Biblid: 0350-2953 (2019) 45(3): 99-108

UDK: 631.3;

Originalni naučni rad

Original scientific paper

UTICAJ KONVEKTIVNOG I VAKUM SUŠENJA NA MEHANIČKE OSOBINE I BOJU ZRNA GRAŠKA

INFLUENCE OF CONVECTIVE AND VACUUM DRYING ON PEA GRAINS MECHANICAL PROPERTIES AND COLOR

**Ponjičan Ondrej, Radomirović Dragi, Pavkov Ivan,
Radojčin Milivoj, Kešelj Krstan, Stamenković Zoran**

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Srbija

e-mail: ondrej.ponjican@polj.uns.ac.rs

REZIME

Izvedeno je ispitivaje uticaj konvektivnog i vakum sušenja zrna graška na mehaničke osobine i boju. Sušenjem zrna graška dolazi do pada vrednosti geometrijskog i aritmetičkog prečnika, a konvektivnim sušenjem došlo je i do narušavanja sferičnosti zrna graška. Konvektivnim sušenjem brže se oslobađa vlaga iz zrna u odnosu na vakum sušenje. Zrna graška osušena vakum metodom imala su statistički značajno niže vrednosti gustine u odnosu na konvektivno sušenje. Testom na pritisak za pojedinačna zrna graška utvrđene su statistički značajno niže vrednosti opterećenja pri vakum sušenju u odnosu na konvektivno sušenje. Tretiranje mikrotalasnim zracima takođe ima statistički značajan uticaj na mehaničke osobine i unutrašnju teksturu zrna graška naročito pri konvektivnom sušenju. Vakum sušenje se pokazalo povoljnije i sa aspekta promene boje, dok tretiranje mikrotalasnim zracima imalo je negativan uticaj.

Ključne reči: zrno graška, konvektivno sušenje, vakum sušenje, mikrotalasno sušenje, vlažnost, mehaničke osobine, boja

1. UVOD

Najčešći postupci sušenja zelenog graška su sušenje na suncu, konvektivno sušenje vrućim vazduhom, sušenje na fluidizovanom sloju, sušenje mikrotalasnim pećnicama, sušenje zamrzavanjem i sušenje infracrvenim zračenjem. Međutim, postoje i neke druge metode sušenja, kao što su sušenje vakuumom, sušenje vazduhom niske relativne vlažnosti itd. Kombinacija dva ili više metoda sušenja takođe se može usvojiti za sušenje zelenog graška (Senapati et al., 2019).

Nedavna istraživanja o dehidraciji poljoprivrednih proizvoda primenom vakuum-mikrotalasne tehnike pokazala su da je najperspektivnija metoda kombinovano sušenje koje obezbeđuje visok kvalitet uz najmanju moguću potrošnju energije. Tokom zadnjeg koraka sušenja, odgovarajuća primena vakuum-mikrotalasa sa kontrolom temperature može doprineti oslobađanju osnovnih prirodnih jedinjenja iz ćelijske strukture ili stvaranju novih bioaktivnih jedinjenja, kao i hrskavoj teksturi osušenog proizvoda (Figiel and Michalska, 2017). Međutim, za optimizaciju kombinovanog postupka sušenja još uvek su potrebne dodatne studije koje uključuju i druge oblike tretmana koji povećavaju difuzivnost vode,

zadržavanje vrednih jedinjenja i proces utvrđivanja koji imaju za cilj da prehrambeni proizvodi dobiju odlična svojstva koja unapređuju zdravlje i atraktivne senzorne osobine.

Istraživanje različitih metoda potrebno je izvoditi da bi se procenio uticaj različitih radnih parametara na kvalitet zelenog graška, jer sadrži visok procenat osnovnih hranljivih materija i ima veliku lekovitu vrednost. Takođe, postoji prostor za uspostavljanje odgovarajuće korelacije između uslova sušenja i potrošnje energije dehidriranog zelenog graška. Daljnjim istraživanjima je moguće uraditi preporuku odgovarajućeg načina sušenja i optimizirati potrebne uslove za sušenje zelenog graška.

