

BIOLOŠKI AKTIVNE KOMPONENTE KUKURUZA

Tatjana Dudaš, Marta Loc, Mladen Petreš, Dobrila Kovačević, Milica Meseldžija, Jozef Gašparovski, Mila Grahovac

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad

e-mail: tatjana.dudas@polj.edu.rs

Izvod

Biološki aktivne komponente kukuruza predstavljaju značajan segment njegove nutritivne i funkcionalne vrednosti, sa direktnim uticajem na zdravlje ljudi i životinja. Kukuruz, kao strateški važna kultura u Srbiji, koristi se u ishrani, industriji i proizvodnji biogoriva, dok njegovo zrno obiluje skrobom, proteinima, lipidima, vlaknima, vitaminima i mineralima. Iako je bogat energijom, kvalitet proteina je ograničen zbog niskog sadržaja lizina, što je predmet oplemenjivačkih programa. Poseban značaj imaju bioaktivne komponente nenutritivnog porekla, poput fenolnih jedinjenja, flavonoida i karotenoida, koje ispoljavaju antioksidativno, antikancerogeno i zaštitno dejstvo. Fenolne kiseline mogu inhibirati razvoj mikotoksigenih gljiva, dok karotenoidi doprinose očuvanju vida i kognitivnih funkcija. Takođe, rezistentni skrob i vlakna pozitivno utiču na digestivno zdravlje. Kukuruz predstavlja važan izvor funkcionalnih komponenti sa potencijalom za unapređenje ishrane i prevenciju bolesti.

Ključne reči: kukuruz, biološki aktivne komponente, ishrana, zdravlje

UVOD

Biološki aktivne supstance su supstance koje poseduju određenu biološku aktivnost. Biološki aktivna supstanca ima direktne fiziološke efekte na živi organizam, a ti efekti mogu biti kako pozitivni, tako i negativni (Walia i sar., 2019). Prema definiciji Američke asocijacije za ishranu (American Dietetic Association, ADA) biološki aktivne komponente hrane su fiziološki aktivni sastojci prehrambenih namirnica ili suplemenata biljnog ili životinjskog porekla, uključujući i nutritivne sastojke, koji dokazano pozitivno utiču na prevenciju bolesti i očuvanje zdravlja (ADA, 2004). Biološki aktivne komponente hrane mogu biti nutritivnog porekla (amino kiseline, ugljeni hidrati, masne kiseline, vitamini, minerali, biljna vlakna) i nenutritivnog porekla (polifenoli, flavonoidi, hlorofil, izotiocijanati, fitoestrogeni glikozidi, alkaloidi, steroli, karoteonoidi, i dr.) (Jašić, 2010).

U Srbiji se kukuruz tradicionalno uspešno gaji na velikim površinama i predstavlja strateški izvozni proizvod. Kukuruz se koristi za ishranu životinja od kojih dobijamo različite prehrambene proizvode: meso, mleko, jaja, čak i ribe i rakove. U direktnoj ljudskoj ishrani koriste se zrna, brašno, kao i različiti prerađeni proizvodi: sirupi, zaslađivači, alkoholna pića. Tokom poslednje decenije

intenzivnije je počeo da se koristi za proizvodnju biogoriva, naročito bioetanola (Garcia-Lara i Serna-Saldivar, 2019).

Zrno kukuruza sadrži 72% skroba, 10% proteina i 4% lipida (Nuss i Tanumihardjo, 2010). Prema Američkoj nacionalnoj bazi podataka nutrijenata (USDA National Nutrient Database, 2021), 100 g kukuruza prosečno sadrži 165 kcal. U proseku, 100 g kukuruza sadrži: 10,4 g vode; 9,4 g proteina; 4,7 g masti; 74,3 g polisaharida; 7,3 g vlakana; 1,2 g mineralnih materija. Kukuruz je bogat niacinom, vitaminom B-6, pantoteničnom kiselinom, tiaminom i riboflavinom.

UGLJENI HIDRATI U KUKURUZU

Skrob je najzastupljeniji u zrnu kukuruza, gde čini 61-78% suve materije, a najviše ga ima u endospermu (Watson, 2003). Različiti genotipovi kukuruza sadrže skrob sa različitim udelima amiloze i amilopektina. Takođe, neki genotipovi imaju smanjen sadržaj skroba usled nedostatka enzima potrebnih za biosintezu skroba. To je slučaj kod kukuruza šećerca koji ima smanjen sadržaj skroba, ali povećan sadržaj prostih šećera i fitoglikogena, što mu daje ugodan sladak ukus (Dinges i sar., 2001).

