

OPLEMENJIVANJE KUKURUZA - KAKO OBEZBEDITI DALJI PROGRES

JOCKOVIĆ, Đ^{1.}, BEKAVAC, G^{1.},
PURAR BOŽANA¹, NASTASIĆ ALEKSANDRA¹, MALIDŽA, G^{1.},
DIMITRIJEVIĆ, M.², ĐALOVIĆ, I.¹

IZVOD: Unapređenje proizvodnje kukuruza je od izuzetne važnosti kako za obezbeđenje hranom ljudi i životinja, tako i za industriju. U svetlu globalnih klimatskih promena i pronalaženja obnovljivih izvora energije ovaj zadatak postaje sve važniji. Brojni naučnici raznih oblasti aktivno su uključeni u rešavanje ovako kompleksnog zadatka. Posebno su za ovo zainteresovane oplemenjivačke kuće koje imaju zadatak da stvore nove bolje hibride, koji će svojom genetikom moći uspešnije da se suprotstave sve većim izazovima. Tolerantnost prema stresu, a posebno prema suši i visokim temperaturama je i najveći izazov za oplemenjivače kukuruza širom planete. U radu se iznose dosadašnja saznanja koja proničiraju savremene metode i mogućnosti u cilju ostvarenja postavljenog cilja.

Ključne reči: *Kukuruz, prinos, stabilnost, stres, suša.*

UVOD: Kukuruz je po površini treća, a po ukupnoj proizvodnji prva biljna vrsta (Cassman, 1999). To je razlog zbog čega se ogromni naponi i sredstva usmeravaju na unapređenje proizvodnje kukuruza. Prinos kukuruza ima stabilan rast od 1930 (Troyer, 1996). Permanentno povećanje prinosa u dosadašnjem periodu rezultat je sinergističkih efekata oplemenjivanja bilja i poboljšane agrotehnike (Duvick and Cassman, 1999). Oplemenjivanje kukuruza na naučnim osnovama radi se

već više od sto godina. Osnove današnjeg oplemenjivanja iskorišćavanje heterozisa ili hibridne snage stvaranjem samooplodnih linija i njihovo ukrštanje u cilju dobijanja hibrida postavili su: East 1908, Shull, 1908, i Jones 1918.

Cilj rada je da se iznesu osnovni pravci oplemenjivanja kukuruza koji treba da omoguće dalji progres u dobijanju viših i stabilnijih prinosa u proizvodnji ove veoma značajne biljne vrste.

Pregledni rad (Reviewed paper)

¹ Dr ĐORĐE JOCKOVIĆ, naučni savetnik, dr GORAN BEKAVAC, naučni savetnik, dr BOŽANA PURAR, naučni savetnik, dr ALEKSANDRA NASTASIĆ, naučni saradnik, dr GORAN MALIDŽA, naučni saradnik, dipl. inž. IVICA ĐALOVIĆ, istraživač - pripravnik, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad

² Dr MIODRAG DIMITRIJEVIĆ, vanredni profesor, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad

Oplemenjivanje na prinos kukuruza

Prinos i kvalitet zrna su najvažnija svojstva na koja se vrši oplemenjivanje kukuruza. Oplemenjivanje kukuruza na prinos utemeljeno je na iskorišćavanju heterozisa (Schwarc i Laugner, 1969). I pored postojanja 12 heterotičnih grupa u umerenom klimatskom pojasu najčešće se koristi par Stiff Stalk x Lancaster (Goodman, 1984, Stojaković i Jocković, 2004). Smatra se da je oko 60% povećanja prinosa rezultat oplemenjivanja, dok je ostalih 40% rezultat novih tehnoloških rešenja i edukacije proizvođača (Duvic, 1977). Povećanje prinosa dolazi od poboljšane otpornosti na stres stvorene kombinacijom poboljšane genetike i agrotehnike. Pojedini istraživači veći značaj daju genetici, dok drugi agrotehnici, ali je jasno da je u poslednjih nekoliko dekada tolerantnost kukuruza prema stresu poboljšana, što omogućuje gušću setvu, odnosno veći broj biljaka po jedinici površine i bolje izbegavanje stresa usled delovanja faktora spoljne sredine. Navedeno nedvosmisleno pokazuje da povećanje tolerantnosti prema stresu nije povećalo potencijal za prinos, već je samo povećalo tolerantnost biljke prema stresu, kao što transgeni hibridi nisu drugačiji hibridi, nemaju veći potencijal za prinos, nego samo zahvaljujući poboljšanom otpornošću prema insektima, bolestima ili herbicidima bolje iskorišćavaju svoj potencijal za prinos.

Potencijal za prinos zrna današnjih hibrida kukuruza je preko 20 t ha⁻¹. Za dobijanje vrhunskih prinosa, preko 15 tona suvog zrna po hektaru, treba da se steknu tri uslova: dobra

genetika i agrotehnika i povoljni klimatski uslovi ili kako se obično kaže dobra godina. Na žalost, retko se dešava da su ispunjena sva tri uslova (Videnović i sar. 1995). Dalje povećanje prinosa kukuruza iziskuje povećanje genetičkog potencijala rodosti novih hibrida, kao i poboljšanje tehnologije gajenja (Kojić i Ivanović, 1986; Vasić i sar. 2001). Pored povećanja genetičkog potencijala prinosa per se, treba kontinuirano povećavati genotipsku sposobnost za iskorišćavanje genetičkog potencijala za prinos (Vasić i sar., 2001b, Vasić i sar., 2001c). Za dalji napredak u oplemenjivanju kukuruza postoji dovoljna genetička varijabilnost (Zuber, 1982). Egzotična germplazma Severne i Južne Amerike je veliki rezervoar genetičke varijabilnosti (Hallauer, 1988). I pored iznetog, osnovni problem u oplemenjivanju kukuruza je relativno uska genetička osnova gajenih hibrida. Samo 6 linija kukuruza čine osnovu gotovo čitave produkcije hibrida, a to su Lancaster linije: C103; Mo17; Oh43 i Reid linije B37; B73 i A632 (Kannenber, 1995). Iako se u oplemenjivanju kukuruza radi sa relativno uskom genetičkom osnovom još uvek nema ograničavanja napredka u oplemenjivanju (Duvick, 1977; Kanneberg, 1995). Broj biljaka po jedinici površine je najvažnija komponenta prinosa. Danas, a pogotovo u buduće povećavaće se broj biljaka po jedinici površine. To svakako iziskuje i primenu intenzivne agrotehnike i hibride koji u takvim uslovima mogu ostvariti rekordne prinose.

