

UDK 631.547.6.635.67

Promena ugljenohidratnog sastava zrna kukuruza šećerca (*Zea mays* L. *saccharata*) tokom razvoja endosperma

- Originalni naučni rad -

Jelena VIDENOVIĆ, Zorica PAJIĆ, Milica RADOSAVLJEVIĆ i Uroš ERIĆ
Institut za kukuruz "Zemun Polje", Beograd-Zemun

Izvod: Kukuruz šećerac se upotrebljava za ishranu ljudi u mlečnoj fazi razvoja zrna kada je ono nežno, sočno i slatko. U toj fazi dominantan šećer u endospermu je sahara koja daje slatkoću zrnu.

U ovom radu praćene su promene ugljenohidratnog sastava zrna dva genotipa kukuruza šećerca (ZPSC 311 *su* i ZPSC 450 *su*) po fazama zrenja (10, 15, 20, 23 i 28 dana posle oplodnje). Ugljenohidratni sastav zrna određivan je metodom visokopritisne hromatografije na koloni sa hemijski vezanom stacioniranom fazom tipa NH₂ i polarnom mobilnom fazom acetonitril-voda.

Dobijeni rezultati pokazuju da se ugljenohidratni sastav zrna menjao tokom procesa razvoja endosperma, tako što se smanjivao udeo fruktoze i glukoze, a istovremeno povećavao udeo sahara. Maksimalna vrednost sadržaja sahara utvrđena je u fazi 25 dana posle oplodnje, 77,00% i 89,81% za ZPSC 450 *su* i 78,38% i 77,92% za ZPSC 311 *su*, tokom 1999. i 2000. godine. Nakon toga odvijale su se suprotne promene.

Utvrđene su statistički značajne razlike u udelu pojedinih šećera po fazama zrenja, odnosno u zavisnosti od broja dana od oplodnje. Utvrđena je jaka korelativna veza između sadržaja glukoze i fruktoze, što ukazuje na to da se povećanjem sadržaja glukoze povećava i sadržaj fruktoze i obrnuto.

Negativne vrednosti korelacije ranga nađene su između sadržaja sahara i glukoze i sadržaja sahara i fruktoze, što znači da se povećanjem sadržaja sahara smanjuje sadržaj glukoze i fruktoze, i obrnuto.

Ključne reči: Fruktoza, glukoza, kukuruz šećerac, sahara.

Uvod

Iako se kukuruz šećeraca gaji na znatno manjim površinama od kukuruza standardnog kvaliteta zrna jedna je od najpopularnijih povrtarskih kultura. Koristi se za svežu upotrebu ili industrijsku preradu u mlečnoj fazi zrelosti, 18 do 23 dana nakon polinacije, kada je zrno nežno, sočno i slatko, tj. najkvalitetnije.

Kukuruz šećerac poseduje određene gene mutante, koji u recesivnom homozigotnom stanju daju kvalitet nezrelom zrnju, po kojima se ono razlikuje od kukuruza standardnog kvaliteta zrna. Ovi geni podeljeni su u dve klase. Geni prve klase utiču na nakupljanje 4 do 8 puta više ukupnih šećera u endospermu (*supersweet* tip) od kukuruza standardnog kvaliteta zrna, **Holder i sar.**, 1974. Šećerci koji poseduju gene druge klase imaju 2 do 3 puta više ukupnih šećera od kukuruza standardnog kvaliteta zrna.

Gen *sugary* (su) pripada drugoj klasi mutantnih gena, a hibridi sa ovim genom nazivaju se "normalni", "standardni" ili "*sugary*", **Dumanović i Pajić**, 1998. Ovaj gen je "odgovoran" za usporavanje ili sprečavanje konverzije šećera u skrob tokom razvoja endosperma, koja se dešava kod kukuruza standardnog kvaliteta zrna. Rezultat ovog procesa je nagomilavanje skoro duplo više polisaharida rastvorljivih u vodi, u endospermu nego kod običnog kukuruza, što kukuruza šećercu daje sladak ukus, **Pajić i sar.**, 1994. Od polisaharida u zrnju zastupljeni su šećer saharoza, koji je ujedno i dominantan, a zatim u manjem procentu šećeri fruktoza, glukoza i maltoza, **Cobb i Hannah**, 1981.

