnih minerala zajedno s vlaknima, ali je razina kalija, folata te željeza kao i vitamina B12 i vitamina C vrlo niska. Kukuruzne klice služe za proizvodnju ulja, a sadrže preko 30 % vrlo kvalitetnog i zdravog ulja za ljudsku prehranu. Nakon proizvodnje ulja i škroba ostaju nusproizvodi koji se koriste za hranidbu stoke. U novije vrijeme, kukuruz je sve važnija žitarica koja se koristi u proizvodnji biogoriva. U posljednjih 10 godina značajno se povećala upotreba kukuruza za proizvodnju goriva (u SAD-u 40% proizvodnje kukuruza koristi se za proizvodnju etanola) (Zrakić i sur.). Sve više kukuruza odlazi u stočnu hranu, iako je kukuruz i dalje glavna hrana za većinu rastuće svjetske populacije, posebice u Africi.

Industrija, osim za hranu za ljude i stoku, proizvodi veliki broj grupa proizvoda od kukuruza koji se koriste u farmaceutskim i kozmetičkim pripravcima, tekstilnim i kemijskim proizvodima i slično (www.agroklub.com). Od kukuruza se u svijetu proizvodi više od 1000 raznih proizvoda.

Zbog svih navedenih razloga te zbog lakog uzgoja kukuruz se sve više širi pa se danas sije i u zemljama gdje ga ranije nisu uzgajali. Kukuruz sve više potiskuje pšenicu i druge ratarske kulture (www.pioneer.com).

2.2. Proizvodnja kukuruza u Hrvatskoj i svijetu

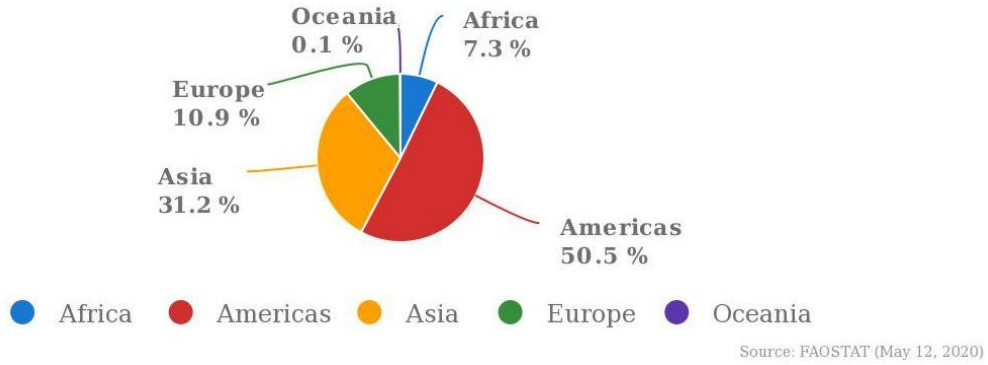
Kukuruz se uzgaja diljem svijeta. U razdoblju od 2010. do 2018. godine vidljiv je porast proizvodnje i površina pod kukuruzom. U 2018. godini površine pod kukuruzom su bile oko 195 milijuna ha na kojima se proizvelo oko 1,2 milijuna tona zrna (Grafikon 1).



Grafikon 1. Proizvodnja kukuruza u svijetu (2010. - 2018.)

Izvor: FAOSTAT
http://www.fao.org/faostat/en/ - pristup 12.5.2020.

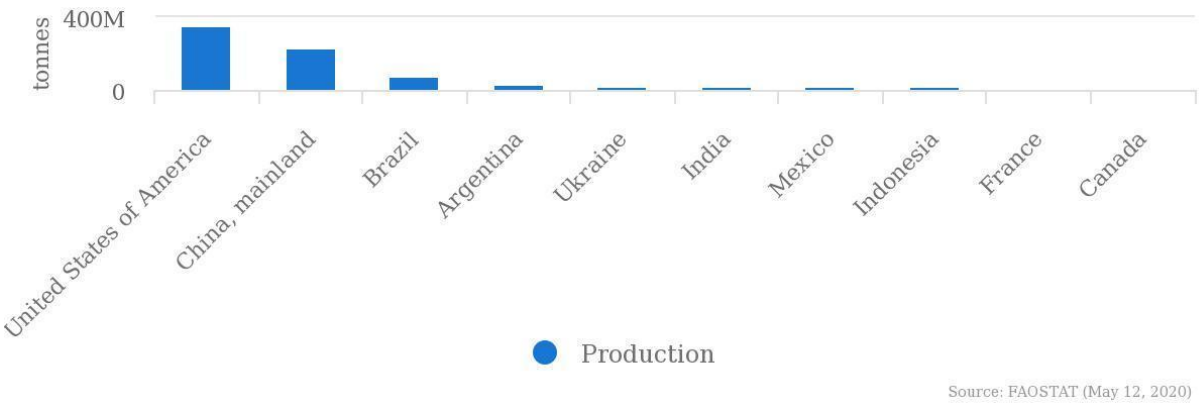
Modernizacijom poljoprivredne proizvodnje pa tako i proizvodnje kukuruza postignut je pozitivan trend i kod prosječnog svjetskog priroda kukuruza.
Više od polovice svjetske proizvodnje (50,5%) odvija se u Americi (Sjeverna, Srednja, Južna), zatim slijede Azija (31,2%) i Europa (10,9%) (Grafikon 2).



Grafikon 2. Proizvodnja kukuruza po svjetskim regijama (2010. - 2018.)

Izvor: FAOSTAT
http://www.fao.org/faostat/en/ - pristup 12.5.2020.

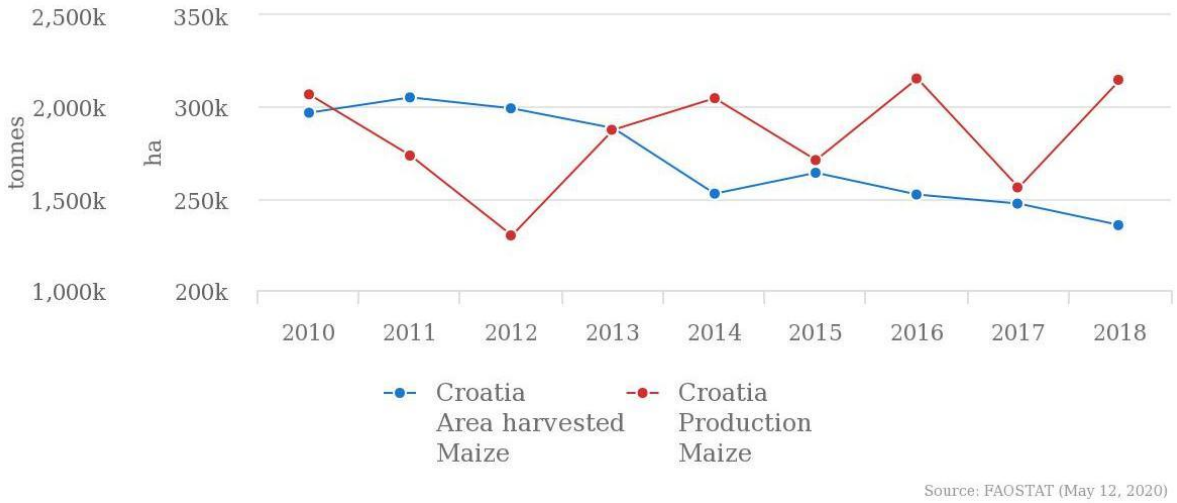
Najveći svjetski proizvođači kukuruza su SAD (oko 350 mil. tona), Kina (220 mil. tona) i Brazil (70 mil. tona) s ukupno dvije trećine svjetske proizvodnje (Grafikon 3.).



Grafikon 3.Najveći proizvođači kukuruza u svijetu u razdoblju od (2010. - 2018.)

Izvor: FAOSTAT
http://www.fao.org/faostat/en/ - pristup 12.5.2020.

Proizvodnja kukuruza u Hrvatskoj posljednjih godina vrlo je varijabilna (Grafikon 4.). Površine su relativno stabilne, a ukupna godišnja proizvodnja je više pod utjecajem klimatskih nego ekonomskih čimbenika. Naime, prema podacima FAOSTAT-a, u posljednjih 10 godina Hrvatska bilježi značajne promjene u proizvodnji kukuruza. Značajan pad proizvodnje kukuruza dogodio se 2012. godine. Proizvodnja se umanjila za gotovo polovicu prinosa (oko 1,3 tisuće tona), iako se površina zasijana kukuruzom nije bitno smanjila. Glavni uzrok tome bile su suša, visoke temperature i loša raspodjela oborina tokom vegetacije, ali i drugi faktori poput smanjene potrošnje mineralnih gnojiva po jedinici površine i neke druge restrikcije u agrotehnici uslijed lošijeg financijskog stanja u gospodarstvu (Kovačević, 2015). Podaci iz 2018. godine pokazuju porast u proizvodnji (2,2 tisuća tona), međutim površina zasijana kukuruzom drastično se smanjila (oko 235 tisuća hektara).



Grafikon 4. Proizvodnja kukuruza u RH (2010. - 2018.)

Izvor: FAOSTAT
http://www.fao.org/faostat/en/ - pristup 12.5.2020.

2.3. Podrijetlo kukuruza

Kukuruz je podrijetlom iz Srednje Amerike, a smatra se da je pradomovina kukuruza Meksiko te da je donesen u Europu prvom ekspedicijom Kristofora Kolumba 1492. godine. Kukuruz se uzgaja u cijelom svijetu, a zbog različite duljine vegetacije, raznolike mogućnosti upotrebe i sposobnosti rasta na lošijim tlima i u lošijim klimatskim uvjetima, područje uzgoja mu je vrlo široko. Najprije se uzgajao u vrtovima, ali već 1525. godine u Španjolskoj uzgajao se na većim površinama. U 16. stoljeću kukuruz se brzo proširio po Europi. Portugalci su kukuruz širili duž obale Afrike, a kasnije ga prenijeli i u Kinu. Preko Venecije kukuruz se širio Sredozemljem. Godine 1572. kukuruz se prvi puta pojavio u Dalmaciji, a donijeli su ga španjolski trgovci preko Italije (Paulić, 2015).

2.4. Klasifikacija kukuruza

Kukuruz je jednogodišnja, jednodomna kulturna biljka (žitarica) iz porodice trava (Poaceae, Gramineae), pripada redu Poales, rodu Zea. Rod Zea ima samo jednu vrstu Zea mays L. *Prema karakteristikama zrna* kukuruz se razvrstava u sljedeće podvrste:

- Zuban (*Zea mays ssp. indentata*) - ima oblik zrna koji podsjeća na zub. Hibridi zubana daju visoke prinose, pa se danas najviše koriste u proizvodnji.

- Tvrdunac (*Zea mays ssp. indurata*) - pogodniji je za ljudsku i stočarsku proizvodnju. Zrno je tvrdo, okruglog do ovalnog oblika. Tvrdunac ima niži prinos, ali kvalitetnije zrno od zubana (veća hranidbena vrijednost) .

- Šećerac (*Zea mays ssp. sacharata*) - zrno šećerca ima smežuranu površinu, te polu-providan caklasti endosperm u kojem ima malo škroba. Nastao je mutacijom zubana i tvrdunca, pojavom recesivnih sugar gena koji sprječavaju da se dio šećera transformira u škrob. Zbog toga se u endospermu šećerca pored različitih oblika škroba nalaze i vodotopivi dekstrini koji zrnu daju sladak okus. Koriste se u ishrani ljudi, a mogu se pripremiti kuhanjem ili konzerviranjem.

