



Efekti heterozisa za prinos i komponente prinosa dobijen ukrštanjem divergentnih populacija lucerke

Slobodan Katić*, Dragan Milić, Vojislav Mihailović,
Sanja Vasiljević, Đura Karagić

Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad

Izvod: Za oplemenjivanje lucerke na prinos neophodno je koristiti superiorne roditelje, odnosno visokoprinosne populacije dobijene različitim metodama oplemenjivanja. Pretpostavka je bila da bi se ukrštanjem domaćih najprinosnijih sorti sa divergentnim populacijama iz geografski udaljenih centara, moglo doprineti ispoljavanju efekata heterozisa kod njihovih hibrida i povećanju prinosa lucerke. Cilj rada je bilo utvrđivanje prinosa i komponenti prinosa i heterotičnih efekata na hibridnim potomstvima dobijenim ukrštanjem sorti NS Banat ZMS II i NS Mediana ZMS V sa grčkim sortama Pella, Dolichi i Hyliki, bolivijskom UMSS 2001 i estonskom sortom Jogeva 118, u dve serije. Poljski ogled je posejan 2006. a uključivao je 13 F1 hibrida i 6 ili 7 roditelja. Efekti heterozisa za prinos krme i sena ispoljeni su kod 4 kombinacije (♀ NS Banat ZMS II x Hyliki i ♀ NS Banat ZMS II x ♂ UMSS 2001, i ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Hyliki i ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Dolichi). Populacije koje su se u seriji ukrštanja ocenile i ispoljile heterozis trebalo bi koristiti kao roditeljske komponente u stvaranju sintetičkih visokoprinosnih sorti lucerke.

Cljučne reči: heterozis, lucerka, porast, prinos, visina

Uvod

Oplemenjivanje lucerke na prinos per se daje skromne rezultate u poređenju sa drugim ratarskim (zrnastim) kulturama (Lamb et al. 2006). Lucerka se gaji u cilju proizvodnje vegetativne nadzemne mase, pa je povećanje prinosa moguće samo povećanjem fotosinteze. Povećanje prinosa lucerke moguće je iskorišćavanjem aditivnih i neaditivnih genetičkih efekata, uključujući i alelne interakcije karakteristične za nasleđivanje kod autotetraploida (Rotili et al. 1999, Bingham 2003). Za iskorišćavanje heterozisa potrebno je stvoriti inbred linije, što je kod lucerke praktično nemoguće zbog izuzetno snažne inbred depresije. Snažna inbred depresija kod autotetraploidne lucerke

posledica je gubitka poželjnih dominantnih alelnih interakcija i epistatičnih alelnih kombinacija (Bingham et al. 1994). Da bi se dobio efekat heterozisa kod lucerke, potrebno je stvarati hibride ukrštanjem udaljenih populacija (Brummer 1999). Strategija stvaranja semihibrida zasnovana na ukrštanju populacija izbegava potrebu stvaranja inbred linija, a omogućava delimično iskorišćavanje efekata heterozisa (Brummer 1999). U SAD u okviru germplazme lucerke (*M. sativa* kompleksa) dobijene su heterotične grupe (populacije) (Segovia-Lierma et al. 2004, Riday & Brummer 2005). Stoga selekcija u okviru roditeljskih populacija i njihovo ukrštanje u cilju dobijanja populacionih hibrida (semihibrida) može biti bolji put za oplemenjivanje lucerke na prinos biomase od hibridizacije zasnovane na rekurentnom selekcionom

* autor za kontakt / corresponding author
(katic@ifvns.ns.ac.rs)

programu (Li & Brummer 2009). Iz tog razloga je za oplemenjivanje lucerke na prinos neophodno koristiti superiorne roditelje, odnosno visokoprinosne populacije dobijene različitim metodama oplemenjivanja.

Pretpostavka je bila da bi se ukrštanjem domaćih najprinosnijih sorti sa divergentnim populacijama iz geografski udaljenih centara moglo doprineti ispoljavanju efekata heterozisa kod njihovih hibrida i povećanja prinosa lucerke.

