

UTICAJ HIBRIDA KUKURUZA NA PRINOS BIOETANOLA I KVALITET SUVE KUKURUZNE DŽIBRE

Valentina Semenčenko¹, Milica Radosavljević¹, Dušanka Terzić¹
Marija Milašinović – Šeremešić¹, Ljiljana Mojović²,
Snežana Mladenović Drinić¹

Izvod

Kukuruz (*Zea mays L.*) je jedna od najznačajnijih ratarskih biljaka koja se svrstava u veoma važne obnovljive ugljenohidratne sirovone za proizvodnju energije i mnogobrojnih proizvoda različite namene. Bioetanol je biogorivo koje se najviše koristi kao zamena za fosilna goriva. Trend proizvodnje ovog goriva je rastući, a kukuruz zahvaljujući visokom sadržaju skroba u zrnu, predstavlja jednu od najboljih obnovljivih sirovina za njegovu proizvodnju. Suva kukuruzna džibra je najznačajniji sporedni proizvod dobijanja bioetanol iz kukuruza. Zahvaljujući visokoj hranljivoj vrednosti, sadržaju proteina i drugih hranljivih materija, predstavlja kvalitetno hranivo koje može naći primenu kao komponenta u smešama za ishranu životinja.

U cilju ispitivanja uticaja hibrida kukuruza na kvalitet zrna, fermentaciona svojstva, prinos bioetanol i kvalitet suve kukuruzne džibre korišćeno je zrno pet hibrida kukuruza stvorenih u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“. Najnižu koncentraciju bioetanol u fermentacionom medijumu nakon 44h alkoholnog vrenja (8,64 % w/w) ostvario je hibrid ZP 560 a najvišu ZP 600 (9,10 % w/w). U odnosu na maksimalni teorijski prinos najviši je imao hibrid ZP 606 (93,59%), a najniži ZP 505 (87,33%). Najveća *in vitro* svarljivost suve materije kukuruzne džibre određena je u uzorku dobijenom od hibrida ZP 505 (82,41%), a najniža (77,12%) u uzorku džibre hibrida ZP 606. Hemijski sastav i fizičke karakteristike zrna, kao i drugi parametri procesa proizvodnje uticali su na prinos bioetanol.

Ključne reči: hibridi kukuruza, bioetanol, suva kukuruzna džibra.

Originalan naučni rad (Original scientific paper)

1 Semenčenko V., Radosavljević M., Terzić D., Milašinović-Šeremešić M., Mladenović Drinić S., Institut za kukuruz
Zemun Polje, S. Bajiča 1, 11185 Beograd

2 Mojović Lj., Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11000 Beograd
e-mail: valentinass@mrizp.rs

Uvod

Kukuruz (*Zea mays L.*) je jedno od najznačajnijih žita, a svrstava se i u veomavažneobnovljiveugljenohidratne sirovone za proizvodnju energije i mnogobrojnih proizvoda različite namene (Radosavljević i sar., 2010). Kako po rasprostranjenosti gajenja, tako i po proizvedenim količinama, kukuruz je najznačajnija ratarska biljka u Srbiji (Terzić i sar., 2012). Bioetanol je biogorivo koje se najviše koristi kao zamena za fosilna goriva. Trend proizvodnje ovog goriva je rastući, a kukuruz zahvaljujući visokom sadržaju skroba u zrnu predstavlja jednu od najboljih obnovljivih sirovina za njegovu proizvodnju (Semenčenko, 2013). Svetska proizvodnja bioetanola 2014. godine iznosila je 90 miliona tona (Renewable Fuels Association, 2015). Na svaki litar bioetanola proizvedenog od zrna kukuruza nastaje oko 0,89 kg suve kukuruzne džibre. Ovaj sporedni proizvod industrije bioetanola predstavlja odličan izvor proteina i energije pa se zbog toga najčešće koristi kao komponenta smeša za ishranu domaćih životinja. Prihod od prodaje suve kukuruzne džibre mogao bi da ima pozitivan uticaj na ekonomsku isplativost proizvodnje bioetanola postupkom suvog mlevenja s obzirom da se ovim procesom jedna trećina kukuruznog zrna prevodi u

suvu džibru (Semenčenko i sar., 2014). Danas u Srbiji ne postoji organizovana proizvodnja i potrošnja bioetanola kao motornog goriva. Proizvodnja etanola se odvija u deset postrojenja ukupnog kapaciteta 40 miliona litara apsolutnog etanola (fabrike koje prerađuju skrob i šećernu repu, pivare i fabrike drugih alkoholnih vrenja) (Mojović i sar., 2007). Srbija je usvojila Direktivu Evropske komisije 2009/28/EC, kojom je utvrđeno promovisanje korišćenja energije iz obnovljivih izvora, i ona je ugrađena u Akcioni plan za biomasu koji je usvojen 2010. godine (Akcioni plan za biomasu, 2010).

