

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

mr Goran J. Stanković

**UTVRĐIVANJE DIVERGENTNOSTI
SINTETIČKIH POPULACIJA KUKURUZA
I NJIHOVOG POTOMSTVA
FENOTIPSKIM I MOLEKULARNIM
MARKERIMA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Beograd, 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

MSc Goran J. Stanković

**DIVERGENCE OF MAIZE SYNTHETIC
POPULATIONS AND THEIR PROGENIES
DETERMINED BY PHENOTYPIC AND
MOLECULAR MARKERS**

DOCTORAL DISSERTATION

Belgrade, 2016.

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

MENTOR:

dr Gordana Šurlan-Momirović, redovni profesor,
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

ČLANOVI KOMISIJE:

dr Tomislav Živanović, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Jelena Vančetović, naučni savetnik
Institut za kukuruz „Zemun Polje”, Beograd

dr Slaven Prodanović, redovni profesor
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu

dr Dušan Stanisavljević, naučni saradnik
Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

Datum odbrane:

Zahvalnica

Veliku zahvalnost upućujem mentoru, prof. dr. Gordani Šurlan-Momirović, na sugestijama, idejama i pomoći u toku izrade ovog rada, a najviše na bodrenju, veri i poletnosti koju je iskazala. Posebno se zahvaljujem mentoru u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“, dr. Jeleni Vančetović, na pomoći, sugestijama, ispravkama i korisnom idejama. Zahvaljujem se i članovima komisije, dr. Tomislavu Živanoviću i dr. Slavenu Prodanoviću na pažnji koju su posvetili ovom radu.

Iskazujem zahvalnost dr. Dragani Ignjatović-Micić i članovima njene laboratorije, dr. Ani Nikolić, dr. Mariji Kostadinović i dr. Danijeli Ristić na pruženoj pomoći prilikom izvođenja i tumačenja rezultata molekularne karakterizacije materijala. Zahvaljujem se i dr. Iliji Tanackovu i dr. Dušanu Stanisavljeviću, članu komisije, na pomoći koju su mi pružili prilikom statističke obrade rezultata ekperimenta.

Zahvalnost dugujem i članovima svoje grupe, Slađani, Saši, Milošu i Heleni, na nesebičnoj pomoći prilikom izvođenja poljskih ogleda i laboratorijskih analiza koje su bile sastavni deo ovog eksperimenta. Pored toga, zahvaljujem se svim kolegama koji su mi svojim sugestijama, interesovanjem, podstrekom i na bilo koji drugi način pomogli u izradi ovog rada.

Veliku zahvalnost dugujem prijateljima i rodbini na iskazanom interesovanju i podršci.

Želeo bih da se zahvalim Institutu za kukuruz „Zemun Polje“ koji mi je omogućio izradu disertacije i mogućnost da se bavim naučnim radom.

Posebnu, Veliku, NAJVEĆU zahvalnost dugujem svojoj porodici za neizmerno razumevanje, za pomoć, za stalnu podršku, za veliko strpljenje, za vreme provedeno u razgovoru, za pruženu ljubav, za

UTVRĐIVANJE DIVERGENTNOSTI SINTETIČKIH POPULACIJA KUKURUZA I NJIHOVOG POTOMSTVA FENOTIPSKIM I MOLEKULARNIM MARKERIMA

mr. Goran J. Stanković

IZVOD: U radu je proučavana divergentnost sintetičkih populacija, roditeljskih linija i linija potomstava analizom srednjih vrednosti njihovih deset osobina i primenom SSR markera. Za istraživanja su korišćene tri sintetičke populacije *per se* i njihove S_1 familije, deset roditeljskih linija i jedanaest linija potomstava. Sintetička populacija *Syn ZP* je nastala dialelnim ukrštanjem devet inbred linija poreklom iz lokalnih sorti sa Zapadnog Balkana, *Syn ZP/USA* iz ukrštanja linija lokalnog porekla sa linijom poreklom iz *BSS* sintetika, a *Syn FS* rekombinacijom predhodne dve populacije. Linije potomstva su poreklom iz sintetičkih populacija *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*.

Na osnovu rezultata istraživanja utvrđeno je da su se S_1 familije tri sintetičke populacije značajno razlikovale po srednjim vrednostima ispitivanih osobina. Varijabilnost i heritabilnost ispitivanih osobina je povećana nakon unošenja strane germplazme, kao i nakon rekombinacije sintetičkih populacija, a naročito je izraženo povećanje genetičke dobiti od selekcije. Genetički koeficijenti korelacija su pokazali da je kod sve tri populacije najveći uticaj na prinos zrna imala dužina klipa, a najmanji masa 1000 zrna. Rezultati analize glavnih komponenti su pokazali da je dužina klipa, zajedno sa brojem zrna u redu, imala najveći indirektan uticaj na prinos zrna kod S_1 familija sve tri sintetičke populacije. Inkorporacija strane germplazme, kao i rekombinacija sintetičkih populacija, su doprinele stvaranju nove varijabilnosti ispitivanog genetičkog materijala i poboljšanju srednjih vrednosti ispitivanih osobina.

Rezultati istraživanja sintetičkih populacija *per se*, roditeljskih komponenti i linija potomstava su ukazali da su selekcionisane linije imale bolje srednje vrednosti za ispitivane osobine od roditeljskih linija. Koeficijenti korelacija su bili približno isti kod linija roditelja i linija potomstava, s tim da je uočeno povećanje uticaja mase zrna na

prinos, u odnosu na S_1 familije. Na osnovu ovih rezultata odabrano je nekoliko linija potomstava kod kojih je zabeleženo poboljšanje osobina u odnosu na roditelje i koje mogu biti perspektivne za dalju selekciju.

Molekularna karakterizacija 24 genotipa je izvršena primenom 24 SSR markera. Klaster analiza je pokazala dobro grupisanje linija prema poznatom poreklu i genetičku divergentnost roditeljskih linija. Kod linija potomstava smanjen je prosečan broj alela po lokusu u odnosu na roditeljske linije. Linije potomstava su se grupisale po svom poreklu, ali je njihovo grupisanje u odnosu na roditeljske linije pokazalo da je stvoren nov genetički materijal.

Ključne reči: kukuruz, sintetička populacija, rekurentna selekcija, egzotična germplazma, varijabilnost, korelacije, SSR markeri, PCA, roditelji, potomstva.

Naučna oblast: BIOTEHNIČKE NAUKE

Uža naučna oblast: RATARSTVO – GENETIKA

UDK broj: 633.15:631.527 (043.3)

DIVERGENCE OF MAIZE SYNTHETIC POPULATIONS AND THEIR PROGENIES DETERMINED BY PHENOTYPIC AND MOLECULAR MARKERS

MSc Goran J. Stankovic

SUMMARY: Divergence of synthetic populations, parental and progeny inbred lines has been studied using both mean values of ten phenotypic traits and SSR markers. The research was performed on three synthetic populations *per se* and their S_1 families, ten parental and 11 progeny inbred lines. *Syn ZP* synthetic population was obtained by diallel crossing of nine inbreds that originated from local, West Balkans, landraces, *Syn ZP/USA* by crossing inbreds of local origin with an inbred from BSS synthetic and *Syn FS* by recombination of the two previous populations. Progeny inbred lines were obtained from *Syn ZP* and *Syn ZP/USA*.

The results revealed that S_1 families of the three synthetics were significantly different in the mean values of the analysed traits. Variability and heritability of these traits has been increased after introduction of exotic germplasm as well as after recombination of the synthetic populations and genetic gain was particularly expressed. Genetic correlation coefficients showed that ear length had the highest and 1000 kernel weight the lowest impact on grain yield. Principal component analysis showed that ear length, together with kernel number per row, had the highest indirect impact on grain yield of S_1 families considering all three synthetic populations. Incorporation of exotic germplasm, as well as recombination of the synthetic populations, contributed to the generation of new variability in the genetic material and improvement of mean values of the analysed traits.

Analyses of synthetic populations *per se*, parental components and progeny inbreds indicated that new inbred lines had better mean values of the traits compared to parental inbreds. Correlation coefficients were approximately the same within parental inbreds and within progeny inbreds, except that increase of kernel weight impact on

grain yield in regard to S₁ families was observed. Based on the presented results of the research, several progeny inbreds have been chosen, which have better trait performances in comparison to parents and could be perspective for further selection.

Molecular characterization of the 24 genotypes was done with 24 *SSR* primer pairs. Cluster analysis demonstrated not only grouping of the inbreds according to their known origin, but also their genetic divergence. The average number of alleles per locus was decreased in progeny inbreds compared to parental inbreds. Progeny inbreds grouped in accordance with their origin, but their position in the dendrogram relative to the parental lines revealed that new genetic material was developed.

Key words: maize, synthetic populations, recurrent selection, exotic germplasm, variability, correlations, *SSR* markers, PCA, parents, progenies

Scientific field: BIOTECHNICAL SCIENCES

Special topic: FIELD CROPS – GENETICS

UDK number: 633.15:631.527 (043.3)

S A D R Ź A J

1. UVOD	1
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	4
3. PREGLED LITERATURE	5
4. RADNA HIPOTEZA	31
5. MATERIJAL I METOD RADA	32
5.1. Genetički materijal	32
5.2. Parametri poljskih ogleda	33
5.3. Statistička obrada rezultata poljskih ogleda	35
5.4. Karakterizacija genotipova kukuruza molekularnim markerima	46
5.4.1. Ekstrakcija genomske DNK iz zrna kukuruza za SSR analizu	46
5.4.2. Određivanje koncentracije i kvaliteta DNK	47
5.4.3. SSR analiza	48
5.4.4. Poliakrilamidna elektroforeza	48
5.4.5. Statistička obrada podataka molekularne karakterizacije	50
6. REZULTATI I DISKUSIJA	52
6.1. Srednje vrednosti kvantitativnih osobina i analiza varijanse kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	52
6.1.1. Prinos zrna kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	52
6.1.2. Sadržaj vlage u zrnu kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	58
6.1.3. Visina biljke i visina klipa kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	60
6.1.4. Ukupan broj listova i broj listova ispod klipa kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	65
6.1.5. Dužina klipa kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	68
6.1.6. Broj redova zrna na klipu kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	70
6.1.7. Broj zrna u redu kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	72
6.1.8. Masa 1000 zrna kod S ₁ familija sintetičkih populacija kukuruza	74

6.2.	Koeficijenti korelacija između kvantitativnih osobina kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza.....	77
6.3.	Genetička dobit od selekcije kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza.....	82
6.4.	Multivarijaciona analiza osobina kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza.....	88
6.5.	Srednje vrednosti kvantitativnih osobina i analiza varijanse kod roditeljskih linija i linija potomstva sintetičkih populacija kukuruza.....	102
6.6.	Koeficijenti korelacija između ispitivanih osobina kod roditeljskih linija i linija potomstva sintetičkih populacija kukuruza.....	115
6.7.	Genetičke sličnosti između roditelja, sintetičkih populacija <i>per se</i> i linija potomstva sintetičkih populacija kukuruza analiziranih pomoću SSR markera.....	120
7.	ZAKLJUČAK.....	131
8.	LITERATURA.....	134

1. UVOD

Postoje brojne pretpostavke o centru porekla kukuruza. Od mnogih biloga je prihvaćena teorija da je biljna vrsta *Zea mays* L. nastala u Tehuacan dolini u Meksiku, kao pripitomljena varijanta *Teosinte sp.* U Meksiku se još uvek mogu naći divlje vrste srodne kukuruza, *Teosinta sp.* i *Tripsacum sp.*, koje se mogu ukrstiti i dati hibrid, mada praroditelj kukuruza nije pronađen. Posle otkrića Amerike u XV veku kukuruz je prenet u Evropu, nakon toga u ostale delove sveta, a postoje teorije da je na Indijski potkontinent stigao u XII veku (Johannessen i Parker, 1989).

Ovako velika rasprostranjenost dovela je do toga da je kukuruz veoma adaptivna i genetički varijabilna vrsta. Brojne prirodne populacije kukuruza su rezultat mnogostrukih evolucionih procesa u različitim agroekološkim uslovima, čime je stvorena široka genetička varijabilnost za selekciju. Vremenom su populacije akumulirale brojne mutacije i rekombinacije gena, što je dovelo do adaptacije na specifične uslove spoljne sredine i postizanje genetičkog ekvilibrijuma.

Uticaj čoveka na ove populacije ogledao se kroz masovnu selekciju prilikom odabira semena za narednu setvu. Ljudi su birali najbolje klipove i njihovo seme sejali naredne godine. Populacije su i dalje bile u slobodnoj oplodnji, što je pogodovalo očuvanju njihove varijabilnosti.

Početak moderne selekcije mogu se smatrati radovi Shull-a (1908, 1909, 1910) i East-a (1908) koji su predložili sistem inbirding-hibridizacija za iskorišćavanje fenomena heterozisa i dobijanje hibrida kukuruza koji su bili superiorni u odnosu na do tada gajene lokalne sorte. Međutim, dugogodišnja selekcija i stvaranje hibrida doveli su do sužavanja genetičke varijabilnosti populacija kukuruza, odnosno do smanjenja preduslova za ispoljavanje heterozisa. Troyer (1999) navodi podatak da je 1.000 slobodnooprašujućih varijeteta kukuruza nestalo kao rezultat prirodne i veštačke selekcije. Od tako velikog broja samo je nekoliko široko adaptirano i uključeno u savremene programe oplemenjivanja. Praktična primena heterozisa je eliminisala

proizvodni značaj varijeteta i dovela do genetičke uniformnosti komercijalnog, a u velikoj meri i selekcionog materijala. Krajem prošlog veka većina komercijalnih hibrida nastajala je od linija poreklom iz nekoliko populacija, kao što su *Reid Yellow Dent*, *Lancaster Sure Crop*, *Krug* i *Corn Belt Dent*.

Značajnost genetičke varijabilnosti gajenih biljaka ogleda se u nekoliko postavki, kao što je stabilnost poljoprivrednih sistema, adaptabilnost na različite uslove gajenja, izvor gena za tolerantnost na bolesti i štetočine i nepovoljne ekološke uslove. Različite prirodne populacije se mogu koristiti kao dobri izvori genetičke varijabilnosti za oplemenjivanje adaptiranog, elitnog selekcionog materijala. Selektioneri su pod stalnim pritiskom da stvaraju nove, poboljšane hibridne kombinacije, a to je najefikasnije postići upotrebom elitnog materijala. Bauman (1981) ističe da su najčešće korišćeni izvori za dobijanje linija kukuruza bili dvolinijski hibridi i sintetici, a zatim povratna ukrštanja, trolinijski i četvorolinijski hibridi. Slobodnooprašujuće populacije i lokalne sorte su korišćene samo u početnim fazama selekcije kukuruza, dok nije postalo jasno da su dalja poboljšanja produktivnosti sporija nego što se očekivalo. Korišćenje hibridnih kombinacija kao izvora novih linija daje dobre rezultate, ali postoji realan problem smanjenja genetičke varijabilnosti, što dovodi do osetljivosti elitnog materijala na razne nepovoljne faktore.

Stvaranje novih i poboljšanje postojećih sintetičkih populacija uvođenjem različitih izvora egzotične germplazme i povećanje njihove varijabilnosti predstavlja jedno od mogućih rešenja navedenog problema. Metod selekcije koji omogućava inkorporaciju egzotične germplazme u postojeći selekcion materijal uz povećanje genetičke varijabilnosti predložen je od strane Jenkins-a (1940) i nazvan rekurentna (povratna) selekcija. Rekurentna selekcija je metod povratne ciklične selekcije koji omogućava male, uspešne promene u frekvencijama alela, uz održanje i povećanje genetičke varijabilnosti. Odabiranje genotipova za formiranje narednog ciklusa selekcije može se obaviti na bazi ocene potomstva *per se* ili na bazi ocene njihovih test hibrida. Prednost rekurentne selekcije u odnosu na ostale metode se ogleda u tome što je gornja granična vrednost neke osobine određena najpovoljnijom kombinacijom gena sadržanih u grupi početnih izvornih biljaka (Allard, 1960), a ne genotipom jedne izabrane biljke, što je recimo slučaj kod pedigri selekcije.

Da bi neki program selekcije bio uspešan naročitu pažnju treba posvetiti izboru, kreiranju i načinu korišćenja početnog materijala za dobijanje inbred linija kukuruza. Krajnji domet selekcije zavisi od kvaliteta početnog materijala i primenjenog metoda selekcije. Izbor početnog materijala potrebno je izvršiti na bazi ocene agronomskih osobina, analize porekla, odgovarajućih genetičkih parametara i rezultata molekularnih markera. Naročito je važno ovu procenu obaviti u početnim ciklusima selekcije. Uzimanje manje grupe individua iz jedne populacije je kritična tačka programa selekcije. Genetički parametri bitni za izbor početnog materijala su srednje vrednosti i varijanse osobina, heritabilnost, kao i korelacije između važnijih osobina. Molekularni markeri se koriste za procenu genetičke divergentnosti, srodnosti inbred linija i populacija kukuruza, predviđanje heterozisa i performansi hibrida i međupopulacijskih ukrštanja, kao i genetičkih promena u populacijama pod uticajem rekurentne selekcije.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Najefikasniji metod selekcije adaptiranog materijala je stvaranje sintetičkih populacija od inbred linija poznatog porekla, superiornih osobina, koje su prilagođene na odgovarajuće podneblje. Takvi sintetici služe kao izvorni materijal za dalju selekciju. Metode koje se koriste za inter- i intra-populacijsko poboljšanje sintetika su neke od tehnika rekurentne selekcije.

Uspeh rekurentne selekcije zavisi od izabranih roditeljskih komponenti i metode koja će se primeniti za dobijanje novih inbred linija. Pretpostavka je da će se primenom rekurentne selekcije dobiti inbred linije boljih agronomskih osobina i veće genetičke varijabilnosti od roditeljskih komponenti, odnosno da će doći do akumulacije većeg broja poželjnih alela u potomstvu.

Cilj ovog rada je da se primenom molekularnih markera i ocenom fenotipskih karakteristika ispituju:

- razlike i promene u frekvenciji alela između roditeljskih komponenti, sintetičkih populacija i njihovog potomstva,
- akumulacija poželjnih alela u potomstvima,
- genetička varijabilnost roditeljskih komponenti, sintetičkih populacija i njihovog potomstva,
- srodnost roditeljskih linija koje su učestvovale u stvaranju sintetičkih populacija,
- vrednost sintetičkih populacija za dalji rad na dobijanju inbred linija nakon inicijalnog ciklusa stvaranja.

3. PREGLED LITERATURE

Zbog načina oprašivanja i svog porekla kukuruz je veoma adaptivna i genetički varijabilna vrsta. Celokupna vrsta kukuruza je rezultat mnogostrukih evolucionih procesa u različitim sredinama, čime je stvorena široka genetička varijabilnost za dalji napredak u selekciji. Pošto je glavni način oprašivanja kukuruza prenošenje polena vetrom, geografske karakteristike njegove postojbine su dovele do formiranja velikog broja populacija čiji geni nisu mogli da se mešaju, tako da je nastao veliki broj različitih izolovanih populacija. Genetička ravnoteža svake populacije u određenom okruženju je rezultat različitih genetičkih mehanizama na koje je uticala spoljna sredina. Vremenom su te izolovane populacije akumulirale brojne mutacije i rekombinacije gena čime je stvorena adaptacija na posebne uslove spoljne sredine. Međutim, dugogodišnji uticaj čoveka prilikom odabiranja najboljih klipova za dalju setvu, a u novije vreme selekcija genetičkog materijala radi korišćenja fenomena heterozisa u gajenju kukuruza, dovela je do sužavanja genetičke varijabilnosti celokupne vrste kukuruza.

Savremeni način gajenja takođe doprinosi smanjenju genetičke varijabilnosti useva kukuruza. Danas je u komercijalnoj upotrebi samo 5% ukupne germplazme kukuruza (Hoistington et al., 1998). Poljoprivreda u razvijenim zemljama se zasniva na gajenju malog broja hibrida čija je genetička osnova relativno uska i uniformna. Tome doprinose i selekcionni programi koji su odbacili veliki deo „loših“ genotipova na račun malog broja genotipova visoke adaptivne vrednosti. U SAD se u 90% selekcionih programa koristi genetički materijal koji vodi poreklo iz tri populacije. Selektioneri kukuruza su pod stalnim pritiskom da stvaraju nove komercijalne inbred linije, pa sve više koriste F_2 populacije, povratna ukrštanja i sintetičke populacije uske genetičke osnove u svojim programima, što je dovelo do smanjenja upotrebe lokalnih populacija kao nosioca velike genetičke varijabilnosti (Ho et al., 2005). S druge strane, adaptacija biljaka na različite uslove spoljašnje sredine, tolerantnost na biotičke i abiotičke stresove zavisi od postojeće genetičke varijabilnosti.

Zuber i Darrah (1980) su u svom radu analizirali genetičku osnovu severnoameričkih hibrida i ustanovili da su se na 38% površina gajili hibridi u kojima je bar jednu roditeljsku komponentu činila jedna od tri najviše korišćene inbred linije u to vreme. Svi tada gajeni hibridi su nastajali ukrštanjem linija od kojih je 39,2% pripadalo *Lancaster* osnovi, 42,4% *Reid* tipu, a 18,4% ostalim izvorima. Kao izvor novih linija su u 45,5% slučajeva korišćeni dvolinijski hibridi. U zaključku svog istraživanja autori su naglasili da ne postoji opasnost od suženja genetičke osnove ukoliko su roditelji dvolinijskih hibrida iz genetički udaljenih izvora.

Za razliku od njih, Brown (1975) je ustanovio da se u programima oplemenjivanja, a samim tim i u proizvodnji, koristi samo 2% od ukupne germplazme kukuruza, što dovodi do gubljenja velikog dela varijabilnosti i ograničava rad sa selekcionim materijalom. Goodman (1984) navodi da skoro svi hibridi gajeni u to vreme u SAD na neki način vode poreklo od jedne populacije, *Corn Belt Dent*-a. Analiza genetičkog porekla i molekularna analiza koju su izvršili Smith et al. (1992) sugerisala je da je većina komercijalnih hibrida u SAD sadržala derivate jedne od šest linija. Ove navode potvrđuje i Baker (1984) koji ističe da je pet od šest tada najviše korišćenih komercijalnih inbred linija vodilo poreklo iz *Iowa Stiff Stalk Synthetic*-a, koji je stvoren rekombinacijom najvećeg broja linija nastalih iz *Reid's Yellow Dent*-a. Druga roditeljska komponenta u tadašnjim hibridima obično je vodila poreklo iz *Lancaster Sure Crop* populacije (Sprague, 1984).

Smith (1986) je izneo podatak da je mnoštvo populacija na prostoru Amerike odbačeno i da je izgubljen veliki deo germplazme kukuruza. Autor je ispitivao 21 lokus kod četiri populacije i ustanovio da se 18 lokusa razlikovalo u 56 alela. *Lancaster Sure Crop* je imao različitu frekvenciju alela od ostale tri populacije na 14 lokusa. Procena je bila da su ove populacije izgubile oko 30% svoje genetičke varijabilnosti. U veoma obimnom istraživanju Troyer (1999) navodi da je oko 1.000 slobodnooprašujućih varijeteta nastalo u različitim ekološkim uslovima kao rezultat prirodne i veštačke selekcije iz ukrštanja tvrdunaca i zubana. Od tako velikog broja samo je nekoliko široko adaptirano i uključeno u programe oplemenjivanja kukuruza. To su forme *Reid Yellow Dent*-a (*Iodent Reid*, *Troyer Reid*, *Osterland Reid*, *Stiff Stalk Synthetic*, *Funk Yellow Dent*) koje su učestvovalе u selekcionim programima sa 50%, zatim *Minnesota 13* sa

13%, *Northwestern Dent* sa 5%, i *Lancaster Sure Crop* i *Leaming Corn* sa po 4%. Troyer et al. (1988) su istakli da smanjenje genetičke varijabilnosti povećava genetičku ranjivost gajenih useva. Oni su genetičku ranjivost definisali kao potencijalnu osetljivost useva na mogući biotički i/ili abiotički stres koji se može javiti zbog gajenja uniformne germplazme na velikim površinama.

Kombinacijom američke i evropske germplazme kukuruza mogu se dobiti izvorni materijali za dalju selekciju koji se odlikuju visokom frekvencijom poželjnih alela za agronomski važne osobine i adaptiranošću na uslove gajenja u Evropi. Evropska germplazma je, prema Brandolini-ju (1969), bila jedna od poslednjih riznica varijabilnosti prilagođene umerenoj agroekološkoj zoni. Međutim, brzo širenje američkih hibrida u poljoprivrednoj proizvodnji Evrope ranih 50-ih godina prošlog veka doprinelo je gubljenju, zameni i nekontrolisanoj hibridizaciji većine lokalnih ekotipova. Trifunović (1983) je istakao da su se u južnim predelima Evrope gajili hibridi kukuruza nastali od linija koje su sadržale veliki procenat germplazme linija B73 i Mo17, dok su se u severnoj Evropi linije F2, F7 i EP1 nalazile u više od 50% gajenih hibrida. Dubreuil i Charcosset (1999) su koristili *RFLP* analizu da bi ispitali genetičku raznovrsnost materijala poreklom iz Evrope i Amerike. Ispitali su 62 inbred linije i 10 populacija poznatih heterotičnih grupa na 28 lokusa. Rezultati su pokazali da je u populacijama bio prisutan veliki broj lokusa kojih nije bilo u linijama. Autori su zaključili da su evropske linije tvrdunaca srodnije sa tvrduncima iz severoistočne Amerike nego sa evropskim populacijama tvrdunaca.

Labate et al. (2003) su koristili *SSR* markere da bi ustanovili genetičku varijabilnost i uticaj porekla, adaptacije i migracija na germplazmu nastalu iz *Corn Belt Dent*-a. Oni su u svom istraživanju ispitivali 57 uzoraka koji su predstavljali populacije *Corn Belt Dent*, *Northern Flints*, *Southern Dents*, kao i 12 univerzitetskih linija. Materijal su ispitali za 20 *SSR* lokusa. Dobijeni rezultati su ih naveli na zaključke da se kod populacija povećao procenat inbridinga, kao i da im je bilo zajedničko 85% genetičke varijabilnosti. Utvrdili su genetičke razlike između zubana i tvrdunaca, ali ne i veliku genetičku različitost u okviru grupe zubana. Na kraju su zaključili da je poreklo imalo veću ulogu u stvaranju genetičkih razlika i raznovrsnosti nego migracije i selekcija. Primena molekularnih markera u ispitivanju genetičke varijabilnosti

materijala omogućilo je saznanja o njegovoj istoriji i primenu odgovarajuće strategije za upotrebu genetičkih resursa u programima oplemenjivanja. Sumirajući rezultate svojih dugogodišnjih istraživanja, Troyer (2004) navodi da se pet široko adaptiranih populacija (*Reid Yellow Dent*, *Minnesota 13*, *Lancaster Sure Crop*, *Northwestern Dent* i *Leaming Corn*) i tada, na neki način, nalazilo u 87% američkih hibrida.

Zahtevi tržišta su takođe doprineli sužavanju genetičke varijabilnosti kukuruza. U početku su gajene slobodnooprašujuće sorte, zatim međupopulacijski hibridi, četvorolinijski i trolinijski hibridi, a danas su skoro celokupne površine pod kukuruzom posejane dvolinijskim hibridima. Svaka kategorija je, osim poboljšanja agronomskih osobina i prinosa, dovodila do sužavanja genetičke varijabilnosti, i danas se gaji relativno mali broj visokoprinosnih hibrida na velikim površinama. Istražujući genetičku divergentnost dve brazilske populacije kukuruza (*BR-105* i *BR-106*) upotrebom *RFLP* markera i njene promene pod uticajem recipročne rekurentne selekcije u dve sintetičke populacije (*IG-3* i *IG-4*) koje su nastale iz ovih populacija, Pinto et al. (2003) su zaključili da se genetička varijabilnost smanjila, ali se povećala frekvencija alela za agronomski poželjne osobine. Lu i Bernardo (2001) su ispitivali genetičku distancu između linija koje su se u vreme njihovog istraživanja koristile za stvaranje hibridnih kombinacija i linija koje su ranije korišćene u te svrhe. Primenom 83 *SSR* markera su pokušali da utvrde koliko se smanjila genetička raznovrsnost linija pod uticajem selekcije. Došli su do zaključka da se genetička divergentnost kod novih linija smanjila na nivou gena, ali ne i na nivou populacije. Selekcija je očuvala početnu genetičku varijabilnost, ali ipak autori preporučuju upotrebu egzotične germplazme u dugoročnim programima selekcije. Uticaj recipročne rekurentne selekcije na genetičku divergentnost sintetičkih populacija *Iowa Stiff Stalk Synthetic* i *Iowa Corn Borer Synthetic* su u svom radu pokušali da utvrde Labate et al. (1999). Istražujući 82 *RFLP* lokusa autori su zaključili da se, posle 12 ciklusa recipročne rekurentne selekcije, 30% alela izgubilo, a 10% alela je bilo fiksirano. Oni navode da je veličina populacije važna za održavanje njene genetičke varijabilnosti.

Selekcioneri kukuruza su prepoznali važnost genetičke varijabilnosti početnog materijala za ispoljavanje heterozisa u F_1 generaciji. Proučavanja na molekularnom nivou su potvrdila da je genetička divergentnost u pozitivnoj korelaciji sa heterozisom

(Ajmone-Marsan et al., 1998). U početku su inbred linije selekcionisane iz slobodnooprašujućih sorti i populacija koje su bile adaptirane na određene uslove spoljne sredine. Niska frekvencija gena za poželjne osobine i mali broj elitnih linija koje su nastajale iz takvog materijala dovelo je do toga da se autohtone sorte više nisu koristile kao početni materijal u programima selekcije. Zbog toga se prešlo na stvaranje početnog materijala korišćenjem međulinijskih hibrida koji su bili bolji od sorti, ali ne onoliko koliko se očekivalo. Najveći broj elitnih linija je nastao iz kratkoročnih programa selekcije koji su koristili F_2 populacije uske genetičke osnove. Međutim, njihova frekvencija gena se nije mnogo razlikovala od frekvencije gena u sortama iz kojih su nastale prvobitne linije, pa se njihovo poboljšanje javilo kao imperativ za povećanje mogućnosti dobijanja superiornih linija i hibrida. Istovremeno je nastala ideja o stvaranju sintetičkih populacija koje u sebi sadrže više elitnih linija dobrih agronomskih osobina i kombinacionih vrednosti, kao i stranu, odnosno egzotičnu germplazmu. Metode koje se koriste za očuvanje i povećanje genetičke varijabilnosti početnog materijala sastoje se od hibridizacije adaptiranog materijala, mutagenih tretmana, genetičkog inženjeringa i unošenja germplazme iz drugih (egzotičnih) izvora.

Različita su tumačenja pojma egzotična germplazma. Nelson (1972) upotrebljava izraz “strani kukuruz”, dok Lonnquist (1974) pod egzotičnom germplazmom podrazumeva kukuruz iz bilo kojih drugih regiona. Hallauer (1978) egzotičnu germplazmu definiše kao sve izvore germplazme koji nisu odmah upotrebljivi ili adaptirani za određene programe oplemenjivanja. Po Geadelmann-u (1984) egzotična je svaka germplazma koja sadrži nove, korisne alele kojih nema u adaptiranoj, lokalnoj germplazmi. Postoji nekoliko osnovnih razloga upotrebe egzotične germplazme u oplemenjivačkim programima: onemogućavanje pojave genetičke osetljivosti selekcionog materijala; upotreba novih izvora gena za specifične osobine; bogat izvor novih alela za povećanje genetičke varijabilnosti i heterozisa za prinos zrna i druge kompleksne osobine. Slično ovome, Albrecht i Dudley (1987) smatraju da bi se introdukcijom egzotičnog u adaptirani materijal povećala genetička varijabilnost kao zaštita od nepredviđenih negativnih bioloških i klimatskih faktora, uneli geni za specifične osobine, stvorili izvori poželjnih alela i povećao odgovor na selekciju. Kramer i Ullstrup (1959) su zaključili da egzotična germplazma pruža izvanredne

mogućnosti za proširenje genetičke baze za tolerantnost prema bolestima, ali sa manjom mogućnošću povećanja prinosa.

Pod pretpostavkom da strana germplazma sadrži alele za poželjne osobine, oni nisu pristupačni dok se ne uključe u adaptirani materijal. U kratkoročnim selekcionim programima stvaranja inbred linija egzotična germplazma ne može dati očekivane rezultate (Crossa et al., 1987). Za adaptaciju egzotičnog materijala potrebni su dugoročni programi ciklične selekcije i veći broj rekombinacija kako bi se materijal prvo adaptirao (Lonquist, 1974). Eberhart (1971) je zaključio da je potrebno preko 20 godina da bi strani materijal izgubio prvobitne osobine i prilagodio se za širu upotrebu u programima oplemenjivanja adaptiranog materijala.

Egzotični materijal se ne koristi u velikoj meri u programima selekcije zbog još nekoliko faktora, među kojima su najvažniji dužina vegetacije koja može poništiti bilo kakav napredak u selekciji, vezanost poželjnih i nepoželjnih alela u populaciji (*linkage* ekvilibrijum), kao i nedostatak pouzdane tehnike za odabir superiorne egzotične germplazme. Zbog velikog značaja održavanja i povećanja genetičke varijabilnosti selekcionog materijala i inkorporacije novih alela u lokalni materijal, veoma mnogo je rađeno na problemu adaptacije i korišćenja egzotične germplazme. Brown (1953) je prilikom procene nekoliko tropskih populacija korišćenih u programima oplemenjivanja u umerenom klimatu, zaključio da su *linkage* ekvilibrijum i prisustvo nepoželjnih osobina prepreka inkorporaciji stranog u adaptirani materijal. On predlaže da se takav materijal višestrukim rekombinacijama adaptira na odrađene uslove sredine, a potom uključi u selekciju domaćeg materijala. Albrecht i Dudley (1987) su ispitivali potomstva nastala ukrštanjem dve adaptirane linije sa materijalom koji sadrži 50% strane germplazme i utvrdili da je moguće unošenje stranog materijala bez bitnog smanjenja frekvencije alela poželjnih osobina u adaptiranom materijalu.

Ispitujući uticaj dodatnih rekombinacija na uspešnost adaptacije egzotične germplazme, Hallauer i Miranda (1988) su zaključili da je potrebno najmanje osam godina slobodne oplodnje da bi se smanjio efekat vezanih gena. Dodatne rekombinacije povećavaju aditivnu genetičku varijansu, odnosno nastaje populacija sa širokom genetičkom osnovom. Gerrish (1980) je koristio tehniku povratnog ukrštanja za adaptaciju egzotične germplazme, a Hallauer (1981) je stvarao sintetičke populacije sa

određenim procentom ovakve germplazme da bi dobio materijal pogodan za dalju selekciju. Za razliku od njih, Goodman (1984) smatra da treba raditi sa 100% egzotičnim materijalom koji se prvo mora adaptirati na nove uslove. Upoređujući rezultate povratnog ukrštanja sa adaptiranom germplazmom kod dve kompozitne populacije (*Celaya* i *Celaya x Exotic*), Wellhausen (1965) je dobio povećanje prinosa od 10% po ciklusu i istakao ogroman značaj inkorporacije egzotične germplazme u *Corn Belt* populacije radi povećanja genetičke varijabilnosti.

Udeo egzotične germplazme u adaptiranom materijalu je problem koji su razmatrali mnogi istraživači. Očigledno je da rad sa egzotičnim materijalom zahteva dugoročne programe i veliki broj rekombinacija, povratnih ukrštanja i više godina slobodne oplodnje. I pored toga ne postoji garancija da će novostvoreni, adaptirani materijal doneti nešto novo, osim povećanja genetičke varijabilnosti. U svojim ogledima, Michelini i Hallauer (1993) zaključuju da populacije sa 25% i 50% egzotične germplazme nemaju signifikantne razlike u visini prinosa, ali imaju veću genetičku varijabilnost od adaptiranog materijala. Prilikom ispitivanja četiri populacije sa različitim procentom egzotične germplazme (0%, 25%, 50% i 100%) Albrecht i Dudley (1987) su utvrdili da je populacija sa 25% strane germplazme imala najpoželjniju kombinaciju alela za ispitivane osobine. Do istih zaključaka dolazi i Živanović (1997), koji ispituje uticaj rekurentne selekcije kod populacije sa 25% egzotične germplazme.

Linije dobijene iz materijala koji sadže egzotičnu germplazmu mogu imati različite alele za prinos zrna od adaptiranih linija i stoga mogu poslužiti kao izvor poželjnih alela, što su u svom radu pokazali Tallury i Goodman (1999). Oyervides-Garcia et al. (1985) su ocenjivali elitne meksičke populacije kao donore za *Corn Belt* programe selekcije i severnoameričke populacije kukuruza kao donore za meksičke programe selekcije. U svom ispitivanju su uporedili rezultate osam meksičkih i sedam američkih populacija, kao i njihova ukrštanja, i došli do zaključka da su američke populacije davale veći prinos od meksičkih u svim lokalitetima ispitivanja. Pored toga, ove populacije su imale bolju adaptabilnost i bile su pogodan izvor alela za prinos zrna, dužinu vegetacije i visinu biljke, pa su ih predložili kao pogodan materijal za popravku meksičkih populacija. U svom radu Gutierrez-Gaitan et al. (1986) su pokazali da je za

meksički materijal bolji donor bila *BSSS* populacija u odnosu na *Lancaster* kompozit, dajući visoko kvalitetan materijal za dalju selekciju.

Mnogi istraživači su pokušali da pronađu novi heterotični par koji bi uključivao neadaptiranu germplazmu. Tako su Mungoma i Pollak (1988) ustanovili da je ukrštanje između *BSSS(R)C₁₀* sintetika i *Mexican Dent*-a imalo veći prinos od *Reid x Lancaster* roditeljskog para i zaključili da te populacije mogu biti alternativa najšire korišćenom heterotičnom paru. Ispitujući šest *Corn Belt* populacija, tri jugoslovenske, dve egzotične i dve delimično egzotične populacije, Mišević (1989) je pokušao da pronađe novi heterotični par koji bi po prinosu prevazišao *Reid Yellow Dent x Lancaster Sure Crop*. Na osnovu vrednosti opštih i posebnih kombinacionih sposobnosti autor je zaključio da su aditivni i neaditivni efekti gena bili važni za ispoljavanje prinosa zrna. Dve severnoameričke populacije (*BS11(FR)C₇* i *BSSS(R)C₇*), kao i dve jugoslovenske (*ZPSyn1C₁* i *ZPEP*), su imale najveće vrednosti opštih kombinacionih sposobnosti u ovom istraživanju, što ukazuje na činjenicu da su imale najviše poželjnih alela za prinos zrna. Inbred linije iz jugoslovenskih slobodnooprašujućih populacija se dobro kombinuju sa linijama *Lancaster Sure Crop* osnove, kao i sa linijama iz *Reid Yellow Dent* populacije, što je verovatno posledica različite genetičke osnove i visoke frekvencije alela za poželjne osobine u *Corn Belt* i adaptiranoj jugoslovenskoj germplazmi. Parentoni et al. (2001) su koristili *RAPD* markere u proceni 28 brazilskih populacija i njihovih dialelnih ukrštanja. Molekularne analize su im pružile vrlo upotrebljive podatke o heterotičnim grupama i opštim kombinacionim sposobnostima ispitivanog materijala. Salhuana et al. (1998) su u okviru latinoameričkog projekta kukuruza ocenili oko 12.000 lokalnih populacija kako bi izabrali germplazmu za poboljšanje komercijalnih materijala u Americi. Najbolje rezultate *per se* i u ukrštanjima je pokazao argentinski materijal. Slično njima, Tarter et al. (2003) su ispitali 164 linije koje su nastale iz ukrštanja lokalne linije Mo44 i 23 južnoameričke linije. Pomenute linije su ukrštali sa istim hibridom i prinos zrna i druge agronomske osobine ovih ukrštanja upoređivali sa američkim komercijalnim hibridima. Ni jedno ukrštanje nije prevazišlo komercijalne hibride po prinosu, ali je bilo hibrida koji su imali bolju čvrstinu stabla i nižu vlagu u zrnu. Prema ovim autorima, tropske sorte mogu biti dobar izvor egzotične germplazme za proširenje genetičke osnove materijala umerenog podneblja.

Prema navodima Goodman-a (2004) u periodu od 1984 do 1996 godine udeo egzotičnog materijala u severnoameričkim selekcionim programima je porastao tri puta, ali udeo egzotičnog materijala poreklom iz tropskog pojasa je porastao samo za 0,3%. Autor sugerše povećanje udela tropskog materijala u programima oplemenjivanja, pošto su njegovi rezultati ukazali na nekoliko tropskih populacija koje su u ukrštanju sa adaptiranim materijalom davale visok prinos zrna. Razmatrajući i dalje problem upotrebe egzotične germplazme u oplemenjivačkim programima severne Amerike Goodman (2005) daje lep prikaz kretanja germplazme preko kontinenata. Autor ističe da je mnogo američkog materijala korišćeno za popravku tropskih lokalnih populacija prvenstveno za dužinu vegetacije i otpornost na poleganje i lom stabla. Tako popravljen materijal se sada vraća u severnoameričke programe i doprinosi njihovom poboljšanju i povećanju genetičke raznovrsnosti. Prema ovom autoru svi programi selekcije u razvijenim zemljama su uske genetičke osnove, pa on predlaže upotrebu tropskog materijala koji je ocenio u svom radu. U programima selekcije u umerenom klimatskom pojasu najbrže poboljšanje lokalnog materijala se može postići upotrebom neadaptirane germplazme umerenog klimata (Ron Parra i Hallauer, 1997).

Ukrštanje neadaptiranog i adaptiranog materijala je uobičajena metoda za inkorporaciju, iako neki istraživači zastupaju mišljenje da treba raditi samo sa neadaptiranim materijalom kao izvorom novih linija (Goodman, 2005). Ipak je neophodno uraditi nekoliko rekombinacija, uz blagu selekciju, pre početka intenzivne selekcije. Troyer i Brown (1972) preporučuju 5-10 generacija rekombinacije pre početka selekcije na adaptaciju. *West Indian* kompozit je primer uspešne inkorporacije egzotičnog materijala putem ukrštanja sa *Corn Belt* linijama (Goodman, 1965; Eberhart, 1971). Inbred linija BS16 je dobijena primenom masovne selekcije direktno iz *ETO* kompozita, a populacija BS2 je nastala ukrštanjem ovog kompozita sa šest ranostasnih linija. Upotrebljivost, odnosno kvalitet početnog materijala se najbolje može ocentiti prema broju linija koje se iz njega mogu dobiti (Hallauer, 1985). Ocena neke populacije kao početnog materijala zavisi, prema Dudley-u (1987), od načina na koji će se koristiti. Ako se koristi za poboljšanje linija, onda populacija mora posedovati poželjne alele na lokusima na kojima linija ima „nepoželjne“ alele. U slučaju da se populacija koristi za dobijanje inbred linija, onda treba da ima poželjne alele na što većem broju lokusa.

Metod rekurentne selekcije omogućava male, ali uspješne promene u frekvencijama alela uz održavanje genetičke varijabilnosti. Ovaj metod se uspešno koristi za poboljšavanje kvantitativnih osobina, održavanje i povećanje genetičke varijabilnosti, kao i za inkorporaciju egzotične germplazme u lokalni, adaptirani materijal. Ovo je možda najbolji selekcionni metod za unošenje nove germplazme u selekzione programe, jer dopušta dodatne rekombinacije. Jenkins (1940) i Hull (1945) su prvi predložili modele rekurentne selekcije koji su se razlikovali prema izboru testera za proizvodnju half-sib potomstava, odnosno po tipu genskih efekata na koje deluje selekcionni proces (aditivni ili neaditivni). Metod se zasniva na odabiru individua iz S_1 generacije koje sadrže visoku frekvenciju poželjnih alela. Ukrštanjem ovih genotipova dobija se poboljšana populacija. Izbor se vrši na osnovu rezultata test-ukrštanja ispitivanih genotipova, a zasniva se na opštim i posebnim kombinacionim sposobnostima, zavisno od genetičke konstitucije testera.

Pošto su uvideli upotrebljivost ovog metoda selekcije, istraživači su predlagali i modifikacije, tako da su Comstock et al. (1949) predložili istovremenu popravku dve populacije korišćenjem recipročne rekurentne selekcije, putem koje se istovremeno vrši selekcija na aditivne i neaditivne efekte gena. Metod rekurentne selekcije je pogodan za inkorporaciju egzotične germplazme u lokalne programe selekcije, jer uključuje neophodnu selekciju i rekombinaciju radi adaptacije egzotičnog materijala. Chopra (1964) je, ispitujući adaptiranu i egzotičnu populaciju i njihovo ukrštanje, utvrdio da je aditivna genetička varijansa bila veća kod ukrštanja nego kod roditelja. Na osnovu ovoga je zaključio da je hibridizacija sa egzotičnim materijalom povećala genetičku varijabilnost adaptirane populacije.

Sumirajući rezultate primene različitih metoda rekurentne selekcije Sprague i Eberhart (1976) su ustanovili da se dobit od selekcije kretala između 2% i 4% po ciklusu. Prema njihovim navodima dobit je bila slična nakon masovne i inbred selekcije (delovanje na aditivne efekte gena) i nakon half-sib inbred tester i recipročne rekurentne selekcije (delovanje prvenstveno na neaditivne efekte gena). Kod većine populacija i sorti aditivna varijansa je nešto veća od dominantne, što su u svojim radovima utvrdili Goodman (1965), kao i Hallauer i Wright (1967). Jedino je kod BSSS populacije dominantna varijansa za prinos zrna veća od aditivne.

Iowa Stiff Stalk Synthetic (BSSS) predstavlja prvu sintetičku populaciju, nastalu ranih tridesetih godina XX veka. Ona predstavlja pravi primer dobro odabrane kombinacije roditelja i primene metoda rekurentne selekcije na akumulaciju alela poželjnih osobina. Na njoj je do sada obavljeno mnogo istraživanja kako bi se dokazale razne pretpostavke vezane za selekciju kukuruza. U formiranju ovog sintetika je učestvovalo 14 linija dobijenih iz najrodnije sorte američkog kukuruznog pojasa, *Reid Yellow Dent*-a. Genetička struktura sintetičkih populacija *Iowa Stiff Stalk Synthetic* i *Iowa Corn Borer Synthetic #1* su veoma važne, jer predstavljaju model prema kome su se razvijali moderni hibridi. Ove dve populacije su iskorišćene za započinjanje programa recipročne rekurentne selekcije na Iowa State University 1949. godine.

Koliki napredak je napravljen u ovim populacijama primenom metoda rekurentne selekcije i kakva je bila njihova genetička struktura, pokušali su da utvrde u svom radu Hinze et al. (2005). Oni su ispitivali 86 SSR lokusa kod 28 roditeljskih linija i uzorka od 30 biljaka iz svakog od sedam ciklusa selekcije kod obe populacije. Utvrdili su visoku varijabilnost među roditeljskim linijama, ali se ona smanjivala u svakom sledećem ciklusu rekurentne selekcije. Ipak, u celini, veća genetička varijabilnost je utvrđena između biljaka u okviru ciklusa, nego između ciklusa ili između populacija. Nasuprot njima, Hallauer (1970) je, ispitujući efekat recipročne rekurentne selekcije na genetičku varijabilnost za prinos zrna kod ove dve sintetičke populacije (*BSSS* i *BSCB*), zaključio da su četiri ciklusa selekcije dovela do povećanja prinosa kod *BSSS*, ali smanjenja prinosa kod *BSCB* populacije, uz istovremeno smanjenje genetičke varijabilnosti. Isti autor (Hallauer, 1989) je, istražujući uticaj različitih metoda rekurentne selekcije na poboljšanje osobina populacija, utvrdio da S_1 rekurentna selekcija nije dala očekivane rezultate, pa predlaže da se ovaj vid selekcije koristi u početnim ciklusima, a zatim da se pređe na half-sib inbred tester rekurentnu selekciju. Prema rezultatima istraživanja Smith-a (1983), kao i Oyervidas-Garcia-e et al. (1985), tokom sedam ciklusa half-sib rekurentne selekcije kod *BSSS* populacije došlo je do povećanja frekvencije gena sa aditivnim delovanjem, dok se nakon primene half-sib recipročne rekurentne selekcije povećala frekvencija gena sa dominantnim delovanjem (Helms et al., 1989a, Keeratinijakal i Lamkey, 1993). Uticaj rekurentne selekcije na aditivno delovanje gena u populaciji *BS13* su u svom radu ispitivali Edwards i Lamkey (2003). Autori su sintetičku populaciju *BS13* podelili u podgrupe i nakon istraživanja utvrdili da

genetički drift nije delovao na smanjenje ni ukupne ni aditivne genetičke varijanse, kao što je bilo očekivano.

Poboljšanje srednjih vrednosti osobina kod populacije putem rekurentne selekcije uglavnom ne redukuje njenu genetičku varijabilnost. Malvar et al. (1996) su procenili uticaj genetičkih činilaca na važnije agronomske osobine kod dve populacije kukuruza poreklom sa severa Španije. Ustanovili su veliki udeo aditivne u ukupnoj genetičkoj varijansi za mnoge od ispitivanih osobina. Nasuprot tome, veći udeo dominantne varijanse je bio zapažen kod prinosa zrna, visine biljke, visine i dužine klipa. Ovi rezultati ukazuju na to da većina izvornih populacija iz Španije sadrži nepoželjne alele za važne osobine, pa autori preporučuju poboljšanje takvih populacija pre započinjanja procesa izdvajanja inbred linija putem nekoliko ciklusa full-sib rekurentne selekcije, a zatim nekim od metoda međupopulacijske selekcije.

