

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Jure KOLARIČ

**MERITVE LISTNIH REŽ TER FOTOSINTEZNE
UČINKOVITOSTI NEKATERIH GENOTIPOV
KORUZE (*Zea mays* L.) IZ GENSKE BANKE**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Jure KOLARIČ

**MERITVE LISTNIH REŽ TER FOTOSINTEZNE UČINKOVITOSTI
NEKATERIH GENOTIPOV KORUZE (*Zea mays* L.) IZ GENSKE
BANKE**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**LEAF STOMATA AND PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY OF
SOME MAIZE (*Zea mays* L.) GENOTYPES FROM MAIZE GENE
BANK**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za genetiko, biotehnologijo, statistiko in žlahtnjenje rastlin Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Izhodiščni material za raziskavo smo vzeli iz genske banke koruze Oddelka za agronomijo na omenjeni fakulteti. Poljski poskus je bil izveden na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani na Jamnikarjevi ulici 101.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Ludvika ROZMAN in somentorico doc. dr. Matejo GERM.

Komisija za oceno in zagovor:

- Predsednik: akad. prof. dr. Ivan KREFT
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Član: doc. dr. Ludvik ROZMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Članica: doc. dr. Mateja GERM
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- Član: prof. dr. Dominik VODNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Jure KOLARIČ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK UDK 633.15:631.526.322:581.15 (043.2)
KG koruza/fotokemična učinkovitost/listne reže/fotosinteza/parametri pridelka/genotipi
KK AGRIS F30/F61/F62
AV KOLARIČ, Jure
SA ROZMAN, Ludvik (mentor)/GERM, Mateja (somentorica)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI 2010
IN MERITVE LISTNIH REŽ TER FOTOSINTEZNE UČINKOVITOSTI NEKATERIH GENOTIPOV KORUZE (*Zea mays* L.) IZ GENSKE BANKE
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OJ IX, 39 [1] str., 29 sl., 48 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Namen naloge je bil ugotoviti razlike v gostoti in velikosti listnih rež ter v fotokemični učinkovitosti pri različnih genotipih in povezanost le-teh s količino pridelka. V poljskem poskusu, ki je potekal v letu 2006, smo preučevali 6 linij koruze, tri dvolinijske in en štirilinijski križanec iz genske banke Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete. Poskus je bil izveden na dveh lokacijah in sicer na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Jablah pri Trzinu (46°8'29", 14°33'21", n.v. 302,7 m) in na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani (46°2'58", 14°28'28", n.v. 296,4 m). Pri vsakem genotipu smo naključno izbrali 5 rastlin, na katerih smo merili fotokemično učinkovitost, gostoto in velikost listnih rež, kasneje pa v laboratoriju še parametre pridelka. Pri meritvah potencialne in dejanske fotokemične učinkovitosti smo ugotovili, da so med genotipi pri dejanski fotokemični učinkovitosti bile večje razlike kot pri potencialni. Lokacije so imele večji vpliv na fotokemično učinkovitost, kot pa genotipi. Znotraj linij in znotraj križancev smo odkrili statistične značilne razlike v gostoti, dolžini in širini listnih rež. Vrednosti križancev so bile pri gostoti listnih rež med vrednostmi njihovih starševskih linij. Pri merjenju parametrov pridelka smo ugotovili, da so vrednosti za maso storža, maso zrnja, dolžino storža, absolutno maso zrnja, število zrnja/storž ter maso stebela in listov starševskih linij statistično značilno nižje od vrednosti njihovih križancev. Učinek heteroze v F1 generaciji se je izrazil za parametre pridelka, pri križancu C1D1 pa še pri dolžini in širini listnih rež.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 633.15:631.526.322:581.15 (043.2)
CX maize (*Zea mays* L.)/photochemical efficiency/leaf stomata/photosynthesis/yield parameters/genotypes/
CC AGRIS F30/F61/F62
AU KOLARIČ, Jure
AA ROZMAN, Ludvik (supervisor)/GERM, Mateja (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2010
TI LEAF STOMATA AND PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY OF SOME MAIZE (*Zea mays* L.) GENOTYPES FROM MAIZE GENE BANK
DT Graduation Thesis (University Studies)
NO IX, 39 [1] p., 29 fig., 48 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The aim of our study was to determine differences of number and size of leaf stomata and the photochemical efficiency of different maize genotypes and relation with the yield. In the field trial, which took place in 2006, six maize inbreds, three single crosses (SC) and one double cross (DC) from maize gene bank of the Department of Agronomy, Biotechnical Faculty, have been studied. The experiment took place at two locations, on the experimental field of the Biotechnical Faculty at Jable near Ljubljana (46°8'29" N, 14°33'21" E, a.s.l. 302.7 m) and on the experimental field of the Biotechnical Faculty in Ljubljana (46°2'58" N, 14°28'28" E, a.s.l. 296.4 m). In each genotype, five plants were randomly chosen. Measurements of potential and effective quantum yield of PS II revealed higher differences in effective quantum yield than in potential quantum yield. It turned out that the location had a greater impact on photochemical efficiency, rather than different genotypes. Between lines and hybrids the statistical significant differences were detected in the number, length and width of leaf stomata. The values of these parameters in hybrids were between the values of their parental lines. By measuring the yield components, we found out that the values of parental lines for ear weight, kernel weight, ear length, mass of 1000 kernels, number of kernels/cob, stem and leaf weight were significantly lower than the value of their crosses. The heterosis effect in F1 of yield parameters was expressed, additionally in hybrid C1D1 the length and width of leaf stomata was affected.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo slik	VI
Okrajšave in simboli	IX
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA IN NAMEN RAZISKOVANJA	2
1.2 DELOVNA HIPOTEZA	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 KORUZA	3
2.1.1 Izvor koruze	3
2.1.2 Koruza v Sloveniji	4
2.2 GENSKA BANKA KORUZE	5
2.3 ŽLAHTNJENJE KORUZE	6
2.4 FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST IN STRES	7
2.5 LISTNE REŽE	9
3 MATERIAL IN METODE DELA	11
3.1 RASTLINSKI MATERIAL	11
3.2 POLJSKI POSKUS	11
3.3 MERITVE	12
3.3.1 Fotokemična učinkovitost	12
3.3.2 Relativna vsebnost vode (RWC)	12
3.3.3 Listne reže	12
3.3.4 Parametri pridelka	14
3.4 STATISTIČNA ANALIZA	14
4 REZULTATI	15
4.1 PODATKI O VREMENU	15
4.2 FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST	17
4.3 RELATIVNA VSEBNOST VODE (RWC)	20
4.4 LISTNE REŽE	21
4.4.1 Število listnih rež	21
4.4.2 Dolžina listnih rež	22
4.4.3 Širina listnih rež	23
4.5 MASA ZRAČNO SUHEGA STORŽA	25
4.6 MASA ZRAČNO SUHEGA ZRNJA	26
4.7 DOLŽINA STORŽEV	27
4.8 ŠTEVILO ZRN NA STORŽU	29
4.9 ABSOLUTNA MASA ZRNJA	30
4.10 MASA ZRAČNO SUHEGA STEBLA IN LISTOV	31
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	33
5.1 RAZPRAVA	33
6 POVZETEK	36
7 VIRI	37
ZAHVALA	

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Izrez slike listnih rež koruze za določanje števila oz. gostote listnih rež (OLYMPUS AX 70, 100× povečava).	13
Slika 2: Izrez slike listnih rež koruze za določanje velikosti listnih rež (OLYMPUS AX 70, 400× povečava).	13
Slika 3: Količina padavin v mm in temperatura zraka na 2 m v °C po dekadah, merjeno v Ljubljana-Bežigrad za leto 2006 in tridesetletno povprečje (Mesečni ..., 2006).	16
Slika 4: Količina padavin v mm in temperatura zraka na 2 m v °C po dekadah, merjeno na letališču J. Pučnik- Ljubljana za leto 2006 in tridesetletno povprečje (Mesečni ..., 2006).	16
Slika 5: Število ur obsevanja po mesecih, merjeno v Ljubljana-Bežigrad za leto 2006 in tridesetletno povprečje (Mesečni ..., 2006).	17
Slika 6: Povprečne vrednosti in standardni odklon za potencialno fotokemično učinkovitost (F_v/F_m) pri križancu koruze (<i>Zea mays</i> L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.	18
Slika 7: Povprečne vrednosti in standardni odklon za potencialno fotokemično učinkovitost (F_v/F_m) pri križancu koruze (<i>Zea mays</i> L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).	18
Slika 8: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dejansko fotokemično učinkovitost ($\Delta F/F_m'$) pri križancu koruze (<i>Zea mays</i> L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.	19
Slika 9: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dejansko fotokemično učinkovitost ($\Delta F/F_m'$) pri križancu koruze (<i>Zea mays</i> L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).	19
Slika 10: Povprečne vrednosti in standardni odklon za relativno vsebnost vode (%) pri križancu koruze (<i>Zea mays</i> L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.	20
Slika 11: Povprečne vrednosti in standardni odklon za relativno vsebnost vode (%) pri križancu koruze (<i>Zea mays</i> L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).	20
Slika 12: Povprečne vrednosti in standardni odklon za število listnih rež na enoto površine $0,86 \text{ mm}^2$ pri križancu koruze (<i>Zea mays</i> L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.	21

- Slika 13: Povprečne vrednosti in standardni odklon za število listnih rež na enoto površine 0,86 mm² pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 22
- Slika 14: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dolžino listnih rež v mikrometrih (μm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah. 22
- Slika 15: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dolžino listnih rež v mikrometrih (μm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 23
- Slika 16: Povprečne vrednosti in standardni odklon za širino listnih rež v mikrometrih (μm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah. 24
- Slika 17: Povprečne vrednosti in standardni odklon za širino listnih rež v mikrometrih (μm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 24
- Slika 18: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega storža (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah. 25
- Slika 19: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega storža (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 26
- Slika 20: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega zrnja v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah. 27
- Slika 21: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega zrnja v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 27
- Slika 22: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dolžino storža v milimetrih (mm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah. 28
- Slika 23: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dolžino storža v milimetrih (mm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 28

- Slika 24: Povprečne vrednosti in standardni odklon za število zrn na storž pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah. 29
- Slika 25: Povprečne vrednosti in standardni odklon za število zrn na storž pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 30
- Slika 26: Povprečne vrednosti in standardni odklon za absolutno maso zrnja v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah. 30
- Slika 27: Povprečne vrednosti in standardni odklon za absolutno maso zrnja v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 31
- Slika 28: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega stebela in listov v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah. 32
- Slika 29: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega stebela in listov v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). 32

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
GM	genetsko modificiran
oz.	oziroma
F _v /F _m	potencialna fotokemična učinkovitost
ΔF/F _m '	dejanska fotokemična učinkovitost
PS II	fotosistem II
RIN	razločljivost, izenačenost, nespremenljivost
SOR	Ukrep SOR (Pridelava avtohtonih in tradicionalnih sort kmetijskih rastlin, ki ga sofinancira MKGP).
t.j.	to je

1 UVOD

Današnjega kmetovanja brez pridelovanja koruze si skorajda ne moremo predstavljati. Njena vsestranska uporabnost v različnih, tako kmetijskih kot industrijskih panogah, jo uvršča med najpomembnejše ekonomske poljščine. Zaradi svoje prilagodljivosti in vsestranske uporabe je korusa v relativno kratkem obdobju postala ena najpomembnejših kmetijskih rastlin namenjena tako za živalsko krmo, prehrano ljudi, kot tudi industrijsko predelavo (Rozman, 1997). Prav v sedanjih časih je postala pomembna rastlina za pridobivanje etanola (biogoriva), pa tudi kot »pogonsko gorivo« za bioplinarne.

Na ozemlju današnje Slovenije se je pojavila v 17. stoletju, sprva kot ne najbolj zaželena rastlina za pridelovanje, kasneje, pod različnimi ukazi vladarjev, pa vedno bolj. Sprva so bili to zelo različni genotipi, ki niso prinašali velikega pridelka, a se je pozneje z zavestnim odbiranjem rastlin začelo žlahtnjenje rastlin v korist kmetovih potreb.

Do začetka 50. let 20. stol. je bila Slovenija posejana samo z domačimi populacijami oz. sortami koruze. To so bile sorte z izredno kakovostnim trdim zrnjem, zgodnejše in dobro prilagojene slovenskim hladnim in vlažnim ravnim razmeram (Rozman, 1998). Takrat je prof. Mikuž s sodelavci začel z zbiranjem genskega fonda in proučevanjem selekcijskih vrednosti. Še danes skoraj v celoti hranijo ta genski fond na Katedri za genetiko, biotehnologijo, statistiko in žlahtnjenje rastlin Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete. Rezultat dolgoletnega zbiranja, proučevanja in žlahtnjenja so štirje križanci, ki so bili potrjeni in vpisani v sortno listo. Lj-275t (štirilinijska čista trdinka), Lj-280 (poltrdinka), Lj-180 (ranejša poltrdinka) in »Zarja« (križanec sladke koruze). Lj-275t in Lj-180 sta na seznamu avtohtonih in ohranjevalnih sort v programu SOR, medtem, ko imata Lj-180 in »Zarja« potrjen RIN na mednarodnem nivoju in sta vpisana v evropsko sortno listo.

Želja po podaljševanju dobe polnjenja zrna in večjem pridelku, je vodilo v žlahtnjenje s ciljem rastline ohranjati jeseni čim dlje zelene (tako imenovani »stay green« križanci). Tovrstni križanci so nastali v programih žlahtnjenja koruze na odpornost proti stresu zaradi pomanjkanja vode. Dolgotrajna zelenost listov omogoča daljše prestrezanje svetlobe in boljše fotosintezo, s tem pa tudi večji pridelek koruze (Čergan in sod., 2008).

Ravno fotosinteza pa je zelo pomembna pri količini pridelka. Ker s pomočjo fotosinteze potekajo v rastlini mnogi procesi, je lahko poškodba v antenskem kompleksu radiacijskega centra PS II usodna za rastlino in pridelek. Zato je tudi pomembno, da rastline niso izpostavljene velikemu stresu in si lahko opomorejo, ko preidejo v optimalne ravninske razmere. Da ugotovimo stanje rastlin, uporabljamo tudi merjenja fluorescence klorofila. Pozneje dobljene podatke lahko primerjamo s standardnimi podatki in ugotovimo stanje rastlin.

Listne reže na površini listov skrbijo za regulacijo izmenjevanja plinov med listi in okoljem. Prilagajajo se lokalnim in globalnim spremembam. Z zbiranjem podatkov iz različnih področij nam prikazujejo njihovo pomembno vlogo za rastlinsko fiziologijo, evolucijo in ekologijo. Morfologija listnih rež, njihova porazdelitev in obnašanje se

spreminja glede na vrsto preučevane rastline, fiziologije rastline, genotipa in vpliva okolja. Zato je potrebno ugotoviti, kako lahko okolje vpliva na njihovo spreminjanje in kako lahko posledično listne reže vplivajo na pridelek oziroma rastlino.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA IN NAMEN RAZISKOVANJA

Od začetka 20. stoletja se je koroza žlahtnila v smeri velike količine pridelka in odzivnosti rastlin v različnih stresnih razmerah. Ker se povečuje potreba po hrani in pridelavi koroze, nam pridelek koroze predstavlja vedno večji izziv. Ker na količino pridelka vpliva poleg zunanjih dejavnikov tudi genetska sposobnost, je potrebno čimbolj preučiti povezavo med njimi. S spremembo okolja, pa je potrebno najti tudi najboljše izhode, kako se soočiti z različnimi stresnimi dejavniki, ki ogrožajo rastline.

Namen diplomskega dela je, da na nekaterih linijah, zbranih v genski banki koroze na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani preučimo, ali obstaja povezava med gostoto in dimenzijami listnih rež, fotokemično učinkovitostjo ter pridelkom. Pridobljeni podatki bi lahko bili izrednega pomena pri nadaljnjem žlahtnjenju novih rastlin neposredno na posamezne genetske lastnosti v povezavi z okoljem, ki so povezane s pridelkom.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevali smo, da bomo med preučeni genotipi koroze, hranjenimi v genski banki na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani ugotovili razlike glede na gostoto in velikost listnih rež ter glede na fotokemično učinkovitost. Preveriti želimo ali se vrednosti razlikujejo med genotipi linij in križancev in, ali imajo vpliv na količino pridelka zrnja in zračno suho maso stebela in listov. Pričakujemo, da se bodo pojavile razlike med rastlinskimi genotipi oz. med starševskimi linijami in njihovimi križanci.

2 PREGLED OBJAV

2.1 KORUZA

2.1.1 Izvor koruze

Zgodovinski zapisi navajajo, da so prvotni Indijanci že 5000 let pred našim štetjem začeli z udomačevanjem koruze. Z rednim odbiranjem in setvijo najboljših rastlin so vzgojili primitivno udomačeno koruzo. Današnjo kultivirano koruzo pa so uspeli pridobiti z medsebojnim naravnim križanjem in naravno selekcijo različnih varietet iz raznih delov Mehike in ostale Amerike tako, da so med seboj sejali različne mešanice (Rozman, 1997).

