

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Anja VANCO

**PRIDELEK, VARIABILNOST IN HETEROTIČNI
UČINEK V F1 GENERACIJI LJ- KRIŽANCEV
KORUZE (*Zea mays* L.) Z RAZLIČNO GENSKO
STRUKTURO**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Anja VANCO

**PRIDELEK, VARIABILNOST IN HETEROTIČNI UČINEK V F1
GENERACIJI LJ- KRIŽANCEV KORUZE (*Zea mays* L.) Z
RAZLIČNO GENSKO STRUKTURO**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij – 1. stopnja

**YIELD, VARIATION AND HETEROTIC EFFECT OF SEVERAL
GENETICALLY DIFFERENT 'LJ' MAIZE (*Zea mays* L.) F1 HYBRIDS**

B. SC. THESIS
Professional Study Programmes

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija agronomije in hortikulture. Opravljeno je bilo na Katedri za genetiko, biotehnologijo, statistiko in žlahtnjenje rastlin Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Poskus je bil izveden na poskusnem polju v Jabljah pri Trzinu.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala izr. prof. dr. Ludvika ROZMANA.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Gregor OSTERC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: izr. prof. dr. Ludvik ROZMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: izr. prof. dr. Zlata LUTHAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Podpisana izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Anja VANCO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dv1
DK UDK 633.15:631.527.5(043.2)
KG koroza/križanci/heterotični učinek/pridelek/variabilnost/inbriding depresija/
AV VANCO, Anja
SA ROZMAN, Ludvik (mentor)
KZ SI-1111 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI 2016
IN PRIDELEK, VARIABILNOST IN HETEROTIČNI UČINEK V F1 GENERACIJI LJ- KRIŽANCEV KORUZE (*Zea mays* L.) Z RAZLIČNO GENSKO STRUKTURO
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij – 1. stopnja)
OP VIII, 23 str., 3 pregl., 13 sl., 31 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Namen naloge je bil proučiti pridelek, variabilnost in heterotični učinek v F1 generaciji Lj- križancev koroze z različno gensko strukturo. V proučevanje so bili vključeni 4 dvolinijski, 4 trilinijski in 2 šestlinijska križanca ter 8 njihovih starševskih samooplodnih linij. Poljski poskus je bil izveden na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Jablah pri Trzinu po metodiki naključnega bloka v treh ponovitvah. Poskus in spravilo poskusa smo izvedli ročno in je bil optimalno oskrbovan. Med rastno dobo smo na rastlinah opravili potrebne meritve in bonitiranja na rastlinah, po spravilu pa v laboratoriju še meritve in bonitiranja storžev in zrnja. Izračunali smo variacijsko širino, KV% in srednje vrednosti. Ugotovili smo, da je višina vrhnjega storža pri križancih manj izenačena kot višina rastlin. V obeh lastnostih ni bilo razlik v izenačenosti med dvo-, tri- in šestlinijskimi križanci; medtem ko so v dolžini in premeru storža dvolinijski križanci bolj izenačeni od ostalih križancev. Za vse proučevane lastnosti se je heterotični učinek najbolj izkazal pri dvolinijskih križancih, kjer so bile vrednosti križanca F1 generacije višje od vrednosti najboljšega starša. Pri trilinijskih križancih se je heterotični učinek glede na boljšega starša izkazal samo za dolžino storža pri križancu DEF in težo zrnja na storž pri križancu ABC, pri ostalih trilinijskih križancih in za ostale lastnosti so bile vrednosti enake ali nižje od boljšega starša. Pri šestlinijskih križancih heterotičnega učinka glede na boljšega starša ni bilo, najboljšemu staršu se je še najbolj približal križanec ABCDEF za pridelek zrnja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dv1
DC UDC 633.15:631.527.5(043.2)
CX maize/hybrids/heterosis effect/yield/variability/inbreeding depression
AU VANCO, Anja
AA ROZMAN, Ludvik (supervisor)
PP SI-1111 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2016
TI YIELD, VARIATION AND HETEROTIC EFFECT OF SEVERAL
GENETICALLY DIFFERENT 'LJ' MAIZE (*Zea mays* L.) F1 HYBRIDS
DT B. SC. Thesis (professional study programmes)
NO VIII, 23 p., 3 tab., 13 fig., 31 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The purpose of the study associated with this thesis was to evaluate yield, phenotypic variation and heterotic effect of several genetically different 'Lj' maize F1 hybrids: 4 single crosses (SC), 4 three-way crosses (TC), 2 six-lines hybrids and 8 parental inbreds. The field experiment was conducted at the experimental estate of the Biotechnical Faculty at Jablje near Trzin, following the randomised complete block design in three replications. The planting of the experiment as well as harvest was carried out manually. The experiment was maintained in optimal conditions. During growth season, several plant traits were measured and evaluated in the field but ear and grain traits were analysed in the lab. The study showed that height of the uppermost ear (the distance between soil surface and the base of the uppermost ear) was less uniform than height of plants. In both traits, there were no significant differences in uniformity between two-, three- and six-lines hybrids; while ear lengths and ear diameters of SC hybrids were more uniform than those of other hybrids. For all traits, the highest heterotic effect was determined in SC, where values of the F1-s were higher than those of better parents. In TC hybrids, the heterotic effect (compared to better parents) was determined only for ear length in the hybrid DEF, and grain weight per ear in the hybrid ABC, in other TC, as well as for other properties, the values of hybrid progenies were equal or lower than those of better parents. In six-lines hybrids, no heterotic effects, in relation to better parents, were determined, although the closest value to better parent was determined in the hybrid combination ABCDEF, for grain yield.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
1 UVOD	1
1.1 NAMEN DIPLOMSKE NALOGE.....	1
1.2 DELOVNA HIPOTEZA.....	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ŽLAHTNJENJE KORUZE V SLOVENIJI.....	3
2.2 HETEROTIČNI UČINEK.....	4
2.3 INBREEDING DEPRESIJA.....	5
2.4 VZGOJA SAMOOPLODNE LINIJE.....	5
2.5 KOMBINACIJSKE SPOSOBNOSTI SAMOOPLODNIH LINIJ.....	6
2.6 PRIDOBIVANJE HIBRIDNEGA SEMENA.....	6
2.7 VRSTE HIBRIDOV.....	7
3 MATERIAL IN METODE	8
3.1 MATERIAL.....	8
3.2 METODE DELA.....	8
4 REZULTATI	9
4.1 METEOROLOŠKI PODATKI.....	9
4.2 ČAS CVETENJA NOVIH KRIŽANCEV.....	9
4.3 POVPREČNE VREDNOSTI IN VARIABILNOST.....	10
4.3.1 Višina do vrhnjega storža in višina rastline do vrha metlice	10
4.3.2 Dolžina in premer storža	11
4.4 HETEROTIČNI UČINEK ZA PREMER STORŽA.....	11
4.5 HETEROTIČNI UČINEK ZA DOLŽINO STORŽA.....	13
4.6 HETEROTIČNI UČINEK ZA ŠTEVILO VRST ZRNJA NA STORŽU.....	15
4.7 HETEROTIČNI UČINEK ZA TEŽO ZRNJA NA STORŽ IN ZA PRIDELEK.....	16
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	19
5.1 RAZPRAVA.....	19

5.2	SKLEPI	20
6	POVZETEK	21
7	VIRI.....	22

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Število dni od vznika do cvetenja novih Lj- križancev koruze.	10
Preglednica 2: Povprečne vrednosti in variabilnost križancev za višino do vrhnjega storža in višino do vrha metlice	10
Preglednica 3: Povprečne vrednosti in variabilnost križancev za dolžino in premer storža	11

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Padavine in srednja dnevna temperatura po dekadah leta 2015 za Brnik (ARSO,2015).....	9
Slika 2: Heterotični učinek za premer storža dvolinijskih križancev	12
Slika 3: Heterotični učinek za premer storža trilinijskih križancev.....	12
Slika 4: Heterotični učinek za premer storža šestlinijskih križancev	13
Slika 5 Heterotični učinek za dolžino storža dvolinijskih križancev.....	13
Slika 6: Heterotični učinek za dolžina storža trilinijskih križancev	14
Slika 7: Heterotični učinek za dolžina storža šestlinijskih križancev.....	14
Slika 8: Heterotični učinek za število vrst zrnja na storžu dvolinijskih križancev	15
Slika 9: Heterotični učinek za število vrst zrnja na storžu trilinijskih križancev	16
Slika 10: Heterotični učinek za število vrst zrnja na storžu šestlinijskih križancev.....	16
Slika 11: Heterotični učinek za težo zrnja na storž dvolinijskih križancev	17
Slika 12: Heterotični učinek za težo zrnja na storž trilinijskih križancev	18
Slika 13: Pridelek zrnja (t/ha) vseh proučevanih križancev in heterotični učinek za pridelek šestlinijskih križancev	18

1 UVOD

Koruza izvira iz jugozahodne Mehike. Takšna, kot jo poznamo danes, je bila v Evropo prenešena po odkritju Amerike leta 1492, najprej na Portugalsko in Španijo, od tam pa v ostale dele sveta (Rozman, 1997).

V Slovenijo, kjer je danes najbolj razširjena poljščina, je prišla v 17. stoletju iz Italije. V naših okoljskih razmerah velja koruza za rastlino s katero lahko na enostaven način pridelamo največjo količino energije na enoto površine, zato je tudi najbolj razširjena poljščina pri nas.

Ob koncu 2. svetovne vojne so kmetje sprva pridelovali medsortne križance, konec 50. let 20. stoletja pa so se uveljavili medlinijski križanci, za vzgojo katerih uporabljamo homozigotne linije. Iz potomstva dveh ali več homozigotnih linij lahko pridobivamo hibridno seme, za katerega je znano, da iz njega zraste višja, bujnejša rastlina, ki je sposobna dati višji pridelek kot starši križanca. Pojav, kateremu pripisujemo boljše lastnosti križanca kot lastnosti staršev križanca, imenujemo heterotični učinek.

Po lastnostih cveta je koruza monoecična vrsta, ki ima ločena ženska in moška socvetja. Pri tem moško socvetje predstavlja lat oz. metlica, žensko socvetje pa je modificirani klas, ki se kasneje razvije v storž. Prav tako je koruza alogamna vrsta, ki je tujeprašna z možnostjo samooplodnje. Ker ima ločena ženska in moška socvetja je postopek pridobivanja homozigotnih samooplodnih linij pri tej rastlini dokaj enostaven.

Domače slovenske populacije je prvi proučeval Alois Tavčar že pred 2. svetovno vojno. Njegovo delo so po letu 1950 s sodelavci nadaljevali Franc Mikuž, Ana Matičičin Ludvik Rozman. Večina tega materiala je danes hranjenega v okviru Slovenske rastlinske genske banke. Linije, nastale iz tega materiala, so postale osnova slovenskega programa žlahtnjenja kornuze. Program se je umeril k zgodnim križancem s poudarkom na kakovostnem zrnju.