Pokušavajući da pruži odgovor o upotrebljivosti egzotične germplazme u programima oplemenjivanja kukuruza, Hallauer (1978) prikazuje rezultate primene S_2 rekurentne selekcije kod populacija sa različitim sadržajem egzotične germplazme (*BS16* - 100%, *BS2* - 50%, *BSTL* - 25% i *BSK* - 0%). Cilj S_2 rekurentne selekcije je bio da se odredi relativna genetička varijabilnost populacija sa različitim sadržajem egzotične germplazme, relativni odgovor na selekciju, kao i da se ispita efikasnost primenjenog metoda na stvaranje izvornih populacija. Urađena su tri ciklusa S_2 rekurentne selekcije na tri populacije koje sadrže egzotični materijal. Koeficijent genetičke varijabilnosti je pokazao trend smanjenja idući od *BS16* do *BSK* populacije (56,0% do 16,2%). Iako je prosečan prinos *BSTL* populacije (2,62 t/ha) bio manji za 21% od *BSK* S_2 populacije (3,17 t/ha), koeficijent genetičke varijabilnosti je bio veći za 130% (32,6% u odnosu na 14,2%). Dobijeni podaci su pokazali da egzotična germplazma može povećati genetičku varijabilnost adaptiranog materijala, kao i da je rekurentna selekcija efikasan metod za dalja poboljšanja. Horner et al. (1989) su ispitivali efikasnost half-sib i S_2 rekurentne selekcije kod dve populacije koje sadrže egzotičnu germplazmu. Autori su na osnovu kombinacionih sposobnosti utvrdili da je half-sib rekurentna selekcija (dobit od 4,7% po ciklusu) bila uspešnija od S_2 rekurentne selekcije (dobit od 3,0% po ciklusu) i da je superdominacija važna za ispoljavanje prinosa zrna u ovim populacijama.

Rekurentna selekcija je metod koji se dosta koristi u dugoročnim programima oplemenjivanja za popravku lokalnih populacija na pojedinačne ili grupe osobina, unošenje gena za otpornosti na bolesti i štetočine i poboljšanje kombinacionih sposobnosti populacija. U svojim istraživanjima, Menkir i Kling (2007) su koristili rekurentnu selekciju kako bi poboljšali prinos i otpornost kompozita kukuruza na parazitski korov *S. hermonthica* koji predstavlja veliki problem u zapadnoj Africi. Nakon šest ciklusa selekcije ostvarili su povećanje prinosa zrna od 24% po ciklusu i pokazali efikasnost rekurentne selekcije za povećanje poligenske otpornosti na parazite u tropskim populacijama.

Poslednjih godina se velika pažnja poklanja stvaranju genetičkog materijala kukuruza tolerantnog na sušu. U stvaranju sintetičkih populacija i linija koriste se svi raspoloživi izvori germplazme. Monneveux et al. (2006) su potvrdili pozitivan uticaj rekurentne selekcije na povećanje tolerantnosti prema suši kod dve populacije kukuruza (*DTP1* i *DTP2*). U svojim istraživanjima su koristili tri ciklusa S_1 rekurentne selekcije kod *DTP1* i četiri ciklusa kod *DTP2*. Osobine kod kojih su zabeležili signifikantna poboljšanja su bile: prinos zrna, broj klipova po biljci, interval između metličenja i svilanja i starenje lisne površine pod uticajem vodnog deficita. Zaključili su da u osnovi ovih promena leži mehanizam koji poboljšava ishranu klipa u vreme svilanja na račun rasta metlice i stabljike kukuruza.

U mnogim zemljama se započinju dugoročni selekcionni programi radi pronalaženja novih heterotičnih parova koji bi mogli zameniti široko korišćene parove kao što su *Reid Yellow Dent* x *Lancaster*, *Evropski tvrđunci* x *Corn Belt Dent*. Vales et al. (2001) su ispitivali uticaj rekurentne selekcije na poboljšanje kombinacionih sposobnosti tri španske sintetičke populacije (*EPS6*, *EPS7* i *EPS10*). Pošto su ove populacije imale nizak prinos zrna, istraživači su prvo koristili tri ciklusa međupopulacijske S_1 rekurentne selekcije na prinos zrna. Rezultati su ukazali na to da je nakon ova tri ciklusa selekcije stvoren materijal koji daljom selekcijom može dati novi heterotični par sa poboljšanom opštom i posebnom kombinacionom sposobnošću.

Mnogi istraživači koriste recipročnu rekurentnu selekciju u svojim programima da bi stvorili populacije sa superiornim kombinacionim sposobnostima, uz pretpostavku da takve populacije moraju biti genetički udaljene kako bi selekcija bila efikasna.

Butruille et al. (2004) su izdvojili dve podpopulacije (GGA i GGB) iz slobodnooprašujuće sorte *Golden Glow*. Ove dve podpopulacije su bile uključene u šest ciklusa full-sib recipročne rekurentne selekcije na prinos i sadržaj vlage u zrnju. Autori su uradili SSR analize za ove dve populacije, njihovo ukrštanje, *Golden Glow* populaciju i populaciju koja je nastala iz *Golden Glow*-a nakon 21 ciklusa masovne selekcije na višeklipost. Dobijeni rezultati su pokazali da se recipročnom rekurentnom selekcijom dobio materijal koji je međusobno potpuno genetički divergentan.

Hallauer (1978, 1980) je sumirao diskusije o upotrebljivosti egzotične germplazme za poboljšanje performansi genetičkog materijala u programima oplemenjivanja kukuruza, ističući korišćenje nekoliko godina inbridinga uz blagu selekciju. U ranim generacijama intenzivna selekcija kod materijala koji je nastao ukrštanjem adaptirane i egzotične germplazme može biti bezuspešna, pošto postoji nedostatak poželjnih rekombinacija hromozoma u ukrštanjima ovako divergentnih materijala. Nekoliko generacija slobodne oplodnje, uz blagu selekciju, dozvoljava razmenu alela. Smith (1983) je, radeći na sintetičkim populacijama *BSSS*, *BSCB1* i *BS13*, zaključio da je primena rekurentne selekcije dovela do povećanja prinosa i poboljšanja ostalih važnih karakteristika, ali je efekat genetičkog *drifta* usled smanjene veličine populacije bio evidentan. Hallauer (1989) je primenom rekurentne selekcije uspeo da poveća prinos zrna za 2-4% po ciklusu selekcije u ispitivanim populacijama. Autor je predložio da u početnim ciklusima selekcije intenzitet bude niži (20%), da bi se izbegao genetički *drift*.

Za uspeh programa stvaranja sintetičkih populacija koje će biti izvor novih inbred linija pored izbora selekcionog metoda veoma je važan izbor roditeljskih komponenti. Za izučavanje genetičke varijabilnosti selekcionog materijala, njegove divergentnosti i pripadnosti heterotičnim grupama, selekcioneri mogu koristiti podatke o poreklu linija, metode testiranja ili genetičke markere.

Podaci o poreklu mogu imati niz ograničenja, jer pretpostavljaju podjednak prenos gena od oba roditelja na potomstvo, a zanemaruju promene u frekvenciji gena koje mogu nastati usled selekcije, mutacija, migracija ili genetičkog *drifta*-a. Ovi podaci zanemaruju sličnost između linija koja se može pripisati različitoj proporciji lokusa koji su slični po alelima, ali ne i po poreklu (Messmer et al., 1991).

Metode testiranja podrazumevaju stvaranje hibridnih kombinacija i statističko izračunavanje dobijenih podataka. Osim što je veliki uticaj ekološke varijanse na takve rezultate, ovaj metod je nepraktičan jer zahteva više vremena i sredstava nego upotreba genetičkih markera.

Genetički markeri su veoma efikasni u utvrđivanju genetičke srodnosti i varijabilnosti. Mogu se svrstati u tri grupe: morfološke i biohemijske, koje možemo označiti kao indirektne genetičke markere, dok bi direktni genetički markeri bili molekularni markeri. Morfološki markeri predstavljaju podatke koji se odnose na morfološke i agronomske osobine genotipa. Pošto su ove osobine pod velikim uticajem spoljne sredine, ovi markeri ne mogu biti pouzdani indikatori identifikacije genotipova. Biohemijski markeri se zasnivaju na polimorfizmu proteina kao specifičnih proizvoda gena i mogu ukazati na genetičku specifičnost ispitivanog materijala. Izoenzimi kao različite forme jednog enzima omogućili su identifikaciju preko 90% linija koje su korišćene za proizvodnju komercijalnih hibrida u SAD u periodu od 1960-1989 (Smith, 1989). Ova metoda je uspešno korišćena za određivanje genetičke divergentnosti germplazme kukuruza, karakterizaciju linija i hibrida i ispitivanje genetičke čistoće semena. Njene prednosti se ogledaju kroz mogućnost praćenja genetičke varijabilnosti na specifičnim lokusima, kodominantno nasleđivanje, sama tehnika nije komplikovana i tumačenje rezultata je lako. Nedostaci se ogledaju u tome što se koriste proizvodi specifičnih gena koji ne moraju nužno predstavljati diverzitet genoma, koristi se ograničeni broj lokusa i prate se samo one promene na DNK koje dovode do promene elektroforetske mobilnosti proteina.

Molekularni markeri su fragmenti DNK koji se odlikuju visokim polimorfizmom. Mogu biti deo gena ili nekodirajućeg dela genoma. Molekularni markeri se koriste za detekciju DNK polimorfizma i uvedeni su sa razvojem *RFLP*-a (*Restriction Fragment Length Polymorphism* - polimorfizam dužine restrikcionih fragmenata). Veliki napredak u upotrebi molekularnih markera je nastao otkrićem polimerazne lančane reakcije (*Polymerase Chain Reaction* – *PCR*), tehnike koja omogućava jednostavnu, brzu i jeftinu analizu genoma.

Genetički polimorfizam se posmatra na nivou cele populacije i predstavlja prisustvo dva ili više alela na istom lokusu, pri čemu svaki alel ima odgovarajuću

frekvenciju. Polimorfizam molekularnih markera se zasniva na varijaciji određenih DNK sekvenci u populaciji i može se detektovati na više načina, zavisno od toga da li su metode bazirane na *PCR* tehnici ili ne, da li se koriste nasumični prajmeri ili prajmeri kojima se umnožava poznata sekvenca. Metode koje se zasnivaju na hibridizaciji (ne koristi se *PCR* tehnika) su polimorfizam dužine restrikcionih fragmenata (*Restriction Fragment Length Polymorphism - RFLP*) i promenljivi broj niza ponovaka (*Variable Number of Tandem Repeats - VNTR*).

RFLP tehnika detektuje varijacije u dužini DNK fragmenata dobijenih delovanjem specifičnih restrikcionih enzima endonukleaza koji se hibridizuju sa obeleženim probama (kloniran kratak fragment DNK od 200 – 2.000 baznih parova). Za veću pokrivenost genoma i tačniju karakterizaciju uzorka potrebno je koristiti više restrikcionih enzima i veći broj proba. *RFLP* markeri su našli veliku primenu u molekularnim istraživanjima kukuruza i korišćeni su za karakterizaciju germplazme (Bernardo et al., 2000; Hagdorn et al., 2003), identifikaciju delova genoma na kojima se nalazi određeni gen (Butron et al., 2001), kao i za populaciona proučavanja (Rebourg et al., 1999). *VNTR* metode za merenje DNK polimorfizma koriste hibridizaciju DNK sa probama koje sadrže sekvence mikrosatelita ili minisatelita. U genomu eukariota postoje veoma varijabilni regioni koji se sastoje od velikog broja ponovljenih sekvenci. Ove sekvence (ponovci) najčešće imaju dužinu od 2 – 6 nukleotida (mikrosateliti) ili 10 – 60 baznih parova (minisateliti). Razlike između genotipova uslovljene su različitim brojem kopija ponovaka, odnosno prisustvom različitih alela za dati lokus. Prednosti *VNTR* metode su visoki diskriminacioni potencijal, brzi skrining genoma, odlična ponovljivost, nije potrebno poznavanje sekvence ciljanog genoma i nema zahteva za kloniranjem, a nedostaci se ogledaju u relativno komplikovanom laboratorijskom protokolu i velikoj količini potrebne DNK. Ove metode su dosta korišćene u analizama populacija i za *fingerprinting* biljnih i životinjskih vrsta (Sastry et al., 1995; Weising et al., 1995).

Metode molekularnih markera koje se zasnivaju na lančanoj reakciji polimeraze mogu se podeliti na one koje koriste nasumične prajmere (*RAPD*, *AFLP*) i metode kojima se umnožavaju poznate sekvence (*SSR*).

U prvu grupu se ubraja nasumično umnožena polimorfna DNK (*Random Amplified Polymorphic DNK – RAPD*) koja predstavlja *PCR* reakciju u kojoj su umnožavajući segmenti DNK slučajni. *RAPD* metoda koristi arbitrarne, kratke prajmere (dužine 8 - 12 nukleotida), a veliki problem može da predstavlja njena slaba ponovljivost. Koristi se za analizu genetičke raznovrsnosti individua pomoću nasumičnih prajmera, u ispitivanjima varijabilnosti u kolekcijama germplazme (Virk et al., 1995) i eliminaciju duplikata iz banki gena (Verma et al., 1999), a najviše je korišćena u oplemenjivanju biljaka (Michelmore et al., 1991) i selekciji pomoću markera (*Marker Assisted Selection – MAS*). Osnovni nedostaci ove tehnike su u tome što su gotovo svi *RAPD* markeri dominantni i imaju nizak stepen ponovljivosti, pa se u zadnje vreme ova tehnika ne primenjuje kao samostalna metoda.

Druga metoda koja spada u ovu grupu je polimorfizam dužine umnoženih fragmenata (*Amplified Fragment Length Polymorphism – AFLP*), koji je zasnovan na selektivnom umnožavanju subeta restrikcionih fragmenata iz smeše DNK fragmenata dobijene posle digestije genomske DNK restrikcionim enzimima. Ovi markeri su korišćeni za ispitivanje odnosa između genetičkih distanci i heterozisa za prinos zrna kod hibrida kukuruza (Schrag et al., 2009; Maenhout et al., 2010), kao i za određivanje genetičke sličnosti inbred linija kukuruza (Pejic et al., 1998). Prednosti ove metode su mogućnost generisanja multiplih traka po pojedinačnoj reakciji, kao i to što je brza i ponovljiva, a glavni nedostatak je što je još uvek relativno skupa. *AFLP* markeri se puno koriste prilikom klasifikacije genetičkog materijala u heterotične grupe, što je osnova svakog uspešnog programa oplemenjivanja (Hallauer et al., 1988). Rezultati istraživanja Luberstedt-a et al. (2000) o pripadnosti linija evropskim heterotičnim grupama pomoću *AFLP* markera su pokazali visoko slaganje sa podacima o poreklu ispitivanih linija.

SSR (Simple Sequence Repeats – ponovci jednostavnih sekvenci) ili mikrosateliti su *PCR* markeri koji se koriste za umnožavanje poznatih sekvenci. Mikrosateliti su kratke-sekvence DNK koje se najčešće ponavljaju u nekodirajućem delu genoma nekog organizma. Sastoje se od 2 – 6 nukleotida i mogu se ponavljati od deset do sto puta. Mikrosateliti su locirani po celom genomu eukariota. Funkcionalni značaj ovih sekvenci nije poznat, iako najprihvaćenija hipoteza sugerise da se mogu odnositi na pakovanje i kondenzaciju DNK u hromozomu. Osnova korišćenja mikrosatelita u genetičkim

analizama leži u činjenici da je broj ponovaka individualno različit. Dva različita *PCR* proizvoda mogu biti odvojeni elektroforezom na gelu, pri čemu se određuje njihova dužina. Informativnost *SSR* markera raste sa njihovom dužinom, što se može objasniti višom stopom mutacija kod dužih mikrosatelita (McConell et al., 2007). Posebne prednosti *SSR* analize u proučavanju polimorfizma su visoka informativnost, brojnost ovih markera, nasumičan raspored u genomu, njihova kodominantnost i niska cena analiza, pa upotreba mikrosatelita ima veliki značaj za proučavanje genetike životinja, biljaka i ljudi. Važna prednost upotrebe ovih markera u selekciji biljnih vrsta je što na *SSR* lokuse uglavnom ne utiče sama selekcija, pa daju preciznu sliku o sličnostima i razlikama u populaciji (Cregan et al., 1994).

Korišćenje molekularnih markera u ispitivanju diverziteta, genetičke strukture, genetičke varijabilnosti populacije, vezanosti poželjnih i nepoželjnih alela u populaciji je od velike pomoći prilikom započinjanja nekog selekcionog programa, stvaranja sintetičkih populacija kao početnog materijala i izbora roditelja za tu svrhu. Tumačenje ovih rezultata i njihovo povezivanje sa fenotipskim karakteristikama i predikcijom performansi novonastalih linija i hibrida bi stvorilo novi „alat“, novu metodu i tehniku u oplemenjivanju biljaka. Lanza et al. (1997) su ispitivali 18 linija i njihovih ukrštanja pomoću *RAPD* markera. Koristeći metod glavnih komponenti (*Principal component analysis – PCA*) utvrdili su da je genetička distanca korelirala sa važnim agronomskim osobinama hibrida, kao i sa heterozisom. Za ispitivanje su koristili linije dobijene iz dve sintetičke populacije kukuruza (*BR105* i *BR106*) koje su segregirale u tri grupe, s tim da su se linije dobijene iz populacije *BR106* razdvojile u dve podgrupe. Rezultati njihovog istraživanja ukazuju da se *RAPD* tehnika može koristiti kao alat za utvrđivanje postojeće genetičke varijabilnosti, svrstavanje genotipova u određene grupe, kao i za izbor superiornih genotipova i hibrida, što bi redukovalo broj potencijalnih ukrštanja i fenotipskih ocena u poljskim uslovima.

Promenom u načinu gajenja kulturnih biljaka u svetu, odnosno isključivim gajenjem hibrida kukuruza, mnoge lokalne populacije su izgubljene. Javila se potreba da se lokalni selekциони materijal ispita na molekularnom nivou i svrsta u neku od heterotičnih grupa. Wang et al. (2011) su ispitivali genetički diverzitet, strukturu populacije i *linkage disequilibrium* kod 173 inbred linije koje se koriste u kineskim

programima oplemenjivanja i imaju komercijalni značaj. Za ovu svrhu su koristili 78 SSR markera i *Bayesian* klaster analizu. Uspeli su da ispitivani materijal svrstaju u četiri osnovne grupe: *Lancaster*, *Reid*, *P* i *Tangshipingtou (TSPT)*. U prve tri grupe, koje u sebi sadrže prvenstveno stranu germplazmu, svrstali su 73 linije, u *TSPT* 29 inbred linija, dok su ostale linije predstavljale prelaze između ovih grupa. Izmereni *linkage disequilibrium* u ispitivanom materijalu je bio veći od očekivanog, pa autori upozoravaju na opasnost prilikom budućih mešanja materijala u programima selekcije sa ovim linijama.

Ispitivanje povezanosti genetičkih markera i važnih osobina u radu Zhang-a et al. (2012) je dovelo do otkrića novih alela u ispitivanom materijalu. Autori su analizirali 26 osobina kod 94 inbred linije koristeći 204 SSR markera. Utvrdili su da odabrani materijal predstavlja populaciju sa velikom genetičkom varijabilnošću i *linkage disequilibrium*-om i zaključili da se taj materijal može koristiti za povezivanje SSR markera i fenotipskih karakteristika. Uspeli su da povežu 106 lokusa sa ispitivanim osobinama. Najviše lokusa vezanih za ispitivane osobine, njih 13, su locirali na hromozomu 1. Njihovi rezultati mogu biti od velike koristi u selekcionim programima.

U cilju povećanja genetičke varijabilnosti komercijalnog materijala selekcioneri koriste i stare lokalne populacije. Pomoću 76 SSR markera Romay et al. (2012) su ispitali 10 španskih lokalnih sorti koje su bile podvrgnute recipročnoj rekurentnoj selekciji i ocenili njihovu vrednost za selekciju. Utvrdili su povećanje prinosa zrna, ali uz smanjenje genetičke varijabilnosti. Genetička distanca između populacija se povećala, što ukazuje na to da je genetički drift najviše doprineo ovim promenama, ali autori ne zanemaruju ni uticaj metoda selekcije. Uvođenjem molekularnih markera u širu upotrebu istraživači su počeli da utvrđuju i varijabilnost materijala koji se koristi u programima selekcije. Populacije kukuruznog pojasa Amerike su dosta korišćene u programima selekcije, ne samo u SAD već i u drugim zemljama. U jednom periodu populacije *Corn Belt Dent* i *Southern Dent* su bile izvor mnogih linija. Devedeset i četiri linije iz ove dve populacije su ispitivali Senior et al. (1998) pomoću 70 SSR markera i identifikovali 365 alela pomoću kojih su utvrdili sličnosti i razlike između ove dve populacije. Rezultati SSR analize su se poklapali sa poznatim informacijama o poreklu linija. Klaster analiza je izdvojila ispitivane linije u devet grupa koje su već bile dobro

poznate i odgovarale su najvažnijim heterotičnim grupama. Prema mišljenju autora dovoljno je do pet *SSR* lokusa da bi se dobio jedinstveni *fingerprint* jedne linije.

Pored lokalnih, za povećanje genetičke varijabilnosti se, kao što je navedeno, dosta koristi i egzotična germplazma. Pre inkorporacije u lokalne selekzione programe korisno je oceniti takav materijal i njegovu varijabilnost. Genetička varijabilnost selekcionog materijala umerenog podneblja je dobro proučena, ali varijabilnost tropskog materijala još uvek nije. Laborda et al. (2005) su ocenili genetičku varijabilnost brazilske germplazme kukuruza koristeći 569 *AFLP* i 50 *SSR* markera kod 85 linija kukuruza. Brazilske populacije predstavljaju važan izvor varijabilnosti u programima selekcije. Markeri su otkrili varijabilnost između linija sa velikim stepenom polimorfnosti. Klaster analiza dobijenih rezultata nije uspela da razgraniči linije u određene grupe. Autori su utvrdili da *SSR* markeri daju pouzdanije rezultate od *AFLP* markera i istakli veliku upotrebljivost markera u ispitivanju genetičke varijabilnosti i upotrebljivosti nekog materijala. Choukan i Warburton (2005) navode da je mnogo inbred linija u iranskim selekcionim programima nastalo iz hibrida koji su bili uvezeni u tu zemlju. U svom radu su pokušali da svrstaju taj materijal u heterotične grupe i odrede njegovu varijabilnost. Ispitivanje su obavili na 36 iranskih linija i 2 linije iz *CIMMYT*-a, koristeći 43 *SSR* markera. Rezultati su ukazali na 194 alela sa umerenim nivoom varijabilnosti, ali je utvrđen i izvestan broj jedinstvenih genskih alela. Ovo je ukazalo na činjenicu da se prilikom adaptacije neke strane, egzotične germplazme na lokalne uslove mogu pojaviti i nove kombinacije alela koje daju veću varijabilnost nego što je unosi nova germplazma. Klaster analizom autori su ispitivane linije svrstali u četiri grupe, dok su dve *CIMMYT*-ove linije formirale dva nova, veoma udaljena klastera.

Povezivanje rezultata dobijenih u poljskim ogledima i analiza pomoću molekularnih markera daje sasvim novi pogled na mogućnosti selekcije. Yousef i Juvik (2001) su empirijski uporedili efikasnost selekcije uz pomoć markera (*MAS*) i fenotipske selekcije na ekonomski važne osobine kod kukuruza šećerca. Njihov opšti zaključak je da selekcija uz pomoć markera može ubrzati selekcionu progres za pojedine osobine i da je ona ekonomičnija i efikasnija od fenotipske. Problem obogaćenja izvornog materijala u evropskim programima oplemenjivanja razmatrali su Reif et al. (2010). Oni su u jednom opsežnom eksperimentu ispitali osam inbred linija iz evropskih

heterotičnih grupa zubana i tvrdunaca, 11 američkih linija koje pripadaju *Stiff Stalk* i *non-Stiff Stalk* heterotičnim grupama, jednu *CIMMYT*-ovu liniju, kao i njihova ukrštanja i F_2 generacije. Koristeći 226 SSR markera izvršili su karakterizaciju svih navedenih linija. Ispitujući materijal u tri različita okruženja, na osnovu rezultata poljskih ogleda i laboratorijskih analiza preporučili su inkorporaciju *Stiff Stalk* germplazme u evropske zubane, odnosno *non-Stiff Stalk* germplazme u evropske tvrdunce. Evropska germplazma će svojom adaptiranošću, a američka svojim dobrim kombinacionim sposobnostima dati veoma upotrebljiv selekcionni materijal. Još dalje idu Schrag et al. (2010) koji pokušavaju da predvide prinose hibridnih kombinacija i smanje troškove izvođenja poljskih ogleda. Oni su kombinovali rezultate dobijene analizom pomoću 910 *AFLP* i 256 SSR markera sa rezultatima poljskih ogleda iz ispitivanja 79 inbred linija i 400 hibridnih kombinacija i zaključili da međusobna dopuna ove dve metode može biti veoma korisna za predviđanje osobina budućih hibridnih kombinacija.

U novije vreme se u kratkoročnim selekcionim programima kao izvor novih linija uglavnom koriste F_2 generacije i populacije uske genetičke osnove. Za razliku od njih, u dugoročnim programima se koriste sintetičke populacije i kompoziti. Veoma je važno izabrati pravi selekcionni metod rada sa sintetičkim populacijama i roditeljske komponente za njihovo formiranje. U svom radu sa sintetičkim populacijama i kompozitima Kutka i Smith (2007) su zaključili da je za visokoprinosan sintetik potrebno rekombinovati od 5 do 8 inbred linija, a za kompozit od 3 do 5 slobodnooprašujućih populacija. Takođe, u toku rada je potrebno proveravati genetičku varijabilnost i akumulaciju gena posle određenog broja ciklusa. Labate et al. (1997) su ispitivali genetičku varijabilnost *BSSS* i *BSCB1* sintetika posle 12 ciklusa recipročne rekurentne selekcije i genetičku raznovrsnost njihovih roditelja. U radu su ispitivali 16, odnosno 12 roditeljskih linija i po 100 slučajno odabranih individua iz ovih sintetika koristeći 82 *RFLP* markera. Rezultati su pokazali da su ove dve populacije u početnom ciklusu bile bliske (*Nei* genetička distanca 0,07), ali da su se bitno udaljile posle 12 ciklusa selekcije (*Nei* genetička distanca 0,66). Nivo polimorfizma u obe populacije opao je za 15%, kao i broj alela po lokusu. Slično njima, Hadgorn et al. (2003) su ispitivali genetičku varijabilnost između linija koje su rekombinovane za stvaranje sintetika *BSSS* i *BSCB1* i linija koje su nastale iz ovih sintetika u različitim ciklusima. Cilj je bio da se utvrdi promena u frekvenciji alela, trend njene promene u različitim

cilkusima recipročne rekurentne selekcije i genetička raznovrsnost materijala. U istraživanju je korišćeno 16 roditeljskih linija i 18 potomaka dobijenih iz *BSSS* sintetika, kao i 2 roditelja i 7 potomaka dobijenih iz različitih ciklusa *BSCB1* sintetika. Koristeći 105 *RFLP* markera autori su utvrdili da obe grupe roditelja imaju široku genetsku osnovu koja je međusobno slična, da su se grupe potomaka razišle jedna od druge, da je genetička distanca bila veća između linija iz kasnijih ciklusa selekcije, ali da je varijacija alela kod potomstava iznosila 75% i 67% u odnosu na varijaciju roditelja, redom. U svom radu autori dokazuju pozitivan uticaj recipročne rekurentne selekcije na poboljšanje osobina i važnost izbora roditelja koji poseduju široku genetsku osnovu.

Pored izbora selekcionog modela kojim će se popravljati neka populacija, za ocenu dobijenih rezultata mora se obratiti pažnja i na vrstu molekularnih markera koji će se koristiti, odnosno odabrati metodu koja može dati informativne i ponovljive rezultate. Jones et al. (1997) su napravili poređenja ponovljivosti *RAPD*, *AFLP* i *SSR* analiza u različitim laboratorijama. Dobijena iskustva su bila različita. Rezultati dobijeni *RAPD* metodom nisu se dobro ponavljali u svim laboratorijama, kod *AFLP* se neke razlike nisu dobro uočavale, dok su se kod *SSR* metode rezultati ponavljali u svim laboratorijama sa malim razlikama. Smith et al. (1997) su upoređivali rezultate dobijene *SSR* i *RFLP* analizom. Zaključili su da *SSR* tehnika ima prednosti u pogledu pouzdanosti, ponovljivosti, diskriminacije, standardizacije i ekonomičnosti u odnosu na *RFLP* metodu. Pejic et al. (1998) su u svom radu upoređivali genetičku sličnost materijala koristeći *RFLP*, *RAPD*, *AFLP* i *SSR* metode. I oni ističu najveću pouzdanost rezultata *SSR* metode.

Prilikom ukrštanja adaptiranog sa egzotičnim materijalom ispoljava se heterozis kroz povećanje prinosa zrna i poboljšanje drugih osobina kao rezultat genetičke divergentnosti ukrštenog materijala. Hull (1945) je, pod pretpostavkom da je superdominacija važna za ispoljavanje heterozisa, predložio korišćenje inbred linije kao testera za poboljšavanje populacije i dobijanje superiornih hibrida. Prema nekim rezultatima, „najbolji“ tester bi bio onaj koji je homozigotno recesivan na svim genskim lokusima, a koji istovremeno poboljšava performanse ispitivanog materijala, odnosno ima visoku frekvenciju recesivnih alela na lokusima koji su pod uticajem selekcije u ispitivanoj populaciji (Rowlings i Thompson, 1962; Allison i Curnow, 1966). Horner et

al. (1976) su zaključili da je moguća promena testera u toku selekcionog procesa bez bitnog uticaja na rezultate, pošto superdominacija i epistaza nemaju velikog uticaja na ispoljavanje heterozisa. Slične rezultate istraživanja o važnosti epistaze i superdominacije na ispoljavanje heterozisa iznose Russell et al. (1973), koji su testirali dve populacije (*Alph* i F_2 generaciju iz ukrštanja WF9 x B7) sa linijom B14. Na osnovu prethodnih radova, Russell i Eberhart (1975) i Hallauer (1975) zaključuju da neaditivni efekti gena imaju manji uticaj na heterozis od aditivnih efekata.

Griffing i Lindstrom (1954) navode da hibridi nastali ukrštanjem inbred linija koje sadrže delimično ili potpuno egzotičnu germplazmu, premašuju po prinosu zrna hibride nastale iz adaptiranih izvora. Prema Moll-u et al. (1962) i Wellhausen-u (1965) nivo heterozisa za prinos zrna je bio veći kod genotipova nastalih ukrštanjem varijeteta iz Centralne i Južne Amerike u odnosu na adaptirane genotipove. Moll et al. (1965) su ustanovili da heterozis raste do određene granice sa porastom genetičke divergentnosti. Lanza et al. (1997) su ispitivali genetičku divergentnost 16 inbred linija poreklom iz dve populacije (sintetička populacija *Thai* i kompozit *Brazilian*) metodom *RAPD* analize. Genetička udaljenost ispitivanog materijala je bila u pozitivnoj korelaciji sa ispoljavanjem heterozisa i poboljšanjem performansi važnijih agronomskih osobina dvolinijskih hibrida. Ekstremno divergentni varijeteti, međutim, pokazuju smanjenje heterozisa. Moguće objašnjenjeza ovu pojavu je da su razlike između genetičkih faktora udaljenih varijeteta suviše velike, pa onemogućavaju normalno funkcionisanje fizioloških mehanizama. Sa druge strane, Kramer i Ullstrup (1959), Efron i Everett (1969) i Lonnquist (1974) navode da se heterozis ne ispoljava uvek prilikom ukrštanja adaptiranog sa neadaptiranim materijalom. Stoga je važno, u programima oplemenjivanja izvornih populacija, ustanoviti superiornu egzotičnu germplazmu i najbolji heterotični par.

Hallauer i Malithano (1976) su uključili tri poluegzotična varijeteta (*BS2*, *BSTL* i *Teozea*) u dve dialelne serije ukrštanja sa *Corn Belt* populacijama. Prinos zrna ispitivanih varijeteta je bio na nivou većine adaptiranih populacija. Posmatrajući međupopulacijska ukrštanja, prosečan heterozis za prinos zrna (1,24 t/ha) *Teozea*-e je bio veći od svih izvornih adaptiranih varijeteta. Genetička varijabilnost je bila evidentna kod svih ukrštanja koja su u sebi imala germplazmu *Teozea*-e. Prosečan heterozis

ukrštanja *BSTL* (1,15 t/ha) i *BS2* (1,11 t/ha) sa poboljšanim adaptiranim populacijama je bio približne vrednosti heterozisu adaptiranih varijeteta, koji su bili poboljšani na prinos zrna putem 5 - 7 ciklusa rekurentne selekcije.

Prinos zrna, kao jedna od najkompleksnijih osobina, ima najnižu vrednost heritabilnosti, koja obično ne prelazi 30% (u užem smislu). Način nasleđivanja pojedinih osobina, izražen preko veličine heritabilnosti, predstavlja važan podatak u oplemenjivanju biljaka. Uspeh selekcije direktno zavisi od visine heritabilnosti za pojedine osobine, odnosno od udela genetičke (aditivne) u ukupnoj fenotipskoj varijansi. Sumirajući rezultate 37 radova Hallauer i Miranda (1988) su ustanovili prosečnu heritabilnost za prinos zrna od 19%. Mnogi radovi ukazuju na veću važnost aditivne varijanse od dominantne za ispoljavanje ove osobine. Nasuprot tome, u radovima Shahi i Singh (1985), Gouesnard et al. (1996) i Malvar et al. (1996) dominantna varijansa je bila značajnija za prinos zrna od aditivne. Walters et al. (1991) su utvrdili smanjenje heritabilnosti za prinos zrna nakon sedam ciklusa half-sib rekurentne selekcije i tri ciklusa S_2 selekcije sa 83% ($BSSSC_0$) na 68% ($BS13C_3$), odnosno kod half-sib potomstava sa testerom Mo17 povećanje heritabilnosti sa 66% ($BSSSC_0$) na 78% ($BS13C_3$).

Prema navodima Hallauer-a i Miranda-e (1988) progres pod uticajem selekcije je direktno proporcionalan iskoristljivom delu genetičke varijanse u populaciji, pošto će brzina poboljšanja, odnosno krajnji domet za isti period i intenzitet selekcije biti veći. Rezultati 99 istraživanja sa različitim populacijama kukuruza pokazala su da je odnos aditivne i dominantne varijanse za prinos zrna bio 1,6:1. Po Eberhart-u (1980) genetička dobit od selekcije zavisi od postojeće varijabilnosti u populaciji, visine heritabilnosti ispitivanih osobina, intenziteta selekcije i broja generacija potrebnih za jedan ciklus rekurentne selekcije. Očekivana dobit od selekcije razlikovaće se u odnosu na proučavana potomstva (kovarijanse između srodnika), te se mogu očekivati manje vrednosti za half-sib ($1/4 \delta^2 A$) nego za S_1 ($\delta^2 A$) i S_2 ($3/2 \delta^2 A$) selekciju. Sprague et al. (1959) su, posle primene dva ciklusa half-sib rekurentne selekcije kod dve populacije kukuruza (*Kolkmeier* i *Lancaster*), ustanovili povećanje prinosa zrna od 4,1%, odnosno 13,6% po ciklusu. Primenom half-sib rekurentne selekcije kod kompozitne populacije široke genetičke osnove koristeći dvolinijski hibrid kao tester, Horner et al. (1976) su

utvdili povećanje prinosa zrna za 18% po ciklusu. Moll et al. (1977) su prikazali rezultate ispitivanja dvolinijskih hibrida nastalih ukrštanjem linija iz C_0 i C_6 ciklusa recipročne rekurentne selekcije. Hibridi dobijeni između C_6 linija su imali za 12,8% bolje performanse, dok je varijabilnost bila slična kao kod hibrida između C_0 linija. Compton i Bahadur (1977) su uporedili selekcionarni progres za prinos zrna posle deset, odnosno dva ciklusa modifikovane klip-na-red selekcije za adaptirani varijetet (*Hayes Golden*), odnosno kompozit nastao ukrštanjem *Corn Belt* materijala sa egzotičnom germplazmom (*Exotic* kompozit). Prosečan progres za *Hayes golden* populaciju je iznosio 5,26% po ciklusu, a za *Exotic* kompozit 2,68% po ciklusu. I pored malog broja završenih ciklusa autori zaključuju da se može očekivati povećanje varijabilnosti i progres od selekcije kod *Exotic* kompozita. Goodman (1965) je, prilikom procene genetičke varijabilnosti, ukazao da je *West Indian* kompozit uvek imao veću varijabilnost od *Corn Belt* kompozita. U njegovom istraživanju očekivana dobit za prinos zrna, kroz cikluse selekcije, kod *West Indian* kompozita je bila 15,3%, a kod *Corn Belt* kompozita 9,0%. Hallauer (1989) je upoređivao performanse hibrida B84 x Mo17 sa hibridima B37 x Mo17, odnosno B14 x Mo17, i ustanovio 3,36%, odnosno 4,50% povećanja prinosa po ciklusu half-sib rekurentne selekcije. Husić i sar. (1993) su za half-sib potomstva dve sintetičke populacije (*ZPSYN 99/9*, odnosno *ZPSYN 101/9*) ustanovili genetičku dobit od selekcije od 2,5% i 2,9% po ciklusu, redom (za intenzitet selekcije od 20%) do 3,7% i 4,3% po ciklusu, redom (za intenzitet selekcije od 5%). Husić (1988) je, ispitujući kombinacione sposobnosti inbred linija dobijenih iz različitih ciklusa selekcije *BSSS* sintetika, utvrdio da su hibridi sa linijom B84 bili u proseku rodniiji za 11,30% u odnosu na ostale ispitivane linije.

Prilikom odabira željenih genotipova selekcioneri kukuruza vrše selekciju na više osobina istovremeno, pa je od interesa ustanoviti stepen njihove međuzavisnosti. Prema Falconer-u (1981) glavni uzrok međuzavisnosti osobina je dejstvo plejotropnih i vezanih gena. Direktna selekcija na prinos zrna *per se* je najbolji metod poboljšanja performansi ispitivanog materijala, dok su korelacione promene komponenti prinosa moguće i one mogu pomoći u stvaranju modela genotipa koji ima visok prinos zrna. Indirektna selekcija bi imala prednost nad direktnom u slučaju kada bi osobina preko koje se vrši selekcija imala značajno višu vrednost heritabilnosti od prinosa zrna i kada bi aditivne genetičke korelacije bile visoke (Hallauer i Miranda, 1988). Prema ovim

autorima indirektna selekcija na jednu kompleksnu osobinu, kao što je prinos zrna nije moguća. Povećanje jedne od komponenti prinosa uslovljeno je suprotnim promenama kod druge osobine, pa je najbolje vršiti direktnu selekciju na sam prinos zrna. Hallauer (1968) je, ispitujući genetičku varijabilnost *BSLE* sintetičke populacije, utvrdio najjaču korelacionu zavisnost između visine biljke i visine klipa ($r_g=0,86^{**}$), zatim između prinosa zrna i dužine klipa ($r_g=0,38^{**}$), kao i između prečnika klipa i broja redova zrna ($r_g=0,27^{**}$), dok su srednje jake negativne korelacije nađene između broja redova zrna i mase 1000 zrna ($r_g= - 0,69^{**}$) i između dužine klipa i prečnika klipa ($r_g=- 0,44^{**}$). Hallauer i Miranda (1988) su sumirali rezultate pet istraživanja genetičkih korelacija za osobine biljke i klipa kod *BSSS* populacije i utvrdili najjaču korelacionu zavisnost između prinosa i dubine zrna ($r_g=0,65^{**}$). Slično njima, Mulamba et al. (1983) su ispitivali međuzavisnost važnijih osobina kod *BSK* populacije kukuruza i utvrdili, nakon osam ciklusa S_1 i half-sib rekurentne selekcije, da je povećanje prinosa zrna bilo praćeno smanjenjem visine klipa, broja dana do svilanja, broja pleglih i slomljenih biljaka, a povećanjem broja klipova po biljci i procenta vlage u zrnju. Russell (1985) je ispitivao inbred linije iz različitih ciklusa selekcije *BSSS* sintetika i ustanovio da je povećanje prinosa zrna hibrida sa linijama iz kasnijih ciklusa selekcije bilo u korelaciji sa povećanjem ukupne mase biljke ($r=0,94^{**}$), dužine klipa ($r=0,63^{**}$), mase 300 zrna ($r=0,58^{**}$) i dubine zrna ($r=0,57^{**}$). Ispitujući linije dobijene iz *BS1* populacije Russell i Machado (1978) su utvrdili da je prinos zrna bio u najvećoj korelaciji sa dužinom klipa, brojem klipova po biljci i dubinom zrna. U radu Malvar-a et al. (1996) komponente prinosa (broj redova zrna, dužina klipa i težina zrna) su pokazale nisku međuzavisnost, pa autori ne preporučuju indirektnu selekciju na prinos zrna preko navedenih komponenti prinosa. Analiza glavnih komponentata (*Principal component analysis – PCA*) je efikasan metod za smanjivanje seta podataka, kako bi se ukupna varijansa originalnih podataka svela na varijansu manjeg broja nekoreliranih novodobijenih varijabli. Metod omogućava vizuelnu ocenu razlika između genotipova i identifikovanje potencijalnih grupa. Redukcija seta podataka postiže se linearnom transformacijom originalnih u novi set nekoreliranih varijabli, koje se nazivaju glavnim komponentama. Prva osa (*PC 1*) obuhvata najveći deo varijabilnosti sadržane u originalnom setu podataka u odnosu na ostale ose, dok druga osa (*PC 2*) objašnjava najveći deo varijabilnosti koja nije sadržana u *PC 1* (Mohammadi i Prasanna, 2003).

4. RADNA HIPOTEZA

U istraživanju se polazi od pretpostavke da je stvaranje i korišćenje sintetičkih populacija kukuruza za selekciju dobar način povećanja genetičke varijabilnosti selekcionog materijala. Primenom nekog od metoda rekurentne selekcije može se postići očuvanje varijabilnosti i akumulacija poželjnih alela u dugoročnom programu oplemenjivanja. Osnovne hipoteze od kojih se polazi su:

- stvaranjem sintetičkih populacija od odabranih roditeljskih komponenata postignuta je veća akumulacija poželjnih alela za agronomski važne osobine u odnosu na pojedinačne roditeljske inbred linije,
- stvaranjem sintetičkih populacija dobijena je veća genetička varijabilnost materijala,
- stvaranjem sintetičkih populacija poboljšane su srednje vrednosti ispitivanih osobina.

5. MATERIJAL I METOD RADA

5.1. Genetički materijal

Za ovo istraživanje odabrane su dve sintetičke populacije kukuruza (*Zea mays* L.) nastale u dugoročnom programu oplemenjivanja u Institutu za kukuruz Zemun Polje. Osim ove dve populacije, u istraživanje su uključene i njihove roditeljske komponente, potomstva koja su nastala iz ovih populacija nakon prvog ciklusa S_1 rekurentne selekcije, kao i sintetička populacija nastala rekombinacijom dve navedene populacije.

Sintetička populacija pod nazivom *Syn ZP* nastala je rekombinacijom inbred linija koje vode poreklo iz domaćih sorti sa Zapadnog Balkana. U stvaranju ove populacije učestvovala su sledeće linije: V395, R348, R59, Š144, i2/29, i32/1157, i171, i172/16-3, i172/348-142. Poreklo ovih linija je poznato. Linija V395 je selekcionisana iz sorte *Vukovarski zuban*, linije R348 i R59 su nastale iz sorte *Rumski zuban*, a linija Š144 iz sorte *Šidski zuban*. Linije i2/29 i i32/1157 su nastale iz sorte *Istarski krupnozrni zuban*, s tim što je linija i2/29 nastala direktno iz ove sorte, dok je linija i32/1157 nastala reselekcijom iz ukrštanja istarske linije sa linijama W32 i B1157. Linije i171, i172/16-3 i i172/348-142 su nastale iz istarske sorte zubana koja je označena kao *Broj 17*, i to i171 kao prvi klip (17/1), a i172 kao drugi klip (17/2), s tim što je linija i172/348-142 nastala reselekcijom iz ukrštanja linije i172 sa R348. Izvršeno je dialelno ukrštanje ovih linija, bez recipročnih, da bi se formirao sintetik *Syn ZP*, koji bi u našim istraživanjima trebalo da predstavlja domaću germplazmu. Originalna linija i171 je, nažalost, izgubljena, pa smo za ovo istraživanje koristili liniju i171/37-121 koja je nastala reselekcijom iz ukrštanja linije i171 i američke linije B37 (poreklom iz trećeg ciklusa sintetičke populacije *Iowa Stiff Stalk Synthetic - BSSS*). Sintetik *Syn ZP* je prošao nekoliko ciklusa rekombinacija.

Sintetička populacija pod nazivom *Syn ZP/USA* je nastala iz dialelnog ukrštanja domaćih linija sa američkom linijom B37 poreklom iz *Iowa Stiff Stalk Synthetic-a*. I ovaj sintetik je prošao nekoliko ciklusa rekombinacija. Iz obe sintetičke populacije je,

posle jednog ciklusa S_1 rekurentne selekcije, na osnovu ocene fenotipa odabran izvestan broj linija i doveden do homozigotnog stanja.

Sintetička populacija pod nazivom *Syn FS* je nastala kontrolisanim ukrštanjem *Syn ZP* i *Syn ZP/USA* na sledeći način: posejano je po 400 biljaka od svakog sintetika u dva odvojena bloka. Prilikom ukrštanja prenošen je polen sa jedne biljke jednog sintetika na jednu biljku drugog sintetika i obrnuto. Pri tom je vršeno zakidanje metlice na biljci sa koje je uzet polen, tako da ta biljka više nije mogla poslužiti kao donor polena. Naredne godine je od svakog ukrštanja uzet podjednak broj zrna i napravljena je smeša koja je posejana u dva bloka od po 400 biljaka. Rekombinacija je vršena tako što je uzimana smeša polena sa deset biljaka iz jednog bloka i oprašivano po deset klipova u drugom bloku. Sintetik *FS* je prošao dva ciklusa rekombinacije. Prilikom stvaranja ove sintetičke populacije namera je bila da se ispita da li dodatne rekombinacije ukrštanja početne dve populacije dovode do povećanja varijabilnosti i poboljšanja osobina.

5.2. Parametri poljskih ogleda

Da bi se dobio materijal za ogled izvršena je samooplodnja oko 300 biljaka u sva tri sintetika i odabrane su po 92 S_1 familije. Ogled sa njima je postavljen po *Nested* dizajnu (nepotpuni blok dizajn sa ponavljanjima u okviru bloka, Cochran i Cox, 1957) u dve lokacije i dve godine (Zemun Polje i Pančevo u prvoj, i Zemun Polje i Bečej u drugoj godini). Postavljena su tri nezavisna ogleda, za svaki sintetik posebno. Odabrane S_1 familije iz svakog sintetika su bile raspoređene u po 4 seta (svaki set sa po 23 familije), po dva ponavljanja u okviru seta i 40 biljaka po ponavljanju po familiji, i posejane u dvorede parcelice čija je površina bila 6,44 m². Ukupna gustina useva iznosila je 63.400 biljaka po hektaru. Pri izvođenju ogleda primenjena je standardna agrotehnika za gajenje kukuruza.

Proučavane su sledeće osobine:

1. Prinos zrna sa 14% vlage izražen u t/ha,
2. Sadržaj vlage u zrnu prilikom berbe (%),
3. Visina biljke od površine zemlje do vrha metlice (cm),

4. Visina klipa od površine zemlje do nodusa koji nosi gornji klip (cm),
5. Ukupan broj listova,
6. Broj listova iznad gornjeg klipa,
7. Dužina klipa (cm),
8. Broj redova zrna na klipu,
9. Broj zrna u redu,
10. Masa 1000 zrna (g).

Prinos zrna je meren po elementarnoj parcelici, a ostale osobine na po 20 slučajno odabranih kompetitivnih biljaka sa svake parcelice. Za sva izračunavanja uziman je prosek merenja po parcelici.

Drugi deo ovog istraživanja činio je ogled sa inbred linijama koje su učestvovale u stvaranju sintetika, inbred linijama koje su dobijene iz sintetika *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*, kao i svim trima sintetičkim populacijama *per se*. Svrha je bila da se ustanove eventualna poboljšanja osobina u linijama potomstvima sintetika. Ogled je bio postavljen po dizajnu potpuno slučajnog blok sistema (*RCBD*) na četiri lokaliteta, u dva ponavljanja, sa dvoredom elementarnom parcelom površine 6,44 m². Gustina useva je iznosila 63.400 biljaka po hektaru. U ovom ogledu merene su iste osobine kao i u ogledu po *Nested* dizajnu. Pri izvođenju ogleda primenjena je uobičajena agrotehnika za gajenje kukuruza.

Materijal koji se ispitivao u ogledima po *Nested* dizajnu sastojao se od:

- 92 S₁ familije sintetičke populacije *Syn ZP*,
- 92 S₁ familije sintetičke populacije *Syn ZP/USA*,
- 92 S₁ familije sintetičke populacije *Syn FS*.

Materijal koji se ispitivao u ogledu po *RCB* dizajnu sastojao se od:

- 10 roditeljskih linija,
- 3 sintetika *per se*,
- 5 linija potomaka *Syn ZP*,
- 6 linija potomaka *Syn ZP/USA*.