Cilj rada je bilo utvrđivanje heterotičnih efekata na hibridnim potomstvima dobijenim ukrštanjem sorti NS Banat ZMS II i NS Mediana ZMS V sa grčkim sortama Pella, Dolichi i Hyliki, bolivijskom UMSS 2001 i estonskom sortom Jogeva 118.

Materijal i metod rada

Poljski ogled je posejan 2006. u tri ponavljanja po 20 biljaka po ponavljanju, pri čemu je uključeno 13 F₁ hibrida i 7 roditelja. Ukrštanja su izvršena 2005. u dve serije između domaćih sorti NS Banat ZMS II i NS Mediana ZMS V i grčkih Pella, Dolichi i Hyliki bolivijske UMSS 2001 i estonske sorte Jogeva 118. Hibridizacija je urađena ručno u polju bez kastracije cvetova i proizvedeno je F₁ seme.

Tokom 2007. i 2008. kroz pet otkosa (drugi, treći i četvrti otkos u 2007. i prvi i drugi otkos 2008), praćen je prinos zelene krme, suve materije, visina biljaka u momentu košenja i brzina porasta 15 dana posle kosidbe. Podaci su obrađeni analizom varijanse za dvofaktorijalni ogled po slučajnom blok sistemu, faktor A genotip, faktor B otkos, a rezultati su analizirani i prikazani po faktoru A.

Razlike između hibrida i roditelja su testirane NZR testom. Efekat heterozisa izračunat je po formulama za heterozis u odnosu na srednju vrednost roditelja i heterozis u odnosu na boljeg roditelja (Hallauer & Miranda 1988):

$$\text{MPH} = 100 * [F_1 - \{(P_1 + P_2)/2\}] / \{(P_1 + P_2)/2\}$$

$$\text{HPH} = 100 * [(F_1 - \text{HP}) / \text{HP}]$$

gde F₁ predstavlja vrednost hibrida, P₁ i P₂ vrednost roditelja, a HPH je vrednost boljeg

roditelja u datom ukrštanju. Apsolutne vrednosti heterozisa u odnosu na srednju vrednost roditelja (MPH) kao i heterozisa u odnosu na boljeg roditelja (HPH) testirane su F testom, uz korišćenje linearnih kontrastnih koeficijenata (Steel & Torrie 1980).

Rezultati i diskusija

U prethodnim ispitivanjima (Katic et al. 2005) konstatovano je da se grčke sorte odlikuju visokim prinosima biomase (20 t ha⁻¹ sena), a bolivijska sorta UMSS 2001 i estonska Jogeva 118 su sorte visokog kvaliteta suve materije (sadržaj sirovih proteina 20 % do 25 %).

Prinosi zelene krme i suve materije kod kombinacija (♀ NS Banat ZMS II x ♂ Hyliki i ♀ NS Banat ZMS II x ♂ UMSS 2001, i ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Dolichi bili su značajno veći od roditelja i opšteg proseka ogleda (Tab. 1). Takođe, ove kombinacije su ispoljavale i značajne efekte heterozisa za prinos krme i sena, ne samo u odnosu na prosek roditelja, već i u odnosu na boljeg roditelja (Tab. 2. i 3). Značajan pozitivan efekat heterozisa ispoljen je i u kombinaciji ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Hyliki.

Grčke sorte su veoma prinosne i ispoljavanje heterotičnih efekata u ukrštanju sa srpskim sortama značajno je za dalje oplemenjivanje i izbor roditelja za dobijanje hibridnih populacija. Takođe, dobijen je značajan heterozis ukrštanjem srpskih sorti sa bolivijskom UMSS 2001 koja je manjeg prinosa, ali boljeg kvaliteta. Kombinacijom ovih sorti moguće je dobiti hibridne populacije koje ispoljavaju heterozis. Međutim, negativan heterozis je dobijen u kombinacijama ♀ Pella x NS Banat ZMS II i ♀ Pella x NS Mediana ZMS V u odnosu na boljeg roditelja i u odnosu na srednju roditeljsku vrednost, što ukazuje na potrebu otkrivanja heterotičnih grupa.

Roditelji su se značajno razlikovali u visini biljaka, a najniže biljke imala je Jogeva 118. Značajno više biljke od proseka ogleda imalo je osam kombinacija (Tab. 1).

