



Kombinovana familijaska selekcija na tolerantnost prema crvenilu kukuruza

Goran Bekavac*, Božana Purar, Đorđe Jocković, Milisav Stojaković, Mile Ivanović, Goran Malidža, Sanja Treskić, Aleksandra Nastasić, Svetislav Dolapčev, Dušan Stanisavljević, Bojan Mitrović
Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad

Izvod: U radu je ispitivana varijabilnost i međuzavisnost svojstava u populaciji kukuruza NS 1-275 CRS nakon jednog ciklusa kombinovane HS-S1 familijaska selekcije. Nezavisni ogledi sa HS i S1 potomstvima postavljeni su po nekompletnom blok dizajnu tokom 2008. i 2009. Ocenjeni su osnovni genetički parametri nultog (C0) i prvog (C1) ciklusa selekcije. Primarni selekcionni kriterijum za formiranje C1 bio je prinos zrna (GY) i sadržaj vlage u zrnu (GM), a sekundarni *stay green* (SG) i poleganje stabla (SL). Signifikantne razlike u srednjim vrednostima između ciklusa selekcije (P 0,05) ustanovljene su za SG kod S1 potomstava i GY i SG kod HS potomstava. Nakon jednog ciklusa selekcije nije došlo do značajnih promena u visini genetičke varijanse svojstava. Pozitivne korelacije između GY i SG i negativne između SG i SL isključuju pojavu nepoželjnih korelativnih odgovora. U narednom periodu analizom treba obuhvatiti veći broj agronomskih svojstava kako bi se dobila potpunija slika njihovih kompleksnih odnosa i očekivanih promena kroz cikluse selekcije.

ključne reči: crvenilo kukuruza, korelacije, selekcija, varijabilnost

Uvod

Crvenilo kukuruza je jedan od najznačajnijih faktora gubitka prinosa u regionu Banata u poslednjih nekoliko godina. Poslednja pojava crvenila kukuruza većih razmera zabeležena je 2002. i 2003. kada se na nekim poljima stepen crvenila i sušenja biljaka kretao u intervalu od 10 % do 90 %. Početni simptomi bili su pojava crvene boje na listovima, listnim rukavcima, komušini i otkrivenim delovima internodija. Crvenilo je bilo najintenzivnije duž glavnog nerva i ivica, odakle se dalje širilo na čitavu lisnu površinu. Promena boje se prvo uočavala na mladim listovima (iznad klipa), ali se relativno brzo širila prema donjim, starijim listovima, sve dok kompletna lisna površina ne bi

promenila boju. Krajem avgusta takve biljke su počinjale da venu, crvena boja da nestaje a lisna masa da odumire. Klipovi biljaka sa opisanim simptomima bili su zakržljali, savitljivi (gumaste konzistencije) sa smežuranim, klimavim i nenalivenim zrnima (Bekavac et al. 2007a). U periodu 2004-2007. zabeležena je slabija pojava crvenila, da bi 2008. godine na celom području ona bila sasvim sporadična. Iako se činilo da crvenilo neće predstavljati problem u proizvodnji kukuruza, barem neko izvesno vreme, 2009. godina nas je ponovo upozorila na ozbiljnost ove pojave. U vreme nalivanja zrna na većem broju lokaliteta, ne samo u Banatu, nego i na nekim lokalitetima Centralne Srbije primećena je pojava većeg broja biljaka sa početnim simptomima crvenila. Izrazito visoke temperature vazduha i nedostatak padavina doveli su do prekida nalivanja zrna i rapidnog

* autor za kontakt / corresponding author
(gbekavac@ifvcns.ns.ac.rs)

sušenja fotosintetski aktivne lisne površine. Uobičajeni sled simptoma ove pojave je izostao, crvena boja se brzo gubila tako da je bilo gotovo nemoguće razlikovati biljke zahvaćene crvenilom od onih koje su pre-vremeno završile vegetaciju pod uticajem ekstremnih faktora spoljašnje sredine.