Ob uvedbi križancev so se začeli izvajati načrtni poskusi, katerih cilj je bil ugotavljanje primernosti sort za različna pridelovalna območja. Izdelana je bila rajonizacija pridelave ter izbor najprimernejših križancev. Po osamosvojitvi Slovenije se je trg s semenskim materialom odprl tujim podjetjem. Mnogo teh križancev je bilo boljših od takrat pri nas razširjenih jugoslovanskih križancev.

1.1 NAMEN DIPLOMSKE NALOGE

Namen naloge je proučiti heterotični učinek v F1 generaciji Lj- križancev z različno gensko strukturo, ovrednotiti pridelke Lj- križancev ter njihovo izenačenost glede na nekatere morfološke lastnosti, kot so višina rastlin, premer in dolžina storžev, pridelek zrnja, ipd.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevali smo, da bodo različni križanci dali različne pridelke in zaradi različne genske strukture imeli različno izenačenost. Predvidevali smo tudi, da se bo heterotični učinek najbolj izrazil pri dvolinijskih križancih, manj pa pri večlinijskih križancih.

.

2 PREGLED OBJAV

Koruzo so prvi začeli udomačevati Indijanci že pet tisoč let pr.n.št. Iz prvotnih rastlin koruze se je kasneje z odbiro in naravnim križanjem z ožjimi sorodniki razvila kulturna koruza. Prvotne rastline so bile slabotne, grmičaste oblike, z zelo kratkimi storži in malo vrstami zrnja. S stalnim odbiranjem in setvijo najboljših rastlin so Indijanci iz divje koruze vzgojili primitivno udomačeno koruzo. V Mehiki so skupaj z njo sejali teosinto, da bi njiju zaradi večjih pridelkov namerno križali. Sejali so tudi mešanice raznih populacij oz. sort iz različnih delov Mehike in Amerike, kar je privedlo do naravnih križanj ter naravne selekcije in do nastanka raznih tipov in zvrsti, iz katerih izhaja današnja kultivirana koruza (Rozman, 1997).

Ko je bila koruza prinešena v Evropo, se je hitro širila po ostralih delih sveta. Zaradi izvora iz tropskega podnebja, se je lažje širila proti južnim kot proti severnim delom sveta.

Tudi po Sloveniji se je zaradi tega zelo počasi širila, saj je bil glavni vzrok nepravočasno dozorevanje v nekaterih območjih. Za hitrejše uvajanje so v Bleiweisovih Novicah izdajali priporočila in navodila za setev, pridelavo in odbiro najboljših storžev za nadaljnjo setev ter v ta namen prirejali razne razstave (Rozman, 1997).

Z intenzivnim žlahtnjenjem so začeli v Ameriki ob začetku 20. stoletja. Pojasnitev pojava heterotičnega učinka je žlahtnitelje koruze spodbudilo k vzgajanju sort z višjimi pridelki. Leta 1905 sta v Ameriki East in Shull prva začela uvajati samooplodno in vzgojo homozigotnih linij. Leta 1921 se je pojavil prvi komercialni dvojni križanec na svetu Bur Leaming, leta 1924 pa prvi enojni križanec Cooper Cross. Do leta 1960 so pridelovalci sejali dvojne križance, pridelek koruze pa se je povečal za 100 odstotkov. Po letu 1960 se je pridelek še bolj povečal, saj so po večini sejali enojne križance, ki so do leta 1990 dosegali že 75 dt/ha (Troyer in Wellin, 2009). Z načrtnim medsebojnim križanjem izbranih homozigotnih linij so bile vzgojene sintetične populacije, ki še danes služijo kot izvor za ponovno vzgojo linij z najboljšimi lastnostmi (Rozman, 1997).

Z uvajanjem lokalno prilagojenih tipov koruze iz različnih geografskih območij sveta v žlahtnjenje koruze, vzgojo hibridov z večjo adaptabilnostjo, poznavanjem fizioloških procesov, izboljšanjem tehnologije pridelave so vzgojeni številni novi hibridi. Zaradi tega je danes koruza razširjena vse od 58° severne do 40° južne geografske širine. V tropskem podnebju raste ob morju celo do 4000 m nadmorske višine (Troyer, 1996).

2.1 ŽLAHTNENJE KORUZE V SLOVENIJI

Pri nas je leta 1955 prvi začel medsortno križati domače sorte trdink prof. Mikuž. Križanci so imeli do 45 % večje pridelke kot sorte. V tem obdobju so se povprečni pridelki pri nas povečevali, še posebej zaradi širjenja prvih ameriških hibridov, ki pa so bili bolj pozni in tipa zobanka. Ti so se hitreje širili po ostalih delih nekdanje Jugoslavije, saj so bile tam razmere ugodnejše. Širjenje ameriških hibridov pa je slabo vplivalo na domače slovenske koruze, saj so se te zaradi tujeprašnosti naravno skrižale. Kmetje so opuščali setev domačih sort, zato je bila takratna glavna naloga žlahtniteljev ohranitev teh sort, iz katerih so

kasneje vzgojili samooplodne linije zlasti tipa trdinka. Ta genski material je sedaj hranjen v genski banki koruze na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani (Rozman, 1997).

V genski banki koruze na Oddelku za agronomijo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani je ohranjenih več kot 587 genotipov koruze. Polovico teh genotipov predstavljajo slovenske populacije, drugo polovico pa predstavljajo iz slovenskih populacij vzgojene bolj ali manj homozigotne linije. (Rozman, 2007). Zbrani avtohtoni genski material se je sproti dopolnjeval, preučeval in žlahtnil in tako predstavlja vir genov za žlahtnjenje zgodnih ter kvalitetnih genotipov.

Iz tega materiala je bilo vzgojenih in vpisanih v sortno listo 6 slovenskih križancev koruze, med njimi križanec sladke koruze 'Zarja' in križanec koruze pokovke 'PopSkom' (Rozman, 2012).

2.2 HETEROTIČNI UČINEK

V velikem številu križanj genetsko različnih linij ali sort se v F1 generacijah izrazi hibridni vigor ali heterotični učinek, kar pomeni, da organizmi v F1 generaciji izkazujejo boljše vrednosti kot njihovi starši. To se lahko izrazi pri različnih lastnostih. East in Jones (1919, cit. po Borojević, 1992) navajata, da je heterotični učinek najbolj opazen v višini rastlin, kot navajata Troyer in Wellin (2009) pa je od vseh najbolj pomemben heterotični učinek pri pridelku. Hibridni vigor v F1 generaciji je prvi odkril Schul (1909, cit. po Borojević, 1992) ko je med seboj skrižal dve samooplodni liniji (Borojević, 1992).

Kot navajata Troyer in Wellin (2009) so genetske osnove heterotičnega učinka, kljub številnim študijam, še vedno nepojasnjene. Vrednost heterotičnega učinka dobimo, če od vrednosti križanca F1 generacije odštejemo povprečno vrednost staršev. Običajno ga izražamo v odstotkih. Odstotek heterotičnega učinka v F1 generaciji za pridelek se zmanjšuje z večanjem povprečnega pridelka inbridiranih starševskih linij tega hibrida.

Pridelki samooplodnih linij se povečujejo vse od nastanka prvih hibridov. Heterotični učinek pri koruzi, predvsem pridelka, je pri žlahtnjenju koruze precej pomemben, saj so v pridelavi in na trgu predvsem hibridi oz. križanci F1 generacije, kjer se le-ta najbolj izrazi. Schnell (1974, cit. po Troyer in Wellin, 2009) je ugotovil, da se je v obdobju 1930 do 1970 heterotični učinek F1 generacije znižal iz 75 % na 50 %. Razlog vidi v tem, da so se pridelki samooplodnih linij povečevali v povprečju za 168,9 kg/ha/leto, heterotični učinek pa 48,1 kg/ha/leto oz. -0,5 %/leto, torej se je relativno zmanjševal, predvsem na račun hitrejšega povečevanja pridelkov samooplodnih linij.

Podobno v drugi raziskavi na genetskem materialu od Pioneer Hi-Breed Int. poroča Duvick (1999). V obdobju 1930-1990 so se pridelki samooplodnih linij povečevali za 48,3 kg/ha/leto, pridelki križancev za 74,0 kg/ha/leto, heterotični učinek pa za 25,8 kg/ha/leto oz. -0,2 %/leto. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Mikel (2008) pri koruzi in Campbell in sod. (2008) pri bombažu.

Heterotični učinek proučujemo za večino agronomsko pomembnih kvantitativnih lastnosti, med katerimi je najpomembnejša lastnost pridelek. Z identifikacijo heterotičnega učinka se je ta začel koristiti pri žlahtniteljskih programih koruze in iz tega razloga so začeli proučevati starše križancev na podlagi kombinacijskih sposobnosti (Wali in sod., 2010).

Zmogljivost hibrida je funkcija genov, ki jih hibrid dobi od obeh staršev in jo lahko sodimo po fenotipski zmogljivosti. Izražanje heterotičnega učinka je odvisno od stopnje genetske različnosti med dvema staršema (Brown in Caligari, 2008).

Za proizvodnjo hibridnega semena pri koruzi je potrebno ohranjati samooplodne linije, za katere se je predhodno izkazalo, da pri križanju izrazijo dober heterotični učinek. Vsaka taka linija se ohranja v prostorski izolaciji in z ročno oplodnjo (Borojević, 1992).

Veliko večja heterozigotnost se pokaže pri križanju različnih samooplodnih linij, kot se pokaže pri križanju različnih sort. Pri sortah je F1 generacija heterozigotna samo v nekaj alelih in zaradi tega se heterotični učinek slabše izrazi. S križanjem samooplodnih linij dobimo v F1 generaciji stanje maksimalne heterozigotnosti za največje število lastnosti. Za večino genetikov in žlahtniteljev je to največji razlog, zakaj je heterotični učinek večji pri dvolinijskih križancih kot pri tri-, štiri- ali večlinijskih križancih (Borojević, 1992; Banga in Banga, 1998; Kutka in Smith, 2007).

2.3 INBREEDING DEPRESIJA

Zmanjšanje hibridnega vigorja v F2 generaciji poznamo pod pojmom inbreeding depresija. Razlog slabšega vigorja je v izražanju recesivnih alelov, ki se zaradi samooplodnje pojavijo v naslednji generaciji v homozigotnem stanju. Če so recesivni aleli škodljivi oz. manj koristni kot dominantni se to lahko izrazi v slabšem vigorju rastline, slabši fertiliteti in nižjem pridelku. Med samoprašnicami in tujeprašnicami je bistvena razlika. Pri samoprašnicah, kot je pšenica, je inbreeding depresija minimalna, zato se homozigotni genotipi koristijo kot kultivarji v kmetijski pridelavi. Pri tujeprašnicah, kot je koroza, homozigotne genotipe dobimo enostavno s samooplodnjo, a se njihov vigor močno zmanjšuje glede na komercialne hibride. Pri nekaterih poliploidnih tujeprašnicah, kot je lucerna, je inbreeding depresija tako močna, da homozigotni genotipi enostavno ne preživijo (Fehr, 1987; Chagal in Gosal, 2004).