Stabilnost prinosa zrna kukuruza

Prinosi gajenih biljaka zavisno od uslova, variraju više ili manje iz go-

dine u godinu. Interakcija genotipa i spoljne sredine (Genotype - Environment Interaction) predstavlja univerzalnu pojavu kada se različiti genotipovi ocenjuju u različitim spoljnim sredinama. Većina agronomski i ekonomski važnih osobina, kao što je prinos zrna, po prirodi su kvantitativne i redovno ispoljavaju interakcije genotipa i spoljne sredine. Prinos kukuruza u najvećoj meri zavisi od genotipa, odnosno rezultanta je interakcije genotipa i spoljašnje sredine, kao i nivoa agrotehničkih mera. Stoga u genetičkom smislu prisutne interakcije između hibrida i godine, hibrida i lokacije i dr. najčešće su najveća nepoznanica i veliki problem, posebno u početku širenja novog hibrida (Jocković i sar., 2006). Iz tih razloga se ogledi za ocenjivanje prinosa hibrida kukuruza izvode u više ponavljanja, lokacija i godina. Cilj oplemenjivanja je da se stvore hibridi kukuruza koji će iz godine u godinu što manje varirati u prinosu (Jocković i sar., 1995; Simić i sar., 1998).

Otpornost prema bolestima

Kukuruz je izložen napadu mnogobrojnih parazitskih vrsta, ali su za Srbiju od ekonomskog značaja: pegavost lista (*Helminthosporium turcicum* Pass.), *Fusarium* spp. i virus mozaične kržljivosti kukuruza (MDMV).

Trulež stabla (*Fusarium* spp.) prouzrokuju mnogobrojni mikroorganizmi, mnoge vrste jednog roda i različiti genotipovi iste vrste. Pored toga, prisutna je i interakcija različitih prouzrokovala. Trulež stabla se poligeno nasleđuje, a značajan je uticaj stresa i drugih faktora na poja-

vu ovog obolenja (Penčić i Lević, 1994, Nastasić i sar., 2001). Zbog svega navedenog, oplemenjivanje kukuruza na otpornost prema truleži stabla teže je i složenije u odnosu na oplemenjivanje prema bolestima lista. Oplemenjivanje prema truleži klipa i zrna, pegavosti lista, virusima, truleži korena i klijanaca itd, takođe je sastavni deo programa oplemenjivanja kukuruza.

Virusi predstavljaju najveću pretnju. Srodnici kukuruza imaće sve veću ulogu kao izvori rezistentnosti prema bolestima. Tako na primer, pre otkrića *da Zea diploperennis* (višegodišnja teozinta) ima imunitet prema virusu mozaične kržljivosti (MDMV) stvorene su linije sa različitim nivoom tolerantnosti prema ovome virusu, ali nije bilo imuniteta. Zahvaljujući relativno lakom ukrštanju teozinte sa kukuruzom, rezistentnost je inkorporirana u inbred linije kukuruza. Crvenilo na kukuruzu izaziva veliko interesovanje i stoga je u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo pokrenut program oplemenjivanja i stvaranja tolerantnih genotipova prema ovoj pojavi (Bekavac i sar., 2007).

Tolerantnost prema herbicidima

Tolerantnost kukuruza prema herbicidima ocenjuje se na osnovu promena agronomskih i fiziološko-biohemijskih svojstava biljke. U periodu korišćenja herbicida grupe atrazina, mali broj genotipova kukuruza bio je osetljiv prema njima (Miržinski-Stefanović, 1975; Stefanović i Plesničar, 1976; Stefanović i Zarić, 1989). Kod osetljivih genotipova kukuruza javlja se hloroza lista. Uvođenjem tzv. graminicida i njihove

vom kombinacijom sa triazinima, proučavanja otpornosti linija kukuruza postaju aktuelnija. Kod osetljivijih genotipova dolazi do uvrtnanja i neotvaranja koleoptile, kao i pomeranja faze razvića klipa i metlice (Stefanović i Zarić, 1989). Primenom herbicida grupe sulfonilurea broj osetljivih linija se znatno povećao. Simptomi su izraženiji u poređenju sa simptomima koje prouzrokuju prethodne grupe herbicida. Osetljivi genotipovi zaostaju u porastu i deformišu se. Kod ovih biljka mladi listovi se naboraju ili se uviju u bič, a ponekad se na njima formiraju guke i zadebljanja. Ova istraživanja će biti i dalje aktuelna u Novom Sadu obzirom da se u primenu uvode selektivni herbicidi, agresivniji u odnosu na prethodne grupe i da se stalno stvaraju novi genotipovi kukuruza čija otpornost nije poznata. Oplemenjivanje kukuruza na otpornost prema bolestima, štetočinama i delovanju herbicida će i sa aspekta očuvanja zdrave životne sredine biti sve više podsticano (Ignjatović i sar., 1995).