Sadržaj prostih šećera u kukuruzu varira od 1% do 3%, a najviše ih ima u klici. Od prostih šećera najzastupljenija je saharoza, dok maltoze, glukoze, fruktoze i rafinoze ima u tragovima (Nuss i Tanumihardjo, 2010).

PROTEINI U KUKURUZU

Zrno kukuruza u proseku sadrži 6-12% proteina, od kojih je većina locirana u endospermu, gde čine 7-10% suve materije i u klici gde čine 17-19% suve materije. Endosperm obično sadrži 70-79% ukupnih proteina zrna kukuruza (Watson, 2003). Kukuruz je važan izvor proteina u onim populacijama gde predstavlja osnovnu hranu, međutim, proteini prosečnog kukuruza su oskudnog kvaliteta, zbog niskog sadržaja lizina, esencijalne aminokiseline. Kukuruz sadrži oko 1% lizina, dok bi za optimalnu ljudsku ishranu bilo potrebno bar pet puta toliko (Young i sar., 1998). Oplemenjivači kukuruza radili su na poboljšanju kvaliteta proteina u kukuruzu, te su razvijeni mutanti kukuruza opaque-2 (o2) i floury-2 (fl2), sa povećanim sadržajem lizina. Međutim, mek endosperm i nizak prinos ovih mutanata onemogućili su njihovu komercijalnu upotrebu, ali su oni poslužili kao polazna tačka za razvoj različitih varijeteta kukuruza sa visokokvalitetnim proteinima koji su danas dostupni širom sveta (Prasanna i sar., 2001; Gibbon i Larkins, 2005).

MASTI U KUKURUZU

Sadržaj masti u kukuruzu se kreće od 3 do 6% suve materije, a najviše ih ima u klici. (Watson, 2003). Trigliceridi iz ulja kukuruza sadrže visok nivo (oko 60%)

linolne kiseline, koja je esencijalna polinezasićena masna kiselina (White i Weber, 2003). Iako je sadržaj masti u zrnu kukuruza relativno nizak, kukuruzno ulje se promovise kao superiorni proizvod baš zbog sadržaja linolne kiseline koja je „zdrava za srce” (Nuss i Tanumihardjo, 2010). Pored linolne masne kiseline, u kukuruzu se mogu naći oleinska i palmitinska masna kiselina, u zavisnosti od genotipa i uslova gajenja. U egzotičnim divljim rasama kukuruza pronađen je širok spektar različitih masnih kiselina, što je iskorišćeno u oplemenjivanju, pri stvaranju hibrida kukuruza za proizvodnju zdravog ulja (Ortiz-Islas i sar., 2019).

SIROVA BILJNA VLAKNA U KUKURUZU

Vlakna su, uglavnom, sastavni delovi biljnih ćelija, koji se ne vare u tankom crevu kada se unesu u organizam putem hrane, dok se u debelom crevu samo delomično razgrađuju dejstvom bakterija (Jašić, 2010). U zrnu kukuruza se nalaze uglavnom u perikarpu, ali su prisutna i u endospermu i klicinom zidu. Perikarp sadrži 67% hemiceluloze, 23% celuloze i 0,1 % lignina (Burge i Duensing, 1989). Vlakna čine oko 7% ukupnog sastava zrna kukuruza, ali se njihov sadržaj drastično smanjuje prilikom prerade (uklanjanja omotača zrna), stoga se preporučuje upotreba proizvoda od celog zrna kukuruza (USDA National Nutritional Database, 2021). U vlakna spada i rezistentni skrob, ugljeni hidrat koji nije potpuno svarljiv, a prema strukturi, poreklu i osobinama razlikujemo pet tipova rezistentnog skroba. U kukuruzu su prisutni: rezistentni skrob tip 1 koji je nesvarljiv zbog fizičkih osobina, tip 2, granulirane neželatinozne strukture koji α -amilaza ne razgrađuje dok ne pređe u želatinozno stanje i tip 3 koji nastaje usled zagrevanja i hlađenja tokom prerade namirnica, a njegovo stvaranje zavisi od odnosa amiloze i amilopektina u skrobu (Palacios-Rojas i sar., 2020). Rezistentni skrob povoljno utiče na probavu, nivo šećera i holesterola u krvi (Siyuan i sar., 2018).

