

UTJECAJ TEMPERATURE SUŠENJA NA STUPANJ ŽELATINIZACIJE ŠKROBA ZRNA KUKURUZA

INFLUENCE OF DRYING TEMPERATURE ON STARCH GELATINIZATION IN CORN KERNEL

N. Voća, Tajana Krička, Vanja Janušić, Ana Matin, Duška Čurić

Izvorni znanstveni članak
Primljeno: 20. svibanj 2008.

SAŽETAK

Cilj ovog istraživanja bio je odrediti stupanj želatinizacije škroba kukuruza kao fizikalno-kemijske promjene, uvjetovane termičkim postupkom sušenja zrna. Postupak sušenja provodio se na četiri temperature sušenja zraka i to 70, 90, 110 i 130 °C na uzorcima zrna pet hibrida kukuruza Bc 462, Bc 4982, Bc Jumbo 48, Florencia i Stefania, uzgojenih tijekom tri vegetacijske sezone. Usporedbom srednjih vrijednosti otpuštanja vode iz zrna, kroz tri godine istraživanja, najsporije je otpuštao vodu iz zrna hibrid Stefania, a značajno najbrže hibrid Florencia, kod kojega je utvrđen i najveći udio škroba. Najmanji stupanj želatinizacije škroba utvrđen je kod uzoraka koji su prirodno osušeni, a porastom temperature sušenja povećavao se stupanj želatinizacije škroba. Najveći stupanj želatinizacije škroba utvrđen je kod hibrida Bc 462, a najmanji kod hibrida Bc Jumbo 48. Vegetacijska sezona tijekom uzgoja zrna kukuruza imala je značajan utjecaj na brzinu otpuštanja vode te sadržaj škroba u zrnu istraživanih hibrida kukuruza.

Ključne riječi: stupanj želatinizacije, škrob, zrno kukuruza, sušenje

UVOD

Kukuruz je jedan od najvažnijih poljoprivrednih proizvoda u Republici Hrvatskoj s proizvodnjom od 2.206.729 tona u 2005. godini. Neizbježan i najvažniji je sastojak krmnih smjesa u hranidbi životinja. U polju ubrano kukuruzno zrno potrebno je doraditi da bi se moglo uspješno skladištiti i čuvati na dulje vrijeme.

Osnovni zadatak sušenja je odvajanje suvišne vode iz zrna, a da se pri tome sačuva njegova kakvoća (klijavost ili prehrambena vrijednost).

Osim očuvanja kakvoće proizvoda, proces sušenja mora biti ekonomičan, a učinak sušare što veći. Sušiti se može okolnim nezagrijanim zrakom (ventiliranjem) te zagrijanim, toplim ili vrućim zrakom (Katić, 1997).

Dr. sc. Neven Voća, Prof. dr. sc. Tajana Krička, Vanja Janušić, dipl. ing., Ana Matin, dipl. ing., Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Svetošimunska 25, Zagreb; Prof. dr. sc. Duška Čurić, Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo, Pierottijeva 6, Zagreb.

Osim za potrebe skladištenja, zrno se dorađuje i s ciljem povećanja njegove probavljivosti u hranidbi životinja. Želatinizacija, kao promjena native strukture škroba koja se događa prilikom dorade žitarica bogatih škrobom je važna, jer se njome postiže bolja iskoristivost škroba iz zrna (Bruillet-Fourmann i sur., 2003; Nayouf i sur., 2003). Želatinizacija se definira kao nepovratno razaranje kristalne strukture škroba pa površina svake molekule škroba postaje podložna otapalima i reagensima. Tako u proizvodnji hrane za životinje želatinizacijom se škrob pretvara u oblik u kojem može primiti veću količinu vode i omogućiti brže kidanje složenih lanaca pod utjecajem enzima, koji potpomažu hidrolizu škroba u topljive šećere (Hauck i sur., 1994). Hranidbena vrijednost zrna prati se pomoću stupnja želatinizacije škroba, kao i ukupnog škroba i proteina. Naime, želatinizacija škroba je važna jer se škrob želatinizacijom priprema za enzimsku razgradnju čime se postiže njegova bolja iskoristivost tijekom probave (Putier, 1993).