Tab. 1. Prinosi, visina i brzina regeneracije genotipova lucerke 2007-2008

Tab. 1. Average yields, height and regeneration rate of alfalfa genotypes 2007-2008

Genotip Genotype	Zelena krma Green forage (g plant ⁻¹)	Suva materija Dry matter (g plant ⁻¹)	Visina Height (cm)	Brzina regeneracije Regeneration rate (cm)
Banat	537	131	89,3	41,1
Mediana	564	143	88,4	40,7
Pella	669	159	90,2	42,2
Dolichi	599	137	94,6	41,4
Hyliki	589	138	89,7	38,6
Jogeva 118	523	114	49,2	20,7
UMSS	517	127	75,1	35,8
Roditelji / Parents	571	136	82,4	37,2
♀ Banat x ♂ Pella	637	150	88,8	46,9
♀ Banat x ♂ Hyliki	680	174	88,9	44,0
♀ Banat x ♂ UMSS	719	175	84,9	38,7
♀ UMSS x ♂ Banat	600	151	83,8	37,8
♀ Pella x ♂ Banat	534	134	79,6	39,3
♀ Jogeva 118 x ♂ Banat	479	116	64,6	26,3
♀ Mediana x ♂ Pella	584	150	86,8	48,1
♀ Mediana x ♂ Dolichi	708	176	89,6	45,2
♀ Mediana x ♂ Hyliki	665	158	91,5	39,6
♀ Mediana x ♂ UMSS	598	139	85,3	38,8
♀ Pella x ♂ Mediana	601	147	90,5	45,3
♀ Hyliki x ♂ Mediana	612	149	90,6	43,4
♀ UMSS x ♂ Mediana	627	150	87,8	39,3
Hibridi / hybrids	619	151	85,6	41,0
Prosek / Average	593,1	144,3	82,5	38,2
CV %	21,2	26,4	6,2	11,5
NZR _{0,05}	90,2	27,3	3,7	3,2
LSD _{0,01}	118,8	36,0	4,9	4,2

Tab. 2. Efekti heterozisa (%) u odnosu na prosek roditelja (MPH), i u odnosu na boljeg roditelja (HPH) za prinos zelene krme (g biljci⁻¹)

Tab. 2. Percent relative midparent heterosis (MPH) and high-parent heterosis (HPH) for green forage yield (g plant⁻¹)

MPH	Banat	Pella	Hyliki	UMSS	MPH	Mediana	Pella	Hyliki	UMSS	Dolichi
Banat	-	5,6	20,8**	36,4**	Mediana	-	-5,3	15,4**	10,6*	21,7**
Pella	-11,4*	-	-	-	Pella	-2,5	-	-	-	-
Hyliki	-	-	-	-	Hyliki	6,2	-	-	-	-
UMSS	13,9*	-	-	-	UMSS	16,0**	-	-	-	-
Jogeva	-9,6	-	-	-	HPH	Mediana	Pella	Hyliki	UMSS	Dolichi
HPH	Banat	Pella	Hyliki	UMSS	Mediana	-	-12,7**	12,9**	6,0	18,2**
Banat	-	-4,7	15,4**	33,9**	Pella	-10,2*	-	-	-	-
Pella	-20,2**	-	-	-	Hyliki	3,9	-	-	-	-
Hyliki	-	-	-	-	UMSS	11,2*	-	-	-	-
UMSS	11,7*	-	-	-						
Jogeva	-10,8*	-	-	-						

Tab. 3. Efekti heterozisa (%) u odnosu na prosek roditelja (MPH), i u odnosu na boljeg roditelja (HPH) za prinos suve materije (g biljci⁻¹)Tab. 3. Percent relative midparent heterosis (MPH) and high-parent heterosis (HPH) for dry matter yield (g plant⁻¹)

