

UDK:633.15:575.113

Originalni naučni rad

RESELEKCIJA RODITELJSKIH KOMPONENTI ELITNOG HIBRIDA KUKURUZA ZA PRINOS

*G. Todorović, T. Živanović, S. Krstanović**

Izvršena je procena linija donora kao izvora za nove poželjne alele za prinos zrna koji se ne nalaze kod linija roditelja elitnog hibrida ili su već fiksirani nepoželjni aleli po metodi *Dudley (1987a,b)*. Sve četiri inbred linije, potencijalni donori, su imale značajne vrednosti parametra G , tako da se mogu koristiti kao izvor novih gena u popravci prinosa elitnog hibrida A654 x Fu4. Najveći broj poželjnih dominantnih alela za popravku prinosa zrna imala je linija ZPLB368, a popravku treba vršiti putem samooplodnje hibrida ove linije sa roditeljskom linijom Fu4, jer je srodnost svih linija donora veća sa Fu4 nego sa A654.

Ključne reči: hibrid, inbred donor, popravka, poželjni aleli, klasa lokusa, prinos.

Uvod

Prinos zrna je složeno svojstvo, supersvojstvo, koje se sastoji od većeg broja komponentata kvantitativne prirode čija je osnova poligena. Fenotipska varijabilnost kvantitativnih svojstava je kontinuirana i uslovljena genotipskom varijabilnošću, varijabilnošću usled uticaja faktora spoljne sredine i njihovom interakcijom. Analiza kontinuirane genetičke varijabilnosti se ne može zasnivati na izolovanju i merenju pojedinačnih gena već se genski efekti moraju meriti zajedno da bi se korišćenjem složenih biometrijskih metoda mogle dobiti osnovne informacije o genetičkoj prirodi proučavane osobine. Teoretske osnove genetičke analize variranja kvantitativnih osobina postavio je *Fisher (1918)*.

Osnovni zadatak selekcije kukuruza je dobijanje novih hibrida, koji svojim pozitivnim karakteristikama prevazilaze postojeće komercijalne hibride. Za popravku elitnog dvolinijskog hibrida mogu poslužiti, kao donori poželjnih alela, inbred linije, hibridi, sintetičke populacije, slobodnooprašujuće sorte i drugo. Jedan od najčešće korišćenih nači-

* Dr Goran Todorović, viši naučni saradnik, Institut za kukuruz „Zemun Polje“, Beograd, dr Tomislav Živanović, docent, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, dr Saša Krstanović, naučni saradnik, Institut „PKB Agroekonomik“, Padinska Skela-Beograd.

na za dobijanje dvolinijskih hibrida je popravka najboljih komercijalnih dvolinijskih hibrida upotrebom inbred linija kao donora poželjnih alela. Pitanja koja se u takvim slučajevima postavljaju su sledeća:

1. Koji selekcionirani materijal odabrati kao donor (P_w) poželjnih alela ako se znaju roditeljske komponente (P_1 i P_2) elitnog dvolinijskog hibrida?
2. Kada se identifikuje inbred linija donor (P_w) da li je treba ukrstiti sa (P_1) ili (P_2) elitnog hibrida?
3. Ako se inbred linija donor (P_w) ukrsti sa na primer (P_2), da li samooplodnju treba započeti u F_2 generaciji ili treba prethodno F_1 generaciju ukrstiti sa P_2 ili sa P_w (povratna ukrštanja) (Dudley, 1982).

Prikaz i razradu metoda za identifikaciju inbred linija koje sadrže poželjne alele koji utiču na ispoljavanje kvantitativnih osobina, a koje nisu prisutne u elitnom hibridu daje Dudley (1984a, 1984b, 1984c, 1987a, 1987b). Ukoliko su dominantni aleli poželjni što je slučaj za prinos zrna, onda su lokusi klase G najinteresantniji jer linija donor (P_w) ima plus (poželjne) alele, dok P_1 i P_2 imaju minus (nepoželjne) alele za prinos. Za osobine visina biljke do osnove gornjeg klipa i poleganje biljke i stabla poželjno je da linija donor ima recesivne nepoželjne alele koji nisu prisutni kod roditelja (P_1 i P_2) elitnog hibrida (Dudley, 1987a, b, 1988). Srodnost linije donora sa jednom od roditeljskih linija određena na osnovu formula $(P_2 \times P_w) - (P_1 \times P_w) = (P_1 - P_2)/2$. Pozitivna vrednost ukazuje na veću genetičku srodnost linije donora (P_w) sa roditeljem P_1 , a negativna vrednost signalizira veću genetičku srodnost linije donora (P_w) sa roditeljem P_2 (Dudley, 1987a, b i 1988).