MINERALI U KUKURUZU

Sadržaj mineralnih materija u kukuruzu u najvećoj meri zavisi od agroekoloških uslova gajenja. Najviše mineralnih materija u zrnu kukuruza prisutno je u klici, skoro 80%. Tri hemijska elementa čine skoro 85% mineralnih materija u kukuruzu, a to su: fosfor (u vidu fitata), kalijum i magnezijum (USDA National Nutrient Database, 2021). Na četvrtom mestu je sumpor, koji je uglavnom prisutan unutar metionina i cisteina. Nivo kalcijuma i gvožđa je zanemarljiv i ovi elementi obično nisu biopristupačni usled prisustva fitata (Nuss i Tanumihardjo, 2010). Najviše cinka ima u endospermu, a njegov sadržaj je u proseku oko 20 $\mu\text{g/g}$ kukuruza. Pošto je nedostatak cinka prisutan kod 17% svetske populacije, značajan napor se ulaže u stvaranje hibrida kukuruza sa povećanim sadržajem cinka, ili hibrida sa smanjenim sadržajem fitata, što bi povećalo biodostupnost cinka (Prasanna i sar., 2020).

FENOLI U KUKURUZU

Fenoli su hemijska jedinjenja koja u strukturi imaju jedan ili više aromatičnih prstenova sa jednom ili više hidroksilnih grupa. U kukuruzu su u najvećoj meri prisutne fenolne kiseline i flavonoidi (Liu, 2013).

Fenolne kiseline koje su prisutne u kukuruzu, kao što su trans-cinaminska kiselina i ferulinska kiselina, imaju toksično delovanje na mikotoksigene gljive kukuruza, *Aspergillus flavus* i *A. parasiticus* (Siyuan i sar., 2018). Ferulinska kiselina ima dokazano antiupalno i antikancerogeno dejstvo, a povoljno deluje i na nivo šećera u krvi. Takođe, ferulinska kiselina ima i neuroprotektivno dejstvo (Mancuso i Santangelo, 2014). Fenolne kiseline su u zrnu kukuruza u najvećoj meri vezane za celulozu, lignin ili proteine i njihova antioksidantna aktivnost se povećava do 44% usled prerade (zagrevanja, pasterizacije, fermentacije) (Dewanto i sar., 2002).

Flavonoidi smanjuju rizik od pojave hroničnih oboljenja kao što su kardiovaskularni poremećaji, dijabetes i rak (Liu, 2004). Antocijani su jedna od najznačajnijih klasa flavonoida koji se mogu naći u kukuruzu i oni mu daju ružičastu do ljubičastu boju u zavisnosti od pH vrednosti i koncentracije. Boja zrna ukazuje na sadržaj antocijana: najviše ih ima u varijetetima crvenkastoružičaste boje (141,7 mg antocijana na 100 g kukuruznog brašna) (Moreno i sar., 2005). Perikarp sadrži najviše antocijana (do 50%), dok aleuronski sloj sadrži manju količinu (Luna-Vital i sar., 2017).

KAROTENOIDI U KUKURUZU

Karotenoidi su prirodni pigmenti žute, narandžaste i crvene boje. Najpoznatije su njihove uloge antioksidanasa i provitamina A (Liu, 2013). Deluju preventivno na razvoj hroničnih oboljenja i kancera (Siyuan i sar., 2018). Karotenoidi se dele u dve klase: karoteni i ksantofili. U kukuruzu se mogu naći α -karoten, β -karoten i β -kriptoksantin koji su prekursori vitamina A. Oplemenjivanjem kukuruza stvoren je narandžasti biofortifikovani kukuruz koji sadrži više karotenoida provitamina A i koji je upotrebom u Zambiji doprineo zadovoljenju dnevnih potreba za vitaminom A kod dece (Gannon i sar., 2014). Kukuruz sadrži i lutein i zeaksantin, koji se selektivno nakupljaju u oku u regionu žute mrlje, gde sprečavaju oksidativni stres i oštećenja koja izaziva svetlost kratkih talasnih dužina, stoga pozitivno deluju na sprečavanje degeneracije oka i očuvanje vida. Osim u oku, zeaksantin je pronađen i u mozgu čoveka, gde pozitivno deluje na kognitivne funkcije, i u koži, gde pomaže u zaštiti od UV zračenja. Zrno kukuruza prosečno sadrži 15,54 $\mu\text{g/g}$ luteina, 5,84 $\mu\text{g/g}$ zeaksantina i 0,54 $\mu\text{g/g}$ kriptoksantina (Murillo i sar., 2019).