2.4 VZGOJA SAMOOPLODNE LINIJE

Pri tujeprašnih rastlinah, se homozigotne linije vzgajajo s samooplodnjo v več generacijah. Iz začetne populacije se odbere najboljše rastline, seme vsake odbrane rastline se poseje posebej. Na najboljših rastlinah se izvede samooplodnja. Za samooplodnjo je pred cvetenjem potrebno zagotoviti, da cvetni prah opraši ženski del cveta iste rastline. Pri koruzi v ta namen posebej izoliramo metlico (moški cvet) in svilo (ženski cvet) in potem ročno izvedemo samooplodnjo (Borojević, 1992).

To seme naslednje leto posejemo. Med rastlinami, ki so rastline F2 generacije, pride do velike neizenačenosti zaradi razdvajanja alelov, ker so starševske rastline bile v večini lastnosti heterozigotne. Z nadaljnjo samooplodnjo v več generacijah, odbiranjem najboljših ter izločanjem slabših, neželjenih rastlin, se med 6 in 8 generacijo samooplodnje in selekcije negativni učinki inbreeding depresije zaustavijo in dobimo vedno bolj izenačene rastline oz. homozigotne linije. Iz ene začetne populacije ali sorte se lahko dobi več različnih inbridiranih homozigotnih linij. Čim bolj raznolik je bil začetni genetski material, tem večje število genetsko različnih linij lahko dobimo (Borojević, 1992).

2.5 KOMBINACIJSKE SPOSOBNOSTI SAMOOPLODNIH LINIJ

Vrednost katerekoli samooplodne linije pri hibridih se preizkuša v kombinacijski sposobnosti z drugimi samooplodnimi linijami, saj se le tako lahko pridobi dober križanec. Zelo malo je takih linij, ki se dobro kombinirajo z drugimi. Hallauer in Miranda (1988, cit po Banga in Banga, 1998) trdita, da je v ZDA na 10 000 samooplodnih linij le ena dobra za kombinacije z drugimi, ki se lahko uporabljajo za komercialne hibride.

Za preizkušanje kombinacijskih sposobnosti je potrebno izvesti ogromno število križanj med linijami. Zato je Davis (192, cit. po Borojević, 1992) predlagal, da se namesto križanja vsake linije z vsako, uporabi enotni tester, za katerega se vzame neko dobro sorto ali hibrid s čim širšo genetsko strukturo, saj se na ta način lažje zazna genetsko variabilnost med linijami. Znano je, da se linije, ki se dobro kombinirajo s testerjem, dobro kombinirajo z drugimi linijami in dajo dober pridelek v križancu in obratno (Borojević, 1992).

Linije, ki imajo najboljšo kombinacijsko sposobnost v pridelku in pokažejo druge dobre lastnosti potem koristimo za nadaljnjo vzgojo hibridov F1 generacije, najboljše kombinacije oz. križanci pa se predlagajo za vpis na sortno listo in so na razpolago za kmetijsko pridelavo.

2.6 PRIDOBIVANJE HIBRIDNEGA SEMENA

Hibridno seme je bilo eno najpomembnejših prispevkov h kmetijski pridelavi koruze, saj je hibridni vigor glavni razlog za uporabo hibridnega semena (Ron Parra in sod., 2010).

V praksi se večje količine hibridnega semena F1 generacije pridelujejo tako, da se materina linija seje v štiri vrste in potem sejemo po dve vrsti očetne linije in v takšnem vrstnem redu dalje. Na materini liniji odstranimo moške cvetove oz. metlice še pred njihovim cvetenjem, da preprečimo samooplodnjo te linije. Metlice na očetni liniji razvijejo zadosti cvetnega prahu, da zadovoljivo oprashijo svilo na štirih vrstah materine linije. Pridelek semena na materini liniji je hibridno seme F1 generacije, ki je kot semensko blago na trgu za naslednjo sezono. V primeru, da so starševske komponente samooplodne linije, smo dobili dvolinijski ali enojni (single cross) križanec (Borojević, 1992).

2.7 VRSTE HIBRIDOV

Pri pridelavi koruze so najbolj razširjeni dvolinijski in trilinijski hibridi, nekoliko manj zastopani so štirilinijski. Največje pridelke dajejo dvolinijski oz. enojni hibridi, sledijo jim troilinijski in nato ostali (Borojević, 1992).

Način pridelave dvolinijskega križanca ($A \times B$) je bil že omenjen. Tu se kot starševske komponente vključi dve samooplodni liniji A in B.

Pri štirilinijskem križancu kot starševski komponenti služita dva dvolinijska križanca. Materin dvolinijski križanec ($A \times B$) skrižamo z očetnim križancem ($C \times D$) in dobimo štirilinijski križanec ($(A \times B) \times (C \times D)$), ki ga imenujemo tudi dvojni križanec ali 'double cross'. V takem križancu so vse štiri linije enakovredno zastopane – vsaka ima 25 % delež.

Poleg dvolinijskih in štirilinijskih križancev se pri koruzi uporabljajo še trilinijski križanci, katere pridobivamo tako, da enojni ali dvolinijski križanec skrižamo z linijo ($(A \times B) \times C$) (Borojević, 1992). V tem primeru sta liniji, ki sta v materinem enojnem križancu A in B zastopani v križancu vsaka s 25 % deležem, očetna linija C pa s 50 % deležem. Na tak način lahko žlahtnitelj določa frekvenco določene linije ali genov v križancu.

Večlinijski hibridi so zaradi širše genetske strukture manj občutljivi na vplive okolja in se lažje prilagajajo nepredvidenim in neugodnim ravnim razmeram (Rozman in sod., 1984). Ker se kot starševske komponente uporabljajo že heterozigotni križanci F1 generacije pa hibridni vigor oz. heterotični učinek ni dosti boljši od starševskih komponent ali pa ga sploh ni (Kutka in Smith, 2007).

Za žlahtniteljske namene in genetske raziskave, bolj redko pa v kmetijski pridelavi, se uporabljajo še drugi večlinijski križanci. Način križanja in delež vključevanja starševskih komponent v take križance je odvisen od namena križanja. Med bolj razširjenimi večlinijskimi križanci so sintetični križanci ali krajše sintetiki, v katere so načrtno vključene in skrižane izbrane linije in zastopane s sorazmerno enakim deležem. Ti križanci se uporabljajo predvsem kot izhodne populacije za vzgojo novih samooplodnih linij, v zadnjem času pa so trendi za uvajanje le-teh tudi kot kultivarje v kmetijsko pridelavo (Kutka in Smith, 2007).

Večlinijski križanci imajo sicer širšo genetsko strukturo, so pa po pridelku nižji od dvolinijskih hibridov, ki so vključeni v te sintetike. Po podatkih različnih raziskovalcev, ki jih navajata Kutka in Smith (2007) so sintetiki v povprečju dosegali 78,2 oz. 79,7 % pridelka od najboljšega dvolinijskega križanca, vključenega v te sintetike. Različno je bilo tudi število linij, vključenih v sintetike. Kinman in Smith (1945, cit. po Kutka in Smith, 2007) sta vključila 4-6 linij, Kutka in Smith (2007) sta vključila 5-9 linij in predlagata, da je bolje vključiti 5-12 linij, medtem ko CIMMYT-ov program žlahtnjenja koruze v Mehiki vključuje v sintetike 8-10 linij.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

V nalogo je bilo vključenih 10 Lj- križancev koruze, ki so bili vzgojeni iz linij, hranjenih v genski banki koruze na Oddelku za agronomijo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. V proučevane križance je bilo vključenih 8 samooplodnih linij, iz katerih so bili z načrtnim križanjem vzgojeni štiri dvolinijski (AB, DE, GH in JK), štiri trilinijski (ABC, DEF, GHI in JKL) in dva šestlinijska križanca (ABCDEF in GHIJKL).

3.2 METODE DELA

Najprej smo v laboratoriju natančno po načrtu setve pripravili točno število zrn z oznako za vsako parcelico posebej.

Poljski poskus je bil izveden na poskusnem polju Biotehniške fakultete v Jablah pri Trzinu po metodiki naključnega bloka v 3 ponovitvah. Površino namenjeno za poskus smo pred setvijo z vrstico in metrom razmejili na posamezne parcelice. Nato smo natančno po načrtu poskusa celoten poskus posejali ročno. Poskus z linijami je bil posejan posebej v eni ponovitvi. Razdalja setve je bila 70×18 cm.

V času rastne dobe koruze smo beležili čas svilanja in metličenja in sicer za 10 % in 50 %. Prav tako so se beležili pojav koruzne bulave sneti in koruzne večče. Prešteli smo rastline na vsaki parceli ob tem pa beležili poleggle in polomljene rastline. Izmerili smo tudi višine do vrha metlic ter višine do vrhnjega storža. Ob spravilu smo merili odstotek vlage v zrnju.

V laboratoriju smo opravili še analize in meritve storžev, stehali storže in zrnje ter izračunali pridelek suhega zrnja.

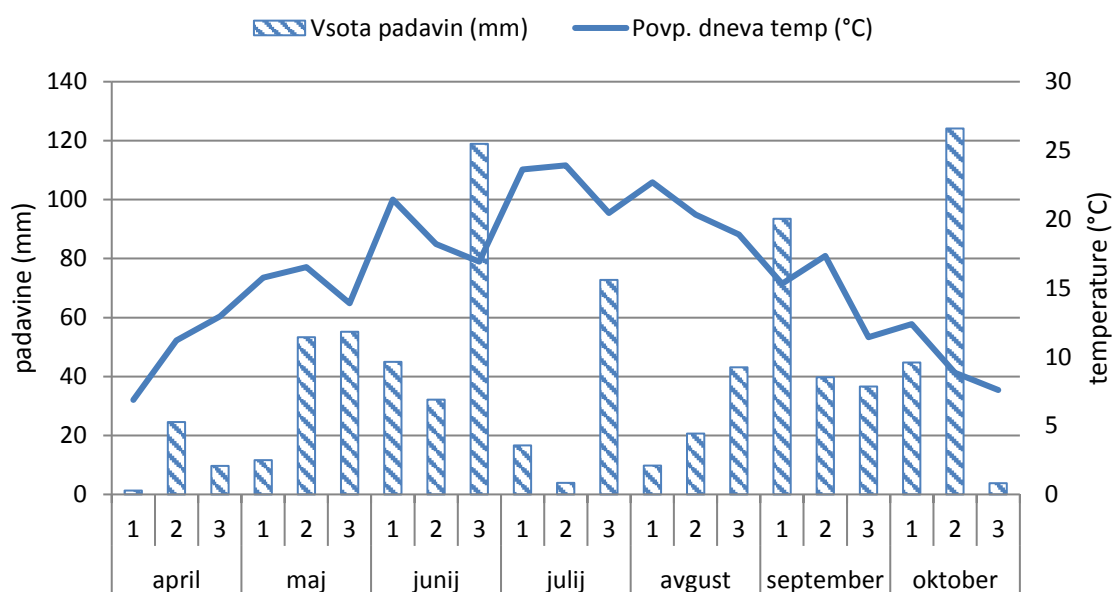
Podatke smo statistično obdelali s programom Microsoft Excel 2013, za vse lastnosti smo izračunali povprečne vrednosti, koeficient variabilnosti in variacijsko širino proučevanih križancev.