Nativni škrob nije topljiv u vodi na temperaturi ispod temperature želatinizacije. Ukoliko se vodena otopina škroba zagrije, dolazi do reverzibilne hidratacije u amorfnom području, odnosno do laganog bubrenja granula, koje se sušenjem mogu vratiti u prvobitno stanje. Pojam bubrenja, odnosi se na sposobnost čvrstog materijala da u kontaktu s tekućinom povećava svoju masu i volumen, mijenjajući pri tome svoja mehanička svojstva, prvenstveno čvrstoću i elastičnost. Dorađeno zrno s većim udjelom želatiniziranog škroba je vrlo važno prilikom hranidbe mladih životinja (npr. prasadi), koje nemaju u potpunosti razvijen enzimski sustav ili za životinje kod kojih se škrob ne može iskoristiti u potpunosti zbog kratkog procesa probave (npr. mačke, ribe, krznaši) (Krička i sur., 2001).

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi razlike u brzini otpuštanja vode iz zrna tijekom sušenja pri četiri temperature sušenja i to 70; 90; 110 i 130 °C, između nekih hibrida kukuruza korištenjem matematičkog modela koji se primjenjuje za opis kinetike sušenja. Također, odredio se stupanj želatinizacije škroba kukuruza kao fizikalno-kemijske promjene, kako bi se utvrdio utjecaj temperature sušenja na razgradnju škroba tijekom sušenja zrna u sušari.

MATERIJALI I METODE

Materijali

Hibridi kukuruza Bc 462 (polutvrđunac), Bc 4982 (zuban), Florencia (zuban) i Stefania (tvrdi zuban) uzgajani su tijekom tri vegetacijske sezone (2002-2004) unutar plodoreda kukuruz-soja-pšenica na aluvijalnom tlu siromašnom humusom (2,1-2,2%), dok je reakcija u KCl neutralna. Budući da je višegodišnji prosjek oborina (1963-1992) iznosio 836 mm, u prvoj (2002) i trećoj (2004) godini istraživanja palo je nešto više oborina od prosjeka i iznosilo je 978,8 mm za prvu i 922,3 mm za treću godinu. Nasuprot tome, u drugoj (2003) godini palo je manje oborina od prosjeka i iznosi 581,7 mm. Isto tako, prosječne temperature tijekom trogodišnjeg istraživanja bile su veće od višegodišnjeg prosjeka (DHMZ, 2006).

Rehidracija zrna istraživanih hibrida kukuruza

Budući da su uzorci zrna kukuruza imali različitu početnu vlažnost, potrebno je te vrijednosti ujednačiti kako bi uzorci bili usporedivi u svrhu daljnjih istraživanja. Iz tog razloga, uzorci su rehidrirani do približno 32% udjela vode, odnosno na prosječnu vlažnost kakva je najčešće prilikom ubiranja zrna na polju. Uzorci su bili očišćeni od nečistoća i primjesa, a za potrebe istraživanja uzeta su samo zdrava zrna. Rehidracija je provedena neposrednim djelovanjem na masu zrna s točno određenom količinom destilirane vode. Priprema uzoraka točno određenom početnom vlažnošću i količina potrebne vode za željenu razinu vlažnosti (32%), određena je prema Mjeriteljskom naputku Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (Pliestic i Varga, 1995). Nakon kondicioniranja, uzorcima je ponovno utvrđen udio vode, a rehidrirani uzorak je postavljen kao početni uzorak koji se koristio u daljnjem radu.

Istraživanje brzine sušenja zrna kukuruza u laboratorijskoj sušari

Sušenje je provedeno u laboratorijskoj sušari koja može simulirati uvjete velike industrijske sušare. Svaki hibrid sušio se u tri ponavljanja do ravnotežne vlažnosti, odnosno do 14% udjela vode u zrnu. Brzina zraka u sušari bila je 1,0 m/s, a uzorci su sušeni pri četiri različite temperature zraka i to 70; 90; 110 i 130 °C, koje su određene zbog svoje

praktične vrijednosti. Naime, u prvoj fazi sušenja u sušarama, zrno kukuruza u Republici Hrvatskoj suši se pri temperaturama zraka od 110 i 130 °C, a u drugoj fazi sušenja do konačne vlažnosti zrna pri temperaturama zraka od 70 i 90 °C.

Brzina zraka, odnosno regulacija rada ventilatora obavljala se ručno, pomoću regulacijskog transformatora. Mjerenje zadane temperature zraka obavljalo se pomoću sonde PT 100 i to neposredno prije prolaska kroz uzorak. Mjerenje brzine zraka nakon prolaska kroz sloj uzorka obavljeno je pomoću digitalnog anemometra marke "Edra five" Velika Britanija.