Ispitivane inbred linije koje su potencijalni donori mogu imati u svom genotipu poželjne alele na lokusima na kojima inbred linije roditelji elitnog hibrida (A654 x Fu4) imaju fiksirane nepoželjne alele. Cilj rada je da se odredi koja od inbred linija je najbolji donor za popravku elitnog hibrida (A654 x Fu4). Takođe treba odabrati najbolji način formiranja početne populacije i najadekvatniji metod selekcije.

Materijal i metod rada

Za proučavanje je odabrano šest inbred linija (A654, Fu4, ZPLB554dr, ZPLB176dr, ZPLB380, ZPLB368). Linija A654 je poreklom iz SAD, a Fu4 iz Rumunije. Ostale četiri linije su selekcionisane u Institutu za kukuruz Zemun Polje u Jugoslaviji. Dialelna ukrštanja šest inbred linija bez recipročnih kombinacija su izvršena 1997. godine, radi proizvodnje semena F_1 generacije. Usporedni ogled linija i hibrida je bio postavljen po slučajnom blok sistemu u pet ponavljanja 1998. i 1999. godine u Zemun Polju. Površina eksperimentalne parcele je bila 5,6 m², a gustina useva je bila 71500 biljaka/ha. Prinos je meren po elementarnoj parceli i izražen u t/ha sa 14% vlage. Pored srednjih vrednosti u radu je data dvofaktorijska analiza varijanse, koeficijent varijacije, heterozis u odnosu na srednju vrednost boljeg roditelja i procena relativne vrednosti lokusa kod inbred linija.

Procena relativne vrednosti lokusa kod inbred linija je izvršena po modifikovanom modelu Dudley (1987b). Za popravku je odabran hibrid A654 x Fu4, a ostale linije su poslužile kao potencijalni izvor poželjnih alela (linije donori). Za dve homozigotne linije (P_1 i P_2) koje daju elitni hibrid i linije donora (P_w) postoji osam klasa lokusa.

Tab. 1. Genska konstitucija lokusa kod tri homozigotne linije (*Dadley, 1987*)

Klasa lokusa	Roditelj 1. (P_1)	Roditelj 2. (P_2)	Linija donora (P_w)
A	+	+	+
B	+	+	-
C	+	-	+
D	+	-	-
E	-	+	+
F	-	+	-
G	-	-	+
H	-	-	-

+ = lokusi homozigotni za poželjne alele;

- = lokusi homozigotni za nepoželjne alele

Za poboljšanje osobina koje se nasleđuju dominantno naiznačajnija je klasa lokusa „G“, gde linije (P_1 i P_2) elitnog hibrida imaju nepoželjne (recesivne) alele, dok linija donora (P_w) ima poželjne (dominantne) alele (tab. 1). To omogućava da se odabere linija donora sa poželjnim, dominantnim alelima, na lokusima gde hibrid ($P_1 \times P_2$) ima nepoželjne, recesivne, alele. Genotipska vrednost tri moguća genotipa (++, +-,--) na jednom lokusu su μ , $a\mu$ i $i-\mu$ po *Comstock-u* i *Robinson-u (1948)*, gde je stepen dominacije, $\mu = \frac{1}{2}$ razlike genotipske vrednosti ++ i - genotipova. Model *Dudley (1987a,b)* polazi od sledećih pretpostavki: $\mu =$ konstantno za sve lokuse, $a = 1$, puna dominacija, nepostojanje epistaze, $\mu A = \mu H$.