Od molekularnih analiza urađeni su *SSR* markeri za utvrđivanje srodnosti i varijabilnosti eksperimentalnog materijala. Za obradu ovih rezultata korišćen je *NTSYS pc 2.1* statistički programski paket.

Statističkom analizom obuhvaćene su: srednje vrednosti osobina, analiza varijanse i korelacione analize za oba tipa ogleda, heritabilnost u širem smislu, genetička dobit od selekcije, funkcionalna analiza između promenljivih i analiza glavnih komponenti (*Principal Component Analysis - PCA*) za oglede po *Nested* dizajnu.

5.3. Statistička obrada rezultata poljskih ogleda

Statističko-biometrijska obrada podataka predviđena u ovom radu sastojala se od sledećih parametara:

Srednja vrednost za pojedine osobine ($\bar{X}$) i odgovarajuće **standardne greške** ($SE_{\bar{x}}$)

$$\bar{X} = \frac{\sum X_n}{n}$$

$$SE_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{MS_2}{fsl}}$$

gde je:

MS_2 sredina kvadrata genotipova iz analize varijanse (tab. 1.)

n	ukupan broj posmatranja ($r \times l \times f \times s$)
r	broj ponavljanja
l	broj lokacija
f	broj familija u okviru seta
s	broj setova

Za ispitivane osobine urađena je:

Analiza varijanse po *Nested* dizajnu – random model, pri čemu su očekivane sredine kvadrata (MS) prikazane u tabeli 1 (Hallauer i Miranda, 1988).

Analiza varijanse po *RCB* (*Randomized Complete Block*) dizajnu,

Analiza kovarijanse po *Nested* dizajnu – random model, očekivane vrednosti sredine proizvoda (MP) su analogne sredinama kvadrata (MS) iz analize varijanse (Hallauer i Miranda, 1988).

Na osnovu dobijenih vrednosti sredina kvadrata iz analize varijanse i njihovim izjednačavanjem sa očekivanim sredinama kvadrata urađen je F -test (tab. 1). S obzirom da se vrednost F -testa za setove dobija iz odnosa zbira sredina kvadrata odgovarajućih izvora variranja (tzv. Pseudo F -test), stepeni slobode se računaju po formulama koje je dao Satterthwaite 1946 (Hallauer i Miranda, 1988).

$$n_1^* \approx \frac{(MS_6 + MS_3)^2}{\frac{(MS_6)^2}{s-1} + \frac{(MS_3)^2}{s(f-1)}}$$

$$n_2^* \approx \frac{(MS_5 + MS_2)^2}{\frac{(MS_5)^2}{(l-1)(s-1)} + \frac{(MS_2)^2}{s(l-1)(f-1)}}$$

*-izračunate vrednosti za n_1 i n_2 se zaokružuju na ceo broj.

Poređenje srednjih vrednosti između različitih ogleda vrši se primenom **t**, odnosno **t' testa**, zavisno da li su varijanse homogene ili ne.

$$\frac{\sigma_{fl/s}^2(veca)}{\sigma_{fl/s}^2(manja)} = F_i$$

za broj stepeni slobode d.f. = $f \times s \times l$.

Ako je:

1) $F_i < F_{0.05}$ **varijanse su homogene** ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) i poređenje se vrši **t-testom** po formuli:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{2\sigma^2}{n}}}$$

gde je:

$$\sigma^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot \sigma_1^2 + (n_2 - 1) \cdot \sigma_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

2) $F_i > F_{0.05}$ **varijanse nisu homogene** ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) i poređenje se vrši **t'-testom** po formuli:

$$t' = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

za broj stepeni slobode:

$$d.f. = \frac{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} \right)^2}{(n_1 - 1)} + \frac{\left(\frac{\sigma_2^2}{n_2} \right)^2}{(n_2 - 1)}}$$

gde su: $\bar{X}_1, \bar{X}_2$ - prosečne vrednosti osobine iz dva oglada

σ_1^2, σ_2^2 - $MS_{fam \times lok/set}$ (MS_2 iz analize varijanse)

n_1, n_2 - ukupni broj familija ($f \times s$)

Na osnovu vrednosti sredina kvadrata iz analize varijanse izračunati su sledeći genetički parametri:

Genetička varijansa (σ_g^2) (tab. 2):

$$\sigma_g^2 = \frac{MS_3 - MS_2}{r \cdot l}$$

gde su:

MS_2, MS_3 odgovarajuće sredine kvadrata iz analize varijanse

r broj ponavljanja

l broj lokacija

Standardna greška genetičke varijanse ($SE \sigma_g^2$), prema parametrima iz analize varijanse:

$$SE\sigma_g^2 = \sqrt{\frac{2}{r^2 \cdot l^2} \left[\frac{(MS_3)^2}{s(f-1)+2} + \frac{(MS_2)^2}{s(f-1)(l-1)+2} \right]}$$

gde je:

f - broj familija u okviru seta

s - broj setova

l - broj lokacija

Vrednosti genetičke varijanse su značajne ako su veće od dve svoje standardne greške (Falconer, 1960; 1989).

Fenotipska varijansa (σ_f^2) predstavlja zbir genetičke i ekološke varijanse:

$$\sigma_f^2 = \frac{MS_3 - MS_2}{r \cdot l} + \frac{MS_2 - MS_1}{r \cdot l} + \frac{MS_1}{r \cdot l} = \sigma_g^2 + \frac{\sigma_{gl}^2}{l} + \frac{\sigma_e^2}{rl}$$

Standardna greška fenotipske varijanse ($SE\sigma_f^2$) izračunata je na bazi komponenta fenotipske varijanse, po obrascu:

$$SE\sigma_f^2 = \sqrt{\frac{2}{r^2 \cdot l^2} \left[\frac{(MS_3)^2}{df + 2} + \frac{2(MS_2)^2}{df + 2} + \frac{2(MS_1)^2}{df + 2} \right]}$$

Za poređenje genetičkih, odnosno fenotipskih varijansi između različitih ogleda primenjuje se Hartley test (1955) na sledeći način:

$$F = \frac{\sigma_{g(f)}^2(veca)}{\sigma_{g(f)}^2(manja)}$$

za d.f.: $n_1 = f \times s$ (veće varijanse)

$n_2 = f \times s$ (manje varijanse)

Koeficijenti genetičke (CV_g), odnosno fenotipske varijacije (CV_f), kao relativni pokazatelji variranja osobina (%) računaju se po formulama:

$$CV_g = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}} \cdot 100$$

$$CV_f = \frac{\sqrt{\sigma_f^2}}{\bar{X}} \cdot 100$$

Heritabilnost u širem smislu (h^2):

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2} \cdot 100$$

Standardna greška heritabilnosti (SE_{h^2}):

$$SE_{h^2} = \frac{SE \sigma_g^2}{\sigma_f^2}$$

Vrednosti heritabilnosti su značajne ako su veće od dve svoje standardne greške (Falconer, 1960; 1989).

Genetička (COV_g) i fenotipska (COV_f) kovarijansa izračunavaju se analognim postupkom kao i odgovarajuće varijanse, uz korišćenje odgovarajućih sredina proizvoda (MP) iz analize kovarijanse.

Koeficijenti genetičkih (r_g) i fenotipskih (r_f) korelacija, kao pokazatelji stepena zavisnosti i međuzavisnosti ispitivanih osobina, računaju se na bazi odnosa zajedničkog variranja i proizvoda pojedinačnih variranja osobina:

$$r_{g_{xy}} = \frac{COV_{g_{xy}}}{\sqrt{\sigma_{g_x}^2 \sigma_{g_y}^2}}$$

$$r_{f_{xy}} = \frac{COV_{f_{xy}}}{\sqrt{\sigma_{f_x}^2 \sigma_{f_y}^2}}$$

Za ocenu jačine korelacija korišćena je sledeća skala:

0,00 – 0,30 slaba korelacija

0,31 – 0,60 srednje jaka korelacija

0,61 – 0,99 jaka korelacija.

Standardna greška koeficijenata korelacije ($SE_{r_g}; SE_{r_f}$) računa se iz relacija (Falconer, 1989):

$$SE_{r_g} = \frac{1 - r_{g_{xy}}}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{SE_{h_x^2} SE_{h_y^2}}{h_x^2 \cdot h_y^2}}$$

$$SE_{r_f} = \frac{1 - r_{f_{xy}}}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{SE_{h_x^2} SE_{h_y^2}}{h_x^2 \cdot h_y^2}}$$

Testiranje značajnosti koeficijenata korelacije vrši se putem **t-testa**:

$$t = \frac{r_{g_{xy}}}{SE_{r_g}}$$

$$t = \frac{r_{f_{xy}}}{SE_{r_f}}$$

za: $n-2$ stepeni slobode (gde je n broj genotipova – $f \times s$)

Genetička dobit od selekcije (ΔG), kao pokazatelj uspeha primenjenih metoda selekcije, izračunava se po formuli (Sprague i Eberhart, 1976):

$$\Delta G = \frac{c \cdot k \cdot \sigma_g^2}{y \cdot \sigma_f}$$

gde je:

ΔG - genetička dobit,

c - koeficijent kontrole roditelja (za selekciju familija, gde se preko potomstva kontrolišu oba roditelja, $c=1$),

k - standardizovani selekcionni diferencijal,

y - broj godina potrebnih za jedan ciklus selekcije,

σ_g^2 - genetička varijansa,

σ_f^2 - fenotipska varijansa:

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_{gl}^2}{l} + \frac{\sigma_E^2}{r \cdot l}}$$

gde je:

σ_E^2 - eksperimentalna greška,

σ_{gl}^2 - $g \times l$ interakcija genotipa sa spoljnom sredinom,

σ_g^2 - genetička varijansa,

l - broj lokacija,

r - broj ponavljanja

Stepen zavisnosti između ispitivanih osobina kod roditeljskih linija, sintetičkih populacija *per se* i linija potomstava dobijen je izračunavanjem **koeficijenata linearne korelacije (r)**, prema formuli:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{sr})(y_i - y_{sr})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{sr})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{sr})^2}}$$

gde je: x_i – vrednost nezavisno promenljive osobine,

y_i – vrednost zavisno promenljive osobine

Za testiranje značajnosti koeficijenata korelacije korišćena je standardna greška koja se izračunata po formuli:

$$s_r = \frac{1}{\sqrt{n-1}}$$

koeficijent korelacije se deli sa standardnom greškom:

$$z = \frac{r}{s_r}$$

dobijena vrednost se upoređuje sa kritičnom vrednosti iz tablica normalne distribucije za odgovarajući prag značajnosti i nulta hipoteza se prihvata ako je izračunata vrednost manja od tablične vrednosti i obrnuto.

Za ocenu jačine korelacija korišćena je sledeća skala:

0,00 – 0,30 slaba korelacija

0,31 – 0,60 srednje jaka korelacija

0,61 – 0,99 jaka korelacija.

Analiza glavnih komponenta (*Principal Component Analysis - PCA*) je multivarijaciona ordinaciona tehnika čiji je osnovni zadatak smanjenje višedimenzionalne prirode matrica podataka. Glavne komponente su ortogonalne sintetičke promenljive koje sadrže u sebi linearne kombinacije originalnih promenljivih čiji se značaj u datim glavnim komponentama meri pomoću opterećenja, odnosno glavnim komponentama. Ukupan broj glavnih komponenti jednak je ukupnom broju originalnih promenljivih.

Algebarska osnova *PCA* tehnike je istovetna osnovama *AMMI* modela. Osnovna razlika je u predtretiranju matrice podataka i mernoj skali polaznih promenljivih. U opštem slučaju, matrica X je definisana sa n genotipova i p agronomskih osobina ima sledeći oblik:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$$

Efekat različitih jedinica merenja je uklonjen primenom standardizacije na osnovu sledeće formule: $\hat{x}_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$, gde je $\hat{x}_i$ - standardizovana vrednost i -tog genotipa; $\bar{x}$ - srednja vrednost agronomске osobina i σ - standardna devijacija osobine.

Primena *SVD* metoda na standardizovanu matricu X daje tri produktne matrice: A , Λ i B' , gde je A matrica $n \times r$ ranga, Λ je dijagonalna matrica $r \times r$ dimenzije i B je matrica velicine $r \times p$. Kako su matrice A i B ortogonalne važi da je $A'A = I$ i $B'B = I$. Kolona p matrice B' sadrži svojstvene vektore matrice $X'X$, a dijagonala matrice Λ sadrži odgovarajuće svojstvene vrednosti matrice $X'X$, odnosno vrednosti ukupne varijanse standardizovane matrice podataka raspodeljene po glavnim komponentama.

Produkti *SVD* dekompozicije matrice X najčešće se prikazuju u formi biplota (Gower i Hand, 1996). Pošto je najveći broj dobijenih glavnih komponenti opterećen nestrukturnim delom varijacije podataka odnosno „šumom“, za grafički prikaz rezultata *PCA* tehnike uobičajeno se koriste prve dve glavne komponente. Interpretacija grafičkog prikaza sledi geometrijske principe biplota (Kroonenberg, 1995).

Tabela 1. ANOVA *Nested* dizajna i očekivane sredine kvadrata (random model)

Izvori varijacija	Stepeni slobode (df)	Sredina kvadrata	Očekivane sredine kvadrata	F vrednost
Lokalitet	l-1	MS ₇	$\sigma_e^2 + r\sigma_{fl/s}^2 + f\sigma_{r/s/l}^2 + rf\sigma_{ls}^2 + rfs\sigma_l^2$	MS ₇ /MS ₅
Set	s-1	MS ₆	$\sigma_e^2 + r\sigma_{fl/s}^2 + rl\sigma_{f/s}^2 + f\sigma_{r/s/l}^2 + rf\sigma_{ls}^2 + rfs\sigma_l^2$	MS ₆ +MS ₃ /MS ₅ +MS ₂
Lokalitet x set	(l-1) (s-1)	MS ₅	$\sigma_e^2 + r\sigma_{fl/s}^2 + f\sigma_{f/s/l}^2 + rf\sigma_{ls}^2$	MS ₅ /MS ₂
Ponavljjanje/set./lok.	ls (r-1)	MS ₄	$\sigma_e^2 + f\sigma_{r/s/l}^2$	MS ₄ /MS ₁
Familija/set.	s (f-1)	MS ₃	$\sigma_e^2 + r\sigma_{fl/s}^2 + rl\sigma_{fs}^2$	MS ₃ /MS ₂
Familija x lok./set.	s (f-1) (l-1)	MS ₂	$\sigma_e^2 + r\sigma_{fl/s}^2$	MS ₂ /MS ₁
Pogreška	ls (r-1) (f-1)	MS ₁	σ_e^2	
Total	rslf-1			

l - lokacija r - ponavljanja u okviru seta s - setovi

5.4. Karakterizacija genotipova kukuruza molekularnim markerima

5.4.1. Ekstrakcija genomske DNK iz zrna kukuruza za SSR analizu

Genomska DNK je izolovana iz semena linija (po pet zrna) i semena sintetika (po 30 zrna) u uređaju za mlevenje (mlin za simultano mlevenje pojedinačnog zrna – *Kataskapt*) u trajanju od tri minuta. Brašno dobijeno mlevenjem zrna sjedinjeno je u jedan grupni uzorak.

Ekstrakcija DNK je urađena prema protokolu Rogers-a i Bendich-a (1988):

Po 200 mg brašna svakog uzorka je prebačeno u ependorf tube. U svaki uzorak dodato je $2 \times$ CTAB pufera (2% CTAB; 1% PVP; 100 mM TRIS, pH 8,0; 20 mM EDTA, pH 8,0; 1,4 M NaCl) u odnosu tkivo : pufer 1:1 i $1 \times$ CTAB pufera (dva puta razblažen $2 \times$ CTAB pufer) u odnosu tkivo : pufer 1:2. Oba pufera su prethodno zagrejana na 65°C. Tkivo sa puferom je homogenizovano staklenim štapićem i inkubirano u vodenom kupatilu na 65°C, 30 minuta. Nakon inkubacije dodata je jedna zapremina mešavine hloroforma i izoamil alkohola u odnosu 24:1 radi denaturacije proteina i sadržaj tuba je lagano mešan do dobijanja emulzije. Uzorci su zatim centrifugirani 2 minuta na 12.000 rpm (na +4°C). Nakon centrifugiranja gornja, vodena faza je prebačena u novu ependorf tubu, a donja, hloroform faza odbačena. U uzorke je zatim dodata 1/10 zapremine (gornja faza) 10% CTAB (10% CTAB; 0,7 M NaCl) prethodno zagrejanog u vodenom kupatilu na 65°C. Zatim je dodata jedna zapremina (zapremina gornje faze i 10% CTAB pufera) mešavine hloroforma i izoamil alkohola (24:1) i sadržaj tuba je lagano mešan do dobijanja emulzije. Uzorci su zatim centrifugirani 2 minuta na 12.000 rpm (na +4°C). Nakon centrifugiranja gornja faza je prebačena u novu ependorf tubu, a donja faza odbačena. U uzorke je zatim dodata jedna zapremina pufera za precipitaciju (1% CTAB; 50 mM TRIS, pH 8,0; 10 mM EDTA, pH 8,0). Uzorci su inkubirani na sobnoj temperaturi 20 minuta da bi se istaložila DNK. Nakon precipitacije izvršeno je centrifugiranje 2 minuta na 12.000 rpm na +4°C. Gornja faza je odbačena, a talog inkubiran u „high-salt” TE puferu (10 mM TRIS, pH 8,0; 1 mM EDTA, pH 8,0; 1 M NaCl) na 65°C, 10 minuta. Nakon inkubacije dodate su dve zapremine 96% etanola, zatim je sadržaj ependorf tuba lagano promešan i ostavljen u zamrzivaču 30 minuta na -20 °C. Uzorci su potom centrifugirani 15 minuta na 12.000 rpm (na +4 °C). Nakon centrifugiranja sva tečnost je odlivena, a talog ispiran u 1

mL hladnog 75% etanola. Onda je izvršeno centrifugiranje 5 minuta na 12.000 rpm na +4 °C. Nakon centrifugiranja gornja faza je odbačena. Talog DNK je sušen na vazduhu 30 minuta, a zatim rastvoren u 30 μ L 0,1 $\times$ TE pufera (1 mM TRIS, pH 8,0; 0,1 mM EDTA, pH 8,0) i tako dobijeni uzorci DNK su čuvani na -20°C.

5.4.2. Određivanje koncentracije i kvaliteta DNK

Koncentracija i kvalitet DNK su određeni spektrofotometrijski (spektrofotometar Shimadzu UV-1601). Uzorak je razblažen u 0,1 $\times$ TE puferu 1.000 puta i merena je apsorbancija na talasnim dužinama $\lambda=230$, $\lambda=260$ i $\lambda=280$.

Koncentracija DNK se izračunava po formuli:

$$\text{conc.}(\mu\text{g}/\mu\text{L}) = OD_{260} \times R \times 50 / 1.000$$

gde je:

OD_{260} – apsorbancija na talasnoj dužini $\lambda=260$;

R – razblaženje uzorka;

50 – koncentracija 50 μ g/ μ L koja ima apsorbancu $OD=1$

Čistoća uzorka je proverena na osnovu odnosa apsorbanci A_{260}/A_{280} i A_{260}/A_{230} . Molekuli DNK apsorbuju svetlost na 260 nm, proteini na 280 nm, a fenoli na 230 nm, pa je odstupanje odnosa od opsega 1,8-2,0 u prvom i odstupanje odnosa od opsega 1,8-2,2 u drugom slučaju ukazivalo na prisustvo nečistoća u uzorku. Ukoliko su izmereni odnosi bili u okviru navedenih, DNK je bila dovoljno čista za marker analizu.

5.4.3. SSR analiza

Marker analiza je urađena po metodi Edwards-a et al. (1991) korišćenjem 23 para SSR prajmera. Podaci o markerima prikazani su u tabeli 2. Informacije o poziciji na hromozomu (*bin*), dužini ponovaka i sekvencama preuzete su iz baze podataka – *Maize Genetics and Genomics Database (MaizeGDB)*.

PCR umnožavanje je rađeno u 25 μ L reakcione smeše (*TProfessional Standard 96 thermocycler, Biometra*). Koncentracija razblažene DNK je iznosila 50 ng/ μ L. Smeša za PCR reakciju sastojala se od komercijalnog pufera, 0,8 mM *dNTP*-ova, 0,5 μ M prajmera (*forward* i *reverse*), 1U *Taq* polimeraze, 150 ng/ μ L DNK uzorka i sterilne vode kojom se smeša dopunjuje do finalne zapremine.

Reakcija je izvedena po sledećem protokolu: inicijalna denaturacija na 95°C u trajanju od 5 minuta, zatim 15 ciklusa denaturacije na 95°C po 30 sekundi, nakon toga vezivanje prajmera na 63,5 °C 1 minut (smanjivanje temperature za -0,5 °C) i elongacija na 72°C, 1 minut. Sledeća 22 ciklusa su se odvijala na 95°C 30 sekundi, 56°C 1 minut i 72°C 1 minut. Poslednji korak je bila završna elongacija u trajanju od 7 minuta.

5.4.4. Poliakrilamidna elektroforeza

Nakon umnožavanja izvršeno je elektroforetsko razdvajanje fragmenata DNK. PCR produkti su razdvajani na poliakrilamidnom gelu (30% akrilamid, 5 $\times$ *TBE*, 10% amonijumpersulfat i *TEMED*). Na gel je nanošeno po 7 μ L DNK smeše. Korišćen je 20bp DNK marker (*Thermo Scientific*). Elektroforeza u 1 $\times$ *TBE* (napravljen razblaženjem od 5 $\times$ *TBE* pufera – 445 mM *Tris*; 445 – mM borna kiselina; 0,5M *EDTA*, pH 0,8) je trajala 1,5 h na 90 mA na vertikalnom gel sistemu - (*Mini Protean Tetra-Cell Bio-Rad*). Nakon elektroforeze gelovi su bojeni 20 minuta u rastvoru 0,5 μ g/ μ L etidijum bromida, a zatim fotografisani pod UV svetlom transiluminatora digitalnom kamerom (*BDA live system, Biometra*). SSR profili su očitavani sa fotografija za svaki prajmer na osnovu veličine (broj baznih parova-bp) umnoženih sekvenci.

Tabela 2. Naziv, pozicija na hromozomu (bin), ponovak i sekvenca SSR prajmera korišćenih u analizi samooplodnih linija

Naziv prajmera	BIN	Ponovak	Sekvenca prajmera (<i>forward i reverse</i>)
umc1282	1.01	(AT)6	F TACACTACACGACTCCCAACAGGA R GCGAGGGTCTTTCCATAGAGAAT
umc1013	1.08	(GA)9	F TAATGTGTCCATACGGTGGTGG R AGCTGGCTAGTCTCAGGCACTC
umc2047	1.09	(GACT)4	F GACAGACATTCCTCGCTACCTGAT R CTGCTAGCTACCAAACATTCCGAT
umc2129	2.07	CGC(5)	F ACGTGGTCATCACTCACC GC R AAGGAGGAGCGTTCTCGTGG
bnlg1633	2.07	AG(16)	F GTCCTTCCTCTCCTTCGTGCATA R CAGAGGCTGTTGTTCCCCAC
bnlg1520	2.09	AG(22)	F TCCTCTTGCTCTCCATGTCC R ACAGCTGCGTAGCTTCTTCC
phi036	3.04	AG	F CCGTGGAGAGACGTTTGACGT R TCCATCACC ACTCAGAATGTCAGTGA
bnlg197	3.06		F GCGAGAAGAAAGCGAGCAGA R CGCCAAGAAGAAACACATCACA
umc1109	4.1	(ACG)4	F GCAACACAGGACCAAATCATCTCT R GTTCGGTCCGTAGAAAGACTCTCA
umc1418	4.08	(GGAAG)4	F TCACACACACACTACACTCGCAAT R GAGCCAAGAGCCAGAGCAAAG
bnlg1643	4.09	CGACGC(4)	F ATCACCACATCCGTTGCAAAT R CTAGAATCTCGTAGAGGCTCCTGC
bnlg557	5.03		F TCACGGGCGTAGAGAGAGA R CGAAGAAACAGCAGGAGATGAC
phi087	5.06	ACC	F GAGAGGAGGTGTTGTTTGACACAC R ACAACCGGACAAGTCAGCAGATTG
umc1006	6.02	(GA)19	F AATCGCTTACTTGTAAACCCACTTG R AGTTTCCGAGCTGCTTTCTCT
umc1695	7	(CGA)4	F ATCATTCTGCAGGTCACGAGAAG R AGAGACGAAAACCGACCATT CAT
umc1782	7.04	(GAC)4	F TCGCATACCATGATCACTAGCTTC R CGTCAACTACCTGGCGAAGAA
umc1799	7.04 -7.06	TG(12)	F GTGATGAATAATGTCCCAATTCC R GGACAGATGTCTGGAGATTGCTTT
bnlg2235	8.02	AG(23)	F ATCCGGAGACACATTCTTGG R CTGCAAGCAACTCTCATCGA
phi080	8.08	AGGAG	F CACCCGATGCAACTTGCGTAGA R TCGTCACGTTCCACGACATCAC
phi033	9.01	AAG	F ATCGAAATGCAGGCGATGGTTCTC R ATCGAGATGTTCTACGCCCTGAAGT
umc1492	9.04	(GCT)4	F GAGACCCAACCAAACTAATAATCTCTT R CTGCTGCAGACCATTTGAAATAAC
umc1827	10.4	(GAC)6	F GCAAGTCAGGGAGTCCAAGAGAG R CCACCTCACAGGTGTTCTACGAC
umc1506	10.05	(AACA)4	F ATAAAGGTTGGCAAAACGTAGCCT R AAAAGAAACATGTTTCAGTCGAGCG

5.4.5. Statistička obrada podataka molekularne karakterizacije

Statistički program *PowerMarker* v.3,25 (Liu i Muse, 2005) korišćen je za izračunavanje broja alela, očekivane heterozigotnosti i vrednosti *Polimorphism Information Content* parametra (*PIC*) za svaki *SSR* marker na osnovu podataka o veličini umnoženih sekvenci.

Prilikom očitavanja gelova određeno je prisustvo, odnosno odsustvo traka na određenoj poziciji na gelu. Kvalitativni podaci su predstavljeni u binarnom broječnom sistemu u kome se prisutna traka označava sa 1, a odsutna sa 0. Rezultati očitavanja gelova za sve prajmere su objedinjeni, a stepen genetičke sličnosti između svih parova ispitanih linija određen je izračunavanjem *Simple matching* koeficijenta (Sokal i Michener, 1958):

$$GS_{ij} = \frac{a + d}{a + b + c + d}$$

Gde je:

a - prisustvo trake u oba genotipa, *i* i *j* (1,1)

b - prisustvo trake kod genotipa *i*, a odsustvo kod genotipa *j* (1,0)

c - odsustvo trake kod genotipa *i*, a prisustvo kod genotipa *j* (0,1)

d - odsustvo trake kod oba genotipa, *i* i *j* (0,0)

Na osnovu matrice genetičkih sličnosti urađena je klaster analiza, primenom *UPGMA* modela (*Unweighted Pair-Group Mean Arithmetic Method*) u *SAHN* programu, pomoću- *NTSYS-pc2.1* softvera (Rohlf, 2000). Rezultati su prikazani grafički u formi dendrograma.

Tabela 3. Spisak sinonima i skraćenica za genotipove i ispitivane osobine koje će se koristiti u nekim tabelama, grafikonima i slikama.

Naziv genotipa	Sinonim	Naziv osobine	Skraćenica
Syn ZP	S1	Prinos zrna (t/ha)	PZ
Syn ZP/USA	S2	Sadržaj vlage u zrnu (%)	VL
Syn FS	S3	Visina biljke (cm)	VB
V395/31	R1	Visina klipa (cm)	VK
R59	R2	Ukupan broj listova	UBL
R348	R3	Broj listova ispod klipa	BLK
Š144	R4	Dužina klipa (cm)	DK
i2/29	R5	Broj redova zrna	BRZ
i171/37-121	R6	Broj zrna u redu	BZuR
i172/16-3	R7	Masa 1000 zrna (g)	MZ
i172/348-142	R8		
i32/1157	R9		
B37	R10		
Syn ZP-13/1-1-1-1-1	P1		
Syn ZP-16/2-1-1-1-1	P2		
Syn ZP-94/4-3-2-1-1-1	P3		
Syn ZP-116/4-1-1-1-1-1	P4		
Syn ZP-122/3-1-1-1-1-1	P5		
Syn ZP/USA-6/2-1-2-2-1-1	P6		
Syn ZP/USA-12/4-2-1-1-1-1	P7		
Syn ZP/USA-12/6-2-3-1-1-1	P8		
Syn ZP/USA-12/6-2-3-2-2-1	P9		
Syn ZP/USA-52/4-1-1-2-1-1	P10		
Syn ZP/USA-117/5-1-3-1-1-1	P11		

6. REZULTATI I DISKUSIJA

6.1. Srednje vrednosti kvantitativnih osobina i analiza varijanse kod S₁ familija sintetičkih populacija kukuruza

Varijabilnost početnog materijala je važan preduslov za oplemenjivanje. Jedan od načina za povećanje genetičke varijabilnosti selekcionog materijala je stvaranje sintetičkih populacija široke genetičke osnove uz dalju primenu odgovarajućeg metoda selekcije. Povećanje genetičke varijabilnosti adaptiranog materijala može se postići inkorporacijom strane (egzotične) germplazme uz primenu nekog od metoda rekurentne selekcije, što su u svom radu zaključili Albrecht i Dudley (1987).

6.1.1. Prinos zrna kod S₁ familija sintetičkih populacija kukuruza

Može se uočiti da inkorporacija strane germplazme u adaptirani materijal nije uticala na povećanje prinosa S₁ familija *Syn ZP/USA* u odnosu na *Syn ZP* (tab. 4).

Tabela 4. Srednje vrednosti, standardne greške i značajnosti razlika za ispitivane osobine kod S₁ potomstava sintetičkih populacija kukuruza

OSOBINA	<i>Syn ZP</i>	<i>SE_{x̄}</i>	<i>Syn ZP/USA</i>	<i>SE_{x̄}</i>	<i>Syn FS</i>	<i>SE_{x̄}</i>	1:2	1:3	2:3
PZ	3.783 ± 0.07		3.328 ± 0.10		5.450 ± 0.11		*	**	**
VL	25.945 ± 0.08		25.658 ± 0.10		24.875 ± 0.12		nz	**	*
VB	223.610 ± 1.01		239.758 ± 0.62		283.613 ± 0.68		**	**	**
VK	104.070 ± 0.44		107.803 ± 0.47		134.748 ± 0.44		**	**	**
BLU	14.418 ± 0.07		14.683 ± 0.07		15.060 ± 0.06		*	**	*
BLK	8.093 ± 0.05		8.018 ± 0.05		8.393 ± 0.05		nz	*	*
DK	12.760 ± 0.09		12.143 ± 0.08		14.100 ± 0.09		*	**	**
BRZ	15.548 ± 0.07		15.635 ± 0.09		16.035 ± 0.08		nz	*	nz
BZuR	30.123 ± 0.13		25.828 ± 0.13		33.560 ± 0.15		**	**	**
MZ	251.625 ± 1.28		274.670 ± 1.37		289.703 ± 1.39		**	**	**

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Prosečan prinos zrna kod 92 S₁ familije *Syn ZP/USA* (3,328 t/h) je bio značajno niži od prosečnog prinosa u *Syn ZP* (3,783 t/ha). Međutim, ako se posmatraju minimalne i maksimalne vrednosti za ovu osobinu, kao i interval varijacije (tab. 5.),

primećuje se da su ove vrednosti veće kod *Syn ZP/USA* (4,52 t/ha) u odnosu na *Syn ZP* (4,06 t/ha), i to veoma značajno.

Osvrnimo se na linije koje su učestvovalе u stvaranju ovih sintetika. Sintetik *Syn ZP/USA* je nastao rekombinacijom linija poreklom iz domaćih sorti i linije B37, pa se može reći da skoro 50% ove populacije čini linija B37, odnosno ova populacija poseduje manju heterozigotnost od populacije *Syn ZP*. To može biti jedan od uzroka manjeg prosečnog prinosa ove populacije. Veći interval varijacije, sa druge strane, ukazuje nam na veću raznovrsnost genotipova u *Syn ZP/USA* u odnosu na *Syn ZP*.

Tabela 5. Minimalne i maksimalne vrednosti i intervali variranja za ispitivane osobine kod S_1 potomstava sintetičkih populacija kukuruza

OSOBIНА	<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>		Interval variranja		
	X_{min}	X_{max}	X_{min}	X_{max}	X_{min}	X_{max}	<i>Syn ZP</i>	<i>Syn ZP/USA</i>	<i>Syn FS</i>
PZ	1.39	5.45	1.32	5.84	2.04	7.52	4.06	4.52	5.48
VL	18.45	34.00	19.05	35.41	19.46	31.25	15.55	16.36	11.79
VB	169.75	279.25	194.56	279.50	240.42	318.25	109.50	84.94	77.83
VK	69.75	143.75	82.75	144.00	104.38	164.00	74.00	61.25	59.62
BLU	12.45	16.65	12.59	16.85	13.30	18.45	4.20	4.26	5.15
BLK	6.50	9.85	6.10	10.10	6.35	10.60	3.35	4.00	4.25
DK	9.08	16.38	7.78	17.13	9.17	17.82	7.30	9.35	8.65
BRZ	10.50	19.54	12.50	21.60	11.50	19.56	9.04	9.10	8.06
BZuR	13.50	39.99	14.50	41.90	14.00	44.80	26.49	27.40	30.80
MZ	168.60	318.65	204.35	352.50	221.90	345.55	150.05	148.15	123.65

Sintetička populacija *Syn FS* je nastala kontrolisanim ukrštanjem pomenute dve populacije, a njeno S_1 potomstvo je ostvarilo najveći prosečan prinos zrna (5,450 t/ha), koji je vrlo značajno veći nego kod *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*. Rekombinacija dve sintetičke populacije je dovela do povećanje vrednosti za ovu osobinu, iako je rekombinovani materijal bio sličan.

Interval variranja za ovu osobinu kod *Syn FS* je bio 5,48 t/ha i kretao se od 2,04 do 7,52 t/ha, što ukazuje da je stvoren veoma divergentan materijal. To je od primarne važnosti za buduće cikluse selekcije, jer se može očekivati dobijanje linija dobrih agronomskih osobina.

Do sličnih rezultata u svojim istraživanjima su došli Kramer i Ullstrup (1959), Efron i Everett (1969) i Lonnquist (1974). Pošto su sintetici sa određenim procentom strane germplazme pokazali niže prinose zrna od adaptiranih populacija, oni su zaključili da se heterozis ne ispoljava uvek prilikom ukrštanja adaptiranog sa neadaptiranim materijalom. Nasuprot ovim rezultatima, Griffing i Lindstrom (1954) su naveli da hibridi nastali ukrštanjem inbred linija koje sadrže delimično ili potpuno egzotičnu germplazmu, premašuju po prinosu zrna hibride nastale iz adaptiranih izvora. Povećanje prinosa adaptiranog materijala nakon unošenja egzotične germplazme u svojim radovima zabeležili su i Mungoma i Pollak (1988), Mišević (1989) i Živanović (1997).

Sintetik ZP/USA sadrži 50% strane germplazme, pa se manji prinos može tumačiti i manjim stepenom adaptiranosti ovakvog materijala na naše uslove. Oyervides-Garcia et al. (1985) su ocenjivali elitne meksičke populacije kao donore za *Corn Belt* programe oplemenjivanja i došli do sličnog zaključka. Oni su utvrdili da su različiti agroekološki uslovi imali negativan uticaj na populacije *per se*, dok su njihova ukrštanja sa adaptiranim materijalom imala veći prinos zrna od standardnih hibrida. Proučavajući efekat introdukcije genetičkog materijala iz dva brdsko-planinska meksička sintetika u *Corn Belt* materijal, Eagles i Hardacre (1989) su zaključili da su dobijene populacije približne vrednosti adaptiranim populacijama.

Sa druge strane, određeni procenat strane germplazme povećava raznovrstnost materijala i šanse za veći broj kombinacija alela za poželjne agronomske osobine. Ispitujući karakteristike populacija sa različitim procentom egzotične germplazme, Iglesias i Hallauer (1989) i Michelini i Hallauer (1993) su zabeležili najveći prinos zrna i najbolju kombinaciju gena kod populacija koje su imale 50% strane germplazme, za razliku od Allbrecht-a i Dudley-a (1987) i Živanovića (1997) koji preporučuju populacije sa 25% strane germplazme. Slično njima, Wellhausen (1965) je dobio povećanje prinosa od 10% po ciklusu half-sib rekurentne selekcije i istakao ogroman značaj inkorporacije egzotične germplazme u *Corn Belt* populacije za povećanje genetičke varijabilnosti.

Različiti agroekološki uslovi na lokalitetima gde su izvođeni ogledi uticali su na prinos ispitivanih genotipova. Sredine kvadrata lokacija iz analize varijanse po *Nested*

dizajnu za prinos zrna su za sve tri populacije bile visoko značajne (tab. 6). Sredine kvadrata setova nisu bile značajne, što ukazuje na činjenicu da je izvršena slučajna raspodela genotipova po setovima, što je preduslov za uspešno izvođenje oglada po ovom dizajnu. Sredine kvadrata interakcije lokacije i seta ocenjene su kao veoma značajne kod sve tri ispitivane populacije. Značajnost sredina kvadrata za ponavljanja u okviru seta, odnosno lokacija, ustanovljena je samo kod sintetika *Syn ZP/USA*, pa se može zaključiti da je tehnika izvođenja oglada bila na zadovoljavajućem nivou.

Tabela 6. Sredine kvadrata iz analize varijanse za prinos zrna (t/ha) kod S_1 potomstava sintetičkih populacija kukuruza

Izvori varijacije	d.f.	<i>Syn ZP</i>			<i>Syn ZP/USA</i>			<i>Syn FS</i>		
			MS		MS		MS		MS	
Lokacije (L)	3	MS ₇	396.80	**	760.10	**	592.80	**		
Setovi (S)	3	MS ₆	4.47	nz	8.98	nz	15.20	nz		
L × S	9	MS ₅	15.02	**	24.95	**	19.30	**		
Ponavljjanja/S/L	16	MS ₄	2.48	nz	4.38	*	5.00	nz		
Familije/S	88	MS ₃	4.23	**	7.02	**	10.20	**		
Familije × L /S	264	MS ₂	2.00	*	3.53	**	4.20	**		
Greška	352	MS ₁	1.60		2.19		3.20			

*,** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Najveći značaj za selekciju novih genotipova iz neke populacije ima sredina kvadrata variranja familija po setu. Ove sredine kvadrata su bile visoko značajne za sve tri populacije, što nam ukazuje na činjenicu da je bilo razlika u prinosu zrna između ispitivanih potomstava u okviru seta, odnosno da postoji odgovarajući stepen varijabilnosti koji je preduslov za uspešnu selekciju.

Jedan od najbitnijih parametara za selekciju iz populacija kukuruza je genetička varijansa ispitivanih familija. Utvrđene vrednosti za genetičku varijansu kod sve tri sintetičke populacije mogu se smatrati značajnim pošto su dva i više puta veće od vrednosti svojih standardnih grešaka (tab. 7). Najveću genetičku varijansu je imala populacija *Syn FS* (0,75), značajno nižu *Syn ZP/USA* (0,56), a vrlo značajno manju u odnosu na predhodne dve populacije *Syn ZP* (0,28).

Tabela 7. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za prinos zrna (t/ha)

		<i>Syn ZP</i>	<i>Syn ZP/USA</i>	<i>Syn FS</i>
Genetička varijansa	σ_g^2	0.28 *	0.56 *	0.75 *
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	0.08	0.15	0.20
Fenotipska varijansa	σ_f^2	0.53 *	1.00 *	1.28 *
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	0.09	0.16	0.21
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	13.97	22.53	15.89
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	19.22	30.11	20.71
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	52.83 *	55.97 *	58.82 *
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.15	0.14	0.14
$\Delta\sigma_g^2$		1 : 2 **	2 : 3 *	1 : 3 **
$\Delta\sigma_f^2$		1 : 2 **	2 : 3 *	1 : 3 **

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom

$\Delta\sigma_g^2, (\Delta\sigma_f^2)$ - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

Ovakav raspored su zadržale i fenotipske varijanse, koje su sve bile značajne i veće od genetičkih varijansi što je očekivano, pošto one u sebi sadrže genetičku varijansu i variranje pod uticajem spoljne sredine. Najveća fenotipska varijansa je zabeležena kod *Syn FS* (1,28), značajno manja kod *Syn ZP/USA* (1,00), a veoma značajno manja kod *Syn ZP* (0,53).

Vrednosti koeficijenata genetičke i fenotipske varijacije za prinos zrna su bile visoke, što je u saglasnosti sa radovima Vančetović (1994) i Živanovića (1997), dok Husić (1992) u svom radu nije dobio ovako visoke vrednosti. Najveća vrednost za oba koeficijenta varijacije je zabeležena kod sintetika *Syn ZP/USA*, što ukazuje na veliku genetičku varijabilnost ovog materijala i njegovu vrednost za dalju selekciju na prinos zrna. Izračunate vrednosti koeficijenata genetičke i fenotipske varijacije kod populacije *Syn ZP/USA* su bile $CV_g = 22,53\%$ i $CV_f = 30,11\%$, kod *Syn FS* $CV_g = 15,89\%$ i $CV_f = 20,71\%$, dok su najmanje vrednosti izračunate za *Syn ZP* i iznosile su $CV_g = 13,97\%$ i $CV_f = 19,22\%$. Što je veća genetička varijabilnost, veća je i dobit od selekcije za datu osobinu.

Heritabilnost za prinos zrna je iznosila kod *Syn ZP* 52,83%, za *Syn ZP/USA* 55,97% i za *Syn SF* 58,82%. Razlike između izračunatih vrednosti ovog parametra nisu

bile velike, što je i bilo očekivano, pošto je ova osobina pod velikim uticajem spoljne sredine. Ipak, malo više vrednosti heritabilnosti za prinos zrna se mogu objasniti time što je ovo heritabilnost u širem smislu i za njeno izračunavanje je korišćena genetička, a ne aditivna varijansa. Ovo je u saglasnosti sa radovima Husić-a (1992), Vančetović (1994) i Živanović-a (1997). Treba napomenuti da su sve vrednosti heritabilnosti bile značajne. Posmatrajući definiciju Hanson-a (1963) kako heritabilnost treba shvatiti kao deo selekcionog diferencijala za koji se očekuje da bude realizovan u sledećoj generaciji, ovaj pokazatelj može imati direktnu primenu u selekciji.

Komponente varijanse, heritabilnost i koeficijenti varijacije mogu biti od velike pomoći prilikom sagledavanja genetičke strukture populacije i procene njene vrednosti za dalji rad. Ispitivanja u tom smislu je obavio Hallauer (1978), pokušavajući da pruži odgovor o upotrebljivosti egzotične germplazme u programima oplemenjivanja kukuruza. On je ispitivao uticaj S_2 rekurentne selekcije na populacije sa različitim sadržajem egzotične germplazme (*BS16* - 100%, *BS2* - 50%, *BSTL* - 25% i *BSK* - 0%). Koeficijent genetičke varijabilnosti je pokazao trend smanjenja idući od *BS16* do *BSK* populacije (od 56,0% do 16,2%). Iako je prosečan prinos *BSTL* populacije (2,62 t/ha) bio manji za 21% od *BSK* S_2 populacije (3,17 t/ha), koeficijent genetičke varijabilnosti je bio veći za 130% (32,6% u odnosu 14,2%). Podaci ukazuju da korišćenje egzotične germplazme može povećati genetičku varijabilnost adaptiranog materijala i da je rekurentna selekcija efikasan metod za poboljšanje selekcionog materijala.

Povećanje genetičke varijanse kod populacija *per se* koje u sebi sadrže egzotičnu germplazmu je u saglasnosti sa radovima Kramer-a i Ullstrup-a (1959), Wellhausen-a (1965), Bridges-a i Gardner-a (1987), Crossa-e i Gardner-a (1987) i Michelini-a i Hallauer-a (1993). Prilikom procene genetičke varijabilnosti Goodman (1965) je ustanovio da je *West Indian* kompozit, stvoren od adaptirane i egzotične germplazme, imao veću varijabilnost od *Corn Belt* kompozita, sastavljenog od adaptirane germplazme. Salhuana et al. (1998) su, u okviru latinoameričkog projekta na kukuruzu, ocenili blizu 12.000 populacija kako bi izabrali germplazmu koja će poslužiti u programima oplemenjivanja za poboljšanje komercijalnih materijala u Argentini, Čileu, Urugvaju i SAD. Rezultati su pokazali da su udaljena ukrštanja između egzotične i

adaptirane germplazme korisna za povećanje genetičke varijabilnosti kao osnove za povećanje heterozisa.

Uspeh selekcije direktno zavisi od visine heritabilnosti za pojedine osobine, odnosno udela genetičke (aditivne) u ukupnoj fenotipskoj varijansi. Prinos zrna, kao jedna od najkompleksnijih osobina, ima najnižu vrednost heritabilnosti, koja u užem smislu obično ne prelazi 30%. Sumirajući rezultate 37 istraživanja, Hallauer i Miranda (1988) su ustanovili prosečnu heritabilnost za prinos zrna od 19%. Nasuprot njima, Walters et al. (1991) su utvrdili visoke vrednosti heritabilnosti za prinos zrna, ali takođe i značajno smanjenje heritabilnosti nakon sedam ciklusa half-sib i tri ciklusa S_2 rekurentne selekcije, i to sa 83% ($BSSSC_0$) na 68% ($BS13(S)C_3$). Visoku vrednost heritabilnosti za ispitivane osobine su utvrdili u svojim radovima i Stucker i Hallauer (1992), Stojnić (1995) i Trifunović (1995).

6.1.2. Sadržaj vlage u zrnu kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Izmerene vrednosti vlage u zrnu ukazuju na to da je došlo do sniženja, ali ne značajnog, srednje vrednosti za ovu osobinu nakon unošenja strane germplazme (tab. 4). Prosečan sadržaj vlage u zrnu za 92 ispitivane S_1 familije *Syn ZP* je bio 25,95%, a kod *Syn ZP/USA* 25,65%. Ova razlika nije bila statistički značajna, ali je *Syn FS* imao značajno nižu vlagu zrna (24,87%) u odnosu na *Syn ZP/USA*, odnosno vrlo značajno nižu u odnosu na *Syn ZP*, što je poželjno za dalju selekciju. Ako pogledamo interval variranja za ovu osobinu (tab. 5) zapažamo da je on bio najmanji kod *Syn FS* (11,79%) kao i da ovaj sintetik ima najveću minimalnu vrednost i najmanju maksimalnu vrednost, što je sa jedne strane dobro, jer je dobijen veći broj genotipova sa nižom vlagom, ali najveći minimum pokazuje da možda i ne postoji veliki broj genotipova koji će moći da daju nižu vlagu, odnosno materijal je ujednačeniji po ovoj osobini. Za razliku od ovog sintetika, ostala dva imaju veći interval variranja (*Syn ZP* = 15,55%; *Syn ZP/USA* = 16,36%), najniži minimum ima *Syn ZP* (18,45%), a najveći maksimum *Syn ZP/USA* (35,41%). Oba ova sintetika imaju veliku varijabilnost za ovu osobinu, tako da se može očekivati da će biti genotipova koji će dati nižu vlagu od prosečno zabeležene.

Tabela 8. Sredine kvadrata iz analize varijanse za vlagu u zrnju (%) kod S₁ potomstava sintetičkih populacija kukuruza

		<i>Syn ZP</i>			<i>Syn ZP/USA</i>			<i>Syn FS</i>	
Izvori varijacija	d.f.		MS		MS		MS		
Lokacije (L)	3	MS ₇	149.72	**	431.07	**	490.93	**	
Setovi (S)	3	MS ₆	10.22	nz	21.43	nz	11.89	nz	
L × S	9	MS ₅	8.55	**	9.61	**	10.36	*	
Ponavljanja/S/L	16	MS ₄	1.43	nz	1.99	*	4.48	**	
Familije/S	88	MS ₃	4.41	**	7.38	**	11.14	**	
Familije × L /S	264	MS ₂	2.64	**	3.47	**	5.02	**	
Greška	352	MS ₁	0.64		0.75		2.50		

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Sredine kvadrata lokacija iz analize varijanse su pokazale veoma značajne vrednosti kod sve tri populacije (tab. 8), što ukazuje na veliki uticaj spoljne sredine na ovu osobinu. Sredine kvadrata setova nisu pokazale značajnost ni kod jednog sintetika, a pokazatelj sredine kvadrata familija po setovima je bio veoma značajan za sva tri sintetika. To nam ukazuje na postojanje razlika i varijabilnost između genotipova, pa ima osnova za dalju selekciju na ovu osobinu.

