

UDK: 635.67: 631.52
Originalan naučni rad¹**OPLEMENJIVANJE KUKURUZA ŠEĆERCA
(*ZEA MAYS L. SACCHARATA*) U INSTITUTU
ZA KUKURUZ "ZEMUN POLJE"***Zorica Pajić, Milica Radosavljević**

Izvod: Rad na oplemenjivanju kukuruza šećerca započet je sedamdesetih godina u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“. Do sada je priznato 20 ZP hibrida kukuruza šećerca različite dužine vegetacije. Svi domaći ZP hibridi kukuruza šećerca su sa sugary genom. U našoj zemlji najveći deo proizvedenog šećerca se prerađuje u obliku zamrznutog zrna. Standardni kukuruz šećerac je mutant. Mutacija su uslovljava takvu kompoziciju endosperma gde se akumulira dva puta i više u vodi rastvorljivih polisaharida (WSP) nego kod običnog kukuruza u fazi nezrelog zrna kada se ono konzumira. Ukus šećerca određuje slatkoća koja zavisi od udela šećera i skroba u endospermu. Ove osobine menjaju važnost zavisno od načina korišćenja hibrida. Glavni resursi u selekciji šećerca su elitni hibridi i elite inbridovane linije, koji se preporučuju i odabiraju za poboljšanje osobina, kao i sintetičke populacije uže i šire genetičke osnove. Mnogi selekcionari šećerca se uzdržavaju od korišćenja germplazme koje nisu šećerac u svojim selekcionim programima, zbog teškoća da se sačuva niz faktora kvaliteta i specifičnost sirovog proizvoda što je karakteristično za šećerac. Naravno, germplazma koja nije u tipu šećerca se koristi za poboljšanje šećerca od samih početaka selekcionih programa. Ovaj tip germplazme se koristi kao izvor za povećanje relativne otpornosti prema bolestima i štetočinama u zavisnosti od aktuelnosti određenog svojstva za šećerac.

Ključne reči: Kukuruz šećerac, oplemenjivanje, mutanti, jestivi kvalitet zrna.

Uvod

Kukuruz šećerac se koristi za ljudsku ishranu u mlečnoj fazi razvoja endosperma, kada je zrno nežno, sočno i slatko. Najveći broj komercijalnih hibrida kukuruza šećerca

* Dr Zorica Pajić, naučni savetnik, dr Milica Radosavljević, viši naučni saradnik, Institut za kukuruz „Zemun Polje“, S. Bajića 1, Beograd

¹ Rad je rezultat istraživanja koja delom finansira Ministarstvo za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije, Projekat: BTR.5.02.0507.

se zasniva na jednom ili više recesivnih alela koji menjaju ugljenohidratni sastav endosperma. Mutacije su, sh2, fl, ae, i druge uslovljavavaju takvu kompoziciju endosperma gde se akumulira dva puta i više u vodi rastvorljivih polisaharida (WSP) nego kod običnog kukuruza u fazi nezrelog zrna kada se ono konzumira (Creech, 1968). Preimućstva hibrida kukuruza šećerca, u odnosu na sorte, su u većem prinosu, ujednačenom klipju i ujednačenom stasavanju za berbu. Tridesetak godina unazad sugary (su) alel gena na hromozomu 4 je služio za definiciju šećerca. Ali homozigotni recesivni gen (sugary, su) ima nedostataka, a osnovni je u tome što je relativno kratak period u toku koga zrno zadržava visok tehnološki kvalitet.

Prepoznavanje dodatnih gena endosperma koji bi uslovljili viši nivo šećera, kao i produžen period prihvatljivog kvaliteta zrna je vodio korišćenju tih gena (sh2, fl1, fl2, ae, se, i dr.) u razvoju i poboljšanju šećerca (Laughnan, 1953).

U našoj zemlji kukuruz šećerac se proizvodi godišnje na površini od oko 5000 ha. Najveći deo proizvedenog šećerca se izvozi u obliku zamrznutog zrna. Iz godine u godinu sve više se stiče navika za korišćenjem šećerca pa se i proizvodnja povećava. Danas, hibridi kukuruza šećerca se tretiraju kao najkomercijalniji usev (Garwood, 1979).

Materijal i metod rada

Mutacija su uslovljava takvu kompoziciju endosperma gde se akumulira dva puta i više u vodi rastvorljivih polisaharida (WSP) nego kod običnog kukuruza u fazi nezrelog zrna kada se ono konzumira (Creech, 1968).