Koruzo, kot jo poznamo danes, izvira iz divje plevnate koruze (*Zea mays tunicata*), ki je rasla kot avtohtona rastlina v nižinskih področjih južne Amerike. Divja koruzo v svoji prvotni obliki ni imela storža, ampak je bilo zrnje na vejicah odeto v pleve, kakor je zrnje na latu pri drugi žitih. Pri razvoju koruze iz te primarne oblike v razne varietete so mutacije odigrale odločilno vlogo. Domnevajo, da je koruzo v plevah mutirala v koruzo z zrnem, ki je bilo samo do polovice odeto v pleve in v koruzo z golim zrnem, ki sploh ni imela plev. Ker se je koruzo brez plev lažje luščila in je bila bolj uporabna za prehrano, so že primitivni poljedelci začeli to obliko koruze odbirati in širiti (Mikuž, 1961).

Z introdukcijo varietet z južne Amerike v Mehiko in nato s križanjem domačih varietet, se je povečala raznolikost in rodovitnost koruze. Vzporedno se je v križanja vključevala tudi teozinta ali *Zea mays* L. ssp. *parviglumis* Iltis & Doebley (Mikuž, 1961; Dermastia, 2010). S križanjem med varietetami, z vnosom genov teozinte v te križance in zaradi človekovega izbiranja zanj najboljših rastlin, se je v določenih geografsko izoliranih področjih Mehike razvilo veliko različnih varietet in oblik, iz katerih izvirajo današnje kultivirane sorte. S križanjem pa ne dobivamo samo novih genetskih kombinacij, izmed katerih je mnogo zelo koristnih za povečanje pridelkov, ampak pridemo tudi do mutagenega učinka, ki je zelo pomemben povzročitelj za nadaljnjo evolucijo današnjih tipov in oblik (Mikuž, 1961).

V Evropo je bila koruzo prenesena ob Kolumbovem odkritju Amerike leta 1492, najprej na Portugalsko in v Španijo, od koder se je razširila po preostali Evropi, bodisi preko Italije bodisi Turčije. Po Evropi se je koruzo, zaradi nepravočasnega dozorevanja v severnejših območjih te celine, počasi uveljavljala, kljub temu, da je v tistem času tudi zaradi tridesetletne vojne (1618-1648) ljudstvo pogosto mučila lakota (Rozman, 1997).

2.1.2 Koruza v Sloveniji

Ker ni zanesljivih podatkov, ne moremo natančno ugotoviti, kdaj se je koruza pojavila na območju današnje Slovenije. Rozman (1997) navaja, da naj bi koruza v Slovenijo prišla v 17. stoletju iz Italije, kjer so jo pridelovali že konec 16. stoletja. V Lombardiji so koruzo pridelovali že konec 16. stoletja, v 17. stoletju pa tudi pri nas (Mikuž, 1961). Druga domneva je, da je koruza k nam prišla iz Turškega cesarstva po balkanskih trgovskih poteh. Domneva temelji na nazivih, ki nakazujejo prav na to potovanje preko Balkana, saj je bilo nekoč zelo razširjeno ime turščica ali turška pšenica, ki je izpeljanka iz turške besede kukuruz (Tajnšek in sod., 1991). Leta 1689 Valvasor v Slavi vojvodine Kranjske omenja, da jo je srečeval po Kranjskem, posebno na območju Ribnice.

Uvajanje koruze je bilo nekoliko lažje kot uvajanje krompirja, saj so jo v letih od 1713 do 1733 po ukazih vladarjev, pri nas vsi kmetje morali sejati, s tem pa so bili opravičeni plačila desetine (Rozman, 1997). Kmalu je postala ena glavnih živil in pomembna kmetijska rastlina. Leta 1848 je bil na kmetijski razstavi v Ljubljani na ogled bogat sortiment najrazličnejših koruz z namenom, da bi ljudje spoznali različne tipe koruze, ki se v nekaterih krajih obnesejo bolje, v drugih slabše. Vse kaže na dejstvo, da je bilo tedaj že mnogo različnih tipov koruze (Mikuž, 1961; Tajnšek in sod., 1991; Rozman, 1997).

Na razvoj naših domačih sort je močno vplival pridelovalec-kmet. Leta 1868 so se lotili načrtnega križanja ustreznih sort, da bi pridobili seme s krajšo rastno dobo. Wokaun, član glavnega odbora Štajerske kmetijske družbe, je pridelal skrižano koruzo imenovano polutansko, ko je križal debelozrnato koruzo in činkvatin. Prav tisti čas ima veliko zaslug za širjenje koruze nasploh in za setev ustreznih sort (Mikuž, 1961).

Nove populacije koruze, ki so se vedno znova širile k nam iz južnih območij, bodisi iz Italije bodisi preko Balkana iz Turčije, so bile poznejše. S pomočjo tedanjih kmetijskih družb, ki so svetovale, da naj uporabljajo zgodnje sorte iz Italije, kot so bile »činkvatin«, »kvarantin« in »pinjoleta«, so pridobili del genetske zasnove, ki je bila pomembna za razvoj številnih novih populacij (Rozman, 1997).

S pojasnjenim pojavom heteroze in ponovnim odkritjem Mendlovih zakonov v začetku 20. stoletja so žlahtnitelji dobili vzpodbudo za vzgojo sort ali populacij z večjim pridelkom. Leta 1921 se je tako pojavil prvi komercialni štirilinijski križanec koruze, leta 1924 pa prvi dvolinijski križanec. S sejanjem štirilinijskih križancev v letih od 1930 do 1960 se je pridelek povečal za 100%, še občutneje pa se je pridelek povečal po letu 1960, ko so začeli sejati dvolinijske križance (Rozman, 1997).

V želji po podaljševanju dobe polnjenja zrna, so žlahtnili s ciljem, da so rastline ostale jeseni čim dlje zelene (tako imenovani »stay green« križanci). Tako se je podaljšala fotosintezna aktivnost. Stare sorte in populacije koruze, pa tudi starejši križanci so imeli namreč to slabo lastnost, da so se listi koruze jeseni predčasno sušili in povzročili prisilno dozorevanje, kar pa je imelo posledično zmanjšanje pridelka (Rozman, 1997).

2.2 GENSKA BANKA KORUZE

Ker so se po pridelovalnih območjih Slovenije v začetku 50. let začeli širiti tuji, predvsem ameriški križanci koruze, se je takrat pod vodstvom prof. Mikuža začelo zbiranje domačih slovenskih populacij koruze. Zavedali so se namreč pomena genetske raznolikosti in vrednosti domačega genskega materiala. Poglavitni namen je bil, da bi domače populacije koruze z njihovimi dobrimi lastnostmi ohranili pred križanjem s tujimi, manj kakovostnimi križanci tipa zobank. Skoraj v celoti jim je uspelo zbrati originalne domače sorte koruze po vsej Sloveniji in preprečiti izgubo bogatega genskega fonda domače trde koruze (Mikuž, 1961; Rozman, 1998).

V genski banki koruze na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani, ki je plod več kot 50-letnega nepretrganega znanstvenoraziskovalnega dela, je doslej zbranih več kot 520 različnih genotipov. Od tega je največ domačih populacij večinoma trdink, zbranih iz različnih slovenskih klimatskih območij in iz njih vzgojenih domačih samooplodnih linij trdink. Le te so pomembne predvsem zaradi bogate genetske raznolikosti, dobre kakovosti zrnja ter prilagojenosti domačim, manj ugodnim ravnim razmeram (Rozman, 1998).

Ves genski material je v skladu s priporočili IPGRI-ja (International Plant Genetic Resources Institute) shranjen na način, ki omogoča srednjeročno shranjevanje semena v hladilnih omarah pri temperaturi +4 °C, je neprepustno zaprt z dodatkom dehidrogela, z do 8% vlage v zrnju (Rozman, 1998).

Iz domačih genotipov sta bila vzgojena štirilinijska križanca koruze, trdinka Lj-275t, v sortno listo vpisan leta 1973, in poltrdinka Lj-280, vpisan leta 1976. Leta 1996 je bil vpisan v sortno listo domač, dvolinijski križanec Lj-180, ki je zaradi svoje zgradbe primeren za pridelovanje silaže v višinskih razmerah, kjer pridelovanje koruze omejuje kratka rastna doba (Kocjan Ačko in Rozman, 1999; Rozman, 1998).

S prvimi križanci transgene koruze, ki so se pojavili na trgu leta 1996 v ZDA in v Kanadi je znova toliko bolj pomembno zbiranje in ohranjanje starih slovenskih sort. Z leti je pridelava GM koruze tako močno narasla, da v Severni Ameriki presega že 50% celotne pridelave koruze. Ker so ZDA in ostale države ameriške celine velike izvoznice koruznega zrnja po vsem svetu, obstaja velika verjetnost, da zrnje in proizvodi GM koruze prihajajo tudi k nam. Ob uvajanju GM koruze v Slovenijo lahko pričakujemo isti scenarij, kot v začetku 50. let, ko so začeli uvajati prve križance ameriških zobank in je zelo veliko domačih populacij izginilo. Obstaja namreč velika verjetnost križanja GM koruze z domačimi populacijami koruze tipa trdink in s tem posledično izgubljanje in zmanjševanje genetske raznolikosti slovenske koruze (Rozman in Gomboc, 2002).

2.3 ŽLAHTNJENJE KORUZE

Žlahtnjenje koruze na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani ima dolgoletno tradicijo. Začetki te dejavnosti sovpadajo z uvajanjem in širjenjem tujih koruznih križancev sredi petdesetih let (Tajnshek in sod., 1991).

Kot navaja Rozman (1997) je žlahtnjenje potekalo v zelo različne smeri od velikosti koruze, do številčnosti storža, do daljše vegetacijske dobe itd. Za to so morali načrtno medsebojno križati najboljše rastline ali dobro izbrane homozigotne linije, ki so rabile kot starši mnogim, pozneje v pridelavi uveljavljenim križancem.

Ker se sredi petdesetih let pri nas na novo uvedeni križanci niso vedno izkazali kot primerni za pridelovanje v slovenskih ravninskih razmerah, so zato bile zbrane številne domače sorte in populacije trde koruze, ki so predstavljale zanimiv izhodni material za žlahtnjenje samooplodnih linij in linijskih križancev (Tajnshek in sod., 1991).

Selekcijski material za vzgojo samooplodnih linij koruze nam lahko predstavljajo lokalne populacije, domače selekcionirane sorte, nove požlahtnjene sorte in njihove mešanice. Pomembno je, da je začetni material čim bolj genetsko raznolik, ker lahko potem pričakujemo večje število genetsko različnih samooplodnih oz. inbridiranih linij (Borojević, 1992).

Samooplodna linija pri koruzi, ki je tujeprašnica, je dobljena po šestih ali več generacijah samooplodnje. Zaradi pojava depresije po samooplojevanju, se samooplodne linije uporabljajo izključno le kot komponente za vzgojo hibridov oz. križancev in izkoriščanja učinka heteroze. Heteroza je pojav, ko v F1 generaciji dobimo potomce, ki so bujnejši, rodnejši oz. so vsaj v eni lastnosti boljši od staršev. Ta pojav se posebej veliko koristi pri tujeprašnih rastlinah, kjer po križanju v prvi generaciji dobimo zelo izenačeno potomstvo, medtem, ko se pri vseh nadaljnjih generacijah raznolikost povečuje (Borojević, 1992).

Učinek samooplodnje oz. vzgoje v sorodstvu se z večanjem generacij povečuje. Zato so pri večini potomstva rastline nižje in slabše razvite, pri nekaterih potomstvih ali posameznih rastlinah pa je moč opaziti tudi degenerativne znake (zakrnelost, albinizem, delna sterilnost...). Nekatere linije je zaradi slabih lastnosti potrebno tudi povsem izločiti (Borojević, 1992).

Za proizvodnjo hibridnega semena pa je tudi potrebno vzdrževati samooplodne linije, za katere se v predhodnih poskusih ugotovi ali dajejo dobro F1 generacijo in maksimalen učinek. Da bi pa ugotovili, katere linije dajejo pri medsebojnem križanju v F1 generaciji največji učinek heteroze, je potrebno preveriti njihovo kombinacijsko sposobnost (Borojević, 1992). A ker se v intenzivnih programih žlahtnjenja kot starševske linije večinoma uporablja elitne oz. že znane linije, prihaja do oženja genetske raznolikosti, kar lahko privede do izgube določenih pomembnih genotipov (Rozman in sod., 2007).

Ker je žlahtnjenje odpornih kultivarjev kmetijskih rastlin eden od najučinkovitejših ukrepov proti boleznim in škodljivcem, si žlahtnitelji prizadevajo vzgojiti kultivarje z dobro genetsko odpornostjo na različne biotske in abiotske dejavnike.

Zaradi tega v zadnjem času tudi na Katedri za genetiko, biotehnologijo, statistiko in žlahtnjenje rastlin Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani potekajo raziskave predvsem v smeri proučevanja genskega materiala na tolerantnost na najpomembnejše bolezni in škodljivce. Ugotovili so, da v genski banki obstajajo genotipi, ki so odpornejši na glavne koruzne bolezni kot je koruzna progavost (Modic in Rozman, 2002; Rozman in Kragl, 2003) in bolezni, ki jih povzročajo glive iz rodu *Fusarium* (Rozman, 2007).

Pogoj za uspešno žlahtnjenje rastlin je v raznolikosti genskega materiala, ki ga imajo žlahtnitelji na razpolago. Zato v genskih bankah zbirajo in hranijo genski material s čim večjo gensko raznolikostjo. Na ta način obvarujejo pride izgubo veliko genov, ki bi utegnili biti pomembni za žlahtnjenje novih kultivarjev, bodisi direktno kot novi kultivarji ali kot starši za vzgojo novih kultivarjev s križanjem (Rozman in Kragl, 2003).

2.4 FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST IN STRES

Najbolj intenzivna fotosinteza koruze je na listih, ki so nameščeni na kolencih od storža navzgor. Pri gostotah, ki presegajo 100 000 rastlin/ha, se začnejo pri nekaterih križancih sušiti spodnji listi, ker ne dobijo dovolj svetlobe (Tajnshek in sod., 1991).

Veliko sodobnih križancev koruze ima izrazito pokončne ali erektofilne liste. Tak položaj listov omogoča boljše prestrezanje svetlobe in izkoriščanje možnosti za povečanje pridelka koruze z večjo gostoto posevka. Druga lastnost listov, ki jo ima vse več sodobnih križancev, je dolgo ohranjaje zelenosti oziroma počasno odmiranje listne mase (angleško »stay green hybrids«). Tovrstni križanci so nastali v programih žlahtnjenja koruze na odpornost proti stresu zaradi pomanjkanja vode. Dolgotrajna zelenost listov omogoča daljše prestrezanje svetlobe in boljšo fotosintezo, s tem pa tudi večji pridelek koruze (Čergan in sod., 2008).

Zmanjšana vsebnost listnega klorofila se izraža v rumenih in zeleno bledih odtenkih rastlin, kar kaže na zmanjšan antenski kompleks v reakcijskem centru PS II. To zmanjšuje absorpcijo fotosintezno aktivnega sevanja (PAR). Kadar so rastline pod sušnim stresom, bi nam lahko to koristilo, a je po drugi strani povezano z zmanjšano fotosintezno aktivnostjo in izpadom pridelka (Premachandra in sod., 1994).

Raziskave so pokazale, da sušni stres močnejše vpliva na stomatalno prevodnost kot na fotosintezo (Taiz in Zeiger, 2002). Vodni deficit lahko naredi poškodbe na strukturi kloroplastov, spremeni vsebnost rastnih hormonov v listih, kar lahko vodi k slabši fotosintezi (Miyashita in sod., 2005).

Miyashita in sod. (2005) so prišli do zaključka, da je obnovitev fotosinteze po vodnem stresu bila rahlo hitrejša kot obnova transpiracije in stomatalne prevodnosti. Obstajajo namreč možnosti poškodbe listov z omejevanjem talne vlage. To nakazuje, da je fotokemična učinkovitost zmanjšana s poškodbo elektronskega prenosa v fotokemičnem sistemu II. Zato je poškodba na fotokemičnem sistemu II pomemben dejavnik, ki lahko vpliva na sposobnost obnavljanja aktivnosti po prenehanju stresa.

Kloroplastna in mitohondrijska struktura sta namreč tudi lahko poškodovani ob vodnem deficitu (Giles in sod., 1976). Obnavljanje fotosintetske aktivnosti je bilo tako najboljše, ko je bila stomatalna prevodnost najnižja. To predstavlja tesno povezavo med potencialom vode v listih in vrednostmi obnavljanja fotosinteze, transpiracije in stomatalne prevodnosti (Miyashita in sod., 2005).

Hirasawa in Hsiao (1999) navajata, da se pri koruzi vrednosti fotokemične učinkovitosti tekom dneva spreminjajo. Najvišja neto fotosinteza je bila dopoldan, tekom dneva je bila nižja, najnižja pa proti večeru.