Genetička varijansa za sadržaj vlage u zrnju rasla je idući od *Syn ZP* (0,22), preko *Syn ZP/USA* (0,49) i dostigla je najveću vrednost kod *Syn FS* (0,77). Kod sve tri sintetičke populacije genetičke i fenotipske varijanse su bile značajne (tab. 9). Značajne promene vrednosti genetičkih varijansi ukazuju nam na to da je došlo do promene genetičke strukture populacija. Fenotipska varijansa se menjala u istom smeru i intenzitetu kao i genetička, tako da je bila najniža kod *Syn ZP* (0,55), a najveća kod *Syn FS* (1,39). Na isti način su se menjali i koeficijenti genetičke i fenotipske varijacije. Koeficijent genetičke varijacije je bio najveći kod *Syn FS* (3,52%), a najmanji kod *Syn ZP* (1,81%), što je nekoliko puta niža vrednost nego što je u svom radu dobio Živanović (1997). Direktno poređenje navedenih parametara sa drugim istraživanjima nije moguće zbog različitog selekcionog materijala i uslova spoljne sredine u kojima su bila vršena istraživanja. Heritabilnost za sadržaj vlage u zrnju je bila najniža kod *Syn ZP* (40,14%), kod *Syn ZP/USA* je bila 52,98%, a najveća kod *Syn FS* (54,94%). Sve tri vrednosti su bile značajne, ali dosta niže od onih koje je dobio Živanović (1997) u svojim istraživanjima (od 77,47% do 81,32%). Interesantno je da je *Syn FS* imao najmanji

interval variranja za ovu osobinu, ali najveći koeficijent genetičke varijacije, mada ove vrednosti nisu bile velike.

Tabela 9. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za vlagu u zrnu (%)

		<i>Syn ZP</i>	<i>Syn ZP/USA</i>	<i>Syn FS</i>
Genetička varijansa	σ_g^2	0.22 *	0.49 *	0.77 *
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	0.09	0.14	0.21
Fenotipska varijansa	σ_f^2	0.55 *	0.92 *	1.39 *
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	0.09	0.15	0.22
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	1.81	2.72	3.52
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	2.86	3.74	4.74
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	40.14 *	52.98 *	54.94 *
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.16	0.15	0.14
$\Delta\sigma_g^2$		1 : 2 **	2 : 3 **	1 : 3 **
$\Delta\sigma_f^2$		1 : 2 **	2 : 3 **	1 : 3 **

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom

$\Delta\sigma_g^2$, ($\Delta\sigma_f^2$) - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

Za razliku od naših rezultata, Oyervides-Garcia et al. (1985), Gutierrez-Gaitan et al. (1986) i Mungoma i Pollak (1988) su u svojim radovima zabeležili povećanje sadržaja vlage u zrnu i smanjenje otpornosti stabla na poleganje sa povećanjem procenta strane germplazme u adaptiranim populacijama. Prema Hallauer-u i Miranda-i (1988) procenjena heritabilnost za sadržaj vlage u zrnu bila je 62,00%. Ova osobina je, pored prinosa zrna, veoma važna pri proceni upotrebljivosti nekog materijala za dalju selekciju.

6.1.3. Visina biljke i visina klipa kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Na osnovu srednjih vrednosti zaključuje se da je inkorporacija strane germplazme vrlo značajno doprinela povećanju visine biljke, a još veće povećanje dobijeno je rekombinacijom dve roditeljske populacije (tab. 4). Srednja vrednost visine biljke je bila najmanja kod *Syn ZP* (223,61cm). Inkorporacija linije *B37* dovela je do veoma značajnog povećanja ove osobine kod populacije *Syn ZP/USA* (239,75cm), što se može smatrati negativnim na osnovu današnjih trendova u selekciji. Međutim, još

izraženije povećanje visine biljke je zabeleženo kod *Syn FS* i visina biljke ovog sintetika je iznosila 283,61cm.

Isti trend je bio primetan i kod visine klipa. Vrednost ove osobine kod populacije *Syn ZP* je bila 104,07cm, kod *Syn ZP/USA* 107,80cm, a kod populacije *Syn FS* 134,74cm. Sve vrednosti su se značajno razlikovale između sebe. Povećanje vrednosti ove dve osobine može se smatrati negativnim sa stanovišta selekcije, ali moguće objašnjenje su nove rekombinacije gena, odnosno blagi heterozis ispoljen zbog toga. Takođe, treba navesti da se linije nastale iz domaćih sorti odlikuju visokim stablom i klipom, tako da je moguće da je ova germplazma, kao polazni materijal, doprinela ovako visokim vrednostima ovih osobina. Teba napomenuti i da je ovo materijal koji se nalazi u početnim fazama samooplodnje i da je još uvek veoma heterozigotan.

Intervali variranja za visinu biljke i klipa (tab. 5) su pokazali najveće variranje za obe osobine kod *Syn ZP* (VB = 109,5cm; VK = 74,0cm). Očigledno je raznovrsnost roditeljskih linija u ovim osobinama doprinela ovakvim vrednostima. Nakon unošenja nove germplazme, kod *Syn ZP/USA* intervali variranja su bili za visinu biljke 84,9cm, odnosno 61,2cm za visinu klipa, a kod *Syn FS* 77,8cm za visinu biljke i 59,6cm za visinu klipa.

Do sličnih rezultata, nakon unošenja egzotične germplazme u adaptirani materijal, došli su Tarter et al. (2003), Nelson (2007) i Nelson i Goodman (2008). Oni su pokušali da procene upotrebljivost egzotične germplazme u selekcionim programima umerenog klimata i zabeležili značajno povećanje visine biljke i klipa kod ukrštanja između egzotične i adaptirane germplazme u odnosu na samo adaptirani materijal. Međutim, u navedenim istraživanjima došlo je do značajnog povećanja genetičke varijabilnosti ukrštenog materijala, tako da negativna promena ovih osobina nije sprečila upotrebu egzotične germplazme u daljim programima selekcije.

Sredine kvadrata iz analize varijanse za visinu biljke bile su visoko značajne za lokacije, lokacije kroz setove, ponavljanja kroz setove i lokacije, kao i za familije u okviru setova za sve tri sintetičke populacije (tab. 10). Sve ovo ukazuje na to da je bilo

uticaja različitih agroekoloških uslova na ispoljavanje ove osobine, da je materijal bio divergentan u okviru setova, što ukazuje na veliku varijabilnost za ovu osobinu.

Tabela 10. Sredine kvadrata iz analize varijanse za visinu biljke (cm) kod S₁ potomstava sintetičkih populacija kukuruza

		<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
Izvori varijacija	d.f.		MS		MS		MS
Lokacije (L)	3	MS ₇	157627.00	**	205250.00	**	211357.00
Setovi (S)	3	MS ₆	471.97	nz	1069.52	nz	3549.70
L × S	9	MS ₅	1881.99	**	4022.77	**	652.49
Ponavljanja/S/L	16	MS ₄	291.93	**	44.68	*	174.00
Familije/S	88	MS ₃	235.56	**	782.92	**	339.84
Familije × L /S	264	MS ₂	143.02	**	373.83	nz	170.37
Greška	352	MS ₁	121.99		26.44		64.34

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Sredine kvadrata iz analize varijanse za visinu klipa (tab. 11) su bile visoko značajne kod sve tri populacije za lokacije, familije u okviru seta, familije po lokacijama i setovima i setove po lokacijama. Za ostale izvore variranja značajnost je bila različita.

Tabela 11. Sredine kvadrata iz analize varijanse za visinu klipa (cm) kod S₁ potomstava sintetičkih populacija kukuruza

		<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
Izvori varijacija	d.f.		MS		MS		MS
Lokacije (L)	3	MS ₇	70953.00	**	78749.53	**	80536.00
Setovi (S)	3	MS ₆	619.61	nz	203.33	nz	1336.89
L × S	9	MS ₅	294.78	**	2048.77	**	263.11
Ponavljanja/S/L	16	MS ₄	215.92	**	84.80	nz	103.88
Familije/S	88	MS ₃	162.04	**	207.89	**	189.32
Familije × L /S	264	MS ₂	70.41	**	81.15	**	70.87
Greška	352	MS ₁	53.51		51.97		52.43

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Genetička i fenotipska varijansa za visinu biljke (tab. 12) je bila najveća kod *Syn ZP/USA* ($\sigma_g^2 = 51,14$; $\sigma_f^2 = 97,87$), vrlo značajno niža kod *Syn FS* ($\sigma_g^2 = 21,18$; $\sigma_f^2 = 42,48$) i najmanja kod *Syn ZP* ($\sigma_g^2 = 14,07$; $\sigma_f^2 = 31,95$). Kod sve tri ispitivane

populacije ovi parametri su bili značajni, pošto su bili najmanje dva puta veći od pripadajućih standardnih grešaka. Koeficijenti genetičke i fenotipske varijacije nisu bili veliki, što ukazuje na malu varijabilnost u okviru populacija, ali ipak prisutnu, što se može videti iz sredine kvadrata setova i intervala varijacije za ovu osobinu. Pitanje je samo koliki broj genotipova je uticao na ova variranja. Koeficijent genetičke varijacije je bio najveći kod *Syn ZP/USA* (2,98%), a najmanji kod *Syn FS* (1,62%). Koeficijenti fenotipske varijacije su pratili ovaj trend.

Tabela 12. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za visinu biljke (cm)

		<i>Syn ZP</i>	<i>Syn ZP/USA</i>	<i>Syn FS</i>
Genetička varijansa	σ_g^2	14.07 *	51.14 *	21.18 *
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	5.01	15.14	6.60
Fenotipska varijansa	σ_f^2	31.95 *	97.87 *	42.48 *
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	5.49	15.68	6.90
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	1.68	2.98	1.62
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	2.53	4.13	2.30
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	44.04 *	52.25 *	49.87 *
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.14	0.16	0.15
$\Delta \sigma_g^2$		1 : 2 **	2 : 3 **	1 : 3 **
$\Delta \sigma_f^2$		1 : 2 **	2 : 3 **	1 : 3 *

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom

$\Delta \sigma_g^2$, ($\Delta \sigma_f^2$) - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

Heritabilnost za visinu biljke bila je najveća kod *Syn ZP/USA* (52,25%), a najmanja kod *Syn ZP* (44,04%). I ova vrednost je bila značajna za sva tri sintetika. Iako su ove vrednosti veće od očekivanih, treba istaći da je ovo heritabilnost u širem smislu i da su vrednosti niže od onih izračunatih u radovima Vančetović (1994) i Živanović-a (1997), u kojima se vrednost heritabilnosti za visinu biljke kretala od 78,33% do 88,76%. Očigledno je uticaj agroekoloških uslova i strukture ispitivanih populacija uticao na ovako različite vrednosti heritabilnosti za visinu biljke. Smalley et al. (2004) su u svom radu ispitivali heritabilnosti različitih osobina kod sintetičkih populacija *BS10* i *BS11* i za visinu biljke dobili vrednosti koje su varirale od 33% do 69% zavisno od lokacije ispitivanja, a u istraživanju Aminu-a i Izge-a (2012), koji su ispitivali

heritabilnosti kod hibridnih kombinacija, heritabilnost za visinu biljke se kretala od 53,49% do 65,02% zavisno od lokacije i godine ispitivanja.

Genetička i fenotipska varijansa za visinu klipa (tab. 13) bila je najveća kod *Syn ZP/USA* ($\sigma_g^2 = 15,84$; $\sigma_f^2 = 25,99$), ne značajno manja kod *Syn FS* ($\sigma_g^2 = 14,81$; $\sigma_f^2 = 23,66$), a značajno manja kod *Syn ZP* ($\sigma_g^2 = 11,45$; $\sigma_f^2 = 20,26$). Koeficijenti genetičke i fenotipske varijacije nisu bili veliki, ali su bili veći nego za visinu biljke. Koeficijent genetičke varijacije je bio najveći kod *Syn ZP/USA* (3,69%), a najmanji kod *Syn FS* (2,86%). Koeficijenti fenotipske varijacije su pratili ovaj raspored.

Tabela 13. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za visinu klipa (cm)

		<i>Syn ZP</i>	<i>Syn ZP/USA</i>	<i>Syn FS</i>
Genetička varijansa	σ_g^2	11.45 *	15.84 *	14.81 *
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	3.11	3.97	3.61
Fenotipska varijansa	σ_f^2	20.26 *	25.99 *	23.66 *
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	3.28	4.13	3.76
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	3.25	3.69	2.86
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	4.32	4.73	3.61
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	56.55 *	60.96 *	62.56 *
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.13	0.15	0.14
$\Delta\sigma_g^2$		1 : 2 *	2 : 3 nz	1 : 3 *
$\Delta\sigma_f^2$		1 : 2 *	2 : 3 nz	1 : 3 nz

* - statistički značajno na nivou od 0,05; nz – statistički nije značajno

$\Delta\sigma_g^2$, ($\Delta\sigma_f^2$) - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

Heritabilnost za visinu klipa je bila najveća kod *Syn FS* (62,56%), a najmanja kod *Syn ZP* (56,55%). Ova vrednost je bila značajna za sva tri sintetika. Primećuje se da je heritabilnost za visinu klipa veća i drugačije raspoređena od heritabilnosti za visinu biljke. U ovom slučaju veća heritabilnost je bila kod *Syn FS* u odnosu na *Syn ZP/USA*. U radovima Husić-a (1992), Vančetović (1994) i Živanović-a (1997) heritabilnost za visinu klipa je takođe bila veća od heritabilnosti za visinu biljke i kretala se od 64,60% do 91,81%, što je mnogo više nego u našem istraživanju. Vrednosti heritabilnosti koje su dobijene u ovom istraživanju su malo veće od rezultata Aminu-a i Izge-a (2012), gde se heritabilnost za visinu klipa kod hibridnih kombinacija kretala od 48,89% do 53,57%.

6.1.4. Ukupan broj listova i broj listova ispod klipa kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Broj listova, odnosno lisna površina ima veliki uticaj na fiziologiju biljke kukuruza, ali i na način gajenja. List kukuruza je glavni organ u kome se stvaraju hranljive materije i preko koga se vrši evapotranspiracija i disanje biljke. Ali list kukuruza i na druge, posredne, načine može uticati na prinos biljke i način njenog gajenja. Sadašnji komercijalni varijeteti kukuruza nemaju sposobnost bokorenja i stvaraju uglavnom jedan klip po biljci. Jedan od načina povećanja prinosa po jedinici površine je, osim stvaranja prinosnijih hibrida, gajenje kukuruza u većim gustinama. Međutim, genotipovi sa većom stabljikom i velikim brojem listova zahtevaju manje gustine gajenja kako bi ispoljili svoj maksimalan prinos. Sa povećanjem gustine, odnosno lisne površine, raste i potrošnja vode i hraniva iz zemljišta. Ako je gustina mnogo niža, takođe se neće postići proizvodni maksimum. Kukuruz nema sposobnost, kao neke druge biljne kulture, da poveća broj listova u uslovima manje gustine (Gardner et al., 1985). Lisna površina može biti korisna za smanjenje jalovosti, povećanje otpornosti na sušu i smanjenje uticaja kompeticije pri velikim gustinama. Niže biljke sa manjim brojem listova bolje podnose veće gustine gajenja, manja je potrošnja vode i resursi biljke će se preusmeriti na formiranje zrna, a ne zelene mase.

Upoređujući srednje vrednosti za ukupan broj listova (tab. 4), uočava se značajna razlika između *Syn ZP* (14,41) i *Syn ZP/USA* (14,68), kao i između *Syn ZP/USA* i *Syn FS* (15,06), a visoko značajna razlika između *Syn ZP* i *Syn FS*. Razlika srednjih vrednosti za broj listova ispod klipa nije bila značajna između *Syn ZP* (8,09) i *Syn ZP/USA* (8,02), ali je bila značajna u poređenju ova dva sintetika sa *Syn FS* (8,39). Intervali variranja ovih osobina su bili prilično veliki (tab. 5) i kretali su se, za ukupan broj listova, od 4,20 kod *Syn ZP* do 5,15 kod *Syn FS*, a za broj listova ispod klipa od 3,35 (*Syn ZP*) do 4,25 (*Syn FS*).

Sredine kvadrata lokacija iz analize varijanse za ukupan broj listova su bile visoko značajne kod sve tri populacije (tab. 14). Sredina kvadrata setova je bila značajna kod *Syn ZP/USA*, dok kod ostale dve populacije nije. Ono što je važno sa stanovišta selekcije je sredina kvadrata familija po setovima i ona je kod sve tri populacije bila visoko značajna.

Tabela 14. Sredine kvadrata iz analize varijanse za ukupan broj listova kod S₁ potomstava sintetičkih populacija kukuruza

		<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
Izvori varijacija	d.f.		MS		MS		MS
Lokacije (L)	3	MS ₇	507.51	**	762.35	**	916.56
Setovi (S)	3	MS ₆	7.44	nz	11.88	*	5.07
L × S	9	MS ₅	5.64	**	4.37	**	3.91
Ponavljanja/S/L	16	MS ₄	0.30	nz	1.81	**	0.71
Familije/S	88	MS ₃	10.00	**	8.62	**	5.38
Familije × L /S	264	MS ₂	1.92	**	1.62	**	1.50
Greška	352	MS ₁	0.38		0.86		0.43

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Sredine kvadrata lokacija iz analize varijanse za broj listova ispod klipa su bile visoko značajne kod sve tri populacije (tab. 15). U ovom slučaju sredine kvadrata setova nisu pokazale značajnost ni kod jedne populacije. Sredine kvadrata familija po setovima su bile visoko značajne kod svih populacija, pa se može zaključiti da će moći da se izvrši odabir najpovoljnijih genotipova za ovo svojstvo.

Tabela 15. Sredine kvadrata iz analize varijanse za broj listova ispod klipa kod S₁ potomstava sintetičkih populacija kukuruza

		<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
Izvori varijacija	d.f.		MS		MS		MS
Lokacije (L)	3	MS ₇	281.95	**	381.18	**	539.15
Setovi (S)	3	MS ₆	4.13	nz	5.94	nz	2.98
L × S	9	MS ₅	3.13	**	2.18	**	2.30
Ponavljanja/S/L	16	MS ₄	0.40	*	0.91	**	0.42
Familije/S	88	MS ₃	4.17	**	2.61	**	3.17
Familije × L /S	264	MS ₂	1.07	**	0.81	**	0.88
Greška	352	MS ₁	0.21		0.43		0.25

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Interesantno je da su genetičke varijanse za ukupan broj listova i broj listova ispod klipa (tab. 16 i tab. 17) bile najveće kod populacije *Syn ZP* (UBL: $\sigma_g^2 = 1,01$; BLK: $\sigma_g^2 = 0,39$). Razlika genetičkih varijansi za ukupan broj listova između *Syn ZP* i *Syn ZP/USA* nije bila značajna, dok je za ostala dva poređenja utvrđena visoka statistička značajnost. Razlika genetičkih varijansi za broj listova ispod klipa između

Syn ZP i *Syn FS* je bila značajna, dok je u poređenju sa *Syn ZP/USA* ona bila visoko značajna.

Tabela 16. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za ukupan broj listova

		<i>Syn ZP</i>	<i>Syn ZP/USA</i>	<i>Syn FS</i>
Genetička varijansa	σ_g^2	1.01 *	0.87 *	0.48 *
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	0.19	0.16	0.10
Fenotipska varijansa	σ_f^2	1.25 *	1.08 *	0.67 *
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	0.19	0.16	0.10
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	6.97	6.37	4.62
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	7.75	7.07	5.45
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	80.82 *	81.17 *	72.07 *
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.15	0.14	0.16
$\Delta\sigma_g^2$		1 : 2 nz	2 : 3 **	1 : 3 **
$\Delta\sigma_f^2$		1 : 2 nz	2 : 3 **	1 : 3 **

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

$\Delta\sigma_g^2, (\Delta\sigma_f^2)$ - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

Ovakve razlike ukazuju na činjenicu da su ove osobine bile pod velikim uticajem gena, što pokazuju i vrednosti heritabilnosti. Heritabilnost za ukupan broj listova se kretala od 72,07% kod *Syn FS* do 81,17% kod *Syn ZP/USA*, a za broj listova ispod klipa od 68,91% kod *Syn ZP/USA* do 74,42% kod *Syn ZP*.

Koeficijenti genetičke i fenotipske varijacije su pratili trendove genetičke i fenotipske varijanse i heritabilnosti. Najveći koeficijent genetičke varijacije za ukupan broj listova je imao *Syn ZP* (6,97%), a najmanji *Syn FS* (4,62%), dok je za broj listova ispod klipa koeficijent genetičke varijacije bio najveći kod *Syn ZP* (7,69%), a najmanji kod *Syn ZP/USA* (5,92%).

Ako ove rezultate uporedimo sa rezultatima za visinu biljke i klipa uočićemo da se ne poklapaju u potpunosti, odnosno da je populacija *Syn ZP/USA* imala najveće vrednosti ovih pokazatelja za visinu biljke i klipa, dok je za ukupan broj listova imala srednje vrednosti, a za broj listova ispod klipa najmanje vrednosti.

Tabela 17. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za broj listova ispod klipa

		<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
Genetička varijansa	σ_g^2	0.39	*	0.22	*	0.29	*
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	0.08		0.05		0.06	
Fenotipska varijansa	σ_f^2	0.52	*	0.33	*	0.40	*
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	0.08		0.05		0.06	
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	7.69		5.92		6.36	
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	8.92		7.13		7.49	
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	74.42	*	68.91	*	72.07	*
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.16		0.13		0.14	
$\Delta\sigma_g^2$		1 : 2	**	2 : 3	*	1 : 3	*
$\Delta\sigma_f^2$		1 : 2	**	2 : 3	nz	1 : 3	*

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

$\Delta\sigma_g^2$, ($\Delta\sigma_f^2$) - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

6.1.5. Dužina klipa kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Inkorporacija strane germplazme u domaći materijal dovela je do smanjenja dužine klipa u značajnoj meri (tab. 4). Prosečna dužina klipa populacije *Syn ZP* bila je 12,76cm, a *Syn ZP/USA* 12,14cm, (razlika značajna na nivou verovatnoće od 0,05). Međutim, interval variranja (tab. 5) ukazuje na činjenicu da je strana germplazma povećala varijabilnost ove osobine i to značajno. Interval variranja kod *Syn ZP/USA* bio je 9,35cm, a kod *Syn ZP* 7,30cm. Ipak, kombinacija ove dve germplazme dovela je do povećanja dužine klipa u *Syn FS*, koja je iznosila 14,10cm, sa srednjim intervalom variranja od 8,65cm.

Sredine kvadrata lokaliteta iz analize varijanse za dužinu klipa su bile značajne za sve tri populacije (tab. 18). Sredine kvadrata setova kod *Syn ZP/USA* su bile značajne, dok kod ostale dve populacije nisu. Sredine kvadrata svih ostalih izvora variranja su bile visoko značajne.

Tabela 18. Sredine kvadrata iz analize varijanse za dužinu klipa (cm) kod S_1 potomstava sintetičkih populacija kukuruza

Izvori varijacija	d.f.	<i>Syn ZP</i>			<i>Syn ZP/USA</i>			<i>Syn FS</i>		
			MS		MS			MS		
Lokacije (L)	3	MS ₇	557.71	**	612.44	**		818.46	**	
Setovi (S)	3	MS ₆	18.18	nz	19.56	*		15.73	nz	
L × S	9	MS ₅	16.20	**	8.15	**		10.42	**	
Ponavljanja/S/L	16	MS ₄	1.33	**	1.72	**		1.80	**	
Familije/S	88	MS ₃	15.99	**	17.05	**		16.09	**	
Familije × L /S	264	MS ₂	3.08	**	2.52	**		2.70	**	
Greška	352	MS ₁	0.42		0.51			0.49		

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Genetička varijabilnost ove osobine je bila značajna kod sve tri populacije, ali interesantno je da nije bilo značajne razlike između sintetika u pogledu ovog parametra (tab. 19). Najveća genetička varijansa je utvrđena kod *Syn ZP/USA* (1,82), a najmanja kod *Syn ZP* (1,61). Iako su se populacije značajno razlikovale po srednjoj vrednosti za ovu osobinu, nije bilo značajne genetičke razlike, što ukazuje na to da su verovatno agroekološki uslovi odredili ove razlike u prosečnim vrednostima. Koeficijenti genetičke varijabilnosti su bili najveći od svih ispitivanih osobina, izuzev prinosa zrna, i kretali su se od 9,18% kod *Syn FS* do 11,10% kod *Syn ZP/USA*. Iako je strana germplazma dovela do smanjenja srednje vrednosti za dužinu klipa, povećana je varijabilnost ove osobine kod populacije *Syn ZP/USA* i to u značajnom obimu.

I pored toga što je ova osobina bila pod velikim uticajem spoljne sredine, u našem istraživanju dobili smo visoke vrednosti heritabilnosti u širem smislu, i to 85,10% kod *Syn ZP/USA*, 83,22% kod *Syn FS* i 80,75% kod *Syn ZP*. Ovo je u saglasnosti sa radovima Husić-a (1992) i Vančetović (1994), kod kojih se heritabilnost za dužinu klipa kod S_1 familija kretala od 73,7% do 82,42%.

Slične rezultate u svojim istraživanjima je dobio i Živanović (1997), sa izuzetkom populacije nakon petog ciklusa rekombinacije gena, gde je izračunata heritabilnost za dužinu klipa iznosila 27,85%. Za istu populaciju nakon nultog i trećeg ciklusa selekcije heritabilnost za ovu osobinu je iznosila 76,26%, odnosno 75,16%. Monneveux et al. (2006) su potvrdili pozitivan uticaj rekurentne selekcije na popravku

nekih osobina kod dve populacije kukuruza (*DTP1* i *DTP2*). U svojim istraživanjima su koristili šest ciklusa half-sib rekurentne selekcije za *DTP1* i devet ciklusa za *DTP2*. Osobine kod kojih su zabeležili signifikanta poboljšanja su bile: prinos zrna, broj klipova po biljci, interval između metličenja i svilanja i starenje lisne površine pod uticajem vodnog deficita. Zaključili su da u osnovi ovih promena leži mehanizam koji poboljšava ishranu klipa u vreme svilanja na račun rasta metlice i stabljike kukuruza.

Tabela 19. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za dužinu klipa (cm)

		Syn ZP		Syn ZP/USA		Syn FS	
Genetička varijansa	σ_g^2	1.61	*	1.82	*	1.67	*
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	0.30		0.32		0.30	
Fenotipska varijansa	σ_f^2	2.00	*	2.13	*	2.01	*
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	0.30		0.32		0.30	
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	9.96		11.10		9.18	
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	11.08		12.03		10.06	
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	80.75	*	85.21	*	83.22	*
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.14		0.15		0.15	
$\Delta\sigma_g^2$		1 : 2	nz	2 : 3	nz	1 : 3	nz
$\Delta\sigma_f^2$		1 : 2	nz	2 : 3	nz	1 : 3	nz

* - statistički značano na nivou od 0,05; nz – statistički nije značajno

$\Delta\sigma_g^2$, ($\Delta\sigma_f^2$) - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

6.1.6. Broj redova zrna na klipu kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Broj redova zrna je osobina koja ima veliki uticaj na prinos kukuruza. Srednje vrednosti za ovu osobinu (tab. 4) su se kretale od 15,54 kod *Syn ZP*, preko 15,63 kod *Syn ZP/USA* do 16,03 kod *Syn FS*. Razlika srednjih vrednosti između *Syn ZP* i *Syn FS* je bila značajna, dok ostala dva poređenja nisu bila značajna. Interval variranja u okviru svake ispitivane populacije je bio veliki, ali takođe sa malim razlikama između populacija (tab. 5). Najveći interval variranja je zabeležen kod *Syn ZP/USA* (9,10), a najmanji kod *Syn FS* (8,06). Ove vrednosti čine skoro 50% izmerenih srednjih vrednosti što čini veliko variranje u okviru svake populacije, što se moglo očekivati, s obzirom na veliki uticaj gena na ispoljavanje ove osobine.

Tabela 20. Sredine kvadrata iz analize varijanse za broj redova zrna kod S_1 potomstava sintetičkih populacija kukuruza

Izvori varijacija	d.f.	<i>Syn ZP</i>			<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
		MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS
Lokacije (L)	3	MS ₇	289.43	**	385.71	**	576.29	**
Setovi (S)	3	MS ₆	19.90	nz	19.67	*	29.49	**
L × S	9	MS ₅	14.91	**	11.02	**	7.67	**
Ponavljanja/S/L	16	MS ₄	4.04	**	1.65	**	1.67	**
Familije/S	88	MS ₃	8.79	**	9.61	**	14.25	**
Familije × L /S	264	MS ₂	2.01	**	2.94	**	2.37	**
Greška	352	MS ₁	0.85		0.47		0.48	

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Sredine kvadrata iz analize varijanse za broj redova zrna su bile visoko značajne za sve izvore variranja (tab. 20), osim za setove kod *Syn ZP* gde nije bilo značajnosti i kod *Syn ZP/USA* gde je ovaj izvor variranja bio značajan. Interesantno je da je sredina kvadrata setova kod *Syn FS* bila visoko značajna, što ukazuje na veliku varijabilnost genotipova po ovoj osobini.

Potporu ovom zaključku čini vrednost genetičke varijanse kod *Syn FS* (1,48) koja je visoko značajno veća nego kod populacija *Syn ZP* (0,85) i *Syn ZP/USA* (0,83), čija međusobna razlika ovog parametra nije bila značajna (tab. 21). Genetička varijansa i koeficijent genetičke varijacije kod *Syn ZP/USA* najmanji su od sve tri ispitivane populacije, a interval variranja najveći, što navodi na zaključak da je nekoliko genotipova u ovoj populaciji imalo izuzetno ekstremne vrednosti.

Koeficijenti genetičke varijacije bili su na zadovoljavajućem nivou za dalji rad i kretali su se od 5,84% kod *Syn ZP/USA* do 7,60% kod *Syn FS*. Heritabilnost za broj redova zrna je bila najmanja kod *Syn ZP/USA* (69,38%), kod *Syn ZP* je bila 77,09%, a najveća je bila kod *Syn FS* (83,35%). Ovi rezultati se slažu sa radovima Husić-a (1992) i Živanović-a (1997) u kojima se heritabilnost kretala od 69,6% do 88,6%, ali su dosta niži od vrednosti (od 91,96% do 93,53%) koje je u svom radu dobila Vančetović (1994).

Tabela 21. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za broj redova zrna

		<i>Syn ZP</i>	<i>Syn ZP/USA</i>	<i>Syn FS</i>
Genetička varijansa	σ_g^2	0.85 *	0.83 *	1.48 *
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	0.17	0.18	0.27
Fenotipska varijansa	σ_f^2	1.10 *	1.20 *	1.78 *
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	0.17	0.18	0.27
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	5.92	5.84	7.60
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	6.74	7.01	8.32
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	77.09 *	69.38 *	83.35 *
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.15	0.15	0.16
$\Delta \sigma_g^2$		1 : 2 nz	2 : 3 **	1 : 3 **
$\Delta \sigma_f^2$		1 : 2 nz	2 : 3 **	1 : 3 **

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

$\Delta \sigma_g^2, (\Delta \sigma_f^2)$ - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

6.1.7. Broj zrna u redu kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Prosečna vrednost broja zrna u redu kod S_1 potomstva *Syn ZP* iznosila je 30,12 (tab. 4) sa intervalom variranja od 26,49 (tab. 5). Veći interval variranja bio je kod *Syn ZP/USA* (27,40), ali je srednja vrednost za ovu osobinu bila visoko značajno niža i iznosila je 25,82. Najveća prosečna vrednost izmerena je kod *Syn FS* (33,56) i bila je visoko značajno veća nego kod ostale dve populacije, a interval variranja je iznosio 30,80.

Sredine kvadrata setova iz analize varijanse za broj zrna u redu nisu bile značajne kod *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*, dok su pokazale visoku značajnost kod *Syn FS* (tab. 22). Sredine kvadrata ostalih izvora variranja su bile visoko značajne, a važno je istaći sredinu kvadrata familija po setovima koja je bila visoko značajna kod svih populacija i time ukazala na poželjnu varijabilnost genotipova za dalji selekcioni rad.

Tabela 22. Sredine kvadrata iz analize varijanse za broj zrna u redu kod S_1 potomstava sintetičkih populacija kukuruza

Izvori varijacija	d.f.	<i>Syn ZP</i>			<i>Syn ZP/USA</i>			<i>Syn FS</i>		
		MS	MS		MS		MS	MS		
Lokacije (L)	3	MS ₇	670.41	**	528.96	**	647.41	**		**
Setovi (S)	3	MS ₆	45.54	nz	4.57	nz	5.60	**		**
L × S	9	MS ₅	22.22	**	33.27	**	40.72	**		**
Ponavljanja/S/L	16	MS ₄	1.75	**	12.95	**	15.85	**		**
Familije/S	88	MS ₃	17.09	**	24.17	**	42.58	**		**
Familije × L /S	264	MS ₂	5.88	**	6.36	**	7.79	**		**
Greška	352	MS ₁	0.68		0.93		1.13			

** - statistički značajno na nivou od 0,01; nz – statistički nije značajno

Vrednost genetičke varijanse je bila najmanja kod *Syn ZP*, srednja kod *Syn ZP/USA* i najveća kod *Syn FS* (tab. 23). Sve tri vrednosti su bile značajne, pošto su bile bar dva puta veće od pripadajućih standarnih grešaka, a razlike ovog parametra između sva tri sintetika su bile visoko značajne. Fenotipske varijanse su imale isti raspored po sinteticima. Koeficijenti genetičke varijacije su se kretali od 3,93% kod *Syn ZP* do 6,21% kod *Syn FS*. Slične koeficijente genetičke varijacije je izračunao i Husić (1992) u svom radu ($CV_g = 2,92\% - 6,18\%$).

Tabela 23. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S_1 potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za broj zrna u redu

		<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
Genetička varijansa	σ_g^2	1.40	*	2.23	*	4.35	*
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	0.32		0.46		0.80	
Fenotipska varijansa	σ_f^2	2.14	*	3.02	*	5.32	*
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	0.33		0.46		0.80	
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	3.93		5.78		6.21	
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	4.85		6.73		6.87	
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	65.61	*	73.67	*	81.71	*
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.14		0.14		0.15	
$\Delta \sigma_g^2$		1 : 2	**	2 : 3	**	1 : 3	**
$\Delta \sigma_f^2$		1 : 2	*	2 : 3	**	1 : 3	**

*, ** - statistički značajno na nivou 0,05 i 0,01, redom

$\Delta \sigma_g^2, (\Delta \sigma_f^2)$ - statistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

Heritabilnost za broj zrna u redu je bila najmanja kod *Syn ZP* (65,61%), kod *Syn ZP/USA* je bila 73,67%, a najveća vrednost je izračunata za *Syn FS* (81,71%). Slične vrednosti zabeležio je Husić (1992) i one su se kretale od 63,5% do 71,8% kod *S₁* potomstva sintetičkih populacija.

6.1.8. Masa 1000 zrna kod *S1* familija sintetičkih populacija kukuruza

Dodatna rekombinacija sintetičkih populacija i inkorporacija strane germplazme u adaptirani materijal od svih ispitivanih najviše su uticali na masu 1000 zrna (tab. 4). Srednja vrednost ove osobine bile je najmanja kod *Syn ZP* (251,62g.), ali sa najvećim intervalom variranja, od 150,05 g (tab. 5). Srednja vrednost kod *Syn ZP/USA* je bila 274,67g sa intervalom variranja od 148,15g, a najveća srednja vrednost je ustanovljena kod *Syn FS* (289,70g), ali sa najmanjim intervalom variranja od 123,65g. Razlike između srednjih vrednosti su bile visoko značajne za sva tri poređenja između sintetika. Rekombinacije i prisustvo novog izvora gena su povećali srednju vrednost ove osobine i na neki način ujednačili genotipove u okviru *Syn FS*.

Sredine kvadrata lokacija, kao faktora ekološke varijabilnosti, su bile visoko značajne za masu 1000 zrna kod ispitivanih populacija (tab. 24). Sredine kvadrata setova nisu bile značajne, što pokazuje da je podela familija na setove bila slučajna i pravilna. Familije u okviru setova su veoma značajno uticale na ovu osobinu, a treba istaći da je uticaj familija u okviru seta na masu 1000 zrna bio nekoliko puta veći od njihove interakcije sa lokacijama u okviru seta, što je dobar pokazatelj za dalju selekciju.

Egzotična germplazma je najviše uticala na povećanje genetičke varijanse (tab. 25). Izračunata vrednost genetičke varijanse kod *Syn ZP/USA* bila je 296,92, kod *Syn FS* 242,81, a kod *Syn ZP* 154,35. Sve tri vrednosti su bile značajne, dok razlika između *Syn ZP/USA* i *Syn FS* nije bila značajna. Za ostala poređenja, vrednosti su se razlikovale visoko značajno. Adekvatno promenama genetičke menjala se i fenotipska varijansa.

Tabela 24. Sredine kvadrata iz analize varijanse za masu 1000 zrna kod S₁ potomstava sintetičkih populacija kukuruza

Izvori varijacija	d.f.	Syn ZP			Syn ZP/USA			Syn FS	
		MS	MS		MS	MS		MS	MS
Lokacije (L)	3	MS ₇	281756.26	**	428729.81	**		452513.51	**
Setovi (S)	3	MS ₆	3467.72	nz	2533.77	nz		953.61	nz
L × S	9	MS ₅	1618.50	**	1300.58	*		2018.72	**
Ponavljjanja/S/L	16	MS ₄	59.37	nz	163.76	*		50.95	nz
Familije/S	88	MS ₃	1835.36	**	3063.40	**		2654.12	**
Familije × L /S	264	MS ₂	600.59	**	688.04	**		711.67	**
Greška	352	MS ₁	74.77		94.99			75.69	

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Koeficijent genetičke varijacije se kretao od 4,94% kod Syn ZP do 6,27% kod Syn ZP/USA. Ove vrednosti su u saglasnosti sa radovima Husić-a (1992) i Živanović-a (1997). Heritabilnost za masu 1000 zrna je bila najmanja kod Syn ZP (67,28%), srednja kod Syn FS (73,19%), a najveća kod Syn ZP/USA (77,54%).

Tabela 25. Komponente varijanse (genetička- σ_g^2 i fenotipska- σ_f^2), koeficijenti varijacije (genetički- CV_g i fenotipski- CV_f) i heritabilnost u širem smislu (h^2) kod S₁ potomstava ispitivanih sintetičkih populacija kukuruza za masu 1000 zrna (g)

		Syn ZP			Syn ZP/USA			Syn FS	
Genetička varijansa	σ_g^2	154.35	*		296.92	*		242.81	*
Standardna greška genetičke varijanse	$SE \sigma_g^2$	34.81			57.57			50.05	
Fenotipska varijansa	σ_f^2	229.42	*		382.92	*		331.77	*
Standardna greška fenotipske varijanse	$SE \sigma_f^2$	35.43			58.06			50.66	
Koeficijent genetičke varijacije (%)	CV_g	4.94			6.27			5.38	
Koeficijent fenotipske varijacije (%)	CV_f	6.02			7.12			6.29	
Heritabilnost u širem smislu (%)	h^2	67.28	*		77.54	*		73.19	*
Standardna greška heritabilnosti	$SE h^2$	0.14			0.17			0.15	
$\Delta \sigma_g^2$		1 : 2	**		2 : 3	nz		1 : 3	**
$\Delta \sigma_f^2$		1 : 2	**		2 : 3	nz		1 : 3	**

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

$\Delta \sigma_g^2, (\Delta \sigma_f^2)$ - stastistička značajnost razlika između genetičkih (fenotipskih) varijansi

Ovo su nešto niže vrednosti od onih koje su u svojim radovima dobili Husić (1992), gde su se ove vrednosti kretale od 79,6% do 83,4%, i Vančetović (1994), koja je dobila vrednosti od 87,25% do 88,16%. Živanović (1997) u svom radu iznosi podatke o

heritabilnosti za masu 1000 zrna od 63,27% do 79,32%, što je u skladu sa našim rezultatima. Visoke vrednosti heritabilnosti za masu 1000 zrna u svojim radovima su dobili Muhammad et al. (2013) - 88,0%, kao i Vashistha et al. (2013) - 95,8%. Za razliku od njih, Wannows et al. (2010) su izračunali heritabilnost od 44%, a Noor et al. (2013) od 42% do 59%.

Na parametre preko kojih se izračunava heritabilnost (genetičku i fenotipsku varijansu) u velikoj meri utiču agroekološki uslovi u kojima se materijal ispituje, kao i genetička struktura ispitivanog materijala. Zato je teško i nezahvalno egzaktno porediti vrednosti dobijene u istraživanjima sa različitim materijalima i u drugačijim agroekološkim uslovima. I u našim istraživanjima se moglo uvideti da mala promena genetičke strukture populacije može veoma mnogo uticati na ekspresiju neke osobine.

6.2. Koeficijenti korelacija između kvantitativnih osobina kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Poseban značaj za selekciju u okviru populacije ima poznavanje međuzavisnosti prinosa zrna i komponenti prinosa, kao i uzajamne međuzavisnosti proučavanih komponenti, pošto se u oplemenjivanju biljaka vrši selekcija na bazi većeg broja osobina. Prilikom procene materijala selekcioneri koriste vizuelnu ocenu fenotipskih osobina. Direktna selekcija na prinos zrna *per se* je najbolji metod poboljšanja performansi ispitivanog materijala, dok su korelacione promene između komponenti prinosa moguće i mogu pomoći u stvaranju modela genotipa sa visokim prinosom zrna. Ukoliko bi se pokazalo da je genetička kontrola prinosa, preko nekih od komponenti prinosa moguća na fenotipskom nivou, omogućila bi se indirektna selekcija na prinos (Trifunović, 1994). Ona bi imala prednost nad direktnom selekcijom u slučaju kad osobina preko koje se vrši selekcija ima značajno veću heritabilnost od glavne osobine i kada su aditivne genetičke korelacije visoke (Hallauer i Miranda, 1988).

Eventualno postojanje izraženijih genetičkih korelacija između prinosa zrna sa pojedinim komponentama prinosa je jedan od preduslova za indirektnu selekciju preko komponenti prinosa. Genetičke korelacije ukazuju na pravac mogućih promena pod uticajem metoda selekcije koji se primenjuje. Korelacije između osobina su uglavnom posledica dejstva plejotropnih i vezanih gena (Živanović, 1997). To ponekad može predstavljati problem, pogotovo kada se radi sa populacijama koje u sebi sadrže određeni procenat egzotične germplazme. Veoma često se dešava da egzotična germplazma, pored dodatne varijabilnosti, unese i gene agronomski nepovoljnih osobina u adaptirani materijal. Takvi vezani geni mogu zamaskirati pravu međuzavisnost osobina i odvesti selekciju u pogrešnom pravcu. Sa druge strane, međuzavisnost osobina kod genetički raznorodnog materijala koji je prošao tek jednu ili dve samooplodnje je sigurno drugačija nego kod homozigotnog materijala, na koji spoljna sredina ima veći uticaj. Vrednosti korelacija zavise od strukture materijala i faze selekcije u kojoj se nalazi, pošto se korelacije između osobina menjaju pod uticajem selekcije, što su potvrdila istraživanja Grombacher-a et al. (1989) i Walters-a et al. (1991).

Koeficijenti genetičkih korelacija između prinosa zrna i ostalih osobina kod ispitivanih populacija su bili pozitivni, ali različite jačine i značajnosti (tab. 26). Može se primetiti da su najjači uticaj na prinos, kod sve tri populacije, imale dužina klipa i broj zrna u redu. Nasuprot njima, najslabiji uticaj na prinos zrna je imala masa 1000 zrna. Inkorporacija strane germplazme je uticala na povećanje koeficijenta genetičke korelacije između prinosa i dužine klipa kod populacije *Syn ZP/USA* ($r_g=0,897^{**}$) u odnosu na populaciju *Syn ZP* ($r_g=0,864^{**}$). Kod populacije *Syn FS* je dobijena najniža vrednost ovog koeficijenta ($r_g=0,844^{**}$). Razlike između koeficijenata nisu bile velike i sve tri vrednosti su bile visoko značajne, tako da se može reći da je uticaj dužine klipa na prinos zrna bio skoro isti kod sva tri ispitivana sintetika. Malo drugačiji raspored koeficijenata genetičke korelacije bio je prisutan kod uticaja broja zrna u redu na prinos zrna. Najveći uticaj je ponovo bio kod *Syn ZP/USA* ($r_g=0,791^{**}$), nešto manji kod populacije *Syn FS* ($r_g=0,785^{**}$), dok je najmanji uticaj zabeležen kod populacije *Syn ZP* ($r_g=0,766^{**}$). I za ovu osobinu su razlike koeficijenata bile male i svi su koeficijenti bili visoko značajni. Nasuprot ovim osobinama, masa 1000 zrna je imala najmanji uticaj na prinos zrna kod sva tri sintetika koji nije bio značajan. Kod populacije *Syn ZP* je izračunat najveći koeficijent genetičke korelacije od $r_g=0,193^{nz}$, nešto manji kod *Syn ZP/USA* ($r_g=0,176^{nz}$), a najmanji kod *Syn FS* ($r_g=0,118^{nz}$).

Slične rezultate o uticaju dužine klipa i mase 1000 zrna na prinos je dobio i Živanović (1997). On je u svojim istraživanjima koristio različite cikluse slobodnog ukrštanja populacije koje je imala 25% egzotične germplazme. Izračunati koeficijenti genetičke korelacije između dužine klipa i prinosa zrna su se kretali od $r_g=0,50^{**}$ do $r_g=0,71^{**}$, dok se uticaj mase 1000 zrna na prinos zrna kretao od $r_g= - 0,03$ do $r_g=0,04$. Sumirajući rezultate više istraživanja, Hallauer i Miranda (1988) su dobili srednje visoke koeficijente genetičkih korelacija između prinosa zrna i dužine klipa ($r_g=0,38$), a niske između prinosa zrna i broja redova zrna ($r_g=0,24$) i prinosa zrna i mase zrna ($r_g=0,25$). Veći uticaj dužine klipa na prinos su u svojim radovima zabeležili Obilana i Hallauer (1974), Grombacher et al. (1989), Walters et al. (1991), Vančetović (1994) i Stojnić (1995).

Rezultati o međuzavisnosti mase zrna i prinosa koje smo dobili u našim istraživanjima su u suprotnosti sa rezultatima Husić-a (1988), Tyagi-a et al. (1988) i Trifunović-a (1994), u kojima je masa zrna imala veći uticaj na prinos od dužine klipa.

Tabela 26. Genetički koeficijenti korelacija (r_g) između ispitivanih osobina kod S_1 familija tri sintetičke populacije kukuruza (*Syn ZP* – S_1 , *Syn ZP/USA* – S_2 , *Syn FS* – S_3)

Osob	Gen.	VL		VB		VK		UBL		BLK		DK		BRZ		BZuR		MZ	
PZ	S1	0.47	*	0.50	**	0.54	**	0.65	**	0.58	**	0.86	**	0.51	**	0.77	**	0.19	nz
PZ	S2	0.46	**	0.35	*	0.52	**	0.68	**	0.66	**	0.90	**	0.55	**	0.79	**	0.18	nz
PZ	S3	0.55	**	0.49	**	0.49	**	0.61	**	0.55	**	0.84	**	0.52	**	0.79	**	0.12	nz
VL	S1			0.22	nz	0.45	*	0.58	**	0.48	**	0.37	*	0.28	nz	0.30	nz	0.31	nz
VL	S2			0.13	nz	0.38	*	0.64	**	0.39	*	0.46	**	0.26	nz	0.37	*	0.25	nz
VL	S3			0.33	nz	0.42	**	0.47	**	0.42	**	0.33	*	0.16	nz	0.26	nz	0.38	*
VB	S1					0.77	**	0.77	**	0.62	**	0.62	**	0.36	*	0.56	**	0.22	nz
VB	S2					0.88	**	0.71	**	0.68	**	0.56	**	0.29	nz	0.38	*	0.26	nz
VB	S3					0.84	**	0.81	**	0.57	**	0.65	**	0.31	*	0.37	*	0.41	**
VK	S1							0.73	**	0.80	**	0.53	**	0.34	*	0.49	**	0.13	nz
VK	S2							0.70	**	0.86	**	0.59	**	0.31	*	0.46	**	0.28	nz
VK	S3							0.73	**	0.73	**	0.64	**	0.27	*	0.48	**	0.11	nz
UBL	S1									0.87	**	0.41	**	0.28	*	0.50	**	0.35	**
UBL	S2									0.82	**	0.32	**	0.21	nz	0.25	nz	0.42	**
UBL	S3									0.77	**	0.30	*	0.32	*	0.37	**	0.39	**
BLK	S1											0.49	**	0.28	*	0.51	**	0.41	**
BLK	S2											0.41	**	0.25	nz	0.29	*	0.36	**
BLK	S3											0.34	**	0.31	*	0.48	**	0.42	**
DK	S1													0.11	nz	0.82	**	0.14	nz
DK	S2													0.08	nz	0.74	**	0.08	nz
DK	S3													0.38	**	0.83	**	0.09	nz
BRZ	S1															0.28	*	0.06	nz
BRZ	S2															0.33	*	0.05	nz
BRZ	S3															0.45	**	0.12	nz
BZuR	S1																	0.07	nz
BZuR	S2																	0.05	nz
BZuR	S3																	0.01	nz

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Vlaga u zrnu i broj redova zrna su imali srednje jak i visoko značajan uticaj na prinos zrna kod sve ti populacije (*Syn ZP* VZ $r_g=0,467^*$, BRZ $r_g=0,512^{**}$; *Syn ZP/USA* VZ $r_g=0,461^{**}$, BRZ $r_g=0,554^{**}$ i *Syn FS* VZ $r_g=0,552^{**}$, BRZ $r_g=0,516^{**}$). Do sličnih rezultata u svojim istraživanjima su došli Bartual i Hallauer (1976), Ottaviano i Camusse (1981) i Husić (1992), koji su utvrdili srednje jaku zavisnost prinosa od broja redova zrna. Za razliku od njih Hallauer i Miranda (1988), Vančetović (1994) i Stojnić (1995) su utvrdili slab, pa čak u nekim slučajevima i negativan uticaj broja redova na prinos zrna.