Od oko 850 slobodnooprašujućih sorata kukuruza šećerca, od kojih su mnoge bile sinonimi, stvaran broj različitih sorata šećerca se kretao oko 300. Sorta Golden Bantam i one iz nje izvedene imale su najveći udeo u programima oplemenjivanja, kao i sorte Evergreen i Country Gentleman. Ove tri sorte su poslužile kao prvi izvorni materijal u selekcionim programima. Roditeljske komponente hibrida Golden Cross Bantam su izvedene iz različitih varijanti sorte Golden Bantam. Obe ove linije su mnogo korišćene kao izvorni materijal za razvoj novih inbridovanih linija. Brojne inbred linije dobijene u periodu između 1930. i 1960. godine, ili njihove sh2 verzije, još i danas su važne za komercijalne hibride. Skoro sve linije žutog zrna imaju u svojoj osnovi germplazmu sorte Golden Bantam, (Tracy, 1994).

Superiorne inbridovane linije su često bile roditeljske komponente za više hibrida, a hibridi su korišćeni dalje za razvoj novih inbridovanih linija. Rezultat toga je uska genetička raznovrsnost.

Zrno kukuruza šećerca u mlečnoj fazi razvoja endosperma se koristi za ishranu ljudi ili industrijsku preradu. Kvalitet tog nezrelog zrna određuju geni po kojima se šećerac razlikuje od običnog kukuruza (tab.1).

Glavni resursi u selekciji šećerca su elitni hibridi i elitne inbridovane linije, koji se preporučuju i odabiraju za poboljšanje osobina. Hibrid Jubilee zaslužuje specijalnu pažnju u ovom pogledu. Realizovan je oko 1960. godine, i brzo je postao vodeći hibrid za industrijsku preradu, i nesumnjivo korišćen kao izvorni materijal u mnogim selekcionim programima. Jubilee je hibrid privatnog vlasništva i poreklo njegovih komponenata i same komponente nisu dostupne javnosti.

Tab.1. Geni koji se komercijalno koriste u selekciji šećerca, (prema *Coe et al.*, 1988)

Gen	Simbol gena	Hromozom	Fenotip zrna
Amilose extender	ae	5	Staklasto, bez sjaja, visok sadržaj amiloze
Brittle	bt	5	Lomljivo, uglasto, krto, delimično providno
Brittle-2	bt2	4	Slično sh2
Dull	du	10	Staklasto, bez boje i sjaja
Shrunken-2	sh2	3	Naduveno, providno sušenjem se nabira pa je uglasto i krto
Sugary	su	4	Naborano, providno
Sugary enhancer	se	4	Na su osnovi naduveno, svetle boje, sporo se suši
Waxy	wx	9	Neprozirno, endosperm se jodom boji u crveno

Rezultati i diskusija

Ukus šećerca određuje slatkoća koja zavisi od udela šećera i skroba u endospermu. Mada je slatkoća zrna naznačena kao glavna komponenta ukusa, kremisavost zrna, sadržaj vode, kao i odnos rastvorljivih i nerastvorljivih komponenta endosperma su značajni parametri kvaliteta. Od više poznatih mutanata koji utiču na razvoj endosperma, 14 se proučava radi korišćenja u oplemenjivanju šećerca, a osam se koristi komercijalno (*Coe et al.*, 1988), tab.1. U fazi 18-22 dana posle polinacije kada se šećerac bere, mutanti sa bt, bt2, sh, sh2, i sh4 genom, sadrže 2-3 puta više saharoze od su endosperma. Takodje, važan momenat je da 28 dana posle polinacije, kada je nivo saharoze u sugary (su) tipovima opao za više od 50%, ovi mutanti endosperma zadržavaju i dalje visok nivo saharoze. Zbog visokog nivoa šećera, hibridi šećerca zasnovani na ovim genima nazivaju se „superslatki“ („supersweet“ ili „extrasweet“). U vreme kada se šećerac bere, 18 do 22 dana posle polinacije, hibridi na bazi ovih mutanata sadrže 4 do 8 puta više ukupnih šećera od kukuruza standardnog kvaliteta zrna. Hibridi sa shrunken-2 genom su danas na drugom mestu po zastupljenosti u proizvodnji posle tipova sa sugary genom.