Za šećerce koji sadrže *su* gen, karakteristično je da visok kvalitet poseduju samo u vrlo kratkom vremenskom periodu koji se kreće od 20 do 25 dana od polinacije, zavisno od genotipa, a traje najčešće samo jedan dan. Posle ovog perioda dolazi do reverzibilnih procesa i smanjenja udela saharoze na račun polisaharida odnosno skroba, čime se smanjuje slatkoća i pogoršava kvalitet zrna. Ova osobina stvara velike probleme proizvođačima i prerađivačima kukuruza šećerca. Utvrđeno je da se 28 dana posle polinacije nivo saharoze može smanjiti čak i do 50% ili više u odnosu na fazu u kojoj je zrno imalo maksimalan kvalitet, **Creech**, 1965, pa je zbog ovoga berbu potrebno obaviti u veoma ograničenom vremenskom roku.

Materijal i metode

Ispitivanje sadržaja ugljenih hidrata vršeno je na uzorcima dva hibrida kukuruza šećerca ZPSC 311 *su* i ZPSC 450 *su*, tokom 1999. i 2000. godine, na oglednom polju u Zemun Polju i laboratoriji za tehnologiju Instituta za kukuruz "Zemun Polje". Hibrid ZPSC 311 *su* pripada FAO grupi 300, dok je hibrid ZPSC 450 *su* iz FAO grupe 400.

Sadržaj u vodi rastvorljivih polisaharida (WSP) je odlučujući za kremastu strukturu zrna kukuruza šećerca, a visok udeo saharoze u njemu je odgovoran za slatkoću zrna, **Pajić i sar.**, 1992. Iz tog razloga praćen je udeo prostih šećera fruktoze, glukoze i saharoze, po danima od oplodnje (10, 15, 20, 25 i 28).

Sadržaj šećera utvrđen je metodom visokopritisne hromatografije na koloni sa hemijski vezanom stacioniranom fazom tipa NH₂ i polarnom mobilnom fazom acetonitril-voda.

Dobijeni rezultati su obrađeni metodom analize varijanse, a korelacija ranga po Spearman-u, **Hadživuković**-u, 1973.

Rezultati i diskusija

Dobijeni rezultati pokazuju pravilnost u kretanju sadržaja šećera, kako za svaki analizirani hibrid tako i u obe posmatrane godine. Kod oba ispitivana hibrida sadržaj saharoze postepeno se povećavao tokom posmatranog perioda razvoja endosperma, i svoju maksimalnu vrednost dostigao u fazi 25 dana od oplodnje. Nakon ovog termina sadržaj saharoze je opadao, zbog početka reverzibilnih procesa (Tabele 1 i 2). Suprotan proces odigravao se u pogledu sadržaja glukoze i fruktoze. Njihova maksimalna koncentracija zabeležena je prvog ispitivanog termina tj. 10 dana nakon oplodnje. Udeo ovih šećera opadao je do 25. dana nakon oplodnje, kada je bio najmanji, a tada je utvrđena najveća koncentracije saharoze. U fazi 28 dana posle oplodnje, zapaženo je blago povećanje sadržaja fruktoze i glukoze, u svim posmatranim slučajima (Tabele 1 i 2).

Hibrid ZPSC 450 *su* pokazao je nešto višu koncentraciju saharoze (89,81%) u fazi 25 dana nakon oplodnje od hibrida ZPSC 311 *su*. Takođe, u ovoj ispitivanoj fazi, hibrid ZPSC 450 *su* imao je i niže koncentracije glukoze i fruktoze od drugog ispitivanog hibrida (Tabela 2).

Tabela 1. Promena sadržaja ugljenih hidrata u endospermu zrna hibrida ZPSC 311su tokom sazrevanja

Changes in Grain Carbohydrate Composition of the Hybrid ZPSC 311su during Maturatuion

Broj dana od oplodnje Days after pollination	Fruktoza (%)		Glukoza (%)		Saharoza (%)	
	Fructose content (%)		Glucose content (%)		Sucrose content (%)	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000
10	45,11	44,12	36,54	35,14	18,35	20,74
15	30,70	31,47	25,24	31,10	44,06	36,43
20	15,08	13,36	9,58	20,22	75,34	66,42
25	12,86	7,35	8,76	14,73	78,38	77,92
28	14,64	14,68	12,65	16,00	72,70	69,32

Tabela 2. Promena sadržaja ugljenih hidrata u endospermu zrna hibrida ZPSC 450su tokom sazrevanja