Polemika oko biotičke ili abiotičke prirode crvenila kukuruza prividno se stižala nedavnim otkrićem fitoplazme kao mogućeg prouzrokača ove pojave (Duduk & Bertaccini 2007). Ipak, autori smatraju da je potrebno više bioloških podataka kako bi se primenom Kohovih postulata potvrdila etiologija crvenila kukuruza. U nekoliko eksperimenata, autori Purar et al. (2009) su ustanovili da *corn stunt* spiroplazma ne prouzrokuje simptome crvenila, i da nema jasne veze između ove pojave i plodnosti zemljišta, odnosno prisustva nematoda u zemljištu i biljnom materijalu. Ipak, autori navode da je na eksperimentalnim parcelama tretiranim insekticidima utvrđena manja pojava crvenila nego na kontroli, što bi moglo upućivati na vezu između ove pojave i određenih bioloških faktora. Bez obzira na uzrok, interesantan izvor tolerantnosti prema crvenilu kukuruza otkriven je u jednoj lokalnoj populaciji (Bekavac et al. 2007a). Ovakav materijal bi mogao biti od koristi u programima oplemenjivanja, ali ga je neophodno poboljšati u smislu agronomskih svojstava i kombinacionih sposobnosti. U cilju smanjenja *inbreeding* depresije i dobijanja boljeg heterotičnog odgovora kroz cikluse selekcije, jedan od najčešće korišćenih metoda jeste kombinovana familijaska selekcija na bazi samooplodnih i odgovarajućih *testcross* potomstava.

Cilj istraživanja je bilo ocenjivanje srednjih vrednosti i genetičke varijanse populacije tolerantne prema crvenilu kukuruza nakon jednog ciklusa kombinovane familijaska selekcije. U tu svrhu testirana je tolerantnost prema crvenilu, ocenjene su komponentne genetičke varijanse, heritabilnost i utvrđene genetičke korelacije za neka agronomska svojstva kod S1 i odgovarajućih HS potomstva.

Materijal i metod

Osnovna populacija korišćena u ovom radu (NS 1-275 CRS) stvorena je u Institutu za

ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad (Bekavac et al. 2007a). Nakon jednog ciklusa HS-S1 selekcije, 20 familija tolerantnih prema crvenilu odabrano je za rekombinaciju. Primarni selekcioneri kriterijum bio je prinos zrna i sadržaj vlage u zrnu, a sekundarni *stay green* i kvalitet stabla, odnosno tolerantnost prema poleganju. Selekcija se bazirala na HS odnosno S1 performansama familija u okviru seta, tako da su za formiranje C1 odabrane one familije koje su bile prinisnije od respektivne sredine seta i imale vlagu u zrnu nižu ili jednaku sredini seta. Ciklus 1, izveden iz osnovne populacije NS 1-257 CRS-C0, označen je kao NS 1-257 CRS-C1.

S1 familije nultog ciklusa (populacija NS 1-257 CRS-C0) kao i ciklusa 1 (NS 1-257 CRS-C1) dobijene su samooplodnjom S₀ biljaka svake populacije pojedinačno u zimskoj generaciji 2006-2007. Tokom 2007. po 100 S1 potomstava iz oba ciklusa (C0 i C1) posejano je u zajedničkoj prostornoj izolaciji u cilju dobijanja HS potomstava sa zajedničkim nesrodnim inbred testerom (inbred linija NS 78-83).