Mutant sa sugary (su) genom se naziva „normalni“, „standardni“, „tradicionalni“, „konvencionalni“ i „šuger“ šećerac. Zrno ovog tipa šećerca (su) akumulira više šećera nego zrno običnog kukuruza, Su. Pretežan šećer u zrnu standardnog šećerca je saharoza, sa manjim udelom maltoze, glukoze i fruktoze. Kod su tipa, šećeri se konvertuju u fitoglikogen pre berbe i posle berbe, rezultirajući kontinuiranim smanjenjem sadržaja šećera čiji je maksimum 18 do 22 dana posle polinacije. U vreme 28 dana posle polinacije nivo saharoze će opasti za 50% i više u odnosu na prvu fazu, tj. vreme najvišeg kvaliteta (*Creech*, 1968). Tako, za ovaj tip šećerca period berbe je vrlo kratak. Hibridi kukuruza šećerca sa povećanim sadržajem

šećera u zrnu imaju brojna preimućstva, ali i nedostatke. Veliki nedostatak je lošija klijavost nego kod sugary (su) hibrida, i mnogo teža proizvodnja semena. Tipovi hibrida sa sh2 genom su prihvatljivi sa gledišta nežnosti i konzistencije zrna u mlečnoj fazi. (Tracy, 1994).

Beli oklasak i providan perikarp su važne karakteristike kukuruza šećerca, i većina šećeraca je homozigotna za alel gena P-ww na lokusu za boju perikarpa i oklaska. Boja endosperma je veoma važna. Tri glavne boje kod hibrida su: žuta, bela i šarena (bi-color; 25% belih i 75% žutih zrna na istom klipju). Tipovi šećerca žutog endosperma su najvažniji za industrijsku preradu i za potrošnju u svežem stanju.

Kukuruz šećerac se često koristi direktno u klipju, pa su osobine klipa veoma važne. Osobina izgled klipa obuhvata broj redova zrna, konfiguraciju, raspored, redova (pravac i uredjenje), ozrnjenost, širinu i dubinu zrna, oblik i veličinu klipa. Za hibride šećerca koji se koriste za industrijsku preradu tj. za rezanje zrna, najvažnije osobine su one koje uslovljavaju izgled zrna i normalan izgled (stanje) zrna posle rezanja, kao i boja zrna, širina i dubina. Dublja zrna obezbeđuju bolji izgled posle rezanja, a samim tim i bolji prinos. Oblik klipa je veoma važan u industriji za preradu šećerca.

Mnogi selekcionari šećerca se uzdržavaju od korišćenja germplazme koje nisu šećerac u svojim selekcionim programima, zbog teškoća da se sačuva niz faktora kvaliteta i specifičnost sirovog proizvoda što je karakteristično za šećerac (Boyer, 1985). Naravno, germplazma koja nije u tipu šećerca se koristi za poboljšanje šećerca od samih početaka selekcionih programa, u nekim slučajevima sa veoma velikim uspehom.

U selekciji kukuruza šećerca koriste se mnoge tehnike koje se koriste u selekciji standardnog kukuruza, ali postoje i određene razlike u postupcima zbog razlika u korišćenju proizvoda, efekta ksenija i prirode visoke osetljivosti finalnog proizvoda. Mada je prinos uvek važan, značenje „prinos“ se menja zavisno od tržišta. Za industrijsku preradu gde se zamrzava klip važan je broj klipova po hektaru. U slučaju konzerviranja rezanog zrna važan je prinos zrna. Za neka tržišta važna je težina pojedinačnog klipa (Tracy, 1994).

Cilj oplemenjivača šećerca je dobijanje novih visokokvalitetnih inbridovanih linija, čijim se ukrštanjem dobije hibrid željenih osobina. Ako je u roditeljski materijal uključena germplazma koja nije u tipu šećerca, testiranje ukusa je obavezno tokom procesa inbridinga, naročito za nežnost i ukus zrna (Brewbaker, 1971). Linije standardnog tipa iz kukuruznog pojasa prenose loš ukus, a zahtev selekcije je da se taj nedostatak eliminiše. Tropski kukuruz selekcionisan za ishranu ljudi može da ima mnogo poželjniji ukus, ali je tokom selekcije neophodno testiranje da bi se odredili segreganti sa najboljim ukusom. Sintetičke populacije i kompoziti šećerca su razvijani da bi ih koristili selekcionari kao izvore germplazme za dobijanje novih inbridovanih linija.