Changes in Grain Carbohydrate Composition of the Hybrid ZPSC 450su during Maturatuion

Broj dana od oplodnje Days after pollination	Fruktoza (%)		Glukoza (%)		Saharoza (%)	
	Fructose content (%)		Glucose content (%)		Sucrose content (%)	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000
10	31,15	36,95	45,70	24,15	23,15	38,90
15	22,60	11,71	33,98	17,55	43,42	70,72
20	14,10	19,87	19,98	5,75	65,92	74,36
25	9,81	5,45	13,19	4,72	77,00	89,81
28	11,98	16,81	15,45	13,72	72,57	69,43

Analiza varijanse za ispitivana svojstva, promene sadržaja ugljenih hidrata tokom sazrevanja endosperma zrna šećerca, pokazala je statistički vrlo značajnu razliku u pogledu udela pojedinih šećera u odnosu na broj dana od oplodnje (10, 15, 20, 25 i 28). Ovi rezultati su u saglasnosti sa istraživanjima *Pajić i sar.*, 1992. Između dva posmatrana hibrida, statistički značajna razlika javlja se samo u sadržaju fruktoze, dok između sadržaja šećera glukoze i saharoze razlike nije bilo (Tabela 3). Statistički značajne razlike nije bilo između dve posmatrane godine, kao ni u interakciji hibrid x broj dana od oplodnje.

Tabela 3. Analiza varijanse za sadržaj šećera
Analysis of Variance for Investigated Sugar Content

Izvori varijacije Sources of variation	d.f.	Sredina kvadrata - Mean squares		
		Fruktoza Fructose	Glukoza Glucose	Saharoza Sucrose
Godine - Years	1	1,991	67,712	92,708
Hibridi - (H) - Hybrids	1	120,099**	13,745	215,430
Br dana - (D) - No. of days	4	562,864**	449,784**	1994,040**
H x D	4	49,954	1,784	56,793
Greška - Error	9	14,451	60,049	67,128

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Određena je korelacija ranga za ispitivane šećere, kako za oba hibrida zajedno, tako i za svaki hibrid posebno (Tabela 4). Kao što je i očekivano, postoji vrlo visoka, ali ne i značajna pozitivna korelacija ranga između udela fruktoze i glukoze kako za oba hibrida zajedno, tako i kod oba hibrida posebno (0,9). To znači da je sa smanjenjem sadržaja fruktoze u endospermu tokom sazrevanja došlo i do opadanja sadržaja glukoze, i obratno.

Tabela 4. Korelacija ranga ispitivanih šećera
Rank Correlation among Investigated Sugars

Šećer Sugar	Hibrid ZPSC 311 su Hybrid ZPSC 311 su		Hibrid ZPSC 450 su Hybrid ZPSC 450 su		Prosečno za oba hibrida Means	
	Fruktoza Fructose	Glukoza - Glucose	Fruktoza Fructose	Glukoza Glucose	Fruktoza Fructose	Glukoza Glucose
	Glukoza - Glucose	0,9		0,9		0,9
Saharoza - Sucrose	- 0,9	- 1	- 1	- 0,9	- 1	- 1

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Vrlo visoka negativna korelacija ranga utvrđena je između udela fruktoze i saharoze, ali i udela glukoze i saharoze, kako prosečno za oba hibrida zajedno, tako i pojedinačno po hibridima (Tabela 4). Ovo potvrđuje i prethodne rezultate koji ukazuju da sa povećanjem udela saharoze dolazi do smanjenja sadržaja fruktoze i glukoze, sve do trenutka kad započinje reverzibilan proces, kada se udeo saharoze smanjuje a sadržaj druga dva šećera povećava.

Zaključak

Na osnovu obavljenih ispitivanja može se zaključiti sledeće:

Sadržaj u vodi rastvorljivih ugljenih hidrata kao što su fruktoza, glukoza i saharoza, veoma je značajan za kvalitet zrna kukuruza šećerca. Od navedenih šećera najveći značaj ima udeo saharoze, jer je upravo on odgovoran za slatkoću zrna. Sadržaj ovog šećera menja se tokom sazrevanja endosperma i nakon 25 dana od oplodnje dostiže svoj maksimum. Kratak period u kome je udeo saharoze najviši je odlučujući za organizovanje berbe kukuruza šećerca, jer nakon 25. dana udeo saharoze naglo opada, a time se gubi slatkoća i kvalitet zrna.