Hibridi kukuruza stvoreni u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“ predstavljaju jedinstven polazni materijal za istraživanja mogućnosti proizvodnje bioetanola, skroba i hrane za ljude i životinje.

Cilj ovog istraživanja bio je da se ispita uticaj hibrida kukuruza na kvalitet zrna, fermentaciona svojstva, prinos bioetanola i kvalitet suve kukuruzne džibre kao sporednog proizvoda. U istraživanju je korišćeno zrno pet odabranih hibrida kukuruza stvorenih u Institutu za kukuruz „Zemun Polje“.

Materijal i metode

Odabrani genotipovi kukuruza gajeni su na oglednim parcelama Instituta za kukuruz „Zemun Polje“, u Zemun Polju, po sistemu potpuno slučajnog plana u dva ponavljanja na parcelama površine 21m², u istim agrotehničkim uslovima. Na

uzorcima odabranih hibrida kukuruza ispitivane su fizičke karakteristike zrna (hektolitarska i apsolutna masa, gustina, indeks flotacije i apsorpcije vode, otpornost na mlevenje, udeo tvrde i meke frakcije endosperma), kao i hemijski sastav zrna (sadržaj skroba, proteina, ulja, celuloze i pepela). Navedene metode su detaljno opisane u ranije objavljenom radu (Radosavljević i sar, 2001) U cilju određivanja fermentativnih svojstava komercijalnih ZP hibrida kukuruza, odnosno njihove podobnosti za proizvodnju alternativnog goriva - bioetanola, vršena je odvojena hidroliza skroba i fermentacija na uzorcima brašna celog zrna pet hibrida kukuruza. Ovi eksperimenti su, uz modifikaciju vremena trajanja fermentacije uzoraka (44h), vršeni po metodi detaljno opisanoj u radu Semenčenko i sar.

(2013).

Uzorci ukupne džibre su nakon završene fermentacija profiltrirani kroz kvalitativni filter papir i zatim sušeni u ventilacionoj sušnici ($t=60^{\circ}\text{C}$; 48h), usitnjeni u avanu i samleveni u laboratorijskom mlinu sa rotirajućim sečivom i rashladnom komorom. Sadržaj suve materije određen je standardnom metodom sušenja na 105°C do konstantne mase. Sadržaj proteina određen je metodom za određivanje ukupnog azota po Kjeldhalu, množenjem sa 6,25. *In vitro* svarljivost suve materije uzoraka suve kukuruzne džibre određena je metodom po Aufrere (2006).

Rezultati i diskusija

U tabeli 1 prikazane su fizičke karakteristike zrna ispitivanih ZP hibrida kukuruza.

Masa 1000 zrna ili apsolutna masa, kao

Tabela 1. Fizičke karakteristike zrna ZP hibrida kukuruza
Table 1. Kernel physical properties of ZP maize hybrids

Hibrid/Hybrid	AM	HM	G	IF	OM	TF	MF	IAV
ZP 444	254,64	775,63	1,25	61,34	10,77	57,32	42,68	0,246
ZP 505	270,91	816,50	1,30	16,10	10,13	60,06	39,94	0,260
ZP 560	299,38	780,77	1,28	47,10	10,13	57,56	42,44	0,249
ZP 600	333,19	763,47	1,26	69,49	8,80	56,35	43,65	0,233
ZP 606	318,16	768,82	1,26	81,47	9,07	56,00	44,00	0,251
Min	254,64	763,47	1,25	16,10	8,80	56,00	39,94	0,233
Max	333,19	816,50	1,30	81,47	10,77	60,06	44,00	0,26
Prosek	295,26	781,04	1,27	55,10	9,78	57,46	42,54	0,25
SD	32,49	20,89	0,02	25,13	0,82	1,59	1,59	0,01

*AM–apsolutna masa, (g)/ 1000-kernel weight, (g); HM–hektolitarska masa, ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)/test weight, ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$); G–gustina, ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)/density, ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); IF–indeks flotacije (%) / flotation index (%); OM–otpornost na mlevenje, (s)/milling response, (s); TF–tvrda frakcija, (%) / hard endosperm, (%); MF–meke frakcija, (%) / soft endosperm, (%); IAV– indeks apsorpcije vode / water absorption index.