Vsaka količina svetlobe, ki jo absorbira molekula klorofila, privede elektron iz ravnovesnega stanja v vzbujeno stanje. Ob prehodu elektrona iz vzbujenega stanja nazaj na ravnovesno, se mala količina vzbujene energije odda kot rdeča fluorescenca. Indikatorska funkcija fluorescence klorofila prihaja iz dejstva, da je fluorescentna emisija enakovredna alternativnim potem umirjanja, ki so v osnovi fotokemična učinkovitost in oddana toplota. Na splošno je količina fluorescence največja, ko sta fotokemična učinkovitost in oddajanje toplote najmanjši. Zato spremembe v količini fluorescence odražajo spremembe v fotokemični učinkovitosti in v deležu oddane toplotne (Fracheboud, 2010).

Fluorescenca ali oddajanje daljše valovne dolžine je eden od treh načinov, s katerim lahko s svetlobo vzbujeni klorofil odda energijo. Ob primernih merilnih razmerah lahko z meritvijo fluorescentnega signala sklepamo na fotokemično učinkovitost fotosinteze (dejansko, značilno za določene okoljske razmere in potencialno) in na hitrost elektronskega transporta v svetlobnih reakcijah fotosinteze (Vodnik, 2004).

Prav ravnovesje med fotokemičnimi in nefotokemičnimi procesi nam omogoča, da lahko na podlagi razlik v povečanju ali zmanjšanju fluorescence klorofila hitro in zanesljivo merimo fotokemično aktivnost rastline (Hopkins in sod., 2004).

Razmerje med potencialno in maksimalno fluorescenco (F_v/F_m) je indikator učinkovitosti fotokemijske pretvorbe energije v PS II. Björkmann in Demming-Adams (1995) navajata, da je vrednost parametra za rastlino brez fotoinhibicije navadno 0,8-0,83. Pri fotoinhibiciji se ta vrednost parametra lahko zmanjša (Öquist in sod., 1992). Vsa odstopanja od teh vrednosti pa nakazujejo, da je rastlina izpostavljena stresu (Schreiber in sod., 1995). Dejanska fotokemična učinkovitost PS II je izražena v razmerju $(F_m' - F)/F_m' = \Delta F/F_m'$ in nam poda dejansko učinkovitost energijske pretvorbe v PS II (Björkmann in Demming-Adams, 1995). F_m' je maksimalna fluorescenca osvetljenega vzorca in F je vrednost fluorescence v mirovanju (Schreiber in sod., 1995).

Germ in sod. (2005) navajajo, da so v njihovih raziskavah pri sončnici ugotovili, da vodni tok skozi rastlino ne vpliva na optimalno fotokemično učinkovitost fotosistema II, kar kaže odpornost procesa fotosinteze na akutno zmanjšano preskrbljenost rastlin z vodo. Dejanska fotokemična učinkovitost fotosistema II se naj bi ob akutni motnji preskrbe z vodo zmanjšala.

Merjenje fluorescence klorofila nam omogoča, da za rastlino določimo njene optimalne razmere za fotosintezo ter tako spremljamo, katere stresne dejavnike in v kakšni meri jih

rastlina tolerira. Na tak neinvaziven način lahko proučujemo razne stresne dejavnike, kot so okoljske spremembe, pomanjkanje hranil ter onesnaženje. Raziskujemo lahko tudi, ali so morda rastline razvile kakšne prilagoditve na te dejavnike. Meritve fluorescence klorofila nam pomagajo tudi pri zgodnjem odkrivanju ali so rastline izpostavljene stresnim dejavnikom (Hopkins in sod., 2004).

2.5 LISTNE REŽE

Listne reže igrajo zelo pomembno vlogo v nadzorovanju evaporacije vode in menjavi plinov. Transpiracija in fotosinteza sta tako regulirana z odpiranjem in zapiranjem listnih rež. Ker se vodni stres klimatsko zelo spreminja, je vzdrževanje lastnosti normalnega delovanja zelo pomembno, saj sta od tega odvisna rast in pridelek rastlin (Maghsoudi in Maghsoudi, 2008).

Da se rastline lažje spopadejo s sušo, se morajo listne reže odpirati, da lahko prevzamejo CO₂ iz okolja in zapirati, da omejijo izgubo vode (Elizabeth in Alistair, 2007).

Listne reže lahko prilagodijo prevodnost pod vplivom okoljskih dejavnikov tako, da optimizirajo prevzem CO₂ in hitrost transpiracije (Hyeon-Hye in sod., 2004). Odzivajo se na okoljske dejavnike kot so svetloba, relativna zračna vlaga, koncentracija CO₂ in vodni status rastline. Rastlinske pline izmenjujejo različno, saj imajo različne gostote listnih rež in tudi različne velikosti listnih rež (Farquhar in sod., 2002). Statistično značilne razlike so bile najdene med rastlinskimi vrstami v odzivu gostote listnih rež na spreminjanje okolja (Raschke, 1975).

Mohammady in sod. (2010) so odkrili statistično značilno razliko za dolžino listnih rež za zgornji in spodnji strani listov pri pšenici. Navaja tudi, da je dolžina listnih rež bolj učinkovita kot širina listnih rež pri vodni transpiraciji. Shimshi in Ephrat (1975) trdita, da različni kultivarji pšenice s širšimi listnimi režami proizvajajo več pridelka, brez potrebe po dodatni količini vode. Medtem ko Wang in Clarke (1993) navajata, da je porazdelitev listnih rež pri pšenici v pozitivni koleraciji s količino izgubljene vode. To kaže, da bi lahko žlahtnjenje na manjše listne reže in z reduciranim številom listnih rež lahko vodilo k manjši izgubi vode.

Porazdelitev listnih rež in njihova velikost so že bili uporabljeni kot morfološki markerji za identifikacijo stopnje ploidnosti v različnih rastlinskih vrstah, na primer pri akaciji (*Acacia mearnsii*; Beck in sod., 2005) in pšenici (*Triticum spp.*; Khazaei in sod., 2010). Khazaei in sod. (2010) so pri diploidni, tetraploidni in heksaploidni pšenici ugotovili, da je najvišjo gostoto listnih rež imela diploidna pšenica, najmanjšo gostoto pa je imela heksaploidna pšenica. Po drugi strani pa se je velikost listnih rež povečala s stopnjo ploidnosti, pri tem je diploidna pšenica imela najmanjše listne reže ($2 \times < 4 \times < 6 \times$). Tako sta gostota, kot tudi velikost listnih rež povezani s stopnjo ploidnosti.

Zhang in sod. (2007) predpostavljajo, da je porazdelitev listnih rež zelo povezana z učinkovitostjo izrabe vode in njenim vplivom na prevodnost listnih rež. Hardy in sod. (1995) so ugotovili, da ima večja gostota listnih rež za bolj učinkovito izrabo vode večji

vpliv pri C₄ rastlinah kot pri C₃ rastlinah. Glede na kompleksnost tolerance na sušo, bi lahko s pomočjo selekcije poznanih dejavnikov, ki vplivajo na toleranco nas sušo, dosegli višje pridelke. Ustrezno bi lahko ocenili vpliv tolerance na sušo z veliko parametrov, kot npr. značilnosti listnih rež, prevodnost listnih rež, fotosintezno aktivnost, transpiracijo, učinkovitost izrabe vode idr.

Driscoll in sod. (2006) trdijo, da so v njihovih raziskavah s povečanjem koncentracije CO₂ pri koruznih listih povečali velikost listnih rež. Vrednosti fotosinteze in vrednosti transpiracije so vedno bile višje na spodnji strani listov. Prevezanje CO₂ se je povečalo na obeh straneh lista, ko so povečali atmosferski CO₂. Njihovi rezultati so pokazali, da v okolju s povečano koncentracijo CO₂ listi koruze raje kot gostoto listnih rež temu prilagodijo število epidermalnih celic. Še več, odziv krivulje CO₂ je kazal na povečanje fotosinteze na zgornji strani listov in naj bi bila pogojena z naraščajočo količino CO₂, po drugi strani pa je fotosinteza na spodnji strani listov bila zelo neodvisna od koncentracije CO₂ in precej neodvisna od delovanja listnih rež.

3 MATERIAL IN METODE DELA

3.1 RASTLINSKI MATERIAL

V proučevanje je bil vključen material iz genske banke koruze Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani. Vključili smo 6 linij koruze, ki so starševske linije dveh Lj-križancev koruze vpisane v sortno listo in na seznam avtohtonih in ohranjevalnih sort, tri dvolinijske križance in en štirilinijski križanec. Štiri linije A, B, C in D, ter dva dvolinijska hibrida A×B (AB) in C×D (CD) so starševske komponente hibrida (A×B)×(C×D) Lj-275t (štirilinijska čista trdinka) (ABCD), liniji E in F pa sta starševski komponenti dvolinijskega križanca E×F (EF), Lj-180 (ranejša poltrdinka).

3.2 POLJSKI POSKUS

Poljski poskus z izbranimi genotipi je bil izveden v letu 2006 na dveh lokacijah in sicer na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Jablah pri Trzinu (zemljepisna širina 46°8'29", zemljepisna dolžina 14°33'21", nadmorska višina 302,7 m) in na poskusnem polju Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani na Jamnikarjevi (zemljepisna širina 46°2'58", zemljepisna dolžina 14°28'28", nadmorska višina 296,4 m). Setev je bila na obeh lokacijah opravljena 5.5.2006. Pridelek smo pobrali 22. septembra 2006. Oskrba poskusov je bila standardna (Čergan in sod., 2007).

Tako na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Jablah pri Trzinu, kot tudi na poskusnem polju Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani na Jamnikarjevi so tla globoka in hidromorfna. Vrsta tal v Jablah pri Trzinu je ilovnati melj. Takšna tla se ob sušnem obdobju zelo hitro površinsko zaskorijo, zato boljše uspevajo rastline z globokim koreninskim sistemom. Po vrsti tal spadajo tla na Jamnikarjevi v meljasto glinasto ilovico. Takšna teksturna sestava vpliva, da so tla slabo propustna in slabo strukturna. Površinska voda, ki se spomladi ne utegne pravočasno odcediti v globino, stagnira tudi dlje časa v površinskem delu (Stepančič in sod., 1979; Stepančič in sod., 1982).

Dne 20.7. 2006 smo na polju pri vsakem genotipu naključni odbrali 5 rastlin in jih označili, da smo kasneje lahko izvedli vse meritve in vzeli vzorce za nadaljnje analize. Isti dan je bila na polju opravljena meritev fotokemične učinkovitosti, hkrati so pa bili nabrani tudi vzorci za laboratorijske analize listnih rež in določevanje relativne vsebnosti vode. Konec septembra, ko so populacije dozorele, smo pobrali pridelek in rastline, da smo lahko kasneje v laboratoriju na Biotehniški fakulteti opravili ostale meritve in analize.

3.3 MERITVE

3.3.1 Fotokemična učinkovitost

Meritve fluorescence smo opravili na poskusnem polju s pomočjo fluorometra PAM 2100, (Pulse-Amplitude-Modulated Fluorometer, Heinz Walz GBMH, Effeltrich, Nemčija). Na predhodno izbrane rastline smo na prvi list nad storžem namestili ščipalke za temotno adaptacijo in jih pustili stati 20 minut. V tem času se je del lista temotno adaptiral in kasneje smo lahko izmerili potencialno fotokemično učinkovitost fotosistema II. Razmerje F_v/F_m , ki se izraža z razmerjem variabilne fluorescence (F_v) in maksimalne fluorescenc (F_m), je hkrati indikator učinkovitosti fotokemijske pretvorbe energije v PS II. Kasneje smo na istih listih še izmerili dejansko fotokemično učinkovitost fotosistema II. Meritve smo naredili v dveh terminih, prvi je bil 20.7.2006, drugi pa 28.8.2006.

Oboje meritev smo opravljali v času od 10 do 13 ure. Pri prvih meritvah (20.7.2006) se je temperatura listov tekom meritev dvignila iz 25,3 °C na 27,7 °C. Vrednosti PAR so bile med 1300 in 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, bilo je sončno vreme in brez oblakov. Predhodne dni so dnevne temperature dosegle do 33 °C, hkrati pa tudi zadnjih 6 dni ni bilo nikakršnih padavin. Pri drugih meritvah (28.8.2010) se je temperatura listov tekom meritev dvignila iz 16,7 na 18,6 °C. Vrednosti PAR so bile med 1200 in 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, bilo je sončno, občasno deloma oblačno. Predhodne dni so dnevne temperature dosegle do 25 °C in je bilo precej padavin.

3.3.2 Relativna vsebnost vode (RWC)

Relativno vsebnost vode smo ugotavljali po metodiki, ki jo navaja tudi Ratnayaka in sod. (2003). Vzorce za določanje relativne vsebnosti vode smo nabrali ob prvih meritvah. Izbrali smo vrhnje konce istih listov, ki smo jih predhodno uporabili pri merjenju fluorescence. Liste smo odrezali na enaki razdalji, jih označili in jih spravili v vrečke na hladno, da smo jih lahko čim prej dostavili v laboratorij. V laboratoriju se je najprej stehtala masa nabranih listov. Kasneje smo vse liste za 24 ur postavili v destilirano vodo in naslednji dan znova stehtali. Te izmerjene liste smo nato dali v sušilnik za 1 teden in jih kasneje ponovno stehtali. Z danimi rezultati smo kasneje lahko izračunali relativno vsebnost vode po naslednji enačbi $(FW-DW)/(TW-DW)$. Kjer FW predstavlja svežo maso, DW maso suhega lista in TW turgidno maso (maso, ko smo pustili list stati v destilirani vodi 24 ur).

3.3.3 Listne reže

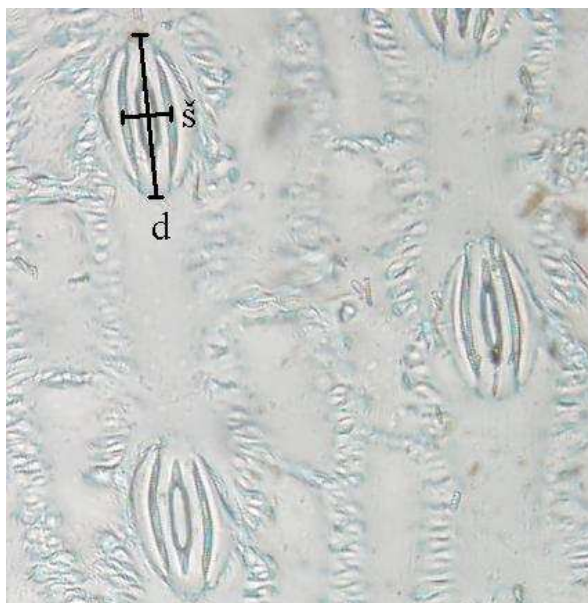
Vzorce za meritve kompleksa listnih rež (v nadaljnjem tekstu listnih rež) smo nabrali dne 20.7.2006. Vzorce smo nabrali tako, da smo s prozornim lakom pomazali po spodnji strani listov, kjer smo predhodno naredili tudi ostale meritve. Z lepilnim trakom smo vzeli vzorce in jih prilepili na objektna stekelca, da smo jih pripravili za nadaljnje laboratorijske analize. Kasneje smo na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko analizirali dobljene podatke s pomočjo mikroskopa Olympus (Provis) AX 70

(Olympus, Tokyo, Japan), ki je opremljen z dvema klasičnima fotoaparatom, preko digitalne kamere OLYMPUS DP-70 pa je povezan s sistemom za analizo slike. Sistem za analizo slike AnalySIS 3.0 (Soft Imaging Systems, Münster, Nemčija) je kasneje bil v pomoč pri štetju listnih rež in izmeri njihove širine in dolžine. Listne reže smo šteli pri povečavi 100×, na enoto površine 0,86 mm².



Slika 1: Izrez slike listnih rež koruze za določanje števila oz. gostote listnih rež (OLYMPUS AX 70, 100× povečava).

Dolžino listnih rež (*d*) smo merili med koncema celic spremljevalk, medtem, ko smo širino listnih rež (*š*) merili med celicama zapiralkama (Slika 2).



Slika 2: Izrez slike listnih rež koruze za določanje velikosti listnih rež (OLYMPUS AX 70, 400× povečava).

3.3.4 Parametri pridelka

Po spravilu pridelka (22.09.2006) smo storže s semeni in vse nabrane rastlinske dele dali v sušilne komore. Tam smo jih pri temperaturi 40 °C pustili en teden, kasneje pa smo v laboratoriju naredili še naslednje meritve: maso zračno suhega stebela in listov, maso zračno suhega storža, maso zračno suhega zrnja, dolžino storžev, število zrn na storž in absolutna maso zrn.