Heterotični učinek križancev F1 generacije smo računali samo za lastnosti, ki najbolj vplivajo na pridelek pri koruzi in sicer za premer storža, dolžino storža, teža zrnja na storž oz. pridelek in število vrst zrnja na storžu. Vrednosti smo prikazali grafično posebej za vsako skupino križancev. Pri dvolinijskih križancih so prikazane vrednosti njihovih starševskih linij in njihovega dvolinijskega križanca F1 generacije; pri trilinijskih križancih vrednosti starševskega dvolinijskega križanca in starševske linije glede na njihov trilinijski F1 križanec; pri šestlinijskem križancu pa vrednosti obeh starševskih trilinijskih križancev in F1 generacijo njihovega šestlinijskega križanca.

4 REZULTATI

Vremenske razmere za rast koruze so bile dokaj ugodne. Največ padavin je bilo v tretji dekadi junija, ko je padlo skoraj 119 mm padavin. Dva večja naliva sta bila še konec julija in v začetku septembra, tako da je bilo padavin dovolj. Tudi temperature niso bile previsoke. Najvišje temperature so bile v juniju, juliju in avgustu, te niso presegale 25°C. najhladnejše pa je bilo aprila in oktobra, ko so se temperature spustile pod 10°C.

4.1 METEOROLOŠKI PODATKI



Slika 1: Padavine in srednja dnevna temperatura po dekadah leta 2015 za Brnik (ARSO, 2015)

4.2 ČAS CVETENJA NOVIH KRIŽANCEV

Iz podatkov v preglednici 1 je razvidno, da so bili v nalogo vključeni križanci z različnim časom cvetenja. Najzgodnejši križanec (GHI) je začel cveteti (10 % metličenja) že po 45,5 dneh po vzniku, najpoznejši (JK) pa po 53 dneh, oba sta imela tudi najmanj (52,5 dni) oz. največ (61,5 dni) dni do 50 % svilanja, ko je korusa v polnem cvetenju (preglednica 1). Čas med začetkom metličenja (10 %) in 50 % metličenja je bil pri vseh križancih skoraj enak (2-3 dni); medtem ko so pri svilanju večje razlike in sicer od 2 (križanca AB in ABCDEF) do 4,5 dni pri križancu GHIJKL. Med križanci so razlike tudi v številu dni med 50 % metličenja in 50 % svilanja. Križanca AB in ABC imata najkrajši interval med metličenjem in svilanjem, najdaljši interval pa trije križanci GH, GHIJKL in JK.

Preglednica 1: Število dni od vznika do cvetenja novih Lj- križancev koruze.

Križanec	Datum vznika	Število dni od vznika do -				Štev. dni od 50 % metlič. do 50 % svil.
		10 % metličanja	50 % metličanja	10 % svilanja	50 % svilanja	
AB	21.5.	48,0	50,0	51,5	53,5	3,5
ABC	21.5.	48,5	51,0	51,5	54,5	3,5
ABCDEF	21.5.	47,0	49,5	51,5	53,5	4,0
DEF	21.5.	50,0	52,0	55,5	58,5	6,5
DE	21.5.	50,0	52,0	54,5	59,0	7,0
GH	21.5.	46,5	49,0	53,5	57,5	8,5
GHI	21.5.	45,5	48,5	50,0	52,5	4,0
GHIJKL	21.5.	47,5	49,5	52,5	58,0	8,5
JKL	21.5.	50,5	52,5	56,0	59,0	6,5
JK	21.5.	53,0	53,0	59,0	61,5	8,5

4.3 POVPREČNE VREDNOSTI IN VARIABILNOST

4.3.1 Višina do vrhnjega storža in višina rastline do vrha metlice

Najvišje nastavljen vrhnji storž je bil pri križancih JKL in JK (114,2 in 100,1 cm), najnižje pa pri križancih GH in GHI (65,1 in 77,9 cm). Med najvišje križance spadata AB in JK (245,7 in 245,1 cm), med najnižje pa GH in GHI (220,7 in 223,5 cm) (preglednica 2).

Iz podatkov o variacijski širini in vrednosti KV je razvidno, da je višina rastlin znotraj križancev bolj izenačena (KV=4,5-9,7 %) kot višina storža (KV=14,2=21,8 %) (preglednica 1). Pri najmanj izenačenem križancu GHI tako glede višine rastlin in tudi višine storža (KV= 9,7 oz 21,0 %), se je višina storža gibala od 42 do 102 cm, višina rastlin pa od 193 do 283 cm. Najbolj izenačena v obeh lastnostih pa sta križanca JK in DE, ki imata vrednosti KV 5,2 in 4,5 % za višino rastlin ter 14,2 in 11,7 % za višino storža.

Preglednica 2: Povprečne vrednosti in variabilnost križancev za višino do vrhnjega storža in višino do vrha metlice

Križanec	Višina vrhnjega storža (cm)			Višina rastline do vrha metlice (cm)		
	Var. šir.	Povpr.	KV %	Var. šir.	Povpr.	KV %
AB	68-175	89,4	20,9	223-270	245,7	11,5
ABC	53-105	81,5	15,0	201-270	236,7	14,1
ABCDEF	50-145	81,8	21,8	234-267	232,8	10,6
DEF	73-126	93,1	14,3	197-265	232,2	12,3
DE	60-102	87,7	11,7	202-245	228,2	9,2
GH	38-90	65,1	19,2	173-257	220,7	7,3
GHI	42-102	77,9	21,0	193-283	223,5	9,5
GHIJKL	63-125	87,4	17,6	205-272	233,9	9,2
JKL	68-150	100,1	19,2	206-281	236,8	7,0
JK	88-185	114,2	14,2	212-267	245,1	7,1

4.3.2 Dolžina in premer storža

V dolžini storžev med križanci ni velikih razlik, saj so najdaljše storže imeli križanci JKL, DEF in JK (od 16,4 do 16,8 cm), najkrajše pa križanec DE (14,5 cm). Razlika med najdaljšimi in najkrajšimi storži je znašala le 2,3 cm. Večje razlike med križanci so v premeru storža, saj je razlika med najvitkejšimi storži pri križancu DEF (36,8 mm) in najdebelejšimi storži križanca ABC (43,9 mm) znašala 7,1 mm (preglednica 2).

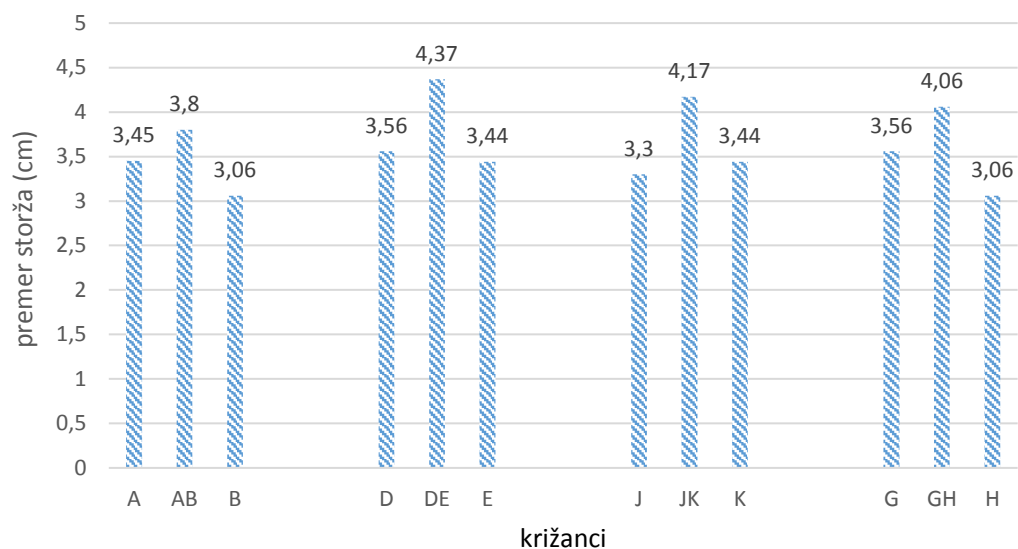
Pri vseh križancih je bila dolžina storžev manj izenačena kot premer storžev, to je razvidno tako iz variacijske širine kot iz koeficienta variabilnosti. V dolžini storža so bili najmanj izenačeni trilinijski križanec DEF (KV=15,3 %), dvolinijski GH (KV=14,6 %) in šestlinijski ABCDEF (14,1 %). Glede na obe lastnosti storža je bil najbolj izenačen dvolinijski križanec DE. Koeficient variabilnosti je znašal 8,5 (za dolžino) in 5,2 % (za premer storža) (preglednica 2).