Koeficijenti genetičke korelacije između prinosa zrna i morfoloških osobina (visina biljke i klipa, ukupan broj listova i broj listova ispod klipa) su u većini slučajeva bili srednje jaki i visoko značajni, osim za ukupan broj listova, gde su bili jaki kod sva tri sintetika (*Syn ZP* UBL $r_g=0,646^{**}$; *Syn ZP/USA* UBL $r_g=0,683^{**}$ i *Syn FS* UBL $r_g=0,606^{**}$). Uticaj visine klipa je bio veći nego visine biljke na prinos zrna kod *Syn ZP* (VK $r_g=0,540^{**}$, VB $r_g=0,496^{**}$) i *Syn ZP/USA* (VK $r_g=0,552^{**}$, VB $r_g=0,352^{**}$), dok je kod *Syn FS* bilo obrnuto (VK $r_g=0,487^{**}$, VB $r_g=0,494^{**}$), ali sa neznatnom razlikom. Ova razlika bila je značajna jedino kod *Syn ZP/USA*, gde je uticaj visine biljke na prinos zrna bio značajan. Iz rezultata se može zaključiti da je ukupan broj listova i broj listova ispod klipa (*Syn ZP* BLK $r_g=0,582^{**}$; *Syn ZP/USA* BLK $r_g=0,660^{**}$ i *Syn FS* BLK $r_g=0,553^{**}$) imao veći uticaj na prinos zrna od visine biljke i klipa. Jačine korelacionih zavisnosti prinosa zrna od morfoloških osobina u ovom istraživanju su u saglasnosti sa radovima El-Lakany-a i Russell-a (1971) i Drinić-a (1995) koji su dobili srednje jake zavisnosti. Nasuprot tome, u radovima Husić-a (1992), Vančetović (1994), Stojšin-a i Kannenberg-a (1995) i Živanović-a (1997) ustanovljene su slabe korelacije između prinosa zrna i morfoloških osobina kukuruza.

Od ostalih koeficijenata genetičkih korelacija mogu se izdvojiti jake korelacije između visine biljke i visine klipa (*Syn ZP* $r_g=0,774^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_g=0,879^{**}$ i *Syn FS* $r_g=0,839^{**}$), ukupnog broja listova i broja listova ispod klipa (*Syn ZP* $r_g=0,867^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_g=0,821^{**}$ i *Syn FS* $r_g=0,768^{**}$), kao i jaku međuzavisnost dužine klipa i broja zrna u redu kod sve tri populacije (*Syn ZP* $r_g=0,815^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_g=0,739^{**}$ i *Syn FS* $r_g=0,833^{**}$).

Koeficijenti fenotipskih korelacija (tab. 27) su se malo razlikovali od genetičkih, uz neka odstupanja, i uglavnom su bili slabi i srednje jaki, osim u slučajevima dužine klipa i prinosa zrna (*Syn ZP* $r_f=0,643^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_f=0,671^{**}$ i *Syn FS* $r_f=0,623^{**}$), broja zrna u redu i prinosa zrna (*Syn ZP* $r_f=0,679^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_f=0,629^{**}$ i *Syn FS* $r_f=0,608^{**}$) i visine biljke i visine klipa (*Syn ZP* $r_f=0,658^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_f=0,629^{**}$ i *Syn FS* $r_f=0,655^{**}$) gde su bili jaki. Jake fenotipske korelacije su zabeležene i između osobina: ukupan broj listova i visina biljke, ukupan broj listova i visina klipa, broj listova ispod klipa i visina klipa, broj listova ispod klipa i ukupan broj listova i dužina klipa i broj zrna u redu.

Tabela 27. Fenotipski koeficijenti korelacija (r_f) između ispitivanih osobina kod S_1 familija tri sintetičke populacije kukuruza (*Syn ZP* – S_1 , *Syn ZP/USA* – S_2 , *Syn FS* – S_3)

Osob	Gen.	VL		VB		VK		UBL		BLK		DK		BRZ		BZuR		MZ	
PZ	S1	0.43	*	0.53	**	0.47	**	0.50	**	0.48	**	0.64	**	0.47	**	0.68	**	0.16	nz
PZ	S2	0.40	*	0.31	nz	0.41	**	0.52	**	0.51	**	0.67	**	0.43	**	0.63	**	0.13	nz
PZ	S3	0.37	*	0.38	*	0.37	*	0.44	**	0.40	**	0.62	**	0.39	**	0.61	**	0.12	nz
VL	S1			0.25	nz	0.39	*	0.56	**	0.54	**	0.32	nz	0.29	nz	0.27	nz	0.22	nz
VL	S2			0.19	nz	0.35	*	0.64	**	0.43	**	0.42	**	0.27	nz	0.37	*	0.23	nz
VL	S3			0.29	nz	0.36	*	0.36	*	0.32	*	0.27	nz	0.16	nz	0.24	nz	0.28	nz
VB	S1					0.66	**	0.64	**	0.54	**	0.50	**	0.35	*	0.53	**	0.13	nz
VB	S2					0.63	**	0.50	**	0.46	**	0.45	**	0.25	nz	0.35	*	0.19	nz
VB	S3					0.66	**	0.61	**	0.42	**	0.49	**	0.26	nz	0.34	*	0.28	nz
VK	S1							0.64	**	0.71	**	0.43	**	0.32	*	0.47	**	0.09	nz
VK	S2							0.61	**	0.63	**	0.50	**	0.29	nz	0.46	**	0.23	nz
VK	S3							0.67	**	0.56	**	0.52	**	0.25	nz	0.51	**	0.09	nz
UBL	S1									0.86	**	0.36	**	0.25	*	0.48	**	0.27	*
UBL	S2									0.76	**	0.30	*	0.19	nz	0.22	nz	0.34	**
UBL	S3									0.70	**	0.27	*	0.28	*	0.39	**	0.30	*
BLK	S1											0.40	**	0.24	nz	0.50	**	0.31	*
BLK	S2											0.35	**	0.22	nz	0.26	nz	0.28	*
BLK	S3											0.30	*	0.27	*	0.45	**	0.33	*
DK	S1													0.14	nz	0.79	**	0.12	nz
DK	S2													0.10	nz	0.67	**	0.08	nz
DK	S3													0.34	**	0.77	**	0.07	nz
BRZ	S1															0.27	nz	0.06	nz
BRZ	S2															0.29	*	0.05	nz
BRZ	S3															0.45	**	0.12	nz
BZuR	S1																	0.05	nz
BZuR	S2																	0.05	nz
BZuR	S3																	0.01	nz

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Interesantno je primetiti da su se fenotipske korelacije međusobno razlikovale u većem stepenu od genetičkih za neke osobine. Takvi slučajevi su primećeni između prinosa i vlage zrna, visine biljke i klipa kod *Syn FS*, kod vlage zrna i visine klipa, ukupnog broja listova, broja listova ispod klipa, dužine klipa i mase 1000 zrna kod iste populacije. Ovakvih primera ima još kod korelacija između pojedinih osobina. Ovo se može objasniti značajnim uticajem spoljne sredine na ove parametre. Sa druge strane, statistički značajne genetičke korelacije između prinosa i ispitivanih osobina ukazuju na sličnost njihovog nasleđivanja zbog mogućeg plejotropnog delovanja, odnosno vezanosti gena.

6.3. Genetička dobit od selekcije kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Primenom odgovarajućih metoda selekcioneri pokušavaju da ostvare što veći genetički progres u nekoj populaciji. U praktičnoj selekciji je od velikog značaja procena očekivane genetičke dobiti od selekcije kao pokazatelja uspešnosti primenjenog selekcionog metoda i vrednosti ispitivane populacije. Veličina genetičke dobiti od selekcije zavisi od postojeće varijabilnosti u populaciji, visine heritabilnosti ispitivanih osobina, intenziteta selekcije i broja generacija potrebnih za jedan ciklus rekurentne selekcije (Eberhart, 1980).

Vrednosti očekivane genetičke dobiti od selekcije su prikazane u tabeli 28. Njena procena je izvršena na osnovu ukupne genetičke varijanse. Najmanja očekivana genetička dobit za prinos zrna je dobijena kod populacije *Syn ZP* i kretala se od 4,53% za intenzitet selekcije od 20% do 6,68% za intenzitet selekcije od 5%. Najveća genetička dobit od selekcije za prinos zrna je izračunata kod populacije *Syn ZP/USA* i kretala se od 7,27% za intenzitet selekcije od 20% do 10,72% za intenzitet selekcije od 5%. Kod populacije *Syn FS* genetička dobit se kretala od 5,43% za intenzitet selekcije od 20% do 8,00% za intenzitet selekcije od 5%. Do sličnih rezultata su došli i Sprague et al. (1959) posle dva ciklusa half-sib rekurentne selekcije u dve populacije kukuruza, *Kolkmeier* i *Lancaster*. Oni su ustanovili povećanje prinosa od 4,1%, odnosno 13,6% po ciklusu, redom. Horner et al. (1976) su, nakon sedam ciklusa half-sib rekurentne selekcije u kompozitnoj populaciji široke genetičke osnove, utvrdili povećanje prinosa zrna za 18% po ciklusu, koristeći dvolinijski hibrid kao tester. Naši rezultati se podudaraju i sa rezultatima Edmeades-a et al. (1999) koji su ostvarili povećanje prinosa zrna od 12,6% po ciklusu, posle tri ciklusa S_1 rekurentne selekcije u populacijama *La Posta Sequía* i *Pool 26 Sequía*, odnosno 3,8% po ciklusu, nakon osam ciklusa full-sib rekurentne selekcije u populaciji *Tuxpeño Sequía*.

Tabela 28. Očekivana genetička dobit od selekcije (ΔG) za ispitivane osobine kod sintetičkih populacija kukuruza za tri intenziteta selekcije (5%, 10%, 20%).

	<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
	5%	ΔG %*	ΔG	%*	ΔG	%*
PZ	0.253	6.68	0.357	10.72	0.436	8.00
VL	0.170	0.66	0.299	1.17	0.403	1.62
VB	1.645	0.74	2.958	1.23	1.951	0.69
VK	1.665	1.60	2.001	1.86	1.998	1.48
UBL	0.578	4.01	0.555	3.78	0.371	2.47
BLK	0.336	4.16	0.253	3.15	0.285	3.39
DK	0.727	5.70	0.809	6.66	0.761	5.40
BRZ	0.522	3.36	0.466	2.98	0.719	4.48
BZuR	0.577	1.92	0.795	3.08	1.205	3.59
MKZ	6.177	2.45	9.549	3.48	8.232	2.84
	<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
	10%	ΔG %*	ΔG	%*	ΔG	%*
PZ	0.215	5.68	0.303	9.12	0.371	6.80
VL	0.145	0.56	0.254	0.99	0.342	1.38
VB	1.400	0.63	2.517	1.05	1.660	0.59
VK	1.417	1.36	1.702	1.58	1.700	1.26
UBL	0.492	3.41	0.473	3.22	0.316	2.10
BLK	0.286	3.54	0.215	2.68	0.242	2.89
DK	0.618	4.85	0.688	5.67	0.647	4.59
BRZ	0.444	2.86	0.397	2.54	0.611	3.81
BZuR	0.491	1.63	0.677	2.62	1.025	3.06
MKZ	5.256	2.09	8.125	2.96	7.004	2.42
	<i>Syn ZP</i>		<i>Syn ZP/USA</i>		<i>Syn FS</i>	
	20%	ΔG %*	ΔG	%*	ΔG	%*
PZ	0.171	4.53	0.242	7.27	0.296	5.43
VL	0.115	0.44	0.203	0.79	0.273	1.10
VB	1.116	0.50	2.007	0.84	1.324	0.47
VK	1.130	1.09	1.358	1.26	1.356	1.01
UBL	0.392	2.72	0.377	2.57	0.252	1.67
BLK	0.228	2.82	0.172	2.14	0.193	2.30
DK	0.493	3.86	0.549	4.52	0.516	3.66
BRZ	0.354	2.28	0.316	2.02	0.488	3.04
BZuR	0.392	1.30	0.540	2.09	0.818	2.44
MKZ	4.192	1.67	6.480	2.36	5.587	1.93

*- genetička dobit po ciklusu selekcije izražana u % u odnosu na prosečne vrednosti ispitivanih populacija

Nasuprot ovome, u radovima Russell-a et al. (1973), Helms-a et al. (1989b) i Bletsos-a i Goulas-a (1999) dobijene su mnogo manje vrednosti genetičke dobiti od selekcije. Sprague i Eberhart (1976) su sumirali rezultate različitih metoda rekurentne selekcije i ustanovili da se odgovor na selekciju kretao između 2-4% po ciklusu. Slično njima, Hallauer (1989) je primenom rekurentne selekcije uspeo da poveća prinos zrna u ispitivanim populacijama za 2-4% po ciklusu. Autor je predložio da u početnim ciklusima intenzitet selekcije bude niži (20%) kako bi se izbegao genetički *drift*.

Ovakve razlike između naših i rezultata drugih autora su razumljive, pošto su u našem radu prikazane vrednosti očekivane, a ne ostvarene genetičke dobiti od selekcije. Nekoliko je razloga za veće vrednosti očekivane u odnosu na ostvarenu genetičku dobit. Jedan od bitnih uslova za visinu genetičke dobiti je heritabilnost osobine, koja se u programima rekurentne selekcije računa na bazi jednogodišnjih rezultata i u većini slučajeva je kao takva precenjena (uključuje interakciju genotip x godina). Dalje, prilikom selekcije genotipovi se ne biraju samo po prinosu, već se obraća pažnja i na ostale osobine, tako da u računanje genetičke dobiti, nakon izvršene selekcije, ne ulaze samo najprinosniji genotipovi. I na kraju, u našem istraživanju genetička varijansa nije razložena na aditivnu i neaditivnu, pa su samim tim izračunate veće vrednosti genetičke dobiti od selekcije. Kao potvrda ovih zaključaka su rezultati istraživanja Horner-a et al. (1989) koji su, ispitujući efikasnost half-sib i S_2 rekurentne selekcije u dve populacije koje sadrže egzotičnu germplazmu, utvrdili da je half-sib rekurentna selekcija (genetička dobit od 4,7% po ciklusu) bila uspešnija od S_2 rekurentne selekcije (genetička dobit od 3,0% po ciklusu), kao i da je superdominacija bila važna za ispoljavanje prinosa zrna u ovim populacijama. Mnogi radovi ukazuju na to da je aditivna varijansa važnija od dominantne za ispoljavanje prinosa zrna. Nasuprot tome, u radovima Shahi-a i Sing-a (1985), Gouesnard-a et al. (1996) i Malvar-a et al. (1996) dominantna varijansa je bila značajnija za prinos zrna od aditivne varijanse.

Prosečne vrednosti prinosa zrna za ispitivane populacije ukazuju na značajne razlike između populacija, tako da se i taj parametar mora uzeti u obzir pri oceni vrednosti ispitivanih populacija za selekciju. Populacija *Syn ZP/USA* je imala najmanji prosečan prinos zrna, ali najveću vrednost očekivane genetičke dobiti. Treba imati u vidu, naročito kod procene ovog parametra za prinos zrna, da su korišćene vrednosti

heritabilnosti u širem smislu, te su verovatno i vrednosti genetičke dobiti od selekcije preценjene. Očigledno je da je ukrštanjem domaće sa stranom germplazmom stvorena visoka koncentracija poželjnih alela za prinos zrna u sintetičkoj populaciji *Syn ZP/USA*. Procenjujući uticaj rekurentne selekcije na populacije genetički mešovitoг sastava, Iglesias i Hallauer (1989) su ustanovili da je nakon S_2 rekurentne selekcije na prinos zrna najbolji odgovor na selekciju imala populacija *BS2* (50% egzotične germplazme), zatim *BSTL* (25% egzotične germplazme), dok je kod populacije *BS16* (100% egzotične germplazme) izostao pozitivan odgovor na selekciju.

Izračunata vrednost očekivane genetičke dobiti od selekcije za sadržaj vlage u zrnu se kretala od 0,44% kod *Syn ZP* pri intenzitetu selekcije od 20% do 1,62% kod populacije *Syn FS* pri intenzitetu selekcije od 5%. Izračunate vrednosti su dosta niže od onih koje je u svom radu dobio Živanović (1997), a koje su se kretale od 5,3% za intenzitet selekcije od 20% do 6,6% za intenzitet selekcije od 10%. Naši rezultati su povoljni sa stanovišta praktične selekcije, pošto su poželjni genotipovi sa nižom vlagom u zrnu.

Vrednosti očekivane genetičke dobiti od selekcije za visinu biljke su bile najniže kod *Syn FS* (0,47% za intenzitet selekcije od 20%, odnosno 0,69% za intenzitet selekcije od 5%), nešto veće kod *Syn ZP* (0,50% za intenzitet selekcije od 20%, odnosno 0,74% za intenzitet selekcije od 5%), a najveće kod *Syn ZP/USA* (0,84% za intenzitet selekcije od 20%, odnosno 1,23% za intenzitet selekcije od 5%).

Ovakve razlike su prisutne i kada se posmatraju vrednosti očekivane genetičke dobiti za visinu klipa. Veće vrednosti su izračunate kod populacije *Syn ZP/USA* (1,26% za intenzitet selekcije od 20%, odnosno 1,86% za intenzitet selekcije od 5%) u odnosu na populacije *Syn ZP* (1,09% za intenzitet selekcije od 20%, a 1,60% za intenzitet selekcije od 5%) i *Syn FS* (1,01% za intenzitet selekcije od 20%, odnosno 1,48% za intenzitet selekcije od 5%).

Kao što se vidi, vrednosti očekivane genetičke dobiti od selekcije za visinu biljke, odnosno visinu klipa su bile najveće kod populacije *Syn ZP/USA*, i to 1,23% za visinu biljke, odnosno 1,86% za visinu klipa pri intenzitetu selekcije od 5%. Do sličnih rezultata su došli i Chapman i Edmeades (1999) za visinu biljke (genetička dobit 2% po

ciklusu), kao i Vera i Crane (1970), koji navode rezultate efikasnosti selekcije na visinu klipa kod dve populacije koje su nastale ukrštanjem adaptirane i egzotične germplazme (*Antigua 2D* $\times$ (*B10* $\times$ *B14*) i (*ETO* $\times$ *CBC*) F_5). Intenzitet selekcije je bio 50% u ukupno dva ciklusa. Selekcija je bila efikasna 4,5% po ciklusu, bez uticaja na procenat vlage u zrnu. Blago smanjenje prinosa zrna i poleganja nije bilo signifikantno.

Populacija *Syn ZP* je imala najveće vrednosti očekivane genetičke dobiti od selekcije za ukupan broj listova i broj listova ispod klipa. Izračunate vrednosti su se kretale od 2,72% za intenzitet selekcije od 20% do 4,01% za intenzitet selekcije od 5% za ukupan broj listova, a 2,82% za intenzitet selekcije od 20% do 4,16% za intenzitet selekcije od 5% za broj listova ispod klipa. Ukrštanje sintetika *Syn ZP* i *Syn ZP/USA* je uticalo na to da je najmanja genetička dobit izračunata kod sintetika *Syn FS* za ukupan broj listova i iznosila je 1,67% za intenzitet selekcije od 20%, odnosno 2,47% za intenzitet selekcije od 5%. Uticaj strane germplazme je smanjio genetičku dobit od selekcije za broj listova ispod klipa kod *Syn ZP/USA*, tako da su ostvarene najniže vrednosti za ovu osobinu, koje su se kretale od 2,14% za intenzitet selekcije od 20% do 3,15% za intenzitet selekcije od 5%.

Nasuprot ovome, kod *Syn ZP/USA* genetička dobit od selekcije za dužinu klipa bila je veća i iznosila je 4,52% za intenzitet selekcije od 20%, odnosno 6,66% za intenzitet selekcije od 5%. Živanović (1997) je u svom radu izračunao daleko niže vrednosti za ovu osobinu, koje su se kretale od 1,27% do 1,60%. Najniže vrednosti genetičke dobiti za ovu osobinu izračunate su za *Syn FS* i iznosile su od 3,66% (intenzitet selekcije od 20%) do 5,40% za intenzitet selekcije od 5%. Međutim, ovaj sintetik je imao najveću genetičku dobit za broj zrna u redu, koja se kretala od 2,44% za intenzitet selekcije od 20% do 3,59% za intenzitet selekcije od 5%. Za ovu osobinu najnižu vrednost genetičke dobiti je imao *Syn ZP* ($\Delta G_{20\%}=1,30\%$; $\Delta G_{5\%}=1,92\%$).

Ovako različit raspored genetičke dobiti primećuje se i za broj redova zrna i masu 1000 zrna. Za broj redova zrna najniža genetička dobit je bila kod *Syn ZP/USA* ($\Delta G_{20\%}=2,02\%$; $\Delta G_{5\%}=2,98\%$), a najveća kod *Syn FS* ($\Delta G_{20\%}=3,04\%$; $\Delta G_{5\%}=4,48\%$). Genetička dobit od selekcije za masu 1000 zrna je bila najveća kod *Syn ZP/USA* ($\Delta G_{20\%}=2,36\%$; $\Delta G_{5\%}=3,48\%$), a najmanja kod *Syn ZP* ($\Delta G_{20\%}=1,67\%$; $\Delta G_{5\%}=2,45\%$). Vrednosti genetičke dobiti za broj redova zrna su u saglasnosti sa

rezultatima Živanović-a (1997), koji je dobio vrednosti $\Delta G_{20\%}=1,86\%$ i $\Delta G_{10\%}=2,34\%$, ali su mnogo niže od njegovih rezultata za masu 1000 zrna ($\Delta G_{20\%}=15,87\%$; $\Delta G_{10\%}=19,95\%$).

S obzirom da je utvrđena značajna razlika u prinosu zrna između S_1 potomstava sintetičkih populacija pri različitim intenzitetu selekcije, poželjno je da se u daljem radu koristi intenzitet selekcije od 10% da bi se, uz poželjan odgovor na selekciju, održala i genetička varijabilnost materijala. Drugo rešenje bi bila istovremena selekcija u dve populacije, pri čemu bi u jednoj bio primenjen veći intenzitet selekcije (5%) radi bržeg popravka populacije, a u drugoj manji (20%) kako bi se očuvala njena genetička varijabilnost.

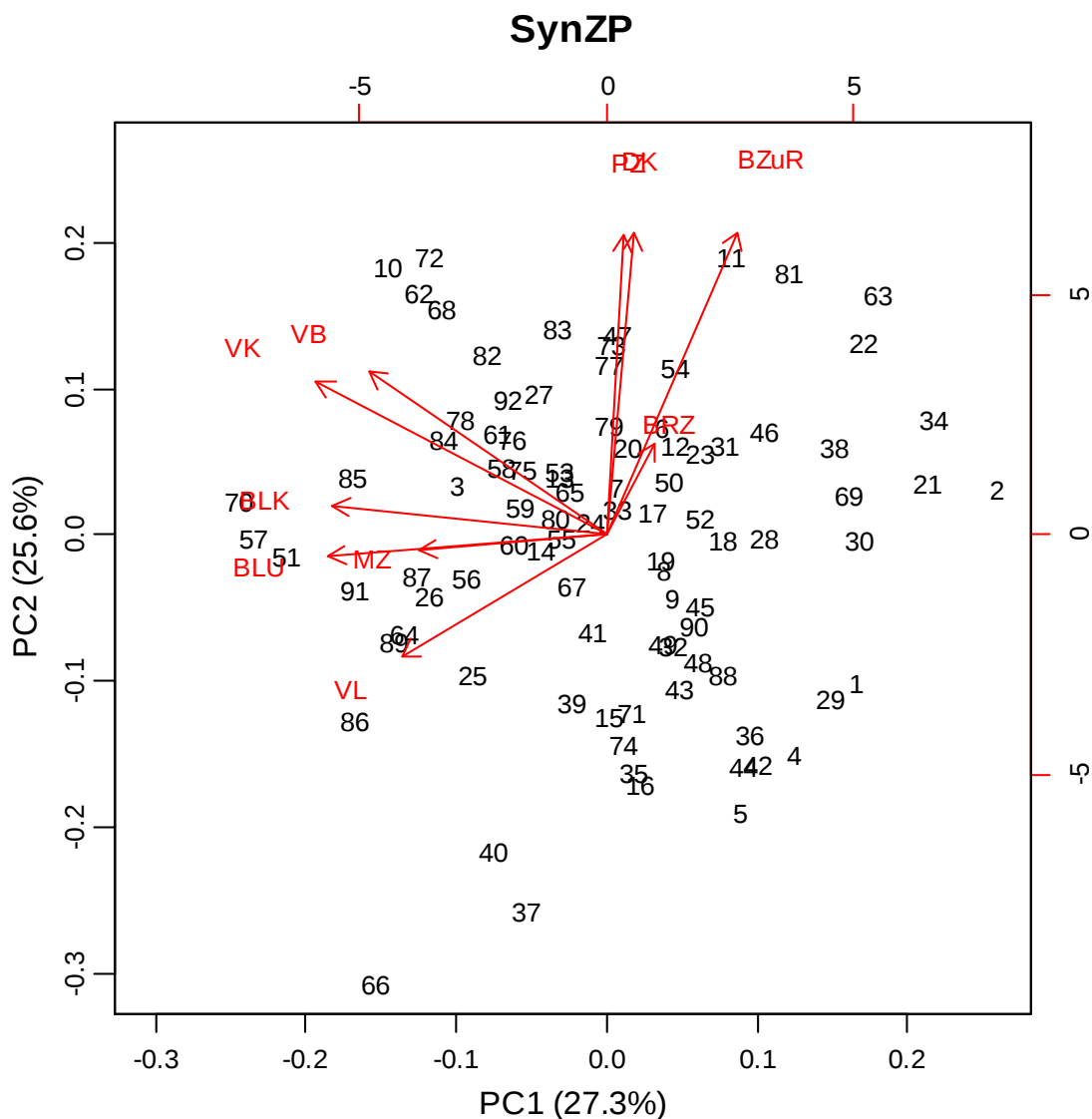
6.4. Multivarijaciona analiza osobina kod S_1 familija sintetičkih populacija kukuruza

Za praktičnu selekciju je od velikog značaja utvrditi kako se direktan uticaj jedne osobine (nezavisno promenljiva) razlikuje od njegovog indirektnog uticaja preko drugih osobina, na zavisno promenljivu. Prema *Falconer-u (1981)* glavni uzrok međuzavisnosti osobina je dejstvo plejotropnih i vezanih gena. Direktna selekcija na prinos *per se* je najbolji metod poboljšanja performansi selekcionog materijala. Indirektna selekcija bi imala prednost nad direktnom u slučaju kada osobina preko koje se vrši selekcija ima značajno veću vrednost heritabilnosti, kada su aditivne genetičke korelacije visoke i kada se osobina može lako izmeriti (Yuan et al., 2011). Povećanje jedne od komponenti prinosa uslovljeno je suprotnim promenama kod druge komponente, pa je najbolje vršiti direktnu selekciju na prinos. Prema Hallauer-u i Miranda-i (1988), indirektna selekcija na jednu kompleksnu osobinu kao što je prinos zrna nije moguća. Međutim, prinos zrna, kao i ostale agronomske osobine i njihova međuzavisnost su pod velikim uticajem spoljne sredine. Procenjene vrednosti heritabilnosti u velikoj meri variraju u različitim uslovima spoljne sredine za različite osobine i različit genetički materijal. Genotipovi sa visokim prinosom zrna obično imaju veliku biomasu, malu masu zrna, duži vegetacioni period. Selekcija na prinos zrna *per se* zavisi od iskustva selekcionera. Zbog raznih poteškoća koje se javljaju prilikom direktne selekcije na prinos, kao i zbog evidentne razlike između mogućeg i ostvarenog prinosa, mnogi oplemenjivači biljaka koriste indirektnu selekciju preko drugih osobina.

S obzirom da genetički koeficijenti korelacija pokazuju uzajamne veze između dve osobine teško je, u masi brojnih korelacija, odrediti stvarni uticaj pojedinih osobina. *PCA (Principal Component Analysis)* je efikasan metod za redukciju seta podataka kako bi se ukupna varijansa originalnih podataka svela na varijansu manjeg broja nekorelisanih sintetičkih varijabli. Redukcija seta podataka postiže se linearnom transformacijom originalnih u novi set nekorelisanih varijabli, koje se nazivaju glavnim komponentama (*principal components-PC*). Prva osa (*PC 1*) obuhvata najveći deo varijabilnosti sadržane u originalnom setu podataka u odnosu na ostale ose, dok druga osa (*PC 2*) objašnjava najveći deo varijabilnosti koja nije sadržana u *PC 1* (Mohammadi

i Prasanna, 2003). Biplot analiza genotipova prema osobinama, predložena od strane Yan-a i Rajcan-a (2002), je set grafičkih biplota koji povećavaju interpretativnu moć klasičnog *PCA* biplota. To je statistički metod za procenu genetičkog materijala na osnovu više osobina i identifikaciju superiornog genotipa sa željenim osobinama, koji može poslužiti za popravku osobina kod drugih materijala ili za direktnu komercijalnu upotrebu. Biplot analiza dopušta vizualizaciju genetičkih korelacija između osobina (Lee et al., 2002; Ma et al., 2004; Yan i Fregeau-Reid, 2008). Ova analiza je korišćena za ocenu varijeteta soje (Yan i Rajcan, 2002), pasulja (Gonzales et al., 2006), pšenice (Moris et al., 2004), šećerne repe (Ober et al., 2005) i ovsa (Peterson et al., 2005). Biplot analiza daje informacije o upotrebljivosti genotipa za dalji rad, detektuje manje važne osobine, kao i osobine preko kojih može da se vrši indirektna selekcija (Mohammadi i Amri, 2011). Srednja vrednost genotipa za datu osobinu je povoljnija ukoliko je ugao između vektora genotipa i vektora osobine manji od 90° , manje povoljna ako je ugao veći od 90° i blizu proseka ako je ugao 90° . Biplot prikazuje i međuzavisnost osobina kod različitih genotipova. Ako vektori dve osobine zaklapaju ugao od 180° osobine su zavisne, ali u suprotnom smeru; ukoliko je ugao 0° , dve osobine su zavisne u istom smeru, a ukoliko je ugao 90° između osobina nema korelacije.

PC biplot S_1 familija sintetičke populacije *Syn ZP* objasnio je 52,9% varijanse standardizovanih podataka (grafikon 1). Relativno nizak procenat obuhvaćene varijabilnosti sadržane u originalnom setu podataka ukazuje na kompleksnost odnosa između ispitivanih osobina. Prema Kroonenberg-u (1995) najvažniji odnosi između osobina bi trebalo da budu obuhvaćeni biplotom. Najveći indirektni uticaj na prinos zrna su imale dužina klipa i broj zrna u redu, a zatim visina biljke, visina klipa i broj listova ispod klipa. Pozitivan, ali slab indirektan uticaj je imao broj redova zrna. Jačina indirektnog uticaja zavisi od dužine vektora te osobine. Negativan indirektan uticaj na prinos zrna su imali ukupan broj listova, masa 1000 zrna i sadržaj vlage u zrnu. Prinos zrna, dužina klipa, broj zrna u redu i broj redova zrna su razdvojile genotipove duž *PC* 2 ose, dok su ostale osobine razdvojile genotipove duž *PC* 1 ose. Određeni broj S_1 familija je grupisan oko koordinatnog početka koji predstavlja imaginarni fenotip sa srednjim vrednostima svih osobina. Veći deo familija je bio raspoređen na različitim udaljenostima od koordinatnog početka. Familija S_{63} je imala



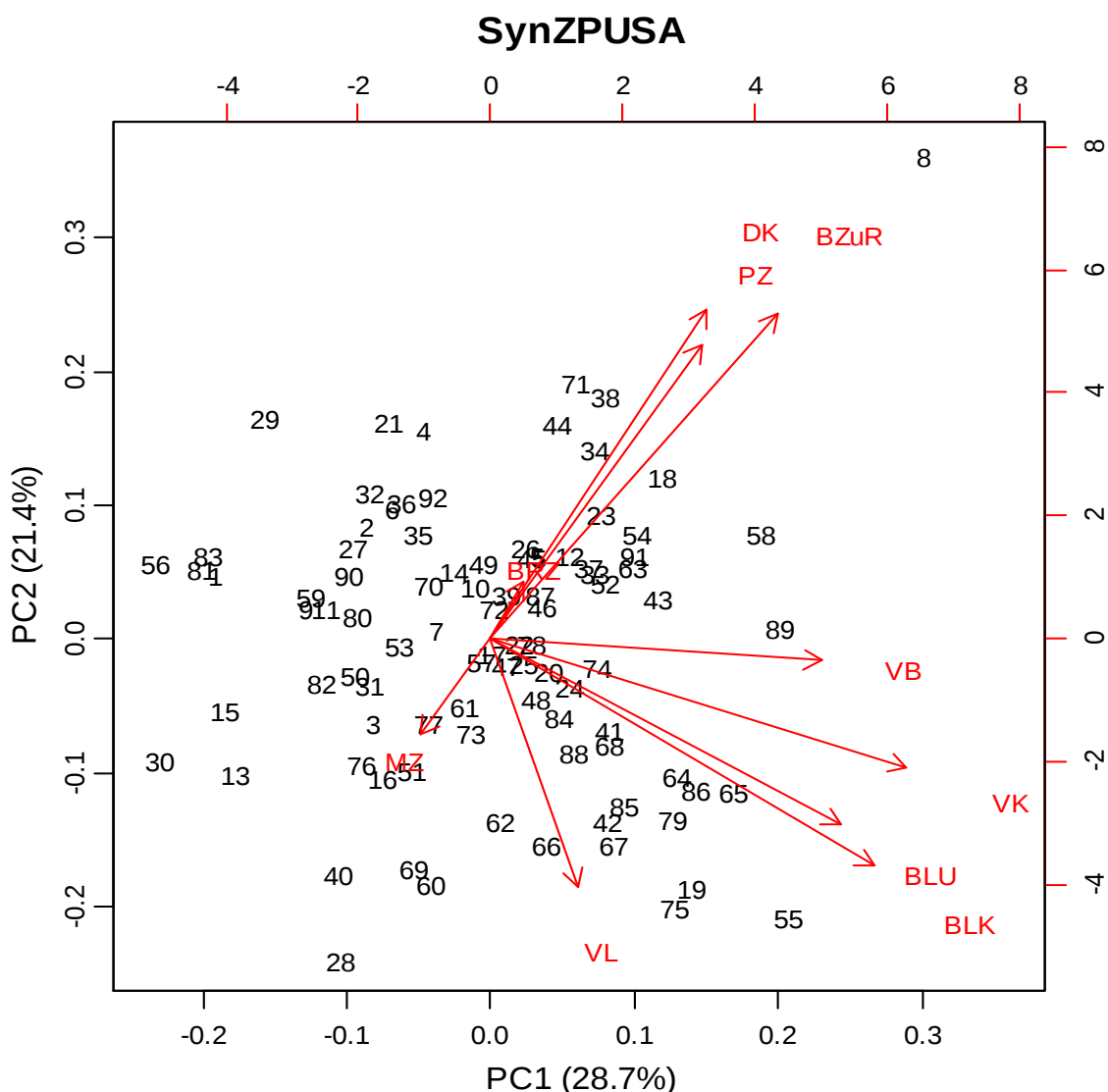
Grafikon 1. PC biplot 92 *Syn ZP S₁* familije kukuruza na osnovu 10 osobina (PZ-prinos zrna; VL-sadržaj vlage u zrnju; VB-visina biljke; VK-visina biljke; UBL-ukupan broj listova; BLK-broj listova iznad klipa; DK-dužina klipa; BRZ-broj redova zrna; BZuR-broj zrna u redu; MZ-masa 1000 zrna).

najveći prinos zrna, bila je među deset najboljih familija za broj redova zrna i broj zrna u redu, a među deset familija sa najmanjim vrednostima za ukupan broj listova i broj listova ispod klipa. Međuzavisnost svih osobina je smestila ovaj genotip u gornji desni kvadrant, ali dalje od vektora prinosa zrna, iako ima najveći prinos i očekivalo bi se da bude u njegovom pravcu. Familija S37 je imala najmanji prinos zrna, ali jednu od deset najvećih vrednosti za masu 1000 zrna i sadržaj vlage u zrnju, koje su povukle tačku ovog genotipa prema sredini koordinatnog početka. Ako pravom spojimo tačke koje

predstavljaju familije S63 i S37 i nju presečemo pravom pod pravim uglom koja prolazi kroz koordinantni početak, dobićemo razdvajanje ova dva genotipa po osobinama. Familija S63 ima veće vrednosti za prinos zrna, dužinu klipa, broj zrna u redu, broj redova zrna, visinu biljke i klipa od familije S37 i obrnuto, familija S37 ima veću vlagu u zrnu, ukupan broj listova, broj listova ispod klipa i masu 1000 zrna. Na ovaj način mogu se uporediti bilo koja dva genotipa. Za dalji rad se mogu odabrati genotipovi koji se nalaze dalje od koordinatnog početka, pošto oni imaju ekstremne vrednosti za pojedine osobine. Takođe je važno odabrati genotipove koji se nalaze blizu vektora željene osobine, ali ne preblizu, jer je to pokazatelj da samo ta osobina ima najveći indirektan uticaj na genotip. Cilj je, na primer, odabrati genotip kod koga više osobina utiče na prinos zrna. S obzirom da je prinos kompleksna osobina koja zavisi od mnogo činilaca, sigurno će biti veći i stabilniji ako više osobina ima indirektan uticaj na njega. Familija S72 ima vrednosti među najboljih deset familija za prinos zrna, visinu biljke, dužinu klipa, broj redova zrna i masu 1000 zrna, pa stoga vidimo da na prinos zrna ovog genotipa indirektan uticaj imaju četiri osobine.

PC biplot S_1 familija sintetičke populacije *Syn ZP/USA* objasnio je 50,1% varijanse standardizovanih podataka (grafikon 2). Vektori osobina i pozicije familija u prostoru su bili drugačiji nego kod *Syn ZP*. Pozitivan indirektan uticaj na prinos zrna kod ove sintetičke populacije su imale dužina klipa, broj zrna u redu, broj redova zrna, visina biljke, visina klipa, dok ukupan broj listova i broj listova ispod klipa nisu. Negativan indirektan uticaj na prinos zrna imale su vlaga u zrnu i masa 1000 zrna. Najveći pozitivan indirektan uticaj su imale dužina klipa i broj zrna u redu, a najveći negativan indirektan uticaj sadržaj vlage u zrnu. Visina biljke, visina klipa, ukupan broj listova i broj listova ispod klipa su razdvajali familije duž *PC* 1 ose, a prinos zrna, dužina klipa, broj zrna u redu, broj redova zrna, masa 1000 zrna i vlaga zrna duž *PC* 2 ose. Može se primetiti da je veći broj familija bio skoncentrisan oko koordinacionog početka (imaju osobine bliske srednjim vrednostima) i u donjem delu koordinatnog sistema, u odnosu na familije *Syn ZP*. I pored toga, smatramo da je kod *Syn ZP/USA* prisutna veća varijabilnost nego kod *Syn ZP*, pošto više familija ima ekstremnije vrednosti ispitivanih osobina, odnosno više je tačaka koje su udaljenije od srednje vrednosti.

Familija S8 je bila superiorna za prinos zrna, visinu biljke, visinu klipa, dužinu klipa i broj zrna u redu. Familija S42 je imala najmanji prinos zrna, ali je imala vrednosti među najboljih deset familija za visinu biljke i ukupan broj listova, pa se njena tačka nalazi bliže koordinacionom početku.



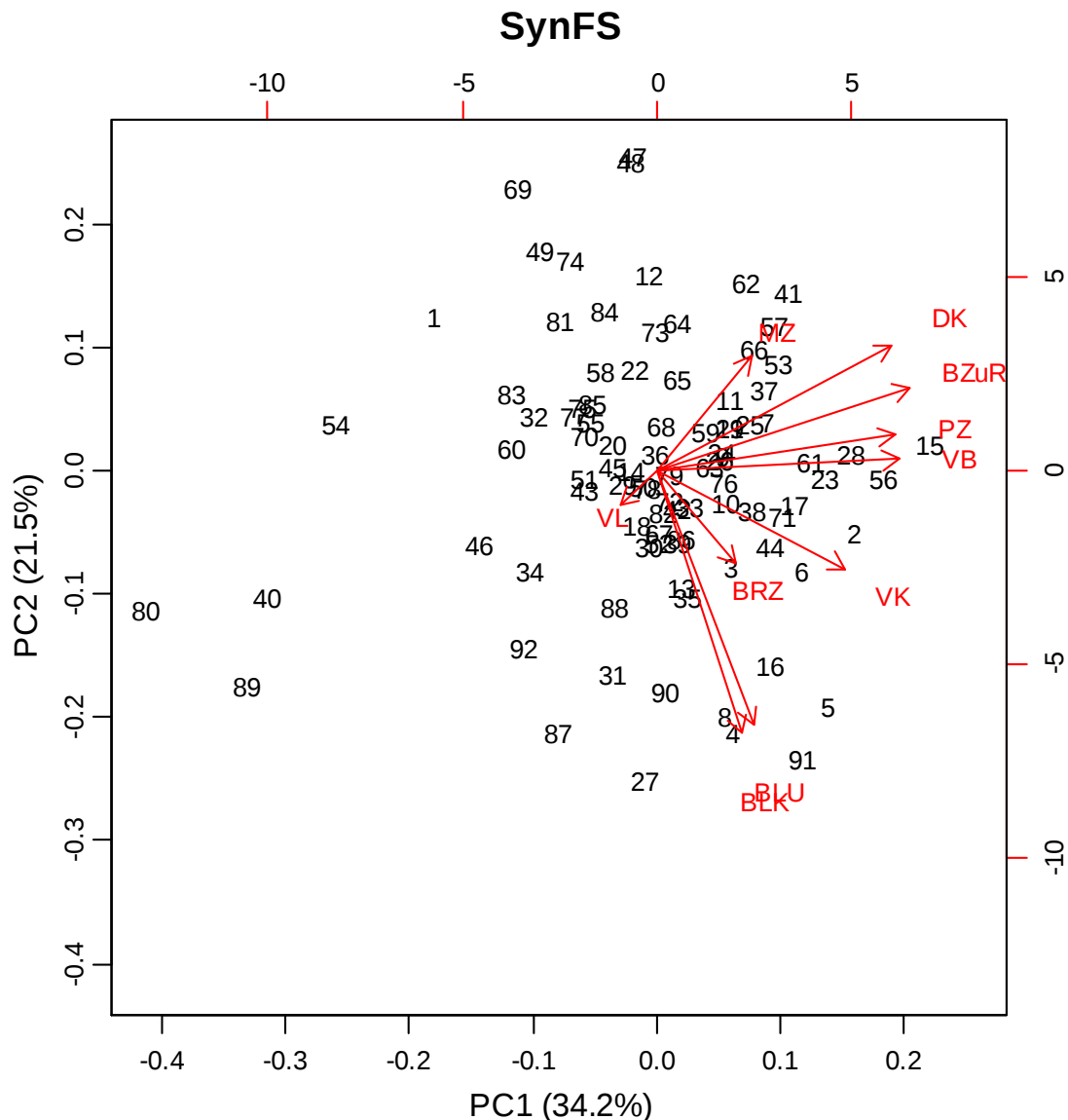
Grafikon 2. PC biplot 92 Syn ZP/USA S₁ familije kukuruza na osnovu 10 osobina (PZ-prinos zrna; VL-sadržaj vlage u zrnu; VB-visina biljke; VK-visina biljke; UBL-ukupan broj listova; BLK-broj listova iznad klipa; DK-dužina klipa; BRZ-broj redova zrna; BZuR-broj zrna u redu; MZ-masa 1000 zrna).

Familija S28 je imala vrednosti među najboljih deset za masu 1000 zrna, a među najlošijih deset za dužinu klipa i broj zrna u redu, pa su je ti indirektni uticaji smestili na suprotan kraj od S8 u pravcu vektora mase zrna. I u ovom sintetiku se može izdvojiti

nekoliko familija koje su po vrednostima za više osobina superiorne u odnosu na ostale genotipove. To su familije S8 (superiorna za prinos zrna, visinu biljke, visinu klipa, dužinu klipa, broj zrna u redu), S58 (superiorna za prinos zrna, visinu klipa, broj listova ispod klipa, dužinu klipa, broj zrna u redu, masu 1000 zrna), S71 (superiorna za u prinos zrna, visinu biljke, broj redova zrna), S38 (superiorna za u prinos zrna, dužinu klipa, broj zrna u redu) i S7 koja je bila superiorna po prinosu i masi zrna, ali je imala nižu biljku i klip, pa se nalazi bliže centru koordinacionog početka.

PC biplot S_1 familija sintetičke populacije *Syn FS* objasnio je 55,7% varijanse standardizovanih podataka (grafikon 3). Vektori osobina i pozicije familija u prostoru su bile drugačije nego kod predhodna dva sintetika. Pozitivan indirektan uticaj na prinos zrna su imale sve ispitivane osobine, osim sadržaja vlage u zrnu čiji je indirektan uticaj bio negativan i slab. Po intenzitetu uticaja se ističu dužina klipa, broj zrna u redu, visina biljke, ukupan broj listova i broj listova ispod klipa. Za razliku od predhodna dva sintetika, kod *Syn FS* indirektan uticaj mase 1000 zrna je bio pozitivan i srednje jačine.

Visina biljke, visina klipa, dužina klipa, broj zrna u redu i prinos zrna su razdvajali familije duž PC 1 ose, a ukupan broj listova, broj listova ispod klipa i broj redova zrna duž PC 2 ose. Masa 1000 zrna i sadržaj vlage u zrnu kao da nisu uticale na diskriminaciju genotipova po osama PC 1 i PC 2. Odsecci na x i y osi na koje se projektuju vrhovi njihovih vektora su bili jednaki. Može se primetiti da je veći broj familija skoncentrisan oko koordinacionog početka (imaju osobine bliske srednjim vrednostima), ali je prisutan određen broj genotipova sa izrazito ekstremnim vrednostima osobina. Nažalost, većina ovih ekstrema se nalazi na suprotnom kraju grafikona od vektora prinosa zrna, pa oni nisu interesantni za dalju selekciju. Prilikom tumačenja biplot analize, neophodno je da se konsultuju i tabele srednjih vrednosti, pošto mesto genotipa u prostoru često može da zavara. Ako pogledamo mesto familije S41, videćemo da je ona udaljena od vektora za prinos zrna. Međutim, ova familija ima najveći prinos zrna, vrednosti dužine klipa, broja zrna u redu i sadržaja vlage u zrnu među najboljih deset, a među najmanjih deset za broj listova ispod klipa.



Grafikon 3. PC biplot 92 *Syn FS* S₁ familije kukuruza na osnovu 10 osobina (PZ-prinos zrna; VL-sadržaj vlage u zrnju; VB-visina biljke; VK-visina biljke; UBL-ukupan broj listova; BLK-broj listova iznad klipa; DK-dužina klipa; BRZ-broj redova zrna; BZuR-broj zrna u redu; MZ-masa 1000 zrna).

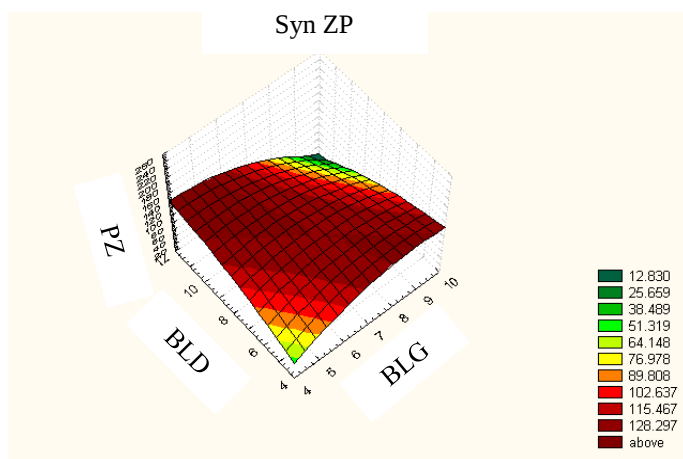
Očigledno je da su sadržaj vlage i broj listova ispod klipa bile presudne osobine koje su pomerile mesto ove familiju dalje od vektora za prinos zrna. Familija S15, koja se nalazi u pravcu vektora prinosa zrna, nije superiorna za ovu osobinu, ali se njene vrednosti za visinu biljke, visinu klipa, dužinu klipa i broj zrna u redu, koje imaju najveći indirektan uticaj na prinos zrna, nalaze među deset najvećih vrednosti familija. Najniži prinos zrna imala je familija S89. Pored toga, ova familija je imala vrednosti među najmanjih deset za visinu biljke, dužinu klipa, broj redova zrna, broj zrna u redu i

masu 1000 zrna. Familije S80 i S40, koje se nalaze blizu nje, takođe su imale nizak prinos zrna, ali i vrednosti među najmanjih deset za visinu biljke, visinu klipa, dužinu klipa, broj zrna u redu i masu 1000 zrna, odnosno za osobine koje imaju veliki pozitivan indirektan uticaj na prinos zrna. Prema srednjim vrednostima ispitivanih osobina i mestu koje su zauzele u prostoru može se izdvojiti nekoliko familija za dalju selekciju. Pored familije S41 čije smo vrednosti osobina već naveli, tu su familije S2 (superiorna za prinos zrna, dužinu klipa, broj redova zrna i broj zrna u redu), S28 (superiorna za prinos zrna, visinu biljke, visinu klipa, dužinu klipa i broj zrna u redu), S39 (superiorna za prinos zrna, broj redova zrna i masu 1000 zrna) i S38 koje je bila superiorna za prinos zrna, broj listova ispod klipa i broj redova zrna, a imala je najnižu vlagu zrna od svih izabраних familija.