Tolerantnost prema stresu hibrida kukuruza

Biološki stres se definiše kao spoljašnji faktor koji utiče na smanjenje prinosa u odnosu na maksimalan genetički potencijal (Salisbury and Marineous, 1985). Tolerantnost prema stresu definiše se kao kapacitet biljke da se bolje prilagodi biotičkim ili abiotičkim stresovima, kao što su: suša, visoke i niske temperature, slana zemljišta, prisustvo toksičnih metala i drugo (Duvick, 1997). Globalne klimatske promene su u toku (Hillel and Rosenzweigh, 2002). Značajni gubici

prinosa zbog suše uvećaću se usled globalnih klimatskih promena, kao što je rast temperature i promena u distribuciji padavina u ključnim, tradicionalnim proizvodnim reonima kukuruza. Korišćenje genetike u poboljšavanju tolerancije na sušu i obezbeđenja stabilnosti prinosa je važan vid stabilizacije globalne proizvodnje kukuruza (Edmeades et al., 2003). Poboljšana genetika, odnosno rodniji hibridi, lakše i brže se uvode u proizvodnju, nego poboljšana agrotehnika, koja zavisi mnogo više od mogućnosti inputa, infrastrukture, pristupa tržištu i iskustva u agronomiji. Seme poboljšanih hibrida je efikasno sredstvo prenošenja konvencionalnih i transgenih osobina koje doprinose povećanju i stabilnosti prinosa. Na sreću u stresnim uslovima performance poboljšane, moderne elitne germplazme u poređenju sa starijom germplazmom posebno dolaze do izražaja. U toku poslednjih 30 godina kontinuirano povećanje prinosa rezultat je više poboljšane tolerancije na stres nego povećanja kapaciteta za prinos (Duvick, 1977; Duvick, 1984; Duvick, 1992; Briggs, 1998; Cassman, 1999; Tollenar and Lee, 2002 and Duvick et al., 2004). Imajući sve navedeno u vidu u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu ulažu se velika finansijska sredstva i naponi na stvaranju hibrida kukuruza tolerantnih prema stresu. Preduslov za stvaranje ovakvih NS hibrida kukuruza je proučavanje fiziološke, biohemijske i molekularne osnove njihovih adaptivnih reakcija na stres. U tom cilju pored laboratorijskih istraživanja vrše se ispitivanja reakcije NS hibrida kukuruza u proizvodnim uslovima, poseb-

no u cilju stvaranja tolerantnijih NS hibrida kukuruza prema suši, zaslanjenim ili kiselim zemljištima, kakvih kod nas i u svetu ima mnogo.

Tolerantnost prema suši i visokim temperaturama

Suša i visoke temperature predstavljaju najvažniji problem za biljnu proizvodnju Srbije (Vučić, 1991; Maksimović i sar., 2001; Dragović i sar. 2003). To se rešava navodnjavanjem i stvaranjem tolerantnih hibrida prema suši. Prinosi merkantilnog kukuruza u navodnjavanju veći su za nekada i preko 30%, a semenskog i preko 50% u odnosu na nenavodnjavan usev (Maksimović i sar., 2004). U uslovima suše biljke akumuliraju ABA (abscisinsku kiselinu) i tako se prilagođavaju stresnim uslovima (Davies i Jones, 1991; Videnović i sar., 1995). Suša varira nepredvidivo između godina i regiona i zato oplemenjivači moraju stvarati hibride koji će biti tolerantni prema stresu tokom cele vegetacije (Kitchen et al., 1999). Kukuruz je najosetljiviji na stres u vreme cvetanja kada se pojavi svila i istovremeno se odvija oplodnja i formiranje zrna (Shaw, 1977). Moderni hibridi tolerantni prema stresu imaju kraći period od metličanja do svilanja u odnosu na starije hibride (Bruce et al., 2001). Iako je ovaj period skraććen kod modernih hibrida njihov prinos u uslovima suše u periodu cvetanja još uvek značajno varira (Edmeades et al., 1993; Jensen, 1995; Edmeades et al., 2000 and Vega et al., 2001). Novi hibridi stvoreni nakon 2000. godine uzimaju daleko manje vode iz zemljišta pogotovo iz gornjih slojeva upoređujući ih sa

hibridima stvorenim tokom tridesetih godina prošlog veka (Troyer, 1996). Korišćenje genetike u poboljšavanju tolerantnosti prema suši i obezbeđenju stabilnosti prinosa je jedan važan deo u globalnoj stabilizaciji prinosa kukuruza (Edmeades et al., 2003). U cilju stvaranja germplazme tolerantne prema suši za dalje komercijalno korišćenje u dugom vremenskom periodu metode povratnih ukrštanja - back cross moraju biti dopunjenje savremenim metodama koje omogućuju identifikaciju i ubacivanje QTL iz sirovog materiala u elitni oplemenjivački material (Tank-sley and Nelson, 1996; Ho et al., 2002). U tom poduhvatu fiziolozi će imati sve veću i važniju ulogu u definisanju bitnih osobina i identifikovanju ključnih procesa, genetski kontrolisanih, koji presudno utiču na dobijanje visokih i stabilnih prinosa. Pro-menjen kapacitet biljke u oblasti fiziologije je urgentno potreban da bi identifikovali ključne procese u molekularnom oplemenjivanju (Ribaut et al., 1996; Barker et al., 2004; Johnson, 2004). Mogućnosti precizne i fenotipski prepoznatave reakcije na stresne uslove daleko zaostaju za mogućnostima genomske informacije i limitiraju progres u prepoznavanju veze gen - osobina - fenotip. Kod kukuruza je ustanovljena OTL (quantitative trait loci) veza sa specifičnim fenotipovima zapaženim u vreme stresa od suše u različitim mapiranim populacijama. Ovi rezultati odnose se na prinos zrna i komponente prinosa, dužinu perioda od metličanja do svilanja, osobine korena, ocenjivanje korišćenja vode od strane biljke i njen status, kao otvorenost stoma i sadržaj ABA u listu i ksilemu (Veldboom and