Pozitivne vrednosti μG ukazuje da linija (P_w) ima poželjne alele u lokusima gde roditeljske linije (P_1 i P_2) imaju nepoželjne alele. Vrednost μB daje relativan broj lokusa gde P_1 i P_2 imaju poželjne alele, a μC daje relativan broj lokusa gde P_1 i P_w imaju poželjne alele, a P_2 nema, dok μE ukazuje na relativan broj lokusa gde P_2 i P_w imaju poželjne alele, a P_1 nema. Dobijene vrednosti μD i μF ukazuju da P_1 i P_2 imaju poželjne alele na lokusima gde druge dve linije nemaju poželjne alele. U slučaju da je $a \neq 1$, tj. da nema pune dominacije što je jedan od uslova za primenu modela *Dudley-a (1987a,b)* dobijene vrednosti μG nisu najpreciznije. Ako je $a > 1$ (superdominantnost) tada je vrednost μG preciznija, odnosno ako je $a < 1$ (parcijalna dominantnost) tada je vrednost μG potcenjena. Suma μC i μF daje relativan broj lokusa gde P_1 i P_w imaju iste (+ ili -) alele, dok $\mu D + \mu E$ daju relativan broj lokusa gde P_2 i P_w imaju iste (+ili-) alele.

Ako je:

1) $\mu C + \mu F > \mu D + \mu E$ – linija P_w je srodnija sa P_1 i koristi se za popravku roditelja P_1

2) $\mu C + \mu F < \mu D + \mu E$ – linija donora P_w je srodnija sa roditeljem P_2 i koristi se za popravku roditelja P_2 .

Procena srodnosti donora (P_w) sa roditeljima elitnog hibrida (P_1 i P_2) se može izvršiti primenom sledećih formula ($P_2 \times P_w$) - ($P_1 \times P_w$) + ($P_1 - P_2$)/2 . Pozitivna vrednost ukazuje na srodnost P_1 i P_w , a negativna vrednost na srodnost P_2 i P_w .

U zavisnosti da li se popravlja roditelj P_1 ili P_2 način zasnivanja početne popula-

cije za selekciju se određuje poređenjem vrednosti μD ili μF sa vrednošću μG . Ako se popravlja roditelj P_1 postoje tri mogućnosti:

1. $\mu D = \mu G$; Verovatnoća da će nova linija imati više lokusa sa poželjnim alelima u klasi D i G od bilo P_1 ili P_w je maksimalna. Pristupa se samooplodnji hibrida ($P_1 \times P_w$)
2. $\mu D > \mu G$; ukazuje na povratno ukrštanje hibrida ($P_1 \times P_w$) sa roditeljem P_1 .
3. $\mu D < \mu G$; preporučuje se povratno ukrštanje hibrida sa ($P_1 \times P_w$) sa donomom P_w (Dudley, 1987a,b; Živanović i sar., 2001).

Rezultati istraživanja i diskusija

Na osnovu dvofaktorijalne analize varijanse ogleda sa inbred linijama per se i dvolinijskim hibridima utvrđene su visoko značajne sredine kvadrata genotipova, godina i interakcija genotip x godina za prinos zrna (tab. 2)

Tab. 2. Sredine kvadrata iz dvofaktorijalne analize varijanse za prinos zrna

Izvori varijacija	Df	Prinos zrna
Godine (Y)	1	1317.48**
Genotip (G)	20	20110.15**
G x Y	20	2012.74**
Pogreška	160	1600.54

*, ** = značajno na nivou verovatnoće 0.05, odnosno 0.01

U obe godine ispitivanja hibridi su ostvarili veći prinos zrna nego inbred linije, što je i očekivano. Najviši prinos među linijama za obe godine ispitivanja je imala linija Fu4 (6,208 t/ha u 1998. i 6,448 t/ha u 1999. godini, tabela 3). Najniži prinos imala je linija ZPLB380 u obe godine (3,951 t/ha i 5,427 t/ha). Najviši prosečni prinos zrna u ogledu je imao hibrid A654 x ZPLB176dr (16,280 t/ha u 1998. godini), a u 1999. godini hibrid A654 x Fu4 (11,652).