Dva posebna oglada za svaki ciklus selekcije, jedan sa samooplodnim (S1) i drugi sa potomstvima dobijenim ukrštanjem sa zajedničkim testerom (HS), postavljeni su tokom 2008 i 2009. u lokalitetima Samoš i Uzdin. Po 84 S1 i odgovarajuća HS potomstva (izbor je izvršen na slučajan način, a jedini kriterijum bio je dovoljna količina semena kod oba tipa potomstava) ispitivano je u nekompletnom blok dizajnu (Hallauer & Miranda 1988), u tri seta (svaki set po 28 familija) i dva ponavljanja. Eksperimentalna parcelica bila je dužine 9 m, a setva je obavljena u dva reda sa međurednim rastojanjem od 0,75 m. Oglad je posejan mašinski, sejačicom tipa Wintersteiger Plot King na konačan sklop od 55.600 biljaka/ha. Analizirani su prinos zrna (GY, t ha⁻¹ korigovano na 14% vlage); *stay green* (SG, skala 1-10, gde 1 predstavlja genotipove sa manje od 10 % zelene lisne površine u ukupnoj površini biljke, a 10 genotipove sa 90 % do 100 %, Walulu et al. 1994); zakašnjenje u svilanju (ASI, razlika između broja dana do svilanja i broja dana do polinacije i to kada min. 50 % biljaka u okviru familije ima svilu dužine 2 cm do 3 cm, odnosno da biljka rasipa polen na

centralnoj grani metlice); poleganje stabla (SL, procenat stabala polomljenih na jednoj od internodija ispod klipa neposredno pred berbu); crvenilo kukuruza (CR, % biljaka sa tipičnim simptomima crvenila; Purar et al. 2009).

Analiza svojstava izvršena je na bazi srednje vrednosti eksperimentalnih parcelica i kombinovana kroz četiri sredine (svaka kombinacija lokalitet-godina smatrana je posebnom sredinom). Procena genetičke varijanse za svako svojstvo izračunata je iz kombinovane analize varijanse (Hallauer & Miranda 1988, Steel & Torie 1980), a heritabilnost u širem smislu kao odnos genetičke i fenotipske varijanse. Genetičke korelacije između svojstava izračunate su iz odnosa varijansi i odgovarajućih kovarijansi (Falconer 1981).

Rezultati i diskusija

Kombinovanom analizom varijanse (podaci nisu prikazani) ustanovljene su signifikantne razlike između genotipova za sva svojstva, izuzev CR kod samooplodnih potomstava i CR, odnosno SL kod HS potom-

stava oba ciklusa. Srednje vrednosti za CR bile su 0,00 % i 0,33 % do 0,35 % kod S1, odnosno HS potomstava, što je i očekivano imajući u vidu da su svih 20 linija korišćenih za rekombinaciju i formiranje novog ciklusa selekcije bile tolerantne prema crvenilu. Uprkos razlikama u visini padavina i temperaturama u 2008. i 2009. podaci su kombinovani kroz godine kako bi se sagledale prosečne karakteristike potomstava. Signifikantne razlike između ciklusa selekcije ($P < 0,05$) ustanovljene su za SG kod S1 potomstava i GY i SG kod HS potomstava. Prosečan prinos zrna kroz sve sredine iznosio je 4,59 t ha⁻¹ do 4,71 t ha⁻¹ i 8,82 t ha⁻¹ do 9,11 t ha⁻¹, stay green 4,76 do 5,01 i 5,64 do 5,85, ASI 1,74 do 1,77 i 1,29 do 1,30 dana, poleganje stabla 2,75 % do 4,16 % i 1,66 % do 1,76 %, kod S1 i HS potomstava, nultog (C0) odnosno prvog ciklusa selekcije (C1) (Tab. 1. i 2). Najveća razlika u srednjim vrednostima pre i nakon prvog ciklusa selekcije ustanovljena je za SL kod S1 potomstava. Ipak, zbog nekonzistentnosti utvrđenih vrednosti ovog svojstva kroz sve četiri sredine, razlike između C0 i C1 nisu bile značajne.