- Kokičar (*Zea mays ssp. everta*) - zrno kokičara je ekstremno tvrdo, a endosperm je gotovo u potpunosti caklav, izuzev malog brašnjavog dijela oko klice. Za kokičare je karakteristično da se prilikom zagrijavanja zrna oslobađa vodena para pod čijim pritiskom puca perikarp, zrno povećava volumen, a endosperm izlazi van u obliku bijele, mekane i šupljikave mase.

- Mekunac (*Zea mays ssp. amylacea*) - u ovu vrstu ubrajamo škrobni ili brašnjasti tip kukuruza. Ova podvrsta uglavnom se koristi za proizvodnju alkohola i škroba visokog stupnja čistoće.

- Voštani kukuruz (*Zea mays ssp. ceratina*) - je nastao mutacijom sjevernoameričkih sorti. Karakterizira ga dvoslojni endosperm, vanjski dio zrna

je neprovidan i podsjeća na vosak, dok je unutrašnji brašnast. U škrobu ove podvrste prevladava razgranata frakcija škroba (amilopektin) naglašene ljepljivosti (škrobno ljepilo).

- Pljevičar (*Zea mays ssp. tunicata*) - je nastao mutacijom, pojavom recesivnog Tu gena na 4. kromosomu. Djelovanje ovog gena manifestira se pojavom pljevica koje obavijaju zrno kukuruza. Ova podvrsta nema gotovo nikakvo gospodarsko značenje, a služi uglavnom za znanstvena istraživanja.

- Škrobni šećerac (*Zea mays ssp. amylosacharata*) - zrno škrobnog šećerca ima klinasti oblik, donji dio zrna i približno je 2/3 brašnjav dok je vršni dio sličan kao kod šećerca. Uzgaja se uglavnom u Južnoj Americi (Peru i Bolivija) i nema većeg privrednog značaja (Kovačević i Rastija, 2014).

U proizvodnji su najviše zastupljeni zuban i tvrdunac, te njima pripada najveći broj kultivara i hibrida. Zuban je rodniji od tvrdunca, ali tvrdunac ima kvalitetnije zrno s većim postotkom bjelančevina. Zrno zubana više se koristi u prehrani domaćih životinja i industrijskoj preradi, a tvrdunac se više koristi u prehrani ljudi (www.agroklub.com).

Po duljini vegetacije, hibridi kukuruza se svrstavaju u vegetacijske grupe:

- FAO 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 i 1.000.

FAO sustav potječe iz Sjedinjenih Američkih Država (kukuruzni pojas), u kojem su hibridi kukuruza podijeljeni u devet skupina na temelju duljine vegetacije (najraniji hibridi su od 100, a najkasniji do 900). Činjenice su dokazale da je sustav bolji od ranijeg sustava za utvrđivanje duljine vegetacije kukuruza, pa je proširen na 12 skupina, pokrivajući cijelo područje uzgoja kukuruza. U Europi je ovu metodu prihvatila FAO (Organizacija za hranu i poljoprivredu), zbog čega su ove skupine imenovane kao FAO grupe. Prilikom uvođenja FAO sustava u Europu bilo je potrebno „baždarenje“ europskih hibrida, odnosno uspoređivanje njihove duljine vegetacije s određenim američkim hibridima koji imaju određenu skupinu i koji se koriste kao standardi (Kovačević i Rastija, 2014).

Uvođenjem američkih hibrida u našu proizvodnju kukuruza prihvaćena je američka podjela hibrida po dužini vegetacije na vegetacijske grupe sazrijevanja. Prema toj podjeli hibridi se svrstavaju u pojedine vegetacijske grupe sazrijevanja na osnovu datuma svilanja i sadržaja vode u zrnu u berbi u usporedbi sa standardnim hibridom za svaku grupu sazrijevanja. Vegetacijska grupa 100 ima najkraću vegetaciju koja traje 2 i pol do 3 mjeseca. Svaka daljnja grupa ima vegetaciju dulju za 5 do 10 dana (Rapčan, 2014.).

3. Razvoj inbred linija i dobivanje hibrida kukuruza

3.1. Inbred linije kukuruza

Inbred linije su homozigotne linije koje se u oplemenjivanju upotrebljavaju kao roditelji hibridnih kultivara u stranooplodnim vrstama, a mogu nastati samooplodnjom, križanjem u srodstvu, povratnim križanjem ili metodom dihaploida. U razvoju inbred linija najčešće se koristi samooplodnja jer se samooplodnjom najlakše postiže homozigotnost. Samooplodne biljne vrste nemaju poteškoća u razvoju inbred linija, s obzirom da su sorte u takvim biljnim vrstama najčešće čiste linije ili imaju visok stupanj homozigotnosti, tako da se individualnom selekcijom lako prevode u inbred linije. Za stvaranje određenog broja različitih homozigotnih linija te smanjenje heterozigotnosti kod potomstva, odabrane biljke stranooplodnih biljnih vrsta moraju proći postupak samooplodnje. Zbog razdvojenosti generativnih organa i različitog vremena sazrijevanja muških i ženskih cvjetova na istoj biljci, kukuruz je izrazito stranooplodna biljka (Beljo, 2012).

Početna, genetički varijabilna, populacija za kasniji razvoj inbred linija najčešće se dobije križanjem dviju ili nekoliko dobrih inbred linija. Nakon križanja dvije homozigotne inbred linije, u cilju proizvodnje početne oplemenjivačke populacije za razvoj novih inbred linija, proizvedena F_1 generacija je heterozigotna i homogena. Na biljkama F_1 napravi se ručna samooplodnja za dobivanje F_2 generacije sjemena. F_2 generacija tj. populacija je heterogena odnosno cijepajuća i u njoj se započinje s izborom biljaka i samooplodnjom u cilju razvoja novih inbred linija.

Za razvoj novih inbred linija najčešće se koristi Pedigre metoda. Uobičajeni postupak je da se u početnoj populaciji odabere oko 500 biljaka i na njima obavi samooplodnja. Iduće godine se uzgoje F_3 biljke po sistemu „klip na red“, a 20-30 biljaka u redu.

Dio sjemena se čuva kao rezerva. Unutar i između redova odabere se oko 200 biljaka i samoplodi ih se za proizvodnju F_4 sjemena. Najčešće se odabere oko 5 biljaka po redu.

U F_4 generaciji uzgojenoj opet po sistemu „klip na red“ odabere se i samooplodi oko 80 biljaka. U F_5 se odabere oko 40 ujednačenih redova, tj. linija koje ne cijepaju. Unutar ovih linija obavlja se samooplodnja, a dijelom polena istih biljaka križanje sa zajedničkim testerom. Tester može biti dvostruki križanac, jednostruki križanac, jedna ili više inbred linija, što ovisi o oplemenjivaču i cilju oplemenjivanja. Samooplođeno sjeme služi kasnije za ocjenu homozigotnosti i umnažanje inbred linije, a križanci za ocjenu kombinacijske sposobnosti, najprije opće, a zatim specifične tj. konačne hibridne kombinacije (Martinčić i Kozumplik, 1996).

Raznolikost između linija se povećava kako samooplodnja napreduje, dok se potomstvo unutar linija ujednačava sve do formiranja homozigotnih linija. Za izdvajanje linija tolerantnijih na nepovoljne vanjske uvjete te prilagođenih na različite okoline, inbred linije je tijekom samooplodnje poželjno podvrgnuti manje optimalnim uvjetima uzgoja, kao što su gušći sklop, visoke ili niske temperature te suša. Samooplodnjom se neželjeni recesivni aleli mogu zamijeniti dominantnima i nestati u

potomstvu, ali mogu i postati homozigotni, što rezultira gubitkom vigora. Najveći gubitak vigora je u prvim generacijama samooplodnje, a smanjuje se povećavanjem homozigotnosti inbred linija. S inbridingom se prekida kada se utvrdi da više nema gubitka vigora (Beljo, 2012).

3.2. Križanje inbred linija

Najčešća danas korištena vrsta kultivara kod kukuruza su linijski hibridi, a oni mogu biti dvolinijski, trolinijski i četverolinijski.

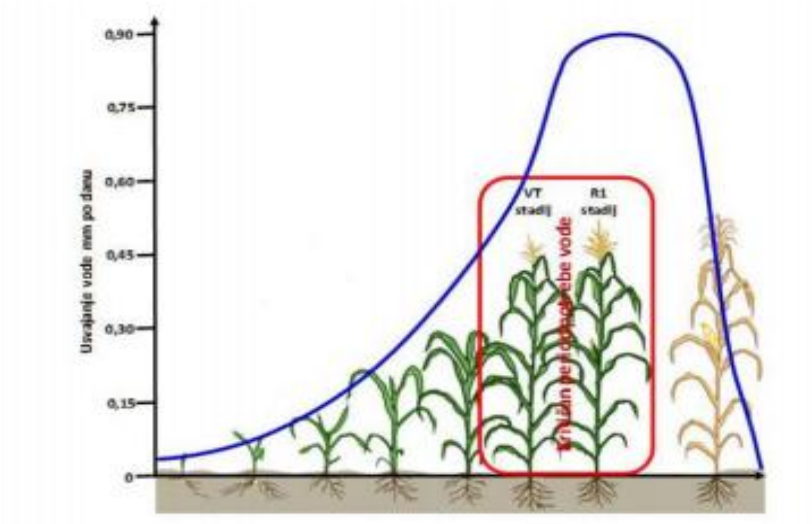
Dvolinijsko križanje je najjednostavnija i najčešća metoda križanja, a naziva se još i jednostavno ili jednostruko križanje (single cross). U ovakvom načinu hibridizacije koriste se dvije homozigotne inbred linije A x B. Potomstvo ovog križanja, dvolinijski hibrid, upotrebljava se izravno kao novi kultivar (F1 hibrid). Kod ovakve metode križanja, svaki roditelj prenosi potomstvu po 50% gena. Kod tog križanca postiže se maksimalni heterotični efekt. Sve biljke F_1 genracije su jednake genetske konstitucije i heterozigotne u svim lokusima u kojima su se razlikovale roditeljske linije. Usjev je fenotipski posve ujednačen. Nedostatak „single cross“ hibrida je rizična proizvodnja sjemena te relativno nizak prinos u proizvodnji sjemena (Martinčić i Kozumplik, 1996).
Trolinijsko križanje: u ovakvom se tipu križanja koriste tri inbred linije za formiranje populacije: (A x B) x C. Trolinijski hibrid dakle nastaje križanjem F_1 generacije jednolinijskog hibrida sa samooplodnom linijom. Ovakvi trolinijski hibridi rjeđe se koriste u komercijalnoj proizvodnji zbog manje razine heterozisa nego kod dvolinijskih kultivara (Beljo, 2012).

Četverolinijsko ili dvostruko križanje (double cross) je križanje dva linijska hibrida, a kao rezultat nastaje četverolinijski hibrid (A x B) x (C x D). Prednost četverolinijskog hibrida je u laganoj i jednostavnoj proizvodnji sjemena. Usjev izgleda relativno ujednačen. Određena neujednačenost hibrida je prisutna i ona mora biti stablina te postaje „sortna“ karakteristika (Martinčić i Kozumplik, 1996).