Variranje prinosa zrna praćeno preko koeficijenta varijacije je bilo prilično ujednačeno po godinama i kretao se od 3,00% do 15,14%. Dobijene vrednosti koeficijenata varijacije za prinos su znatno niže nego što je u svojim istraživanjima dobio Štarić (1978). Na osnovu toga može se zaključiti da su ove dve godine bile povoljne za gajenje kukuruza.

Za prinos zrna dobijene su visoke vrednosti heterozisa za sve ispitivane hibride u obe godine. Maksimalna vrednost heterozisa je zabeležena 1998. godine kod hibridne kombinacije A654 x ZPLB368 i iznosila je 201,53% (tab. 3). Veće vrednosti heterozisa u 1998. godini su posledica relativno većeg prosečnog prinosa zrna svih ispitivanih hibridnih kombinacija u odnosu na linije.

Tab. 3. Prosečan prinos zrna, koeficijenti varijacija i heterozis za prinos zrna

Genotip	Prinos (t/ha)		CV (%)		Heterozis (%)	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999
A654	4.801	6.026	6.16	10.45		
Fu4	6.208	6.448	5.74	7.71		
ZPLB554dr	5.595	5.541	6.88	3.81		
ZPLB176dr	5.998	5.818	8.79	6.44		
ZPLB380	3.951	5.427	8.70	9.76		
ZPLB368	5.222	6.332	15.00	14.23		
A654xFu4	15.299	11.652	7.20	7.11	146.44**	80.71**
A654xZPLB554dr	15.011	10.589	4.83	6.46	168.29**	75.72**
A654xZPLB176dr	16.280	11.390	4.62	8.22	171.42**	89.01**
A654xZPLB380	14.352	11.098	6.97	10.58	198.94**	84.17**
A654xZPLB368	15.746	11.246	4.99	7.87	201.53**	77.61**
Fu4xZPLB554dr	14.531	10.537	3.81	10.39	134.07**	63.41**
Fu4xZPLB176dr	9.286	8.662	10.54	6.33	49.58*	34.33*
Fu4xZPLB380	12.348	9.106	4.31	8.33	98.90**	41.22**
Fu4xZPLB368	14.566	10.085	8.18	15.14	134.63**	56.40**
ZPLB554drx ZPLB176dr	14.751	11.376	3.00	4.79	145.93**	95.53**
ZPLB554drx ZPLB380	12.751	11.000	5.62	6.26	127.90**	98.52**
ZPLB554drx ZPLB368	15.317	10.759	2.31	5.44	173.76**	69.91**
ZPLB176drx ZPLB380	13.943	10.099	6.37	5.02	132.46**	73.58**
ZPLB176drx ZPLB368	15.148	10.838	3.27	6.51	152.55**	71.16**
ZPLB380x ZPLB368	14.543	9.980	6.06	5.97	178.49**	57.61**

*, ** = značajno na nivou verovatnoće 0.05, odnosno 0.01

Najveći prosečni prinos u obe godine ispitivanja ostvario je hibrid A654 x ZPLB176dr (13,835 t/ha), dok su hibridi A654 x ZPLB368 i elitni hibrid A654 x Fu4 imali prosečan prinos 13,496 t/ha, odnosno 13,475 t/ha, što je bilo na nivou najrodnijeg hibrida (tab. 4). Ostali hibridi između linija donora i jednog od roditelja elitnog hibrida su imali značajno manje prosečne prinose zrna u odnosu na elitni hibrid. Inbred linija Fu4 je imala prosečan prinos zrna 6,328 t/ha i bila je rodnija od inbred linije A654 koja je ostvarila prosečan prinos zrna 5,416 t/ha.