važan fizički pokazatelj kvaliteta zrna, kretala se u rasponu od 254,64 g (ZP 444) do 333,19 g (ZP 600). Kod ispitivanih ZP genotipova hektolitarska ili zapreminska masa, najstariji standardni i lako merljivi pokazatelj kvaliteta kukuruznog zrna, kretala se u rasponu od 763,47 kg·m⁻³ (ZP 600) do najviše 816,50 kg·m⁻³ (ZP 505). Gustina zrna ispitivanih hibrida varirala je od 1,25 g·cm⁻³ kod genotipa ZP 444 do 1,30 g·cm⁻³ kod genotipa ZP 505. Na smanjenje gustine endosperma, a samim tim i gustine celog zrna, utiče mala zbijenost skrobnih granula i postojanje međuprostora. Otpornost na mlevenje i udeo tvrde i meke frakcije endosperma predstavljaju parametre tvrdoće zrna koji posmatrano sa aspekta

primene kukuruza u industriji, a posebno u skrobarskoj preradi, predstavljaju njegovo najbitnije fizičko svojstvo. Tvrdoća i čvrstina zrna su tesno povezane sa odnosom tvrdog (staklastog, rožnatog) i mekog (brašnog) endosperma (Milašinović, 2005). Udeo tvrde i meke frakcije u zrnu zavisi od genotipa i uslova sredine. Rezultati otpornosti na mlevenje dobijeni u ovim ispitivanjima kretali su se od 8,80 s za hibrid ZP 600 do 10,77 s za hibrid ZP 444. Udeo tvrde frakcije kretao se u rasponu od 56,00% (ZP 606) do 60,06% (ZP 505), a meke od 39,94% (ZP 505) do 44,00% (ZP 606).

U tabeli 2 prikazana je struktura zrna ispitivanih ZP hibrida kukuruza.

Tabela 2. Struktura zrna ZP hibrida kukuruza
Table 2. Kernel structure of ZP maize hybrids

Hibrid	Perikarp (%)	Klica (%)	Endosperm (%)
ZP 444	6,15	12,49	81,36
ZP 505	6,13	12,10	81,77
ZP 560	6,45	12,38	81,17
ZP 600	5,07	11,26	83,67
ZP 606	6,07	11,78	82,15
Min	5,07	11,26	81,17
Max	6,45	12,49	83,67
Prosek	5,97	12,00	82,02
SD	0,53	0,50	0,99

Analize strukture zrna urađene ručnom disekcijom pokazale su da se zrno u fazi fiziološke zrelosti ispitivanih genotipova sastoji od 5,07% (ZP 600) do 6,45% (ZP 560) omotača (perikarpa), od 11,26% (ZP 600) do 12,49% (ZP 444) klice i od 81,17% (ZP 560)

do 83,67% (ZP 600) endosperma.

Rezultati ispitivanja hemijskog sastava zrna odabranih ZP genotipova kukuruza prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Hemijski sastav zrna ZP hibrida kukuruza
 Table 3. Kernel chemical composition of ZP maize hybrids

Hibrid	Skrob (%)	Proteini (%)	Ulje (%)	Celuloza (%)	Pepeo (%)
ZP 444	69,90	8,59	5,13	2,13	1,09
ZP 505	71,76	8,45	6,12	2,15	1,09
ZP 560	69,53	8,38	5,83	2,37	1,10
ZP 600	69,08	8,59	6,45	1,74	1,02
ZP 606	67,86	8,10	5,54	1,89	1,02
Min	67,86	8,10	5,13	1,74	1,02
Max	71,76	8,59	6,45	2,37	1,10
Prosek	69,63	8,42	5,81	2,06	1,06
SD	1,42	0,20	0,51	0,25	0,04

Sadržaj skroba bio je najniži kod hibrida ZP 606 (67,86%) a najviši kod ZP 505 (71,76%). Sadržaj proteina u zrnu kretao se od 8,10% (ZP 606) do 8,59% (ZP 600). Sadržaj celuloze se kretao u rasponu od 1,74 (ZP 600) do 2,37% (ZP 560), a pepela od 1,02 (ZP 600) do 1,10% (ZP 560).