Suvremena proizvodnja kukuruza izmjenjuje sortimente hibrida jako brzo tako da su pojedini hibridi u široj proizvodnji 5-6 godina (www.agroklub.com).

4. Utjecaj suše na kukuruz

Suša je jedan od najvažnijih abiotskih stresova koji utječe na rast, razvoj i produktivnost biljaka, čime se u velikoj mjeri smanjuje prinos poljoprivrednika širom svijeta. Periodi suše variraju između godišnjih doba, godina i mjesta (Grzesiak i sur., 2012). Kukuruz ima veliku potrebu za vodom, ali je ekonomično troši. Njegove potrebe za vodom mijenjaju se ovisno o fazi razvoja, podvrsti (šećerac i kokičar zahtjevaju više vode) i hibridu. Može se uzgajati u područjima s godišnjom količinom oborina od 250 do 5000 mm. Prosječne potrebe kukuruza prema vodi su 400 do 600 mm, međutim kukuruz uspijeva i s manjim količinama ukoliko je tlo visokog kapaciteta za vodu te ako temperature nisu previsoke. S obzirom na sve veću pojavu sušnih razdoblja u svijetu, prinos kukuruza uvelike ovisi o pristupačnosti vode. Kukuruz ima nizak transpiracijski koeficijent (količina vode potrebna za stvaranje jedinice mase suhe tvari), od 250 do 300. Ovisno o temperaturi zraka kukuruz u intenzivnom porastu ispari dnevno 2-4 l vode po biljci. Kako temperature rastu, povećava se i evapotranspiracija. Tako pri temperaturi 25-26 ^{o}C ona iznosi 7-8 mm dnevno (Kovačević i Rastija, 2014).
Kukuruzu je potrebna određena količina vode u svim fazama razvoja kako bi ostvario zadovoljavajući prinos, međutim tijekom rasta kukuruza postoje kritični periodi kada nedostatak vode u tlu značajnije utječe na konačan prinos zrna. Vegetativna i reproduktivna faza su dvije glavne razvojne faze kukuruza. Vegetativna faza počinje s pojavom klijanaca i traje do metličenja, a reproduktivna faza počinje od metličanja i svilanja preko oprašivanja i traje do faze nalijevanja zrna i pune zrelosti. Ovisno o intenzitetu suše te razvojnoj fazi u kojoj se kukuruz nalazi, suša može smanjiti prinos za 20-50% (Anđelković i sur., 2012).



Slika 1. Kritični periodi kukuruza za vodom

Izvor: Basa, (2019)

Na slici 1 vidljivo je da kukuruz u ranim fazama rasta zahtjeva najmanje vode, dok najveću potrebu za vodom ima u fazama reproduktivnog rasta, a zatim se kroz

terminalne faze rasta potreba za vodom opet smanjuje. Dakle, najveće potrebe za vodom su neposredno prije metličanja, tijekom svilanja i oplodnje te na početku nalijevanja zrna. Za ostvarenje dobrog prinosa potrebno je 500 – 600 mm vode u vegetacijskom razdoblju kukuruza (Muhammad Aslam i sur., 2015; Basa, 2019).

4.1. Utjecaj suše na kukuruz u ranim fazama rasta

U ranim fazama rasta kukuruz ima manju potrebu za vodom u usporedbi s reproduktvnim fazama rasta. Sjeme kukuruza počinje klijati kada upije oko 45% vode, a minimalna temperatura za početak klijanja je, ovisno o hibridu, od 8-12 ^{o}C, te će u tim uvjetima kukuruz niknuti za 5-7 dana. Kako je zrno kukuruza veće od ostalih žitarica poput pšenice, riže i ječma, potrebna mu je veća količina vode za održavanje osmotskog potencijala i pretvorbu skladištene hrane u konzumni oblik, što je nužno za pravilno klijanje. Suša smanjuje klijavost i održivost sjemenke kukuruza, a uz niske temperature nakon sjetve produljuje razdoblje od sjetve do nicanja te produžava vegetaciju. Izduživanje korijena i izdanka podložni su smanjenju pod stresom suše (Aslam i sur., 2015).

S obzirom da jaka suša može uništiti usjev u vrijeme nicanja kukuruza, kako ne bi potpuno ostali bez prinosa, proizvođači u toj situaciji moraju ponovno sijati kukuruz kraće vegetacije ili neku drugu biljnu vrstu, što zahtjeva veće troškove, međutim donosi prinos (Anđelković i sur., 2012).

Pravilni rast i razvoj usjeva kukuruza važni su kako bi se održala normalna biljna struktura za provođenje svih fizioloških i metaboličkih procesa i o kojoj na kraju ovisi potencijalni prinos. Dioba stanica i veličina stanica smanjuju se pri smanjenom vodnom potencijalu stanica što uzrokuje smanjenje rasta biljaka. Neki od morfoloških faktora koji su smanjeni pod stresom suše su: visina biljke, promjer stabljike, biljna biomasa i površina lišća. Iako kukuruz ima dobro razvijen korijenov sustav koji crpi vodu iz dubljih slojeva, prvi je biljni organ koji osjeti manjak vode. U sušnim uvjetima smanjuje se duljina, volumen, gustoća i broj korijena (Aslam i sur., 2015). Ukoliko u početku vegetacije kukuruz ima dovoljno vode, tada će se plitko ukorijeniti i biti manje otporan na eventualnu sušu u kasnijim fazama razvoja, stoga je u ranom porastu poželjan blaži oblik suše odnosno manji nedostatak vode, jer se na taj način potiče rast korijena u dubinu radi potrage za vodom što rezultira većom otpornošću na potencijalnu sušu u kasnijim fazama razvoja (Kovačević i Rastija, 2014). Fotosinteza, transpiracija i primanje svjetla funkcionalne su osobine lista potrebne za njihov rast. Do smanjenja fotosinteze može doći zbog smanjene apsorpcije svjetlosti, radi smanjene razvijenosti ili uvijenosti lista, zbog smanjenja zelene lisne površine, te zbog reducirane fiksacije ugljika po jedinici lisne površine uslijed zatvaranja puči. Suša smanjuje veličinu i broj listova. Relativni sadržaj vode u lišću je veći u fazama ranog razvoja lišća, a zatim opada prema zrelosti. U lišću se smanjuje potreba za fotoasimilatima i energijom uvijanjem lišća pod blagim sušnim stresom. Fotosintetski asimilati iz lišća usmjereni su prema korijenu kako bi se produžilo i povećalo upijanje vode. Smanjenjem unosa vode uz nedostatak hranjivih sastojaka dolazi do povećavanja pH ksilema (smanjenje negativnih ili pozitivnih iona) koji transducira apscizinska kiselina (ABA), koja je posredni signal listovima za sprečavanje gubitka vode zatvaranjem puči (Aslam i sur., 2015).

U ranoj fazi rasta, suša uzrokuje smanjenje broja preživjelih biljaka i smanjuje sklop, a utjecaj suše prije cvatnje značajno smanjuje visinu biljke, površinu lista po biljci i prinos zrna, ali i neznatno povećava žetveni indeks (Anđelković i sur., 2012)

4.2. Utjecaj suše u fazi intenzivnog rasta

Za rast, razvoj i stvaranje velike mase biljaka u fazama brzog vegetativnog porasta kukuruza potrebna je dobra opskrba vodom. Tijekom faze reproduktivnog rasta potrebno je 8–9 mm vode dnevno po jednoj biljci. Kukuruz je najosjetljiviji na sušu u fazama reproduktivnog rasta, a razlogom tome smatra se translokacija asimilata fotosinteze u reproduktivne dijelove kukuruza. Kukuruz je jako osjetljiv na sušu u ovoj fazi i zbog fizičke razdvojenosti muških i ženskih cvjetova na biljci jer vodni i/ili toplinski stres utječe na sinkroniziranost razvoja polena i pojavu svile: suša odlaže pojavu svile, ali nema veliki utjecaj na formiranje polena (Dupuis and Dumas, 1990). Zato zbog jake suše i/ili toplinskog stresa zbog povećanja broja dana između metličanja i svilanja (ASI- *anthesis silking interval*) može izostati oplodnja što može rezultirati potpunim gubitkom prinosa (Anđelković i sur., 2012). Brojna istraživanja pokazala su veliku korelaciju ASI-ja i prinosa zrna prilikom intenzivnije suše, što potvrđuje presudan značaj cvatnje na formiranje stabilnog prinosa u uvjetima stresa. Ako je suša toliko jaka da izaziva jalovost biljke, ASI je u jakoj korelaciji i s brojem klipova po biljci. Značaj ASI-ja je i u tome što, evidentiran tokom cvatnje, omogućava procjenu konačnog prinosa zrna dva do tri mjeseca prije same berbe (Anđelković i sur., 2012).

Osim povećanja ASI-ja, suša uzrokuje i dehidraciju te sterilnost polena, stoga se vitalnost polena značajno smanjuje. Kako bi krenulo pravilno klijanje, polen apsorbira vlagu iz hidratizirane svile, a ako je u slučaju suše svila isušena, klijanje polena se smanjuje (Aslam i sur., 2015).

Embrionalni razvoj također je vrlo podložan stresu suše koja mu šteti na različite načine. Suša tijekom ranog embrionalnog razvoja može uzrokovati odbacivanje embrija. Prinos zrna kukuruza uglavnom ovisi o toleranciji ženskog reproduktivnog dijela. Nedovoljno osiguravanje fotosintetskih asimilata i šećernih supstrata embrijima u razvoju uzrokuje njihovo odbacivanje. Suša ima nepovoljan utjecaj i na razvoj endosperma. Kapacitet skladištenja endosperma određen je diobom stanica tijekom ranog stadija razvoja endosperma. Kako je dioba stanica uslijed suše reducirana, rezultat toga je i smanjen kapacitet skladištenja (Aslam i sur., 2015).

Za prinos kukuruza je vrlo važna faza razvoja zrna. Tijekom 50 do 60 dana nakon oplodnje formira se prinos zrna i akumulira se suha tvar u zrno kukuruza. Mliječna zrioba poklapa se s intenzivnom akumulacijom organske i mineralne tvari u zrno, tj. nalijevanjem zrna. Ova faza traje obično 15-20 dana (Kovačević i Rastija, 2014). Novoformirana zrna su najosetljivija dva tjedna poslije oplodnje, osobito ona koja se nalaze blizu vrha klipa, koja su posljednja oplođena i vjerojatno s manjim vigorom od ostalih (Anđelković i sur, 2012). Suša međutim može utjecati na smanjenje prinosa i na broj i veličinu zrna i nakon tog perioda. Produžavanjem vodnog stresa u fazi nalijevanja zrna povećava se sušenje lista, skraćuje period nalijevanja zrna, povećava polijeganje biljaka i smanjuje težina zrna. Tjestasto stanje predstavlja

početak sazrijevanja kada je akumulirano oko 50 % suhe tvari. U voštanoj zriobi vlažnost zrna se kreće od 55 do 35 % i akumulirano je oko 75 % suhe tvari u zrno. Fiziološka zrioba predstavlja kraj nalijevanja zrna. Oko 50 - 60 dana nakon svilanja (oplodnje) postignuta je maksimalna količina suhe tvari i stres više nema utjecaja na prinos (Kovačević i Rastija, 2014). Iako stres suše u fazi nalijevanja zrna smanjuje prinos, prvenstveno preko smanjenja veličine zrna, u odnosu na štete od suše u vrijeme oprašivanja, ti su gubici znatno manji. Približavanjem kukuruza zriobi smanjuje se potreba za vodom (Aslam i sur., 2015).