Tab. 4. Način popravka prinosa elitnog hibrida A654 x Fu4

Inbred donori P _w	μG	Odnos		P _w xP _x treba
		Srodnost (+P ₁ ; -P ₂)	μD ili F	
ZPLB554dr	1.38*	-0.72*	1.72	Samooplodnja
ZPLB176dr	0.75*	-5.32*	0.57	Samooplodnja
ZPLB380	0.91*	-2.45*	1.29	Samooplodnja
ZPLB368	1.50*	-1.63*	1.49	Samooplodnja

* 2SE

Za prinos zrna poželjno je da linije donori (P_w) imaju dominantne alele na klasi lokusa G gde roditelji elitnog hibrida imaju recesivne alele. Izbor najbolje linije donora se zasniva na najvećim pozitivnim vrednostima μG. Sve četiri linije, potencijalni do-

noru poželjnih alela, su imale značajno pozitivnu vrednost parametra μG . Najveću vrednost parametra μG je imala linija ZPLB368 i ona je najbolji donor poželjnih alela za osobinu prinos zrna (tab. 5). Druga po rangu je bila linija ZPLB554dr, dok je linija ZPLB380 i linija ZPLB176dr imale nešto niže vrednosti parametra μG u odnosu na prve dve linije. Na osnovu odnosa $[(P_2 \times P_w) - (P_1 \times P_w) + (P_1 - P_2)/2]$ određena je relativna srodnost linija donora sa roditeljima elitnog hibrida. Sve četiri linije su imale značajne negativne vrednosti što ukazuje na njihovu genetičku srodnost sa linijom Fu4 (tab. 5). Popravku elitnog hibrida A654 x Fu4 za prinos zrna treba vršiti popravkom linije Fu4.

Tab. 5. Prosečne vrednosti prinosa zrna (t/ha) elitnog hibrida, inbred linija roditelja elitnog hibrida i njihovih hibrida sa linijama donorima

A654	Fu4	A654 x Fu4	Donori	$P_w \times A654$	$P_w \times Fu4$
5.416	6.328	13.475	ZPLB554dr	12.800**	12.354**
			ZPLB176dr	13.835**	8.794**
			ZPLB380	12.725**	10.727**
			ZPLB368	13.496**	12.326**

*,** = značajno lošije od standarda na nivou 0.05, odnosno 0.01

Da bi se odredio način zasnivanja početne populacije koja će poslužiti za selekciju potencijalno boljih linija od linije Fu4 za prinos zrna bitan je odnos μG i μF . U sva četiri slučaja vrednost parametara μF se nije statistički značajno razlikovala od parametara μG (tab. 5). To ukazuje da je najbolji način za zasnivanje početne populacije samooplodnja F_1 generacije ($P_w \times Fu4$), što bi omogućilo najveću verovatnoću za dobijanje novih linija (popravljen Fu4), koja će imati veći broj poželjnih alela za prinos zrna na klasama lokusa F i G bilo od linije Fu4 ili od linije donora. Slične rezultate i diskutuju sa različitim selekcionim materijalima (linije, hibridi, sintetičke populacije) iznose različiti autori (Mišević, 1989a, Mišević, 1990, Petrović and Jelovac, 1989, Petrović, 1990, Petrović et al., 1992 i Delić, 1993) i poredeći različite statističke testove (Mišević, 1989b). Obzirom da se u svim ovim slučajevima radi o različitom materijalu, različitim uslovima gajenja i godini proizvodnje veoma je teško izvesti direktna poređenja sa našim rezultatima.

Zaključak

Sve četiri linije donori su imale značajne vrednosti parametra μG , tako da se mogu koristiti za popravku osobine prinosa zrna kod hibrida A654 x Fu4. Procenom relativnih vrednosti lokusa utvrđeno je da su sve četiri linije donori posedovale poželjne alele za popravku elitnog hibrida A654 x Fu4. Najveći broj poželjnih dominantnih alela za popravku prinosa zrna hibrida A654 x Fu4 je imala inbred linija ZPLB368. Popravka prinosa kod hibrida A654 x Fu4 bi se vršila popravkom inbred roditelja Fu4, pošto su sve linije donori pokazali genetičku srodnost sa ovim roditeljem, a popravka bi se vršila samooplođnjom hibrida linije donora i Fu4.