Lee, 1996; Ribaut et al., 1996; Ribaut et al., 1997b; Frova et al., 1999 and Tuberosa et al., 2002). Metode korišćenja QTL su mnogo efikasnije u oplemenjivanju prostijih osobina, kao što su ranostasnost cvetanja, nego u oplemenjivanju kompleksnijih osobina, kao što je prinos zrna (Openshaw and Frascaroli, 1997; Tuberosa et al., 2002 and Bouchez et al., 2002). Interakcije G x E i epistaza su važne komponente genetičke arhitekture kvantitativnih osobina i doprinose umanjenju preciznosti predviđanja fenotipa korišćenjem QTL (Fu and Dooner, 2002; Ungerer et al., 2003; Anholt et al., 2003; Holland, 2001; Van Eeuwijk et al., 2002 and Cooper et al., 2004). Stvaranje stay-green hibrida može biti ključ u popravljajući tolerancije prema stresu u kasnoj fazi vegetacije (Valentinuz, 2002; Bekavac, et al., 2007b). Genetičko mapiranje sa gustinom marker mapa moglo bi se koristiti u identifikaciji genetskih pozicija lokusa kvantitativnih osobina (QTL-quantitative trait loci) koji su u vezi sa specifičnom reakcijom fenotipa u uslovima stresa od suše.

Tolerantnost na kiselost zemljišta

Kisela zemljišta zauzimaju značajne površine u svetu, ograničavajući biljnu proizvodnju na 30-40% ukupnih, kao i do 60% potencijalno obradivih svetskih površina (Eswaran et al., 1997). U Republici Srbiji takođe su značajno zastupljena zemljišta slabo-kisele, kisele i ekstremno jako kisele reakcije, čineći preko 60% ukupnih obradivih površina (Jovanović et al., 2006).

Kisela reakcija ovih zemljišta, nizak sadržaj organske materije i

smanjena pristupačnost dostupnih formi najvažnijih biljnih hraniva, pre svega fosfora i kalcijuma su ograničavajući faktori postizanja viših prinosa gajenih biljaka na njima. Pored kisele reakcije ova zemljišta karakteriše veoma često povećan sadržaj toksičnih oblika Al, Fe i Mn, što se nepovoljno odražava na gajenje većine njihovih biljaka (Narro et al., 2001; Sumner., 2004; Welcker et al., 2005). Na jednom delu najugroženijih zemljišta sa pH < 4.0 ne samo da je primećeno opadanje prinosa kukuruza, već se biljke nalaze u tzv. „stanju stresa” i veoma često dolazi do masovnog propadanja useva.

Brojna istraživanja kod nas i u svetu ukazuju da adekvatna primena krečnih materijala u kombinaciji sa organskim i mineralnim đubrivima predstavlja najefikasniji način otklanjanja nepovoljnih i loših proizvodnih osobina kiselih zemljišta (Kádár et al., 2009).

U novije vreme u svetu, a i kod nas se sa različitim uspehom afirmiše još jedan princip rešavanja proizvodne sposobnosti kiselih zemljišta, stvaranjem, odnosno selekcijom sorti i hibrida gajenih biljaka tolerantnih na nepovoljne uslove koji vladaju u kiselim zemljištima, pre svega na povećanu koncentraciju toksičnih Al jona u zemljišnom rastvoru. Hemijska popravka kiselih zemljišta „prilagođavanje zemljišta biljci” i selekcija tolerantnih genotipova „prilagođavanje biljke zemljištu” predstavljaju dve mogućnosti povećanja proizvodne sposobnosti kiselih zemljišta (Collet et al., 2001).

Kukuruz je biljna vrsta srednje tolerantna na povećanu kiselost zemljišta (The et al., 2001). Unazad

nekoliko godina u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, radi se na ispitivanju tolerantnosti različitih hibrida kukuruza na povećanu kiselost zemljišta u zemljišnom rastvoru.

Oplemenjivanje kukuruza i molekularni markeri

Proces selekcije kukuruza se stalno menja i usavršava u skladu sa novim saznanjima o funkciji gena, genetičkoj varijabilnosti, nasleđivanju složenih (kvantitativnih) osobina, metodologiji poboljšanja germplazme i dr.

Razvoj i primena metoda biotehnologije doprineli su boljem razumevanju strukture i funkcije genoma kukuruza, a konvencionalno oplemenjivanje je dopunjeno novim i moćnim tehnikama. Primena biotehnologije u oplemenjivanju kukuruza obuhvata primenu molekularnih markera za procenu genetičke varijabilnosti i karakterizaciju germplazme, identifikaciju gena koji kontrolišu agronomski važne osobine, određivanje genetičkog diverziteta, ispitivanje fenomena heterozisa i njegovo predviđanje, identifikaciju hromozomskih regiona potencijalnih nosioca QTL za prinos, tolerantnost na sušu i dr. (Lu et al., 2003; Drinić i sar., 2007).

Manipulacija molekularnim markerima omogućuje detaljnije i preciznije upoznavanje prirode građe i mogućnosti usmeravanja funkcije gena (Harris, 1999). Neki od njih omogućavaju istraživačima da sagledaju strukturu celog genoma i otkriju biljke s poželjnim svojstvima na molekularnom nivou, štedeći vreme i

resurse. Razvoj tehnologije markera zajedno sa marker asistiranom selekcijom (MAS) obezbeđuje nova rešenja za selekciju željenih genotipova. Nadalje, DNA markeri doprinose olakšavanju razotkrivanja genetičke osnove kompleksnih svojstava i pomažu razumevanju načina njihovog delovanja i funkcionisanja (Dubreuil et al., 1999).