2. MATERIAL I METOD RADA

Materijal

Ispitivanje uticaja dva različita načina sušenja na mehaničke osobine izvedena su u Laboratoriji za biosistemske inženjerstvo, na Departmanu za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu. Prilikom ispitivanja korišćen je smrznuti grašak na -18°C , prethodno blanširan, proizvođača PIK Bečej AD, RJ Flora, obezbeđen iz prodavnice. Prilikom eksperimenta birana su krupnija zrna ujednačenih dimenzija uz koeficijent varijacije ispod 10%.

Sušenje je izvedeno na temperaturi od 70°C pomoću konvektivne sušnice "VIMS elektrik SSW-70", (KS). Vakum sušenje (VS) izvedeno je u vakum sušnici "Vacuum oven Model OV-11/12" takođe na temperaturi od 70°C i pod pritiskom od 0,92 MPa. Takođe je ispitivan i uticaj predtretmana pomoću mikro talasa (MT) snage električnog izvora 700 W, u trajanju od 60 s, prilikom konvektivnog i vakum sušenja.

Sva ispitivanja izvedena su u tri ponavljanja, s tim da je veličina svakog pojedinačnog uzorka bila oko 20 g, a uzorci su bili postavljeni na aluminijumskim tacnama. Kinetika sušenja merena je vađenjem uzoraka i njihovim merenjem pomoću elektronske vage na svakih sat vremena u trajanju od 6 časova, a zadnje merenje izvedeno je nakon 24 sušenja, čime se dobija i apsolutno osušen uzorak zrna graška (*Hatamipour and Mowla, 2003*).

Merenje dimenzija graška izvedeno je pomoću pomičnog kljunstog merila (klasa tačnosti 0,1 mm), pri čemu je izmerena dužina, širina i visina. Merenje dimenzija izvedeno je pre i nakon sušenja u 10 ponavljanja. Na osnovu izmerenih dimenzija zrna graška izračunate su vrednosti za srednji geometrijski (D_g) i srednji aritmetički (D_a) prečnik zrna, sferičnost zrna (Ψ) i oblik zrna (f), pre i nakon sušenja, korišćenjem jednačina (*Ponjičan et al, 2018*):

$$D_g = (l \cdot w \cdot t)^{1/3}, \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

$$D_a = \frac{(l + w + t)}{3}, \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

$$\Psi = \frac{D_g}{t}, \quad (-) \quad (3)$$

Iz odnosa dužine i proizvoda visine i širine prema standardu *ISO 5691-1981 (E)*, određen je oblik zrna:

$$f = \frac{l^2}{w \cdot t} \cdot 100, \quad (-) \quad (4)$$

Na osnovu izmerene mase i vlažnosti uzoraka zrna graška na početku, u toku i na kraju procesa sušenja određen je odnos vlažnosti (w_i/w_0), (Zhu *et al*, 2015), gde je w_i vlažnost u određenom trenutku merenja, i w_0 početna vlažnost.

Na početku i na kraju konvektivnog i vakum sušenja izmerena je masa i zapremina uzorka na osnovu koje je određena specifična masa uzorka. Merenje zapremine izvedeno je pomoću analitičke vage KERN PLJ 360-3M (klase tačnosti 0,001 g), merenjem promene mase usled potapanja uzorka u tečnost propan-2-ol gustina 786 kg/m³. Veličina uzorka 6-7 zrna graška, merenje je izvedeno u 10 ponavljanja.

Mehaničke osobine sveže odmrznutog i osušenog graška merene su pomoću analizatora teksture TMS-PRO firme Food technology corporation (www.foodtechcorp.com). Navedeni uređaj bio je opremljen sa ćelijom za merenje opterećenja do 500 N. Prilikom ispitivanja korišćen je test na pritisak "compression test". Pritisak je izveden pomoću ravnog metalnog tanjira prečnika 50 mm, postavljenog na ravnu metalnu podlogu od istog materijala. Prilikom ispitivanja opterećenja koje deluje na zrno graška, brzina kretanja tanjira bila je 30 mm/min. Kraj merenja je bio prilikom dostizanja vrednosti sile opterećenja od 150 N. Prilikom delovanja opterećenja na osušeno zrno graška vrlo brzo dolazi do njegovog pucanja a nakon toga i do potpunog razaranja (Figiel and Michalska, 2017). Analizom izmerenih podataka utvrđeno je da je na pređenom rastojanju od 1,5 mm došlo je do krto g loma uzoraka. Radi preciznijeg određivanja uticaja metoda sušenja na mehaničke osobine zrna graška, usvojeni su intervali pređenog rastojanja (D): 0–0,5; 0,5–1,0; 1,0–1,5 mm. Za naznačene intervale rastojanja izmerene su srednje vrednosti (X), standardna devijacija (S_e) i koeficijent varijacije (C_v) u zavisnosti od opterećenja (F). Test pritiska izveden je u 10 ponavljanja.