5. Svojstva koja doprinose tolerantnosti kukuruza na sušu

Tolerancija na sušu je vrlo složeno kvantitativno svojstvo kontrolirano većim brojem gena. Biljke su za podnošenje suše razvile brojne načine prilagodbe na fiziološkoj i molekularnoj razini. Otpornost na sušu kod biljaka može biti postignuta jednim od slijedećih mehanizama (1) mehanizmom izbjegavanja suše, (2) mehanizmom za smanjenje dehidracije i (3) mehanizmom tolerantnosti na dehidraciju (Kereša i sur., 2008).

Izbjegavanje suše genotipovi postižu ranijim dozrijevanjem, jer ubrzano rastu i razvijaju se pri povećanoj metaboličkoj aktivnosti. Svojstva koja pridonose ranijem dozrijevanju su visoka provodljivost puči, visoka fotosintetska aktivnost, niska djelotvornost korištenja vode (WUE) i rana cvatnja (Kereša i sur., 2008). Iako takvim mehanizmom biljke izbjegnu štete od suše, prinos se smanjuje, jer radi ranog sazrijevanja genotipovi imaju nižu evapotranspiraciju i niži indeks površine lišća što rezultira nižim prinosom (Aslam i sur., 2015).

Genotipovi koje karakterizira tolerantnost na smanjenje dehidracije imaju nižu razinu metaboličke aktivnosti, usporeni rast i visok vodni potencijal i turgor u sušnim uvjetima, što se događa kao posljedica postupnog zatvaranja puči i posljedičnog smanjenja transpiracije, ali i fotosinteze. Stoga su za ovakav mehanizam obrane od suše poželjni genotipovi s niskom provodljivosti puči (Kereša i sur., 2008).

Mehanizam tolerantnosti na dehidraciju predstavlja tolerantnost na sušom izazvane promjene na razini stanica i molekula. Biljke to postižu osmotskom regulacijom, koja omogućuje da puči ostanu otvorene, imaju dobru provodljivost te se održi fotosinteza, rast lišća i korijena te nakupljanje suhe tvari, što u konačnici rezultira dobrim prinosom (Kereša i sur., 2008). Seropian i Planchon (1983) naglašavaju da je sposobnost održavanja puči otvorenima, usprkos vodnom stresu, agronomski oblik tolerantnosti na sušu. Tvari uključene u osmotsku regulaciju razlikuju se kod različitih vrsta, a mogu biti organske ili anorganske (anorganski ioni) prirode. Glavnu ulogu u osmoregulaciji imaju organski osmoliti (npr. prolin ili ugljikohidratni osmoliti). Ovi osmoliti štite stanične proteine i stanične membrane od dehidrirajućih učinaka suše (Aslam i sur., 2015).

Odgovori biljke na stres suše ovise o vrsti, genotipu, fazi rasta i razvoja, trajanju suše te o parametrima tla (Grzesiak i sur., 2012).

S obzirom da je kukuruz jedna od najosjetljivijih kultura na sušu, glavni je zadatak oplemenjivača stvaranje kukuruza tolerantnog na sušu koji će se uspješno nositi sa negativnim posljedicama globalnog zagrijavanja (Anđelković i sur., 2012).

Veći ekonomski prinos u vrijeme suše je karakteristično obilježje genotipova tolerantnih na sušu. Neki su genotipovi tolerantniji na sušu zbog svojih morfloloških i fizioloških svojstava kao što su:

- posebna građa kutikule,
- zatvaranje puči (puči su uključene u transpiraciju i razmjenu plinova - fotosinteza i disanje), a zatvarajući puči biljke izbjegavaju gubitak vode,

- voštana navlaka na lisnoj površini ili uvijanje listova (u sušnim uvjetima lišće se uvija te se tako smanjuje gubitak vode preko lista),
- relativni sadržaj vode u listu (pokazuje značajnu heritabilnost),
- veći indeks površine lišća,
- strukturalne i funkcionalne karakteristike korijena (mogu poboljšati unos vode kako bi se biljci kukuruza omogućilo izbjegavanje stresa suše) (Beljo, 2012; Aslam i sur., 2015).

Korijenski sustav je od temeljne važnosti za prilagodbu biljaka na uvjete stresa suše, jer izbjegavanje suše dubokim korjenovim sustavom povećava sposobnost biljke da hvata vodu iz dubljih slojeva tla i osnovni je mehanizam prilagodbe suši. Svojstva koja su povezana s dubljim ukorjenjivanjem upotrebljavaju se kao selekcijski kriterij (Baloch i sur., 2012).

Omjer mase korijena i izdanka također se koristi kao indeks za otpornost na sušu, jer su veliki i duboko ukorijenjeni sustavi u stanju izdvojiti više vode dok relativno manji izdanci manje transpiriraju. Omjer korijena i izdanka povećava se u uvjetima suše kako bi se olakšala apsorpcija vode koja je povezana sa sadržajem apscizinske kiseline (ABA) u korijenu i izdancima (Li i sur., 2015).

Značajna je veza između mase suhe tvari klijanaca i razine prinosa u uvjetima suše kod genotipova kukuruza. Povećana masa suhe tvari klijanaca pod stresom suše povezana je s tolerancijom genotipa na sušu. Stoga ova osobina može biti korisna kao alternativni kriterij odabira (Grzesiak i sur., 2012).

Tolerantnosti kukuruza na sušu doprinosi i antioksidativni obrambeni mehanizam. Antioksidanti (AOX) djeluju kao štitnik za biljke od oksidativnih oštećenja uzrokovanih reaktivnim oblicima kisika. Enzimski (npr superoksid-dismutaze i neenzimski (npr. vitaminin C i E) spojevi dio su sustava antioksidativne obrane (Aslam i sur., 2015).

Za ostvarivanje zadovoljavajućeg prinosa kukuruz se oplemenjuje u smjeru:
uspravnih listova, smanjenja veličine metlice i broja dana između svilanja i metličenja (anthesis silking interval, ASI), nižeg sadržaja proteina u zrnu, povećanja broja klipova po biljci, povećanja ozrnjenosti klipa te stupnja nalijanosti zrna, smanjenje jalovosti te zadržavanja zelenog funkcionalnog dijela biljke (stay green) (Anđelković i sur., 2012).
Interakcija genotipa i okoline otežava izbor tolerantnih genotipova. Genotipovi odabrani kao tolerantni u jednoj okolini ponekad pokazuju slabu prilagođenost u drugoj. S druge strane, genotipovi odabrani samo za tolerantnost na sušu često pokazuju nizak potencijal prinosa u optimalnim uvjetima. Stoga se u oplemenjivanje za tolerantnost na sušu uključuje i visok potencijal prinosa, uz stabilnost ostvarenja agronomskih svojstava u okolinama sklonim suši (Beljo, 2012).

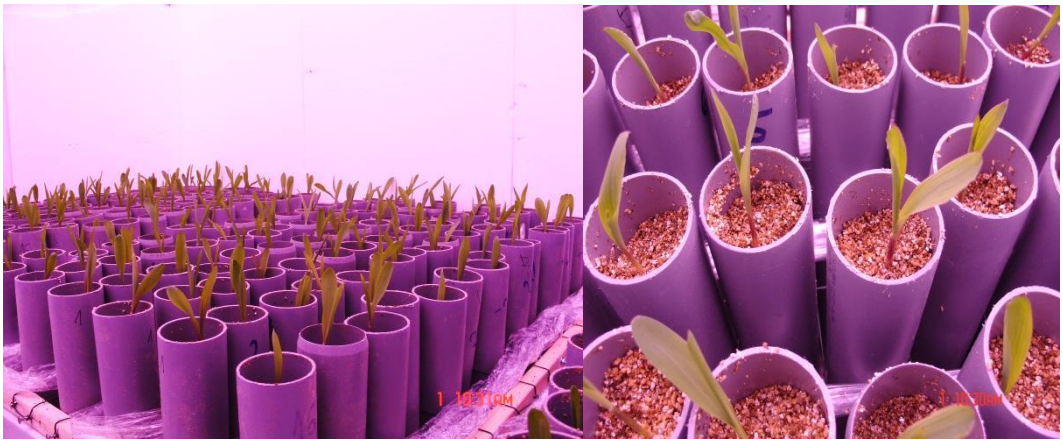
6. Materijali i metode

6.1. Biljni materijal

Kao biljni materijal korišteno je po osam genotipova (hibrida) kukuruza iz FAO grupe 300 (genotip 1- 8) i osam genotipova iz FAO grupe 600 (genotip 25 - 32). Radi se o domaćim i stranim komercijalnim dvolinijskim hibridima koji se prodaju na hrvatskom tržištu.
Sjeme hibrida posijano je u kvarcni pijesak u plastične posudice s poklopcima te je svaka posudica zalijana jednakom količinom vode. Posudice su bile poklopljene dva dana da se spriječi gubitak vlage i poboljša klijanje, nakon čega su otklopljene. Sjeme je naklijavano u komori rasta na 22 °C i fotoperiodu 16 h dan/ 8 h noć.

6.2. Postavljanje pokusa

Sedmi dan od sjetve biljčice, u fazi najčešće jednog razvijenog lista, pažljivo su odvajane i presađivane u plastične cijevi promjera 5 cm i dužine 40 cm napunjene vermikulitom. Svaka cijev na dnu je imala komad agro-tekstila pričvršćen običnom gumicom što je sprječavalo rasipanje vermikulita iz cijevi. Prije sadnje u svaku cijev napunjenu vermikulitom dodano je 60 ml vode te dodatnih 10 ml slijedeći dan te također drugi dan od sadnje. Cijevi su položene u kade (korita) napunjene polovičnom koncentracijom Hoaglad-ove otopine (0.8 g/L vode) (kontrola) ili iste Hoaglad-ove otopine sa 6 % otopljenog polietilen-glikola (PEG) 8000 (Acros Organics) (suša). Osmotski tlak tako pripremljene otopine iznosio je -0,64 MPa (pri 22 °C) izračunato prema formuli Michela (1983). Za svaku cijev u kadu je dodano 300 ml otopine (koja je utvrđena kao dovoljna u preliminarnim pokusima) i nakon toga otopina više nije dodavana. Kapilarnim uzdizanjem otopina je dosegla vrh cijevi. Biljke su uzgajane u komori rasta na 22 °C, 60 % vlažnosti zraka pod bijelom svjetlošću (fluorescentnim cijevi) i fotoperiodu 16/8 tijekom 26 dana (Slika 2). Eksperiment je postavljen kao potpuno slučajni blokni raspored s tri replikacije (pet biljaka/replikaciji) unutar svakog tretmana (suša i kontrola).