Na osnovi izmjerenih podataka o gubitku mase, izračunate su eksponencijalne jednadžbe za svaku temperaturu sušenja (tablica 1), uz koeficijent korelacije koji pokazuje jesu li istraživanja otpuštanja vode iz zrna vođena precizno te mogu li se dobiveni rezultati međusobno usporediti.

Određivanje vlage zrna kukuruza

Vlaga se odredila etalonskom metodom sušenja u sušnici (INKO ST-40) na 105 °C tijekom 90 minuta do konstantne mase (ISO 712: 1998).

Određivanje količine ukupnog škroba

Za određivanje količine škroba u uzorcima primijenila se polarimetrijska metoda po Ewersu. Naime, škrob pokazuje visoku optičku aktivnost pa se na osnovi toga može odrediti i polarimetrijski (Krüss Optronik, P-1000) pošto se škrob prethodno prevede u topivo stanje hidrolizom s kiselinom (ISO 10520:1997).

Određivanje stupnja želatinizacije škroba

Stupanj želatinizacije škroba odredio se metodom po Birch i Priestleyu (1973), modificirano od Cai i Diosidaya (1993). Ova metoda temelji se na reakciji amiloze, koja se oslobađa tijekom reakcije želatinizacije s jodom, pri čemu dolazi do plavog obojenja otopine. Intenzitet obojenja odredio se spektrofotometrijski (Perkin Elmer, Lambda 25) na valnoj duljini od 600 nm.

Statistička obrada podataka

Podaci su analizirani GLM procedurom u SAS sistemskom paketu, verzija 8.00 (SAS Institute, 1997). Kako dizajn (shema) pokusa nije bio određen

(radilo se o potpuno slučajnom rasporedu s različitim brojem opažanja), izračunati su prosjeci za svaki istraživani faktor, a interakcija je uvrštena u odgovarajuću analizu.

REZULTATI I RASPRAVA

Uzorci pet hibrida kukuruza su nakon rehidracije sušeni pri četiri različite temperature zraka. Matematičkim modeliranjem krivulja sušenja dobila se vrijednost brzine otpuštanja vode do ravnotežne vlažnosti, kako bi se moglo usporediti razlike u otpuštanju vode pojedinih hibrida. Na tablici 1 prikazane su eksponencijalne jednadžbe otpuštanja vode iz zrna do relativne vlažnosti zrna kukuruza. Kod svih istraživanih eksponencijalnih jednadžbi utvrđen je koeficijent korelacije između 0,93 i 0,99 koji pokazuje da su istraživanja otpuštanja vode iz zrna vođena precizno te da su dobiveni rezultati međusobno usporedivi.

Usporedbom jednadžbi otpuštanja vode iz zrna, tijekom tri godine istraživanja, najsporije je otpuštao vodu iz zrna hibrid Stefania, a najbrže hibrid Florencia. Budući da se hibridi međusobno razlikuju u brzini otpuštanja vode iz zrna, u praksi je često nemoguće izbjeći istovremeno sušenje različitih hibrida i zrna s različitim udjelima vode. Iz tog razloga prilikom sušenja na konačnu vlagu od 14% u jednoj fazi pojavljuje se presušivanje pojedinih zrna, dok neka ostaju vlažna i preko dozvoljenih granica. Ukoliko se smjesa s presušanim zrnima izlaže mehaničkim opterećenjima prije nego se vlaga u zrnima izjednači, može doći do oštećenja presušanih zrna. Najdjelotvornije rješenje ovog problema u praksi je sušenje kukuruza u dvije faze (Katić, 1997).

Istraživanje utjecaja temperature sušenja na stupanj želatinizacije započelo je utvrđivanjem količine nativnog škroba u uzorku prije sušenja. Kako bi se utvrdilo da li je količina škroba hibridno svojstvo ili svojstvo okoline, utvrdila se količina nativnog škroba u svim istraživanim hibridima tijekom trogodišnjeg istraživanja prije njihovog podvrgavanja termičkim tretmanima. Tako je količina škroba u suhoj tvari zrna određena u uzorcima nakon provedene rehidracije zrna kukuruza pri vlazi približno 32%. Na tablici 2 prikazane su srednje vrijednosti količine škroba u suhoj tvari zrna kukuruza kod pojedinih hibrida.