MPH	Banat	Pella	Hyliki	UMSS	MPH	Mediana	Pella	Hyliki	UMSS	Dolichi
Banat	-	3,4	29,4**	35,6**	Mediana	-	-0,7	12,5*	3,0	25,7**
Pella	-7,6	-	-	-	Pella	-2,6	-	-	-	-
Hyliki	-	-	-	-	Hyliki	6,1	-	-	-	-
UMSS	17,0*	-	-	-	UMSS	11,1	-	-	-	-
Jogeva	-5,3	-	-	-	HPH	Mediana	Pella	Hyliki	UMSS	Dolichi
HPH	Banat	Pella	Hyliki	UMSS	Mediana	-	-5,7	10,5	-2,8	23,1**
Banat	-	-5,6	26,1**	33,6**	Pella	-7,5	-	-	-	-
Pella	-15,7**	-	-	-	Hyliki	4,2	-	-	-	-
Hyliki	-	-	-	-	UMSS	4,9	-	-	-	-
UMSS	15,3*	-	-	-						
Jogeva	-11,4	-	-	-						

Tab. 4. Efekti heterozisa (%) u odnosu na prosek roditelja (MPH), i u odnosu na boljeg roditelja (HPH) za visinu biljaka (cm)

Tab. 4. Percent relative midparent heterosis (MPH) and high-parent heterosis (HPH) for plant height (cm)

MPH	Banat	Pella	Hyliki	UMSS	MPH	Mediana	Pella	Hyliki	UMSS	Dolichi
Banat	-	-1,1	-0,7	3,3	Mediana	-	-2,8	2,8	4,3**	-2,1
Pella	-11,3**	-	-	-	Pella	1,3	-	-	-	-
Hyliki	-	-	-	-	Hyliki	1,7	-	-	-	-
UMSS	6,8	-	-	-	UMSS	7,4**	-	-	-	-
Jogeva	-6,7**	-	-	-	HPH	Mediana	Pella	Hyliki	UMSS	Dolichi
HPH	Banat	Pella	Hyliki	UMSS	Mediana	-	-3,8*	2,0	-3,5*	-5,3**
Banat	-	-1,6	-0,9	-4,9*	Pella	0,3	-	-	-	-
Pella	-11,7**	-	-	-	Hyliki	1,0	-	-	-	-
Hyliki	-	-	-	-	UMSS	-0,7	-	-	-	-
UMSS	-1,7	-	-	-						
Jogeva	-27,6**	-	-	-						

Efekat heterozisa za visinu biljaka bio je značajno manje izražen. Pozitivni efekti heterozisa dobijeni su samo u ukrštanju ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ UMSS 2001 i to u odnosu na prosek roditelja (Tab. 4).

Negativni heterotični efekti za visinu biljaka bili su kod kombinacija koje su ispoljile heterozis za prinos krme i sena (♀ NS Banat ZMS II x ♂ UMSS 2001, i ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Dolichi), što potvrđuje da je prinos složena osobina, a visina je samo njena komponenta. U kućičnoj setvi lucerke visina biljaka manje utiče na prinos od drugih komponenti (Rotili et al. 1999), otuda ove razlike u ispoljavanju heterotičnih efekata. Negativan heterozis za visinu ostvaren je u

kombinacijama ♀ Pella x ♂ NS Banat ZMS II i ♀ Jogeva 118 x ♂ NS Banat ZMS II što je dobijeno i za prinos, te potvrđuje da ove sorte nisu dobri roditelji za ukrštanje. Estonska sorta Jogeva 118 u ukrštanju sa domaćim sortama daje negativan heterozis, što je posledica velike genetske udaljenosti ovih sorti i značajnog prisustva germplazme žute lucerke kod sorte Jogeva 118. Slabije prinose i negativan heterozis u ukrštanjima Medicago sativa ssp. sativa x Medicago sativa ssp. falcata dobijaju autori Li & Brummer (2009), što je u skladu sa dobijenim rezultatima (Tab. 1, 2. i 3).

Brzina porasta posle kosidbe je osobina koja je kod lucerke dominantno pod kon-

trolom genetičkih faktora. Najbržu regeneraciju od svih roditelja ispoljavaju sorte Pella i Mediana ZMS V, a 7 hibrida imaju značajno bržu regeneraciju posle kosidbe od proseka ogleđa (Tab. 1). Brzina regeneracije manje zavisi od ekoloških faktora i pored toga što je povezana sa prinom ona govori i o dormantnosti sorti lucerke.

pozitivni efekti heterozisa u odnosu na srednju vrednost roditelja i u odnosu na boljeg roditelja značajni su kod ukrštanja: ♀ NS Banat ZMS II x ♂ Pella, ♀ NS Banat ZMS II x ♂ Hyliki, ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Pella, ♀ Pella x ♂ NS Mediana ZMS V, ♀ Hyliki x ♂ NS Mediana ZMS V i ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Dolichi (Tab. 5).