Slika 2. Uzgoj biljaka u tretmanima u komori rasta - drugi dan od presađivanja

(Foto: S. Kereša)

6.3. Mjerenje svojstva

Biljke (s korijenjem) su zatim vađene iz cijevi, a korijenje pažljivo odvojeno od vermikulita na žičanoj mreži. Izmjerena je duljina izdanka i duljina korijena (mm) svake biljke (Slika 2.). Korijenje je zatim temeljito oprano pod vodom iz slavine kako bi se vermikulit u potpunosti uklonio i osušeno papirnatim ručnicima. Masa svježeg izdanka i masa svježeg korijena izmjerena je na uzorku od pet biljaka po replikaciji. Zatim su uzorci izdanaka i korijenja stavljeni u papirnate vrećice i sušeni u sušioniku 48 sati na 70 °C i nakon čega je utvrđena masa suhog izdanka i masa suhog korijena. Suha tvar korijena i suha tvar izdanka izračunati su kao postotak svježe tvari korijena i izdanka.
Izračunato je i jedno izvedeno svojstvo – efikasnost tolerantnosti na sušu (Drought tolerance efficiency - DTE) prema formuli Fischer i Wood (1981):

DTE = masa suhe tvari cijele biljke u suši/masa suhe tvari cijele biljke u kontroli



Slika 3. Mjerenje duljine korijena i izdanka biljke istog hibrida iz tretmana suše i kontrole (Foto: S. Kereša)

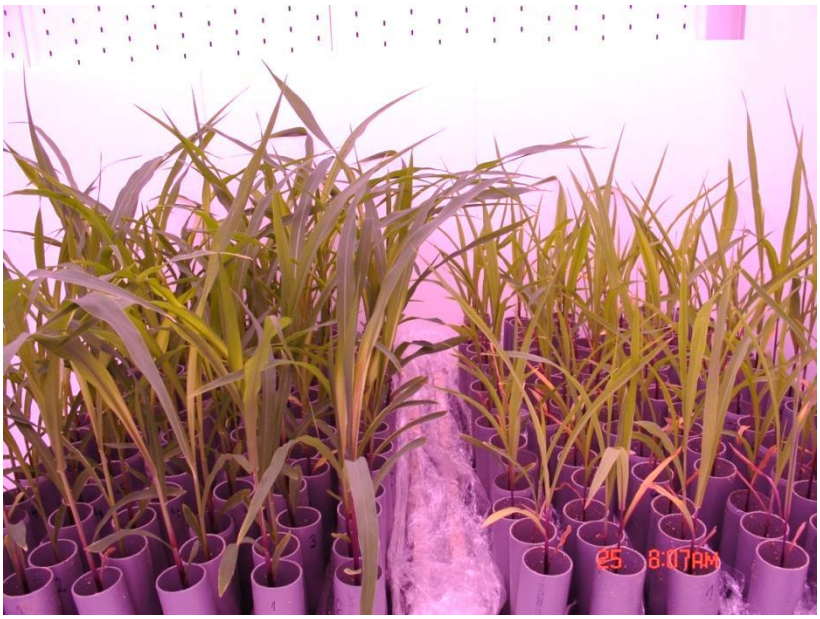
6.4. Statistička analiza podataka

Srednje vrijednosti svojstava izražene su u apsolutnim jedinicama i kao postotak od kontrole. Statistička analiza podataka provedena je analizom varijance i odgovarajućim post-hoc testom u programskom paketu SAS 9.4 (SAS 2010).

7. Rezultati i rasprava

7.1. Uspostava pokusa

Svi klijanci presađeni u vermikulit preživjeli su i nastavili se razvijati. Razlika između kontrole i tretmana suše nije bila uočljiva na biljkama prvih tjedan dana, nakon čega su biljke u tretmanu suše počele zaostajati u rastu. Na kraju pokusa, već vizualnim promatranjem, bila je uočljiva vrlo velika razlika između biljaka uzgojenih u suši i kontroli (Slika 4).



Slika 4. Razlike među biljkama uzgajanim u kontroli (lijevo) i PEG-u na kraju pokusa (Foto: S. Kereša).

7.2. Vrijednosti svojstava u kontroli i suši ovisno o FAO grupi

Prosječne vrijednosti svojstava (Tablica 1) pokazuju da su vrijednosti mjerenih svojstava, osim mase suhog korijena, manje u PEG-u nego u kontroli, što znači da je PEG, simulirajući sušu, negativno djelovao na razvoj biljaka. Povećanje mase suhog korijena, pojava koja je uočena i kod drugih vrsta u suši, uzrokovana je preraspodjelom asimilata iz nadzemnog dijela biljke u korijen kako bi se održao rast korijena u stresnim uvjetima suše u dublje slojeve tla (Rich and Watt 2013). Dio te suhe tvari tvore i različiti osmoliti koji smanjuju osmotski potencijal stanica korijena povećavajući njihovu sposobnost apsorpcije vode iz suhog tla.

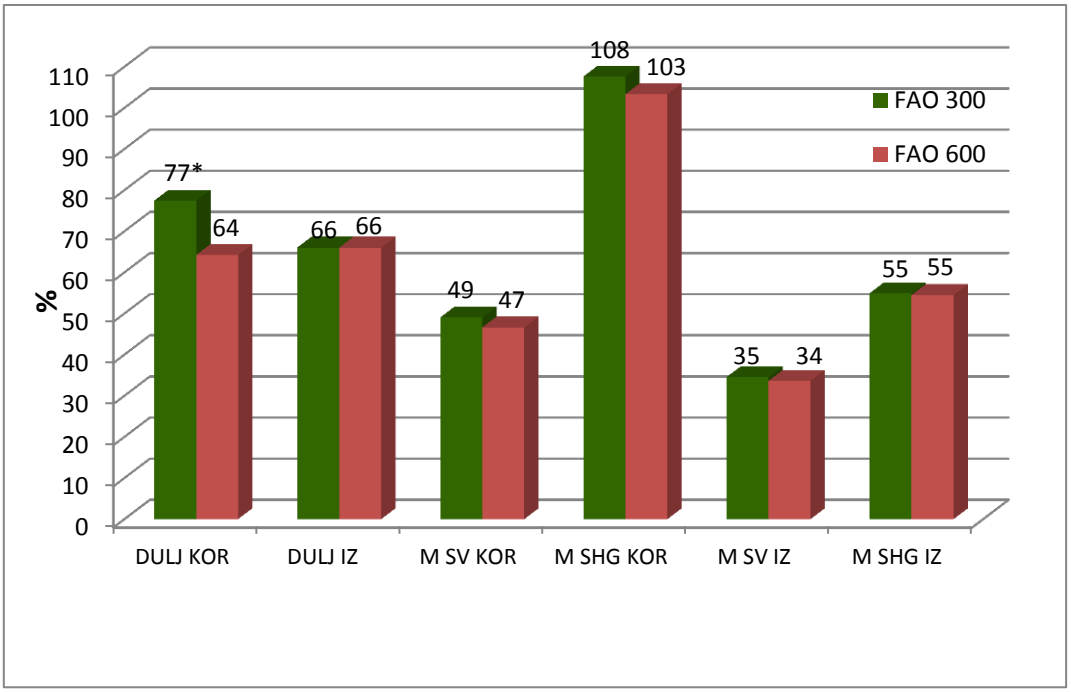
Signifikantne razlike između FAO grupe 300 i FAO grupe 600 uočene su za slijedeća svojstva: duljina korijena u PEG-u, duljina izdanka u kontroli i PEG-u te za masu svježeg izdanka u kontroli i PEG-u. Za sva ova svojstva, apsolutne vrijednosti svojstava bile su veće za FAO grupu 300 (Tablica 1). Uzrok ovome vjerojatno je brži rani porast hibrida (genotipova) iz grupe FAO 300 koji imaju kraću vegetaciju i brže prolaze kroz fenofaze od hibrida iz grupe 600. Za ostala mjerena svojstva razlike nisu bile signifikantne.

Tablica 1. Prosječne vrijednosti svojstava po FAO grupi u kontroli i suši

		FAO 300	FAO 600
DULJ. KOR. (mm)	Kontrola	448 A	434 A
	PEG	346 A	280 B
DULJ. IZ. (mm)	Kontrola	494 A	451 B
	PEG	326 A	294 B
M. SV. KOR. (g)	Kontrola	18,25 A	16,75 A
	PEG	8,78 A	7,64 A
M. SHG. KOR. (g)	Kontrola	1,49 A	1,49 A
	PEG	1,57 A	1,52 A
M. SV. IZ. (g)	Kontrola	19,37 A	16,25 B
	PEG	6,53 A	5,27 B
M. SHG. IZ. (g)	Kontrola	1,61 A	1,48 A
	PEG	0,87 A	0,78 A

*vrijednosti označene istim slovom u redu ne razlikuju se signifikantno kod $P<0.05$

Na grafikonu 5 prikazane su vrijednosti glavnih svojstava na PEG-u kao postotak od kontrole za FAO grupe 300 i 600 iz kojih je vidljivo da se je duljina korijena u suši u odnosu na kontrolu signifikantno više smanjila kod hibrida FAO grupe 600 nego kod hibrida FAO grupe 300. Za druga mjerena svojstva hibridi iz grupe FAO 300 i FAO 600 podjednako su izgubili na vrijednosti svojstva u PEG-u. Za svojstvo masa suhog korijena vrijednosti su u prosjeku bile više u suši nego u kontroli za obje grupe hibrida.



Grafikon 5. Vrijednosti glavnih svojstava na PEG-u kao postotak od kontrole za dvije FAO grupe kukuruza

*signifikantno se razlikuje kod P<0.05

7.3. Utjecaj tretmana suše na masu korijena

Najveću masu svježeg korijena u kontroli u FAO grupi 300 imali su genotipovi 1 (25,9 g), 8 (22,5 g) i 3 (20,8 g), dok je u PEG-u najveća masa svježeg korijena bila kod genotipova 8 (12,9 g), 3 (10,7 g), 1 (8,3 g) i 7 (8,3 g) (Tablica 2.). Najveće smanjenje mase korijena u tretmanu suše u odnosu na kontrolu ima genotip 1 čija masa korijena u PEG-u iznosi samo 32 % mase korijena u kontroli, a najmanje genotip 8 čija masa svježeg korijena u PEG-u iznosi 57,2 % mase korijena u kontroli. Među genotipovima FAO grupe 600 najveću masu svježeg korijena u kontroli imali su genotipovi 31 (21,3 g) i 27 (20,3 g), a u PEG-u 30 (9,7 g), 29 (9,0 g), i 32 (8,5 g). Najveće smanjenje mase korijena u tretmanu suše u odnosu na kontrolu u FAO grupi 600 zabilježeno je kod genotipova 27 (38,9 %), 31 (36,7 %) te 28 (35 %), a najmanje kod genotipa 30 čija masa svježeg korijena u PEG-u iznosi 59,4 % mase korijena u kontroli.