3.4 STATISTIČNA ANALIZA

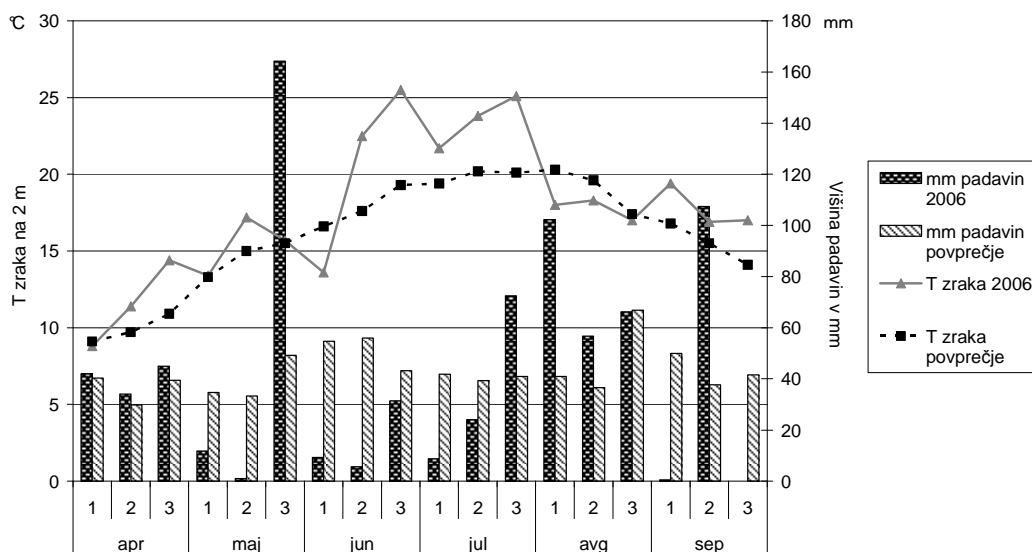
Vse dobljene podatke smo statistično obdelali z računalniškima programoma Microsoft Excel 2003 in Statgraphics Plus 4.0 s pomočjo analize variance. Za analizo mnogoterih primerjav pa smo uporabili Duncan-ov preizkus s stopnjo tveganja $p < 0,05$.

4 REZULTATI

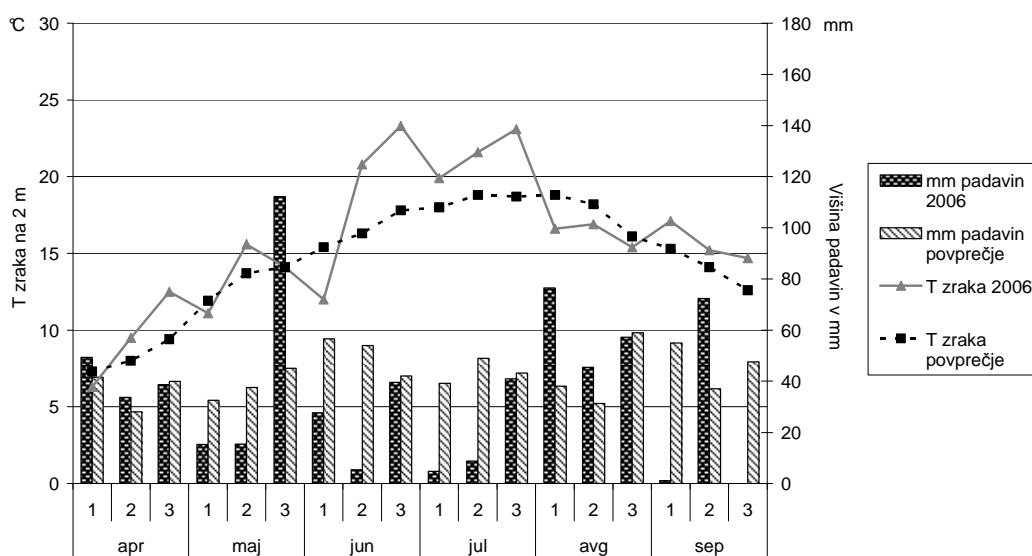
4.1 PODATKI O VREMENU

Splošna klimatska značilnost leta 2006 je, da je bilo to nadpovprečno toplo, nadpovprečno osončeno in suho leto. Take razmere niso bile enake skozi celo leto, velike razlike v podnebnih razmerah so bile tako po letnih časih kot tudi pri mesečnih statistikah (Slika 3 in 4). Najbolj suha je bila jesen, najbolj namočena pomlad. Leto 2006 je bilo značilno tudi po dolgotrajni snežni odeji, ki je bila na primer v Ljubljani vse do 20. marca (Mesečni ..., 2006).

Po vrsti mesecev, ki so bili hladnejši od dolgoletnega povprečja, je bila povprečna mesečna temperatura aprila 2006 spet povsod po državi nad dolgoletnim povprečjem. V Ljubljani in na letališču J. Pučnika Ljubljana je bila povprečna aprilaska temperatura nad dolgoletnim povprečjem. Dežja je padlo nekaj več kot pa je dolgoletno povprečje tako, da je bilo optimalno za setev. V prvih dveh dekadah maja je v Ljubljani-Bežigrad in na letališču J. Pučnika Ljubljana zapadlo manj dežja kot ponavadi in tudi povprečje temperatur ni preveč odstopalo. V tretji dekadi je zapadlo veliko več padavin, kot je dolgoletno povprečje. Posledično tega je prišlo tudi do hladnejšega začetka junija. Vremenske razmere v mesecu maju pa niso povzročile pretiranega izhlapevanja vode iz tal in rastlin. V drugi polovici meseca junija je povprečna mesečna temperatura povsod presegla dolgoletno povprečje. V Ljubljani je bila povprečna junijska temperatura 20,5 °C, kar je 2,7 °C nad dolgoletnim povprečjem, medtem ko je na letališču J. Pučnika Ljubljana povprečna temperatura bila višja za 2,2 °C. Zaradi tega je bilo v tem mesecu padavin precej manj, v Ljubljani le 46 mm padavin (30% dolgoletnega povprečja), na letališču J. Pučnika Ljubljana pa le 72 mm padavin (50%). Tako je v zadnji dekadi junija v večjem delu Slovenije že pričelo primanjkovati vode za kmetijske rastline. Tudi julija so prevladovali dnevi z maksimalno dnevno temperaturo zraka nad 30 °C. Junija in julija skupaj jih je bilo v Ljubljani-Bežigrad in na letališču J. Pučnika Ljubljana kar 30. Prve padavine, ki so bile sicer močne in so se nadaljevale preko celega avgusta, so padle šele konec julija. Do takrat pa so ranjši genotipi koruze, med katere spadajo tudi nekateri, ki so bili vključeni v naše raziskave, že odcveteli. S tem so tudi padle temperature kar za 1,5 °C pod dolgoletno povprečje. September je bil ugoden za rastline, saj so povprečne mesečne temperature zraka presegle dolgoletna povprečja za 2 do 3 °C. Čeprav je v drugi dekadi septembra bilo več dežja, je količina padavin v Ljubljani-Bežigrad zaostajala za 12 mm od dolgoletnega povprečja (43 mm), medtem, ko je bila na letališču J. Pučnika Ljubljana manjša kar za polovico od dolgoletnega povprečja (47 mm) (Mesečni bilten, 2006).

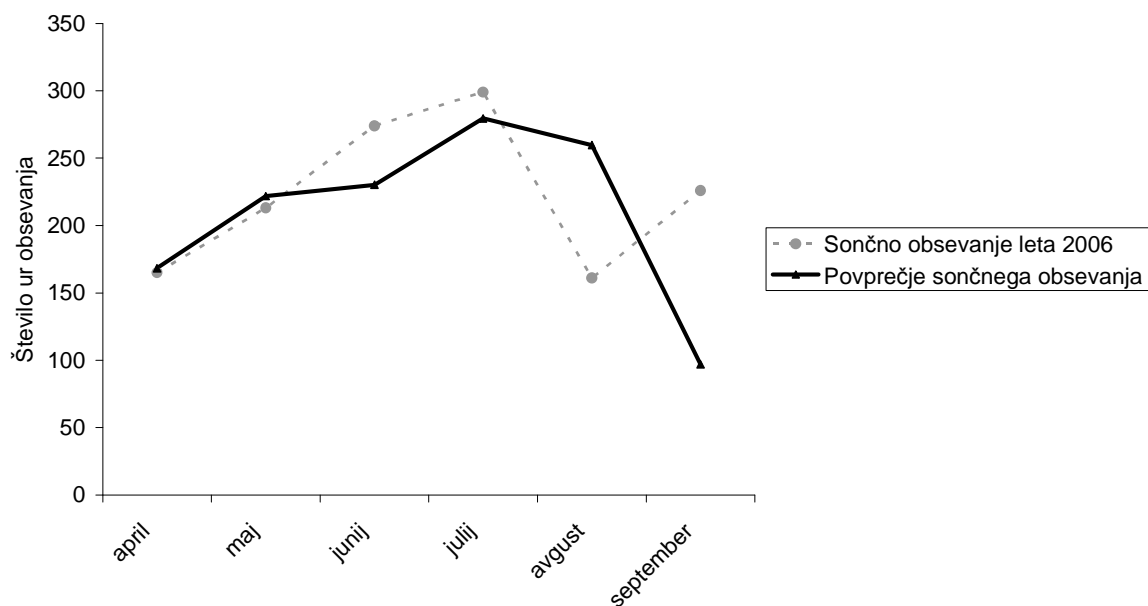


Slika 3: Količina padavin v mm in temperatura zraka na 2 m v °C po dekadah, merjeno v Ljubljana-Bežigrad za leto 2006 in tridesetletno povprečje (Mesečni ..., 2006).



Slika 4: Količina padavin v mm in temperatura zraka na 2 m v °C po dekadah, merjeno na letališču J. Pučnik-Ljubljana za leto 2006 in tridesetletno povprečje (Mesečni ..., 2006).

Podatke za trajanje sončnega obsevanja (Slika 5) lahko predstavimo samo za merilno postajo Ljubljana-Bežigrad, saj na merilni postaji letališča J. Pučnika-Ljubljana te meritve ne izvajajo. Trajanje sončnega obsevanja v mesecu aprilu in mesecu maju ni posebej odstopalo od tridesetletnega povprečja. Nadpovprečno trajanje sončnega obsevanja je odstopalo meseca junija, julija in septembra, medtem ko je meseca avgusta bilo podpovprečno trajanje sončnega obsevanja. Povod za to je bilo obilno deževje. Leto 2006 je bilo v Ljubljani že deseto leto zapored z nadpovprečnim trajanjem sončnega obsevanja.



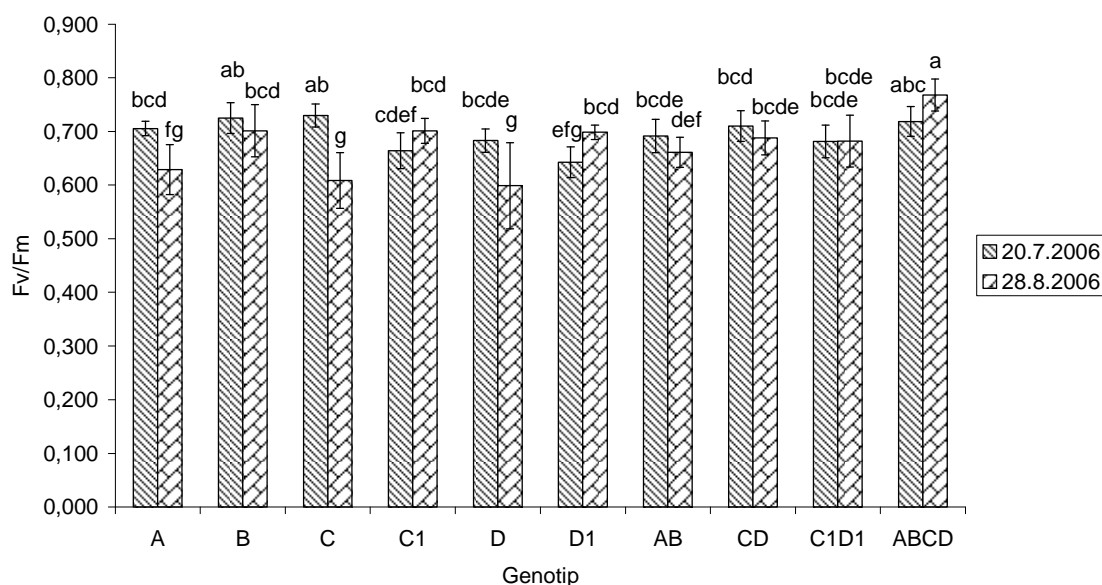
Slika 5: Število ur obsevanja po mesecih, merjeno v Ljubljana-Bežigrad za leto 2006 in tridesetletno povprečje (Mesečni ..., 2006).

4.2 FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST

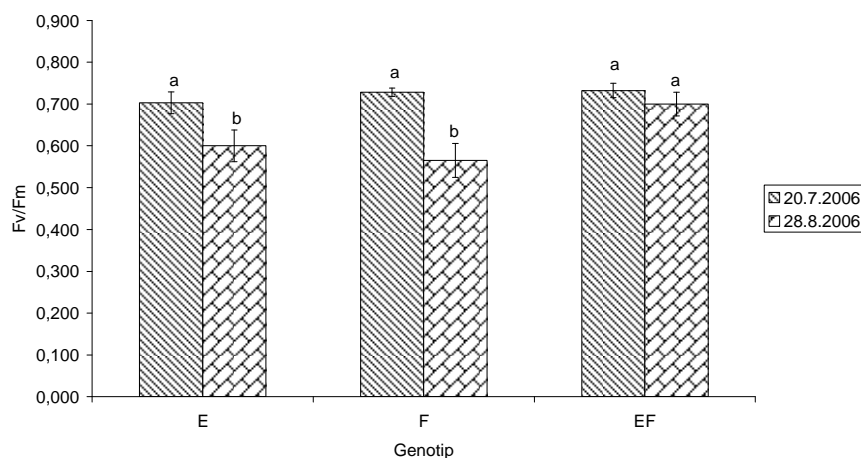
Vrednosti meritev potencialne fotokemične učinkovitosti (F_v/F_m) križanca ABCD in njegovih starševskih genotipih so bile izmerjene v dveh terminih (Slika 6). Prve meritve so bile opravljene dne 20.7.2006, kjer smo največjo potencialno fotokemično učinkovitost izmerili pri liniji C (0,730). Pri drugi meritvi (28.8.2006) je največjo vrednost potencialne fotokemične učinkovitosti imel križanec ABCD (0,768). Vrednost te meritve se statistično značilno razlikuje od vseh ostalih meritev drugega termina, hkrati pa je tudi največja vrednost vseh meritev. Najnižje vrednosti druge meritve sta imeli linija C (0,608) in linija D (0,599), ki se, razen od linije A, statistično značilno razlikujeta od vseh ostalih meritev prvega in drugega termina.

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh različnih lokacijah, v Jablah pri Trzinu (liniji C in D) in v Ljubljani (liniji C1 in D1) pokaže, da so vrednosti drugih meritev večje od vrednosti prvih meritev. Statistična značilna razlika se pojavi tudi med različnimi lokacijami in sicer pri liniji C pri obeh meritvah, pri liniji D pa samo pri drugih meritvah.

Za genotipe E, F in EF pri prvih meritvah ni bilo nobenih statističnih značilnih razlik, medtem, ko smo ob drugih meritvah (28.8.2006) ugotovili, da je imel križanec EF statistično značilno višje vrednosti od starševskih linij E in F (Slika 7). Vrednosti ob drugih meritvah so nižje od vrednosti ob prvih, a se med meritvami statistično značilno razlikujejo le pri liniji E in liniji F, medtem ko se pri križancu EF ne razlikujejo.



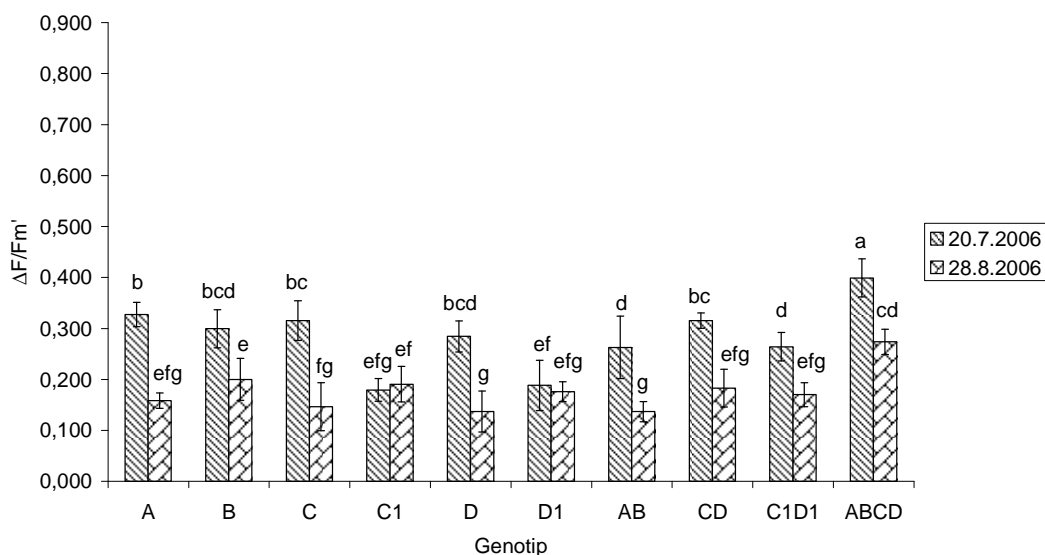
Slika 6: Povprečne vrednosti in standardni odklon za potencialno fotokemično učinkovitost (Fv/Fm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.