Tab. 5. Efekti heterozisa (%) u odnosu na prosek roditelja (MPH), i u odnosu na boljeg roditelja (HPH) za brzinu regeneracije (cm)

Tab. 5. Percent relative midparent heterosis (MPH) and high-parent heterosis (HPH) for regeneration rate (cm)

MPH	Banat	Pella	Hyliki	UMSS	MPH	Mediana	Pella	Hyliki	UMSS	Dolichi
Banat	-	12,6**	10,4**	0,6	Mediana	-	16,0**	-0,1	2,7	10,1**
Pella	-5,6*	-	-	-	Pella	9,3**	-	-	-	-
Hyliki	-	-	-	-	Hyliki	9,5**	-	-	-	-
UMSS	-1,7	-	-	-	UMSS	2,7	-	-	-	-
Jogeva	-14,9**	-	-	-	HPH	Mediana	Pella	Hyliki	UMSS	Dolichi
HPH	Banat	Pella	Hyliki	UMSS	Mediana	-	14,0**	-2,7	-3,4	9,2**
Banat	-	11,1**	7,1*	-5,8*	Pella	7,3**	-	-	-	-
Pella	-6,9*	-	-	-	Hyliki	6,6*	-	-	-	-
Hyliki	-	-	-	-	UMSS	-3,4	-	-	-	-
UMSS	-8,0**	-	-	-						
Jogeva	-36,0**	-	-	-						

Rezultati koji pokazuju pozitivne efekte heterozisa za brzinu porasta posle košenja između grčkih i srpskih sorti verovatno su posledica slične dormantnosti ovih sorti. Negativan heterozis za brzinu porasta dobija se u ukrštanju: ♀ Jogeva 118 x ♂ NS Banat ZMS II u odnosu na i na boljeg roditelja i srednju roditeljsku vrednost, dok hibridi ♀ NS Banat ZMS II x ♂ UMSS 2001 i ♀ UMSS 2001 x ♂ NS Banat ZMS II ispoljavaju negativan heterozis u odnosu na boljeg roditelja. Kod sorti Jogeva 118 zbog prisustva gena žute lucerke i kod bolivijske sorte UMSS 2001 koja je pogodna za gajenje na višim nadmorskim visinama, veći su koeficijenti dormantnosti što je za posledicu imalo negativan heterozis u ukrštanjima sa sortom NS Banat ZMS II.

Ukrštanje elitinog materijala i egzotične germplazme, te njeno uvođenje u oplemenjivačke programe lucerke treba pažljivo planirati i sa merom dozirati (Brummer 2005). Slično dobijenim rezultatima, autori Sakiroglu & Brummer (2007) takođe ukazuju na gubitak heterozisa u ukrštanjima Medica-

go sativa x Medicago falcata, odnosno geografski i genetički udaljene germplazme lucerke.

Za oplemenjivanje lucerke na veći prinos biomase treba stvarati roditeljske populacije sa izraženim prinom, pod uslovom da su međusobno divergentne. Jedan od načina je oplemenjivanje u okviru sorti prikupljenih iz udaljenih centara oplemenjivanja lucerke, ili nastalih usled različitih ciljeva oplemenjivanja.

Zaključak

Rezultati jasno ukazuju na ispoljavanje pozitivnih, ali i negativnih heterotičnih efekata za prinos i komponente prinosa lucerke. U cilju oplemenjivanja lucerke na prinos per se, neophodno je stvarati divergentne populacije lucerke (divergentnu germplazmu).

Populacije koje su se u seriji ukrštanja ocenile i ispoljile heterozis trebalo bi koristiti kao roditeljske komponente u stvaranju sintetičkih visokoprinosa sorti lucerke.