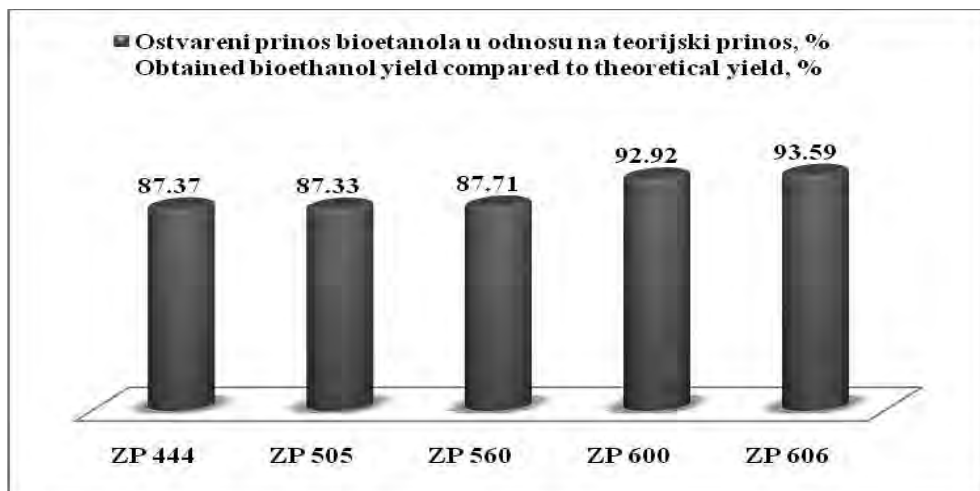
Rezultati fizičkih karakteristika i hemijskog sastava zrna ZP hibrida kukuruza

u skladu su sa ranije objavljenim rezultatima istraživanja (Radosavljević i sar., 2009, 2008).

Teorijska, ostvarena koncentracija, prinos po gramu brašna i volumetrijska produktivnost bioetanola prikazani su u tabeli 4, dok je ostvareni prinos bioetanola iz zrna hibrida kukuruza u odnosu na teorijski prinos predstavljen na slici 1.

Tabela 4. Teorijska, ostvarena koncentracija, prinos po gramu brašna i volumetrijska produktivnost bioetanola
 Table 4. Theoretical, obtained concentration, bioethanol yield per gram of flour and volumetric productivity

Hibrid	Teorijska koncentracija etanola (%)	Koncentracija etanola (%)	Prinos etanola (g·g ⁻¹)	Volumetrijska produktivnost (g l ⁻¹ h ⁻¹)
ZP 444	9,90	8,65	0,495	1,97
ZP 505	10,16	8,80	0,490	2,00
ZP 560	9,85	8,64	0,497	1,96
ZP 600	9,79	9,10	0,527	2,07
ZP 606	9,61	9,00	0,530	2,05
Min	9,61	8,64	0,49	1,96
Max	10,16	9,1	0,53	2,07
Prosek	9,86	8,84	0,51	2,01
SD	0,20	0,21	0,02	0,05



Grafik 1. Ostvareni prinos bioetanol iz zrna hibrida kukuruza u odnosu na teorijski prinos, izražen u %
 Graph 1. Obtained bioethanol yield from maize hybrid grain compared to theoretical yield, in %

Hibrid ZP 600 ostvario je najvišu koncentraciju bioetanol u profermentisanom medijumu (9,10%) i najvišu volumetrijsku produktivnost ($2,05 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), dok je najviši prinos u odnosu na teorijski (93,59%) kao i najviši prinos bioetanol po gramu supstrata ($0,530 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$) ostvario hibrid ZP 606 (Tab. 4, Graf. 1). S obzirom da je skrob iz zrna kukuruza, koji se prvo hidrolizuje, a zatim u procesu fermentacije prevodi u bioetanol, najznačajnija komponenta u proizvodnji bioetanol, opravdano bi bilo očekivati da sadržaj skroba određuje prinos bioetanol. Izvestan broj istraživača (Dien i sar., 2002; Haefele i sar., 2004; Singh i sar., 2005) objavio je rezultate ispitivanja uticaja odabira hibrida kukuruza u laboratorijskim postupcima (~ 300 ml zapremine) i zaključili da prinosi bioetanol nisu zavisili isključivo od sadržaja skroba. Iz navedenog proizlazi da veza između prinosa bioetanol i sadržaja skroba nije sasvim

pouzdana tako da koncentracija skroba ne može biti jedini parametar kojim bi se mogao predvideti prinos bioetanol. Iako su hibridi ZP 505, ZP 444 i ZP 560 imali viši sadržaj skroba (71,76; 69,90 i 69,53%, respektivno, tabela 3) u poređenju sa hibridima ZP 600 (69,08%) i ZP 606 (67,86%), poslednja dva hibrida su ostvarila veće prinose bioetanol. U skladu sa ovim rezultatima, kao i upoređivanjem sa rezultatima istraživanja ranije sprovedenih na ZP hibridima kukuruza (Radosavljević i sar., 2009, Semenčenko i sar., 2013) može se zaključiti da sadržaj skroba u zrnju kukuruza nije jedini faktor koji utiče na prinos bioetanol.