Tablica 1. Eksponencijalne jednadžbe i vrijeme sušenja do ravnotežne vlažnosti (14%) hibrida
Table 1. Exponential equations and drying period until hybrid equilibrium moisture reached (14%)

Godina istraživanja Research year	Temperatura sušenja Drying temperature	Jednadžba otpuštanja vode - Water release equation				
		Bc 462	Bc 4982	Bc Jumbo 48	Florenzia	Stefania
2002.	70 °C	$y = 29,41e^{-0,0042x}$	$y = 27,76e^{-0,0045x}$	$y = 29,43e^{-0,006x}$	$y = 27,86e^{-0,0053x}$	$y = 27,38e^{-0,0028x}$
	90 °C	$y = 31,21e^{-0,0073x}$	$y = 28,99e^{-0,0106x}$	$y = 30,24e^{-0,0065x}$	$y = 28,66e^{-0,0102x}$	$y = 29,01e^{-0,0057x}$
	110 °C	$y = 31,33e^{-0,0101x}$	$y = 28,66e^{-0,0161x}$	$y = 32,03e^{-0,0085x}$	$y = 29,15e^{-0,0179x}$	$y = 30,79e^{-0,0068x}$
	130 °C	$y = 30,27e^{-0,0152x}$	$y = 29,06e^{-0,0182x}$	$y = 31,53e^{-0,0162x}$	$y = 29,33e^{-0,0231x}$	$y = 31,12e^{-0,0104x}$
2003.	70 °C	$y = 28,62e^{-0,0064x}$	$y = 31,16e^{-0,0045x}$	$y = 29,75e^{-0,0051x}$	$y = 30,41e^{-0,0052x}$	$y = 27,99e^{-0,0034x}$
	90 °C	$y = 29,01e^{-0,0068x}$	$y = 30,18e^{-0,0061x}$	$y = 30,23e^{-0,0067x}$	$y = 30,49e^{-0,0066x}$	$y = 29,40e^{-0,0053x}$
	110 °C	$y = 28,70e^{-0,0101x}$	$y = 31,19e^{-0,0101x}$	$y = 30,33e^{-0,0095x}$	$y = 30,54e^{-0,0112x}$	$y = 28,35e^{-0,0063x}$
	130 °C	$y = 28,94e^{-0,0155x}$	$y = 32,65e^{-0,0159x}$	$y = 30,71e^{-0,0154x}$	$y = 30,52e^{-0,0155x}$	$y = 30,23e^{-0,0178x}$
2004.	70 °C	$y = 30,14e^{-0,0038x}$	$y = 31,74e^{-0,0042x}$	$y = 32,17e^{-0,005x}$	$y = 29,26e^{-0,0042x}$	$y = 29,05e^{-0,0037x}$
	90 °C	$y = 30,40e^{-0,0068x}$	$y = 31,60e^{-0,0058x}$	$y = 31,45e^{-0,005x}$	$y = 29,92e^{-0,0059x}$	$y = 29,76e^{-0,0063x}$
	110 °C	$y = 31,19e^{-0,0108x}$	$y = 32,91e^{-0,0077x}$	$y = 31,70e^{-0,0075x}$	$y = 29,27e^{-0,01x}$	$y = 30,10e^{-0,0069x}$
	130 °C	$y = 32,23e^{-0,0168x}$	$y = 33,03e^{-0,0125x}$	$y = 33,60e^{-0,0133x}$	$y = 32,14e^{-0,0122x}$	$y = 32,57e^{-0,0137x}$

Tablica 2. Srednje vrijednosti količine škroba u suhoj tvari zrna svih istraživanih hibrida tijekom trogodišnjeg istraživanja

Table 2. Mean values of starch content in dry matter in kernels of investigated hybrids during a three-year period

Hibrid - Hybrid	Škrob (% na s.tv.) - Starch (% on dry basis)			
	2002.	2003.	2004.	Srednja vrijednost Mean value
Bc 462	75,45 ^{ab} ± 0,80	72,86 ^c ± 0,68	79,47 ^c ± 1,05	75,92 ^b ± 2,91
Bc 4982	74,54 ^b ± 0,93	73,60 ^{bc} ± 0,86	81,18 ^b ± 0,77	76,44 ^{ab} ± 3,56
Bc Jumbo 48	75,41 ^{ab} ± 0,86	74,29 ^{ab} ± 0,44	79,07 ^c ± 0,83	76,26 ^{ab} ± 2,21
Florenzia	76,01 ^a ± 0,64	73,48 ^c ± 0,55	85,92 ^a ± 1,08	78,47 ^a ± 5,57
Stefania	76,15 ^a ± 0,89	74,56 ^a ± 0,52	79,88 ^c ± 1,20	76,86 ^{ab} ± 2,45