Tab. 1. Srednje vrednosti, komponente varijanse i heritabilnost svojstava kod S1 potomstava u populaciji NS 1-257 CRS (C0 i C1)

Tab. 1. Means, components of variance and heritability estimates on S1 progeny basis in the population NS 1-257 CRS (C0 and C1)

Svojstvo / Trait	Ciklus / Cycle	Prosek / Mean		σ^2_g		CV _g (%) [□]	b^2
Prinos zrna / Grain yield (t ha ⁻¹)	C0	4,59	0,04 [§]	0,61	0,12	13,15	0,73
	C1	4,71	0,04	0,56	0,12	12,92	0,72
Stay green	C0	4,76	0,11	0,39	0,08	22,17	0,74
	C1	5,01	0,13	0,37	0,08	19,83	0,75
Zakašnjenje u svilanju (dani) / Anthesis silking interval (days)	C0	1,74	0,04	0,69	0,08	35,01	0,66
	C1	1,77	0,04	0,63	0,07	32,17	0,61
Poleganje stabla (%) Stalk lodging (%)	C0	4,16	0,04	6,52	2,19	32,24	0,57
	C1	2,75	0,02	5,11	2,08	21,53	0,55
Crvenilo kukuruza (%) Corn reddening (%)	C0	0,00		-	-	-	-
	C1	0,00		-	-	-	-

Ocena genetičke varijanse korišćenjem sredine kvadrata iz analize varijanse / Estimate of genetic variance using mean squares from the analysis of variance

[□]Koeficijent varijacije na bazi genetičke varijanse i odgovarajuće sredine / Coefficient of variation based of genetic variance and corresponding mean

[§]Standardna greška / Standard error

Signifikantna genetička varijabilnost je ustanovljena za sva ispitivana svojstva, osim za CR kod S1 i CR odnosno SL kod HS

potomstava. Najviša varijabilnost kod oba tipa potomstava ustanovljena je za ASI (35,01 % odnosno 17,11 %) što je u saglasnosti sa

rezultatima prethodnih istraživanja (Bekavac et al. 2007a). Nakon prvog ciklusa selekcije vrednosti genetičke varijanse blago su se promenile ili su ostale na približno istom nivou. Najveće smanjenje genetičke varijanse ustanovljeno je za prinos zrna i poleganje biljaka kod S1 potomstava (Tab. 1) ali razlike između ciklusa nisu bile značajne.

Nešto više vrednosti genetičkih varijansi za prinos zrna, zakašnjenje u svilanju i poleganje biljaka ustanovljeno je kod S1 potomstava dve sintetičke populacije kukuruza (Bekavac i sar. 2007b). Primenom odgovarajućih eksperimenata moguće je razdvojiti genetičke faktora od faktora spoljašnje sredi-

ne, što je preduslov za određivanje heritabilnosti. Heritabilnost u širem smislu bila je relativno visoka kod svih svojstava i kod oba tipa potomstava ($b^2 > 0,5$) (Tab. 1. i 2). Visoke vrednosti heritabilnosti u ovom radu su bile očekivane, jer je procena varijansi vršena na osnovu S1 odnosno HS potomstava. Ipak, zbog smanjene genetičke varijanse niža heritabilnost ustanovljena je kod HS potomstava u oba ciklusa selekcije. Rezultati dobijeni u ovom radu saglasni su sa rezultatima većeg broja autora (Walters et al. 1991, Holthaus & Lamkey 1995, Đorđević & Ivanović 1996, Mihaljević et al. 2005, Bekavac i sar. 2007b).

Tab. 2. Srednje vrednosti, komponente varijanse i heritabilnost svojstava kod HS potomstava u populaciji NS 1-257 CRS (C0 i C1)

Tab. 2. Means, components of variance and heritability estimates on HS progeny basis in the population NS 1-257 CRS (C0 i C1)

Svojstvo / Trait	Ciklus / Cycle	Prosek / Mean		σ_g^2		CV _g (%) [□]	b^2
Prinos zrna / Grain yield (t ha ⁻¹)	C0	8,82	0,03 [§]	0,24	0,07	7,32	0,67
	C1	9,11	0,03	0,18	0,05	7,11	0,63
Stay green	C0	5,64	0,13	0,26	0,04	11,97	0,64
	C1	5,85	0,12	0,23	0,03	10,85	0,61
Zakašnjenje u svilanju (dani) / Anthesis silking interval (days)	C0	1,29	0,03	0,20	0,03	17,11	0,61
	C1	1,30	0,03	0,22	0,03	14,26	0,63
Poleganje stabla / Stalk lodging (%)	C0	1,76	0,44	-	-	-	-
	C1	1,66	0,43	-	-	-	-
Crvenilo kukuruza / Corn reddening (%)	C0	0,35	0,02	-	-	-	-
	C1	0,33	0,02	-	-	-	-