Sekvencioniranje genoma kukuruza doprinosi rasvetljavanju funkcije, regulacije i ekspresije gena. Takođe primenom metoda molekularne biotehnologije pružaju se mogućnosti u skraćanju procesa selekcije, povećanju obima testiranog materijala, što u značajnom stepenu doprinosi efikasnijem sprovođenju oplemenjivačkih programa, a sve u cilju poboljšanja efikasnosti klasičnog oplemenjivanja i stvaranja visokorodnih genotipova kukuruza tolerantnih na abiotičke i biotičke faktore spoljašnje sredine.

Zaključak

Iz svega iznetog jasno je da oplemenjivači kukuruza imaju prvenstveni zadatak da stvore visokoprinosne hibride stabilnog prinosa u cilju obezbeđenja kontinuiteta u povećanju proizvodnje ove značajne biljne vrste. U uslovima prisutnih klimatskih promena i globalnog zagrevanja ovaj zadatak postaje sve teži i složeniji. Zbog toga, pored povećanja kapaciteta za prinos posebni naponi usmeravaju se u stvaranju tolerantnih hibrida prema stresu, a posebno prema sve prisutnijoj suši. Osnovni uslov, za napredak u oplemenjivanju, genetička varijabilnost na sreću postoji i to će uz korišćenje kon-

vencionalnih i novih savremenih metoda omogućiti stvaranje rodnijih hibrida, koji će uz sve bolju agrotehniku omogućiti dalji kontinuitet

rasta prinosa kukuruza. U ostvarenju ovako kompleksnog zadatka timski rad specijalaca raznih oblasti nauke biće nezaobilazan.

LITERATURA

- ANHOLT, R. R. H., C. DILDA, S. CHANG, J. J. FANARA, N. H. KULKARNI, I. GANGULY, S. M. ROLLMANN, K. P. KAMDAR and T. F. C. MACKAY (2003): The genetic architecture of odor-guided behavior in *Drosophila*: epistasis and the transcriptome. *Nat. Genet.* 35, pp. 180-184.
- BARKER, T., CAMPOS, H., COOPER, M., DOLAN, D., EDMEADES, G. O., HABBEN, J., SCHUSSLER, J., WRIGHT, D., ZINSELMIEIER, C. (2004): Improving drought tolerance in maize. *Plant Breed. Rev.* 25: 35-52.
- BEKAVAC, G., BOŽANA PURAR, JOCKOVIĆ, Đ. (2007a): Corn reddening: The disease and breeding for resistance. *Journal of Plant Pathology*, 89 (3): 397-404.
- BEKAVAC, G., BOŽANA PURAR, STOJAKOVIĆ, M., JOCKOVIĆ, Đ., IVANOVIĆ, M., ALEKSANDRA NASTASIĆ (2007b): Genetic analysis of stay - green trait in broad-based maize populations. *Cereal Research Communications*, Vol. 35: 1, pp. 31-41.
- BOUCHEZ, A., F. HOSPITAL, M. CAUSSE, A. GALLAIS and A. CHARCOSSET (2002): Marker - assisted introgression of favorable alleles at quantitative trait loci between maize elite lines, *Genetics* 162, pp. 1945-1959.
- BRIGGS, S. P. (1998): Plant genomics: more than food for thought, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 95, pp. 1986-1988.
- BRUCE, W. B., G. O. EDMEADES and T. C. BARKER (2001): Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance, *J. Exp. Bot.* 53, pp. 13-25.
- CALBA. C. H., W. J. HORST and C. ZONKENG (2001): Three years performance of a tolerant and a susceptible maize cultivar on non-amended and amended acid soil. p. 984-985. In: W. J. Horst et al. (ed.) *Plant nutrition-food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research*. Hannover, 2000. Kluwer, Academic Publishers. Dordrecht the Netherlands.
- CASSMAN, K. G. (1999): Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 96, pp. 5952-5959.
- COLLET, L. AND W. J. HORST (2001): Characterisation of maize cultivars in their adaptation to acid soils on the single plant level. *Plant nutrition-Food security and sustainability of agro-ecosystems*, p. 86-87. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands.
- COOPER, M., PODLICH, D. W., SMITH, O. S. (2004): Complex traits and gene-to-phenotype models. In: *Proceedings of the 4th Inter. Crop Sci. Con. Brisbane, Australia*, p. 67.
- DAVIES, W. J. AND H. G. JONES (1991): Eds, *Abscisic acid biochemis-*