Srednje vrijednosti ± SD za svaku godinu posebno s istim slovom nisu signifikantno različite ($p < 0,05$)

Mean values ± SD for each year with the same letter are not significantly different ($p < 0,05$)

Iz tablice 2 je vidljivo da je najveći udio škroba u suhoj tvari zrna tijekom trogodišnjeg istraživanja imao hibrid Florenzia (78,47%), ali ta vrijednost nije značajno različita od hibrida Stefania (76,86%), Bc

4982 (76,44%) i Bc Jumbo 48 (76,26%). Najmanja vrijednost utvrđena je kod hibrida Bc 462 (75,92%), ali ta vrijednost nije bila značajno različita u odnosu na sve istraživane hibride, osim hibrida Florenzia.

Može se utvrditi da hibridi Bc 4982, Bc Jumbo 48 i Stefania nisu pokazali signifikantne razlike u količini škroba u suhoj tvari zrna u odnosu na ostale hibride u istraživanju.

Kako su vremenski uvjeti tijekom istraživanja bili različiti, dapače, druga i treća godina istraživanja isticale su se po svojoj ekstremnosti, za očekivati je bilo da će se i količina škroba mijenjati u ovisnosti o karakteristikama vegetacijskih sezona uzgoja kukuruza. Na tablici 3 prikazani su udjeli škroba u suhoj tvari za sve istraživane hibride, neovisno o načinu uzgoja tijekom tri godine istraživanja.

Uzorci hibrida kukuruza uzgojeni u drugoj godini istraživanja, odnosno u izrazito sušnoj vegetacijskoj sezoni, ukupno su imali najmanju srednju vrijednost škroba u suhoj tvari zrna (73,76%). Suprotno sušnoj 2003. godini, u izrazito kišnoj 2004. godini, utvrđena je najveća količina škroba u istraživanim hybridima (81,10%). U prvoj godini istraživanja, kad su uvjeti tijekom uzgoja bili u zadovoljavajućim granicama, količina škroba bila je značajno različita od ostalih godina istraživanja (75,51%), bila je manja od kišne 2004. godine i veća od sušne 2003. godine. Iz svega navedenog može se zaključiti da su se najznačajnije razlike tijekom istraživanja pokazale samo zbog uvjeta tijekom kojih je kukuruz bio uzgajan.

Tablica 3. Srednje vrijednosti udjela škroba u suhoj tvari zrna svih istraživanih hibrida bez obzira na način uzgoja tijekom tri godine istraživanja

Table 3. Mean values of starch content in corn kernels during a three-year research

Godina istraživanja Research year	Škrob (% na s.tv.) Starch (% on dry basis)
2002.	75,51 ^b ± 0,96
2003.	73,76 ^c ± 0,84
2004.	81,10 ^a ± 2,71

Srednje vrijednosti ± SD s istim slovom nisu signifikantno različite ($p < 0,05$)

Mean values ± SD for each year with the same letter are not significantly different ($p < 0,05$)

Budući da je cilj istraživanja bio utvrditi utjecaj temperature sušenja na stupanj želatinizacije škroba, na tablici 4 prikazane su vrijednosti stupnja želatinizacije za istraživane hibride kroz tri godine istraživanja. Za usporedbu dobivenih rezultata, napravljena je analiza stupnja želatinizacije kod prirodno osušenog zrna.