PC biplot analiza je od velike pomoći prilikom indirektne selekcije na prinos zrna. Ova analiza na vizuelno prihvatljiv način razdvaja indirektne uticaje osobina i pozicionira genotipove u prostoru prema njihovim srednjim vrednostima. Međutim, visoke srednje vrednosti za neke osobine mogu značajno uticati na položaj genotipa u prostoru i udaljiti ga od vektora osobine na koju se vrši indirektna selekcija. Za praktičnu primenu indirektne selekcije važno je utvrditi koji je to opseg vrednosti osobina preko koje se vrši selekcija. U tome nam može pomoći grafički prikaz funkcionalne zavisnosti osobina. Ovaj grafički prikaz, na osnovu srednjih vrednosti, formira ravan uticaja dve osobine na treću. On ukazuje na raspored srednjih vrednosti genotipova neke populacije i označava realnu i pouzdanu zonu selekcije, odnosno selektivnih parametara, iz koje se može vršiti odabir.

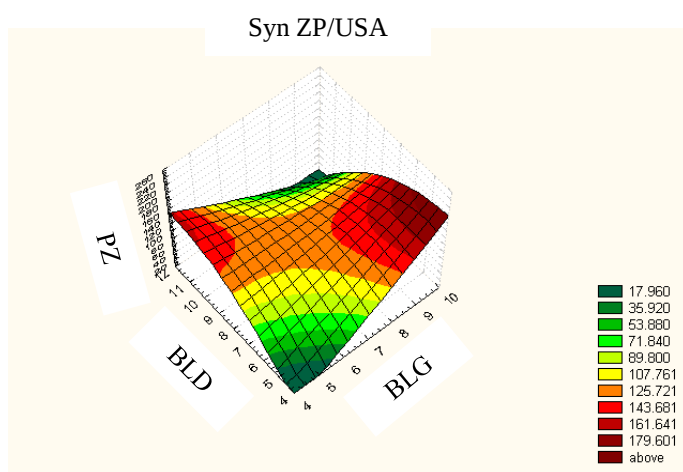
Na grafikonu 4 može se videti funkcionalna zavisnost prinosa zrna od broja listova iznad klipa i broja listova ispod klipa kod S₁ familija *Syn ZP*. Primećuje se da je ravan konveksna, što ukazuje na postojanje genotipova sa visokim prinosom zrna i srednjim vrednostima za ove dve osobine. U ovom slučaju je primetna čitava oblast različitih vrednosti za broj listova iznad klipa i broj listova ispod klipa koje daju visok prinos zrna. Ali, ako za selekcionu oblast uzmemo prosečne vrednosti ovih osobina, zaključujemo da je najbolje birati genotipove koji imaju od 6,5 do 7,5 listova iznad klipa i od 8 do 9 listova ispod klipa. Oblasti koje se nalaze na obodu ravni predstavljaju

projektovane vrednosti osobina i ne potvrđuju da se takvi genotipovi mogu naći u populaciji, za razliku od srednje oblasti ravni koja je dokaz njihovog postojanja.



Grafikon 4. Funkcionalna zavisnost prinosa zrna (PZ) od broja listova iznad klipa (BLG) i broja listova ispod klipa (BLD) kod *Syn ZP S₁* familija kukuruza

Kod *S₁* familija *Syn ZP/USA* funkcionalna zavisnost je malo drugačija (grafikon 5). Genotipovi sa srednjim vrednostima za broj listova ispod klipa i broj listova iznad klipa nisu bili najprinosniji.

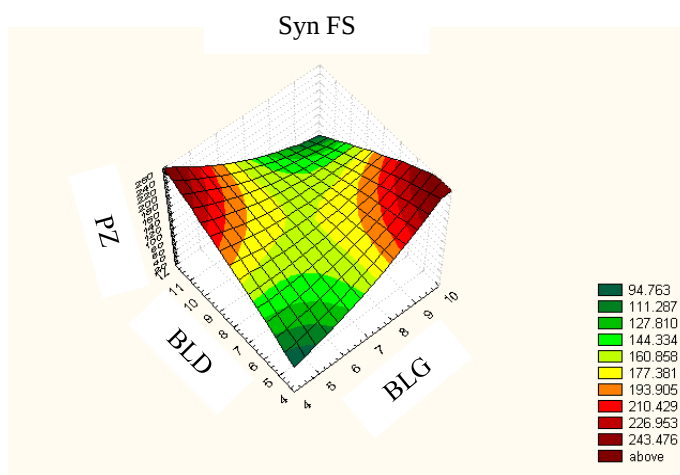


Grafikon 5. Funkcionalna zavisnost prinosa zrna (PZ) od broja listova iznad klipa (BLG) i broja listova ispod klipa (BLD) kod *Syn ZP/USA S₁* familija kukuruza

Najveću vrednost prinosa zrna imaju oblasti na obodu ravni, odnosno genotipovi, ako postoje, sa 4 do 5 listova ispod klipa i 9 do 10 listova iznad klipa,

odnosno sa 10 do 11 listova ispod klipa i 4 do 5 listova iznad klipa. Postojanje takvih genotipova je malo verovatno, pa se za odabir moraju uzeti druge dve oblasti. Kod ove populacije je najbolje birati familije sa 10 listova ispod klipa i 5 do 8 listova iznad klipa, kao i one sa 8,5 listova ispod klipa i 8 listova iznad klipa.

Funkcionalna zavisnost prinosa zrna kod S_1 familija *Syn FS* (grafikon 6) je bila slična kao kod *Syn ZP/USA*, s tim što je izraženija konkavnost, pa se mogu izdvojiti dve oblasti ravni za izbor familija. Najprinosniji genotipovi su na projektovanim delovima ravni. Familije koje bi mogle biti od interesa za dalju selekciju bi trebalo da imaju 10 donjih listova i 5 do 5,5 gornjih listova, odnosno 8 donjih i 8,5 do 9 gornjih listova.

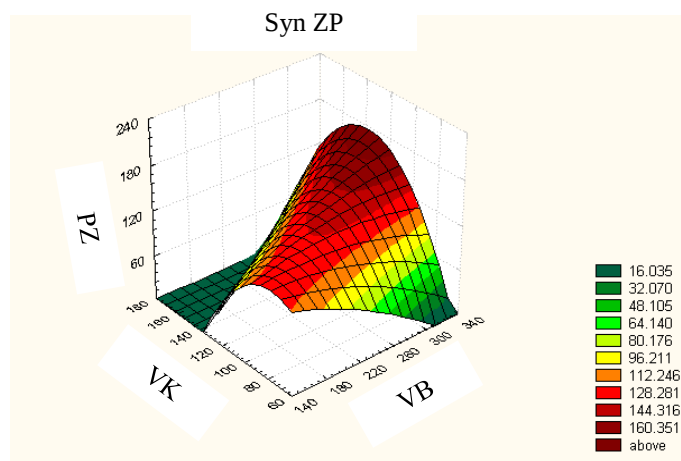


Grafikon 6. Funkcionalna zavisnost prinosa zrna (PZ) od broja listova iznad klipa (BLG) i broja listova ispod klipa (BLD) kod *Syn FS* S_1 familija kukuruza

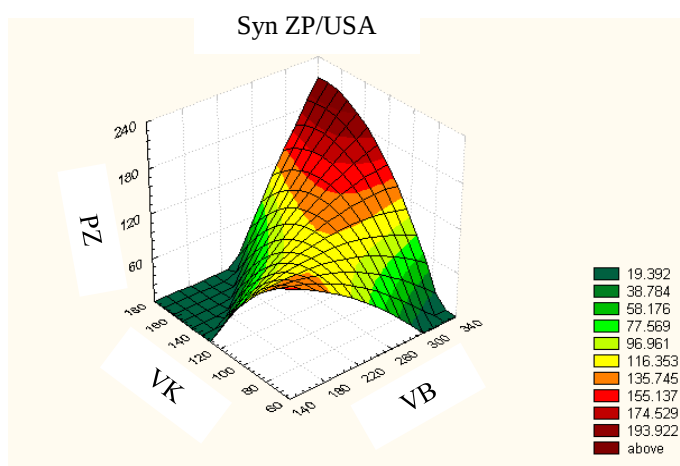
Uticaj visine biljke i visine klipa na prinos zrna kod S_1 familija sintetičke populacije *Syn ZP* je prikazan na grafikonu 7. Funkcionalna zavisnost je konveksna, a visoko prinosni genotipovi su pozicionirani u oblasti manje visine klipa duž čitavog raspona vrednosti za visinu biljke. Konveksnost ravni ukazuje na postojanje visokoprinosnih genotipova sa željenom visinom biljke i klipa. Familije koje su interesantne za dalju selekciju bi trebalo da imaju visinu klipa oko 100 cm, a visina biljke može varirati od 180 do 240 cm. S obzirom da su to familije koje su u populaciji imale najveći prinos zrna, realno je očekivati da će se daljom selekcijom dobiti inbred linije visokog prinosa zrna *per se*.

Funkcionalna zavisnost prinosa zrna od visine biljke i visine klipa kod S_1 familija *Syn ZP/USA* je po jednoj dijagonali konveksna, dok je po drugoj konkavna

(grafikon 8). Familije sa srednjom vrednošću za visinu biljke i klipa imaju najniži prinos zrna. Izbor familija za dalju selekciju bi trebao da se ograniči na one sa visinom klipa oko 100 cm i visinom biljke između 260 i 300 cm, pošto su takve familije imale zadovoljavajući prinos zrna.



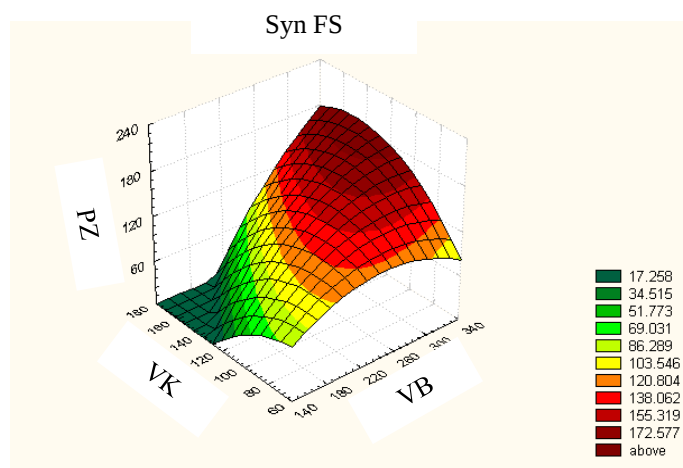
Grafikon 7. Funkcionalna zavisnost prinosa zrna (PZ) od visine biljke (VB) i visine klipa (VK) kod Syn ZP S₁ familija kukuruza



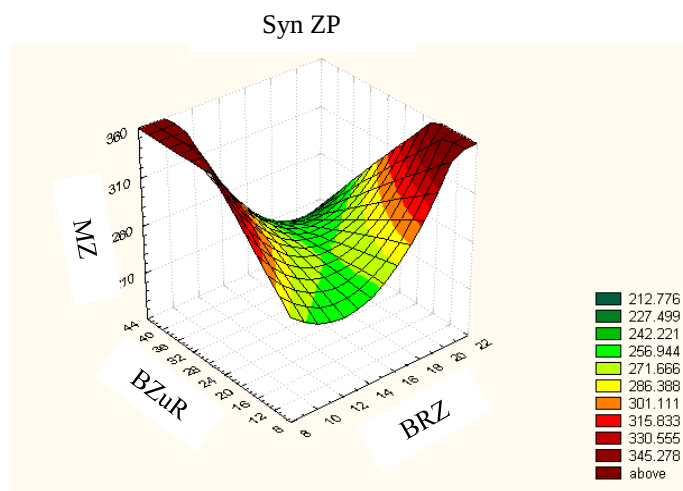
Grafikon 8. Funkcionalna zavisnost prinosa zrna (PZ) od visine biljke (VB) i visine klipa (VK) kod Syn ZP/USA S₁ familija kukuruza

Kod S₁ familija sintetičke populacije Syn FS funkcionalna zavisnost prinosa zrna od visine biljke i klipa je bila konveksna, tako da je vrlo realan izbor genotipova sa visokim prinosom zrna indirektnim putem preko ove dve osobine (grafikon 9). Visina

klipa koja može pomoći pri izboru visokoprinosnih genotipova je oko 100 cm, a visina biljke u intervalu od 270 do 310 cm. Prilikom izbora familija treba izbegavati granične vrednosti koje praktično spadaju u projektovane vrednosti.



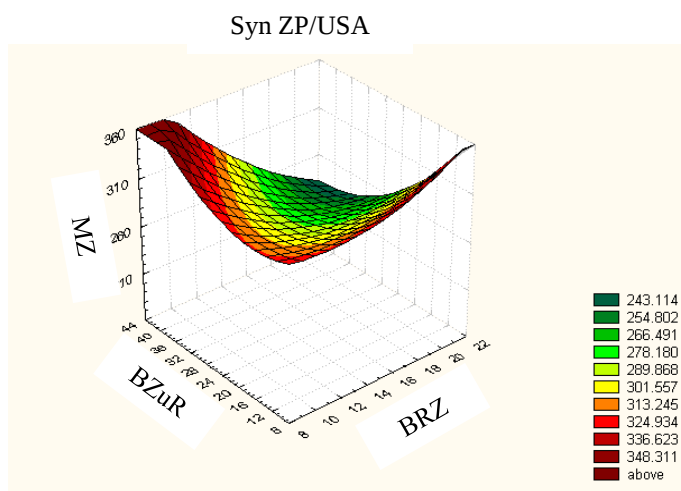
Grafikon 9. Funkcionalna zavisnost prinosa zrna (PZ) od visine biljke (VB) i visine klipa (VK) kod *Syn FS* S₁ familija kukuruza



Grafikon 10. Funkcionalna zavisnost mase 1000 zrna (MZ) od broja redova zrna (BRZ) i broja zrna u redu (BZuR) kod *Syn ZP* S₁ familija kukuruza

Indirektna selekcija preko agronomskih osobina se može koristiti za selekciju genetičkog materijala na neku drugu osobinu, osim prinosa zrna. Funkcionalna zavisnosti mase 1000 zrna od broja redova zrna i broja zrna u redu kod S₁ familija *Syn ZP* prikazana je na grafikonu 10. Zavisnost je izrazito konkavna, tako da većina familija

ima manju masu zrna pri srednjim vrednostima za broj redova zrna i broj zrna u redu. Potrebno je obratiti pažnju na granične oblasti koje, istina, pokazuju najveću masu zrna, ali je to projektovana vrednost. Izbor familija za indirektnu selekciju na masu zrna preko broja redova zrna i broja zrna u redu bi mogao da se podeli u dve grupe - na familije sa 16 do 18 redova zrna i oko 20 zrna u redu (kratki klipovi sa većim brojem redova zrna) i na familije sa 12 redova zrna i 30 do 38 zrna u redu (duži klipovi sa manjim brojem redova zrna).

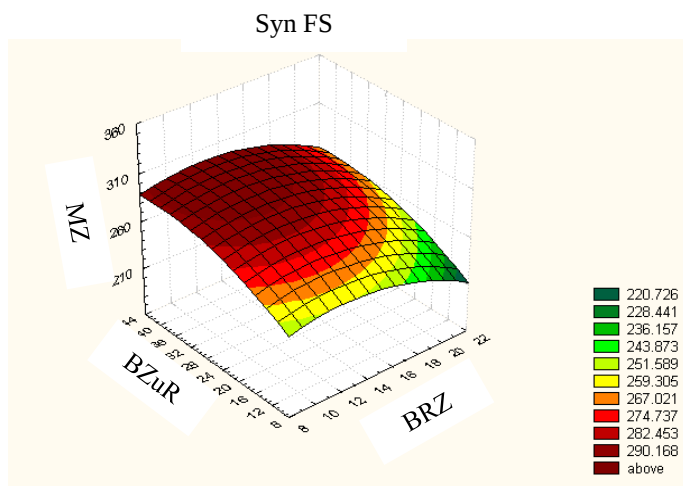


Grafikon 11. Funkcionalna zavisnost mase 1000 zrna (MZ) od broja redova zrna (BRZ) i broja zrna u redu (BZuR) kod *Syn ZP/USA* S₁ familija kukuruza

Kod S₁ familija sintetičke populacije *Syn ZP/USA* funkcionalna zavisnost mase 1000 zrna je blago konkavna (grafikon 11). Familije sa većom masom zrna se nalaze u oblastima sa manjim brojem redova zrna i manjim brojem zrna u redu. Ako odbacimo granične vrednosti, mogu se izdvojiti dve oblasti u kojima su intervali vrednosti za broj zrna u redu od 28 do 34 i broj redova zrna od 12 do 16, odnosno od 20 do 30 zrna u redu i 16 do 20 redova zrna.

Kako rekombinacija genetičkog materijala može uticati na promenu odnosa između osobina najbolje se može videti na primeru uticaja broja redova zrna i broja zrna u redu na masu 1000 zrna kod S₁ familija *Syn FS* (grafikon 12). Kod predhodne dve sintetičke populacije, grafički prikaz funkcionalne zavisnosti je bio izrazito konkavan, dok je kod *Syn FS* on konveksan. U ovoj populaciji se mogu naći genotipovi sa velikom

masom zrna, odnosno može se odrediti realna zona selekcije. Familije koje su najbolje za dalju selekciju na masu 1000 zrna imaju od 12 do 16 redova i od 32 do 40 zrna u redu.



Grafikon 12. Funkcionalna zavisnost mase 1000 zrna (MZ) od broja redova zrna (BRZ) i broja zrna u redu (BZuR) kod *Syn FS* S₁ familija kukuruza

Grafički prikaz funkcionalne zavisnosti osobina može pomoći pri indirektnoj selekciji, pošto daje slikovit prikaz intervala variranja osobina preko kojih se vrši indirektna selekcija. Za selekcionere je korisno poznavanje ovog intervala, jer pozitivan i jak indirektan uticaj neke osobine ne znači da treba birati genotipove sa ekstremnim vrednostima. Obično ekstremne vrednosti odabranih osobina ne daju najveću vrednost osobine na koju se vrši indirektna selekcija.

6.5. Srednje vrednosti kvantitativnih osobina i analiza varijanse kod roditeljskih linija i linija potomstva sintetičkih populacija kukuruza

Inbred linije poreklom iz lokalnih sorti kukuruza Vukovarski zuban, Šidski zuban, Rumski zuban, Istarski krupnozrni zuban i Istarska populacija 17 su poslužile kao početni materijal za stvaranje sintetika *Syn ZP*. Kombinacijom ovih linija sa linijom B37, poreklom iz *Iowa Stiff Stalk* sintetika, napravljen je *Syn ZP/USA*. Ovi sintetici su uključeni u dugoročni program S_1 rekurentne selekcije i posle više godina samooplodnje, iz prvog ciklusa, odabrano je nekoliko linija za dalji rad. Da bismo procenili moguća poboljšanja agronomski važnih osobina kod potomstva u odnosu na roditeljske linije od kojih su stvoreni sintetici sve linije smo postavili u ogled po *RCB* dizajnu zajedno sa sintetičkim populacijama *per se*. Za obračun rezultata ogleda uzete su srednje vrednosti linija na osnovu kojih je utvrđivana značajnost osobina. Ovim je pokušano da se izbegne uticaj sintetika *per se* na povećanje prosečne vrednosti celog ogleda.

U tabeli 29 su prikazane srednje vrednosti prinosa i analiza varijanse za prinos zrna. Sredine kvadrata lokacija bile su visoko značajne, što poukazuje da su različiti agroekološki uslovi uticali na ispoljavanje ove osobine. Sredine kvadrata tretmana su bile visoko značajne, što je, sa selekcionerskog stanovišta, korisno za dalju selekciju. Ova značajnost pokazuje da razlike u prinosu zrna između ispitivanih linija mogu da se pripisuju razlikama u genetičkoj strukturi genotipova, a ne drugim uticajima. Sredine kvadrata između ponavljanja kroz lokacije nisu bile značajne, što ukazuje na to da je tehnika izvođenja ogleda bila na zadovoljavajućem nivou.

Najveći prosečni prinos su ostvarile tri sintetičke populacije *per se*, što je i očekivan rezultat. Ako ove vrednosti uporedimo sa prosečnim prinosom S_1 familija, vidimo da je *Syn FS per se* (7,592 t/ha) ponovo imao najveći prinos zrna, ali je *Syn ZP/USA per se* (7,068 t/ha) ostvario veći prinos od *Syn ZP per se* (6,817 t/ha). Visoko značajno veći prinos od proseka linija (3,957 t/ha) su ostvarile tri linije potomstava (*Syn ZP/USA-12/4-2-1-1-1-1*=5,842 t/ha; *Syn ZP/USA-12/6-2-3-2-2-1*=5,709 t/ha i *Syn ZP/USA-6/2-1-2-2-1-1*=5,218 t/ha) i jedna roditeljska linija, R348 (5,111 t/ha). Sve tri

linije potomstva vode poreklo iz *Syn ZP/USA*. Najprinosnija linija iz *Syn ZP* je bila *Syn ZP-116/4-1-1-1-1-1* koja je dostigla prinos zrna od 4,307 t/ha ali je, sa druge strane, linija *Syn ZP-13/1-1-1-1-1-1* poreklom iz ovog sintetika imala najmanji prinos zrna (2,876 t/ha). Može se primetiti da su sve linije potomstava, osim linija P1, P3 (poreklom iz *Syn ZP*) i P8 (poreklom iz *Syn ZP/USA*) imale veći prinos od roditeljskih linija. Najniži prinos od roditeljskih linija imala je linija R59 (2,876 t/ha) što je veoma interesantno, s obzirom da je linija iz iste sorte, R348, imala najveći prinos zrna među roditeljskim linijama. Može se istaći da su primenom rekurentne selekcije iz sintetisanog početnog materijala stvorene linije sa većim prinosom zrna u odnosu na roditeljske linije.

Tabela 29. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za prinos zrna (t/ha) za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	Prinos	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	<i>Syn FS per se</i>	7.592**	Lokacije	3	8.261	**
2	<i>Syn ZP/USA per se</i>	7.068**	Pon.(Lokacije)	4	0.134	nz
3	<i>Syn ZP per se</i>	6.817**	Tretmani	24	14.000	**
4	P7	5.842**	Lok. x Tret.	72	0.980	**
5	P9	5.709**	Greška	96	0.318	
6	P6	5.218**	Total	199	2.324	
7	R348	5.111**	CV = 12.99%			
8	P10	4.479	*, ** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	P4	4.307	nz – statistički nije značajno			
10	P11	4.022				
11	Prosek linija	3.957st				
12	P2	3.906				
13	P5	3.831				
14	V395/31	3.783				
15	i2/29	3.720				
16	Š144	3.705				
17	B37	3.502				
18	i32/1157	3.442				
19	P8	3.402				
20	i172/16-3	3.385*				
21	P3	3.349*				
22	i171/37-121	3.280*				
23	i172/348-142	3.130**				
24	R59	3.105**				
25	P1	2.876**				
	LSD _{0.05}	0.560				
	LSD _{0.01}	0.741				

Srednje vrednosti za sadržaj vlage u zrnu kod ispitivanih linija i analiza varijanse su prikazane u tabeli 30. Sredine kvadrata lokacija, genotipova (tretmani) i genotipova kroz lokacije su bile visoko značajne, što ukazuje na postojanje genetičkih razlika između linija, što predstavlja dobru osnovu za dalju analizu ovih rezultata.

Najveću prosečnu vlagu zrna prilikom berbe je imala linija Syn ZP-116/4-1-1-1-1 (23,31%**), poreklom iz Syn ZP. Od sintetičkih populacija *per se*, najveću vlagu je imao Syn FS (22,47%**), što je suprotno rezultatima S₁ familija.

Tabela 30. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za vlagu u zrnu (%) za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza Syn ZP i Syn ZP/USA

Rb.	Genotip	Vlaga zrna	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	P4	23.311**	Lokacije	3	161.971	**
2	Syn FS <i>per se</i>	22.467**	Pon.(Lokacije)	4	2.609	nz
3	i32/1157	22.429**	Tretmani	24	30.231	**
4	R348	22.346**	Lok. x Tret.	72	10.514	**
5	Syn ZP <i>per se</i>	22.317**	Greška	96	1.572	
6	V395/31	22.250**	Total	199	10.703	
7	i172/16-3	22.130**	CV = 6.18%			
8	Syn ZP/USA <i>per se</i>	21.933**	*, ** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	P1	21.814**	nz – statistički nije značajno			
10	i171/37-121	21.664**				
11	Š144	21.381*				
12	P9	21.038				
13	i172/348-142	20.998				
14	Prosek linija	20.012st				
15	P5	18.925				
16	i2/29	18.885				
17	R59	18.450*				
18	P7	18.450*				
19	P3	18.375*				
20	B37	18.253**				
21	P11	18.238**				
22	P8	18.237**				
23	P6	18.150**				
24	P2	17.588**				
25	P10	17.337**				
	LSD _{0.05}	1.244				
	LSD _{0.01}	1.648				

Od roditeljskih linija najveću vlagu su imale i32/1157 (22,43%**), i R348 (22,35%**), dok je najmanja vlaga bila kod linija B37 (18,25%**), i R59 (18,45%**). Važno je istaći da je sedam linija potomstva imalo značajno nižu vlagu od proseka linija, od čega su dve linije poreklom iz Syn ZP (P2** i P3*), a pet iz Syn ZP/USA

(P6**, P7*, P8**, P10** i P11**). Samo dve roditeljske linije su imale značajno nižu vlagu zrna od proseka linija (B37** i R59*), dok su ostale imale veću vlagu od proseka. Ovo je veoma važan rezultat, pošto je cilj bio stvoriti linije koje imaju manju vlagu u zrnu od postojećih linija poreklom iz adaptirane germplazme.

Tabela 31. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za visinu biljke (cm) za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	Visina biljke	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	i171/37-121	246.245**	Lokacije	3	6788.267	**
2	<i>Syn ZP/USA per se</i>	244.151**	Pon.(Lokacije)	4	99.839	nz
3	<i>Syn FS per se</i>	237.104**	Tretmani	24	5360.521	**
4	<i>Syn ZP per se</i>	234.206**	Lok. x Tret.	72	309.468	**
5	i172/16-3	229.956**	Greška	96	73.960	
6	R348	226.143**	Total	199	898.492	
7	i32/1157	219.244**	CV = 4.31%			
8	i172/348-142	216.655**	*,** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	Š144	215.432**	nz – statistički nije značajno			
10	P8	200.846				
11	P9	200.494				
12	P10	196.816				
13	Prosek linija	194.361st				
14	i2/29	190.769				
15	P7	188.460				
16	P4	185.555*				
17	P3	181.448**				
18	P1	180.042**				
19	R59	178.850**				
20	V395/31	178.352**				
21	P6	175.675**				
22	B37	175.126**				
23	P2	166.185**				
24	P5	165.488**				
25	P11	163.809**				
LSD _{0.05}		8.535				
LSD _{0.01}		11.305				

Podatak da je pet linija iz *Syn ZP/USA* imalo nižu vlagu zrna od proseka linija, naspram dve linije iz *Syn ZP*, ukazuje na činjenicu da je inkorporacija strane germplazme uticala na smanjenje vrednosti ove osobine, odnosno da je napravljeno značajno njeno poboljšanje. Zahtevi tržišta uslovljavaju upotrebu hibrida sa manjim sadržajem vlage u zrnu prilikom berbe, pa je veoma važno stvarati genetički materijal ranijih grupa zrenja.

Stvaranje sintetičkih populacija kukuruza i selekcija novih inbred linija iz njih dovela je do značajnog smanjenja prosečne visine biljke i klipa u odnosu na roditeljske linije (tabele 31 i 32). Različiti agroekološki uslovi na lokalitetima ispitivanja su uticali značajno na ispoljavanje ovih osobina tako da su sredine kvadrata lokacija bile visoko značajne. Za praktičnu selekciju su važne sredine kvadrata genotipova i interakcije genotipova i lokacija, a one su bile visoko značajne za obe osobine, osim interakcije genotipova i lokacija za visinu klipa koja je bila značajna. Sredine kvadrata ponavljanja u okviru lokacija nisu bile značajne, pa se može reći da je tehnika izvođenja ogleda bila na zadovoljavajućem nivou pa interpretacija rezultata ima svoju realnu podlogu.

Tabela 32. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za visinu klipa (cm) za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	Visina biljke	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	i172/16-3	101.468**	Lokacije	3	1179.545	**
2	<i>Syn ZP/USA per se</i>	98.439**	Pon.(Lokacije)	4	114.565	nz
3	i171/37-121	94.124**	Tretmani	24	1509.927	**
4	i32/1157	93.855**	Lok. x Tret.	72	87.352	*
5	<i>Syn FS per se</i>	92.938**	Greška	96	58.809	
6	i172/348-142	92.657**	Total	199	262.162	
7	<i>Syn ZP per se</i>	91.930**	CV = 9.88%			
8	R348	89.957**	*,** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	Š144	87.588**	nz – statistički nije značajno			
10	V395/31	79.446				
11	P10	75.813				
12	i2/29	75.754				
13	P9	75.689				
14	Prosek linija	75.289st				
15	P8	74.216				
16	P4	68.946				
17	R59	68.684				
18	P6	68.511				
19	P2	65.485*				
20	P7	64.899**				
21	P3	64.465**				
22	B37	64.045**				
23	P5	62.867**				
24	P11	58.822**				
25	P1	53.781**				
	LSD _{0.05}	7.611				
	LSD _{0.01}	10.081				

Najveća prosečna visina biljke je izmerena kod linije i171/37-121 (246,25cm**), a prosečna visina klipa kod linije i172/16-3 (101,468**). Obe ove linije

potiču iz Istarske populacije. Najmanju visinu biljke je imala linija Syn ZP/USA-117/5-1-3-1-1-1 (163,81cm**), a visinu klipa linija Syn ZP-13/1-1-1-1-1-1 (53,78cm**). Od sintetičkih populacija *per se* najveću visinu biljke i klipa je imao Syn ZP/USA (244,15cm**; 98,44cm**). Pet roditeljskih linija (i172/16-3, R348, i32/1157, i172/348-142 i Š144) je imalo visoko značajno veću visinu biljke od proseka linija, a tri (R59, V395/31 i B37) visoko značajno manju. Linija B37 je od roditeljskih linija imala najniži klip (64,05cm**) u odnosu na prosek linija, dok je šest roditeljskih linija imalo visoko značajno veću visinu klipa od proseka (i172/16-3, i171/37-121, i32/1157, i172/348-142, R348 i Š144). Ako poredimo rezultate visine biljke i klipa kod linija potomstva, vidimo da nijedna linija nije imala značajno višlju biljku ili klip u odnosu na prosek linija, da je kod osam linija izmerena značajno niža biljka (P11**, P5**, P2**, P6**, P1**, P3** i P4*), a kod šest značajno niži klip (P1**, P11, P5**, P3**, P7** i P2*). Od ovih osam linija pet su poreklom iz Syn ZP, a tri iz Syn ZP/USA.

U programima selekcije se, prilikom odabira biljaka po fenotipu, uglavnom uzimaju biljke koje imaju nižu biljku i klip. Takva arhitektura biljke omogućava veću stabilnost i otpornost na lom stabla. Selektioneri i nesvesno favorizuju takve genotipove. Zatim, takve biljke bolje podnose povećane gustine useva i ekonomičnije su za semensku proizvodnju. Moramo prihvatiti činjenicu da praktična selekcija favorizuje, uglavnom, suprotne ekstreme od prirodne, ali to nam je i bio cilj. Primenom odabranog metoda selekcije i stvaranjem raznovrsnog početnog materijala uspeali smo da popravimo srednje vrednosti za visinu biljke i klipa u odnosu na polazne, roditeljske linije.

Osobine koju su, na neki način, jako vezane za visinu biljke i klipa su ukupan broj listova i broj listova iznad klipa (tab. 33 i 34). Sredina kvadrata lokacija iz analize varijanse za ukupan broj listova nije bila značajna, što ukazuje na to da spoljna sredina nije u velikoj meri uticala na ovu osobinu, dok je za broj listova iznad klipa bila visoko značajna. Genotipovi su se visoko značajno razlikovali za obe osobine, na šta ukazuje sredina kvadrata tretmana. Od sintetičkih populacija *per se* najveći prosečan broj listova na biljci i broj listova iznad klipa je imala populacija Syn ZP/USA (12,75** i 6,55**). Od roditeljskih linija, najveći prosečan ukupan broj listova je imala linija Š144 (12,42**), a najveći broj listova iznad klipa R348 (6,85**).

Tabela 33. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za ukupan broj listova za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	UBL	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	<i>Syn ZP/USA per se</i>	12.749**	Lokacije	3	3.303	nz
2	Š144	12.421**	Pon.(Lokacije)	4	0.512	nz
3	i2/29	12.417**	Tretmani	24	6.322	**
4	R348	12.337**	Lok. x Tret.	72	0.515	**
5	i172/348-142	12.311**	Greška	96	0.257	
6	<i>Syn ZP per se</i>	12.292**	Total	199	1.133	
7	i171/37-121	12.262**	CV = 4.44%			
8	i32/1157	12.245**	*,** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	i172/16-3	12.063**	nz – statistički nije značajno			
10	P8	11.923*				
11	B37	11.901*				
12	<i>Syn FS per se</i>	11.712				
13	R59	11.445				
14	P10	11.431				
15	Prosek linija	11.308st				
16	P1	11.209				
17	V395/31	11.091				
18	P4	10.563**				
19	P9	10.517**				
20	P3	10.405**				
21	P2	10.296**				
22	P6	10.281**				
23	P7	10.203**				
24	P5	10.194**				
25	P11	9.957**				
	LSD _{0.05}	0.503				
	LSD _{0.01}	0.666				

Najmanji prosečan broj listova kod roditelja bio je kod linije V395/31 (11,09), dok je linija B37 imala najmanji prosečan broj listova iznad klipa (5,94), mada je on bio nesignifikantno veći od proseka linija. Linije potomstva su zbog svoje manje visine imale i manji broj listova od roditelja. Najmanji prosečan broj svih listova je imala linija P11 (9,96**), a najmanji broj listova iznad klipa linija P4 (4,61**). Linija P8 je imala najveću vrednost za obe ove osobine (UBL=11,92*; BLK=5,74) od svih linija potomstva.

Smanjenje visine biljke i klipa kod linija potomstva je uslovalo i smanjenje vrednosti za ukupan broj listova i broj listova iznad klipa. Treba istaći da veći broj listova utiče na bolje stvaranje hraniva za rast i razvoj biljke, na posredan način utiče na zakorovljenost useva i smanjuje kompeticiju sa korovima.

Tabela 34. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za broj listova iznad klipa za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	BLK	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	R348	6.854**	Lokacije	3	1.039	**
2	i172/348-142	6.605**	Pon.(Lokacije)	4	0.053	nz
3	<i>Syn ZP/USA per se</i>	6.550**	Tretmani	24	3.690	**
4	Š144	6.530**	Lok. x Tret.	72	0.432	*
5	i172/16-3	6.436**	Greška	96	0.276	
6	i2/29	6.365*	Total	199	0.751	
7	V395/31	6.325*	CV = 9.12%			
8	i32/1157	6.285*	*, ** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	R59	6.145	nz – statistički nije značajno			
10	<i>Syn ZP per se</i>	6.133				
11	i171/37-121	6.075				
12	<i>Syn FS per se</i>	5.941				
13	B37	5.939				
14	P8	5.741				
15	Prosek linija	5.701st				
16	P10	5.669				
17	P6	5.329				
18	P9	5.242				
19	P3	5.185				
20	P5	5.016*				
21	P11	4.954**				
22	P2	4.948**				
23	P7	4.790**				
24	P1	4.690**				
25	P4	4.608**				
	LSD _{0.05}	0.522				
	LSD _{0.01}	0.691				

Sa druge strane, veći je gubitak vlage preko većeg broja listova putem transpiracije, jača je kompeticija između biljaka u većoj gustini gajenja, gubi se dodatna energija na rast i razvoj veće biljke i većeg broja listova. Najuspešnija arhitektura biljke je ona sa manje listova ispod klipa i više listova iznad njega, ali to je teško postići. Očigledno je da je načinjen pomak u ekspresiji ove dve osobine kod linija potomstva u našem istraživanju. Pitanje je da li je pozitivan ili negativan? Pretpostavlja se da je na smanjenje visine biljke i klipa kod linija potomstva, a posredno i na smanjenje broja listova, direktan uticaj imao proces selekcije. Glavna osobina na osnovu koje je vršen odabir linija je bila prinos zrna. Nedostatak padavina u vegetacionom periodu koji je evidentan tokom zadnje decenije je favorizovao genotipove kraće vegetacije. Ove linije se odlikuju manjim habitusom, pa samim tim i manjim brojem listova.

Osobina koja je najviše uticala na prinos zrna kod S₁ familija sve tri sintetičke populacije bila je dužina klipa. Sredina kvadrata lokacija je bila visoko značajna za variranje ove osobine. Agroekološki uslovi su u velikoj meri uticali na njenu ekspresiju. Linije su se razlikovale po jačini ispoljavanja ove osobine, tako da su sredine kvadrata genotipova visoko značajne, kao i interakcija genotipa i lokacija.

Tabela 35. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za dužinu klipa (cm) za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	Dužina klipa	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	<i>Syn FS per se</i>	17.382**	Lokacije	3	79.100	**
2	<i>Syn ZP per se</i>	16.325*	Pon.(Lokacije)	4	3.779	nz
3	<i>Syn ZP/USA per se</i>	16.288*	Tretmani	24	20.816	**
4	R348	16.085*	Lok. x Tret.	72	5.694	**
5	P9	15.991*	Greška	96	2.637	
6	i171/37-121	15.978	Total	199	7.111	
7	P7	15.971	CV = 10.56%			
8	P8	15.958	*,** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	P10	15.731	nz – statistički nije značajno			
10	P6	15.685				
11	P5	15.682				
12	P2	15.673				
13	P11	15.615				
14	P3	15.589				
15	P1	15.380				
16	P4	15.110				
17	i32/1157	14.774				
18	B37	14.462				
19	Prosek linija	14.371st				
20	i172/348-142	13.922				
21	V395/31	13.637				
22	Š144	13.596				
23	i172/16-3	13.535				
24	i2/29	13.156				
25	R59	12.114**				
	LSD _{0.05}	1.615				
	LSD _{0.01}	2.139				

Roditeljske linije su se na osnovu vrednosti dužine klipa razdvojile u dve grupe, između kojih se nalaze sve linije potomstva (tab. 35). Najveću prosečnu dužinu klipa od sintetika je imala populacija *Syn FS per se* (17,38cm**), a najmanju *Syn ZP/USA per se* (16,29cm*). Značajno veću dužinu klipa od proseka linija imala je samo jedna roditeljska linija, R348 (16,08cm*) i jedna novodobijena linija, *Syn ZP/USA-12/6-2-3-2-2-1* (15,99cm*). Kao i kod prinosa zrna, i ovde se dve linije iz iste populacije nalaze

na suprotnim krajevima niza, pošto najmanju dužinu klipa ima roditeljska linija R59 (12,11cm**). To je jedina linija koja ima visoko značajno kraći klip od proseka linija. Sve linije potomstva su imale duži klip od proseka linija, što predstavlja poboljšanje za ovu osobinu u odnosu na roditelje, iako ne značajno.

Ako se pogledaju rezultati prosečne dužine klipa, vidi se da su veću dužinu klipa imale linije nastale iz populacije *Syn ZP/USA*. Najbolja linija je bila P9 koja je imala dužinu klipa 15,99cm*, a najboja linija iz *Syn ZP* je bila P5 sa dužinom klipa od 15,68cm. Ukupno pet linija poreklom iz *Syn ZP/USA* je imalo duži klip od P5. Iako dužina klipa nije odlika linije B37 koja je inkorporirana u *Syn ZP/USA*, pretpostavljamo da je kombinacija gena između nje i lokalnih linija doprinela povećanoj ekspesiji ove osobine.

Tabela 36. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za broj redova zrna za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	BRZ	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	<i>Syn ZP per se</i>	15.365*	Lokacije	3	2.600	nz
2	<i>Syn FS per se</i>	15.335*	Pon.(Lokacije)	4	0.999	nz
3	<i>Syn ZP/USA per se</i>	15.211	Tretmani	24	4.888	**
4	P4	14.984	Lok. x Tret.	72	0.855	nz
5	P9	14.960	Greška	96	0.828	
6	P6	14.821	Total	199	1.357	
7	P7	14.813	CV = 6.33%			
8	P10	14.709	*,** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	i172/348-142	14.702	nz – statistički nije značajno			
10	P3	14.696				
11	P5	14.680				
12	i172/16-3	14.608				
13	i171/37-121	14.444				
14	P8	14.384				
15	Prosek linija	14.383st				
16	P1	14.309				
17	P2	14.279				
18	i32/1157	14.255				
19	B37	14.036				
20	i2/29	14.036				
21	P11	13.983				
22	Š144	13.671				
23	R348	13.459*				
24	V395/31	12.590**				
25	R59	12.511**				
	LSD _{0.05}	0.903				
	LSD _{0.01}	1.196				

Sredina kvadrata lokacija iz analize varijanse za broj redova zrna nije bila značajna, što potvrđuje činjenicu da na ekspresiju ove osobine veći uticaj imaju geni, nego spoljna sredina (visoko heritabilno svojstvo). Od svih izvora varijacija u analize varijanse jedino je sredina kvadrata tretmana bila visoko značajna (tab. 36).

Najveći prosečan broj redova zrna od sintetičkih populacija *per se* je imao *Syn ZP per se* (15,36*), a najmanji *Syn ZP/USA per se* (15,21). Linije nisu bile značajno različite po broju redova zrna od proseka linija. Verovatno su na visoku značajnost sredine kvadrata tretmana u analizi varijanse uticale dve linije sa visoko značajno manjim brojem redova zrna od proseka linija. To su dve roditeljske linije, V395/31 (12,59**) i R59 (12,51**). Ipak, ako se linije uporede pomoću najmanje značajne razlike (*LSD*) za nivo verovatnoće od 0,05, primećuje se da je bilo nekoliko značajnih razlika u broju redova zrna između linija (linije P4, P9, P6, P7, P10 u odnosu na linije Š144, P11, i2/29). I pored toga što razlike nisu bile visoko značajne, treba izdvojiti linije potomstva koje su imale najveći prosečan broj redova zrna. To su linije P4 (14,98), P9 (14,96), P6 (14,82), P7 (14,81) i P10 (14,71). Od izdvojenih linija, četiri su poreklom iz *Syn ZP/USA*, a linija sa najvećim brojem redova zrna, P4, je dobijena iz *Syn ZP*. Roditeljska linija sa najvećim brojem redova zrna je bila istarska linija i172/348-142 (14,70). Prikazani rezultati navode na zaključak da je unošenje strane germplazme u adaptirani materijal poboljšalo srednje vrednosti za broj redova zrna i da je napravljen pozitivan pomak primenom S_1 rekurentne selekcije na sintetisani materijal.

Sredina kvadrata lokacija iz analize varijanse za broj zrna u redu je bila značajna, a sredina kvadrata tretmana visoko značajna (tab. 37). Ove vrednosti ukazuju na delovanje različitih spoljnih faktora na lokacijama koji su uticali na ispoljavanje ove osobine. Istovremeno, razlike u ekspresiji ove osobine su rezultat razlika u genetskoj strukturi ispitivanih linija.

Najveći prosečan broj zrna u redu imala je roditeljska linija R348 (42,98**). S obzirom da je ova linija imala i najduži klip, ova vrednost je očekivana. Od sintetičkih populacija *per se* najveći broj zrna u redu imao je *Syn ZP per se* (42,653**), a najmanji *Syn ZP/USA per se* (41,59**). Razlika između sintetika nije bila značajna. Od roditeljskih linija, pored R348, značajno veći broj zrna u redu u odnosu na prosek linija zabeležen je kod linije i171/37-121 (35,68*). Najmanji broj zrna u redu imala je linija

R59 (22,31**), koja je imala i najkraći klip. Visoko značajno veći broj zrna u redu od proseka linija imale su linije potomstva P10 (38,35**), P8 (38,00**), P9 (37,12**) i P6 (37,10**). Ove linije su, uglavnom, imale i najveću dužinu klipa i sve su poreklom iz *Syn ZP/USA*.

Tabela 37. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za broj zrna u redu za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	BZuR	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	R348	42.983**	Lokacije	3	321.156	*
2	<i>Syn ZP per se</i>	42.653**	Pon.(Lokacije)	4	24.241	nz
3	<i>Syn FS per se</i>	42.161**	Tretmani	24	313.167	**
4	<i>Syn ZP/USA per se</i>	41.590**	Lok. x Tret.	72	24.989	*
5	P10	38.355**	Greška	96	15.738	
6	P8	38.000**	Total	199	59.730	
7	P9	37.119**	CV = 12.21%			
8	P6	37.097**	*,** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	i171/37-121	35.679*	nz – statistički nije značajno			
10	P7	34.939				
11	P3	33.191				
12	Prosek linija	31.163st				
13	i172/348-142	29.698				
14	i32/1157	29.415				
15	P1	28.406				
16	P4	28.392				
17	P5	28.046				
18	Š144	28.010				
19	P11	27.946				
20	P2	27.804				
21	i2/29	27.526				
22	B37	27.472				
23	i172/16-3	26.615*				
24	V395/31	25.415**				
25	R59	22.313**				
	LSD _{0.05}	3.937				
	LSD _{0.01}	5.215				

Posmatrajući vrednosti za broj zrna u redu zapaža se da su sve linije poreklom iz *Syn ZP/USA*, izuzev P11, imale veće vrednosti od linija selekcionisanih iz *Syn ZP*. Ako se pogledaju prosečne vrednosti osobina S₁ familija (tab. 4), primećuje se da su one kod *Syn ZP* imale, uglavnom, bolje vrednosti u odnosu na familije *Syn ZP/USA*. S druge strane, pretpostavlja se da je veća genetička varijabilnost koja je bila prisutna u *Syn ZP/USA* uticala da njene linije, uglavnom, imaju bolje vrednosti osobina od potomstva *Syn ZP*.

Sredine kvadrata lokacija, tretmana i interakcija tretmana i lokacija iz analize varijanse za masu 1000 zrna su bile visoko značajne (tab. 38). Prosečne vrednosti mase 1000 zrna su se kretale od 206,97g** kod linije i32/1157 do 309,28g* kod *Syn ZP/USA per se*. *Syn ZP per se* je imao najmanju vrednost ove osobine (274,97g) među sinteticima *per se*. Roditeljska linija sa najvećom, ali ne značajno, masom zrna je bila i171/37-121 (279,97g). Veću masu zrna od nje su imale linije P6 (285,62g*), P10 (282,97g*) i P7 (281,33g), sve poreklom iz *Syn ZP/USA*. Linija poreklom iz *Syn ZP* koja je imala najveću prosečnu masu zrna je P5 (264,87g). Sedam roditeljskih linija, od deset ukupno, je imalo masu zrna manju od linija potomstva. Imajući ovo u vidu, može se reći da je primenjena selekciona metoda na novostvorenim sintetičkim populacijama dovela do akumulacije poželjnih alela za masu 1000 zrna u linijama nastalim iz *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*.

Tabela 38. Prosečne vrednosti i analiza varijanse za masu 1000 zrna (g) za roditeljske linije i linije potomstva sintetika kukuruza *Syn ZP* i *Syn ZP/USA*

Rb.	Genotip	MZ	Izvor varijacija	d.f.	MS	F
1	<i>Syn ZP/USA per se</i>	309.281**	Lokacije	3	30001.370	**
2	<i>Syn FS per se</i>	298.719**	Pon.(Lokacije)	4	493.568	nz
3	P6	285.625*	Tretmani	24	10488.210	**
4	P10	282.966*	Lok. x Tret.	72	1431.359	**
5	P7	281.332	Greška	96	715.742	
6	i171/37-121	279.970	Total	199	2590.241	
7	P9	275.536	CV = 11.00%			
8	<i>Syn ZP per se</i>	274.971	*,** - statistički značajno na nivou od 0.05 i 0.01, redom			
9	R348	269.024	nz – statistički nije značajno			
10	P11	267.188				
11	Prosek linija	255.405st				
12	P5	264.875				
13	P2	264.487				
14	i172/348-142	262.104				
15	P3	257.813				
16	P4	257.805				
17	P1	254.770				
18	P8	253.166				
19	i2/29	242.879				
20	i172/16-3	242.800				
21	B37	242.510				
22	Š144	229.980				
23	R59	221.310*				
24	V395/31	220.402*				
25	i32/1157	206.969**				
	LSD _{0.05}	26.553				
	LSD _{0.01}	35.167				

6.6. Koeficijenti korelacija između ispitivanih osobina kod roditeljskih linija i linija potomstva sintetičkih populacija kukuruza

Vrednosti koeficijenata korelacije u mnogome zavise od genetičke strukture ispitivanog materijala. Razlike se mogu javiti i zbog uticaja različitih agroekoloških uslova na lokacijama u kojima se neki materijal ispituje. Step en zavisnosti prinosa zrna od drugih osobina je različit kod istog materijala koji se nalazi u različitim fazama selekcije. Međuzavisnost osobina se menja pod uticajem selekcije, što su potvrdila istraživanja Grombacher-a et al. (1989) i Walters-a et al. (1991). I pored toga, poznavanje korelacionih veza između prinosa zrna i komponenti prinosa je važno za selekcionere, pošto oni koriste vizuelnu ocenu prilikom izbora materijala. Pomoću podataka o koeficijentima korelacija selekcioneri mogu formirati vizuelni model biljke koja na najbolji način reprezentuje visokoprinosne genotipove u nekoj populaciji, odnosno genetičkom materijalu. Postojanje izraženijih korelacija između prinosa zrna sa pojedinim osobinama je jedan od preduslova za indirektnu selekciju. Treba imati u vidu da su sva poređenja koeficijenata korelacije informativnog karaktera, jer oni, slično ostalim selekcionim pokazateljima, odražavaju specifičnost odnosa u okviru poučavanog genetičkog materijala.