Preglednica 3: Povprečne vrednosti in variabilnost križancev za dolžino in premer storža

Križanec	Dolžina storža (cm)			Premer storža (mm)		
	Var. šir.	Povpr.	KV %	Var. šir.	Povpr.	KV %
AB	11-18	15,5	12,2	34-41	38,0	5,4
ABC	12,5-19	15,3	13,2	38-50	43,9	6,6
ABCDEF	9,5-18,5	15,3	14,1	37-49	42,3	6,1
DEF	11-20	16,6	15,3	29-43	36,8	10,1
DE	12-16,5	14,5	8,5	39-47	43,7	5,2
GH	12-20	15,8	14,6	47-46	40,6	5,1
GHI	11-20	15,1	13,3	35-42	38,7	4,9
GHIJKL	12-19	15,2	11,6	35-42	38,9	5,8
JKL	11-20	16,8	12,6	31-43	37,2	9,4
JK	11,5-19	16,4	11,1	38-48	41,7	7

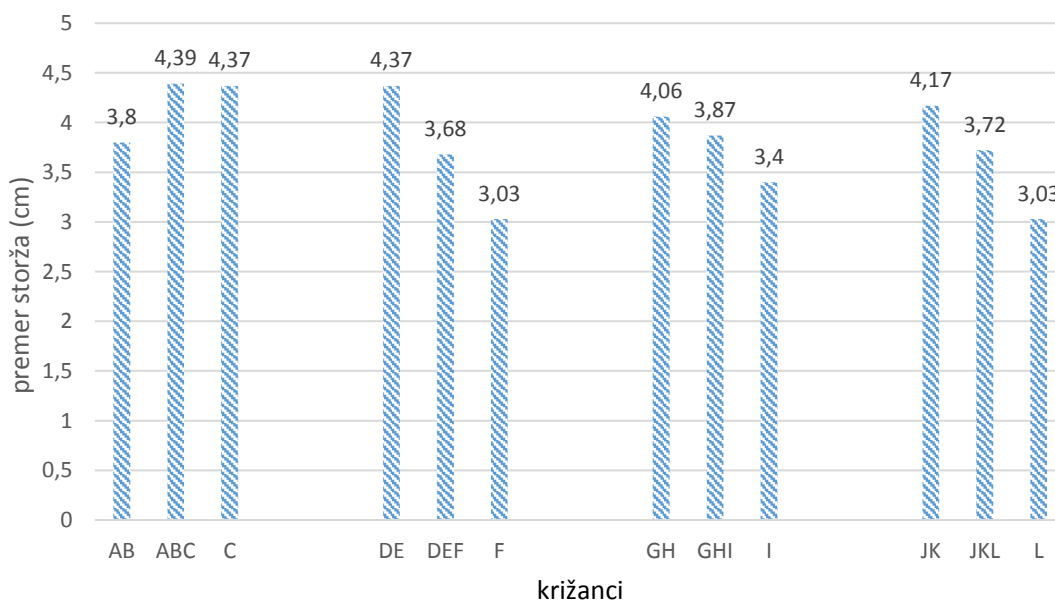
4.4 HETEROTIČNI UČINEK ZA PREMER STORŽA

Pri vseh štirih dvolinijskih križancih se je izrazil heterotični učinek za premer storža, saj imajo vsi križanci F1 generacije večje premere storža kot njihove starševske samooplodne linije (slika 2). Največji heterotični učinek se je izrazil pri križancu DE, kjer je največja razlika med premerom križanca DE in njihovimi starševskimi linijami D in E. Od vseh dvolinijskih križancev ima najdebelejše storže, najmanjši premer pa ima križanec AB, pri katerem se je izrazil najmanjši heterotični učinek.



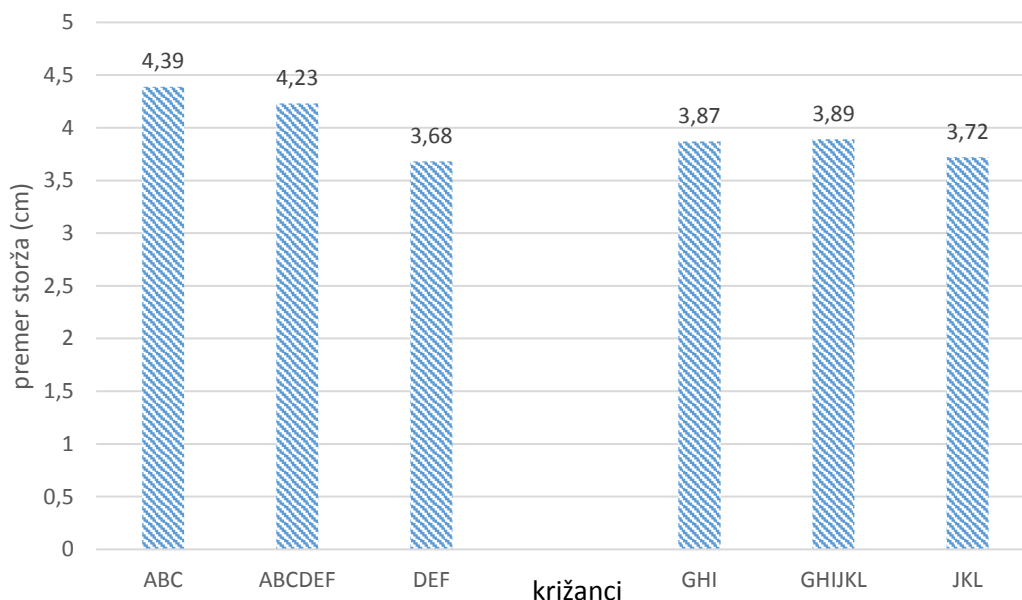
Slika 2: Heterotični učinek za premer storža dvolinijskih križancev

Pri trilinijskih križancih se je glede na oba starša heterotični učinek izrazil le pri križancu ABC in še to le zelo malo (0,2 mm). Ta križanec ima med trilinijskimi križanci tudi največji premer storža (slika 3). Pri ostalih trilinijskih križancih se je heterotični učinek izrazil le glede na slabšega starša, v tem primeru samooplodne linije, od boljšega starša (starševskih SC) pa je bil premer storža manjši.



Slika 3: Heterotični učinek za premer storža trilinijskih križancev

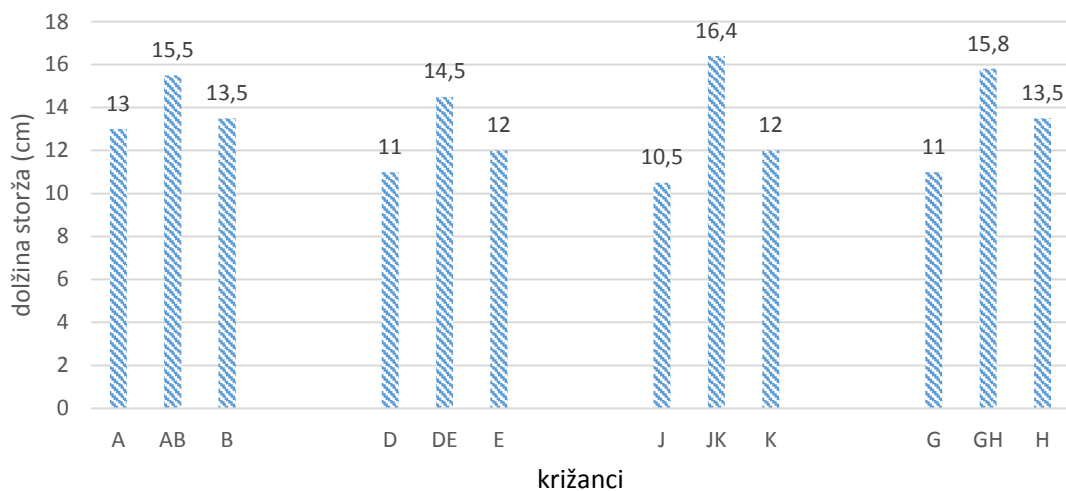
Tudi pri šestlinijskih križancih se je heterotični učinek glede na oba starša izrazil le zelo malo samo pri križancu GHIJKL (slika 4). Pri križancu ABCDEF je bil premer storža večji od slabšega starša, imel pa je večji premer kot križanec GHIJKL.



Slika 4: Heterotični učinek za premer storža šestlinijskih križancev

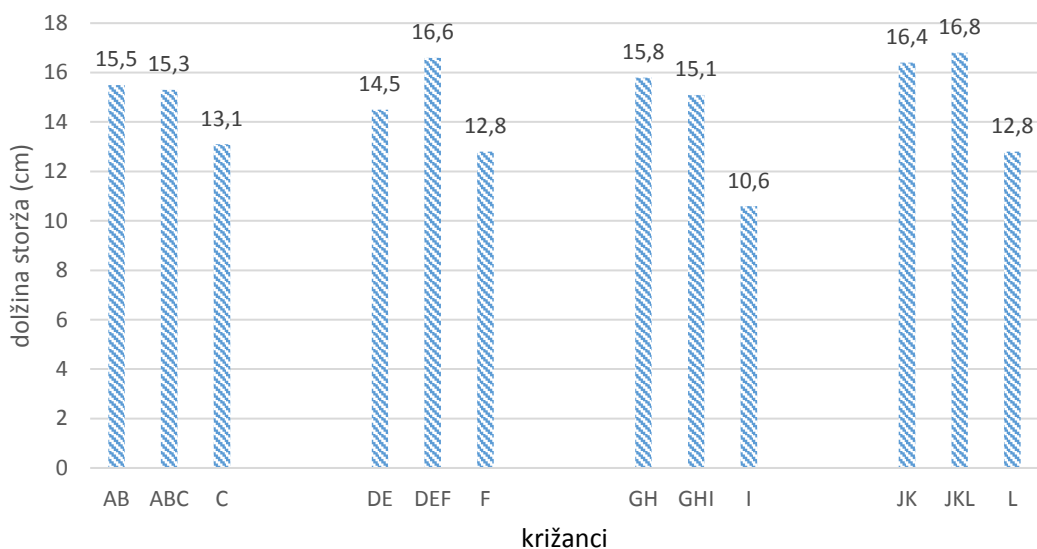
4.5 HETEROTIČNI UČINEK ZA DOLŽINO STORŽA

Pri vseh dvolinijskih križancih se je za dolžino storža izrazil heterotični učinek glede na oba starša (slika 5). Največji heterotični učinek se je izrazil pri križancu JK, ki ima tudi najdaljše storže. Najkrajše storže pri dvolinijskih križancih ima križanec DE, najmanjši heterotični učinek pa se je izrazil pri križancu AB.



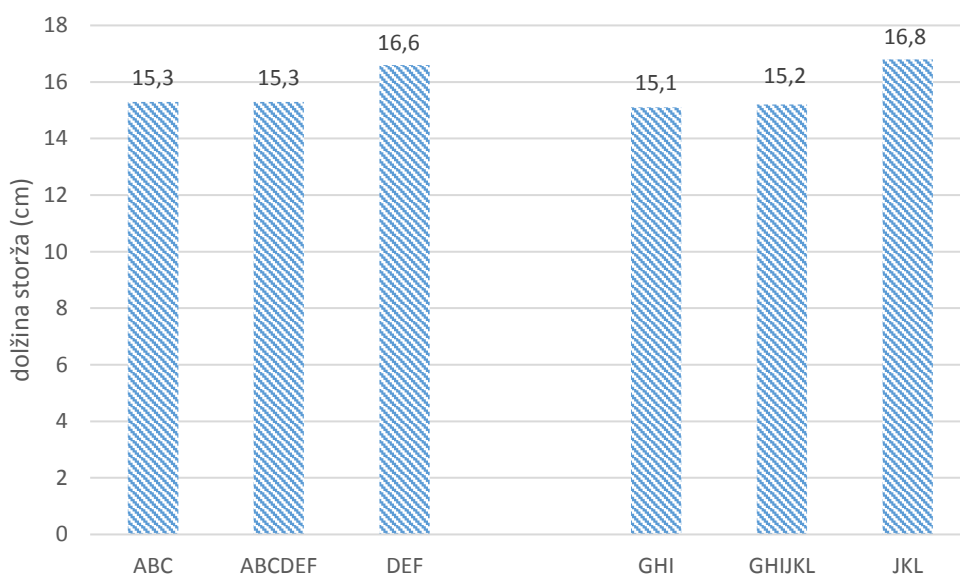
Slika 5 Heterotični učinek za dolžino storža dvolinijskih križancev

Pri trilinijskih križancih se je glede na oba starša (SC in linija) heterotični učinek najbolj izrazil pri križancu DEF, pri ostalih treh križancih se je heterotični učinek za dolžino storža izrazil le glede na slabšega starša (slika 6). Izmed trilinijskih križancev sta imela križanca JKL in DEF daljše storže (16,8 in 16,6 cm) kot križanca GHI in ABC (15,1 in 15,3 cm).