- try and physiology. Bios Sci. Oublishers, Oxford, UK.
- DRAGOVIĆ, S., MAKSIMOVIĆ, LIVIJA, JOCKOVIĆ, Đ. (2003): Značaj navodnjavanja unapređenju proizvodnje kukuruza u Srbiji (Role of Irrigation in the Improvement of Corn Production in Serbia). *Vodoprivreda*, Vol. 35, str. 201-202.
- DUBREUIL, P., REBOURG, C., MERLINO, M., CHARCOSSET, A. (1999): The DNA-pooled sampling strategy for estimating the RFLP diversity of maize populations. *Plant Mol. Biol. Report* 17: 123-138.
- DUVIC, D. N. (1977): Genetic rates of gain in Hybrid Maize Yields During the past 40 Years. *Maydica*, 22:187-196.
- DUVICK, D. N. (1984): Genetic contributions to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930-1980. In: Fehr, W.R. (Ed.), *Genetic Contributions to Yield Gains of Five Major Crop Plants*, CSSA Special Publication No. 7, Crop Science Society of America, Madison, WI, USA pp. 15-47.
- Duvick, D.N.(1992): Genetic contributions to advances in yield of U.S. Maize, *Maydica*, Vol. 37, pp. 69-79.
- DUVICK, D. N. (1997): What is yield? In: G.O. Edmeades, M. Bänziger, H.R. Mickelson and C.B. PeZa-Valdivia, Editors, *Developing Drought and Low-N Tolerant Maize*, CIMMYT, El Batan, Mexico, pp. 332-335.
- DUVICK, D. N. and K.G. CASSMAN (1999): Post - green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. *Crop Sci.* 39, pp. 1622-1630.
- DUVICK, D. N., J. S. C. SMITH and M. COOPER (2004): Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program, *Plant Breed. Rev.* 24, pp. 109-151.
- EASST, E. M. (1908): Inbreeding in corn. *Connecticut Agric. Exp. Stn. Rep.* 1907. pp. 419-428.
- EDMEADES, G. O., J. BOLAYOS, A. ELINGS, J. M. RIBAUT, M. BÄNZIGER and M. E. WESTGATE (2000): The role and regulation of the anthesis-silking interval in maize In: M.E. Westgate and K.J. Boote, Editors, *Physiology and Modeling Kernel Set in Maize*, CSSA, Madison, WI, pp. 43-73 CSSA Special Publication No. 29.
- EDMEADES, G. O., J. BOLAYOS, M. HERNANDEZ and S. BELLO (1993): Causes for silk delay in lowland tropical maize, *Crop Sci.* 33 (1993), pp. 1029-1035.
- EDMEADES, G. O., J. SCHUSSLER, H. CAMPOS, C. ZINSELMEIER, J. HABBEN, S. COLLINSON, M. COOPER, M. HOFFBECK and O. SMITH (2003): Increasing the odds of success in selecting for abiotic stress tolerance in maize In: C.J. Birch and S.R. Wilson, Editors, *Proceedings of the 5th Australian Maize Conference (Versatile Maize - Golden Opportunities)* Toowoomba, Maize Assoc. of Australia, February 18-20, pp. 16-28.
- ESWARAN, H., P. REICH and F. BEINROTH (1997): Global distribution of soils with acidity. In: *Plant-Soil Interactions at Low pH*. Moniz, A. C. et al. (eds.). *Brazilian Soil Science Society*. pp. 159-164.
- FROVA, C., P. KRAJEWSKI, N. DI-FONZO, M. VILLA and M. SARI-GORLA (1999): Genetic analysis of drought tolerance in maize by molecular markers: Part I. Yield components, *Theor. Appl. Genet.* 99, pp. 280-288.

- Fu, H., and H. K. DOONER (2002): Intraspecific violation of genetic colinearity and its implications in maize, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 99 (2002), pp. 9573-9578.
- GOODMAN, M. M. (1984): Evaluation of egzotics. 20th An. Ill. Corn Breeding school. Urbana, March 6-8, p: 85-100.
- HALLAUER, A. R., W. A. RUSSELL and K. R. LAMKEY (1988): Corn breeding. In Sprague G. F. Dudley J. W. (eds). *Corn and corn improvement*, 3rd ed. Agronomy Monograph 18. Am Soc. Agron, Madison, WI, pp. 463-564.
- HARRIS, S. A. (1999): Molecular approaches to assessing plant diversity. In: E. E. Benson (ed.). *Plant Conservation Biotechnology*. Taylor and Francis, London, pp. 11-24.
- HILLEL, D. and C. ROSENZWEIG (2002): Desertification in relation to climate variability and change, *Adv. Agron.* 77, pp. 1-38.
- Ho, J. C., S. R. McCOUCH and M. E. SMITH (2002): Improvement of hybrid yield by advanced backcross QTL analysis in elite maize. *Theor. Appl. Genet.* 105, pp. 440-448.
- HOLLAND, J. B. (2001): Epistasis and plant breeding, *Plant Breed. Rev.* 21 (2001), pp. 27-92.
- IGNJATOVIĆ, D., K. MIRKOVIĆ, D. IVANOVIĆ, S. STOJKOV, B. TADIĆ, L. STEFANOVIĆ i D. KOVAČEVIĆ (1995): Primena metoda elektroforeze u proučavanju otpornosti kukuruza prema parazitima i herbicidima. Oplemenjivanje, proizvodnja i iskorišćavanje kukuruza. 50 godina Instituta za kukuruz "Zemun Polje", 28-29 septembar, Beograd, str. 61-72.
- JENSEN, S. D. (1995): Genetic improvement of maize for drought tolerance In: D. C. Jewell, S. R. Waddington, J. K. Ransom and K. V. Pixley, Editors, *Proceedings of the Fourth Eastern and Southern African Regional Maize Conference Harare, Zimbabwe, CIMMYT, Mexico* (1995), pp. 67-75..
- JOCKOVIĆ, Đ., STOJAKOVIĆ, M., BEKAVAC, G., PURAR BOŽANA, POPOV, R., VASIĆ, N. (1995): Grain Yield Stability of Maize (*Zea mays* L.) Hybrids of Different Maturity Groups. *J. Sci. Agric. Research*, Vol. 56, No. 202, p. 3-12.
- JOCKOVIĆ, Đ., PURAR BOŽANA., BEKAVAC, G., STOJAKOVIĆ, M., IVANOVIĆ, M. (2006): Oplemenjivanje kukuruza u Naučnom institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu. *Zbornik radova, Sveska* 42, str. 55-69.
- JOHNSON, R. (2004): Marker-assisted selection, *Plant Breed. Rev.* 24, pp. 293-309.
- JONES, D. F. (1918): The effects of inbreeding and crossbreeding upon development. *Connecticut Agric. Exp. Stn. Bull.* 207: 5-100.
- JOVANOVIĆ, Z., ĐALOVIĆ, I., KOMLJENOVIC, I., KOVACEVIC, V., CVIJOVIC, M. (2006): Influences of liming on vertisol properties and yields of the field crops. *Cereal Research Communications* 34 (1): 517-520.
- KANNEBERG, L. W. (1995): Diversification of the Short-season Maize Germplasm Base. "Oplemenjivanje, proizvodnja i iskorišćavanje kukuruza". 50 godina Instituta za kukuruz "Zemun Polje", 28-29 septembar, Beograd, str. 105-120.
- KITCHEN, N. R., K. A. SUDDUTH and S. T. DRUMMOND (1999): Soil electrical conductivity as a crop pro-