Literatura

- Bingham E T, Groose R W, Woodfield D R, Kidwell K K (1994): Complementary gene interactions in alfalfa are greater in autotetraploids than diploids. *Crop Sci.* 34: 823-829
- Bingham E T (2003): Role of Chromosome Bloks in Heterosis and Estimates of Dominance and Overdominance www.medicago-reports.org
- Bhandari H S, Pierce C A, Murray L W, Ray I M (2007): Combining Abilities and Heterosis for Forage Yield among High-Yielding Accessions of the Alfalfa Core Collection. *Crop Sci.* 47: 665-671
- Brummer E C (1999): Capturing heterosis in forage crop cultivar development. *Crop Sci.* 39: 943-954
- Brummer E C (2005): Thoughts on breeding for increased forage yield. XX International Grassland Congress: Offered papers. Dublin 26. 06. - 1.07.63.
- Hallauer A R, Miranda J B (1988): Quantitative Genetics in Maize Breeding. Second edition, the Iowa St. University Press, Ames, Iowa
- Katic S, Milic D, Vasiljevic S (2005): Variability of dry matter yield and quality of lucerne genotypes depending on geographic origin. *EGF, Grassland science in Europe*, 10, 537-540
- Lamb F S J, Sheaffer C C, Rhodes H L, Sulc R M, Undersander J D, Brummer E C (2006): Five Decades of Alfalfa Cultivar Improvement: Impact on Forage Yield, Persistence, and Nutritive Value. *Crop Sci.* 46, 902-909
- Li X, Brummer E C (2009): Inbreeding Depression for Fertility and Biomass in Advanced Generations of Inter- and Intraspecific Hybrids of Tetraploid Alfalfa. *Crop Sci.* 49: 13-19
- Riday H, Brummer E C (2005): Heterosis in a Broad Range of Alfalfa germplasm. *Crop Sci.* 45: 8-17
- Rotili P, Gnocchi G, Scotti C, Zannone L (1999): Some aspects of breeding methodology in alfalfa. The Alfalfa Genome, <http://www.naaic.org/TAG/TAGpapers/rotili/rotilipapers.html>
- Sakiroglu M, Brummer E C (2007): Little Heterosis between Alfalfa Populations Derived from the Midwestern and Southwestern United States. *Crop Sci.* 47: 2364-2371
- Segovia-Lerma A, Murray L W, Townsend M S, Ray I M (2004): Population-based diallel analyses among nine historically recognized alfalfa germplasms. *Theor. Appl. Genet.* 109: 1568-1575
- Steel R G D, Torrie J H (1980): Principles and Procedures of Statistics a Biometrical approach. McGraw-Hill Book Company, NY, USA

Effects of heterosis for yield and yield components obtained by crossing divergent alfalfa populations

Slobodan Katić, Dragan Milić, Vojislav Mihailović, Sanja Vasiljević, Đura Karagić
Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, 21000 Novi Sad

Summary: When breeding alfalfa for yield performance, it is necessary to use high-yielding parents obtained by different breeding methods. The assumption at the onset of this research was that crossing highest-yielding domestic cultivars with divergent populations from geographically distant breeding centers could result in the expression of heterotic effects in their hybrids contributing to increased alfalfa yield. The objective of this study was to determine yield and yield components and heterotic effects in hybrid progenies obtained by crossing the domestic cultivars NS Banat ZMS II and NS Mediana ZMS V with the cultivars Pella, Dolichi and Hyliki from Greece, UMSS 2001 from Bolivia and Jogeva 118 from Estonia in two series. The field trial planted in 2006, included 13 F₁ hybrids and 6 of 7 initial parents in both series. Heterotic effects for yields of forage and hay were observed in 4 combinations (♀ NS Banat ZMS II x ♂ Hyliki; ♀ NS Banat ZMS II x ♂ UMSS 2001; ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Hyliki; ♀ NS Mediana ZMS V x ♂ Dolichi). The populations that exhibited heterosis in a set of crossings are recommended for use as parent components for development of high-yielding synthetic alfalfa cultivars.

Key words: alfalfa, height, heterosis, regrowth, yield

Primljeno / Received: 23.10.2009.

Prihvaćeno / Accepted: 04.11.2009.