Koeficijenti korelacija između prinosa zrna i ostalih ispitivanih osobina kod roditeljskih linija i linija potomstva su pokazali veliku raznovrsnost ispitivanog materijala (tab. 39). Vrednosti koeficijenata korelacija variraju od $r = -0,32^{**}$ (broj redova zrna i prinos zrna kod P10) do $r = 0,92^{**}$ (dužina klipa i prinos zrna kod P1). Prisutne su slabe, srednje jake i jake korelacije, veoma značajne, značajne i nesignifikantne, bez obzira na vrstu materijala. Ako se posmatraju vrednosti korelacija za sintetičke populacije *per se*, primećuje se da je relativan odnos isti kao kod njihovih S_1 familija. Kod sve tri populacije najveći uticaj na prinos zrna ima dužina klipa. Uticaj ove osobine je bio najmanji kod *Syn ZP per se* ($r = 0,79^{**}$), a najveći kod *Syn FS per se* ($r = 0,95^{**}$). Nasuprot ovome, najmanji uticaj na prinos zrna imala je masa 1000 zrna, i to $r = -0,07^{nz}$ kod *Syn ZP per se*, odnosno $r = 0,05^{nz}$ kod *Syn ZP/USA per se*. I za ostale osobine može se primetiti pravilnost kada se upoređuju vrednosti koeficijenata korelacija između sintetika *per se* i njihovih S_1 familija, a eventualne razlike i veličine ovih razlika mogu se pripisati različitim fazama selekcije u kojima se ovi materijali

nalaze. Od osobina koje su imale veći uticaj na prinos zrna kod sve tri sintetičke populacije treba pomenuti vlagu u zrnu (od $r=0,62^{**}$ kod *Syn FS per se* do $r=0,81^{**}$ kod *Syn ZP per se*), visinu biljke (od $r=5,52^{**}$ kod *Syn ZP/USA per se* do $r=0,78^{**}$ kod *Syn FS per se*) i broj zrna u redu (od $r=0,42^{**}$ kod *Syn ZP per se* do $r=0,67^{**}$ kod *Syn ZP/USA per se*). Ostale osobine su imale srednje jak, ali uglavnom visoko značajan uticaj na prinos zrna.

Tabela 39. Zavisnost prinosa zrna od ostalih ispitivanih osobina kod linija roditelja, sintetika *per se* i linija potomstva sintetičkih populacija kukuruza

Genotip/Prinos	VZ	VB	VK	UBL	BLK	DK	BRZ	BZuR	MZ
1 <i>Syn ZP per se</i>	0.81**	0.68**	0.48**	0.41**	0.58**	0.79**	0.30**	0.42**	-0.07 ^{nz}
2 <i>Syn ZP/USA per se</i>	0.73**	0.55**	0.31**	0.41**	0.35**	0.88**	0.22*	0.67**	0.05 ^{nz}
3 <i>Syn FS per se</i>	0.62**	0.78**	0.35**	0.48**	0.48**	0.95**	0.42**	0.61**	-0.07 ^{nz}
4 V395/31	0.79**	0.11 ^{nz}	0.10 ^{nz}	0.05 ^{nz}	0.13 ^{nz}	-0.06 ^{nz}	0.01 ^{nz}	0.11 ^{nz}	0.11 ^{nz}
5 R59	0.16 ^{nz}	0.25*	0.23*	0.19 ^{nz}	0.19 ^{nz}	0.37**	0.01 ^{nz}	0.07 ^{nz}	0.41**
6 R348	0.28**	0.28**	0.17 ^{nz}	0.06 ^{nz}	0.14 ^{nz}	0.65**	0.00 ^{nz}	0.30**	0.66**
7 Š144	0.83**	0.67**	0.25*	0.22*	-0.03 ^{nz}	0.63**	0.21*	0.45**	0.85**
8 i2/29	0.90**	0.19 ^{nz}	-0.14 ^{nz}	0.12 ^{nz}	-0.01 ^{nz}	0.21*	0.00 ^{nz}	0.07 ^{nz}	0.76**
9 i171/37-121	0.28**	0.44**	0.30**	0.25*	0.04 ^{nz}	0.42**	-0.17 ^{nz}	0.24*	0.70**
10 i172/16-3	0.45**	0.33**	0.18 ^{nz}	0.22*	0.03 ^{nz}	0.53**	-0.05 ^{nz}	0.43**	0.58**
11 i172/348-142-3	0.70**	0.14 ^{nz}	0.19 ^{nz}	-0.02 ^{nz}	0.08 ^{nz}	0.70**	-0.15 ^{nz}	0.25*	0.72**
12 i32/1157	0.08 ^{nz}	0.11 ^{nz}	0.04 ^{nz}	0.01 ^{nz}	0.33**	0.55**	0.00 ^{nz}	0.19 ^{nz}	0.02 ^{nz}
13 B37	0.21*	0.38**	0.01 ^{nz}	0.53**	0.40**	0.37**	0.30**	0.09 ^{nz}	0.66**
14 P1	0.76**	0.48**	-0.06 ^{nz}	0.25*	0.31**	0.92**	0.35**	0.45**	0.66**
15 P2	0.85**	0.20*	0.03 ^{nz}	0.22*	0.06 ^{nz}	0.71**	0.32**	0.47**	0.85**
16 P3	0.61**	0.31**	0.20*	0.00 ^{nz}	0.10 ^{nz}	0.66**	0.10 ^{nz}	0.26**	0.87**
17 P4	0.32**	0.60**	0.43**	0.42**	0.26**	0.82**	0.12 ^{nz}	0.34**	0.77**
18 P5	0.40**	0.19 ^{nz}	0.28**	0.26**	0.53**	0.34**	0.26**	0.21*	0.58**
19 P6	0.75**	0.45**	0.21*	0.25*	0.17 ^{nz}	0.87**	0.38**	0.22*	0.77**
20 P7	0.20*	0.27**	0.38**	0.22*	0.38**	0.65**	0.37**	0.21*	0.55**
21 P8	0.71**	0.30**	0.48**	0.24*	0.25*	0.15 ^{nz}	0.14 ^{nz}	0.27**	0.68**
22 P9	0.61**	0.34**	0.27**	0.25*	0.19 ^{nz}	0.48**	0.47**	0.08 ^{nz}	0.58**
23 P10	0.18 ^{nz}	0.64**	0.49**	0.50**	0.51**	0.62**	-0.32**	0.34**	0.82**
24 P11	0.62**	0.46**	0.31**	0.29**	0.34**	0.77**	0.24*	0.43**	0.60**

*, ** - statistički značajno na nivou od 0,05 i 0,01, redom; nz – statistički nije značajno

Koeficijenti korelacija kod roditeljskih linija su bili različito raspoređeni, svih stepena jačine i značajnosti. Najveći negativan uticaj na prinos zrna imao je broj redova zrna kod linije i171/37-121 ($r = -0,17^{n_z}$), a najveći pozitivan uticaj vlaga u zrnu kod linije i2/29 ($r=0,90^{**}$). Uopšteno govoreći, najjači uticaj na prinos zrna kod svih roditeljskih linija imale su vlaga u zrnu, dužina klipa i masa 1000 zrna. Korelacije za

prinos i vlagu u zrnu su se kretale od $r=0,08^{nz}$ kod linije i32/1157 do već pomenute $r=0,90^{**}$ kod linije i2/29. Vrednosti korelacija za dužinu klipa su se kretale od $r = -0,06^{nz}$ kod linije V395/31 do $r=0,70^{**}$ kod linije i172/348-142. Za razliku od sintetičkih populacija, kod roditeljskih linija je masa 1000 zrna imala veliki uticaj na prinos zrna i korelacije su se kretale od $r=0,02^{nz}$ kod linije i32/1157 do $r=0,85^{**}$ kod linije Š144. Ostale osobine su imale slab uticaj na prinos zrna roditeljskih linija, a treba istaći veoma nizak uticaj broja redova zrna koji je bio najveći i visoko značajan jedino kod linije B37 ($r=0,30^{**}$). Posmatrajući vrednosti koeficijenata korelacije za masu 1000 zrna kod roditeljskih linija i sintetika *per se* može se videti koliko se one mogu razlikovati zavisno od vrste materijala i faze selekcije u kojoj se takav materijal nalazi.

Kod linija potomstva koeficijenti korelacija su se kretali od $r= -0,32^{**}$ za broj redova zrna i prinos kod linije Syn ZP/USA-52/4-1-1-2-1-1, do $r=0,92^{**}$ za dužinu klipa kod linije Syn ZP-13/1-1-1-1-1-1. Posmatrajući zasebno vrednosti korelacija za potomstva Syn ZP i Syn ZP/USA ne bi se moglo reći da su jedna potomstva superiornija od drugih. Međutim, osobine koje su imale najviše uticaja na prinos zrna su slične kao i kod roditeljskih linija, odnosno to su sadržaj vlage u zrnu, dužina klipa i masa 1000 zrna. Može se istaći da je kod inbred linija veći uticaj ovih osobina u odnosu na sintetičke populacije *per se* i njihove S_1 familije. Takođe, uočava se i da je uticaj morfoloških osobina (visina biljke, visina klipa, ukupan broj listova, broj listova iznad klipa) neznatno veći kod linija potomstva nego kod roditeljskih linija, ali to su i dalje slabe korelacione zavisnosti. Najveći pomak kod linija potomstva u odnosu na roditeljske linije je napravljen kod uticaja broja redova zrna na prinos zrna. Iako su koeficijenti korelacija za ovu osobinu i dalje slabi, može se primetiti da su povećani u odnosu na roditeljske linije (kreću se od $r= -0,32^{**}$ kod potomstva P10 do $r=0,47^{**}$ kod potomstva P9). Uticaj sadržaja vlage u zrnu na prinos je veoma raznolik i kreće se od $r=0,18^{nz}$ kod P10 do $r=0,85^{**}$ kod P2. Visina biljke je uticala različito na prinos zrna kod linija potomstva i korelacije su se kretale od $r=0,19^{nz}$ kod potomstva P5 do $r=0,64^{**}$ kod potomstva P10. Slično ovome su se kretali i koeficijenti korelacija za druge morfološke osobine: za visinu klipa od $r= -0,06^{nz}$ kod P1 do $r=0,49^{**}$ kod P10, za ukupan broj listova od $r=0,00^{nz}$ kod P3 do $r=0,50^{**}$ kod P10 i za broj listova iznad klipa od $r=0,06^{nz}$ kod P2 do $r=0,53^{**}$ kod potomstva P5. Dužina klipa i kod linija potomstva imala je veliki uticaj na prinos zrna i korelacioni koeficijenti su se kretali od $r=0,15^{nz}$

kod P8 do $r=0,92^{**}$ kod P1. Broj redova zrna kod linija potomstva imala je veći uticaj na prinos zrna u odnosu na roditeljske linije. Koeficijenti korelacije za ovu osobinu su se kretali od $r= - 0,32^{**}$ kod P10 do $r=0,47^{**}$ kod P9. Uticaj broja zrna u redu je ostao na približno istom nivou kao kod roditeljskih linija i kretao se od $r=0,08^{nz}$ kod P9 do $r=0,47^{**}$ kod P2. Za masu 1000 zrna takođe se može primetiti blago poboljšanje koeficijenata korelacije u odnosu na roditeljske linije. Oni su se kretali od $r=0,55^{**}$ kod P7 do $r=0,87^{**}$ kod P3 i skoro svi su bili jaki i visoko značajni.

Sumirajući rezultate o zavisnosti prinosa zrna od ostalih ispitivanih osobina, može se reći da su se osobine koje su najviše uticale na prinos razlikovale kod sve tri vrste materijala, sintetičkih populacija *per se*, roditeljskih linija i linija potomstva. Kod sintetika *per se* prosečno je najveći uticaj na prinos zrna imala dužina klipa, zatim sadržaj vlage u zrnu, visina biljke i broj zrna u redu, dok je najmanji, slab i negativan uticaj imala masa 1000 zrna. Kod roditeljskih linija najveći uticaj na prinos zrna je imala masa 1000 zrna, zatim dužina klipa i sadržaj vlage u zrnu, a najmanji uticaj imao je broj redova zrna. Kod linija potomstva najveći uticaj na prinos zrna imala je masa 1000 zrna, zatim dužina klipa i sadržaj vlage u zrnu, a najmanji broj redova zrna, s tim što je ova osobina imala veći uticaj nego kod roditeljskih linija i pretpostavljamo da bi ova korelacija bila veća da nije ostvarena srednje jaka negativana korelacija kod linije P10. Ovu pretpostavku potkrepljuje činjenica da su kod roditeljskih linija samo dve (B37 i Š144) imale značajan koeficijent korelacije između prinosa zrna i broja redova zrna, a kod linija potomstva sedam linija je imalo visoko značajan koeficijent korelacije, jedna značajan, a kod tri linije nije bilo ovog značajnog uticaja.

Rezultati naših istraživanja o međuzavisnosti osobina su u skladu sa istraživanjima drugih autora. U našim istraživanjima dužina klipa je imala veliki, pozitivan uticaj na prinos zrna kod sve tri vrste ispitivanog materijala. Russell i Machado (1978) su, ispitujući linije dobijene iz *BS1* populacije, utvrdili najveću korelacionu zavisnost između prinosa zrna i dužine klipa, odnosno broja klipova po biljci. Do sličnih rezultata o uticaju dužine klipa na prinos zrna su u svojim istraživanjima došli i Obilana i Hallauer (1974), Grombacher et al. (1989), Walters et al. (1991), Vančetović (1994) i Stojnić (1995).

Visina biljke je imala veliki, pozitivan uticaj na prinos zrna kod sintetika *per se*, ali slab do srednje jak kod roditeljskih linija i linija potomstva. Do sličnih rezultata je došao Drinić (1995) koji je ustanovio slabu korelacionu zavisnost između prinosa zrna i visine biljke, ali i između prinosa zrna i visine klipa. Nasuprot ovome, Husić (1992) je utvrdio jake korelacione veze između visine biljke i prinosa zrna ($r=0.779^{**}$), odnosno srednje jake između visine klipa i prinosa zrna ($r=0.440^{**}$). Do sličnih vrednosti korelacija između prinosa zrna i visine biljke ($r=0.48^{**}$) i prinosa zrna i visine klipa ($r=0.38^{**}$) su došli El-Lakany i Russell (1971).

Broj redova zrna je imao slab uticaj na prinos zrna kod sve tri vrste ispitivanih materijala. Do sličnih rezultata u svojim istraživanjima su došli Hallauer i Miranda (1988), Vančetović (1994) i Stojnić (1995). Za razliku od njih Bartual i Hallauer (1976), Ottaviano i Camusse (1981) i Husić (1992) su utvrdili srednje jaku zavisnost prinosa od broja redova zrna.

Sintetičke populacije stvorene od adaptiranog (*Syn ZP*) i adaptiranog i stranog materijala (*Syn ZP/USA*), su poslužile kao izvor novih linija. Sumirajući rezultate srednjih vrednosti ispitivanih osobina i njihovu korelacionu zavisnost, može se reći da je napravljen pozitivan pomak u odnosu na roditeljske linije. Neke od novostvorenih linija se odlikuju povećanim prinosom zrna, dužim klipom, većim brojem redova zrna, većom masom zrna i povoljnijim odnosom morfoloških osobina od većine roditeljskih linija. Iz ove grupe linija mogu se izdvojiti potomstva P6 (*Syn ZP/USA-6/2-1-2-2-1-1*), P7 (*Syn ZP/USA-12/4-2-1-1-1-1*) i P9 (*Syn ZP/USA-12/6-2-3-2-2-1*) koja su se odlikovala boljim prinosom, brojem redova zrna, dužim klipom, nižom biljkom i klipom od proseka svih ispitivanih linija. Pošto sve tri linije vode poreklo od *Syn ZP/USA* koji u sebi sadrži stranu germplazmu, može se reći da je inkorporacija linije B37 u lokalni materijal opravdala očekivanja. Pored toga, kod linija potomstva je povećan uticaj nekih osobina (broj redova zrna, dužina klipa, masa 1000 zrna) na prinos zrna u odnosu na roditeljske linije.

6.7. Genetičke sličnosti između roditelja, sintetičkih populacija *per se* i linija potomstva sintetičkih populacija kukuruza analiziranih pomoću SSR markera

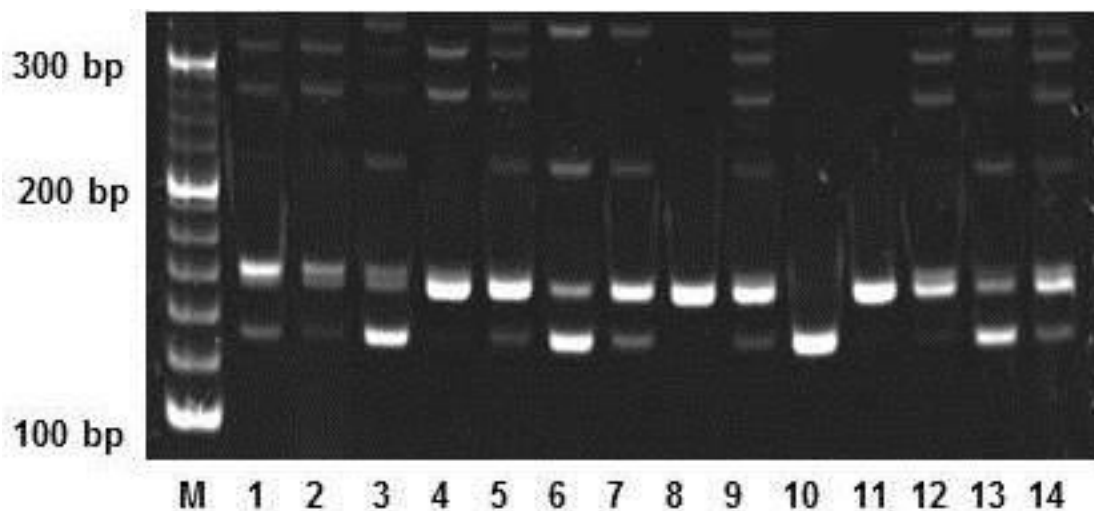
Za određivanje genetičke sličnosti između linija roditelja, sintetičkih populacija *per se* i linija potomstva sintetičkih populacija *Syn ZP* i *Syn ZP/USA* korišćena su 24 SSR markera (tab. 2). Ukupan broj detektovanih alela kod roditeljskih linija iznosio je 116, a prosečan broj alela po lokusu 4,83 (tab. 40).

Tabela 40. Podaci o SSR markerima i alelnim profilima kod roditeljskih linija i linija potomstva sintetičkih populacija kukuruza

Naziv prajmera	Bin	Ponovak	Roditelji		Potomstva			PIC (ukupan)
			Broj alela	PIC	Broj alela (ukupan)	Broj alela P-ZP	Broj alela P-ZP/USA	
umc1282	1.01	(AT)6	6	0.60	4	5	4	0.48
umc1013	1.08	(GA)9	2	0.59	2	2	2	0.63
bnlg1643	1.08	(AG)24	6	0.68	2	3	6	0.64
umc2047	1.09	(GACT)4	6	0.54	2	3	1	0.29
umc2129	2.07	(CGC)5	4	0.80	4	3	3	0.11
bnlg1633	2.07	(AG)16	3	0.34	3	4	3	0.43
bnlg1520	2.09	(AG)22	6	0.82	2	2	3	0.73
phi036	3.04	AG	4	0.40	3	2	3	0.41
bnlg197	3.06	-	5	0.66	5	4	6	0.74
umc1418	4.08	(GGAAG)4	4	0.48	1	1	1	0.33
umc1109	4.10	(ACG)4	7	0.70	6	4	4	0.17
bnlg557	5.03	-	6	0.02	5	5	5	0.09
phi087	5.06	ACC	3	0.56	3	2	3	0.52
umc1006	6.02	(GA)19	4	0.62	6	4	4	0.69
umc1695	7.00	(CA)8	7	0.16	8	5	6	0.25
umc1782	7.04	(GAC)4	3	0.80	3	3	2	0.71
umc1799	7.04	(TG)12	4	0.76	3	3	4	0.74
bnlg2235	8.02	(AG)23	6	0.10	6	4	6	0.16
phi080	8.08	AGGAG	4	0.59	3	2	3	0.68
phi 033	9.01	AAG	6	0.84	4	3	2	0.31
umc1040	9.01	(CT)11	5	0.84	5	2	3	0.71
umc1492	9.04	(GCT)4	5	0.76	7	5	2	0.78
umc1506	10.05	(AACA)4	6	0.60	9	5	2	0.61
umc1827	10.05	(GAC)6	4	0.22	3	3	2	0.33
Ukupan broj alela			116		100	79	80	
Prosek			4.83	0.56	4.17	3.29	3.33	0.48

- Podaci nisu dostupni

Najveći broj alela (sedam) detektovan je na lokusima *umc1695* i *umc1109*, a najmanji (dva) na lokusu *umc1013*. PIC vrednosti za roditeljske linije su se kretale od 0,02 za prajmer *bnlg557* do 0,84 za prajmere *phi033* i *umc1040*. Elektroforegram za SSR prajmer *umc1492* kod roditeljskih linija i sintetika *per se* je prikazan na slici 1.

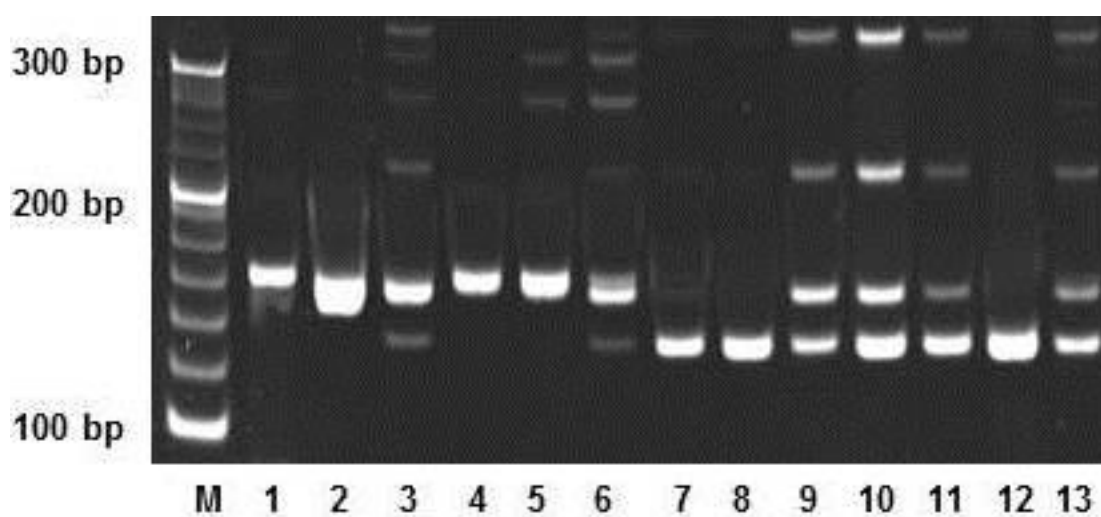


Slika 1. Elektroforegram SSR alela za prajmer *umc1492* kod linija roditelja i sintetika kukuruza. M: 20 bp DNK marker, 1-10:R1-R10, 11:Linija tester, 12-14: S1-S3.

Kod linija potomstva sintetičkih populacija ukupno je detektovano 100 alela, a njihov prosečan broj po lokusu iznosio je 4,17. Najveći broj alela (devet) je detektovan na lokusu *umc1506*, a samo jedan na lokusu *umc1418*. PIC vrednosti za sva potomstva su se kretale od 0,09 za prajmer *bnlg557* do 0,78 za prajmer *umc1492*.

Analiza genetičke sličnosti pomoću SSR markera zasebno za linije potomstva *Syn ZP*, odnosno *Syn ZP/USA* dala je malo drugačiju sliku. Ukupan broj alela koji je lociran pomoću 24 SSR markera za potomstva *Syn ZP* je bio 79, a prosečan broj po lokusu 3,29. Samo jedan alel je bio detektovan na lokusu *umc1418*, dok je najveći broj alela (pet) pronađen na čak 5 lokusa, i to *umc1282*; *umc1506*; *bnlg557*; *umc1695* i *umc1492*. Ukupan broj alela za potomstva sintetika *Syn ZP/USA* je iznosio 80, a prosečan broj alela po lokusu 3,33. Najveći broj alela (šest) je detektovan na lokusima *bnlg1643*; *bnlg197*; *umc1695* i *bnlg2235*, a samo po jedan alel na lokusima *umc1418* i *umc2047*.

Može se primetiti da je prosečan broj alela po lokusu za potomstva smanjen u odnosu na roditeljske linije (4,83), što je verovatno posledica selekcije i efekta genetičkog drifta. Do sličnih rezultata su došli Labate et al. (1997) koji su ispitivali genetičku varijabilnost *BSSS* i *BSCB1* sintetika posle 12 ciklusa recipročne rekurentne selekcije i genetičku raznovrsnost njihovih roditelja. Prosečan broj alela kod roditelja obe populacije je bio isti (4,0). Nakon dvanaest ciklusa selekcije ovaj broj se smanjio na 2,7 kod *BSSS*, a kod *BSCB1* populacije na 2,5 što se poklapalo sa teoretskim očekivanjima delovanja genetičkog drifta. Slično njima, Hadgorn et al. (2003) su ispitivali genetičku varijabilnost između linija koje su rekombinovane za stvaranje sintetika *BSSS* i *BSCB1* i linija koje su nastale iz ovih sintetika u različitim ciklusima. Rezultati su pokazali da se prosečan broj alela po lokusu smanjio sa 3,95 (roditelji) na 3,13 (potomstvo) kod populacije *BSSS*, odnosno sa 3,77 (roditelji) na 2,40 (potomstvo) kod *BSCB1* populacije. I pored ovoga, genetička varijabilnost potomstva se nije mnogo smanjila u odnosu na roditeljske linije, pa autori ističu efikasnost recipročne rekurentne selekcije u dugoročnim programima selekcije uz pažljiv izbor roditeljskih linija široke genetičke osnove.



Slika 2. Elektroforegram SSR alela za prajmer *umc1492* kod linija potomstva i dva sintetika kukuruza. M: 20 bp DNK marker, 1-5:P1-P5, 6: S1, 7-12: P6-P11, 13:S2.

Lu i Bernardo (2001) su ispitivali genetičku distancu između linija koje su se u vreme njihovog istraživanja koristile za stvaranje hibridnih kombinacija i linija koje su ranije korišćene u te svrhe. Prosečan broj alela po lokusu za svih 40 linije je bio 4,9, a

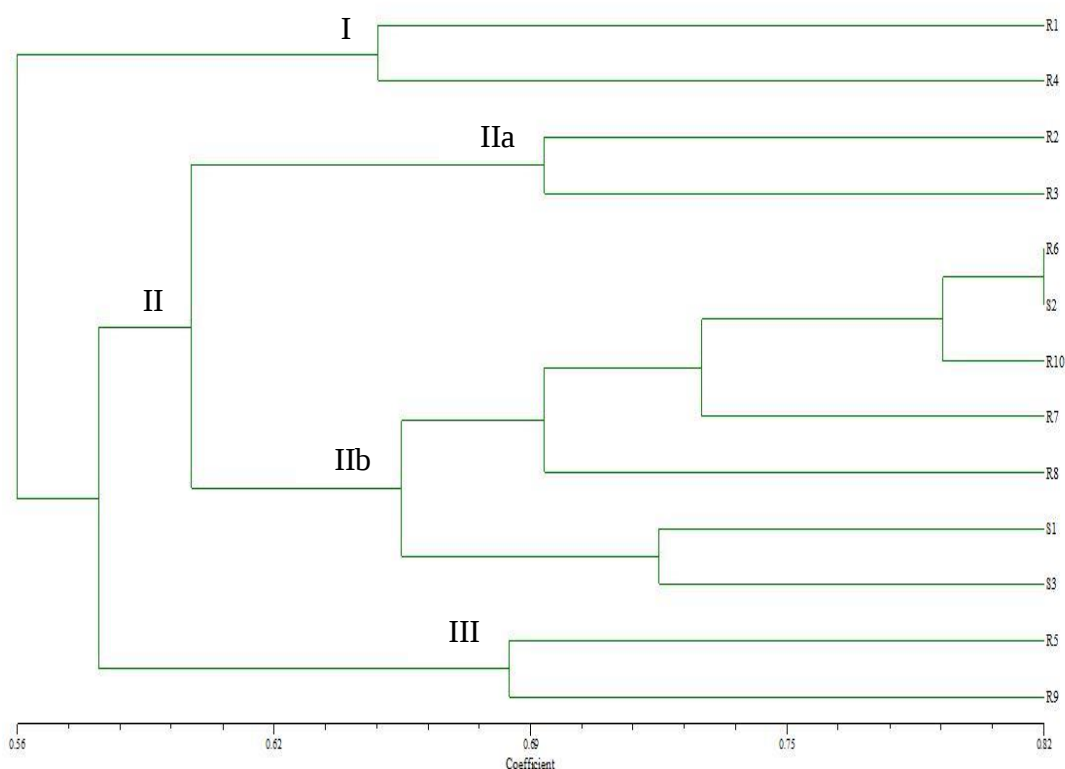
za osam komercijalnih 3,2. Autori su došli su do zaključka da se genetička divergentnost kod novih linija smanjila na nivou gena, ali ne i na nivou populacije, ali ipak autori preporučuju upotrebu egzotične germplazme u dugoročnim programima selekcije. Elektroforegram za SSR prajmer *umc1492* kod linija potomstava i sintetika *Syn ZP* i *Syn ZP/USA* je prikazan na slici 2.

Vrednosti koeficijenata genetičke sličnosti (GS) između roditeljskih linija i sintetika *per se* kretale su se od 0,45 do 0,82, sa srednjom vrednošću od 0,61 (tab. 41). Najveća genetička sličnost je zabeležena između linija i171/37-121 i B37, što se podudara sa poznatim poreklom ovih linija. Naime, linija i171/37-121 je nastala iz ukrštanja linije i171 i B37. Treba reći da je linija i171, koja je učestvovala u stvaranju sintetika *Syn ZP* i *Syn ZP/USA* izgubljena, pa smo za ovo istraživanje uzeli srodnu verziju kako bismo procenili njenu srodnost sa ostalim materijalima. Molekularna analiza se u potpunosti poklopila sa poznatim poreklom ovih linija. Interesantno je istaći da je velika genetička sličnost zabeležena i između linija i171/37-121, i172-16/3, B37 i sintetika *Syn ZP/USA* i kretala se od 0,68 do 0,82, sa prosekom od 0,77. Može se pretpostaviti da se najviše genetičkog materijala ovih linija zadržalo u sintetiku *Syn ZP/USA* nakon njegovog stvaranja i rekombinacija.

Tabela 41. Koeficijenti genetičke sličnosti (GS) roditeljskih linija i tri sintetičke populacije kukuruza

Genotip/Prosek	0.61	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	S1	S2	S3
V395/31	R1	1.00												
R59	R2	0.65	1.00											
R348	R3	0.58	0.69	1.00										
Š144	R4	0.65	0.59	0.57	1.00									
i2/29	R5	0.60	0.63	0.60	0.52	1.00								
i171/37-121	R6	0.53	0.60	0.60	0.45	0.59	1.00							
i172-16/3	R7	0.52	0.60	0.59	0.59	0.61	0.77	1.00						
i172/348-142	R8	0.55	0.60	0.63	0.58	0.57	0.72	0.67	1.00					
i32/1157	R9	0.57	0.55	0.55	0.57	0.68	0.59	0.68	0.45	1.00				
B37	R10	0.48	0.57	0.55	0.52	0.55	0.81	0.67	0.67	0.58	1.00			
<i>Syn ZP per se</i>	S1	0.58	0.61	0.59	0.64	0.61	0.61	0.62	0.68	0.58	0.61	1.00		
<i>Syn ZP/USA per se</i>	S2	0.51	0.56	0.63	0.53	0.54	0.82	0.75	0.71	0.54	0.78	0.63	1.00	
<i>Syn FS per se</i>	S3	0.64	0.64	0.64	0.53	0.63	0.69	0.71	0.64	0.61	0.60	0.72	0.76	1.00

Linija V395/31 je bila najmanje srodna sa većinom ispitivanih linija, kao i linija Š144. Ovo su samo pretpostavke do kojih se može doći analizirajući koeficijente genetičke sličnosti. Ako pogledamo sintetičke populacije *per se*, veća sličnost je bila ustanovljena između *Syn ZP/USA* i *Syn FS* (0,76), nego između *Syn ZP* i *Syn ZP/USA* (0,63), odnosno između *Syn ZP* i *Syn FS* (0,72).



Slika 3. Dendrogram roditeljskih linija kukuruza i sintetičkih populacija *per se* analiziranih pomoću SSR markera dobijen *UPGMA* klaster metodom na osnovu genetičkih sličnosti izračunatih po *Simple matching*-u.

Na osnovu matrica genetičkih sličnosti urađena je klaster analiza, kako bi se potvrdila sličnost između roditeljskih linija i sintetika *per se*. Rezultati klaster analize prikazani su grafički u formi dendrograma (slika 3). Roditeljske linije i sintetičke populacije su se podelile u tri klastera i dva sub-klastera, što se veoma dobro poklapa sa poznatim poreklom linija. U jedan klaster su se grupisale linije V395/31, poreklom iz Vukovarskog zubana, i Š144, poreklom iz Šidskog zubana. Iako ne vode poreklo iz iste populacije, verovatno je geografska bliskost dva lokaliteta odakle su izvorne populacije

sakupljene uslovia najveću genetičku sličnost ove dve linije. U trećem klasteru su izdvojene linije i2/29 i i32/1157 koje vode poreklo iz populacije Istarski krupnozrni zuban. Drugi klaster, koji je i najveći, podeljen je na dva sub-klastera. U sub-klaster IIa su se grupisale linije R59 i R348 koje vode poreklo iz sorte Rumski zuban. Linije i171/37-121, i172-16/3, i172/348-142 i B37, kao i tri sintetičke populacije su se grupisale u sub-klaster IIb. Sve tri istarske linije su poreklom iz iste populacije, a zanimljiva je njihova sličnost sa linijom B37. Sličnost linije i171/37-121 sa *Syn ZP/USA* je potvrđena i u klaster analizi, ali su populacije *Syn ZP* i *Syn FS* bile neposredno spojene, iako je njihova genetička sličnost (0,72) bila manja od sličnosti između *Syn ZP/USA* i *Syn FS* (0,76). Klaster analiza je pokazala dobro poklapanje sa matricom genetičke sličnosti po *Simple matching*-u, što je potvrdila i visoka vrednost koefeničkog koeficijenta korelacije od 0,83.

Tabela 42. Koeficijenti genetičke sličnosti (GS) dve sintetičke populacije kukuruza i njihovog potomstva

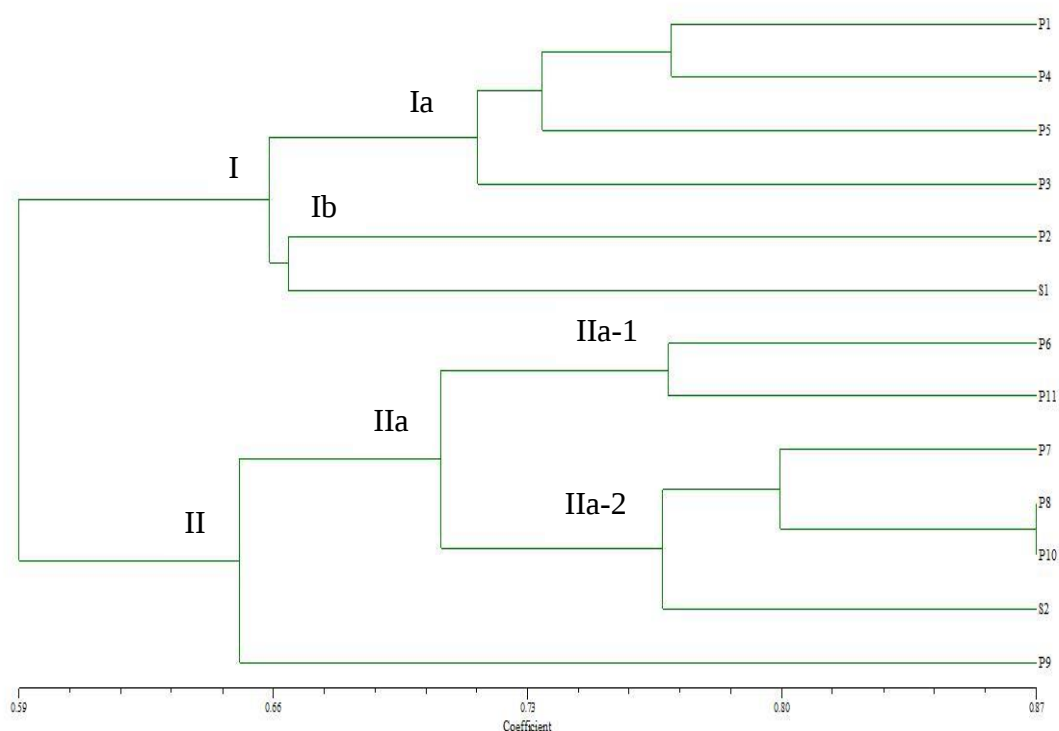
Genotip/Prosek 0.64	P1	P2	P3	P4	P5	S1	P6	P7	P8	P9	P10	P11	S2
P1	1.00												
P2	0.64	1.00											
P3	0.71	0.68	1.00										
P4	0.74	0.65	0.70	1.00									
P5	0.72	0.65	0.72	0.73	1.00								
S1	0.63	0.67	0.70	0.62	0.68	1.00							
P6	0.62	0.57	0.68	0.58	0.67	0.58	1.00						
P7	0.63	0.60	0.65	0.61	0.68	0.57	0.72	1.00					
P8	0.64	0.64	0.66	0.60	0.62	0.55	0.71	0.82	1.00				
P9	0.53	0.55	0.55	0.46	0.50	0.45	0.62	0.61	0.74	1.00			
P10	0.62	0.57	0.64	0.60	0.58	0.50	0.68	0.72	0.85	0.63	1.00		
P11	0.56	0.62	0.56	0.62	0.62	0.50	0.77	0.73	0.75	0.66	0.68	1.00	
S2	0.51	0.62	0.60	0.56	0.52	0.62	0.62	0.71	0.82	0.64	0.74	0.71	1.00

Koeficijenti genetičke sličnosti (GS) između sintetika *Syn ZP per se*, *Syn ZP/USA per se* i linija koje vode poreklo iz njih, kretali su se od 0,45 do 0,85, uz srednju vrednost od 0,64 (tab. 42). Najveća genetička sličnost je zabeležena između linija *Syn ZP/USA-12/6-2-3-1-1-1* i *Syn ZP/USA-52/4-1-1-2-1-1* i iznosi 0,85. Može se primetiti da su najmanje vrednosti GS bile između *Syn ZP per se* i svih linija nastalih iz

Syn ZP/USA, što se i moglo pretpostaviti, i one su se kretala od 0,45 do 0,58, sa srednjom vrednošću od 0,52. Ova sličnost je bila manja nego *GS* između dva sintetika (0,62), što se može objasniti uticajem selekcije na ispitivane genotipove. Sličnost *Syn ZP* sa linijama dobijenim iz njega se kretala od 0,62 do 0,70 (srednja vrednost 0,66), dok se sličnost *Syn ZP/USA* sa njegovim potomstvima kretala od 0,62 do 0,82 (srednja vrednost 0,71).

Na osnovu matrica genetičkih sličnosti urađena je klaster analiza, kako bi se potvrdila sličnost između sintetika *per se* i njihovog potomstva (slika 4). Sintetičke populacije *Syn ZP per se* i *Syn ZP/USA per se* i njihova potomstva se mogu podeliti u dva klastera i 5 sub-klastera. Klasteri su jasno definisani. U prvom klasteru se nalazi *Syn ZP per se* i njegova potomstva, a u drugom klasteru je *Syn ZP/USA per se* sa svojim potomstvima. U sub-klasteru Ia se nalaze potomstva P1 i P4 koja imaju najveću međusobnu sličnost i potomstva P3 i P5 koja su pridodata prvim dvema linijama. U sub-klasteru Ib potomstvo P2 je povezano sa *Syn ZP per se*, iako nemaju najveću *GS*. Iz drugog klastera se može izdvojiti sub-klaster IIa, i sub-klasteri IIa-1 i IIa-2, s tim što je linija P9 pridodata klasteru II. Može se primetiti da su najbližije linije P8 i P10, a da je njima najbližiji *Syn ZP/USA per se*, zajedno sa linijom P7. Linije P6 i P11 su udaljenije od njih, kao i linija P9. Klaster analiza je pokazala dobro poklapanje sa matricom genetičke sličnosti po *Simple matching*-u, što je potvrdila i visoka vrednost koeficijenta korelacije od 0,81.

Interesantno je pogledati kakvi su koeficijenti sličnosti i dendrogram na osnovu rezultata *SSR* analize za sve genotipove. Ove vrednosti su date u tabeli 43. Koeficijenti genetičke sličnosti (*GS*) između roditeljskih linija, sintetika *Syn ZP per se*, *Syn ZP/USA per se*, linija koje vode poreklo iz njih i *Syn FS per se* kretali su se od 0,50 do 0,88. Srednja vrednost *GS* za sve ispitivane genotipove bila je 0,66. Najveća *GS* je zabeležena između linija *Syn ZP/USA*-12/6-2-3-1-1-1 (P8) i *Syn ZP/USA*-52/4-1-1-2-1-1 (P10), a najmanja između *ZP/USA*-12/6-2-3-2-2-1 (P9) i *Syn ZP* (S1). Interesantno je primetiti da najmanje sličnosti sa ostalim materijalom imaju linije V395/31 i Š144, kao i da *Syn FS* ponovo ima veću sličnost sa *Syn ZP/USA* (0,79) nego sa *Syn ZP* (0,75).

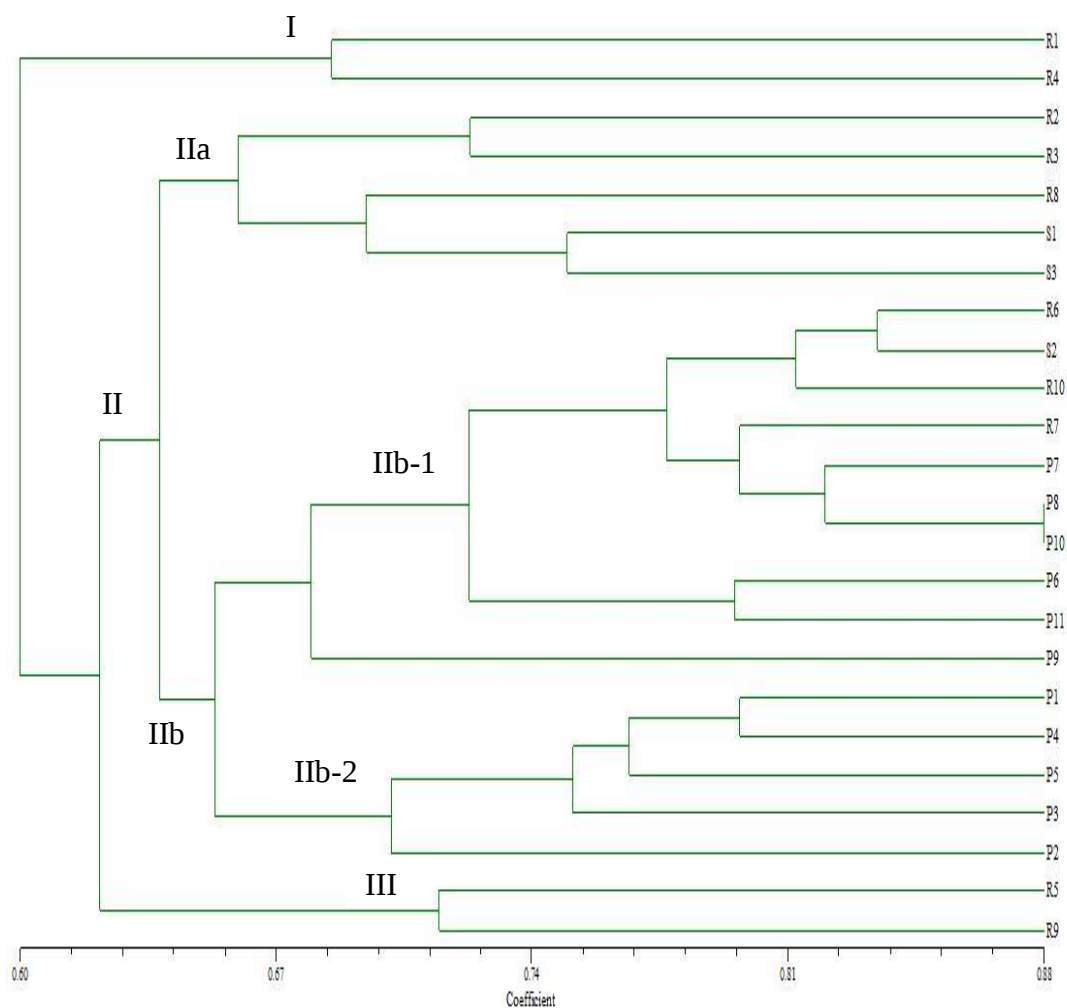


Slika 4. Dendrogram sintetičkih populacija kukuruza i njihovih potomstva analiziranih pomoću SSR markera dobijen *UPGMA* klaster metodom na osnovu genetičkih sličnosti izračunatih po *Simple matching*-u.

Na osnovu matrica genetičkih sličnosti dobijenih *SSR* analizom urađena je klaster analiza, kako bi se potvrdila sličnost između ispitivanog materijala. Klaster analiza je pokazala dobro poklapanje sa matricom genetičke sličnosti po *Simple matching*-u, što je potvrdila i visoka vrednost ko-fenetičkog koeficijenta korelacije od 0,79. Rezultati klaster analize prikazani su grafički u formi dendrograma (slika 5). Na prvi pogled može se zapaziti veliko pomeranje genotipova po klasterima u odnosu na predhodne rezultate. Ispitivani genotipovi se mogu svrstati u tri klastera i četiri sub-klastera. Linije V395/31 i Š144 se nalaze u prvom klasteru, dok su se linije i2/29 i i32/1157 izdvojile u treći klaster. Za ove četiri linije pozicija je ostala nepromenjena.

Tabela 43. Koeficijenti genetičke sličnosti (GS) roditelja, sintetičkih populacija kukuruza i njihovog potomstva

Genotip/Prosek	0.66	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	S1	S2	S3	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
V395/31	R1	1																							
R59	R2	0.69	1																						
R348	R3	0.63	0.73	1																					
S144	R4	0.69	0.63	0.62	1																				
i2/29	R5	0.64	0.67	0.64	0.57	1																			
i171/37-121	R6	0.58	0.65	0.65	0.51	0.63	1																		
i172-16/3	R7	0.57	0.65	0.64	0.63	0.65	0.8	1																	
i172/348-142	R8	0.6	0.64	0.67	0.63	0.61	0.75	0.7	1																
i32/1157	R9	0.61	0.6	0.6	0.61	0.72	0.63	0.71	0.51	1															
B37	R10	0.54	0.62	0.6	0.57	0.6	0.83	0.71	0.7	0.62	1														
SynZP per se	S1	0.62	0.65	0.63	0.68	0.65	0.65	0.66	0.71	0.62	0.65	1													
SynZP/USA per se	S2	0.56	0.61	0.67	0.57	0.59	0.84	0.78	0.74	0.59	0.8	0.67	1												
SynFS per se	S3	0.68	0.68	0.68	0.58	0.68	0.73	0.75	0.68	0.65	0.64	0.75	0.79	1											
Syn ZP-13	P1	0.62	0.68	0.59	0.68	0.62	0.56	0.72	0.62	0.59	0.64	0.64	0.55	0.57	1										
Syn ZP-16	P2	0.63	0.66	0.63	0.65	0.62	0.64	0.64	0.63	0.59	0.67	0.66	0.64	0.66	0.69	1									
Syn ZP-94	P3	0.59	0.6	0.54	0.6	0.69	0.64	0.75	0.69	0.63	0.65	0.69	0.64	0.65	0.75	0.72	1								
Syn ZP-116	P4	0.59	0.65	0.65	0.66	0.63	0.62	0.7	0.68	0.58	0.69	0.64	0.62	0.57	0.8	0.72	0.76	1							
Syn ZP-122	P5	0.63	0.67	0.56	0.66	0.61	0.58	0.68	0.58	0.64	0.67	0.69	0.6	0.63	0.75	0.69	0.75	0.78	1						
Syn ZP/USA-6	P6	0.62	0.6	0.56	0.57	0.62	0.64	0.69	0.62	0.66	0.67	0.6	0.64	0.61	0.67	0.63	0.72	0.65	0.71	1					
Syn ZP/USA-12/4-2	P7	0.56	0.61	0.56	0.58	0.57	0.72	0.77	0.68	0.64	0.77	0.63	0.74	0.67	0.69	0.66	0.71	0.69	0.73	0.77	1				
Syn ZP/USA-12/6-2-3-1	P8	0.54	0.63	0.65	0.57	0.63	0.82	0.83	0.69	0.66	0.83	0.6	0.82	0.72	0.69	0.69	0.7	0.67	0.66	0.75	0.86	1			
Syn ZP/USA-12/6-2-3-2	P9	0.58	0.56	0.63	0.54	0.6	0.66	0.62	0.61	0.6	0.67	0.5	0.68	0.62	0.59	0.6	0.6	0.55	0.57	0.66	0.67	0.77	1		
Syn ZP/USA-52	P10	0.55	0.61	0.6	0.55	0.63	0.79	0.8	0.63	0.66	0.81	0.55	0.76	0.66	0.68	0.64	0.7	0.68	0.65	0.73	0.79	0.88	0.69	1	
Syn ZP/USA-117	P11	0.55	0.67	0.63	0.54	0.57	0.75	0.68	0.64	0.6	0.79	0.57	0.74	0.62	0.62	0.66	0.62	0.68	0.67	0.8	0.78	0.78	0.7	0.74	1



Slika 5. Dendrogram roditeljskih linija kukuruza, sintetičkih populacija *per se* i njihovog potomstva analiziranih pomoću SSR markera dobijen UPGMA klaster metodom na osnovu genetičkih sličnosti izračunatih po *Simple matching*-u.