- ductivity measure for claypan soils, *J. Prod. Agric.* 12, pp. 607-617.
- KOJIĆ, L. i M. IVANOVIĆ (1986): Dugoročni programi oplemenjivanja kukuruza. *Genetika i oplemenjivanje kukuruza - Dostignuća i nove mogućnosti*. Beograd, 11.XII. 57-75.
- LU, H., J. ROMERO-SEVERSON., R. BERNARDO (2003): Genetic basis of heterosis explored by simple sequence repeat markers in a random-mated maize population. *Theor Appl Genet* 107: 494-502.
- MAKSIMOVIĆ, LIVIJA, DRAGOVIC, S., JOCKOVIĆ, Đ., STOJAKOVIĆ, M. (2001): Potencijal rodnosti NS-hibrida kukuruza u uslovima navodnjavanja (Yield Potentials of NS Corn Hybrids by Irrigation). *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu*, Sv. 35, ("Zbornik radova", Vol. 35, A Periodical of Scientific Research on Field and Vegetable Crops), str. 415-424.
- MAKSIMOVIĆ, LIVIJA, JOCKOVIĆ, Đ., DRAGOVIĆ, S. (2004): Gajenje kukuruza u navodnjavanju - značajan činič unapređenja i stabilnosti proizvodnje (Growing Irrigated Maize as an Important Factor in Production Advancement and Stability). *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu*, Sv. 40, ("Zbornik radova", Vol. 40, A Periodical of Scientific Research on Field and Vegetable Crops), str. 257-268.
- MIRŽINSKI-STEFANOVIĆ, L. (1975): Dejstvo triazinskih herbicida i afalona na neke morfološke osobine biljke kukuruza. *Zbornik radova sa II Jug. Savetovanja o borbi protiv korova*, str. 453-460.
- MLADENOVIĆ-DRINIĆ, SNEŽANA, IGNJATOVIĆ-MIČIĆ, DRAGANA, LAZIĆ-JANČIĆ, VESNA, KONSTANTINOV, KOSANA (2007): Molekularna biotehnologija u oplemenjivanju kukuruza. *Mono-grafija „Nauka osnova održivog razvoja”*, str. 219-239. Beograd.
- NARRO, L. A., J. C. PEREZ, S. PANDEY, J. CROSSA, F. SALAZAR, M. P. ARIAS (2001): Implications of soil-acidity tolerant maize cultivars to increase production in developing countries. p. 447-463. In: N. Ae et al. (ed.). *Plant nutrient acquisition: New perspectives*. NIAES series 4. Springer Verlag, Japan.
- NASTASIĆ ALEKSANDRA, M. STOJAKOVIĆ, Đ. JOCKOVIĆ, G. BEKAVAC, N. VASIĆ and Z. PETROVIĆ. (2001): Effect of S1 recurrent selection on the occurrence of stalk, ear and root rot (*Fusarium graminearum*) in the synthetic corn population NSB. *Genetika*, Vol.32, No.2, p. 181-188.
- OPENSHAW, S. and E. FRASCAROLI (1997): QTL detection and marker-assisted selection for complex traits in maize In: D. Wilkinson, Editors, *Proceedings of the 52nd Ann. Corn and Sorghum Industry Research Conference*, ASTA, Washington, DC, pp. 44-53.
- PENČIĆ, V. i J. LEVIĆ (1994): Pregled identifikovanih gljiva na semenu i zrnu kukuruza u Jugoslaviji. *Selekcija i semenarstvo* 1: 173-177.
- RIBAUT, J. M., D. A. HOISINGTON, J. A. DEUTSCH, C. JIANG and D. GONZALEZ de LEON (1996): Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize: Part 1. Flowering parameters and the anthesis-silking interval, *Theor. Appl. Genet.* 92 (1996), pp. 905-914.
- RIBAUT, J. M., C. JIANG, D. GONZALEZ de LEON, G. O. EDMEA-