Tablica 4. Srednje vrijednosti stupnja želatinizacije (%) škroba u zrnu

Table 4. Mean values of starch gelatinization degree (%) in corn kernel

Godina istraživanja Research year	Temperatura sušenja - Drying temperature	Stupanj želatinizacije škroba (%) - Starch gelatinization degree (%)				
		Bc 462	Bc 4982	Bc Jumbo 48	Florencia	Stefania
2002.	Prirodno - Natural	2,63 ^c ± 0,34	1,09 ^d ± 0,20	1,96 ^d ± 0,22	2,98 ^d ± 0,35	2,33 ^d ± 0,10
	70 °C	8,86 ^b ± 1,98	3,59 ^c ± 0,25	4,28 ^{bc} ± 0,08	8,19 ^a ± 0,04	4,63 ^c ± 0,51
	90 °C	8,91 ^b ± 0,83	7,54 ^b ± 0,30	3,28 ^c ± 0,42	6,26 ^b ± 0,57	8,42 ^a ± 0,21
	110 °C	11,24 ^a ± 1,07	10,60 ^a ± 0,80	4,40 ^a ± 0,28	8,40 ^a ± 0,29	7,22 ^b ± 0,99
	130 °C	11,25 ^a ± 0,76	7,46 ^b ± 0,77	5,48 ^a ± 0,44	5,45 ^c ± 0,24	7,34 ^b ± 0,18
2003.	Prirodno - Natural	2,75 ^e ± 0,34	2,77 ^c ± 0,38	2,62 ^d ± 0,25	1,37 ^d ± 0,22	4,00 ^c ± 0,16
	70 °C	11,29 ^a ± 0,14	7,62 ^a ± 0,01	6,26 ^a ± 0,01	6,12 ^a ± 0,04	9,21 ^b ± 0,05
	90 °C	10,53 ^b ± 0,38	7,20 ^a ± 0,44	5,58 ^b ± 0,23	5,17 ^b ± 0,11	10,57 ^a ± 0,13
	110 °C	8,34 ^d ± 0,05	5,87 ^b ± 0,02	3,33 ^c ± 0,03	4,94 ^{bc} ± 0,04	8,62 ^b ± 0,70
	130 °C	9,38 ^c ± 0,62	5,64 ^b ± 0,59	5,39 ^b ± 0,09	4,70 ^c ± 0,42	10,36 ^a ± 0,70
2004.	Prirodno - Natural	3,12 ^e ± 0,12	2,99 ^e ± 0,14	2,98 ^e ± 0,11	1,77 ^c ± 0,29	1,86 ^d ± 0,39
	70 °C	9,03 ^d ± 0,13	4,06 ^d ± 0,02	3,89 ^d ± 0,04	1,94 ^{bc} ± 0,03	3,64 ^c ± 0,08
	90 °C	10,77 ^c ± 0,19	5,49 ^c ± 0,01	5,06 ^b ± 0,05	1,84 ^c ± 0,15	5,69 ^b ± 0,11
	110 °C	12,51 ^b ± 0,27	5,89 ^a ± 0,17	5,27 ^a ± 0,03	2,21 ^b ± 0,03	5,37 ^b ± 0,04
	130 °C	16,37 ^a ± 0,04	4,66 ^c ± 0,14	4,82 ^c ± 0,10	7,22 ^a ± 0,20	8,04 ^a ± 0,72

Srednje vrijednosti ± SD s istim slovom nisu signifikantno različite ($p < 0,05$)

Mean values ± SD for each year with the same letter are not significantly different ($p < 0,05$)

Kako bi se utvrdile razlike u količini škroba koji je želatinizirao, određen je stupanj želatinizacije u suhoj tvari zrna kod svih istraživanih hibrida i to ovisno o temperaturi sušenja. Iz tog razloga, na tablici 5 su prikazane vrijednosti stupnja želatinizacije škroba za sve istraživane hibride.

Tablica 5. Srednje vrijednosti stupnja želatinizacije (%) škroba u zrnu u ovisnosti o istraživanim parametrima

Table 5. Mean values of starch gelatinization degree (%) in corn kernel in dependence on different parameters

Istraživani parametri Investigated parameters		Stupanj želatinizacije škroba (%) Starch gelatinization degree (%)
Temperatura sušenja Drying temperature	Prirodno Natural	2,48 ^c ± 0,77
	70 °C	6,17 ^b ± 2,69
	90 °C	6,86 ^{ab} ± 2,56
	110 °C	6,95 ^{ab} ± 2,92
	130 °C	7,57 ^a ± 3,16
	p vrijednost p value	< 0,0001
Hibrid Hybrid	Bc 462	9,13 ^a ± 3,76
	Bc 4982	5,50 ^{bc} ± 2,37
	Bc Jumbo 48	4,34 ^d ± 1,21
	Florenca	4,57 ^{cd} ± 2,36
	Stefania	6,49 ^b ± 2,76
	p vrijednost p value	< 0,0001
Godina istraživanja Research year	2002.	6,17 ^a ± 2,96
	2003.	6,39 ^a ± 2,80
	2004.	5,46 ^a ± 3,54
	p vrijednost p value	0,16

Srednje vrijednosti ± SD s istim slovom nisu značajno različite ($p < 0,05$)

Mean values ± SD for each year with the same letter are not significantly different ($p < 0,05$)