Tablica 2. Masa svježeg korijena u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu

Genotip	M svj. kor. u KON. (g)	M svj. kor.u PEG-u(g)	% PEG-a u KON.
1	25,9 a	8,3 bcde	32,0 f
2	15,3 cde	7,9 cdef	51,8 abc
3	20,8 abc	10,7 ab	51,5 abc
4	15,0 cde	7,2 cdef	48,1 abcd
5	16,4 bcde	7,8 cdef	47,6 abcde
6	12,8 de	7,1 cdef	55,8 a
7	17,3 bcd	8,3 bcde	48,0 abcde
8	22,5 ab	12,9 a	57,2 a
25	16,0 bcde	6,7 def	41,8 bcdef
26	10,1 e	5,6 f	55,2 ab
27	20,3 abc	7,9 cdef	38,9 cdef
28	16,5 bcde	5,9 ef	35,9 ef
29	16,4 bcde	9,0 bcd	55,1 ab
30	16,4 bcde	9,7 bc	59,4 a
31	21,3 abc	7,8 cdef	36,7 def
32	17,0 bcd	8,5 bcde	50,0 abcd

*vrijednosti označene istim slovom u stupcu ne razlikuju se signifikantno kod P<0.05 prema Duncan-ovom testu

Kod hibrida FAO grupe 300, najveća masa suhog korijena u kontroli je zabilježena kod genotipova 1 (2,2 g) i 8 (1,8 g), a u PEG-u kod genotipova 8 (2,0 g), 3 (1,8 g) te 1 (1,7 g) (Tablica 3.). Najveće smanjenje mase suhog korijena u tretmanu suše u odnosu na kontrolu u FAO grupi 300 ima genotip 1 čija masa suhog korijena iznosi 75,3 % mase suhog korijena istog genotipa u kontroli, a kod velikog broja genotipova masa suhog korijena u PEG-u bila je čak veća od mase suhog korijena u kontroli pri čemu prednjači genotip 2 sa 120,6 % mase suhog korijena kontrole. Kod hibrida FAO grupe 600, najveća masa suhog korijena u kontroli vidljiva je kod genotipova 31 (1,9 g) i 27 (1,7 g), dok je u PEG-u najveća masa kod genotipa 30 (1,8 g). Najveće smanjenje mase suhog korijena u PEG-u u odnosu na kontrolu vidljivo je kod genotipa 31 čija masa suhog korijena u PEG-u iznosi 84,0 % mase suhog korijena kontrole, dok je najveća masa u odnosu na kontrolu zabilježena kod genotipa 26 (122,8 %).

Tablica 3. Masa suhog korijena u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu

Genotip	M suh.kor.u KON. (g)	M suh. kor. u PEG-u (g)	% PEG-a u KON
1	2,2 a	1,7 abc	75,3 d
2	1,3 fg	1,6 bcd	120,6 ab
3	1,6 cde	1,8 abc	110,5 abc
4	1,2 g	1,5 bcde	118,1 ab
5	1,3 fg	1,5 bcde	109,8 abc
6	1,0 h	1,1 e	108,9 abc
7	1,5 defg	1,6 bcd	106,1 abc
8	1,8 bc	2,0 a	111,8 ab
25	1,5 defg	1,5 bcde	101,1 abcd
26	0,9 h	1,2 de	122,8 a
27	1,7 bcd	1,6 bc	95,2 abcd
28	1,5 defg	1,3 cde	92,7 bcd
29	1,4 efg	1,6 bc	113,7 ab
30	1,5 def	1,8 ab	119,7 ab
31	1,9 b	1,6 bc	84,0 cd
32	1,6 cde	1,6 bc	98 abcd

* vrijednosti označene istim slovom u stupcu ne razlikuju se signifikantno kod P<0.05

Korijenov sustav igra važnu ulogu u snabdijevanju biljke vodom i bitan je čimbenik tolerantnosti na stres suše (McCully, 1999). U pokušaju da pokaže odnos između ranog razvoj korijena biljaka i učinka suše na prinos, Pioneer je u Čileu proveo istraživanje koristeći rekombinantne samooplodne linije (RIL) kukuruza iz B733 x Mo17 populacije koje su se razlikovale po svojstvima korijena klijanaca (Barker

i Saab, neobjavljeni podaci). Šesnaest linija klasificiranih kao genotipovi slabog ranog razvoja korijena imale su smanjen rast adventivnog i bočnog korijenja, dok je deset linija pokazalo snažan rast korijena kroz obilan razvoj adventivnog i bočnog korijenja kod biljaka starih dva tjedna.

Istraživanje je pokazalo da su linije sa slabijim ranim razvojem korijena dale bolji prinos od linija sa snažnijim ranim razvojem korijena (Bruce i sur. 2002). Ovo podsjeća na zaključake do kojih su kod kukuruza došli Bolanos i sur. (1993) koji su bolji urod zrna u stresu suše zabilježili kod genotipova s manjom biomasom korijena. Autori sugeriraju da snažni rast korijena vjerojatno troši asimilate na štetu nalijevanja zrna, usprkos tome što snažniji korijen ima i veću sposobnost crpljenja vode iz tla. S druge strane veća akumulacija biomase (suhe tvari) u korijenu povećava hidrauličku provodljivost i pomaže biljci u stresu suše (Maseda i Fernandez, 2006).

7.4. Utjecaj tretmana suše na masu izdanka

Najveću masu svježeg izdanka u kontroli kod hibrida FAO grupe 300 imali su genotipovi 1 (26,7 g), 8 (25,0 g), 3 (22,1 g) i 5 (21,0 g) (Tablica 4). U istoj FAO skupini u PEG-u, najveća masa svježeg izdanka izmjerena je kod genotipa 8 (9,6 g), a veću masu zadržali su i genotipovi 1 (7,7 g) i 7 (7,2 g). Najveće smanjenje mase svježeg izdanka u PEG-u u odnosu na kontrolu imali su genotipovi 3 i 1 čije su mase izdanaka u suši iznosile 26,7 % i 28,9 % vrijednosti kontrole, a najmanje genotip 6 čija masa svježeg izdanka u PEG-u iznosi 42,7 % mase svježeg izdanka u kontroli. Kod hibrida FAO grupe 600, najveću masu svježeg izdanka u kontroli imaju genotipovi 27 (20,6 g) i 31 (20,5 g), a u PEG-u se po većoj masi ističe genotip 30 (7,0 g). Najveće smanjenje mase svježeg izdanka u PEG-u u odnosu na kontrolu imali su genotipovi 31, 28, 25 i 27 čije mase izdanaka u suši u odnosu na kontrolu iznose redom kako slijedi 23,7 %, 24,7 %, 28,5 % te 29,0 % , a najveću masu izdanka u suši u odnosu na kontrolu zadržao je genotip 30 (47,5 %).

Tablica 4. Masa svježeg izdanka u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu

Genotip	M svj. izd. u KON (g)	M svj. izd. u PEG-u (g)	% PEG u KON
1	26,7 a	7,7 ab	28,9 cdef
2	13,7 fg	4,9 de	35,8 abcdef
3	22,1 bc	5,9 bcde	26,7 def
4	14,2 efg	5,2 cde	36,7 abcdef
5	21,0 cd	6,4 bcde	30,7 bcdef
6	12,3 gh	5,3 cde	42,7 ab
7	19,8 cd	7,2 bc	36,5 abcdef
8	25,0 ab	9,6 a	38,2 abcde
25	16,2 ef	4,6 e	28,5 cdef
26	10,0 h	4,1 e	41,7 abc
27	20,6 cd	6,0 bcde	29,0 cdef
28	17,5 de	4,3 e	24,7 ef
29	15,3 efg	6,1 bcde	39,8 abcd
30	14,8 efg	7,0 bcd	47,5 a
31	20,5 cd	4,9 de	23,7 ef
32	15,1 efg	5,1 cde	34,0 abcdef

*vrijednosti označene istim slovom u stupcu ne razlikuju se signifikantno kod P<0.05

Kod hibrida FAO grupe 300, najveća masa suhog izdanka u kontroli vidljiva je kod genotipa 1 (2,5 g) (Tablica 5). S masom od 1,8 g, ističu se i genotipovi 3, 5 i 7. U PEG-u je najveća masa izmjerena kod genotipova 1 (1,2 g), 8 (1,1 g), 5 (0,9 g) i 7(0,9

g), a najveće smanjenje mase suhog izdanka u PEG-u u odnosu na kontrolu u FAO grupi 300 imaju genotipovi 3 i 1 čije vrijednosti suhih izdanaka iznose 45,6 % i 49,9 % vrijednosti kontrole. Najveću masu u PEG-u u odnosu na kontrolu zadržali su genotipovi 6 (63,8 %) i 8 (64,8 %). Kod hibrida FAO grupe 600, najveću masu suhog izdanka u kontroli (1,9 g), imaju genotipovi 27 i 31, a u PEG-u genotipovi 27 i 30 (0,9 g). Najveće smanjenje mase suhog izdanka u PEG-u u odnosu na kontrolu u FAO grupi 600 vidljivo je kod genotipova 3, 28, 27 i 25 čije vrijednosti mase suhih izdanaka u PEG-u u odnosu na kontrolu iznose 36,9 %, 46,0 %, 49,1 % i 49,9 % . Najvišu vrijednost mase suhog izdanka u PEG-u u odnosu na kontrolu kod FAO grupe 600 zadržali su genotipovi 30 (71,9 %), 26 (64,1 %) i 29 (60,3 %).

Tablica 5. Masa suhog izdanka u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu

Genotip	M suh. izd. u KON (g)	M suh. izd.u PEG-u (g)	% PEG u KON
1	2,5 a	1,2 a	49,9 bc
2	1,2 efgh	0,6 d	53,0 abc
3	1,8 bc	0,8 cd	45,6 bc
4	1,2 fgh	0,7 cd	57,7 ab
5	1,8 b	0,9 bc	50,8 bc
6	1,0 gh	0,6 d	63,8 ab
7	1,8 bc	0,9 bc	54,4 abc
8	1,6 bcd	1,1 ab	64,8 ab
25	1,4 cdef	0,7 cd	49,9 bc
26	0,9 h	0,6 d	64,1 ab
27	1,9 b	0,9 bc	49,1 bc
28	1,6 bcde	0,7 cd	46,0 bc
29	1,4 cdefg	0,8 bcd	60,3 ab
30	1,3 defg	0,9 bc	71,9 a
31	1,9 b	0,7 cd	36,9 c
32	1,4 defg	0,8 cd	57,8 ab

*vrijednosti označene istim slovom u stupcu ne razlikuju se signifikantno kod P<0.05

7.5. Utjecaj tretmana suše na duljinu korijena i izdanka

Kod FAO grupe 300, najdulji korijen u kontroli izmjeren je kod genotipova 2 (467,6 mm), 8 (465,6 mm), 1 (461,1 mm), 5 (455,1 mm) i 7 (450,3 mm), a u PEG-u kod genotipova 3 (397,1 mm), 2 (379,7 mm) i 8 (376,3 mm). Najveće smanjenje duljine korijena u PEG-a u odnosu na kontrolu vidljivo je kod genotipova 5, 7 i 1 koji su zadržali 67,2 %, 67,5 % i 69,9 % dužine korijena u kontroli. Najdulji korijen u suši u odnosu na kontrolu u FAO grupi 300 zadržao je genotip 3 (93,2 %). U FAO grupi 600,

najdulji korijen u kontroli je vidljiv kod genotipova 31 (462,5 mm) i 30 (456,4 mm). Najdulji korijen u PEG-u zadržali su genotipovi 30 (407,0 mm) i 31 (379,8 mm). Najveće smanjenje duljine korijena u suši u odnosu na kontrolu pokazao je genotip 25 čija duljina korijena u PEG-u iznosi samo 39,3 % duljine ostvarene u kontroli, te genotipovi 27 (46,8 %) i 28 (41,6 %), dok su visoke vrijednosti duljine korijena u PEG-u u odnosu na kontrolu zadržali genotipovi 30 (89,2 %) i 31 (82,1 %).