- DES and D. A. HOISINGTON (1997b): Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize: Part 2. Yield components and marker-assisted selection strategies, *Theor. Appl. Genet.* 94, pp. 887-896
- SALISBURY, F. B. and N. G. MARINEOUS (1985): In: *Encyclopedia of plant physiology* 11, pp.707 (R. P. Pharis, D. M. Reid, eds.) Heidelberg Springer.
- SCHWARC, D. and W. J. LAUGNER (1969): A molecular basis for heterosis. *Science* 169: 626.
- SHAW, R. H. (1977): Water use and requirements of maize - a review, *Agronomy of the Maize (Corn) Crop 480*, World Met. Organization Publication, pp. 119-134.
- SHULL, G. H. (1908): A pure line method of corn breeding. *Am. breeders Assoc. Rep.* 5:51-59.
- Simić Dragica, Božana Purar, Jocković, Đ., Bekavac, G., Popov, R. (1998): Stabilnost prinosa zrna hibrida kukuruza FAO 100 - FAO 300 grupe zrenja. *Selekcija i semenarstvo*, broj 1-2, 79-84.
- STEFANOVIĆ, L. i M. PLESNIČAR (1976): Delovanje atrazina na fotosintezu nekih linija i hibrida kukuruza. *Acta Bot. Croat.* 5:77-85.
- STEFANOVIĆ, L. i Lj. ZARIĆ (1989): Uticaj herbicida na rastenje, razviće i prinos nekih linija kukuruza. *Fragmenta Herbológica Yugoslavica* 18 (1): 65-67.
- STOJAKOVIĆ, M., JOCKOVIĆ, Đ. (2004): Improvement of the Mo17 family of the lancaster heterotic group of maize. *Cereal Research Communic.* Vol. 32, No. 2. pp. 32-37.
- SUMNER, M. E. (2004): Food production on acid soils in the developing world: problems and solutions. *Proceedings of the 6th International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH.* (Editors: Matsuoto H. et al.). p. 2-3. August, 1-5, 2004 Sendai, Japan.
- TANKSLEY, S. D. and J. C. NELSON (1996): Advanced backcross QTL analysis: a method for the simultaneous discovery and transfer of valuable QTLs from unadapted germplasm into elite breeding lines, *Theor. Appl. Genet.* 91, pp. 191-203.
- TOLLENAAR, M. and E. A. LEE (2002): Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize, *Field Crops Res.* 75, pp. 161-169.
- TROYER, A. F. (1996): Breeding widely adapted, popular maize hybrids, *Euphytica* 92 (1996), pp. 163-174.
- TUBEROSA, R., S. SALVI, M. C. SANGUINETI, P. LANDI, M. MACCAFERRI and S. CONTI (2002): Mapping QTLs regulating morpho-physiological traits and yield: case studies, shortcomings and perspectives in drought-stressed maize. *Ann. Bot.* 89, pp. 941-963.
- UNGERER, M. C., C. R. LINDER and L. H. RIESEBERG (2003): Effects of genetic background on response to selection in experimental populations of *Arabidopsis thaliana*, *Genetics* 163 (2003), pp. 277-286.
- VALENTINUZ, O. R., (2002): Leaf senescence and the profile of expanded leaf area in maize (*Zea mays* L.). Ph.D. Dissertation, University of Guelph, Guelph, Canada, 114p.
- VAN EEUWIJK, F. A., J. CROSSA, M. VARGAS and J. M. RIBAUT (2002): Analysing QTL-environment interaction by factorial regression, with an application to the CIMMYT drought and low-nitrogen stress programme in maize In: M.S. Kang,

- Editors, Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding, CABI, Wallingford (2002), pp. 245-256.
- VASIĆ, N., Đ. JOCKOVIĆ, M. IVANOVIĆ, L. PETERNELI, M. STOJAKOVIĆ, G. BEKAVAC (2001a): Genetic analysis of quantitative traits in synthetic population 316PO2 of maize (*Zea mays* L.). Cereal Research Communication, Vol. 29, No. 1-2, pp. 77-84.
- VASIĆ, N., M. IVANOVIĆ, L. A. PETERNELI, Đ. JOCKOVIĆ, M. STOJAKOVIĆ and J. BOČANSKI (2001b): Genetic relationships between grain yield and yield components in a synthetic maize population and their implications in selection. Acta Agronomica Hungarica. 49 (4), pp. 337-342.
- VASIĆ, N., Đ. JOCKOVIĆ, J. BOČANSKI, G. BEKAVAC, Z. PETROVIĆ, M. IVANOVIĆ, L. PETERNELI (2001c): Correlation coefficients and selection indices in a synthetic maize population. Izvestija. »Agrarni i veterinarsko-medicinske nauke, Union of Scientists-Rousse, Bulgaria. NO. 3, 1/2001, 11-13.
- VEGA, C. R. C., F. H. ANDRADE, V. O. SADRAS, S. A. UHART and O. R. VALENTINUZ (2001): Seed number as a function of growth: A comparative study in soybean, sunflower and maize, Crop Sci. 41 (2001), pp. 748-754.
- VELDBOOM, L. R., and M. LEE, Genetic mapping of quantitative trait loci in maize in stress and nonstress environments: I. Grain yield and yield components, Crop Sci. 36 (1996), pp. 1310-1319.
- VIDENOVIĆ, Ž., M. VESKOVIĆ, LIDIJA STEFANOVIĆ, Ž. JOVANOVIĆ i Z. DUMANOVIĆ (1995): Razvoj tehnologije gajenja kukuruza u Jugoslaviji. Oplemenjivanje, proizvodnja i iskorišćavanje kukuruza. 50 godina Instituta za kukuruz "Zemun Polje", 28-29 septembar, Beograd, str. 163-175.
- VUČIĆ, N. (1991): Navodnjavanje je budućnost poljoprivrede. Jugoslovenski seminar: "Navodnjavanje kao činilac razvoja individualnog sektora u poljoprivredi Jugoslavije". Novi Sad.
- ZUBER, S. M. (1982): Challenges for maize breeders-Today's Challenges for increased Maize production tomorrow. 37th Annual Corn & Sorghum Research Conference. pp. 88101.
- WELCKER, C., C. THE, B. ANDREAU, C. DE LEON, S. N. PARENTONI, J. BERNAL, J. FELICITE., C. ZONKENG, F. SALAZAR, L. NARRO, A. CHARCOSSET and W. J. HORST (2005): Heterosis and Combining Ability for Maize Adaptation to Tropical Acid Soils: Implications for Future Breeding Strategies. Crop. Sci. 45: 2405-2413.

MAIZE BREEDING: HOW TO PROVIDE FURTHER PROGRES

**JOCKOVIĆ, Đ., BEKAVAC, G., PURAR BOŽANA,
NASTASIĆ ALEKSANDRA., MALIDŽA, G., DIMITRIJEVIĆ, M.,
ĐALOVIĆ, I.**

SUMMARY

Maize is the first crop in the world concerning total production in tones per year. A big money and many scientific workers are working in the maize breeding. Millions of new hybrid combinations are tested every year in order to find the best of new hybrids. In spite off that currently hybrids has a pretty narrow genetic basis. The main goal in maize breeding is to create a new high yielding hybrid with good adaptability and yield stability. For that modern maize hybrid has to poses genes for tolerance against stress (drought and high temperatures), diseases and pest. Genetic variability in maize and conventional and modern technics of biotechnology will provide enough capability to ensure progress in maize breeding continually as until now. It means that we can expect even better maize hybrids in future.

Key words: maize, yielad, stability, stress, drought