Slika 7: Povprečne vrednosti in standardni odklon za potencialno fotokemično učinkovitost (Fv/Fm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

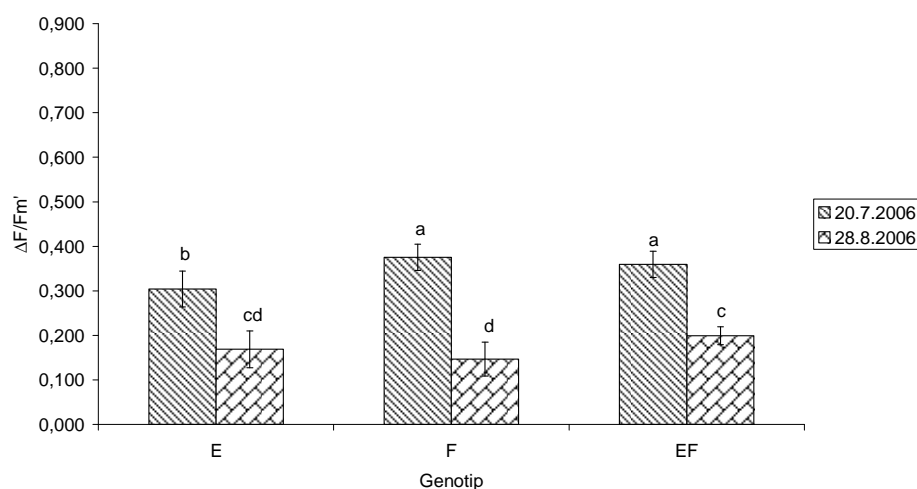
Največje vrednosti meritev dejanske fotokemične učinkovitosti ($\Delta F/F_m'$) opravljenih v dveh terminih je dosegel križanec ABCD (0,399) (slika 8). Statistično značilno se razlikuje od ostalih genotipov v obeh meritvah in v obeh meritvah (0,399 in 0,274) dosega tudi največje vrednosti. Najnižje vrednosti prvih meritev sta dosegli linija C1 in linija D1, ki se, če upoštevamo samo prve meritve, statistično značilno razlikujeta od vseh ostalih. Pri drugi meritvi so vrednosti nižje od prve in se razen pri linijah C1 in D1, pri vseh ostalih genotipih statistično značilno razlikujejo od prvih meritev.

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh različnih lokacijah, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani pokaže, da se linije C in C1, D in D1 in križanca CD in C1D1 med seboj v prvi meritvi statistično značilno razlikujejo. Ob drugi meritvi med njimi ni statistično značilnih razlik.



Slika 8: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dejansko fotokemično učinkovitost ($\Delta F/F_m'$) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

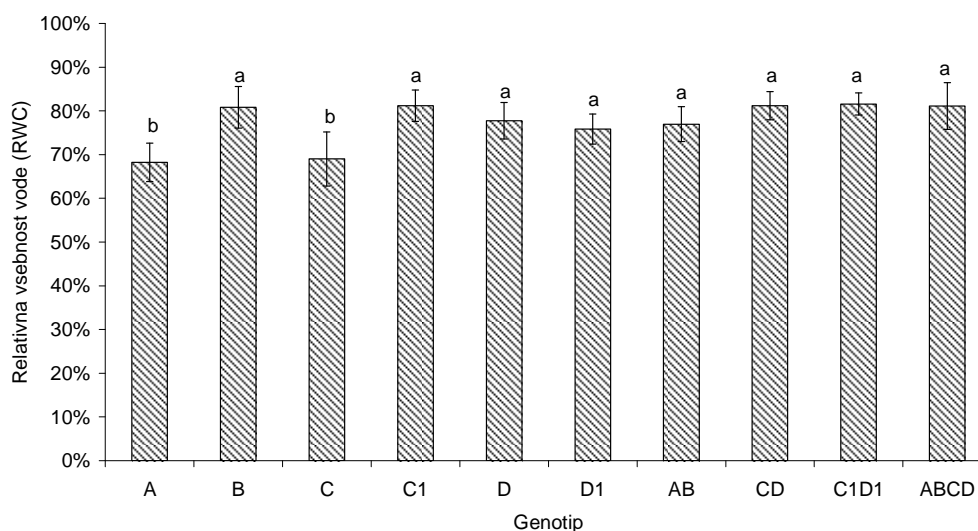
Ob prvih meritvah potencialne fotokemične učinkovitosti ($\Delta F/F_m'$) smo pri križancu EF in njegovih starševskih linijah ugotovili, da ima linija E (0,307) statistično značilno nižjo vrednostjo od linije F in križanca EF (Slika 9). Ob drugih meritvah se križanec EF (0,199) statistično značilno razlikuje od linije F. Vrednosti drugih meritev so pri vseh genotipih statistično značilno nižje od vrednosti prvih meritev.



Slika 9: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dejansko fotokemično učinkovitost ($\Delta F/F_m'$) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

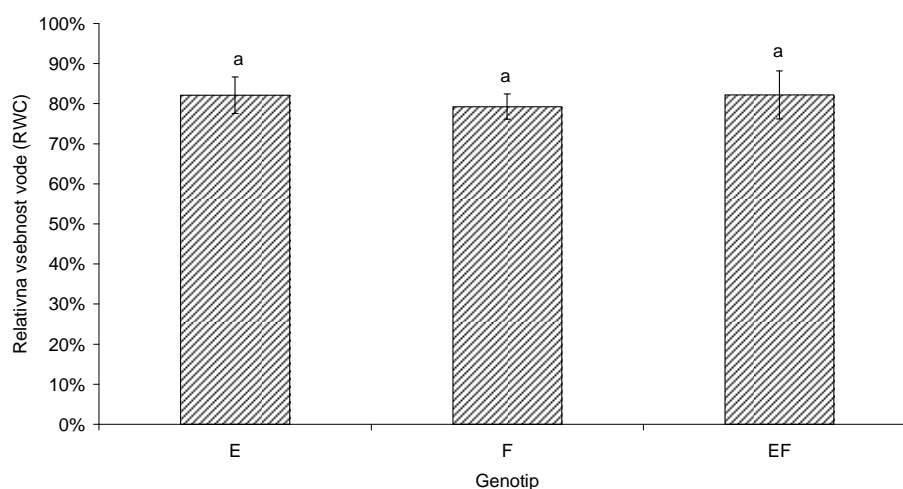
4.3 RELATIVNA VSEBNOST VODE (RWC)

Relativna vsebnost vode pri križancu ABCD in njegovih starševskih linijah je visoke vrednosti dosegala pri križancih (Slika 10). Najmanjšo vrednost sta imeli liniji A in C, ki sta bili edini statistično značilno različni od ostalih genotipov. Njuna vrednost je bila med 68,2 in 69 %, medtem, ko je bila pri ostalih linijah križancev med 77,2 in 81,2 %.



Slika 10: Povprečne vrednosti in standardni odklon za relativno vsebnost vode (%) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

Pri križancu EF in njegovih starševskih linijah je bila relativna vsebnost vode med 79,2 in 82,2 % (Slika 11). Med križancem in starševskima linijama ni bilo statistično značilnih razlik.



Slika 11: Povprečne vrednosti in standardni odklon za relativno vsebnost vode (%) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

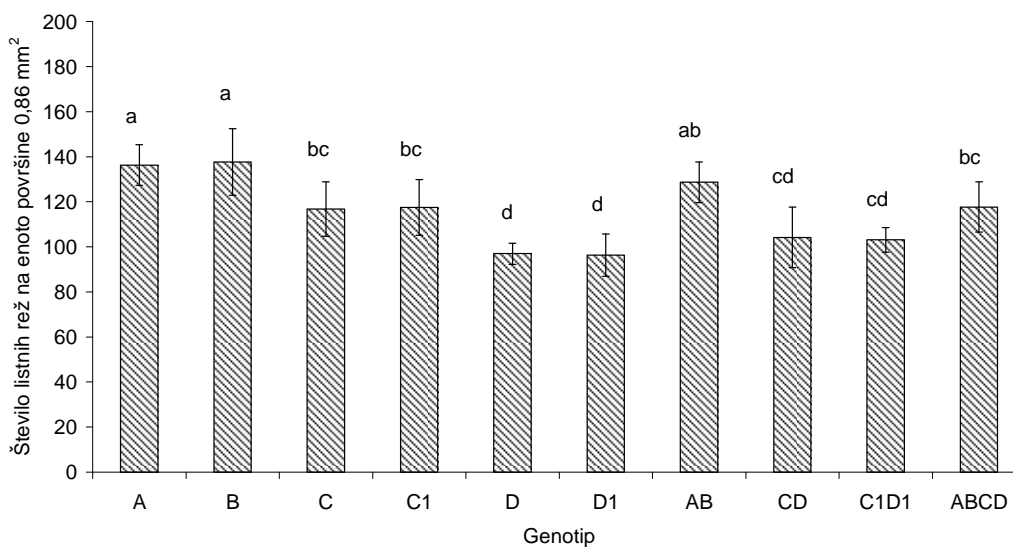
4.4 LISTNE REŽE

4.4.1 Število listnih rež

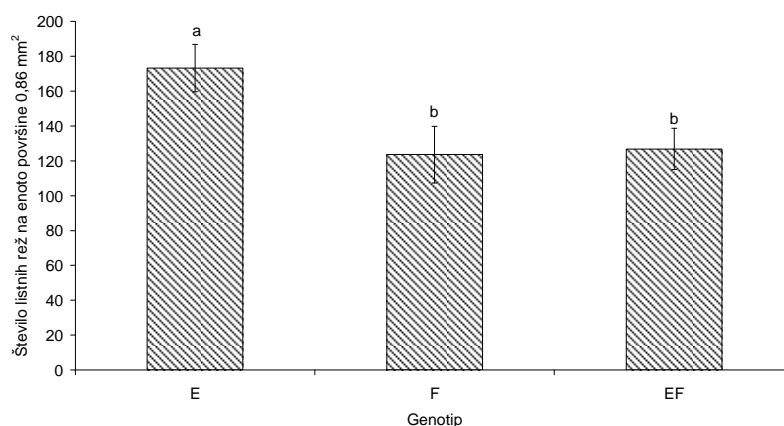
Največje število listnih rež (Slika 12) na enoto površine ($0,86 \text{ mm}^2$) pri križancu ABCD in njegovih starševskih genotipih sta imeli liniji A in B (136,3 oz. 137,7), najmanjše pa liniji D in D1 (97,0 oz. 96,3).

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh različnih lokacijah, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani, pokaže zelo majhne statistično neznačilne razlike, čeprav so posejani na dveh različnih lokacijah.

Pri križancu EF in njegovih starševskih linijah (Slika 13) ima linija E statistično značilno več listnih rež od linije F in križanca EF.



Slika 12: Povprečne vrednosti in standardni odklon za število listnih rež na enoto površine $0,86 \text{ mm}^2$ pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

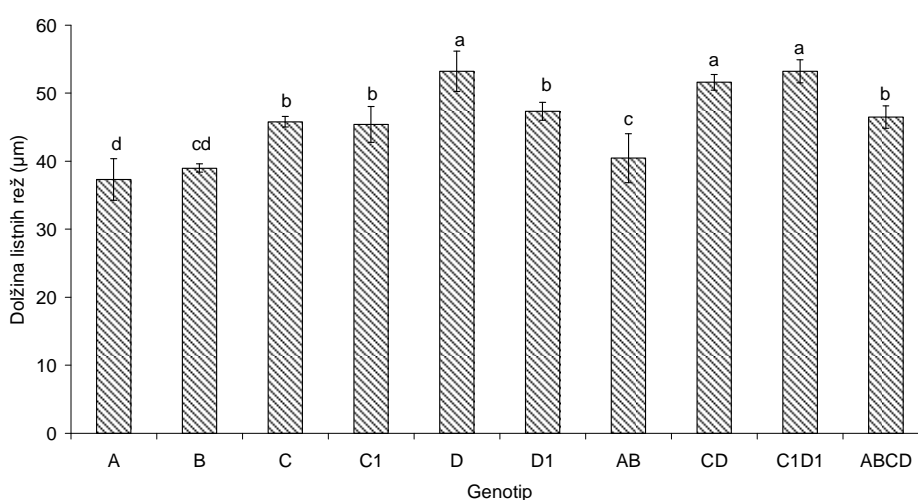


Slika 13: Povprečne vrednosti in standardni odklon za število listnih rež na enoto površine 0,86 mm² pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

4.4.2 Dolžina listnih rež

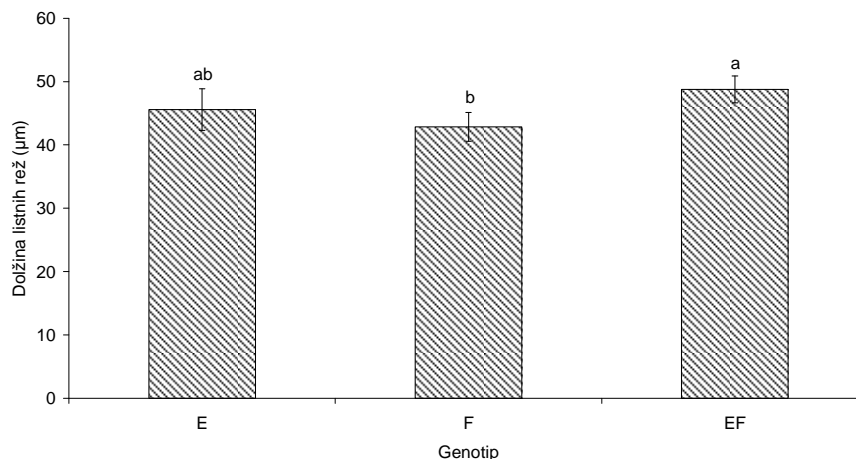
Najdaljše listne reže so imeli linija D (53,22 μm) ter križanca CD (51,60 μm) in C1D1 (53,21 μm), ki se statistično značilno razlikujejo od vseh ostalih genotipov (Slika 14). Najkrajše listne rež je imela linija A (37,31 μm), ki se razen od linije B, od vseh ostalih statistično značilno razlikuje. Križanec ABCD (46,48 μm) se statistično značilno razlikuje od starševskih križancev AB in CD. Pri njem je dolžina listnih rež v povprečju starševskih dolžin.

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh različnih lokacijah, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani (Slika 14) pokaže, da le v primeru linije D in linije D1 obstaja statistično značilna razlika. Pri linijah C in C1, križancem CD in C1D1 pa v dolžni listnih rež ni statistično značilnih razlik.



Slika 14: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dolžino listnih rež v mikrometrih (μm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

Dolžina listnih rež pri križancu EF (Slika 15) in njegovih starševskih linijah je bila največja pri križancu EF (48,74 μm), statistično značilno pa se razlikuje samo od linije F, ki je imela sicer najkrajše listne reže.

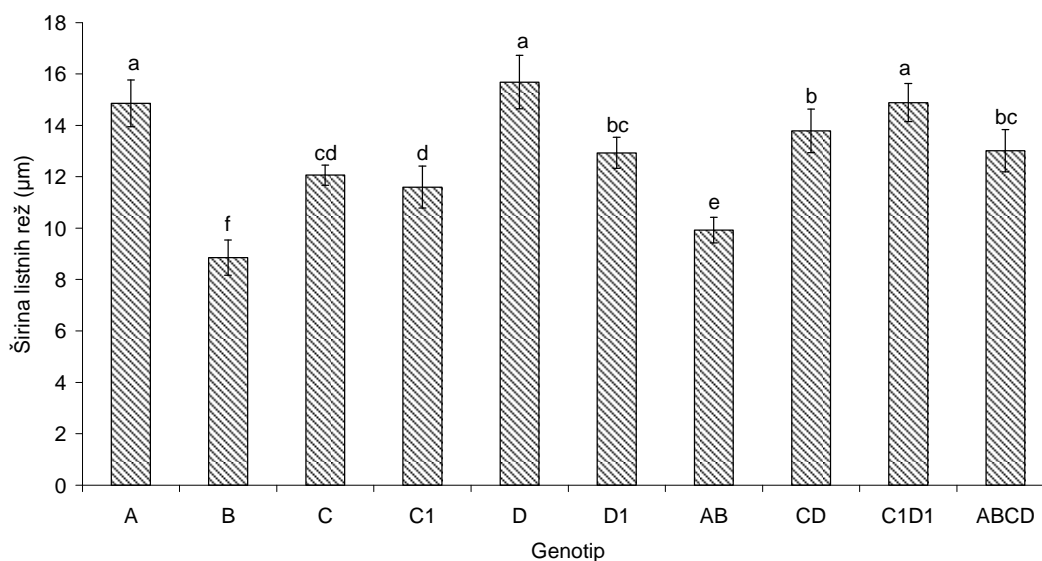


Slika 15: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dolžino listnih rež v mikrometrih (μm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

4.4.3 Širina listnih rež

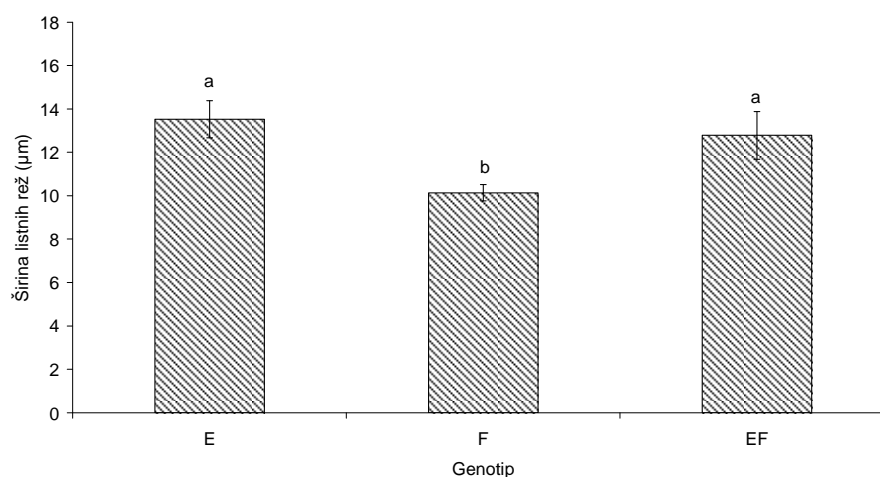
Najširše listne reže (Slika 16) pri križancu ABCD in njegovih starševskih genotipih je imela linija D (15,68 μm), sledi ji linija A in križanec C1D1, ki so statistično značilno enaki in se razlikujejo od vseh ostalih genotipov. Statistično značilno najožje listne reže je imela linija B (8,86 μm). Obstaja pa tudi statistično značilna razlika med križancem AB in starševskima linijama A in B. Razlika je tudi med križancem CD in njegovima starševskima linijama C in D. V obeh primerih so bile vrednosti križancev med vrednostma njihovih starševskih linij.