Ocena genetičke varijanse korišćenjem sredine kvadrata iz analize varijanse /
Estimate of genetic variance using mean squares from the analysis of variance

[□]Koeficijent varijacije na bazi genetičke varijanse i odgovarajuće sredine /
Coefficient of variation based of genetic variance and corresponding mean

[§]Standardna greška / Standard error

Tab. 3. Genetičke korelacije između svojstava kod 84 S1 (iznad dijagonale) i odgovarajućih HS (ispod dijagonale) potomstava

Tab. 3. Genetic correlations among traits of 84 S1 (above diagonal) and corresponding HS progenies (below diagonal)

Svojstva / Traits	Populacija / Population	GY	SG	ASI	SL
GY (t ha ⁻¹)	C0	-	0,311*	-0,306*	-0,253
	C1	-	0,327*	-0,297*	-0,181
SG (1-10)	C0	0,423**	-	0,267	-0,653**
	C1	0,419**	-	0,279	-0,711**
ASI (days)	C0	-0,331*	0,156	-	-0,117
	C1	-0,358**	0,203	-	0,093
SL (%)	C0	-	-	-	-
	C1	-	-	-	-

*, ** signifikantno na P=0,05 i 0,01 / significant at P=0.05 and 0.01 respectively

Signifikantne genetičke korelacije sa GY ustanovljene su za ASI i SG kod oba tipa potomstava. Slične rezultate između istih svojstava publikovali su autori Guei & Wassom (1992). Sinhronizovana polinacija i svilanje su izuzetno značajni, posebno u sušnim uslovima kada zbog visokih temperatura i nedostatka vlage pojava svile može biti značajno odložena, a u ekstremnim uslovima i potpuno izostati. Najviše genetičke korelacije sa prinom zrna u dve sintetičke populacije kukuruza ustanovljene su za zakašnjenje u svilanju (Bekavac i sar. 2007b). Pozitivne korelacije između GY i SG (Tab. 3) potvrđuju činjenicu da su dobro zdravstveno stanje biljke (Crosbie 1982) i intenzivna fotosintetska aktivnost u kasnijim fazama vegetacije (Thomas & Smart 1993) glavne determinante prinosa zrna.

Genetičke korelacije između svojstava u C1 generalno su odslikavale međuzavisnost svojstava u C0. Najznačajnija razlika u visini korelacija između C0 i C1 ustanovljena je između SG i SL kod S1 potomstava (Tab. 3).

Zaključci

Iako se nakon jednog ciklusa selekcije teško može govoriti o potpunoj efikasnosti primenjenih metoda, promene srednjih vrednosti svojstava ukazuju na njihovu pozitivnu reakciju na selekciju. Jedan od osnovnih postulata rekurentne selekcije da se zadrži odgovarajući nivo varijabilnosti svojstava u potpunosti je ispunjen, sudeći po značajnosti genetičkih varijansi. Postojanje zadovoljavajuće varijabilnosti i relativno visoke heritabilnosti svojstava upućuju na zaključak da proučavana populacija predstavlja dobar izvor za oplemenjivanje ne samo na tolerantnost prema crvenilu, nego i ostala agronomski važna svojstva. Svakako da se međuzavisnost svojstava mora imati u vidu kako bi se izbegli nepoželjni korelativni odgovori kroz cikluse selekcije. Verovatno bi neke vrste

selektionih indeksa mogle biti od koristi u cilju objektivnije identifikacije poželjnih genotipova.