Utvrđeno je da je 25. dan od oplodnje bio prelomni trenutak i za promenu udela druga dva šećera, fruktoze i glukoze. Do ovog momenta udeo fruktoze i glukoze je opadao, a saharoze rastao. Nakon toga udeo saharoze se smanjivao, dok su sadržaji fruktoze i glukoze bili u porastu.

Analizom varijanse utvrđena je vrlo značajna statistička razlika između udela svakog posmatranog šećera i broja dana od oplodnje. Takođe je između posmatrana dva hibrida bilo vrlo značajne statističke razlike u pogledu sadržaja šećera fruktoze.

Visoka pozitivna korelacija ranga postojala je između udela fruktoze i glukoze, jer je njihov udeo paralelno i opadao do faze 25 dana od oplodnje, a zatim u sledećoj fazi rastao. Pošto je saharoza imala suprotnu tendenciju od sadržaja glukoze i fruktoze, javila se i vrlo visoka negativna korelacija ranga između udela fruktoze i saharoze, a takođe i između sadržaja glukoze i saharoze.

Literatura

- Cobb, B.G.** and **L.C. Hannah** (1981): The metabolism of sugars in maize endosperm. *Plant Physiol.* 67: 107.
- Creech, R.G.** (1965): Genetic control of carbohydrate synthesis in maize endosperm. *Genetics* 52: 1175-1186.
- Dumanović, J.** i **Z. Pajić** (1998): Specifični tipovi kukuruza, izd. Institut za kukuruz "Zemun Polje", Beograd.
- Hadživuković, S.** (1974): Statistički metodi, izd. Radnički univerzitet "Radivoj Ćirpanov", Novi Sad.
- Holder, D.G., D.V. Glover** and **J.C. Shannon** (1974): Interaction of shrunken-2 and sugary-1 dosage series in corn endosperm. *Crop Sci.* 14: 643-646.
- Pajić, Z., M. Babić** and **M. Radosavljević** (1992): Effect of environmental factors on changes in carbohydrate composition of sweet corn. *Genetika* 24 (1): 49-56
- Pajić, Z., M. Babić** and **M. Radosavljević** (1994): Effect of sucrose content on grain quality of sweet corn (*Zea mays L. saccharata*). *Genetika* 26 (2): 11-14.

Primljeno: 22.06.2003.

Odobreno: 10.07.2003.

Changes of Carbohydrate Composition of Sweet Maize (*Zea mays L. saccharata*) Grain during Endosperm Development

- Original scientific paper -

Jelena VIDENOVIĆ, Zorica PAJIĆ, Milica RADOSAVLJEVIĆ and Uroš ERIĆ
Maize Research Institute, Zemun Polje, Belgrade-Zemun

Summary

Sweet corn is consumed as human food in the milk stage of grain development when grain is tender, soft and sweet. Sucrose, a dominant sugar at this stage of the endosperm development, causes sweetness of grain.

The changes of grain carbohydrate composition of two genotypes (ZPSC 311 *su* and ZPSC 450 *su*) were monitored over stages of maturity (10, 15, 20, 23 and 28 days after pollination). This composition was determined by high pressure chromatography on the column with chemically bound stationary phase, type NH₂ and polar mobile phase of acetonitrile-water.

Carbohydrate composition of grain changed during the endosperm development in a way that the percentage share of fructose and glucose decreased, while the share of sucrose increased. The maximum value of a sucrose content on the 25th day after pollination amounted to 77.00% and 89.81% in ZPSC 450 *su* and 78.38% and 77.92% in ZPSC 311 *su*, in 1999 and 2000, respectively. Thereafter, opposite changes occurred.

Significant differences (of glucose, fructose) in the share of certain sugars over developmental stages in, were determined. A strong rank correlation between contents of glucose and fructose was detected indicating that the increased glucose content resulted in the increased fructose content and vice versa.

Negative values for rank correlation was determined between contents of sucrose and glucose and contents of sucrose and fructose indicating that the increase of the sucrose content leads to the decrease of glucose and fructose contents and vice versa.

Received: 22/06/2003

Accepted: 10/07/2003

Adresa autora:

Jelena VIDENOVIĆ
Institut za kukuruz "Zemun Polje"
Slobodana Bajića 1
11185 Beograd-Zemun
Srbija i Crna Gora
e-mail: jvidenovic@mrizp.co.yu