Hibridi ZP 600 i ZP 606 imali su veći udeo mekog endosperma u zrnju (43,65 i 44,00%, respektivno), što je uslovalo i manju otpornost na mlevenje u odnosu na hibride ZP 444, ZP 505 i ZP 560 (Tab. 1). Brojna istraživanja su pokazala da je odnos tvrdog i mekog endosperma u zrnju jedan od najvažnijih faktora koji utiču na prinos

bioetanola (Radosavljević i sar., 2009, Wang i sar., 2010, Semenčenko i sar., 2013). Prema tumačenju Wanga i sar. (2010), površina mekog endosperma je poroznija u poređenju sa površinom tvrdog endosperma. Veća dodirna površina skrobnih granula mekog endosperma omogućava lakšu enzimsku hidrolizu. Istraživanje koje su sproveli Wang i sar. (2010), pokazalo je da veći udeo mekog endosperma omogućava lakšu razgradnju skrobnih granula tokom enzimske hidrolize, što dovodi do višeg prinosa bioetanola. Hibrid ZP 560 sa najvišim udjelom tvrdog endosperma (60,06%, Tab. 1) i najvećom gustinom zrna ($1,30 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, Tab. 1) ostvario je najniži prinos bioetanola u odnosu na teorijski prinos nakon 44h fermentacije (87,33%, Graf. 1). Rezultati prikazani u ovom radu u skladu su sa ranije objavljenim rezultatima ispitivanja podobnosti većeg broja ZP hibrida kukuruza za proizvodnju bioetanola (Semenčenko, 2013) gde je uočena značajna negativna korelacija između ostvarenog prinosa etanola u odnosu na teorijski i sadržaja tvrde frakcije endosperma ($r = -0,82$), odnosno veoma značajna pozitivna korelacija između ostvarenog prinosa etanola u odnosu na teorijski i sadržaja meke frakcije endosperma

u zrnu ($r = 0,82$). U istom istraživanju utvrđena je i značajna negativna korelacija između otpornosti na mlevenje i sadržaja etanola ($r = -0,41$) kao i između otpornosti na mlevenje i volumetrijske produktivnosti ($r = -0,45$).

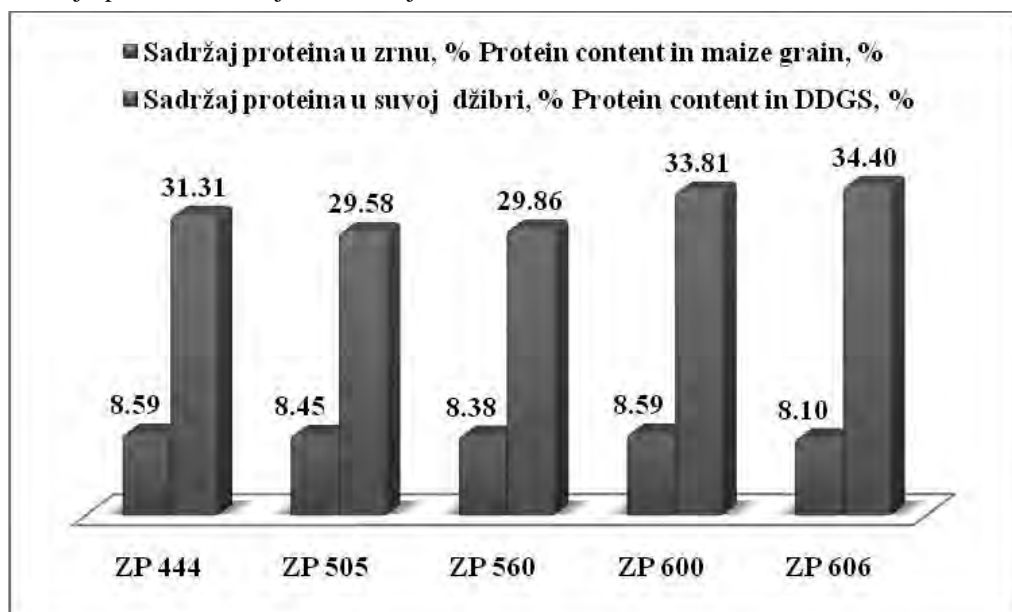
U tabeli 5 dat je uporedni prikaz sadržaja suve materije, proteina i *in vitro* svarljivosti suve materije ispitanih uzoraka suve kukuruzne džibre. Sadržaj suve materije kretao se od 90,75% (ZP 444) do 91,86% (ZP 505), što znači da je sadržaj vlage u uzorcima suve kukuruzne džibre bio u rasponu od 8,14 do 9,25% (Tab. 5). Ove vrednosti sadržaja vlage su manje od maksimalne propisane vrednosti prema Pravilniku o kvalitetu hrane za životinje (12%), (Pravilnik o kvalitetu hrane za životinje, 2010). Prema Odboru za žitarice SAD (U.S. Grain Council, 2012) preporučeni sadržaj vlage u suvoj kukuruznoj džibri iznosi 11%, što znači da su svi ispitani uzorci džibre ispunili taj kriterijum. Sadržaj proteina u uzorcima suve kukuruzne džibre (29,58-34,40%) bio je u okviru vrednosti preporučenih u potpunim smešama za ishranu različitih kategorija domaćih životinja prema Pravilniku o kvalitetu hrane za životinje Republike Srbije (2010).