Tablica 6. Duljina korijena u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu

Genotip	Dulj. kor. u KON (mm)	Dulj.kor.u PEG-u (mm)	% PEG u KON
1	461,1 a	322,1 abcd	69,9 bc
2	467,6 a	379,7 abc	81,2 abc
3	426,0 abc	397,1 ab	93,2 a
4	420,9 abc	318,9 bcd	75,8 abc
5	455,1 ab	305,7 cd	67,2 c
6	437,0 ab	366,0 abc	83,7 abc
7	450,3 ab	304,0 cd	67,5 c
8	465,6 a	376,3 abc	80,8 abc
25	441,7 ab	173,4 f	39,3 d
26	390,8 c	264,4 de	67,7 c
27	438,9 ab	205,5 ef	46,8 d
28	413,5 bc	172,1 f	41,6 d
29	423,4 abc	329,1 abcd	77,7 abc
30	456,4 ab	407,0 a	89,2 ab
31	462,5 a	379,8 abc	82,1 abc
32	445,9 ab	311,5 bcd	69,9 bc

*vrijednosti označene istim slovom u redu ne razlikuju se signifikantno kod P<0.05

Najdulji izdanak u kontroli kod FAO grupe 300, vidljiv je kod genotipa 8 (557,1 mm), a genotipovi 1 (549,3 mm), 7 (541,9 mm) i 5 (537,0 mm) su također razvili duže izdanke. Najdulji izdanak u PEG-u zadržali su genotipovi 8 (399,3 mm), 1 (353,3 mm) i 7 (348,5 mm). Najveće smanjenje duljine izdanka u suši u odnosu na kontrolu ima genotip 5 čija duljina izdanka u PEG-u iznosi svega 56,8 % duljine izdanka u kontroli, a najveću dužinu izdanka zadržali su genotipovi 2 (72,2 %) i 8 (71,6 %). U FAO grupi 600 u kontroli, najdulji je izdanak izmjeren kod genotipova 28 (523,5 mm) i 27 (521,5 mm), a u PEG-u kod genotipova 30 (322,2 mm) i 27 (318,9 mm). Najveće smanjenje duljine izdanka u sušiu odnosu na kontrolu pokazali su genotipovi 28 i 31 koji su u PEG-u zadržali 53,7 % i 58,3 % duljine izdanka u kontroli. Najdulji izdanak u odnosu na kontrolu zadržao jegenotip 26 (75,1 %).

Tablica 7. Duljina izdanka u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu

Genotip	Dulj. izd.u KON (mm)	Dulj. izd. u PEG-u (mm)	% PEG u KON
1	549,3 a	353,3 b	64,3 bcdef
2	441,7 def	319,1 bcd	72,2 abc
3	482,7 cd	329,8 bc	68,3 abcde
4	424,2 ef	280,5 cd	66,1 bcde
5	537 abc	305,2 bcd	56,8 ef
6	416,5 ef	270,3 d	64,9 bcdef
7	541,9 ab	348,5 b	64,3 bcdef
8	557,1 a	399,3 a	71,6 abc
25	454,9 de	284,4 cd	62,5 cdef
26	392,1 f	294,4 cd	75,1 ab
27	521,5 abc	318,9 bcd	61,1 cdef
28	523,5 abc	281,4 cd	53,7 f
29	421,1 ef	289,3 cd	68,7 abcd
30	406,7 ef	322,2 bcd	79,2 a
31	489,6 bcd	285,6 cd	58,3 def
32	398,5 f	277,0 cd	69,5 abcd

*vrijednosti označene istim slovom u redu ne razlikuju se signifikantno kod P<0.05

Chapuis i sur. (2012) testirali su na sušu 19 hibrida kukuruza u polju do zrelosti (uključujući analizu komponenti prinosa) i na fenotipizacijskoj platformi Phenodyn u fazi razvoja 6. lista (rani vegetativni porast). Fenotipizacijom na platformi praćeno je izduživanje 6. lista nakon uskrate vode čime je postignut negativni osmotski potencijal u tlu. Biljke su uzgajane u PVC cijevima dužine 40 cm i promjera 15 cm (3 biljke po cijevi), a cijevi su bile napunjene zemljom. Ova izvedba pokusa slična je donekle našem pokusu, osim što smo mi u cijevima imali vermikulit, a negativni osmotski potencijal postizali uz pomoć PEG-a. Iako korelacije između polja i platforme nisu bile savršene, bile su značajne i činile su znatan udio varijance osjetljivosti izmjerene u polju.
To sugerira da je održavanje rasta (izduživanje listova) u ranoj vegetativnoj fazi, usprkos deficitu vode, neophodno za kasnije formiran veći broj sjemenki. Chapuis i sur. navode dvije moguće uzročno-posljedične veze za ovakve rezultate:

1. površina lista određuje apsorpciju svjetlosti i, prema tome, nakupljanje biomase tijekom cvatnje koja je usko povezana s brojem sjemenki (Andrade i sur., 2000.; Borras i sur., 2004.; Tollenaar i Lee, 2006). Ova hipoteza dakle pretpostavlja da postoji funkcionalna veza između osjetljivosti utvrđenoj na fenotipskoj platformi i na polju preko nakupljanja fotoasimilata i njihovog metabolizama.

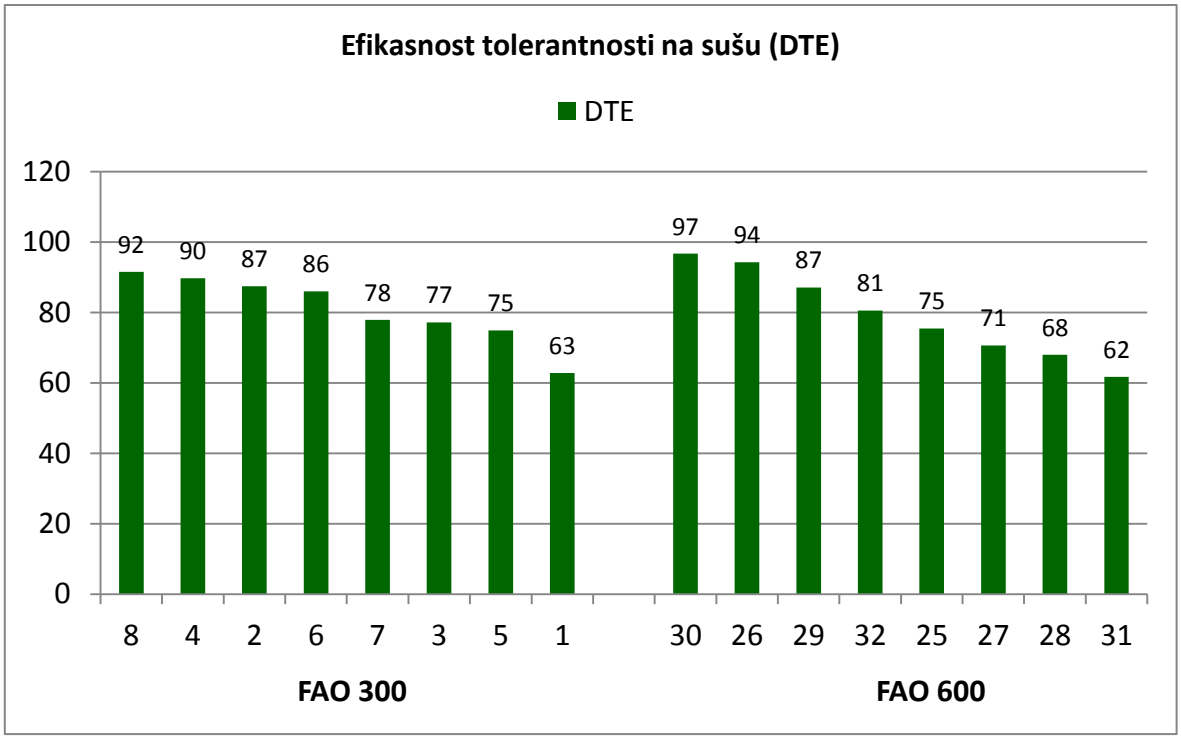
2. rast lišća, rast svile i broj dana između metličanja i svilanja (ASI) pod utjecajem su istog/istih gena (plejotropizam). Hipoteza je postavljena zato jer se vrijednosti ovih svojstava zajedno „rastu i padaju“ u kontrolnim uvjetima kao i u uvjetima vodnog deficita (Welcker i sur., 2007.).

U potonjoj je studiji polovica QTL-ova (lokusa za kvantitativna svojstva) koji su utjecali na maksimalan rast lišća u kontrolnim uvjetima (biljke zalijevane) utjecala i na ASI, s dosljednim alelnim učincima, a pola QTL-ova povezanih s osjetljivošću rasta lišća u uvjetima vodnog deficita utjecalo je i na ASI u polju u sušnim uvjetima, također s dosljednim alelnim efektima. Ovaj susmještaj QTL-ova vjerojatno je povezan s genetskom varijabilnošću brzine rasta svile, što doprinosi ASI-ju kako u kontrolnim, tako i u sušnim uvjetima (Fuad-Hassan i sur., 2008). Prema ovoj drugoj hipotezi, smanjen rast lišća u suši dovodi se u vezu sa smanjenim brojem formiranih sjemenki što implicira smanjeni prinos. Chapuis i sur. (2012) stoga sugeriraju da je procjena otpornosti na deficit vode u platformi Phenodyn uspješno identificirala hibride koji posjeduju alele za osjetljiv / elastičan ekspanzivan rast i lišća i svile. Uz pretpostavku da isti geni kontroliraju rast lišća i svile moguće je objasniti pojavu pozitivnog koreliranja dvaju svojstava: rasta listova i broja sjemenki u klipu. Prema prethodno rečenom, možemo pretpostaviti da bi i u našem istraživanju genotipovi čiji rast izdanka/listova (mjereno od korijena do vrha najmlađeg lista) nije bio jako inhibiran PEG-om, mogli biti tolerantniji na sušu.
To su u našem slučaju genotipovi 2, 3 i 8 iz FAO grupe 300 te 30, 26 i 32 iz FAO grupe 600. Zanimljivo je ovdje spomenuti da su genotipovi 2, 3, 8 i 30 također imali i najdulji korijen u uvjetima suše (PEG) (Tablica 6).

7.6. Efikasnost tolerantnosti na sušu

Iz ukupne mase suhog korijena i izdanka u kontroli u odnosu na istu masu u PEG-u izračunata je efikasnost tolerantnosti na sušu. Najveći DTE u FAO grupi 300 pokazao je genotip 8, a slijede ga genotipovi 4, 2 i 6. U FAO grupi 600 najveći DTE pokazali su genotipovi 30 i 26. Najmanji DTE imali su genotipovi 1 iz FAO 300 te 31 i 28 iz FAO grupe 600 (Grafikon 6).

Iz podataka je vidljivo da genotipovi s najmanje inhibiranim rastom izdanka/lista u uvjetima suše imaju i visoki DTE.



Grafikon 6. Efikasnost tolerantnosti na sušu (DTE-drought tolerance efficiency) genotipova FAO grupe 300 i 600

8. Zaključak

Suša (tretman PEG-om) uzrokovao je smanjenje vrijednosti svih mjerenih svojstava, osim mase suhog korijena koja je bila veća kod biljaka u tretmanu suše nego u kontroli.