Slika 6: Heterotični učinek za dolžina storža trilinijskih križancev

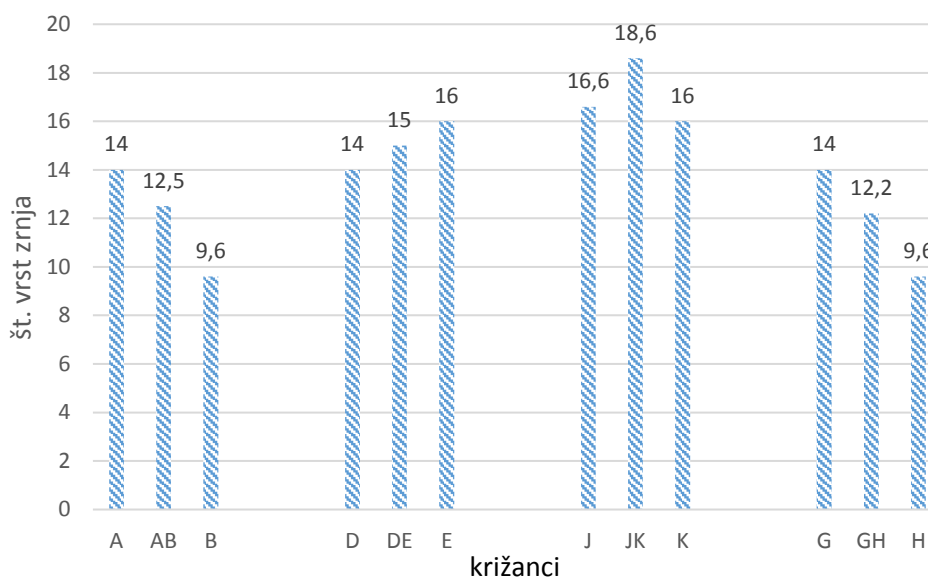
Pri nobenem od šestlinijskih križancev se ni izrazil heterotični učinek, saj je pri obeh križancih F1 generacije šestlinijskega križanca dolžina storža enaka slabšemu staršu in krajša od dolžine boljšega starša (slika 7). Oba šestlinijska križanca sta imela skoraj enake dolžine storžev.



Slika 7: Heterotični učinek za dolžina storža šestlinijskih križancev

4.6 HETEROTIČNI UČINEK ZA ŠTEVILO VRST ZRNJA NA STORŽU

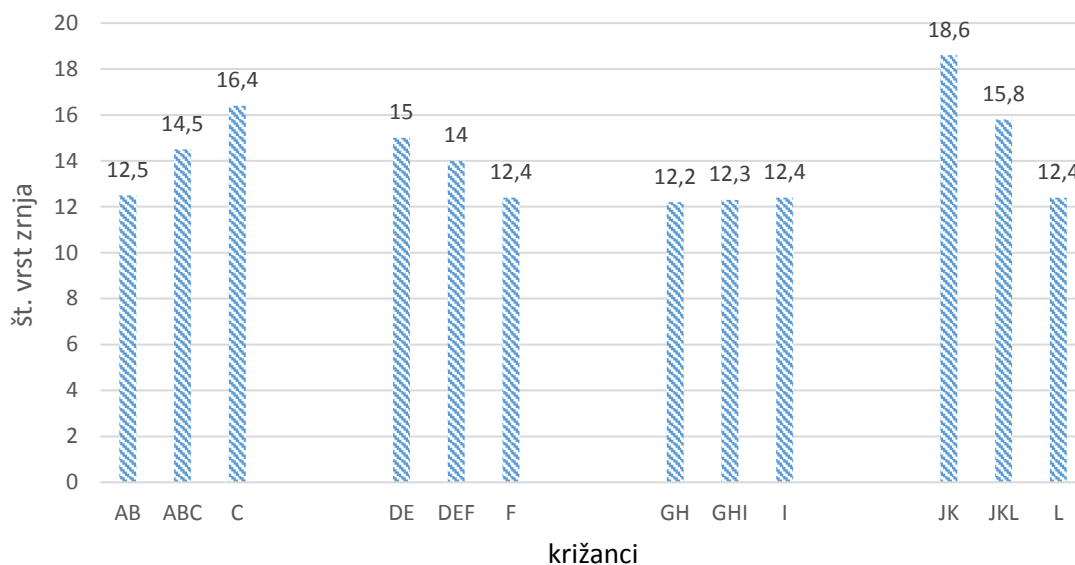
Za število vrst zrnja na storžu se je heterotični učinek glede na oba starša izkazal le pri križancu JK, pri ostalih treh dvolinijskih križancih pa je bil izražen le od slabšega starša (slika 8). Število vrst pri teh je bilo med boljšim in slabšim staršem. Največje število vrst (18,6) je imel križanec JK in njegove starševske linije. Križanca AB in GH sta imela oba najmanjše število vrst.



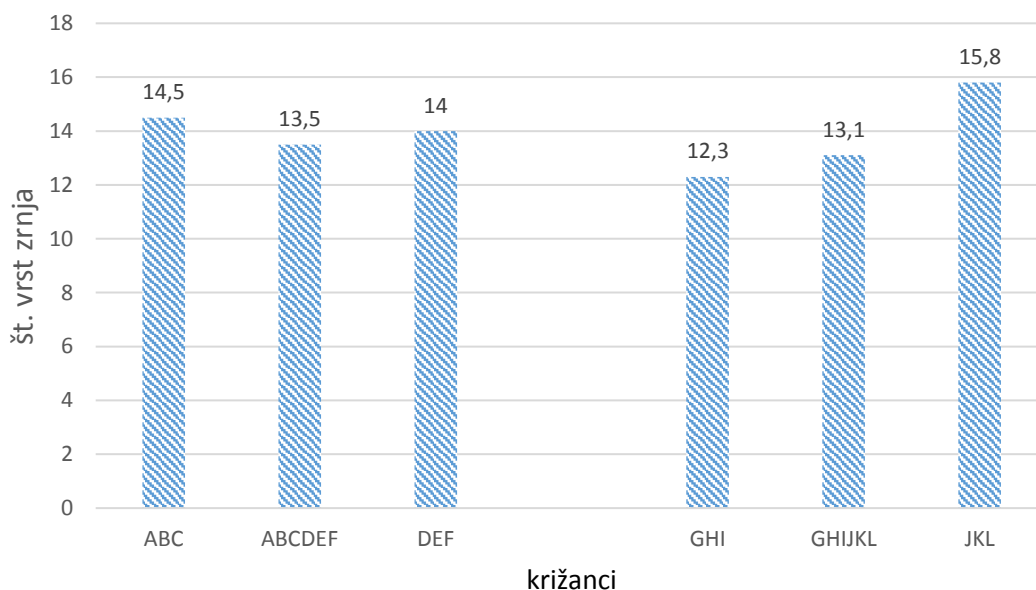
Slika 8: Heterotični učinek za število vrst zrnja na storžu dvolinijskih križancev

Pri vseh trilinijskih križancih se je heterotični učinek izkazal le v razmerju s slabšim staršem, saj so vrednosti za število vrst pri vseh križancih med najboljšim in najslabšim staršem (slika 9).

Pri šestlinijski križancih se je heterotični učinek izkazal le pri križancu GHIJKL in še to samo glede na slabšega starša, povprečno število je bilo le malo višje od slabšega starša. Pri križancu ABCDEF pa je bilo povprečno število vrst manjše celo od slabšega starša z manj vrstami zrnja (slika 10).



Slika 9: Heterotični učinek za število vrst zrnja na storžu trilinijskih križancev

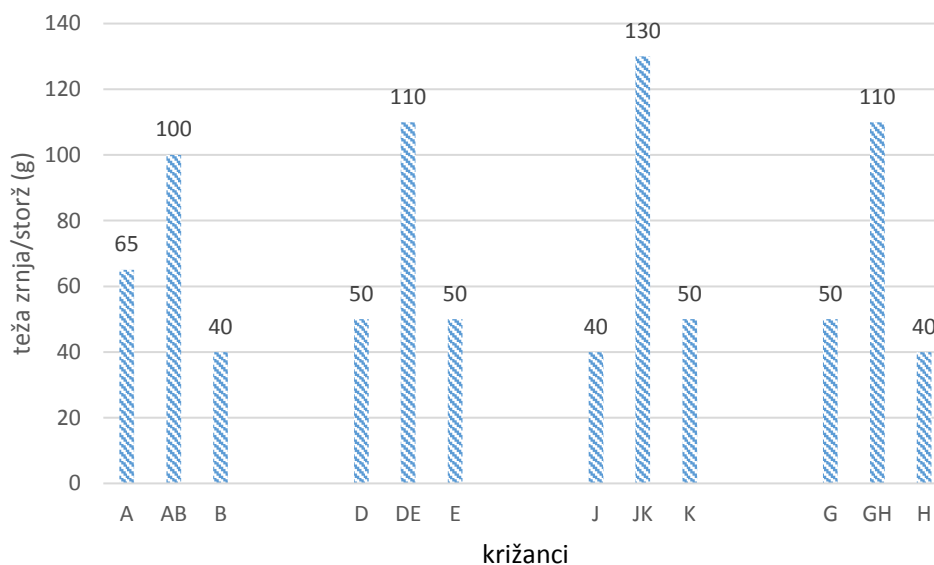


Slika 10: Heterotični učinek za število vrst zrnja na storžu šestlinijskih križancev

4.7 HETEROTIČNI UČINEK ZA TEŽO ZRNJA NA STORŽ IN ZA PRIDELEK

Pri vseh dvolinijskih križancih se je heterotični učinek za težo zrnja/storž glede na oba starša v F1 generaciji močno izrazil (slika 11). Najbolj se je izrazil pri križancu JK, kjer ima križanec skoraj trikratno vrednost njegovih starševskih linij. Ta križanec ima med vsemi dvolinijskimi križanci tudi največjo težo zrnja/storž. Ostali trije križanci imajo

skoraj za 100 (križanec AB) ali več odstotkov večjo težo zrnja/storž kot njihove starševske linije.