Tabela 5. Uporedni prikaz sadržaja suve materije, proteina i *in vitro* svarljivosti suve materije ispitanih uzoraka suve kukuruzne džibre

Table 5. Comparison of dry matter, protein content and dry matter digestibility of DDG samples

Hibrid	Sadržaj suve materije (%)	Sadržaj proteina (%)	<i>In vitro</i> svarljivost suve materije (%)
ZP 444	X	31,31	78,33
ZP 505	91,86	29,58	82,41
ZP560	91,32	29,86	81,98
ZP 600	91,64	33,81	82,38
ZP 606	90,81	34,40	77,12
Min	90,75	29,58	77,12
Max	91,86	34,40	82,41
Prosek	91,23	31,91	80,17
SD	0,45	2,01	2,36

Na grafiku 2 dat je uporedni prikaz zrna kukuruza kao sirovini. sadržaja proteina u suvoj kukuruznoj džibri i



Grafik 2. Uporedni prikaz sadržaja proteina u suvoj kukuruznoj džibri i zrnju kukuruza kao sirovini
Graph 2. Comparison of protein content in DDG and maize grain as a raw material.

Poređenjem sadržaja proteina u uzorcima suve kukuruzne džibre (Tab. 5, Graf. 2) sa sadržajem proteina u brašnu celog zrna hibrida kukuruza (Tab. 3, Graf. 2) može se zaključiti da se sadržaj proteina u uzorcima džibre više nego udvostručio u odnosu na kukuruzno zrno odgovarajućih hibrida kao polazne sirovine. Generalno, proteini kukuruzne džibre potiču iz dva glavna izvora – kvasca i zrna kukuruza. Tokom rasta kvasca i procesa fermentacije, kvasac fermentiše skrob i proizvodi ćelijsku masu koja je većim delom izgrađena od proteina (Belyea i sar., 2004). Iz navedenog razloga jedan deo proteina kukuruzne džibre vodi poreklo od kvasca. S obzirom da kvasci ne poseduju proteolitičke enzime, oni ne mogu da razgrade proteine kukuruza, iz tog razloga proteini kukuruznog zrna ostaju u

džibri gde se obogaćuju proteinima kvasca. Sadržaj proteina u ispitivanim uzorcima suve kukuruzne džibre bio je viši od najnižeg sadržaja (25%) koji preporučuje Pravilnik o kvalitetu hrane za životinje Republike Srbije za ovo hranivo. Najviši sadržaj proteina bio je određen u uzorku džibre dobijene od hibrida ZP 606 (34,40%), a najniži u džibri hibrida ZP 505 (29,58%) (Tab. 5). Cilj brojnih istraživanja u svetu bio je da se utvrdi uticaj dodavanja suve kukuruzne džibre u obroke za ishranu različitih vrsta i kategorija životinja. Za tovnu junad se preporučuje dodavanje i do 40% suve kukuruzne džibre u obrok, računato na suhu materiju (US Grains Council, 2012). U ishrani goveda se upotreba suve kukuruzne džibre preporučuje kada je 1) potreban dodatni izvor proteina (posebno ako se kao glavna