Signifikantne razlike između FAO grupe 300 i FAO grupe 600 uočene su za slijedeća svojstva: duljina korijena u PEG-u, duljina izdanka u kontroli i PEG-u te masu svježeg izdanka u kontroli i PEG-u. Za navedena svojstva prosječne vrijednosti svojstava bile su veće za FAO grupu 300, najvjerojatnije zbog njezine ranije vegetacije. Ipak, ne možemo sa sigurnošću tvrditi da bi FAO grupa 300 pokazala istu tolerantnost i u generativnim fazama razvoja.

Duljina korijena u suši u odnosu na kontrolu (% od kontrole) signifikantno se više smanjila kod hibrida FAO grupe 600 nego kod hibrida FAO grupe 300. Za druga mjerena svojstva hibridi iz grupe FAO 300 i FAO 600 podjednako su izgubili na vrijednosti svojstva u PEG-u.

Najveću masu svježeg korijena u PEG-u u odnosu na kontrolu zadržali su genotipovi 8, 2 i 3 iz FAO grupe 300 te 30 i 26 iz FAO grupe 600. Isti genotipovi imali su također visoke vrijednosti mase suhog korijena u PEG-u i/ili znatno više vrijednosti mase suhog korijena u PEG-u u odnosu na kontrolu (%).

Najveću apsolutnu masu svježeg izdanka u PEG-u imali su genotip 8 iz FAO 300 i genotip 30 iz FAO grupe 600. Genotip 30 je od svih genotipova u pokusu najmanje izgubio na masi svježeg izdanka u PEG-u u odnosu na kontrolu.

Najveću masu suhog izdanka u PEG-u i najmanje smanjenje vrijednosti mase suhog izdanka u PEG-u u odnosu na kontrolu ponovno su imali genotipovi 8 i 30.

Najdulji korijen u PEG-u imao je genotip 30, a dobar rast korijena u dubinu u uvjetima suše (PEG) zadržali su i genotipovi 3, 2, 8 i 31.

Rast izdanka (listova) u visinu u uvjetima suše, kao dobar pokazatelj tolerantnosti na sušu, u najboljoj mjeri su pokazali genotipovi 8 i 2 iz FAO grupe 300 te 30 i 26 iz FAO grupe 600. DTE za te genotipove je također visok.

Prema svemu navedenom, možemo zaključiti da su genotipovi 8 i 30 genotipovi koji su u suši zadržali visoke vrijednosti za veći broj ovdje mjerenih svojstava te ih možemo smatrati tolerantnima na sušu u fazi ranog vegetativnog rasta.

9. Popis literature

1. Anđelković, V., Ignjatović Mićić D., Vančetović J., Babić M. (2012). Integrisan pristup u poboljšanju tolerantnosti kukuruza na sušu. 2 - 9, https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0354-5881/2012/0354-58811202001A.pdf.- pristup 05.05.2020.

2. Andrade MA, et al. (2000.). Homology-based method for identification of protein repeats using statistical significance estimates. Journal of Molecular Biology 298(3):521-37

3. Aslam M., Maqbool M. A, Cengiz R. (2015). Drought Stress in Maize (Zea mays L.) Effects, Resistance, Mechanisms, Global, Achievements and Biological Strategies for Improvement. *Springer*, 5 - 30.

4. Baloch M. J., Dunwell J. Khakwani A. A., Dennet M., Ali W. J., Channa S. A. (2012.). Assessment of wheat cultivars for drought tolerance via osmotic stress imposed at early seedling growth stages. 301.

5. Basa, J. (2019.). Utjecaj suše na proizvodnju žitarica. *Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Osijek*, 19 - 20. https://repozitorij.fazos.hr/islandora/object/pfos:2075 - pristup 20.04.2020.

6. Beljo, J. (2012.). Tehnike oplemenjivanja bilja - skripta. 37 - 64,http://studentski.hr/system/materials/l/6eb621ea9025af72eac3dde80d448cd3c08f17d0.zip?1439380958 - pristup 20.03.2020.

7. Borras L., A Slafer G., E Otegui Maria (2004.). Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. Elsevier, 131-146

8. Chapuis R., Delluc C., Debeuf R., Tardieu F., Welcker C. (2012.). Resiliences to water deficit in a phenotyping platform and in the field: How related are they in maize. Europen journal of agronomy. 42 (59-67)

9. Dupuis I., Dumas C. (1990.). Influence of temperature stress on in vitro fertilization and heat shock protein synthesis in maize (Zea mays L.) reproductive tissues. Plant Physiol. 94: 665-670

10. Fischer K.S. i Wood G. (1981.). Breeding and selection for drought tolerance in tropical maize. U: Proc. Symp. On Principles and Methods in Crop Improvement for Drought Resistance with Emphasis on Rice, IRRI, Philippines.

11. Fuad-Hassan A.,Tardieu F., Turc O. (2008.). Drought-induced changes in anthesis-silking interval are related to silk expansion: A spatio-temporal growth

analysis in maize plants subjected to soil water deficit. Plant Cell and Environment 31(9):1349-60

12. Grzesiak M. T., Marcinska I., Janowiak F., Rzepka A., Hura T. (2012.). The relationship between seedling growth and grain yield under drought conditions in maize and triticale genotypes. *Springer*, 1757 - 1761.

13. Kereša S., Barić M., Horvat M., Habuš Jerčić I. (2008.). Mehanizmi tolerantnosti biljaka na sušu i njihova genska osnova kod pšenice. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 35 - 37.

14. Kovačević V., Rastija M. (2014.). Žitarice. 147 - 158.

15. Kovačević, J. (2015.). Utjecaj vremenskih prilika na prinos sjemenskog kukuruza. 12, https://repozitorij.fazos.hr/islandora/object/pfos%3A100/datastream/PDF/view. -pristup 20.05.2020.

16. Li R., Zeng Y., Xu J., Wang Q., Wu F., Cao M., Lan H., Liu Y., Lu Y. (2015.). Genetic variation for maize root architecture in response to drought stress at the seedling stag. Breeding Science, 298 - 300.

17. Maseda PH, Fernandez RJ (2006.) Stay wet or else: Three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. Journal of Experimental Botany 57: 3963–3977

18. McCully ME. (1999.) Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50, 695–718.

19. Michel B. E. (1983.). Evaluation of the water potentials of solutions of Polyethylene Glycol 8000. Plant Physiology 72: 66-70.

20. Paulić, A. (2015.). Tehnologija uzgoja kukuruza. 1, https://repozitorij.fazos.hr/islandora/object/pfos%3A174/datastream/PDF/view. -pristup 15.04.2020.

21. Rapčan I. (2014.). Priručnik za module „Bilinogojstvo“ i „Bilinogojstvo-praksa“, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 66-67, http://www.fazos.unios.hr/ - pristup 15.09.2020.

22. Rich SM, Watt M (2013.) Soil conditions and cereal root system architecture: review and considerations for linking Darwin and Weaver. Journal of Experimental Botany 64:1193–1208

23. Rojc M., Kozumplik V. (1996.). Kukuruz (Zea mays L.). U: Oplemenjivanje bilja (Ur. Martinčić J, Kozumplik V.). Poljoprivredni fakultet Osijek, Agronomski fakultet Zagreb. 207-236.

24. Seropian, C., Planchon, C. (1983.). Physiological responses of six bread wheat and durum wheat genotypes to water stress. Euphytica 33 (1984): 757-767.

25. SAS/STAT (2010.) SAS Institute. Cary. NC. USA.

26. Tollenaar M., Lee E.,(2006.). Physiological dissection of grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. Crop Science Building, 399-408

27. Zrakić M., Hadelan L., Prišenk J., Levak V., Grgić I. (n.d.). Pregledni rad Tendencije prizvodnje kukuruza u svijetu, Hrvatskoj i Sloveniji. Glasnik zaštite bilja, 79 - 82, https://hrcak.srce.hr/file/281832.- pristup 10.05.2020.

28. Wesley B. Bruce, Gregory O. Edmeades, Thomas C. Barker (2002.) Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance Journal of Experimental Botany 53 (366): 13–25.

29. www.agroklub.com. (n.d.). https://www.agroklub.com/sortna-lista/zitarice/kukuruz-115/ -pristup 20.03.2020.

30. www.bilje.hr. (n.d.). http://www.bilje.hr/POLJOPRIVREDA/AgBase_1/HTM/kukuruz.htm- pristup 15.03.2020.

31. www.faostat.com. (n.d.). http://www.fao.org/faostat/en/- pristup 12.05.2020.

32. www.pioneer.com. (n.d.). https://www.pioneer.com/web/site/croatia/information_and_results/the_growth_and_development_of_corn/ - pristup 15.05.2020.

Popis slika

Slika 1. Kritični periodi kukuruza za vodom 9
Slika 2. Uzgoj biljaka u tretmanima u komori rasta - drugi dan od presađivanja..... 15
Slika 3. Mjerenje duljine korijena i izdanka biljke istog hibrida iz tretmana suše i kontrole (Foto: S. Kereša)..... 16
Slika 4. Razlike među biljkama uzgajanim u kontroli (lijevo) i PEG-u na kraju pokusa (Foto: S. Kereša). 17

Popis grafikona

Grafikon 1. Proizvodnja kukuruza u svijetu (2010. - 2018.) 3
Grafikon 2. Proizvodnja kukuruza po svjetskim regijama (2010. - 2018.) 3
Grafikon 3.Najveći proizvođači kukuruza u svijetu u razdoblju od (2010. - 2018.)..... 4
Grafikon 4. Proizvodnja kukuruza u RH (2010. - 2018.) 4
Grafikon 5. Vrijednosti glavnih svojstava na PEG-u kao postotak od kontrole za dvije FAO grupe kukuruza 19
Grafikon 6. Efikasnost tolerantnosti na sušu (DTE-drought tolerance efficiency) genotipova FAO grupe 300 i 600..... 27

Popis tablica

Tablica 1. Prosječne vrijednosti svojstava po FAO grupi u kontroli i suši 18
Tablica 2. Masa svježeg korijena u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu 20
Tablica 3. Masa suhog korijena u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu 21
Tablica 4. Masa svježeg izdanka u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu 22
Tablica 5. Masa suhog izdanka u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu 23
Tablica 6. Duljina korijena u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu..... 24
Tablica 7. Duljina izdanka u kontroli i PEG-u te vrijednosti (%) u PEG-u u odnosu na kontrolu..... 25

Životopis

Lucija Topić rođena je 28.12.1992. godine u Zagrebu. Živi u Zaprešiću. Osnovnu školu završava u Zaprešiću, a 2.ekonomsku školu pohađala je u Zagrebu od 2008.-2012. godine, nakon koje upisuje Agronomski fakultet smjera Biljne znanosti. Godine 2017. završava preddiplomski studij završnim radom na temu „Procjena stresa izazvanog nedostatkom fosfora korištenjem fluoroscencije klorofila“, pod mentorstvom doc. dr. sc. Borisa Lazarevića te ostvaruje status prvostupnika biljnih znanosti. U rujnu 2017. upisuje diplomski studij Biljne znanosti. Za vrijeme studiranja radila je kao dadilja, kao teleoperater u Vip službi za korisnike, te kao savjetnik u farmaceutskom poduzeću Coloplast. Strani jezici kojima se služi su engleski: pisanje, čitanje, razumjevanje (C2) i njemački: pisanje, čitanje, razumjevanje (B1). Iskusni je korisnik MS word-a i excel-a.