Literatura

- Bekavac G, Purar B, Jocković Đ (2007)a: Corn reddening: the disease and breeding for resistance. *Journal of Plant Pathology* 89: 397-404
- Bekavac G, Purar B, Stojaković M, Jocković Đ, Ivanović M, Nastasić A (2007)b: Varijabilnost i međuzavisnost svojstava u sintetičkim populacijama kukuruza. *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad* 43: 103-113
- Crosbie T M (1982): Changes in physiological traits associated with long-term breeding efforts to improve grain yield of maize. In: *Loden H D and Wilkinson D (ed.) Proc. 37th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf., Chicago, IL*. 8-9 Dec., ASTA, Washington, DC, 206-223
- Djordjević J, Ivanović M (1996): Genetic analysis for stalk lodging resistance in narrow-base maize synthetic population ZPS14. *Crop Science* 36: 909-913
- Duduk B, Bertaccini A (2006): Corn with symptoms of reddening: new host of stolbur phytoplasma. *Plant Disease* 90: 1313-1319
- Falconer D S (1981): *Introduction to quantitative genetics*. 2nd ed. Logman, New York NY, USA
- Guei R G, Wassom C E (1992): Inheritance of some drought adaptive traits in maize: I. Interrelationships between yield, flowering, and ears per plant. *Maydica* 37: 157-164
- Hallauer A R, Miranda J B (1988): *Quantitative genetics in maize breeding*. 2nd ed. The Iowa State University Press, Ames, IO, USA
- Holthaus J, Lamkey K (1995): Population Means and Genetic Variances in Selected and Unselected Iowa Stiff Stalk Synthetic Maize Populations. *Crop Science* 35: 1581-1589
- Mihaljević R, Schon C C, Utz H F, Melchinger A E (2005): Correlations and QTL correspondence between line per se and testcross performance for agronomic traits in four populations of European maize. *Crop Science* 45: 114-122
- Purar B, Bekavac G, Jocković Đ, Th T, Klmm L, Raspudić E, Dimitrijević M (2009): Corn Reddening: Occurrence, Symptoms and Field Observations. *Cereal Research Communications* 37: 121-129
- Thomas H, Smart C M (1993): Crops that stay-green. *Ann. Appl. Biol.* 123: 193-219
- Steel R G D, Torrie J H (1980): *Principles and Procedures of Statistics*. 2nd ed. McGraw-Hill Book Company, New York, NY, USA
- Walters S P, Russell W A, Lamkey K R (1991): Performance and genetic variance among S1 lines and testcrosses of Iowa Stiff Stalk Synthetic Maize. *Crop Science* 31: 6-80
- Walulu R S, Rosenow D T, Wester D B, Nguyen H T (1994): Inheritance of stay-green trait in sorghum. *Crop Science* 34: 970-972

Combined family selection for tolerance to corn reddening

**Goran Bekavac, Božana Purar, Đorđe Jocković, Milisav Stojaković,
Mile Ivanović, Goran Malidža, Sanja Treskić, Aleksandra Nastasić,
Svetislav Dolapčev, Dušan Stanisavljević, Bojan Mitrović**

Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad

Summary: Variability and interrelationships of traits in maize population NS 1-275 CRS after one cycle of combined HS-S1 family selection were studied. Independent field experiments with HS and S1 progenies were set up according to an incomplete block design in 2008 and 2009. The basic genetics parameters of zero (C0) and the first cycle of selection (C1) were assessed. The primary selection criterion for the formation of the C1 was grain yield (GY) and grain moisture (GM) and secondary *stay green* (SG) and stalk lodging (SL). Significant differences in mean values between selection cycles ($P < 0.05$) were determined for SG at S1 progenies and GY and SG at HS progenies. No significant changes in genetic variances were recorded after one cycle of selection. Positive correlations between GY and SG and negative between SG and SL exclude the occurrence of negative correlative response. In the upcoming period, some other agronomic traits have to be analyzed to get complete picture of their complex interrelationships, as well as the expected changes through cycles of selection.

Key words: corn reddening, correlations, selection, variability

Primljeno / Received: 27.11.2009.

Prihvaćeno / Accepted: 17.12.2009.