hrana koristi hranivo lošijeg kvaliteta) kako bi se smanjio udeo brašna od kukuruznog glutena ili sojin griz; 2) nizak sadržaj skroba u hranivu, potrebna je hrana bogata energijom i vlaknima; potreban dodatni izvor masti (US Grains Council, 2012). Podaci o hemijskom sastavu, sadržaju metaboličke i svarljive energije, sadržaju pojedinih aminokiselina i mikroelemenata u uzorcima suve kukuruzne džibre ZP hibrida kukuruza, objavljeni u ranijim istraživanjima (Semenčenko i sar. 2013, 2014), takođe ukazuju na kvalitet ovog sporednog proizvoda dobijanja bioetanola.

Zaključak

Genetička varijabilnost ispitanih hibrida kukuruza ukazuje na raznovrsne mogućnosti njihove tehnološke prerade i primene u svim sferama života: počev od ishrane ljudi i životinja, preko primene u proizvodnji biogoriva i biorazgradljivih materijala, farmaciji, medicini i raznim granama industrije.

Visoki prinosi bioteanola iz zrna ispitanih hibrida kukuruza (87,33 - 93,59% u odnosu na teorijski prinos) ukazuju na visok potencijal domaćih hibrida u proizvodnji ovog alternativnog goriva. Na osnovu ispitanih parametara: sadržaja suve materije (90,75 - 91,86%); sadržaja proteina (29,58 - 34,40%) i *in vitro* svarljivosti suve materije (77,12 - 82,41%) ustanovljeno je da su uzorci suve kukuruzne džibre ispitivanih hibrida dobrog kvaliteta i da se mogu koristiti kao hranivo za pripremu smeša za ishranu domaćih životinja.

Rezultati istraživanja sprovedenog na domaćim ZP hibridima afirmišu kukuruz kao obnovljivu sirovinu sa aspekta proizvodnje alternativnog goriva bioetanola. Iskorišćenje sirovine je u ovom slučaju potpuno jer osim glavnog proizvoda, bioetanola, vredan sporedni proizvod, suva kukuruzna džibra, nalazi svoju

primenu u ishrani domaćih životinja. To ukazuje na veliki potencijal ovog za Srbiju izuzetno važnog žita koji treba u najskorijoj budućnosti iskoristiti.

Zahvalnica

Rezultati prikazani u ovom radu deo su istraživanja u okviru projekta: „Poboljšanje svojstava kukuruza i soje molekularnim i konvencionalnim oplemenjivanjem“, evidencioni broj TR 31068, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i *tehnološkog* razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Akcioni plan za biomasu 2010-2012, Srpsko – holandski projekat na nivou vlada o biomasi i biogorivima (G2G08/SB/6/3), Vlada Republike Srbije, Ministarstvo rudarstva i energetike, Beograd, 2010. [Online]: <http://sume.unecopn.org/Akcioniplanzabiomasu.pdf> (30.09.2015)
- Aufréré J, (2006): Prevision de la digestibilité des fourrages et aliments concentrés et composés des herbivores par une méthode enzymatique pepsine-cellulase. *AQ*, 353, 1-6.
- Belyea RL, Rausch KD, Tumbleson ME (2004): Composition of corn and distillers' dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresource Technology* 94:293-298.
- Dien BS, Bothast RJ, Iten LB, Barrios L, Eckhoff SR (2002): Fate of Bt protein and influence of corn hybrid on ethanol production. *Cereal Chemistry* 79:582–585.
- Haefele D, Owens F, O'Bryan K, Sevenich D (2004): Selection and optimization