Literatura

1. *Comstock, R.E. and Robinson, H.F. (1948)*: The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics*, 4, 254-266.
2. *Delić, N. (1993)*: Ocena sintetičkih populacija kukuruza (*Zea mays L.*) kao donora poželjnih alela. Magistarski rad, Poljoprivredni Fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Jugoslavija.
3. *Dudley, J.W. (1982)*: Theory of transfer of alleles. *Crop Sci.*, 22, 631-637.
4. *Dudley, J.W. (1984a)*: A method of identifying lines for use in improving parents of a single cross. *Crop Sci.*, 24, 355-357.
5. *Dudley, J.W. (1984b)*: A method of identifying Population containing favourable alleles not present in elite germplasm. *Crop Sci.*, 24, 1053-1054.
6. *Dudley, J.W. (1984c)*: Theory for identification and use of exotic germplasm in maize breeding programs. *Maydica*, 29, 391-407.
7. *Dudley, J.W. (1987a)*: Modification of methods for identifying inbred lines useful for improving parents of elite single crosses. *Crop Sci.*, 27, 944-947.
8. *Dudley, J.W. (1987b)*: Modification of methods for identifying populations to be used for improving parents of elite single crosses. *Crop Sci.*, 27, 940-943.
9. *Dudley, J.W. (1988)*: Evaluation of maize population as sources of favourable alleles. *Crop Sci.*, 28, 486-491.
10. *Fisher, R.A. (1918)*: The correlations between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. *Trans. Royal Soc.* 52. Edinburgh, UK.
11. *Mišević, D. (1989a)*: Identification of inbred lines as a source of new alleles for improvement of elite maize single crosses. *Crop Sci.*, 29, 1120-1125.
12. *Mišević, D. (1989b)*: Evaluation of three test statistics used to identify maize inbred lines with new favorable alleles not present in elite single cross. *Theor. Appl. Genet.*, 77, 402-408.
13. *Mišević, D. (1990)*: Evaluation of commercial maize hybrids as sources of new favorable alleles. *Maydica*, 35, 287-295.
14. *Petrović, R. and Jelovac, D. (1989)*: Estimating the relative number of loci for grain yield of inbred lines in the maize (*Zea mays L.*). *Genetika*, 21, (1), 29-34.
15. *Petrović, R. (1990)*: Identification of sources containing useful alleles and methods used for improving parents of a superior single cross. *Maize*, 90, 55-78.
16. *Petrović, R., Filipović, M. and Vidaković, M. (1992)*: Identification of sources containing useful alleles for improving parents of maize single crosses (*Zea mays L.*). *Genetika*, 24, 115-126.
17. *Štarić, I. (1978)*: Proučavanje genetičkog variranja elementarnih osobina rodnosti zrna kod hibrida kukuruza (*Zea mays L.*). Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Jugoslavija.
18. *Živanović, T., Todorović, G. i Šurlan Momirović, G. (2001)*: Ocena inbred linija kukuruza kao donora poželjnih alela za popravku komponenti prinosa elitnog SC hibrida. *Arhiv za poljoprivredne nauke*, 62, 218-219, 71-81.

UDC: 633.15:575.113
Original scientific paper

RESELECTION PARENT COMPONENTS OF ELITE MAIZE HYBRID FOR YIELD

*G: Todorović, T. Živanović i S. Krstanović**

Summary

Evaluation of donor lines as sources of new favorable alleles for the yield of grain not present in the elite hybrid parent line was conducted, or the unfavorable alleles according to Dudley method were already fixed (1987a, b). All four inbred lines, potential donors had significant values of parameter μG , so they can be used as the sources of new genes in the improvement of elite hybrid A654 x Fu4 yield. Line ZPLB368 had the greatest number of favorable predominant alleles for grain yield improvement, and the improvement should be conducted by means of self-fertilization of hybrids of this line with parental line Fu4, since the parentage of all donor lines is greater with Fu4 than with A654.

Key words: hybrid, inbred donor, reappear, favorable alleles, locus class, yield.

* Goran Todorović, Ph.D., Maize Research Institute „Zemun Polje“, Belgrade, Tomislav Živanović, Ph.D., assistant professor, Faculty of Agriculture, University of Belgrade, Saša Krstanović, Ph.D., Institute „PKB Agroekonomik“, Padinska Skela-Belgrade.