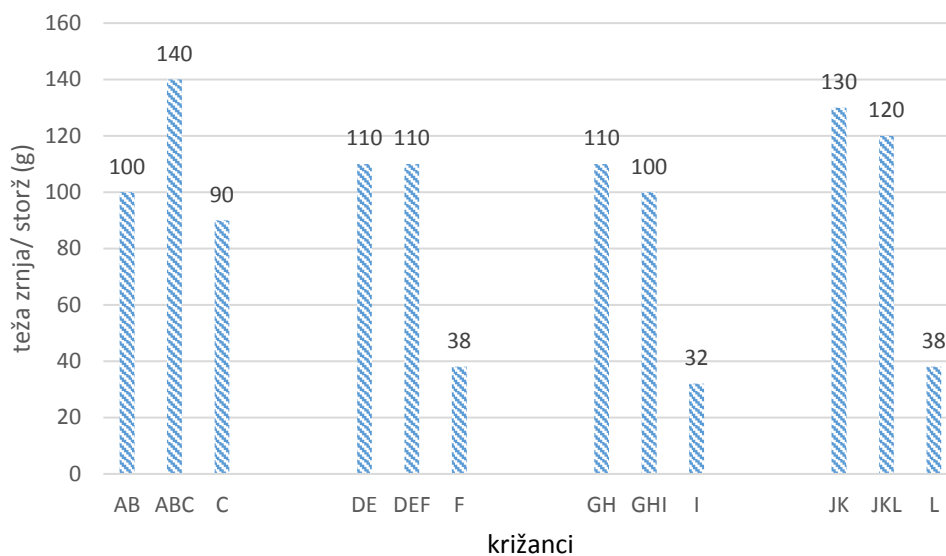


Slika 11: Heterotični učinek za težo zrnja na storž dvolinijskih križancev

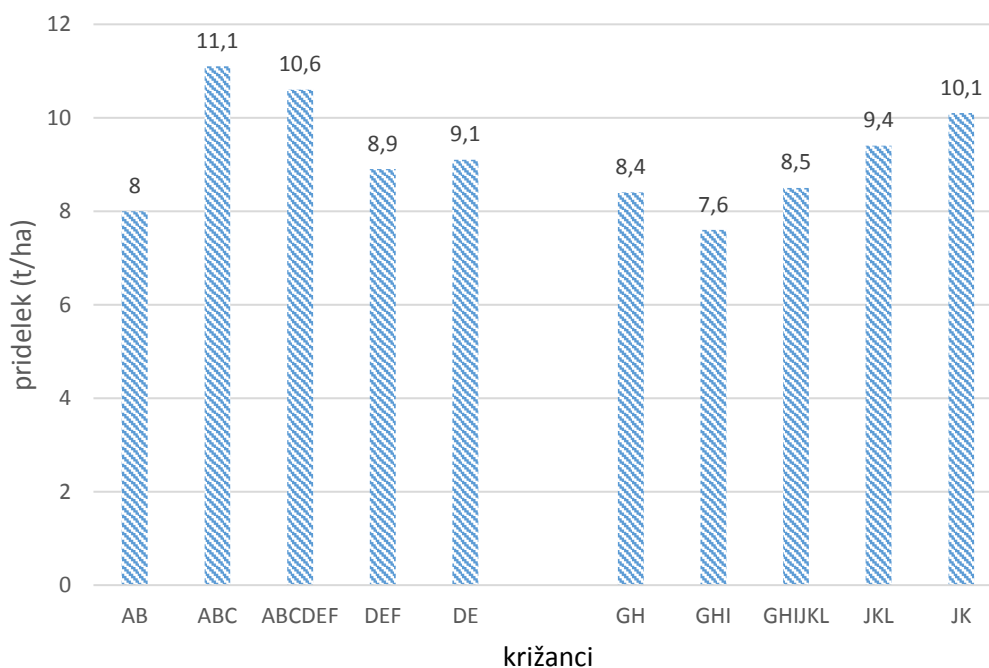
Pri trilinijskih križancih se je heterotični učinek za težo zrnja glede na oba starša izrazil samo pri križancu ABC, pri ostalih pa samo glede na slabšega starša, ki je v trilinijskih križancih bila samooplodna linija (slika 12). Pri križancih GHI in JKL je križanec imel celo nekoliko slabšo težo zrnja kot njegov starševski dvolinijski križanec.

Na sliki 13 je prikazan pridelek zrnja (t/ha) vseh proučevanih križancev. Najnižji pridelek sta imela križanca GHI in AB (7,6 in 8,0 dt/ha), najvišjega pa križanci ABC, ABCDEF in JK (11,1, 10,6 in 10,1 t/ha).

Pri obeh šestilinijskih križancih se je heterotični učinek v pridelku na hektar izrazil samo v primerjavi na slabšega starša (slika 13). Pri križancu ABCDEF je bil pridelek F1 generacije šestilinijskega križanca bližje boljšemu staršu (ABC), pri križancu GHIJKL pa je imel povprečni pridelek obeh starševskih dvolinijskih križancev.



Slika 12: Heterotični učinek za težo zrnja na storž trilinijskih križancev



Slika 13: Pridelek zrnja (t/ha) vseh proučevanih križancev in heterotični učinek za pridelek šestlinijskih križancev

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V nalogi smo proučevali variabilnost, heterotični učinek in pridelek 10 novih križancev koruze z različno gensko strukturo, vzgojenih iz 8 samooplodnih linij. Štirje križanci so bili dvolinijski, štirje trilinijski in dva šestlinijska.

Višina vrhnjega storža je manj izenačena lastnost kot višina rastlin. Pri lastnostih storža pa je premer storža bolj izenačen kot dolžina storža. Med dvo-, tri- in šestlinijskimi hibridi za višino storža in višino rastlin v izenačenosti ni bilo razlik, opazi se le, da so križanci, v katere so vključene linije A, B, C,D, E in F v višini rastlin nekoliko manj izenačeni kot križanci z linijami G, H, I, J, K in L. Od teh je najmanj izenačen trilinijski križanec ABC, dvolinijska križanca AB in DE pa sta v tej skupini bolj izenačena kot njihovi tri- in šestlinijski križanci. Razlika v izenačenosti med križanci so v dolžini in premeru storža, saj so dvolinijski križanci v teh lastnostih bolj izenačeni kot njihovi tri- in šestlinijski križanci. To je bilo pričakovano, saj so dvolinijski križanci rezultat križanja dveh homozigotnih linij, kar v F1 genearciji privede do 100 % heterozigotnosti in popolne izenačenosti. Da se to ni potrdilo tudi za višino rastlin, je verjetno vzrok okolje, saj ima na kvantitativne lastnosti, kot je višina rastlin, okolje močan vpliv.

Heterotični učinek se je pri vseh proučevanih lastnostih najbolje izrazil pri dvolinijskih križancih. Tudi tu je razlog v homozigotnih starševskih linijah. Pri njih je močno izražena inbriding depresija in v njihovih križancih, zaradi homozigotnosti starševskih linij, poleg izenačenosti, pride do izraza še močan heterotični učinek. To potrjujejo tudi navedbe v literaturi (Borojević, 1992; Banga in Banga, 1998; Kutka in Smith, 2007), da genetiki in žlahtnitelji še vedno smatrajo, da je heterozigotnost najbolj verjetni vzrok hibridnega vigorja v F1 genearciji. Za vse proučevane lastnosti storža, razen za dolžino storža pri križancu DEF in težo zrnja na storž pri križancu ABC, so imeli dvolinijski križanci največje vrednosti. Tudi po podatkih iz literature dvolinijski križanci dajejo v večini primerov boljše pridelke od večlinijskih križancev. Razlog je tudi v tem, da so lahko na nekaterih lokusih že homozigotni, kar pa se odraža v manjšem hibridnem vigorju, kot so ga imeli njihovi starši. Tudi pri sintetikih, v katere je vključeno tudi do 10 linij, so najboljši sintetiki dali le do 80 % pridelka najboljših dvolinijskih križancev, katerih linije so bile tudi v sintetikih. Zakaj torej žlahtnitelji in uporabniki še vedno vzgajajo in sejejo večilinijske križance? Trilinijski križanci (pri njih je materina komponenta običajno dvolinijski križanec) so v naši nalogi izkazali heterotični učinek glede na boljšega starša (dvolinijski križanec) za dolžino storža pri križancu DEF in težo zrnja/storž pri križancu ABC. Znano je, da so kultivarji s širšo genetsko strukturo (populacije, sintetiki, multilinijske sorte, ipd) bolj prilagodljivi oz. adaptabilni na razne neugodne rastne razmere, zato je večja verjetnost, da se bodo v neugodnih ravnih razmerah bolje obnesli kot kultivarji z ožjo genetsko strukturo, kot so npr. dvolinijski hibridi pri koruzi.

Pri križancih DEF (dolžina storža) in ABC (teža zrnja), ki sta preseгла vrednost starševskih dvolinijskih križancev, je k temu največ prispevala starševska homozigotna linija. Iz podatkov je razvidno, da nima nobena starševska linija F ali C svojih vrednosti dosti nižjih od svojih starševskih dvolinijskih križancev. Torej lahko poleg širše genetske strukture (tri

linije) istočasno povečamo tudi njihovo vrednost glede na starše. To je tudi eden od razlogov zakaj se v praksi še vedno uporabljajo trilinijski križanci.

Šestlinijski križanci v izenačenosti v vseh proučevanih lastnostih rastlin in storžev niso odstopali od ostalih križancev, torej večje število vključenih linij ni vplivalo na manjšo izenačenost teh križancev. Tudi heterotični učinek šestlinijskih križancev se v nobenem primeru ni izkazal glede na vrednost najboljšega starševskega trilinijskega križanca. Pri vseh lastnostih, razen za število vrst zrnja na storžu, kjer je bila vrednost nižja od slabšega trilinijskega starša; so bile vrednosti med obema staršema.