Iz tablice 5 je vidljivo da najmanja vrijednost stupnja želatinizacije je dobivena kod prirodno osušenog zrna i to svega 2,48% želatiniziranog škroba. Vidljivo je da se stupanj želatinizacije povećavao proporcionalno s temperaturom sušenja, međutim dobivene razlike značajne su jedino između najmanje i najviše temperature sušenja. Sukladno tome, najveća vrijednost stupnja želatinizacije dobivena je kod sušenja pri 130 °C i to 7,57%. Međutim, kod sušenja pri 90 i 110 °C vrijednosti želatiniziranog škroba nisu značajno manje od najveće dobivene vrijednosti stupnja želatinizacije. Temperatura sušenja nije uvjetovala značajne razlike i iz tog proizlazi da povećanje temperature sušenja nema značajnu ulogu kod želatinizacije škroba u zrnu kukuruza. U slučaju da se želi postići veći stupanj želatinizacije kod zrna kukuruza, potrebno ga je dodatno hidrotermički tretirati (uparavanje, ekstrudiranje) kako bi, primjerice, prisutnost vodene pare pod većim tlakom imala veći utjecaj na bolje razaranje urođene strukture škroba, odnosno njegove želatinizacije.

Turhan i Sagol (2004) upozorili su na iznenadne promjene kod hidrotermičkih postupaka kod nativnog škroba koji se nalazi u cijelom zrnu kukuruza, a koje se pak povezuju s povišenom temperaturom dorade zrna. Autori su utvrdili da je za želatinizaciju škroba u zrnu kukuruza potrebno, prilikom dorade, postići minimalno 62 °C, što je u skladu i s literaturnim podacima i podacima dobivenim u ovom istraživanju.

Prilikom sušenja istraživanih hibrida kukuruza pri četiri temperature sušenja (70, 90, 110 i 130 °C) najveći stupanj želatinizacije je utvrđen kod hibrida Bc 462, srednje vrijednosti 9,13%, koja je bila značajno veća od svih ostalih istraživanih hibrida. Najmanji stupanj želatinizacije imao je hibrid Bc Jumbo 48 (4,34%), čija se vrijednost nije značajno razlikovala od vrijednosti želatinizacije škroba hibrida Florenca (4,57%).

Iz svega navedenog, može se utvrditi da, ukoliko se istraživane hibride dorađuje u svrhu proizvodnje hrane za životinje s povećanim udjelom želatiniziranog škroba, tada dorada kukuruznog zrna sušenjem nije dostatna. Kako bi se postigao željeni učinak želatinizacije škroba u zrnu, potrebno je, uz sušenje kukuruznog zrna, predvidjeti i neki hidrotermički postupak, koji bi imao za cilj dodatnu želatinizaciju škroba u zrnu. U takve postupke se

ubrajaju, primjerice, ekstrudiranje, tostiranje, uparivanje, ekspandiranje, peletiranje, mikroniziranje i združivanje navedenih postupaka. U tim se postupcima zrno tretira povišenom temperaturom i tlakom, kao najvažnijim čimbenicima postizanja većeg udjela želatiniziranog škroba, što se ne može postići isključivo sušenjem kao osnovnim doradbenim postupkom. Ukoliko se zrno kukuruza koristi za proizvodnju hrane za životinje koje ne trebaju povećani udio želatiniziranog škroba, tada je dorada kukuruznog zrna sušenjem u svrhu njegovog dugotrajnijeg skladištenja zadovoljavajući doradbeni postupak.

ZAKLJUČAK

Istraživanja otpuštanja vode iz zrna provedena su na uzorcima zrna hibridima kukuruza Bc 462, Bc 4982, Bc Jumbo 48, Florencia i Stefania tijekom tri godine. Eksponecijalne jednadžbe sušenja pokazale su se usporedivima za pojedinačne temperature sušenja te su pokazale razlike u brzini otpuštanja vode iz zrna za sve istraživane hibride. Povišena temperatura sušenja uzrokovala je značajno povećanje brzine otpuštanja vode iz zrna i samim time smanjenje vremena sušenja. Istraživanja su pokazala da postoji značajna razlika između brzina otpuštanja vode za sve istraživane hibride tijekom konvekcijskog sušenja zrna te da se pri istim uvjetima sušenja hibridi ponašaju različito.