- of corn hybrids for fuel ethanol production. In: Proceedings of the American Seed Trade Association 59th Annual Corn and Sorghum Research Conference. December 2004. Alexandria. VA (CD-ROM). American Seed Trade Association. Alexandria. VA.
- Milašinović M (2005): Fizičke, hemijske i tehnološke karakteristike novih ZP hibrida kukuruza. Magistarski rad. Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Mojović Lj, Pejin D, Lazić M (2007): Bioetanol kao gorivo-stanje i perspektive, monografija, Tehnološki fakultet, Leskovac.
- Pravilnik o kvalitetu hrane za životinje (2010): Službeni glasnik Republike Srbije, br. 4/2010 i 113/2012, 27/2014 i 25/2015. [Online] (30.09. 2015): <http://www.tehnologijahrane.com/pravilnik/pravilnik-o-kvalitetu-hrane-za-zivotinje>
- Radosavljević M, Bekrić V, Milašinović M, Pajić Z, Filipović M, Todorović G (2010): Genetic variability as background for the achievements and prospects of the maize utilisation development. *Genetika* 42: 119-135.
- Radosavljević M, Milašinović M (2008): ZP hibridi kukuruza kao sirovina za proizvodnju skroba. *PTEP - Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi* 12(4):191-195.
- Radosavljević M, Mojović Lj, Rakin M, Milašinović M (2009): ZP hibridi kukuruza kao sirovina za proizvodnju bioetnola. *PTEP* 13(1):45-49.
- Radosavljević M, Božović I, Bekrić V, Jovanović R, Žilić S, Terzić D (2001): Savremene metode određivanja kvaliteta i tehnološke vrednosti kukuruza. *PTEP- Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi* 5(3):85-88.
- Renewable Fuels Association (2015): World Fuel Ethanol Production, 2014 World Fuel Ethanol Production [Online]: <http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production> (30.09.2015)
- Semenčenko V (2013): Ispitivanje različitih hibrida kukuruza kao sirovine za proizvodnju bioetnola, skroba i hrane za životinje, doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, jun, 2013.
- Semenčenko V, Mojović Lj, Djukić-Vuković A, Radosavljević M, Terzić D, Milašinović-Šeremešić M (2013): Suitability of some selected maize hybrids from Serbia for the production of bioethanol and dried distillers' grains with solubles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93: 811–818.
- Semenčenko V, Radosavljević M, Terzić D, Milasinović-Šeremesić M, Mojović Lj (2014): Dried Distillers' Grains with Solubles (DDGS) Produced from Different Maize Hybrids as Animal Feed. *Journal on processing and energy in agriculture* 18 (2): 80-83.
- Singh H, Graeber JV (2005): Effect of corn hybrid variability and planting location on dry grind ethanol production. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE)* 48:709–714.
- Terzić D, Radosavljević M, Milašinović Šeremešić M, Pajić Z, Todorović G (2012): ZP hibridi kukuruza kao sirovina za proizvodnju silaže. *Selekcija i semenarstvo* 18(2):61-69.
- Wang P, Liu W, Johnston DB, Rausch KD, Schmidt SJ, Tumbleson ME, et al, (2010): Effect of endosperm hardness

on ethanol process using granular starch hydrolyzing enzyme. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) 53:307–312.
US Grains Council, DDGS User Handbook.

3rd Edition. (2012) [Online]:
<http://www.grains.org/index.php/buying-selling/ddgsuser-handbook>
(22.12.2012)

INFLUENCE OF MAIZE HYBRID ON BIOETHANOL YIELD AND QUALITY OF DRIED DISTILLERS' GRAINS

Valentina Semenčenko, Milica Radosavljević, Dušanka Terzić
Marija Milašinović – Šeremešić, Ljiljana Mojović, Snežana Mladenović Drinić

Summary

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important cereal crops. and one of the most significant renewable raw materials for the production of energy and many different products. Bioethanol is a biofuel that is mostly used as a replacement for fossil fuels worldwide. Major by-product that arises from the fermentation process of corn is dried distillers' grains (DDG). Due to its high feeding value it represents an excellent component for livestock feed mixtures.

The main goal of this study was to determine the technological quality of maize grain and the influence of maize hybrid on bioethanol yield and quality of this process' by-product, dried distillers' grains. Five maize hybrids developed at the Maize Research Institute, Zemun Polje, were investigated in this study.

The lowest concentration of bioethanol in the fermentation medium after 44h of alcoholic fermentation (8.64% w/w) was obtained by hybrid ZP 560, and the highest (9.10% w/w) by hybrid ZP 600, while compared to the maximum theoretical bioethanol yield, the highest scoring hybrid was ZP 606 (93.59%) and the lowest ZP 505 (87.33%). The highest *in vitro* dry matter digestibility of DDG was determined in a sample obtained from hybrid ZP 505 (82.41%) and the lowest (77.12%) in the DDG sample of ZP 606. The chemical composition and physical characteristics of the grain, as well as other parameters of the production process have influenced the overall bioethanol yield. Hybrids created in the Maize Research Institute represent unique starting material for research of the possibilities of bioethanol, starch, food and animal feed production.

Key words: maize hybrids, bioethanol, dried distillers' grains (DDG).

Primljen: 21.07.2015.
Prihvaćen: 12.09.2015.