VITAMIN E U KUKURUZU

Vitamin E predstavlja smešu osam izomera koji se prema strukturi dele u dve grupe: tokoferole i tokotrienole. Značajan je kao lipofilni antioksidans, pojačava imuni sistem i čuva DNK od oštećenja (Siyuan i sar., 2018). Takođe, pomaže u prevenciji Alchajmerove bolesti, neuroloških poremećaja, raka i katarakte. Ukupan sadržaj vitamina E u zrnu žutog kukuruza je 66,9 mg/kg suve materije, a najviše ga ima u klici, oko 95 odsto. Das i sar. (2021) su razvili nove visokorodne hibride kukuruza koji pored povećanog sadržaja vitamina E imaju visok sadržaj vitamina A, lizina i triptofana, što predstavlja mogućnost za rešavanje problema nehranjenosti na holistički i održiv način.

FITOSTEROLI U KUKURUZU

Fitosteroli su biljni steroli, slične strukture kao holesterol. Kukuruzno ulje je bogato fitosterolima, prosečan sadržaj je od 5,13 do 9,79 g/kg. U ukupnom sadržaju fitosterola, najzastupljeniji je sitosterol (77-87% ukupnog sadržaja), zatim sledi kampestanol (13-23%), dok je stigmasterol detektovan u tragovima (Harrabi i sar., 2008).

LITERATURA

- American Dietetic Association (2004): Comments on defining bioactive food components.
- Burge, R. M., Duensing, W. J. (1989). Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran, *Cereal Foods World*. 34: 535–8.
- Das, A. K., Gowda, M. M., Muthusamy, V., Zunjare, R. U., Chauhan, H. S., Baveja, A., Bhatt, V., Chand, G., Bhat, J. S., Guleria, S. K., Saha, S., Gupta, H. S., Hossain, F. (2021). Development of maize hybrids with enhanced vitamin-E, vitamin-A, lysine, and tryptophan through molecular breeding, *Frontiers in Plant Science*. 12: 1427
- Dewanto, V., Wu X. Z., Liu, R. H. (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity, *J. Agric. Food Chem*. 50: 4959–4964.
- Dinges, J. R., Colleoni, C., Myers, A. M., James, M. G. (2001). Molecular structure of 3 mutations at the maize sugary1 locus and their allele-specific phenotypic effects, *Plant Physiol*. 125 (3): 1406–18.
- Gannon, B. M., Kaliwile, C., Arscott, S., Schmaelzle, S., Chileshe, J., Kalungwana, N., Mosonda, M., Pixley K., Masi, C., Tanumihardjo, S. A. (2014). Biofortified orange maize is as efficacious as a vitamin A supplement in Zambian children even in the presence of high liver reserves of vitamin A: A community-based, randomized placebo-controlled trial, *American Journal of Clinical Nutrition*, 100 (6): 1541–1550.