Po višini pridelka, ki je za prakso najpomembnejši, se je križanec ABCDEF bolj približal boljšemu trilinijskemu staršu. Pri večlinijskih križancih, kot so v našem primeru šestlinijski, je pomembna tudi primerjava med vsemi križanci in linijami, ki so vključeni v ta križanec. Zato je smiselna primerjava šestlinijskega križanca tudi s pridelki dvolinijskih križancev, ki so vključeni v ta križanec. Šestlinijski križanec ABCDEF je po pridelku slabši le od starševskega trilinijskega križanca ABC, od drugega starševskega trilinijskega križanca DEF in obeh dvolinijskih križancev AB in DE pa je boljši. Če upoštevamo že znane ugotovitve iz literature, da so večlinijski križanci zaradi širše genetske strukture in večje adaptabilnosti bolj primerni za neugodne ali nepredvidljive rastne razmere, lahko predvidimo, da bi bili v spremenljivih rastihih razmerah bolj zanesljivi za pridelavo. Drugi šestlinijski križanec GHIJKL se ni tako dobro izkazal, saj je bil po pridelku boljši le od slabšega starševskega trilinijskega križanca, enemu dvolinijskemu je bil enak, od enega trilinijskega in enega dvolinijskega pa slabši.

5.2 SKLEPI

- V nalogo so bili vključeni križanci z različno ranostjo, saj so bile v času metličenja in svilanja med najzgodnejšim in najpoznejšim cvetenjem razlike za 3,5 oz. 9 dni.
- Višina vrhnjega storža je manj izenačena kot višina rastlin. V izenačenosti višine storža in višine rastlin med dvo-, tri- in šestlinijskimi hibridi ni bilo razlik; medtem ko so dvolinijski križanci v dolžini in premeru storža bolj izenačeni kot tri- in šestlinijski.
- Za vse proučevane lastnosti se je heterotični učinek najbolj izrazil pri dvolinijskih križancih, kjer so bile vrednosti križanca F1 generacije višje od vrednosti najboljšega starša.
- Pri trilinijskih križancih se je heterotični učinek glede na boljšega starša izkazal samo za dolžino storža pri križancu DEF in težo zrnja na storž pri križancu ABC, pri ostalih trilinijskih križancih in za ostale lastnosti so bile vrednosti enake ali nižje od boljšega starša.
- Pri šestlinijskih križancih heterotičnega učinka glede na boljšega starša ni bilo, najboljšemu staršu se je še najbolj približal križanec ABCDEF za pridelek zrnja.

6 POVZETEK

Namen naloge je bil proučiti pridelek, variabilnost in heterotični učinek v F1 Lj-križancev z različno genetsko strukturo, ki so bili vzgojeni iz samooplodnih starševskih linij iz genske banke Oddelka za agronomijo na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Cilj je bil ovrednotiti njihove pomembnejše agronomske lastnosti kot so višina rastlin, pridelek zrnja, premer in dolžina storžev ter izenačenost rastlin pri posameznih križancih.

Predvidevali smo, da bodo različni križanci dali različne pridelke zaradi različne genetske strukture. Prav tako je bilo predvidevano, da se bo heterotični učinek najbolj izrazil pri dvolinijskih križancih ter najmanj pri šestlinijskih križancih. Predvidevali smo tudi, da bodo v proučevanih lastnostih dvolinijski križanci bolj izenačeni od tri- in šestlinijskih križancev.

V nalogo smo vključili 10 Lj-križancev koruze, katere smo posejali na poskusno polje Biotehniške fakultete v Jabljah pri Trzinu v letu 2016. Posejali smo štiri dvolinijske križance, štiri trilinijske križance in dva šestlinijska križanca. V proučevano nalogo je bilo vključenih tudi 8 samooplodnih starševskih linij Lj- križancev.

Poljski poskus je potekal po metodiki naključnega bloka v treh ponovitvah. Razdalja setve je bila 70 cm x 18 cm. V času rastne dobe smo beležili čas svilanja in metličenja (10 % in 50 %). Za vsako parcelo smo prešteli število rastlin, število poleglih in polomljenih rastlin ter izmerili višine do vrhnjega storža in do vrha metlice. Ob spravilu smo izmerili odstotek vlage v zrnju. V laboratoriju so bile opravljene še analize in meritve storžev, katere smo stehali in izračunali pridelek suhega zrnja. Podatke smo statistično obdelali v programu Microsoft Excel 2013, za vse lastnosti pa smo izračunali povprečja, koeficient variabilnosti in variacijsko širino. Vrednosti heterotičnega učinka za gospodarsko pomembnejše lastnosti smo prikazali grafično za vsako skupino križancev. Pri enojnih križancih smo prikazali vrednosti njihovih starševskih linij in njihovega enojnega križanca F1 generacije. Pri trilinijskih križancih smo prikazali vrednosti starševskega enojnega križanca in starševske linije glede na njihov trilinijski F1 križanec, pri šestlinijskih križancih pa so bile prikazane vrednosti obeh starševskih trilinijskih križancev in F1 generacija šestlinijskega križanca.

V nalogo so bili vključeni križanci z različno ranostjo, saj so bile v času metličenja in svilanja med najzgodnejšim in najpoznejšim cvetenjem razlike za 3,5 oz. 9 dni. Višina vrhnjega storža je manj izenačena kot višina rastlin. V izenačenosti višine storža in višine rastlin med dvo-, tri- in šestlinijskimi križanci ni bilo razlik, medtem ko so enojni križanci v dolžini in premeru storža bolj izenačeni kot tri- in šestlinijski. Za vse proučevane lastnosti se je heterotični učinek najbolj izrazil pri enojnih križancih, kjer so bile vrednosti križanca F1 generacije višje od vrednosti najboljšega starša. Pri trilinijskih križancih se je heterotični učinek glede na boljšega starša izkazal samo za dolžino storža pri križancu DEF in težo zrnja na storž pri križancu ABC, pri ostalih trilinijskih križancih in za ostale lastnosti so bile vrednosti enake ali nižje od boljšega starša. Pri šestlinijskih križancih heterotičnega učinka glede na boljšega starša ni bilo, najboljšemu staršu se je še najbolj približal križanec ABCDEF za pridelek zrnja.

7 VIRI

- Agencija Republike Slovenije za okolje. Meteorološki podatki. 2015.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGc w9ydlJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9icIFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZ XZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf> (30.8.2016)
- Allard R. W., Hancshe P. E. 1964. Some parameters of population variability and their implications in plant breeding. *Advances in Agronomy*, 16: 281-324
- Banga S. S., Banga S. K. 1998. Hybrid cultivar development. Indija, Narosa Publishing House: 536 str.
- Borojević S. 1992. Principi i metodi oplemenjivanja bilja. 2. izdaja. Beograd, Naučna knjiga: 385 str.
- Brown J., Caligari P. 2008. An introduction to plant breeding. Oxford, Blackwell Publishing Ltd.: 209 str.
- Campbell B. T., Bowman D. T., Weaver D. B. 2008. Heterotic effects in topcrosses of modern and obsolete cotton cultivars. *Crop Science*, 48: 593-605
- Chagal G. S., Gosal S. S. 2002. Principles and Procedures of plant breeding. 1. izdaja. Pangbourne, Alpha Science International Ltd.: 604 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.
- Day P. R. 1973. Genetic variability of crops. *Annual Review of Phytopathology*, 11: 293-312
- Đokić A. 1988. Biljna genetika. Beograd, Naučna knjiga: 488 str.
- Duvick D. N. 1999. Heterosis: Feeding people and protecting natural resources. V: *The Genetics and exploitation of heterosis in crops*. J. G. Coors and S. Pandey (ed.). Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy: 19-29
- Fehr W. R. 1987. Principle of cultivar development. Theory and technique. New York, Macmillan Publishing Company: 536 str.
- Ivančič A. 2002. Hibridizacija pomembnejših rastlinskih vrst. Maribor, Fakulteta za kmetijstvo: 775 str.
- King R. C. 1974. Handbook of genetics. 1. izdaja. New York, Plenum Press: 631 str.
- Kocjan Ačko D. 2015. Poljščine pridelava in uporaba. Ljubljana, ČZD Kmečki glas: 187 str.
- Kutka F. J., Smith M. E. 2007 How many parents give the highest yield in predicted synthetic and composite populations of maize?. *Crop Science*, 47: 1905-1913
- Luthar Z., Rozman L., Osterc G., Čop J. 2012. Genska banka oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. *Acta agriculturae Slovenica*, 99, 3: 301-306
- Mikel M. A. 2008. Genetic diversity and improvement of contemporary proprietary North American dent corn. *Crop Science*, 48: 1686-1695

- Ron Parra J., Morales Rivera M. M., Sanchez Gonzales J. J., De La Cruz Larios L., Ramirez Marquez M., Ramirez Diaz J. L. 2010. Heterosis and combining ability among maize narrow- base populations. *Maydica*, 55: 75-83
- Rozman L. 1997. Pomen koruze v razvoju človeštva. *Sodobno kmetijstvo*, 30, 4: 155-158
- Rozman L. 2004. Študijsko gradivo za vaje iz predmeta »Žlahtnjenje rastlin«. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 63 str.
- Rozman L. 2007. Rezultati večletnega proučevanja genskega materiala koruze na odpornost proti glivičnim boleznim ter možnosti njegove uporabe v žlahtnjenju rastlin. V: Zbornik predavanja in referatov 8. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin, Radenci 6. – 7. marec 2010: 285–290
- Rozman L. 2009. Študijsko gradivo za vaje iz predmeta »Osnove žlahtnjenja rastlin«. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 79 str.
- Rozman L. 2012. Genska banka koruze v Sloveniji. *Acta agriculturae Slovenica*, 99, 3: 317-328
- Rozman L., Doberšek–Urbanc A., Matičič A. 1984. Kazalci zanesljivosti pridelka nekaterih Lj- hibridov koruze (*Zea mays* L.) v Jablah. Zbornik Biotehniške fakultete Univerze Edvarda Kardelja, Ljubljana, 43: 47-79
- Rozman L., Pokovec K. 2008. Pojav naravnih mutacij pri nekaterih linijah koruze (*Zea mays* L.) iz genske banke. *Acta agriculturae Slovenica*, 91, 1: 307–318
- Smith S. 2007 Pedigree background changes in U. S. hybrid maize between 1980 and 2004. *Crop Science*, 47: 1914-1926
- Tajnšek T. 1991. Koruza. Ljubljana, ČZP Kmečki glas: 180 str.
- Troyer, A.F. 1996. Breeding widely adapted, popular maize hybrids. *Euphytica*, 92: 163-174
- Troyer F. A., Wellin E. J. 2009 Heterosis decreasing in hybrids: yield test inbreds. *Crop Science*, 49: 1969–1976
- Wali M. C., Kachapur R. M., Chandrashekhar C. P. Kulkarni V. R., Devara Navadagi S. B. 2010 Gene action and combining ability studies in single cross hybrids of maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Science*, 23: 557-562

ZAHVALA

Zahvalila bi se svoji družini, ki mi je bila v podporo v vseh letih šolanja, posebna zahvala pa gre k dr. Ludviku ROZMANU, kateremu se zahvaljujem za vso pomoč in nasvete ob izdelavi diplomskega projekta.