Populacija YUZP I su je nastala od 16 inbridovanih linija rane vegetacije. Druga populacija YUZP II su, kasnije vegetacije nastala je ukrštanjem 15 inbridovanih linija. Svaka od ovih populacija ima svoju internu strukturu, odnosno svaka linija koja je u sastavu populacije predstavlja podpopulaciju. Selekcioni postupak se zasniva na rekurentnoj selekciji, 4 godine po ciklusu, sa fenotipskom selekcijom između podpopulacija (izgled i veličina klipa, izgled, boja i veličina zrna, tip biljke-bez zaperaka) (Pajić, 1990).

Povratna selekcija kao metod se veoma široko koristi u poboljšanju šećerca. Tipičan šablon početnog razvoja varieteta zasnovanih na novim mutantima endosperma je bilo povratno unošenje novih gena u elitne inbridovane linije sugary verzije, često u oba roditelja zasnovanog ukrštanja. Danas su aktuelne sh2 verzije poznatih i popularnih su hibrida.

U poređenju sa drugim tipovima kukuruza, vremenski raspon za ocenu prinosa i osobina kvaliteta hibrida šećerca je vrlo ograničen - samo 5 do 7 dana, zavisno od klimatskih uslova i tipa mutacije koja se koristi. Odabiranje hibrida u prvoj fazi je zasnovano na osobinama koje su relativno visokonasledne, kao što je izgled klipa i zrna, veličina klipa i zrna, i , ako izvori dozvoljavaju, ukus. Mnoge osobine mogu biti brzo, efikasno i subjektivno ocenjene. Za merenje osobina kao što je sadržaj šećera, nežnost, i sočnost potrebna je oprema. Pošto su ove analize skupe i zahtevaju vreme, one se često rade u poslednjoj fazi programa testiranja. Prinos i komponente prinosa se određuju u svim fazama ispitivanja.

Postoje uređaji i tehnike za određivanje sadržaja šećera (refraktometri, analizatori za šećer, hromatografi), debljine perikarpa i nežnosti (mikroskopi, tenderometri, i dr.). Naravno, svaka tehnika meri samo jedan parametar i ne može da odredi suptilan ukus koji je rezultanta kombinacije više različitih komponenata.

Jedan od važnih ciljeva svih selekcionih programa je visokokvalitetno seme novih hibrida čija je proizvodnja ekonomična. Svi komercijalni hibridi kukuruza šećerca se zasnivaju na jednom ili više defektnih mutanata endosperma, i proizvodnja visokokvalitetnog semena je mnogo teža nego kod drugih tipova kukuruza. Ti mutanti su enzimske „povrede“ na putu sinteze skroba, koje menjaju ugljenohidratnu kompoziciju endosperma, i skoro u svim slučajevima rezultiraju smanjenjem nivoa skroba. Zrna su naborana, više uglasta i krta, nego zrna standardnog tipa kukuruza, i sklona su lomu. Većina šećerca je selekcionisana da ima tanak perikarp, a zbog toga se lakše stvaraju pukotine i oštećenja, zrno je naborano pa se stvaraju vazdušni džepovi između endosperma i perikarpa, te je u nepovoljnim uslovima otežano klijanje i nicanje.

Tab. 2. Prinos klipa i ocena kvaliteta priznatih ZP hibrida kukuruza šećerca

Hibrid	Prinos klipa (t/ha)	Ocena kvaliteta (ukupno poena, 100%)
ZPSC 213 su	11,5	96
ZPSC 301 su	13,0	77
ZPSC 451 su	11,7	84
ZPSC 501 su	11,9	91
ZPSC 502 su	12,2	83
ZPSC 503 su	12,8	76
ZPSC 504 su	10,8	96
ZPSC 321 su	12,1	81
ZPSC 311 su	10,9	75
ZPSC 401 su	12,8	77
ZPSC 404 su	12,5	67
ZPSC 231 su	12,2	84
ZPSC 111 su	9,7	76
ZPSC 251 su	10,1	82
ZPSC 324 su	13,1	79
ZPSC 425 su	13,6	78

Svi ZP hibridi kukuruza šećerca su sa sugary genom. Najveći deo proizvedenog šećerca se prerađuje u obliku zamrznutog zrna i izvozi. Kod nas se sve više stvara navika za potrošnjom šećerca. Potrebno je vršiti popularizaciju ovog tipa kukuruza. U tab.2 prikazani su prinosi i organoleptičke ocene ZP hibrida kukuruza šećerca.