Viša temperatura sušenja, kod svih istraživanih hibrida nije pokazala značajan utjecaj na povećanje stupnja želatinizacije škroba u zrnu kukuruza te nema značajnu ulogu kod želatinizacije škroba tijekom sušenja. Ukoliko se zrno kukuruza koristi za daljnju proizvodnju hrane za životinje, u kojoj je potrebno imati zrno bogato želatiniziranim škrobom, uz doradu kukuruznog zrna sušenjem, treba predvidjeti i određeni hidrotermički postupak koji bi imao za cilj poboljšanje stupnja želatinizacije škroba u zrnu kukuruza.

REFERENCE:

1. Birch, G.G., Priestley, R.J. (1973): Degree of starch gelatinization of cooked rice, *Die Starke / Starch* 25, 98-100.

2. Brouillet-Fourmann, S., Carrot, C., Mignard, N. (2003): Gelatinization and gelatinization of corn starch followed by dynamic mechanical spectroscopy analysis, *Rheologica Acta*, 42 (1-2), 110-117.
3. Cai, W., Diosady, L.L. (1993): Model of gelatinization of wheat starch in a twin-screw extruder, *Journal of Food Science*, 68(5), 873-876.
4. DHMZ (2006): Klimatsko izvješće, Zagreb.
5. Hauck, B., Rokey, G., Smith, O., Herbester, J., Sunderland, R. (1994): *Extrusion Cooking System, Feed Manufacturing Technology*, American Feed Industry Association Inc, Arlington, SAD.
6. ISO 10520 (1997): Native starch – Determination of starch content – Ewers polarimetric method
7. ISO 712 (1998): Cereals and cereal products – Determination of moisture content – Routine reference method.
8. Katić, Z. (1997): Sušenje i sušare u poljoprivredi, Multigraf, Zagreb.
9. Krička, T., Voća, N., Jukić, Ž. (2001): Technological and nutritional characteristics of a kernel of maize exposed to a "cooking treatment", *Czech Journal of Animal Science*, 46(5), 213 -216.
10. Nayouf, M., Loisel, C., Doublier, J.L. (2003): Effect of thermomechanical treatment on the rheological properties of crosslinked waxy corn starch, *Journal of Food Engineering* 59 (2-3), 209-219.
11. Putier, F. (1993): Product quality and thermal treatment, *Feed mix.* 1(2), The American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
12. Plietić, S., Varga, B. (1995): Utvrđivanje lomne otpornosti prirodno vlažnog i rehidriranog zrna kukuruza Bc 492, *Zbornik radova, XI Međunarodno Savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, Stubičke Toplice*, 113-124.
13. SAS Institute (1997): *SAS/STAT Software: Changes and enhancements through Rel. 6.12*. Sas Inst., Cary, NC, USA
14. Svečnjak, Z. (2003): Utjecaj razine agrotehnike na komponente prinosa zrna kukuruza, *Doktorska disertacija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, Zagreb.
15. Turhan, M., Sagol, S. (2004): Abrupt changes in the rates of processes occurring during hydrothermal treatment of whole starchy foods around the gelatinization temperature – a review of literature, *Journal of Food Engineering*, 62, 365-371.

SUMMARY

The objective of this study was to determine the starch gelatinization degree of corn kernel as a physico-chemical change after the thermic process of drying. The drying process was conducted at four different air temperatures, 70, 90, 110 and 130 °C, on five corn hybrids, Bc 462, Bc 4982, Bc Jumbo 48, Florencia and Stefania grown during three vegetation seasons. Comparison of mean values of water release rate from kernel showed that Stefania hybrid had the lowest water release rate, while Florencia hybrid had significantly the highest water release rate. This hybrid also had the highest starch content. The lowest starch gelatinization degree was determined in naturally dried samples, while increase in drying temperature caused an increase in starch gelatinization degree. The highest starch gelatinization degree was determined in Bc 462 hybrid kernel and the lowest one in Bc Jumbo 48. Moreover, it was determined that vegetation season had a significant impact on water release rate and starch content in investigated hybrids.

Key words: gelatinization, starch, corn kernel, drying

KALCIJ - NEIZOSTAVNI DIO HRANE

UČKA KAMEN d.o.o.

UČKAFIL GRANULE

UČKAFIL MIKRO GRANULE

ZAJEDNO DO USPJEHA

UČKA KAMEN d.o.o.
TITOV TRG 12, 52220 LABIN - HRVATSKA
Glavna tajnica: Tel. 052/852-700, Fax. 052/852-272
Kamenolom Šumber: Tel. 052/865-016, Fax. 052/865-744, Mob. 091-1-865-038
E-mail: ucka-kamen@ucka-kamen.hr

**USKORO U
PROIZVODNOM
PROGRAMU**