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh lokacijah, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani, pokaže, da pri liniji C ni razlik, medtem kot med linijama D in D1 in križancema CD in C1D1 obstajajo statistično značilne razlike.



Slika 16: Povprečne vrednosti in standardni odklon za širino listnih rež v mikrometrih (μm) pri križancu koroze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

Širina listnih rež (Slika 17) pri križancu EF in njegovih starševskih linijah je najnižja pri liniji F (10,14 μm) in se statistično značilno razlikuje od linije E in križanca EF.



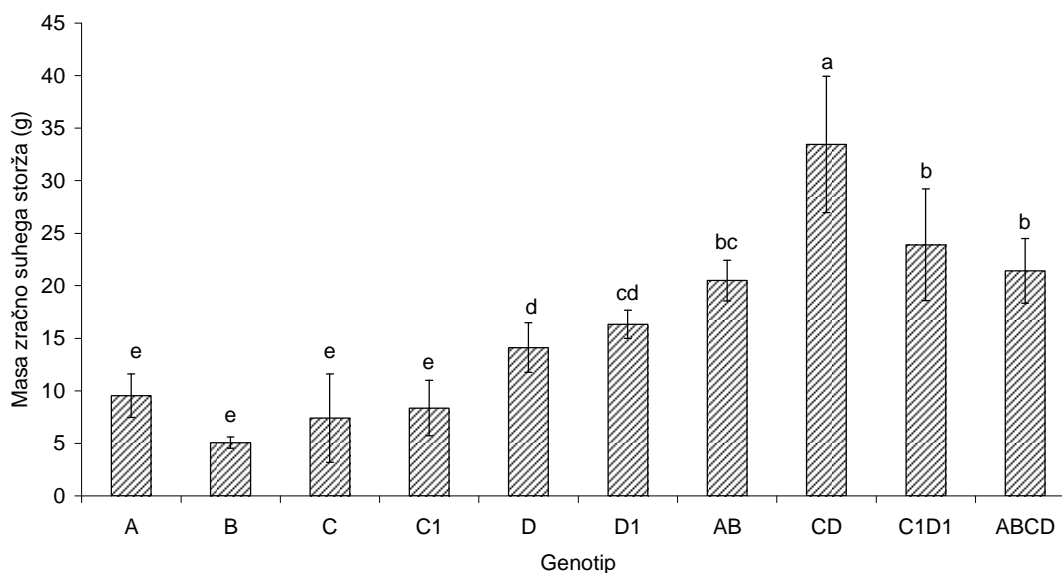
Slika 17: Povprečne vrednosti in standardni odklon za širino listnih rež v mikrometrih (μm) pri križancu koroze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

4.5 MASA ZRAČNO SUHEGA STORŽA

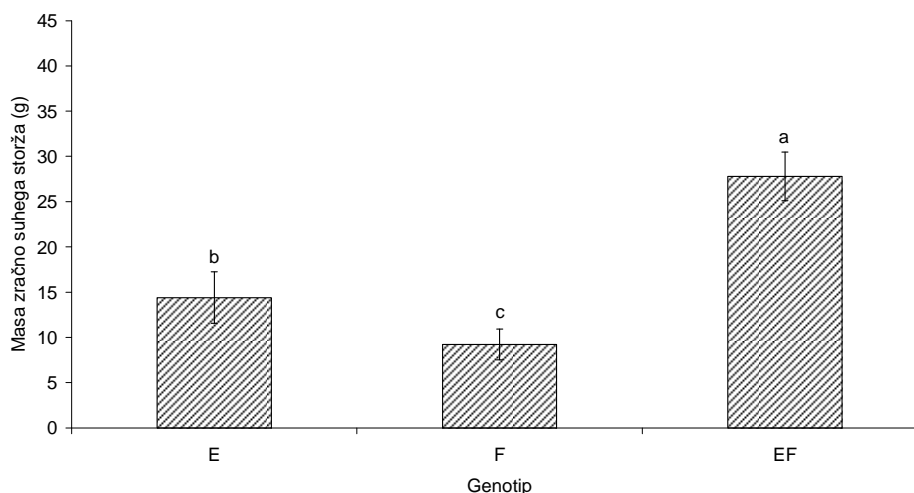
Največjo maso zračno suhega storža pri križancu ABCD in njegovih starševskih genotipih je imel križanec CD (33,46 g), ki močno izstopa in se tudi statistično značilno razlikuje od vseh ostalih genotipov (Slika 18). Najnižjo vrednost je imela linija B (5,06 g). Križanci AB, CD in C1D1 se po višjih vrednostih statistično značilno razlikujejo od starševskih linij.

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh lokacijah, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani, pokaže, da se edina statistično značilna razlika pojavi med križancema CD in C1D1, medtem ko pri linijah ni statistično značilnih razlik.

Pri križancu EF in njegovih starševskih linijah (Slika 19) je najvišjo vrednost dosegel križanec EF (27,78 g), ki se statistično značilno razlikuje od starševskih linij E in F. Statistično značilna razlika obstaja tudi med linijama E in F, najnižjo vrednost (9,22 g) je imela linija F.



Slika 18: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega storža (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.



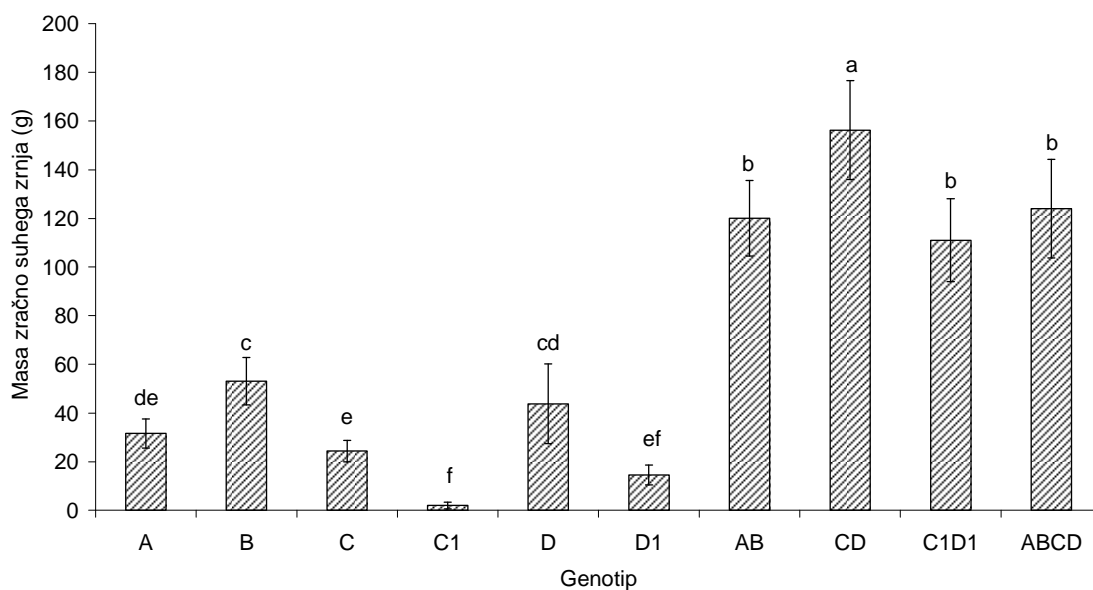
Slika 19: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega storža (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

4.6 MASA ZRAČNO SUHEGA ZRNJA

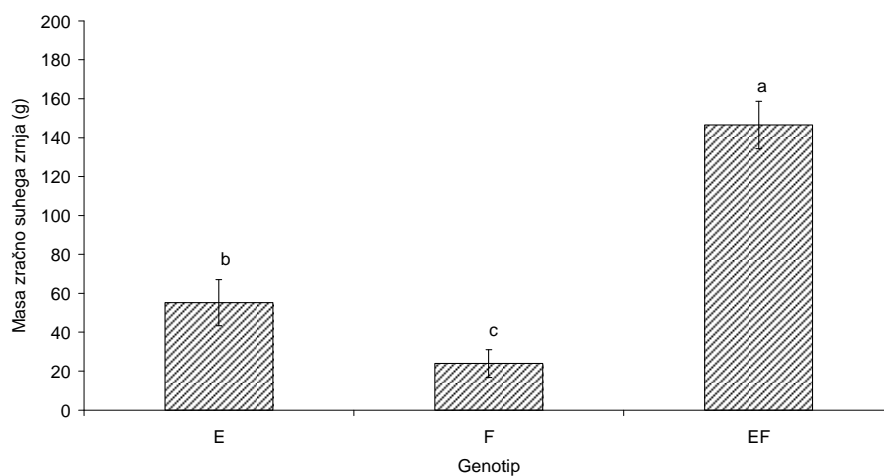
Masa zračno suhega zrnja (Slika 20) pri križancu ABCD in njegovih starševskih linijah je bila višja pri križancih, ki se statistično značilno razlikujejo od svojih starševskih linij. Najvišjo maso zračno suhega zrnja je imel križanec CD (156,28 g), najnižjo pa linija C1 (1,96 g). Masa pri liniji C1 odstopa zaradi slabe oploditve.

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh različnih lokacijah, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani, pokaže, da obstajajo tako statistično značilne razlike med linijami kot tudi med križancema. Genotipi, posejani v Ljubljani, so imeli statistično značilne nižje vrednosti od tistih posejanih v Jablah pri Trzinu.

Enako kot pri masi zračno suhega storža, so pri križancu EF tudi za maso zračno suhega zrnja statistično značilne razlike med vsemi genotipi (Slika 21). Križanec EF ima najtežjo maso zrnja, linija F pa najmanjšo.



Slika 20: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega zrnja v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

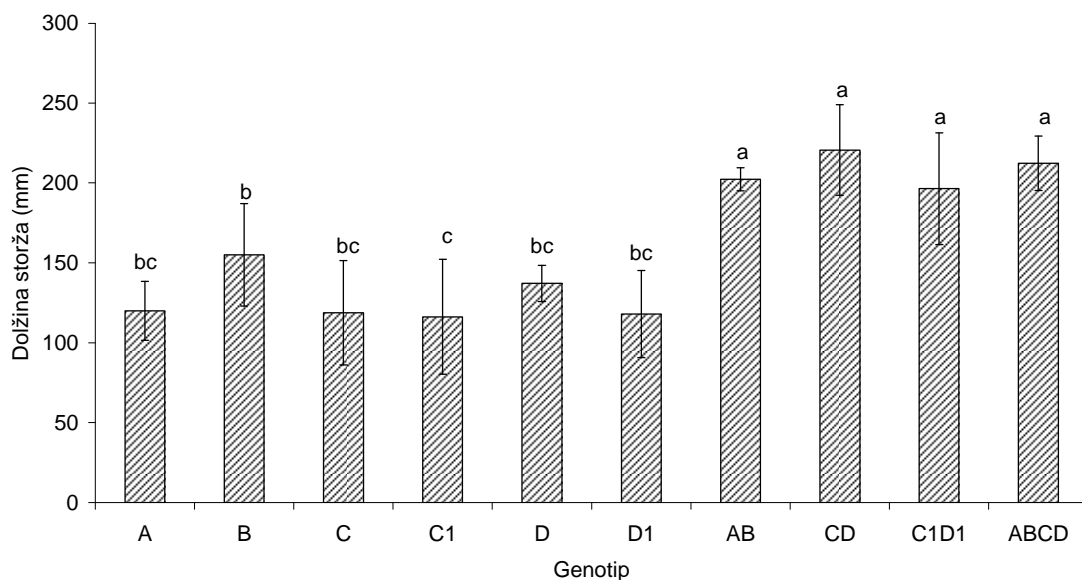


Slika 21: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega zrnja v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

4.7 DOLŽINA STORŽEV

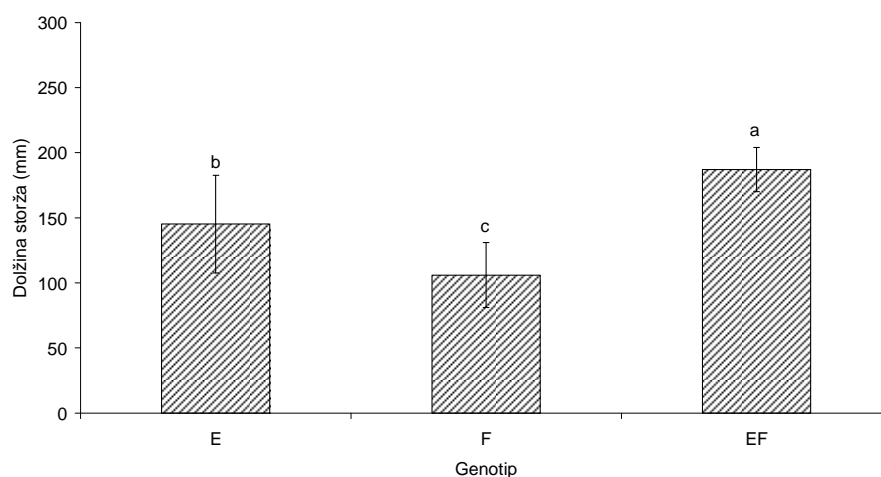
Pri križancu ABCD in njegovih starševskih genotipih je bila dolžina storžev najdaljša (197-220 mm) pri križancih AB, CD, C1D1 in ABCD, ki se statistično značilno razlikujejo od svojih starševskih linij (Slika 22).

Med različnimi lokacijami, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani, v dolžini storžev enakih križancev statistično značilnih razlik nismo ugotovili.



Slika 22: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dolžino storža v milimetrih (mm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

Pri dolžini storžev pri križancu EF in njegovimi starševskimi linijami je najdaljše storže imel križanec EF (187,20 mm), ki se statistično značilno razlikuje od obeh starševskih linij (Slika 23). Tudi starševski liniji E in F se med seboj statistično značilno razlikujeta.



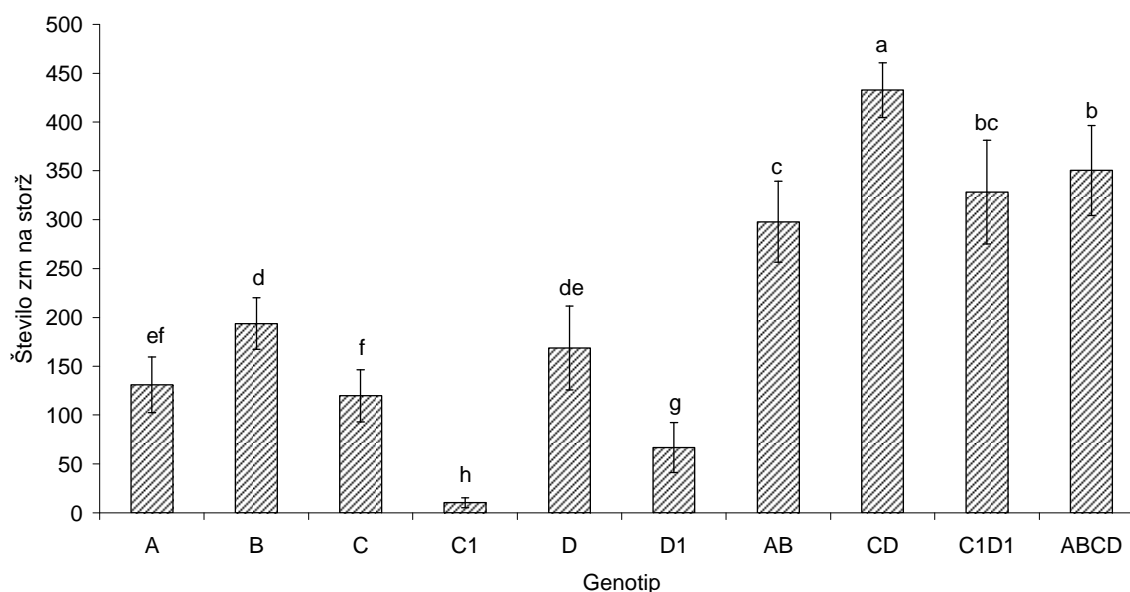
Slika 23: Povprečne vrednosti in standardni odklon za dolžino storža v milimetrih (mm) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

4.8 ŠTEVILO ZRN NA STORŽU

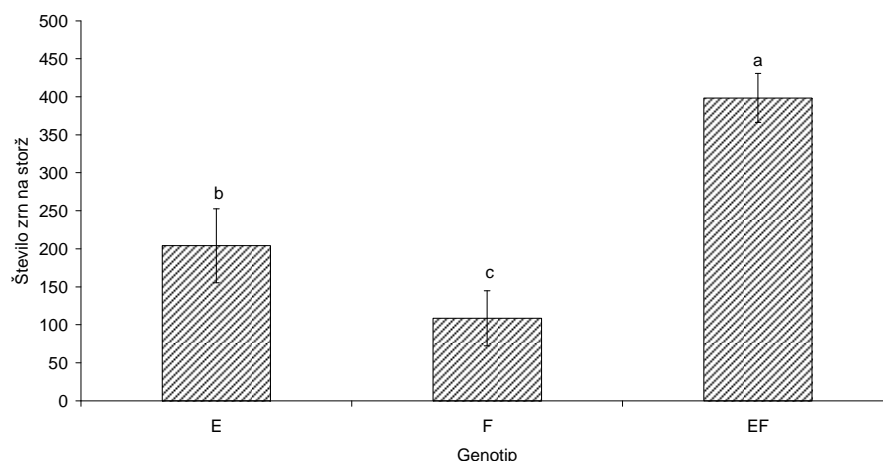
Statistično značilno največje število zrn na storž pri križancu ABCD in njegovih starševskih genotipih je bilo pri križancu CD (Slika 24). Najnižje število zrn na storž je bilo pri liniji C1 (10,2), ki se tudi statistično značilno razlikuje od vseh ostalih genotipov. Enojni križanci imajo statistično značilno večje število zrn kot njihove starševske linije. Prav tako so opazne statistično značilne razlike med posameznimi starševskimi linijami.