- García-Lara, S., Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn history and culture, in Corn. Chemistry and Technology, 3rd ed., S. O. Serna-Saldivar, Ed. Oxford, UK: AACC International Press.
- Gibbon, B. C., Larkins, B. A. (2005). Molecular genetic approaches to developing quality protein maize, *Trends Genet.* 21 (4): 227–33.
- Harrabi, S., St-Amand, A., Sakouhi, F., Sebei, K., Kallel, H., Mayer, P. M., Boukhchina, S. (2008). Phytosterols and phytosterols distributions in corn kernel, *Food Chem.* 111: 115–120.
- Jašić, M. (2010). Uvod u biološki aktivne komponente hrane. Univerzitet u Tuzli, Tehnološki fakultet, Tuzla.
- Liu, R. H. (2004). Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action, *J. Nutr.* 134: 3479–3485.
- Liu, R.H. (2013): Dietary bioactive compounds and their health implications, *J. Food Sci.* 78: 18–25.
- Luna-Vital, D., Li, Q., West, L., West, M., de Mejia, E. G. (2017). Anthocyanin condensed forms do not affect color or chemical stability of purple corn pericarp extracts stored under different pHs, *Food Chem.* 232: 639–647.
- Mancuso, C., Santangelo, R. (2014). Ferulic acid: Pharmacological and toxicological aspects, *Food and chemical Toxicology.* 65: 185-195.
- Moreno, Y. S., Sanchez, G. S., Hernandez, D. R., Lobato, N. R. (2005). Characterization of anthocyanin extracts from maize kernels, *J. Chromatogr. Sci.* 43: 483–487.
- Murillo, A. G., Hu, S., Fernandez, M. L. (2019). Zeaxanthin: metabolism, properties, and antioxidant protection of eyes, heart, liver, and skin, *Antioxidants (Basel, Switzerland).* 8 (9): 390.
- Nuss, E. T., Tanumihardjo, S. A. (2010). Maize: a paramount staple crop in the context of global nutrition, *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9 (4): 417-436.
- Ortiz-Islas, S., Garcia-Lara, S., Preciado-Ortiz, R. E., Serna-Saldivar, S. O. (2019). Fatty acid composition and proximate analysis of improved high-oil corn double haploid hybrids adapted to subtropical areas, *Cereal Chemistry.* 96: 182–192.
- Palacios-Rojas, N., McCulley, L., Kaeppler, M., Titcomb, T. J., Gunaratna, N. S., Lopez-Ridaura, S., Tanumihardjo, S. A. (2020). Mining maize diversity and improving its nutritional aspects within agro-food systems, *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2020; 19: 1809– 1834.
- Prasanna, B. M., Palacios-Rojas, N., Hossain, F., Muthusamy, V., Menkir, A., Dhliwayo, T., Ndhlela, T., San Vicente, F., Nair, S. K., Vivek, B. S., Zhang, X., Olsen, M., Fan, X. (2020). Molecular breeding for nutritionally enriched maize: status and prospects, *Frontiers in Genetics.* 10: 1392.
- Prasanna, B. M., Vasal, S. K., Kassahun, B., Singh, N. N. (2001). Quality protein maize, *Curr Sci.* 81 (10): 1308–1319.

- Siyuan, S., Tong, L., Liu, R. H. (2018). Corn Phytochemicals and Their Health Benefits, Food Science and Human Wellness.
- USDA - United States Department of Agriculture. 2021. National nutrient database for standard reference. Dostupno na: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/> . Pristupljeno: Avgust, 2024.
- Walia, A., Gupta, A. K., Sharma, V. (2019). Role of bioactive compounds in human health, Acta Scientific Medical Sciences. 3 (9): 25-33.
- Watson, S. A. (2003). Description, development, structure, and composition of the corn kernel. pp. 69–106.
- White, P. J., Weber, E. J. (2003). Lipids of the kernel. pp 355–406. In: White, P. J., Johnson, L. A., editors. Corn: chemistry and technology. 2nd ed. St. Paul, MN: American Association Of Cereal Chemists, Inc.
- Young, V. R., Scrimshaw, N. S., Pellett, P. L. (1998). Significance of dietary protein source in human nutrition: animal or plant proteins? pp 205–221.

Abstract

BIOACTIVE COMPUNDS IN MAIZE

Tatjana Dudaš, Marta Loc, Mladen Petreš, Dobrila Kovačević, Milica Meseldžija, Jozef Gašparovski, Mila Grahovac
 Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad
 e-mail: tatjana.dudas@polj.edu.rs

Bioactive components of maize represent an important part of its nutritional and functional value, with a direct impact on human and animal health. Maize, as a strategically important crop in Serbia, is widely used in nutrition, industry, and biofuel production, while its grain is rich in starch, proteins, lipids, dietary fiber, vitamins, and minerals. Although it is energy-dense, the protein quality is limited due to a low lysine content, which has been a target of breeding programs. Particular importance is attributed to non-nutritive bioactive compounds such as phenolic compounds, flavonoids, and carotenoids, which exhibit antioxidant, anticancer, and protective effects. Phenolic acids can inhibit the development of mycotoxigenic fungi, while carotenoids contribute to the maintenance of vision and cognitive functions. Additionally, resistant starch and dietary fiber positively affect digestive health. Overall, maize represents an important source of functional components with significant potential for improving nutrition and preventing disease.

Key words: maize, bioactive compounds, nutrition, health