Zaključak

Oplemenjivanjem kukuruza šećerca se mogu stvoriti hibridi koji zadovoljavaju zahteve tržišta (industrijska prerada i potrošnja šećerca u svežem stanju). Potrebno je uložiti mnogo više napora u stvaranju hibrida kukuruza šećerca od kukuruza standardnog kvaliteta zrna. Varijabilnost germplazme šećerca je značajno manja a agronomske osobine su lošije i nisu primaran cilj u selekciji.

Literatura

1. *Boyer C. D. (1985):* Shynthesis and breakdown of starch. In: The Biochemical Basis of Plant Breeding, Neyra, C.A., Ed., CRC Press, Boca Ration, Fl, USA.
2. *Brewbaker J.L. (1971):* Breeding tropical supersweet corn. Hawaii Farm Science 20, 7.
3. *Coe E. H., M. G.Neuffer and D. A.Hoisington (1988):* The genetics of corn. In: Corn and Corn Improvement, G.F. Sprague and W.J. Dudley, Eds., Am. Soc. Of Agr., Madison, WI, USA.
4. *Creech R.G. (1968):* Carbohydrate synthesis in maize. Adv. Agron., 20, 275.
5. *Garwood D.L. and R.G. Creech (1976):* Pennfresh ADX hybrid sweet corn. Hort.Sci. 14, 645.
6. *Laughnan J.R. (1953):* The effect of sh2 factor on carbohydrate reserves in the mature endosperm of maize. Genetics 38, 485.
7. *Pajić Z. (1990):* Popcorn and sweet corn breeding. Maize'90. Maize Breeding, Production, Processing and Marketing in Mediterranean Countries, Sept. 17 to Oct.13, 1990, Beograd.
8. *Tracy W.F. (1994):* Sweet corn. In: Speciality Corns, CRC Press Inc., Ames, Iowa, USA, 147.

UDC: 635.67: 631.52
Original scientific paper¹

SWEET CORN (*ZEA MAYS L. SACCHARATA*) BREEDING ET THE MAIZE RESEARCH INSTITUTE "ZEMUN POLJE"

*Zorica Pajić, Milica Radosavljević**

Summary

Sweet corn breeding programme have been implemented at the Maize Research Institute, Zemun Polje- Belgrade, for the last 40 years.

Sweet corn is used as human food at the milk stage when the kernel is sweet, soft and succulent. It is one of the most popular vegetable crops in countries where maize consumption is traditional.

Sweet corn is the mutant. The mutation at the Su lokus probably occured at different time and in different types of maize. The su mutation affects the endosperm composition by causing it to accumulate two or more times water-soluble polysaccharides (WSP) then normal field corn has at the immature stage when it is normally consumed. Sucrose is predominant sugar in grain of standard sweet corn. Sweet corn is harvested 18-23 days after pollination.

The homozygous recessive su gene has its limitations, and the major one is the very short period when kernels remain at high quality. Sametimes this period is as short as one day, which makes problems for sweet corn growers and processors. The identification of additional endosperm genes causing a higher level of sugar, leds to utilisation of these genes in the development and improvement of sweet corn. Most sweet corn commercial hybrids are based on one or more recessive alleles which modify endosperm composition.

These mutants are enzymic "injuries" in the path way of starch synthesis, which change endosperm carbohydrate composition and resalt, almost in all causes, in decreased starch level.

The hybrids with the sh, sh2, bt, bt2 gene contein two to three times more sucrose than hybrids with the su gene. As a resault the kernels (seeds) are of poor quality, winkled, light, angular, brittle and susceptible to injuries.

Consequently, germination and emergence in the field, as well as, early growth, are harder than of standard grain quality maize.

The aim of sweet corn breeders is to develop hybrids which will meet the demands of the market.

Key words: sweet corn, breeding, mutant, edible kernel's quality

* Zorica Pajić, Ph. D., Milica Radosavljević, Ph.D., Maize Research Insitute "Zemun Polje", Belgrade-Zemun, YU

¹ Paper is result of examinations which are in one part financed by Ministryfor science, technology and development, Republic Serbia, Project: BTR.5.02.0507.