Primerjava enakih genotipov posejanih v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani pokaže, da obstajajo statistične značilne razlike tako med linijami C, C1, D, D1 in križancema CD in C1D1. Genotipi v Ljubljani imajo statistično značilno manjše število zrn na storž, kot tisti v Jablah.

Število zrn na storž pri križancu EF in njegovih starševskih linijah je bilo največje pri križancu EF (398,4), najmanjše pa pri liniji E, med vsemi pa so ugotovljene statistično značilne razlike (Slika 25).



Slika 24: Povprečne vrednosti in standardni odklon za število zrn na storž pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

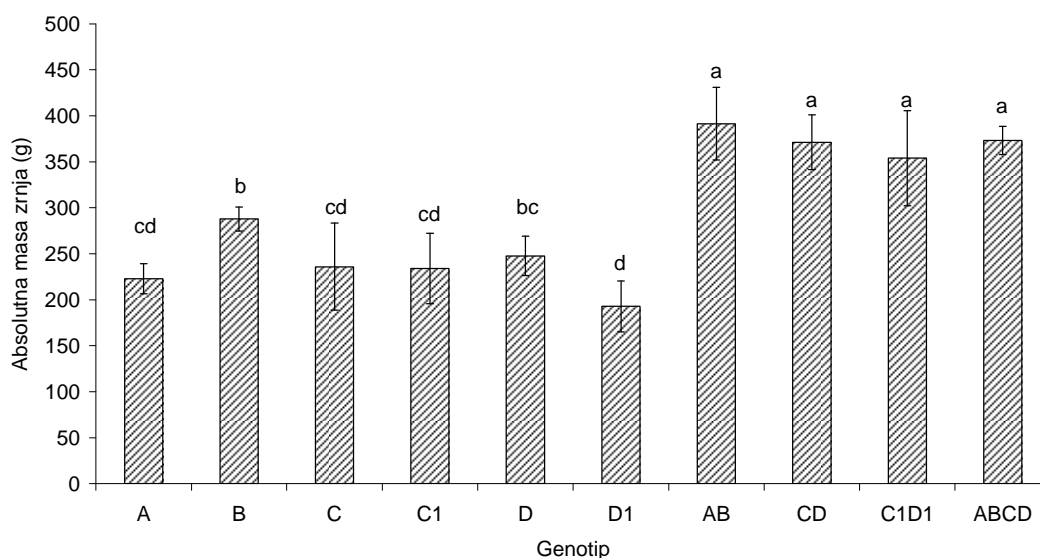


Slika 25: Povprečne vrednosti in standardni odklon za število zrn na storž pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

4.9 ABSOLUTNA MASA ZRNJA

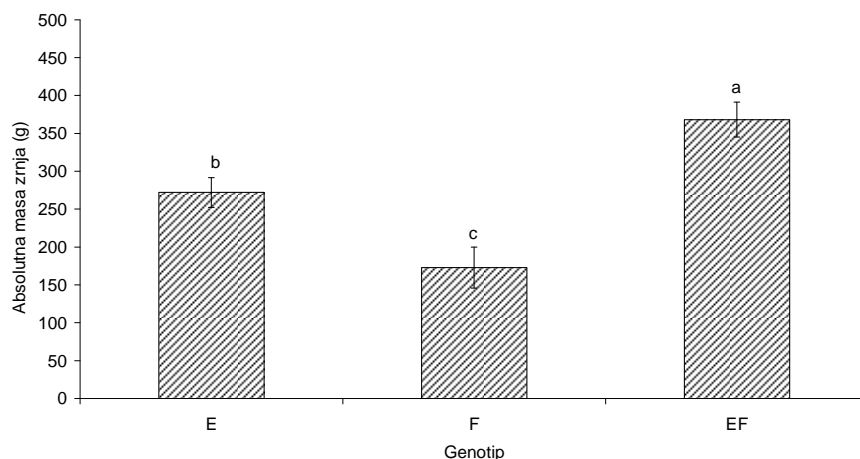
Največjo absolutno maso zrnja pri križancu ABCD in njegovih starševskih genotipih so dali križanci AB, CD, C1D1 in ABCD (354-390 g), ki se statistično značilno razlikujejo od starševskih linij (Slika 26). Med posameznimi križanci ni statistično značilnih razlik. Največjo absolutno maso zrnja je imel križanec AB, najnižjo absolutno maso zrnja pa linija D1 (192,9 g).

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh različnih lokacijah, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani pokaže, da so med lokacijama statistično značilne razlike samo pri liniji D in D1.



Slika 26: Povprečne vrednosti in standardni odklon za absolutno maso zrnja v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.

Absolutna masa zrnja pri križancu EF in njegovih starševskih linijah je bila najvišja pri križancu EF (368,3 g), najmanjša pa pri liniji F, med vsemi pa so statistično značilne razlike (Slika 27).



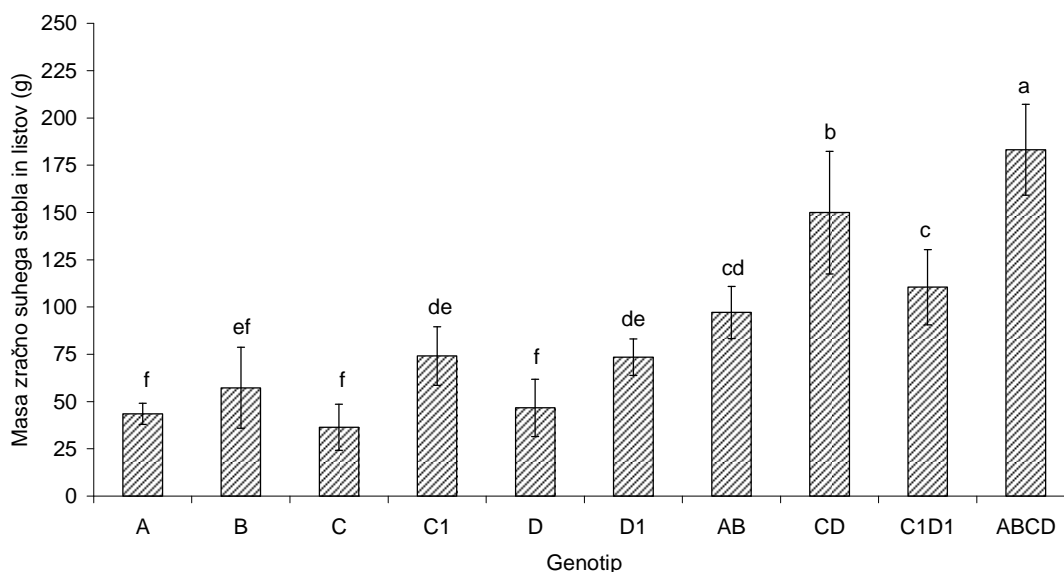
Slika 27: Povprečne vrednosti in standardni odklon za absolutno maso zrnja v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

4.10 MASA ZRAČNO SUHEGA STEBLA IN LISTOV

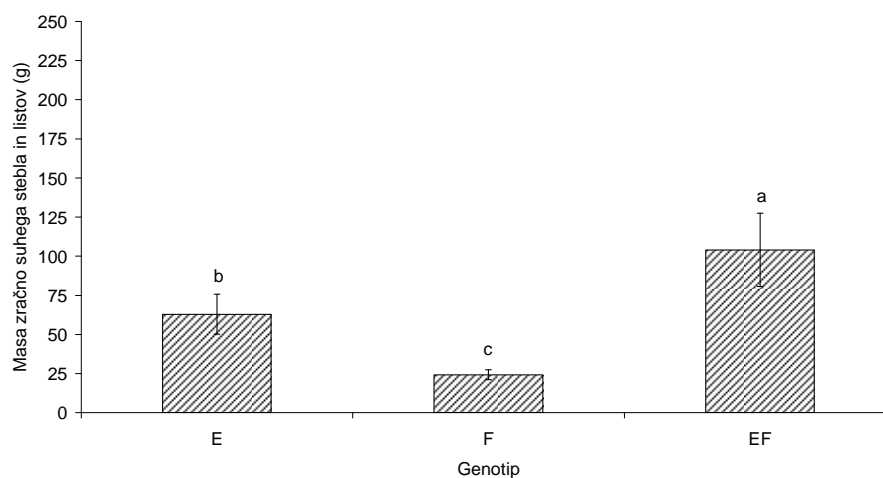
Največjo maso za to lastnost pri križancu ABCD in njegovih starševskih genotipih je imel križanec ABCD (183,20 g), ki se statistično značilno razlikuje od vseh ostalih genotipov (Slika 28). Vsi križanci AB, CD, C1D1 in ABCD se statistično značilno razlikujejo od svojih starševskih linij oz. križancev.

Primerjava enakih genotipov posejanih na dveh lokacijah, v Jablah pri Trzinu in v Ljubljani, pokaže, da se tako liniji C in C1, liniji D in D1, križanca CD in C1D1 glede na lokacijo med seboj statistično značilno razlikujejo.

Najvišjo maso zračno suhega stebela in listov (Slika 29) pri križancu EF in njegovimi starševskimi genotipi je imel križanec EF (104,04 g), ki se statistično značilno razlikuje od linije E in linije F. Tudi liniji se med seboj statistično značilno razlikujeta.



Slika 28: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega stebela in listov v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) ABCD in njegovih starševskih genotipih. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$). Številka 1 ob črki označuje, da so bile rastline s poskusnega polja v Ljubljani, vse ostale pa iz poskusa v Jablah.



Slika 29: Povprečne vrednosti in standardni odklon za maso zračno suhega stebela in listov v gramih (g) pri križancu koruze (*Zea mays* L.) EF in njegovih starševskih linijah. Enake črke označujejo, da ni statistično značilnih razlik ($p < 0,05$).

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V proučevanje smo vključili štiri linije A, B, C in D, ter dva dvolinijska križanca koruze AB in CD, ki so starševske komponente štirilinijskega križanca ABCD (Lj-275t, čista trdinka) ter liniji E in F, ki sta starševski komponenti dvolinijskega križanca EF (Lj-180, ranejša poltrdinka). Križanec CD in njegovi starševski genotipi so bili posejani tudi na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani (C1D1).

Meritve fotokemične učinkovitosti (potencialne – F_v/F_m in dejanske – $\Delta F/F_m'$) smo opravili v dveh terminih, kjer so bile vrednosti F_v/F_m in $\Delta F/F_m'$ ob drugih meritvah v Jablah pri Trzinu nižje od vrednosti ob prvih meritvah. Hopkins s sod. (2004) navaja, da nam merjenje fluorescence lahko pomaga pri zgodnjem odkrivanju ali so rastline izpostavljene stresnim dejavnikom. To lahko povežemo z našimi ugotovitvami, saj so se večje količine padavin in s tem nižje temperature pojavile šele konec julija, ki so se nadaljevale preko celega avgusta. Temperature so se znižale kar za 1,5 °C pod dolgoletno povprečje (Mesečni ..., 2006). Vrednosti druge meritve F_v/F_m v Ljubljani v primerjavi z vrednostmi v Jablah pri Trzinu so bile višje. Razlike v vrednostih fotokemične učinkovitosti med različnimi termini meritev bi lahko bile kot posledica tudi staranja listov, kar je ugotovil tudi Wolfe in sod. (1988).

V prvih meritvah smo izmerili, da so rastline imele vrednosti F_v/F_m od 0,680 do 0,719. Björkmann in Demming-Adams (1995) navajata, da je optimalna vrednost parametra za rastlino navadno med 0,8 in 0,83. Pri nas bi lahko sklepali, da se je že poznal sušni stres, ki je trajal skoraj do konca julija. Nižja fotokemična učinkovitost je povezana z zmanjšano učinkovitostjo PS II (Pieters in sod., 2005). Kljub temu, da so vrednosti $\Delta F/F_m'$ bile dokaj nizke, bi se po navedbah Miyashita in sod. (2005) lahko vrednosti popravile, ko bi rastline znova prešle v optimalne pogoje. Nižje vrednosti $\Delta F/F_m'$ so imeli genotipi posejani v Jablah pri Trzinu v primerjavi z rastlinami, ki so rasle na polju v Ljubljani. Slednje nakazuje na manjšo izpostavljenost stresnim dejavnikom rastlin v Ljubljani.

Najvišje vrednosti F_v/F_m (0,719 (ni signif.) in 0,768 ($p < 0,05$)) in $\Delta F/F_m'$ (0,399 in 0,274 ($p < 0,05$)) sta bili zabeleženi pri križancu ABCD, kar bi zaključili, da je bil najbolj fotokemično učinkovit.

Bai in sod. (2006) za koruzo navajajo, da 75 % \pm 5 % relativne vsebnosti vode pomeni, da rastlina raste v optimalnem okolju, pri zmernem vodnem stresu vrednost znaša 55 % \pm 5 % in pri močnem vodnem stresu 35 % \pm 5 %. Naše rastline koruze so se le malo razlikovale med seboj, saj je njihova vrednost bila med 77,2 in 82,2 %, medtem ko je pri liniji A in liniji C bila med 68,2 in 69 %. Kljub temu, da razredov RWC, ki jih navajajo Bai in sod. (2006) ne moremo splošno uporabljati za vse razmere, lahko zaključimo, da pri prvih meritvah rastline niso doživljale vodnega stresa.

Pri številu in dolžini listnih rež so bili križanci podobni svojim starševskim linijam. Odstopanja v gostoti rež so bila premajhna, da bi bila statistično značilna. Kljub drugačnim rastnim razmeram v Ljubljani in v Jablah pri Trzinu, ni bilo razlike v številu listnih rež. Iz tega lahko sklepamo, da se število listnih rež glede na rastne razmere v naši raziskavi ni toliko spremenilo, ampak je bolj genetsko pogojeno. Pri številu listnih rež ni bilo velike razlike med križanci in starševskimi linijami.

Statistično značilne razlike so bile ugotovljene med rastlinskimi vrstami v odzivu velikosti listnih rež na spreminjanje okolja (Raschke, 1975). Obstajajo razlike med genotipi posejanimi v Ljubljani in v Jablah pri Trzinu, saj so genotipi posejani v Ljubljani imeli nižje vrednosti. Statistično značilna razlika se je pojavila le pri genotipu linije D, ki je imel v Jablah pri Trzinu daljše listne reže ($53,22 \pm 2,97 \mu\text{m}$) kot v Ljubljani ($47,33 \pm 1,33 \mu\text{m}$). Pri širini listnih rež so se križanci AB, CD in C1D1 ($9,93\text{-}14,89 \mu\text{m}$) razlikovali od svojih starševskih linij ($8,86\text{-}15,68 \mu\text{m}$).

Medved (1981) navaja, da imajo inbridirane linije večjo gostoto listnih rež kot njihovi dvolinijski križanci. To se je potrdilo tudi v naši raziskavi, saj je imela linija E statistično značilno večjo gostoto listnih rež od križanca EF. Pri ostalih genotipih se vrednosti starševskih linij in njihovih križancev sicer razlikujejo, a ne dovolj, da bi bile statistično značilne.

Največji pridelek so pričakovano imeli križanci. Od starševskih linij so se tako razlikovali pri absolutni masi zrnja, številu zrn na storž, maso storža in dolžini storžev. Pri liniji C1 in liniji D1 zaznamo manjši pridelek, kar pa je posledica slabe oplodnje. Križanec EF se od starševskih linij E in F razlikuje tako v večji absolutni masi zrnja, večjem številu zrn na storž, večji dolžini storža kot tudi na masi zračno sušenih storžev, zrnja in stebela, kar kaže na pojav heteroze.