Međutim, ostali materijal, koji je svrstan u klaster II, je drugačije raspoređen nego na predhodnim dendrogramima. Linije P1 do P5 koje su potomstva *Syn ZP* su se grupisale u sub-klaster IIb-2, koji je povezan sa sub-klasterom IIb-1, u kome se nalaze *Syn ZP/USA*, njegova potomstva i linije i171/37-121, B37 i i172-16/3. Sintetičke populacije *Syn ZP* i *Syn FS* se nalaze u sub-klasteru IIa, zajedno sa linijama R59, R348 i i172/348-121. Ova linija iz istarske populacije se u predhodnom dendrogramu nalazila u grupi sa istarskim linijama i171/37-121 i i172-16/3, a sada je u klasteru sa rumskim linijama, što se moglo i očekivati, pošto je u njenom stvaranju učestvovala linija R348. Linija i171/37-121 je sada neposredno vezana za *Syn ZP/USA*, a ne više sa linijom B37.

Linije P7, P8 i P10 su sličnije svojoj izvornoj populaciji (*Syn ZP/USA*) od linija P6 i P11, a naročito od linije P9. Ipak, najinteresantnija je promena položaja linija potomstva *Syn ZP* (P1 – P5). Ona su sada izdvojena u poseban sub-klaster, IIb-2, dok se njihova izvorna populacija nalazi u sub-klasteru IIa, zajedno sa *Syn FS* i linijama R59, R348 i i172/348-142. Može se pretpostaviti da je selekcija u *Syn ZP* stvorila drugačiju genetičku osnovu od početne i da su dobijene nove kombinacije gena u linijama potomstvima.

Klaster koji prikazuje genetičku sličnost svih ispitivanih genotipova pokazuje kompleksnost rezultata koje smo dobili analizom pomoću *SSR* markera. Međusobna genetička sličnost svih genotipova je usloвила neznatno drugačiji raspored u klastere. Prosečna *GS Syn ZP* i njegovog potomstva (P1 – P5) iznosila je 0,66, a *Syn ZP/USA* i njegovog potomstva (P6 – P11) 0,73. Roditeljske linije R2, R3 i R8 i populacija *Syn FS* su imali prosečnu *GS* sa *Syn ZP* 0,69, a sa *Syn ZP/USA* 0,70. Svi genotipovi u sub-klasteru IIb (izuzev *Syn ZP/USA*, odnosno *Syn ZP*, redom) su imali prosečnu *GS* sa *Syn ZP* od 0,62, a sa *Syn ZP/USA* 0,70. Ovako sagledane prosečne vrednosti genetičke sličnosti donekle objašnjavaju mala pomeranja u rasporedu genotipova u klasterima. Može se primetiti da je populacija *Syn ZP* imala veću prosečnu *GS* sa roditeljskim linijama R2, R3 i R8 i populacijom S3 (0,69) nego sa svojim potomstvom (0,66), pa je očekivano njihovo svrstavanje u različite sub-klastere.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu proučavani su parametri genetičke varijabilnosti, heritabilnost, genetička dobit od selekcije, direktni i indirektni korelacioni odnosi i genetička divergentnost kod tri sintetičke populacije, roditeljskih linija i linija potomstva dve od ove tri populacije. Za istraživanje su korišćene S_1 familije tri sintetičke populacije, sintetici *per se*, deset linija roditelja i jedanaest linija potomstva. Na osnovu dobijenih rezultata mogu se izvesti sledeći zaključci:

Zadovoljavajući nivo varijabilnosti prisutan je za sve ispitivane osobine kod S_1 familija u sve tri sintetičke populacije, čime je ispunjen osnovni preduslov za uspešnu primenu oplemenjivanja. Genetička varijansa S_1 familija je povećana kod populacija *Syn ZP/USA* (inkorporirana strana germplazma) i *Syn FS* (rekombinovana germplazma) u odnosu na *Syn ZP* (lokalna germplazma) za sve proučavane osobine, osim ukupnog broja listova i broja listova ispod klipa. Najveće relativno povećanje je zabeleženo za prinos zrna (*Syn ZP* $\sigma_g^2 = 0,28$; *Syn ZP/USA* $\sigma_g^2 = 0,56$; *Syn FS* $\sigma_g^2 = 0,75$), vlagu u zrnu (*Syn ZP* $\sigma_g^2 = 0,22$; *Syn ZP/USA* $\sigma_g^2 = 0,49$; *Syn FS* $\sigma_g^2 = 0,77$) i visinu biljke (*Syn ZP* $\sigma_g^2 = 14,07$; *Syn ZP/USA* $\sigma_g^2 = 51,14$; *Syn FS* $\sigma_g^2 = 21,18$), a najmanje za dužinu klipa (*Syn ZP* $\sigma_g^2 = 1,61$; *Syn ZP/USA* $\sigma_g^2 = 1,82$; *Syn FS* $\sigma_g^2 = 1,67$). Shodno tome su se kretale vrednosti heritabilnosti u širem smislu.

Ukrštanje domaće sa stranom germplazmom u *Syn ZP/USA* je doprinelo statistički visoko značajno povećanju srednjih vrednosti za visinu biljke (239,76cm) i visinu klipa (107,80cm) u odnosu na *Syn ZP* (VB=223,61cm i VK=104,07cm). Rekombinacija germplazme ove dve populacije u *Syn FS* je uslovalo statistički visoko značajno povećanje srednjih vrednosti svih ispitivanih osobina.

Jače genetičke korelacije prinosa zrna utvrđene su sa dužinom klipa (*Syn ZP* $r_g = 0,86^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_g = 0,90^{**}$; *Syn FS* $r_g = 0,84^{**}$), brojem zrna u redu (*Syn ZP* $r_g = 0,77^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_g = 0,79^{**}$; *Syn FS* $r_g = 0,79^{**}$) i ukupnim brojem listova (*Syn ZP* $r_g = 0,65^{**}$; *Syn ZP/USA* $r_g = 0,68^{**}$; *Syn FS* $r_g = 0,61^{**}$) kod sve tri populacije. Jačina

korelacije za ove osobine je bila veća kod *Syn ZP/USA* u odnosu na *Syn ZP* i *Syn FS*. Najslabiji direktni uticaj na prinos zrna imala je masa 1000 zrna (*Syn ZP* $r_g = 0,19^{nz}$; *Syn ZP/USA* $r_g = 0,18^{nz}$; *Syn FS* $r_g = 0,12^{nz}$) kod sve tri ispitivane populacije. Za ostale ispitivane osobine su utvrđene srednje jake, značajne genetičke korelacije.

Očekivana genetička dobit od selekcije S_1 familija za prinos zrna bila je najveća kod populacije *Syn ZP/USA* (od $\Delta G_{20} = 7,27\%$ do $\Delta G_5 = 10,72\%$). Za populacije *Syn ZP/USA* i *Syn FS* izračunata je veća genetička dobit za većinu osobina u odnosu na *Syn ZP*, osim za ukupan broj listova i broj listova ispod klipa.

Najveći indirektan uticaj na prinos zrna izračunat je za dužinu klipa i broj zrna u redu kod sve tri sintetičke populacije. Ostale ispitivane osobine su pokazale različite indirektno uticaje na prinos zrna kod različitih populacija. Kod populacije *Syn FS* sve ispitivane osobine su imale pozitivan indirektan efekat na prinos zrna, različitih jačina. Kod populacije *Syn ZP* pozitivan indirektan uticaj na prinos zrna, pored dužine klipa i broja zrna u redu, imale su visina biljke, visina klipa, broj listova ispod klipa i broj redova zrna, a negativan indirektan uticaj ukupan broj listova, masa 1000 zrna i sadržaj vlage u zrnju. Na prinos zrna populacije *Syn ZP/USA* pozitivan indirektan uticaj, pored dužine klipa i broja zrna u redu, imale su visina biljke, visina klipa i broj redova zrna. Ukupan broj listova i broj listova ispod klipa nije imao značajan indirektan uticaj, a sadržaj vlage u zrnju i masa 1000 zrna imale su negativan indirektan uticaj na prinos zrna u ovom sintetiku. Pomoću grafičkog prikaza funkcionalne zavisnosti osobina određena je realna selekciona zona iz koje se može vršiti odabir genotipova za dalju selekciju.

Poređenjem srednjih vrednosti sintetika *per se*, roditeljskih linija i linija potomstva utvrđeno je poboljšanje osobina kod linija potomstva za sve ispitivane osobine u odnosu na većinu roditeljskih linija. Prosečne vrednosti svih linija potomstva za prinos zrna (4,27t/ha), dužinu klipa (15,67cm), broj redova zrna (14,60) i masu 1000 zrna (267,78g) u poređenju sa roditeljskim linijama (PZ=3,62t/ha; DK=14,13cm; BRZ=13,83 i MZ=241,79g) pokazuju da je napravljen značajan pozitivan pomak u srednjim vrednostima važnih osobina. Potomstva *Syn ZP/USA* su imala bolje srednje vrednosti za važnije agronomске osobine u odnosu na potomstva *Syn ZP*. Srednje jaki do jaki koeficijenti korelacije prinosa zrna su utvrđeni za vlagu u zrnju (od $r=0,08^{nz}$ do

$r=0,90^{**}$), dužinu klipa (od $r= - 0,06^{nz}$ do $r=0,92^{**}$) i masu 1000 zrna (od $r= - 0,07^{nz}$ do $r=0,87^{**}$) za većinu roditeljskih linija i linija potomstva. Ostale osobine su imale slabe korelacije sa prinosom zrna.

Molekularnom analizom sintetika *per se*, roditeljskih linija i linija potomstava utvrđeno je da se prosečan broj alela po lokusu smanjio sa 4,83 kod roditeljskih linija na 4,17 kod linija potomstva. Klaster analiza genotipova na osnovu molekularnih markera grupisala je roditeljske linije prema njihovom poznatom poreklu, a linije potomstva prema izvornim populacijama.

Rezultati istraživanja u ovom radu potvrdili su efikasnost S_1 rekurentne selekcije za popravku prinosa zrna populacija *per se*, kao i ostalih važnih agronomskih osobina. Inkorporacija strane germplazme u lokalni materijal, kao i dodatne rekombinacije, stvorile su povećanu genetičku varijabilnost, a shodno tome je povećana i genetička dobit od selekcije. Za formiranje početnih populacija odabran je raznovrstan genetički materijal koji je tokom rada na njemu zadržao svoju varijabilnost. Sve tri ispitivane sintetičke populacije imaju veliki selekcionni potencijal. Primenjeni metod S_1 rekurentne selekcije je doprineo stvaranju novih linija superiornijih od roditeljskih.

8. LITERATURA

- Ajmone Marsan, P., Castiglioni, P., Fusari, F., Kuiper, M., Motto, M. (1998): Genetic diversity and its relationship to hybrid performance in maize as revealed by RFLP and AFLP markers. *Theor Appl Genet* 96:219—227.
- Albrecht, B., Dudley, J.W. (1987): Evaluation of four maize populations containing different proportions of exotic germplasm. *Crop Sci.* 27: 480-486.
- Allard, R.W. (1960): Principles of plant breeding. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Allison, J.C.S., Cornow, R.N. (1966): On the choice of tester parent for the breeding of synthetic varieties of maize (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 6:541-544.
- Aminu, D., Izge, A.U. (2012): Heritability and Correlation Estimates in Maize (*Zea mays* L.) Under Drought Conditions in Northern Guinea and Sudan Savannas of Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences* 8 (6):598-602.
- Baker, R. (1984): Some of the open pollinated varieties that contributed most to modern hybrid corn. *Ann. Illinois Corn Breeders School Proc.* 20: 1-20.
- Bartual, R., Hallauer, A.R. (1976): Variability among unselected maize inbred lines developed by full-sibbing. *Maydica* 21:49–60.
- Bauman, L.F. (1981): Review of methods used by breeders to develop superior corn inbreds. *Proc. Corn Sorghum Ind. Res. Conf.* 36:199– 208.
- Bernardo, R., Romero-Severson, J., Ziegler, J., Hauser, J., Joe, L., Hookstra, G., Doerge, R.W. (2000): Parental contribution and coefficient of coancestry among maize inbreds: pedigree, RFLP, and SSR data. *Theor Appl Genet* 100:552-556.
- Bletsos, E.A., Goulas, C.K. (1999): Mass selection for improvement of grain yield and protein in a maize population. *Crop Sci.* 39:1302-1305.

- Brandolini, A.G. (1969): European races of corn. Ann. Corn and Sorghum Research Conf. Proc. 24: 36-49.
- Bridges, W.C.Jr., Gardner, C.O. (1987): Foundation populations for adapted by exotic crosses. Crop Sci. 27: 501-506.
- Brown, W.L. (1953): Sources of germplasm for hybrid corn. Proc. Ann. Hybrid Corn Industry Res. Conf. 8: 11-15.
- Brown, W.L. (1975): A broader germplasm base in corn and sorghum. Proc. Corn. Sorghum Res. Conf. 30:81-89.
- Butron, A., Li, R.G., Guo, B.Z., Widstrom, N.W., Snook, M.E., Cleveland, T.E., Lynch, R.E. (2001): Molecular markers to increase corn earworm resistance in a maize population. Maydica 46:117-124.
- Butruille, D. V., Silva, H. D., Kaeppler, S. M., Coors, J. G. (2004): Response to Selection and Genetic Drift in Three Populations Derived from the Golden Glow Maize Population. Crop Sci. 44:1527–1534.
- Chapman, S.C., Edmeades, G.O. (1999): Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: II. Direct and correlated responses among secondary traits. Crop Sci. 39:1315-1324.
- Chopra, R.R. (1964): Characterization of genetic variability in an adapted and an exotic variety of corn (*Zea mays* L.) and the cross derived from them. Diss Abstr. 25: No. 64-11, 923: 2694-2695. Lincoln: University of Nebraska.
- Choukan, R., Warburton, M.L. (2005): Use of SSR data to determine relationships among early maturing Iranian maize inbred lines. Maydica 50: 163-170.
- Cochram, W.G., Cox, G.M. (1957): Experimental designs. John Wiley & Sons, Inc. Canada, pp 350.
- Compton, W.A. and Bahadur, K. (1977): Ten cycles of progress from modified ear-to-row selection in corn. Crop Sci. 17:378-380.

- Comstock, R.E., Robinson, H.F., Harvey, P.H. (1949): A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agron. J.* 41:360-367.
- Cregan, P.B., Bhagwat, A.A., Akkaya, M.S., Rongwen, J. (1994): Microsatellite fingerprinting and mapping of soybean. *Meth. Mol. Cell. Biol.* 5:49–61.
- Crossa, J., Gardner, C.O. (1987): Introgression of an exotic germplasm for improving an adapted maize population. *Crop Sci.* 27: 187-190.
- Crossa, J., Gardner, C.O., Mumm, R.F. (1987): Heterosis among populations of maize (*Zea mays* L.) with different levels of exotic germplasm. *Theor Appl Genet* 73: 445-450.
- Drinić, G. (1995): Genetička varijabilnost kvantitativnih svojstava u F2 sintetičkoj populaciji kukuruza (*Zea mays* L.). Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- Dubreuil, P., Charcosset, A. (1999): Relationships among maize inbred lines and populations from European and North-American origins as estimated RFLP markers. *Theor Appl Genet* 99: 473-480.
- Dudley, J.W. (1987): Modification of methods for identifying populations to be used for improving parents of elite single crosses. *Crop Sci.* 27: 940-943.
- Eagles, H.A., Hardacre, A.K. (1989): Synthetic populations of maize containing highland Mexican or highland Peruvian germplasm. *Crop Sci.* 29: 660-665.
- East, E.M. (1908): Inbreeding in corn. Rept. Conn. Agr. Expt. Sta. for 1907: 419-428.
- Eberhart, S.A. (1971): Regional maize diallels with US and semi-exotic varieties. *Crop Sci.* 11: 911-914.
- Eberhart, S.A. (1980): Factors effecting efficiencies of breeding methods. *African Soils* 15: 669-680.

- Edmeades, G.O., Bolaños, J., Chapman, S.C., Lafitte, H.R., Bänziger, M. (1999): Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. Gains in biomass, grain yield, and harvest index. *Crop Sci.* 39:1306-1315.
- Edwards, A., Civitello, A., Hammond, H.A., Caskey, C.T. (1991): DNA typing and genetic mapping with trimeric and tetrameric tandem repeats. *American Journal of Human Genetics* 49: 746-756.
- Edwards, J. W., Lamkey, K. R. (2003): Dominance and Genetic Drift: Predicted Effects of Population Subdivision in a Maize Population. *Crop Sci.* 43:2006–2017.
- Efron, Y., Everett, H.L. (1969): Evaluation of exotic germplasm for corn hybrids in northern United States. *Crop Sci.* 9: 44-47.
- El-Lakany, M.A., Russell, W.A. (1971): Relationship of maize characters with yield in test-crosses of inbreds at different plant densities. *Crop Sci.* 11:698-701.
- Falconer, D.S. (1960): Quantitative genetics. The Ronald Press Co. New York, pp365.
- Falconer, D.S. (1981): Introduction to quantitative genetics. Longman, London and New York, pp 360.
- Falconer, D.S. (1989): Introduction to quantitative genetics. Longman, London and New York, pp 420.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B. Mitchell, R. L. (1985): Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Ames. pp.164-186.
- Geadelmann, J.L. (1984): Using exotic germplasm to improve northern corn. *Ann. Corn Sorghum Res. Conf. Proc.* 39: 98-110.
- Gerrish, E.E. (1980): Non-Corn belt dent populations. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, 54: 49-52.
- Gonzalez, A.M., Monteagudo, A.B., Casquero, P.A., De Ron, A.M., Santalla, M. (2006): Genetic variation and environmental effects on agronomical and

- commercial quality traits in the main European market classes of dry bean. *Field Crops Res.* 95:336–347.
- Goodman, M.M. (1965): Estimates of genetic variance in adapted and exotic populations of maize. *Crop Sci.* 5: 87-90.
- Goodman, M.M. (1984): Evaluation of exotic. *Ann. Illinois Corn Breeders School Proc.* 20: 85-101.
- Goodman, M.M. (2004): Developing temperate inbreds using tropical maize germplasm: Rationale, results, conclusion. *Maydica* 49:209-219.
- Goodman, M. M. (2005): Broadening the U.S. maize germplasm base. *Maydica* 50:203-214.
- Gouesnard, B., Sanou, J., Panouillé, A., Bourion, V., Boyat, A. (1996): Evaluation of agronomic traits and analysis of exotic germplasm polymorphism in adapted x exotic maize crosses. *Theor Appl Genet* 92:368–374.
- Gower, J.C., D.J. Hand (1996): *Biplots*. Chapman & Hall, London, UK.
- Griffing, B., Lindstrom, E.W. (1954): A study of the combining abilities of corn inbreds having varying proportions of Corn Belt and non-Corn belt germplasm. *Agron. J.* 46: 545-552.
- Grombacher, A.W., W.A. Russell, W.D. Guthrie (1989): Effects of recurrent selection in two maize synthetics on agronomic traits of S1 lines. *Maydica* 34: 343-352.
- Gutierrez-Gaitan, M.A., Cortez-Mendoza, H., Wathika, E.N., Gardner, C.O., Oyervides-Garcia, M., Hallauer, A.R., Darrah, L.L. (1986): Testcross evaluation of Mexican maize populations. *Crop Sci.* 26: 99-104.
- Hagdorn, S., Lamkey, K. R., Frisch, M., Guimaraes, P. E. O., Melchinger, A.E. (2003): Molecular Genetic Diversity among Progenitors and Derived Elite Lines of BSSS and BSCB1 Maize Populations. *Crop Sci.* 43: 474-482.

- Hallauer, A.R. (1968): Estimates of genetic variances in Iowa long ear synthetic. *Advancing frontiers of plant sciences*, 22: 147-162.
- Hallauer, A.R. (1970): Genetic variability for yield after four cycles of reciprocal recurrent selection in maize. *Crop Sci.* 10: 482-485.
- Hallauer, A.R. (1975): Relation of gene action and type of tester in maize breeding procedures. *Proceedings of the 30th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 30: 150-166.
- Hallauer, A.R. (1978): Potential of exotic germplasm for maize improvement. In: *Maize breeding and genetics*, Walden, D.B. ed., John Wiley & Sons Inc., New York: 229-247.
- Hallauer, A.R. (1980): Selection and selection methods. In: *Plant Breeding* (Frey, K.J., ed). Iowa State Univ. Press, Ames, pp 420.
- Hallauer, A.R. (1981): Progress to date in the use of exotic materials in conventional maize breeding programs. *Ann. Corn Sorghum Res. Conf. Proc.* 33: 34-47.
- Hallauer, A.R. (1985): Compendium of recurrent selection methods and their application. *Crit. Rev. Plant Sci.* 12: 16-18.
- Hallauer, A.R. (1989): Fifty years of recurrent selection in corn. *Illinois Corn Breeders School*, 25:39-63.
- Hallauer, A.R., Wright, J.A. (1967): Genetic variances in the open-pollinated variety of maize, Iowa Ideal. *Zuchter* 37:178-185.
- Hallauer, A.R., Malithano, D. (1976): Evaluation of maize varieties for their potential as breeding populations. *Euphytica*, 25: 117-127.
- Hallauer, A.R., Miranda, J.B. (1988): Potential and use of exotic germplasm. In: *Quantitative genetics in maize breeding*. Second edition, the Iowa State University Press, Ames, Iowa 50010: 396-402.

- Hallauer, A.R., W.A. Russell, and K.R. Lamkey. 1988. Corn breeding. p. 463–564. In G.F. Sprague and J.W. Dudley (ed.) Corn and corn improvement. 3rd ed. Agron. Monogr. 18. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Hanson, W.D. (1963): Heritability, in Statistical genetics and plant breeding (eds W.D. Hanson and H.F. Robinson). National Academy of Sciences-National Research Council. Washington, DC, pp. 125-140.
- Hartley, H.O. (1955): Some recent developments in analysis of variance. *Comm. Pure Appl Math.* 8: 47-72.
- Helms, T.C., Hallauer, A.R., Smith, O.S. (1989a): Genetic variability estimates in improved and nonimproved "Iowa Stiff Stalk Synthetics" maize populations. *Crop Sci.* 29: 959-962.
- Helms, T.C., Hallauer, A.R., Smith, O.S. (1989b): Genetic drift and selection evaluated from recurrent selection program in maize. *Crop Sci.* 29: 602-607.
- Hinze, L. L., Kresovich, S., Nason, J. D., Lamkey, K. R. (2005): Population Genetic Diversity in a Maize Reciprocal Recurrent Selection Program. *Crop Sci.* 45:2435–2442.
- Ho, J. C., Kresovich, S., Lamkey, K. R. (2005): Extent and Distribution of Genetic Variation in U.S. Maize: Historically Important Lines and their Open-Pollinated Dent and Flint Progenitors. *Crop Sci.* 45:1891–1900.
- Hoisington, D., Listman, G.M., Morris, M.L. (1998): Varietal development: Applied Biotechnology. In: M.L. Morris (ed.) *Maize Seed Industries in Developing Countries*, Lynne Rienner Publishers, Inc. And CIMMYT. Int. pp. 77-102.
- Horner, E.S., Lutrick, M.C., Chapman, W.H., Martin, F.G. (1976): Effect of recurrent selection for combining ability with a single-cross tester in maize. *Crop Sci.* 16: 5-8.

- Horner, E.S., Magloire, E., Morera, J.A. (1989): Comparasion of selection for S2 progeny vs. testcross performance for population improvement in maize. *Crop Sci.* 29: 868-874.
- Hull, F.H. (1945): Recurrent selection and combining ability in corn. *J. Am. Soc. Agron.* 37:134-145.
- Husić, I. (1988): Ispitivanje kombinacionih sposobnosti važnijih agronomskih osobina inbred linija kukuruza dobijenih iz različitih ciklusa selekcije BSS sintetika. Magistarski rad, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Husić, I. (1992): Nasleđivanje komponenti prinosa i genetička dobit od selekcije na bazi S1 i HS potomstava kukuruza (*Zea mays* L.). Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- Husić, I., Stojnić, O., Ivanović, M., Kojić, L. (1993): Multiple regression analysis in crosses of inbred lines developed from different cycles of selection of BSSS. *Genetika*, 25: 177-182.
- Iglesias, C.A., Hallauer, A.R. (1989): S2 recurrent selection in maize populations with exotic germplasm. *Maydica*, 34: 133-140.
- Jenkins, M.T. (1940): The segregation of genes affecting yield of grain in maize. *J. Am. Soc. Agron.* 32:55-63.
- Johannessen, C. L., Parker, A. Z. (1989): Maize ears sculptured in 12th and 13th century AD India as indicators of pre-Columbian diffusion. *Economic Botany*, 43 (2): 164-180.
- Jones, C.J., Edwards, K.J., Castaglione, S., Winfield, M.O., Sala, F., van de Wiel, C., Bredemeijer, G., Vosman, B., Matthes, M., Daly, A., Brettschneider, R., Bettini, P., Buiatti, M., Maestri, E., Malcevschi, A., Marmioli, N., Aert, R., Volckaert, G., Rueda, J., Linacero, R., Vazquez, A., Karp, A. (1997): Reproducibility testing of RAPD, AFLP and SSR markers in plants by a network of European laboratories. *Molecular Breeding* 3: 381-390.

- Keeratinijakal, V., Lamkey, K.R. (1993): Responses to reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize population. *Crop Sci.* 33: 73-77.
- Kramer, H.H., Ullstrup, A.J. (1959): Preliminary evaluation of exotic maize germplasm. *Agron. J.* 51: 687-689.
- Kroonenberg, P.M. (1995): Introduction to biplots for $G \times E$ tables. Department of Mathematics, Research Report 51, University of Queensland
- Kutka, F.J., Smith, M. E. (2007): How many parents give the highest yield in predicted synthetic and composite populations of maize? *Crop Sci.* 47:1905–1913.
- Labate, J. A., Lamkey, K. R., Lee, M., Woodman, W. L. (1997): Molecular genetic diversity after reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. *Crop Sci.* 37:416-423.
- Labate, J.A., Lamkey, K.R., Lee, M., Woodman, W.L. (1999): Temporal changes in allele frequencies in two reciprocally selected maize populations. *Theor Appl Genet* 99:1166–1178.
- Labate, J. A., Lamkey, K. R., Mitchell, S. E., Kresovich, S., Sullivan, H., Smith, J. S. C. (2003): Molecular and Historical Aspects of Corn Belt Dent Diversity. *Crop Sci.* 43:80–91.
- Laborda, P. R., Oliveira, K. M., Garcia, A. A. F., Paterniani, M. E. A. G. Z., de Souza, A. P. (2005): Tropical maize germplasm: what can we say about its genetic diversity in the light of molecular markers? *Theor Appl Genet* 111:1288–1299.
- Lanza, L.L.B., De Souza, Jr. C.L., Ottoboni, L.M.M., Viera, M.L.C., De Souza, A.P. (1997): Genetic distance of inbred lines and prediction of maize single-cross performance using RAPD markers. *Theor App Genet* 94: 1023- 1030.
- Lee, S.J., W. Yan, J.K. Ahn, M.I. Chung, (2002): Effects of year, site, genotype and their interactions on various soybean isoflavones. *Field Crop Res.* 4150: 1–12.

- Liu, K., Muse, S.V. (2005): PowerMarker: An integrated analysis environment for genetic marker analysis. *Bioinformatics* 21:2128–2129.
- Lonnquist, J.H. (1974): Considerations and experiences with recombinations of exotic and Corn Belt maize germplasm. *Proc. Ann. Corn Sorghum Res. Conf.* 29: 102-117.
- Lu, H., Bernardo, R. (2001): Molecular marker diversity among current and historical maize inbreds. *Theor Appl Genet* 103:613–617.
- Lubberstedt, T., Melchinger, A. E., Dußle, C., Vuylsteke, M., Kuiper, M. (2000): Relationships among early European maize inbreds: IV. Genetic diversity revealed with AFLP markers and comparison with RFLP, RAPD, and pedigree data. *Crop Sci.* 40:783–791.
- Ma, B.L., Subedi, K.D., Reid, L.M. (2004): Extent of cross-fertilization in maize by pollen from neighboring transgenic hybrids. *Crop Sci.* 44:1273–1282.
- Maenhout, S., De Baets, B., Haesaert, G. (2010): Prediction of maize single-cross hybrid performance: support vector machine regression versus best linear prediction. *Theor Appl Genet* 120:415–427.
- Malvar, R.A., Ordas, A., Revilla, P., Carea, M.E. (1996): Estimates of genetic variances in two spanish populations of maize. *Crop Sci.* 36: 291-295
- Menkir, A., and J.G. Kling. (2007):. Response to recurrent selection for resistance to *Striga hermonthica* (Del.) Benth in a tropical maize population. *Crop Sci.* 47:674–684.
- Messmer, M.M., Melchinger, A.E., Lee, M., Woodman, W.L., Lamkey, K.R. (1991): Diversity an relationships among US maize inbreds revealed bz restriction fragment length polymorphism. *Crop Sci* 31:669-678.
- Michelini, L.A., Hallauer, A.R. (1993): Evaluation of exotic and adapted maize (*Zea mays* L.) germplasm crosses. *Maydica*, 38: 275-282.

- Michelmore, R.W., Paran I, Kesseli V. (1991): Identification of markers linked to disease resistance genes by bulked segregant analysis: a rapid method to detect markers in specific genomic region is by using segregating population. *Proc Natl Acad Sci USA* 88:9828–9832.
- Mišević, D. (1989): Heterotic patterns among U.S. Corn Belt, Yugoslavian and exotic maize populations. *Maydica*, 34: 353-363.
- Mohamadi, R., Amri, A. (2011): Graphical analysis of trait relations and genotype evaluation in durum wheat. *J. Crop Improv.* 25: 680–696.
- Mohammadi, S., Prasanna, B. (2003): Analysis of genetic diversity in crop plants: Salient statistical tools and considerations. *Crop Sci.* 43: 1235-1248.
- Moll, R.H., Salhuana, W.S., Robinson, H. F. (1962): Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.* 2: 197-198.
- Moll, R.H., Lonnquist, J.H., Fortuno, J.V., Johnson, E.C. (1965): The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Crop Sci.* 52: 139-144.
- Moll, R.H., Bari, A., Stuber, C.W. (1977): Frequency distribution of maize yield before and after reciprocal recurrent selection. *Crop Sci.* 17: 794-796.
- Monneveux, P., Sanchez, C., Beck, D., Edmeades, G.O. (2006): Drought tolerance improvement in tropical maize source populations : evidence of progress. *Crop Sci* 46: 180-191.
- Morris, C.F., Campbell, K.G., King, G.E. (2004): Characterization of the end-use quality of soft wheat cultivars from the eastern and western U.S. germplasm ‘pools.’ *Plant Genet Res.* 2:59–69.
- Muhammad Z., Muhammad A., Waheed A., Shiraz A., Manzoor H., Muhammad I.K. (2013): Estimate of correlated responses for some polygenic parameters in yellow maize (*Zea mays* L.) hybrids. *International Journal of Advanced Research*, Volume 1, Issue 5, 24-29.

- Mulamba, N.N., Hallauer, A.R., Smith, O.S. (1983): Recurrent selection for grain yield in a maize population. *Crop Sci.* 23: 536-540.
- Mungoma, C., Pollak, L.M. (1988): Heterotic patterns among ten Corn Belt and exotic maize populations. *Crop Sci.* 28: 500-504.
- Nelson, H.G. (1972): The use of exotic germplasm in practical corn breeding programs. *Ann. Corn Sorghum Ind. Res. Conf. Proc.* 27: 115-118.
- Nelson, P. T. (2007): Evaluation of elite exotic maize inbreds for use in long-term temperate breeding. PhD thesis. North Carolina State University, USA.
- Nelson, P. T., Goodman, M. M. (2008): Evaluation of Elite Exotic Maize Inbreds for Use in Temperate Breeding. *Crop Sci.* 48:85–92.
- Noor, M., Shahwar, D., Rahman, H., Ullah, H., Ali, F., Iqbal, M., Shah, I. A., Ullah, I. (2013): Change in heritability estimates due to half-sib family selection in the maize variety Pahari. *Genetics and molecular research* 12:1872-1881.
- Ober, E.S., Bloa, M.L., Clark, C.J.A., Royal, A., Jaggard, K.W., Pidgeon, K.W., J.D. (2005): Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet. *Field Crops Res.* 91:231–249.
- Obilana, A.T., Hallauer, A.R. (1974): Estimation of variability of quantitative traits in BSSS by using unselected maize inbred lines. *Crop Sci.* 14:99–103.
- Ottaviano, E., Camusse, A. (1981): Phenotypic and genetic relationships between yield components in maize. *Euphytica* 30:601–609.
- Oyervides-Garcia, M., Hallauer, A.R., Cortez-Mendoza, H. (1985): Evaluation of improved maize populations in Mexico and the U.S. Corn Belt. *Crop Sci.* 25: 115-120.
- Parentoni, S.N., Magalhaes, J.V., Pacheco, C.A., Santos, M.X., Abadie, T., Gama, E.E.G., Guimaraes, P.E.O., Meirelles, W.F., Lopes, M.A., Vasconcelos, M.J.V., Paiva, E. (2001): Heterotic groups based on yield-specific combining ability data

- and phylogenetic relationship determined by RAPD markers for 28 tropical maize open pollinated varieties. *Euphytica* 121:197–208.
- Pejic, I., Ajmone-Marsoan, P., Morgante, M., Kozumplick, V., Castiglioni, P., Taramino, G., Motto, M. (1998): Comparative analysis of genetic similarity among maize inbred lines detected by RFLPs, RAPDs, SSRs and AFLPs. *Theor Appl Genet* 97:1248–1255.
- Peterson, D.M., D.M. Wesenberg, D.E. Burrup, and C.A. Erickson. (2005): Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. *Crop Sci.* 45:1249–1255.
- Pinto, L.R., Carneiro Vieira, M.L., de Souza, C.L. Jr, de Souza, A.P. (2003): Reciprocal recurrent selection effects on the genetic structure of tropical maize populations assessed at micro-satellite loci. *Genet Mol. Biol.* 26:355–364.
- Rebourg, C., Dubreuil, P., Charcosset, A. (1999): Genetic diversity among maize populations: Bulk RFLP analysis of 65 accessions. *Maydica* 44:237–249.
- Reif, J. C., Fischer, S., Schrag, T. A., Lamkey, K. R., Klein, D., Dhillon, B. S., Utz, H. F., Melchinger, A. E. (2010): Broadening the genetic base of European maize heterotic pools with US Cornbelt germplasm using field and molecular marker data. *Theor Appl Genet* 120:301–310.
- Rogers, S.O., A.J. Bendich (1988): Extraction of DNA from plant tissues. *Plant Molecular Biology Manual* A6: 1-10.
- Rohlf, F.J. (2000): NTSYS-pc Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System version 2.0. Exeter Software, Setaket, NY.
- Romay, M. C., Butrón, A., Ordás, A., Revilla, P., Ordás, B. (2012): Effect of Recurrent Selection on the Genetic Structure of Two Broad-Based Spanish Maize Populations. *Crop Sci.* 52:1493–1502.
- Ron Parra J., Hallauer, A.R. (1997): Utilization of exotic maize germplasm. *Plant Breed. Rev.* 14: 165-187.

- Rowlings, J.O., Thopson, D.L. (1962): Performance level as criterion for the choice of maize tester. *Crop Sci.* 2: 217-220.
- Russell, W.A. (1985): Comparison of the hybrid performance of maize inbred lines developed from the original and improved cycles of BSSS. *Maydica*, 30: 407-419.
- Russell, W.A., Eberhart, S.A. (1975): Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent selection and testcross selection programs. *Crop Sci.* 15: 1-4.
- Russell, W.A., Machado, V. (1978): Selection procedures in the development of maize inbred lines and the effects of plant densities on the relationships between inbred traits and hybrid yields. *Iowa State University of Science and Technology, Research Bulletin*, 585: 909-932.
- Russell, W.A., Eberhart, S.A., Urbano, A. Vega, O. (1973): Recurrent selection for specific combining ability for yield in two maize populations. *Crop Sci.* 13: 257-261.
- Salhuana, W., Pollak, L.M., Ferrer, M., Paratori, O., Vivo, G. (1998): Breeding potential of maize accessions from Argentina, Chile, U.S.A. and Uruguay. *Crop Sci.* 38: 866-872.
- Sastry, J.G., Ramakrishna, W., Sivaramakrishnan, S., Thakur, R.P., Gupta, V.S., Ranjekar, V.S. (1995): DNA fingerprinting detects genetic variability in the pearl millet downy mildew pathogen (*Sclerospora graminicola*). *Theor Appl Genet* 91: 856-861.
- Schrag, T., Möhring, J., Maurer, H. P., Dhillon, B. S., Melchinger, A. E., Piepho, H. P., Sørensen, A. P., Frisch, M. (2009): Molecular marker-based prediction of hybrid performance in maize using unbalanced data from multiple experiments with factorial crosses. *Theor Appl Genet* 118:741–751.
- Schrag, T., Möhring, J., Melchinger, A. E., Kusterer, B., Dhillon, B. S., Piepho, H. P., Frisch, M. (2010): Prediction of hybrid performance in maize using molecular

- markers and joint analyses of hybrids and parental inbreds. *Theor Appl Genet* 120:451–461.
- Senior, M. L., Murphy, J. P., Goodman, M. M., Stuber, C. W. (1998): Utility of SSRs for Determining Genetic Similarities and Relationships in Maize Using an Agarose Gel System. *Crop Sci.* 38:1088–1098.
- Shahi, J.P. and Singh, L.S. (1985): Estimation of genetic variability for grain yield and its components in a random mating population of maize. *Crop Improv.* 12: 126-129.
- Shull, G. H. (1908): The composition of a field of maize. *Am. Breeders Assoc. Rep.* 4: 296–230.
- Shull, G. H. (1909): A pure line method of corn breeding. *Am. Breeders Assoc. Rep.* 5: 51–59.
- Shull, G.H. (1910): Hybridization method in corn breeding. *Am. Breeders Mag.* 1:98-107.
- Smalley, M.D., Daub, J.L., Hallauer, A.R. (2004): Estimation of heritability in maize by parent-offspring regression. *Maydica* 49:221–229.
- Smith, J.S.C. (1986): Genetic diversity within the corn belt dent racial complex of maize (*Zea mays* L.). *Mydica*, 31: 349-367.
- Smith, J.S.C. (1989): The characterization and assessment of genetic diversity among maize (*Zea mays* L.) hybrids that are widely grown in France: chromatographic data and isosymic data. *Euphytica* 43: 73-85.
- Smith, J.S.C., Smith, O.S., Wright, S., Wali, S.J., Walton, M. (1992): Diversity of U.S. hybrid maize germplasm as revealed by restriction fragment length polymorphism. *Crop Sci.* 32: 598-604.
- Smith, J.S.C., Chin, E.C., Shu, H., Smith, O.S., Wall, S.J., Senior, M.L., Mitchell, S.E., Kresovich, S., Ziegler, J. (1997): An evaluation of the utility of SSR as molecular

- markers in maize (*Zea mays* L.): comparisons with data from RFLPs and pedigrees. *Theor Appl Genet* 95:163–173.
- Smith, O.S. (1983): Evaluation of recurrent selection in BSSS, BSCB1 and BS13 maize populations. *Crop Sci.* 23:35-40.
- Sokal, R.R., C.D. Michener (1958): A statistical method for evaluating systematic relationships. *Univ. Kans. Sci. Bull.* 38: 1409-1438.
- Sprague, G.F. (1984): Organization of breeding programs. *Proc. Ann. Illin. Corn Breeders Sch.* 20: 20-31.
- Sprague, G.F., Eberhart, S.A. (1976): Corn breeding.p:305-362. in: *Corn and corn improvement*, Sprague, G.F. ed., American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Sprague, G.F., Russell, W.A., Penny, L.H. (1959): Recurrent selection for specific combining ability and type of gene action involved in yield heterosis in corn. *Agron. J.* 51: 392-394.
- Stojnić, O. (1995): Genetičke i fenotipske korelacije između prinosa i komponenti prinosa zrna kod BSSS populacija kukuruza (*Zea mays* L.). Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- Stojšin, D., Kannenberg, L.W. (1995): Evaluation of maize populations as sources of favorable alleles for improvement of two single cross hybrids. *Crop Sci.* 35:1353–1359.
- Stucker, D.S., Hallauer, A.R. (1992): Genetic variability as affected by selection in Iowa Stiff Stalk Synthetic maize. *J. of Heredity*, 83:410-418.
- Tallury, S.P., Goodman, M.M. (1999): Experimental evaluation of the potential of tropical germplasm for temperate maize improvement. *Theor App Genet* 98: 54-61.

- Tarter, J.A., Goodman, M.M., Holland, J.B. (2003): Testcross performance of semiexotic inbred lines derived from Latin American maize accessions. *Crop Sci.* 43:2272-2278.
- Trifunović, B.V. (1994): Naslednost vešekliposti i genetička dobit od fenotipske selekcije u ZPSYNP1 populaciji kukuruza (*Zea mays* L.). Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Trifunović, B.V., 1995: Inheritance of prolificacy and genetic gain from phenotypic recurrent selection in the *ZPSynP1* population of maize (*Zea mays* L.). *Journal of scientific agricultural research*, Vol. 56, No 201, 1995/1-2, (3-41), Belgrade, Yugoslavia.
- Trifunović, V. (1983): Wide crosses in maize. *Genetika*, 15: 203-218.
- Troyer, A.F. (1999): Background of U.S. hybrid corn. *Crop Sci.* 39:601-626.
- Troyer, A F. (2004): Background of U.S. Hybrid Corn II: Breeding, Climate, and Food. *Crop Sci.* 44:370–380.
- Troyer, A.F., Brown, W.L. (1972): Selection for early flowering in corn. *Crop Sci.* 12: 301-304.
- Troyer, A.F., Openshaw, S.J., Knittle, K.H. (1988): Measurement of genetic diversity among popular commercial corn hybrids. *Crop Sci.* 28:481–485.
- Tyagi, A.P., Pokhariyal, G.P., Odongo, O.M. (1988): Correlation and path coefficient analysis for yield components and maturity traits in maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 33:109–119.
- Vales, M.I., Malvar, R.A., Revilla, P., Ordás, A. (2001): Recurrent selection for grain yield in two Spanish maize synthetic populations. *Crop Sci.* 41:15–19.
- Vančetović, J. (1994): Genetička varijabilnost kvantitativnih svojstava kod kompozita kukuruza (*Zea mays* L.). Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.

- Vashistha, A., Dixit, N.N., Dipika, Sharma, S.K., Marker, S. (2013): Studies on heritability and genetic advance estimates in Maize genotypes. *Bioscience Discovery*, 4(2):165-168.
- Vera, G.A., Crane, P.L. (1970): Effects of selection for lower ear height in synthetic populations of maize. *Crop Sci.* 10: 286-288.
- Verma, V., Bains, N. S., Mangat, G. S., Nanda, G. S., Gosal, S. S., Singh, K. (1999): Maize genotypes show striking differences for induction and regeneration of haploid wheat embryos in the wheat× maize system. *Crop Sci.* 39:1722–1727.
- Virk, P.S., Ford-Loyd, B.V., Jackson, M.T., Newbury, H.J. (1995): Use of RAPD for the study of diversity within plant germplasm collections. *Heredity* 74: 170-179.
- Walters, S.P., Russell, W.A., Lamkey, K.R., White, P.R. (1991): Performance and inbreeding depression between a synthetic and three improved populations of maize. *Crop Sci.* 31: 80-83.
- Wang, M., Zhang, X., Zhao, J., Song, W., Zheng, Y. (2011): Evaluation of the genetic diversity and genome-wide linkage disequilibrium of Chinese maize inbred lines. *Australian Journal of Crop Science* 5:1790-1795.
- Wannows, A.A., Azzam, H.K., Al-Ahmad, S.A. (2010): Genetic variances, heritability, correlation and path coefficient analysis in yellow maize crosses (*Zea mays* L.). *Agric. Biol. J. N. Am.* 1(4): 630-637.
- Weising, K., Nybom, H., Woff, K., Meyer, W. (1995): DNA fingerprinting in plants and fungi. CRC press, Boca Raton, USA.
- Wellhausen, E. J. (1965): Exotic germplasm for improvement of Corn Belt maize. *Ann. Hybrid Corn Ind. Res. Conf. Proc.* 11: 85-96.
- Yan, W., Rajcan, I. (2002): Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42: 11-20.

- Yan, W., Fregeau-Reid, J. (2008): Breeding line selection based on multiple traits. *Crop Sci.* 48: 417–423.
- Yousef, G.G., Juvik, J.A. (2001): Comparison of phenotypic and marker-assisted selection for quantitative traits in sweet corn. *Crop Sci.* 41:645–655.
- Yuan, W., Peng, S., Cao, C., Virk, P., Xing, D., Zhang, Y., Visperas, R.M., Laza, R.C. (2011): Agronomic performance of rice breeding lines selected based on plant traits or grain yield. *Field Crops Res.* 121:168–174.
- Zhang, Q., Wu, C., Ren, F., Li, Y., Zhang, C. (2012): Association analysis of important agronomical traits of maize inbred lines with SSRs. *Aust J Crop Sci* 6: 1131–1138.
- Zuber, M.S., Darrah, L.L. (1980): U.S. corn germplasm base. *Proc. Ann. Corn Sorghum Res. Conf.* 35:234-250.
- Živanović, T. (1997): Uticaj rekombinacija gena na varijabilnost kvantitativnih osobina ZPSinEP populacije kukuruza (*Zea mays* L.). Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd - Zemun.

Biografija kandidata

Goran J. Stanković je rođen 04.06.1964. godine u Beogradu. Osnovnu i srednju školu završio je u Beogradu, a maturirao je 1983. godine i stekao zvanje tehničar za biohemiju i molekularnu biologiju. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Odsek za ratarstvo, upisao je školske 1984/85. godine. Diplomirao je sa prosečnom ocenom 8 (osam) i stekao zvanje diplomiranog inženjera poljoprivrede za ratarstvo. Diplomski rad po nazivom „*Biološke i proizvodne osobine eksperimentalnih ZP hibrida FAO grupa zrenja 100, 200, 300, i 400*“ odbranio je 1992. godine sa ocenom 9 (devet).

Postdiplomske studije je upisao školske 1993/94. godine na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu, na grupi Genetika i oplemenjivanje biljaka. Položio je sve ispite sa prosečnom ocenom 9,75. Magistarski rad pod nazivom „*Genetička varijabilnost i genetička dobit od selekcije kod sintetičkih populacija kukuruza (Zea mays L.)*“ odbranio je 2002. godine na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu i stekao zvanje magistra poljoprivrednih nauka.

U Institutu za kukuruz „Zemun Polje“ zaposlio se 1996. godine na Odseku za genetiku i oplemenjivanje kukuruza. Šef grupe za selekciju kasnih hibrida kukuruza postao je 2002. godine i samostalno vodi program oplemenjivanja kukuruza, a od 2004. do 2015. godine bio je rukovodilac Odeljenja za oplemenjivanje Instituta za kukuruz „Zemun Polje“. U toku 2004. godine je proveo jedan mesec na Univerzitetu „Iowa State University“, Sjedinjene Američke Države kod profesora Kendall-a Lamkey-a u okviru programa „Norman E. Borlaug International Science and Technology Fellows Program“ koji je bio organizovan od strane Ministarstva poljoprivrede Sjedinjenih Američkih Država. U toku rada, rukovodio je programima naučno-tehničke i komercijalne saradnje sa Institutima i kompanijama iz Slovenije, Makedonije, Austrije, Ukrajine, Južne Afrike i dr.

Autor je, ili koautor, 60 naučnih radova i sedam hibrida kukuruza priznatih u zemlji i inostranstvu.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Горан Ј. Станковић
број уписа 1322

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Утврђивање дивергентности синтетичких популација кукуруза и њиховог
потомства фенотипским и молекуларним маркерима“

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 01.02.2016.



Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Горан Ј. Станковић

Број уписа 1322

Студијски програм Ратарство и повртарство

Наслов рада „Утврђивање дивергентности синтетичких популација кукуруза и њиховог потомства фенотипским и молекуларним маркерима“

Ментор

проф. др Гордана Шурлан- Момировић.

Потписани Горан Ј. Станковић

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 01.02.2016.



Goran J. Stanković

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Утврђивање дивергентности синтетичких популација кукуруза и њиховог
потомства фенотипским и молекуларним маркерима“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 01.02.2016.



1. Ауторство - Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.