Pri masi zračno sušenih ostalih rastlinskih delov t.j. stebela in listov, je močno izstopal križanec CD, ki je dosegal visoke vrednosti pri storžu in zrnju. Tudi ostali križanci so imeli večje vrednosti, razlikovali pa so se od svojih starševskih linij. Največjo maso zračno suhega stebela je imel križanec ABCD, ki je tudi dosegal visoke vrednosti dejanske in potencialne fotokemične učinkovitosti.

Pri linijah C1 in D1 posejanih v Ljubljani smo v primerjavi z enaki genotipi posejanimi v Jablah pri Trzinu zasledili močno zmanjšan pridelek zrnja zaradi slabe oplodnje. Na to sta vplivala predvsem suša in visoke temperature v času cvetenja. Nista pa tako močno vplivala na dolžino storža. Rozman (2005) navaja, da sta za uspešno oplodnjo koruze potrebna čim daljši čas cvetenja ter ustrezna usklajenost med cvetenjem moškega socvetja in svile na ženskem socvetju. V sušnih razmerah to ni zagotovljeno, saj suša pospešuje predčasno metličenje in podaljšuje obdobje med metličenjem in svilanjem. Ob normalni temperaturi in vlagi se namreč postopoma in skoraj hkrati razvijata tako metlica kot storž, kar zagotavlja optimalno oplodnjo.

Za sigurnejše rezultate o odzivu listnih rež določenega kultivarja na vodni stres, bi bilo potrebno v nadaljnjih raziskavah še dodatno spremljati vodni potencial rastlin, ter dnevno spremljati še druge abiotske dejavnike.

SKLEPI

Glede na kompleksnost raziskave lahko sklepe razdelimo v tri sklope:

1. Fotokemična učinkovitost:

- genotipi so se med seboj bolj razlikovali v dejanski kot v potencialni fotokemični učinkovitosti;
- večji vpliv na fotokemično učinkovitost so imele različne lokacije kot pa različni genotipi;
- pri linijah smo ugotovili večje razlike med lokacijami in med roki meritev kot pri križancih;
- med vsemi genotipi je imel največjo fotokemično učinkovitost štirilinijski križanec ABCD.

2. Listne reže:

- v gostoti, dolžini in širini listnih rež so statistično značilne razlike med linijami in med križanci;
- v številu listnih rež ni razlik med križanci in njihovimi starševskimi linijami, vrednosti križancev so med vrednostmi njihovih starševskih linij;
- dvolinijski križanci imajo podobno dolge in široke listne reže kot starševska linija z daljšimi oz. širšimi listnimi režami;
- štirilinijski križanec ima dolžino in širino listnih rež med obema starševskima križancema, ki se statistično razlikuje od obeh staršev samo pri dolžini listnih rež, medtem ko je pri širini enak staršu z ožjimi listnimi režami;
- med lokacijami so v širini listnih rež razlike pri liniji D in križancu CD, v dolžini listnih rež pa samo pri liniji D.

3. Parametri pridelka:

- za maso storža, maso zrnja, dolžino storža, absolutno maso zrnja, število zrn/storž ter maso stebela in listov so vrednosti starševskih linij za oba križanca statistično značilno nižje od vrednosti njihovih križancev;
- za prej omenjene lastnosti so statistično značilne razlike tudi med linijami, med križanci in med lokacijami;
- med lokacijami so za maso zrnja, število zrn/storž in maso suhega stebela in listov statistično značilne razlike pri linijah C in D in njihovem križancu, medtem ko za absolutno maso in dolžino storža med lokacijama ni razlik;
- za parametre pridelka med lokacijami je do statistično značilnih razlik prišlo zaradi različne strukture tal, ki je prišla, zaradi izredno sušnih razmer v juliju, še bolj do izraza.

Učinek heteroze v F1 generaciji se je izrazil za parametre pridelka, pri križancu C1D1 pa še za dolžino in širino listnih rež. Predvsem pri parametrih pridelka se je pokazala pri linijah večja variabilnost med genotipi in med lokacijami kot pri križancih, kar je z vidika genske strukture proučevanih genotipov razumljivo.

6 POVZETEK

Koruza je kmetijska rastlina, ki v sedanjem svetu spada med sam vrh pridelave kmetijskih rastlin. Ker je vedno večja potreba po večjih količinah hrane, pri kateri igrajo pomembno vlogo novi kultivarji kmetijskih rastlin, žlahtnitelji delujejo v smeri višjih pridelkov in boljše kakovosti. Za uspešno žlahtnjenje v smeri zelenih ciljev pa je potrebno imeti na voljo dovolj raznolik genski material, ki se hrani v genskih bankah po celem svetu.

Glede na globalne spreminjajoče se okoljske spremembe, se kaže potreba tudi po takih kultivarjih kmetijskih rastlin, ki bodo tudi v spremenjenih ravnih razmerah sposobni dati zadovoljive pridelke. Pomembno vlogo, še posebej pri spremenljivih vodnih razmerah, imajo listne reže.

V proučevanje smo vključili 6 samooplodnih linij koruze, tri dvolinijske križance in en štirilinijski križanec iz genske banke Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani. Samooplodne linije so starševske linije proučevanih križancev. Poljski poskus je bil izveden v letu 2006 na dveh lokacijah in sicer na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Jablah pri Trzinu in na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Ljubljani.

Na vseh genotipih smo merili fotokemično učinkovitost; gostoto, dolžino in širino listnih rež; maso storža, maso in število zrnja na storžu, absolutno maso zrnja ter maso stebela in listov.

Pri meritvah potencialne in dejanske fotokemične učinkovitosti smo ugotovili, da so med genotipi pri dejanski fotokemični učinkovitosti bile večje razlike kot pri potencialni. Manjše razlike med lokacijami in roki meritev so bile pri križancih. Pokazalo se je, da so lokacije imele večji vpliv na fotokemično učinkovitost, kot pa različni genotipi. Najbolj fotokemično učinkovit med vsemi genotipi je bil križanec ABCD.

Med linijami in med križanci smo ugotovili statistično značilne razlike v gostoti, dolžini in širini listnih rež. Pri gostoti listnih rež so vrednosti križancev med vrednostmi njihovih starševskih linij, medtem ko ima križanec ABCD dolžino in širino listnih rež med obema starševskima križancema. Za dolžino in širino listnih rež se je pri križancu C1D1 izrazil učinek heteroze v F1 generaciji.

Pri merjenju parametrov pridelka smo ugotovili, da so vrednosti starševskih linij za oba križanca za maso storža, maso zrnja, dolžino storža, absolutno maso zrnja, število zrn na storž ter masa stebela in listov statistično značilno nižje od vrednosti njihovih križancev, kar potrjuje učinek heteroze v F1 generaciji. Pri linijah C in D ter njihovem križancu, posejanih na dveh različnih lokacijah, pri absolutni masi zrnja in dolžini storža med lokacijami ni bilo statistično značilnih razlik. Predvsem pri parametrih pridelka se je pokazala pri linijah večja variabilnost med genotipi in med lokacijami kot pri križancih, kar je z vidika genske strukture proučevanih genotipov razumljivo.

7 VIRI

- Bai L., Sui F., Ge T., Sun Z., Lu Y., Zhou G. 2006. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. *Pedosphere*, 16, 3: 326-332
- Beck S.L., Visser G., Dunlop R.W. 2005. A comparison of direct (flow cytometry) and indirect (stomatal guard cell lengths and chloroplast numbers) techniques as a measure of ploidy level in black wattle, *Acaria mearnsii* (de Wild). *South African Journal of Botany*, 71: 354-358
- Björkman O., Demming-Adams B. 1995: Regulation of photosynthesis light energy capture, conversion, and dissipation in leaves of higher plants. V: *Ecophysiology of Photosynthesis*. Schultze E.D., Caldwell M.M. (eds.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag: 17-47
- Borojević S. 1992. Principi i metodi oplemenjivanja bilja. 2. dopunjeno izdanje. Beograd, Naučna knjiga: 385 str.
- Čergan Z., Zemljič A., Povše V., Verbič J., Dolničar P., Kern M., Ugrinović K., Škof M. 2007. Preskušanje sort poljščin in vrtnin v Sloveniji v letu 2006. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 153 str.
- Čergan Z., Jejčič V., Knapič M., Modic Š., Moljk B., Poje T., Simončič A., Sušin J., Urek G., Verbič J., Vrščaj B., Žerjav M. 2008. Koruza. Ljubljana, ČZD Kmečki glas: 314 str.
- Dermastia M. 2010. Zgodba o teozintu – majhen korak za koruzo, a pomemben za ljudi. *Proteus*, 72, 9: 441-446
- Driscoll S.P., Prins A., Olmos E., Kunert K.J., Foyer C. H. 2006. Specification of adaxial and abaxial stomata, epidermal structure and photosynthesis to CO₂ enrichment in maize leaves. *Journal of Experimental Botany*, 57, 2: 381-390
- Elizabeth A., Alistair R., 2007. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising CO₂: mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell & Environment*, 30: 258-270
- Farquhar G.D., Buckley T.N., Miller J.M. 2002. Optimal stomatal control in relation to leaf area and nitrogen content. *Silva Fennica*, 36, 3: 625-637
- Fracheboud Y. 2010. Using Chlorophyll Fluorescence to Study Photosynthesis. <http://www.ab.ipw.agrl.ethz.ch/~yfracheb/flex.htm> (25.8.2010)
- Germ M., Urbančič Berčič O., Kocjan Ačko D. 2005. The response of sunflower to acute disturbance in water availability. *Acta agriculturae Slovenica*, 85, 1: 135-141
- Giles K.L., Cohen D., Beardsell M.F. 1976. Effects of water stress on the ultra structure of leaf cells of *Sorghum bicolor*. *Plant Physiology*, 57: 11-14
- Hardy J.P., Anderson V.J., Gardner J.S. 1995. Stomatal characteristics, conductance ratios, and drought-induced leaf modifications of semiarid grassland species. *American Journal of Botany*, 82: 1-7
- Hirasawa T., Hsiao T.C. 1999. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*, 62: 53-62
- Hyeon-Hye K., Gregory D.G., Raymond M.W., John C.S. 2004. Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities. *Annals of Botany*, 94: 691-967

- Hopkins W.G., Hüner N.P.A. 2004. Introduction to plant physiology. 3rd edition. Hoboken, John Wiley corp.: 560 str.
- Khazaei H., Monneveux P., Hongbo S., Mohammady S. 2010. Variation for stomatal characteristics and water use efficiency among diploid, tetraploid and hexaploid Iranian wheat landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 2: 307-314
- Kocjan-Ačko D., Rozman L. 1999. Izvor koruze in njen gospodarski pomen. *Kmečki glas*, 56, 13: 2
- Maghsoudi K., Maghsoudi moud A. 2008. Analysis of the Effects of Stomatal Frequency and Size of Transpiration and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science*, 3, 6: 865-872
- Medved M. 1981. Razvrstitev genotipov koruze (*Zea mays* L.) z različno kombinacijsko sposobnostjo po gostoti listnih rež. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 60 str.
- Mesečni bilten letnik XIII. 2006. Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knjiznica/mesečni%20bilten/bilten2006.htm>
(12.7.2010)
- Mikuž F. 1961. Koruza v Sloveniji in njeni hibridi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani Fakulteta za agronomijo, biologijo, gozdarstvo in veterinarstvo: 97 str.
- Miyashita K., Tanakamaru S., Maitani T., Kimura K. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 53, 2: 205-214
- Modic T., Rozman L. 2002. Proučevanje odpornosti domačih linij koruze (*Zea mays* L.) na koruzno progavost (*Exserohilum turcicum* Pass./ K.J.Leonard et E.G. Suggs). Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. *Kmetijstvo (Agronomija)*, 79: 143-158
- Mohammady S., Khazaei H., Reisi F. 2010. The study of stomatal characteristics in Iranian wheat wild accessions and land races.
<http://www.shigen.nic.ac.jp/ewis/article/html/15/article.html> (1.9.2010)
- Pieters A.J., Souki El S. 2005. Effects of drought during grain filling on PS II activity in rice. *Journal of Plant Physiology* 62: 903-911
- Premachandra G.S., Hahn D.T., Axtell J.D., Joly R.J. 1994. Epicuticular wax load and water use efficiency in bloomless and sparse bloom mutants of *Sorghum bicolor* L. *Environmental and Experimental Botany*, 34: 293-301
- Raschke K. 1975. Stomatal action. *Annual Review of Plant Physiology*, 26: 309-340
- Ratnayaka H.H., Molin W.T., Sterling T. M. 2003. Physiological and antioxidant responses of cotton and spurred anoda under interference and mild drought. *Journal of Experimental Botany*, 54, 391: 2293-2305
- Rozman L. 1997. Pomen koruze v razvoju človeštva. *Sodobno kmetijstvo*, 30, 4: 155-158
- Rozman L. 1998. Genska banka koruze. *Sodobno kmetijstvo*, 31: 71-73
- Rozman L. 2005. Vpliv vremenskih razmer na pridelek in zrelost koruze. *Kmečki glas*, 39: 8
- Rozman L. 2007. Rezultati večletnega proučevanja genskega materiala koruze na odpornost proti glivičnim boleznim ter možnosti njegove uporabe v žlahtnjenju rastlin. V: Zbornik predavanj in referatov 8. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin. Radenci, 6.-7. marec 2007. Maček J. (ur.). Ljubljana, Društvo za varstvo rastlin Slovenije: 285-290

- Rozman L., Gomboc S. 2002. A review of potential hazards of deliberately released Bt maize into the environment. Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Kmetijstvo (Agronomija), 79: 127-141
- Rozman L., Kragl M. 2003. Proučevanje odpornosti domačih linij koruze (*Zea mays* L.) na koruzno progavost (*Exserohilum turcicum*/ Pass./ K.J.Leonard et E.G. Suggs). Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Kmetijstvo (Agronomija), 81: 25-38
- Rozman L., Kavar T., Meglič V. 2007. Ocena dveh različnih skupin slovenskih populacij koruze s pomočjo morfoloških lastnosti in Hbr (MITE) markerjev. Acta agriculturae Slovenica 89, 1: 233-243
- Öquist G., Anderson J.M., McCaffery S., Chow W.S. 1992. Mechanistic differences in photo inhibition of sun and shade plants. Planta, 188: 422-431
- Shimshi D., Ephrat J. 1975. Stomatal behavior of wheat cultivars in relation to their transpiration photosynthesis and yield. Agronomy Journal, 67: 326-331
- Shreiber U., Bilger W., Neubauer C. 1995. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. V: Ecophysiology of Photosynthesis. Schultze E.D., Caldwell M.M. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag: 49-70
- Stepančič D., Lobnik F., Prus T. 1979. Pedološke preiskave Jable. Ljubljana, Biotehniška fakulteta v Ljubljani, VTOZD za agronomijo: 16 str.
- Stepančič D., Lobnik F., Prus T. 1982. Pedološke preiskave melioracijskega objekta Laboratorijsko polje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta v Ljubljani, VTOZD za agronomijo: 18 str.
- Taiz L., Zeiger E. 2002. Plant physiology, Third Edition. Sunderland, Sinauer Associates Inc. Publishers: 690 str.
- Tajnsšek T., Milevoj L., Čergan Z., Osvald J. 1991. Koruza. Ljubljana, Kmečki glas: 180 str.
- Vodnik D. 2004. Meritve fotosinteze sadnih rastlin. V: Zbornik referatov 1. slovenskega sadjarskega kongresa z mednarodno udeležbo, Krško 24-26. mar. 2004. Ljubljana, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani: 119-123
- Wang H., Clarke J.M. 1993. Genotypic, intra plant and environmental varying in stomatal frequency and size in wheat. Canadian Journal of Plant Science, 73: 671-678
- Wolfe D.W., Henderson D.W., Hsiao T.C., Alvino A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. Agronomy Journal, 80: 865-870
- Zhang Z.B., Shao H.B., Xu P., Chu L., Lu Z., Tian J. 2007. On evolution and perspectives of biowater saving. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 5: 1-9

ZAHVALA

Najprej bi se zahvalil svojemu mentorju doc. dr. Ludviku Rozman za vse strokovne nasvete in vsestransko pomoč pri nastajanju diplomskega dela. Pa tudi za vso pomoč in nasvete, ki sem jih dobil med študijem. Hvala za vso potrpežljivost, ki ste jo imeli z menoj in dragocen čas, ki ste si ga vzeli.

Istočasno bi se zahvalil tudi somentorici doc. dr. Mateji Germ za nasvete in pomoč pri nastajanju dela.

Iskrena zahvala je namenjena akad. prof. dr. Ivanu Kreft za vse nasvete pri izdelavi diplomskega dela in za vso pomoč tekom študija.

Posebna zahvala gre družini, ki mi je stala ob strani in mi omogočila študij.

Hvala mladi raziskovalki Maji V. za pomoč pri nastajanju diplomskega dela in vse nasvete.

Zahvaljujem se tudi vsem ostalim sošolcem, prijateljem in znancem, ki so mi tekom študija stali ob strani in mi kakorkoli pomagali.