Merenje boje zrna graška pre i nakon sušenja različitim metoda, kao i usled primene predtremana mikrotalasnim zračenjem, korišćen je trifilterski kolorimetar Konica Minolta CR-400. Za iskazivanje kvantitativnih parametara boje odabran je CIE $L^*a^*b^*$ sistem boja, baziran na trifilterskom metodu. U tom sistemu L^* predstavlja sjajnost (osvetljenost), a koordinate a^* i b^* boju. Negativna vrednost a^* je zelena boja a pozitivna je crvena. Negativna b^* je žuta a pozitivna je plava (Zhu *et al*, 2015). Ukupne razlike u boji (ΔE^*) izračunate su preko jednačine 5. Nekoliko slojeva graška je nasuto u metalnu posudu, i nakon kalibriranja uređaja, za svaku varijantu izvedeno je po 10 merenja.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2},$$

(5)

Statistički značajne razlike na pragu značajnosti od 5% između metoda sušenja izvedeno je testiranjem analize varijanse, tipa analize One-way ANOVA, a preciznije određivanje postojanje statistički značajnih razlika između pojedinih varijanti izvedeno je pomoću Duncan testa. Testiranje je izvedeno pomoću programskog paketa TIBCO Statistica version 13.5.0.17. Korišćenjem programskog paketa Microsoft Excel izračunate su vrednosti za aritmetičku sredinu X , standardnu devijaciju S_d i koeficijent varijacije C_v .

3. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Dimenzije i oblik zrna graška

Izmereni parametri dimenzija i oblika zrna graška (geometrijski prečnik D_g , aritmetički prečnik D_a , sferičnost Ψ i faktor oblika f), prikazani su u tabeli 1. Između svežeg

i osušenog uzorka utvrđene su statistički značajne razlike u geometrijskom i aritmetičkom prečniku, dok između osušenih zrna nije bilo statističkih razlika. Iz razloga što zrno graška ima visoki sadržaj vode (oko 75%) neminovno je da će u procesu sušenja doći do promene njegovih dimenzija (*Hatamipour and Mowla, 2003*). Analizom sferičnosti, između svežeg i osušenih uzoraka nisu utvrđene statistički značajne razlike, ali s druge strane pojavile su se između konvektivnog i vakum sušenja. Primena predtretmana MT nije izazvala promene sferičnosti za posmatrane načine sušenja. Izmerene vrednosti za oblik zrna (sveže i osušeno) prema standardu *ISO 5691-1981 (E)*, spadaju u grupu okruglih (vrednosti indeksa 100–160). Takođe treba navesti da su za vakum sušenje utvrđene statistički značajno više vrednosti oblika (f) u odnosu na svež i konvektivno sušen uzorak, a uzrok je visoka temperatura (70°C) prilikom vakum sušenja.

Tab. 1 Dimenzija i oblik zrna graška u zavisnosti od metoda sušenja

Tab. 1 Dimension and shape of grain of pease depend on drying methods

		D_g (mm)	D_a (mm)	Ψ (-)	f (-)
Svež uzorak	X	8,25a*	8,28a	1,12ab	127,65b
	S_d	0,76	0,77	0,04	11,08
	C_v	9,25	9,26	3,98	8,68
KS	X	6,49b	6,51b	1,08b	126,66b
	S_d	0,92	0,93	0,04	17,90
	C_v	14,17	14,27	4,14	14,13
KS+MT	X	6,32b	6,36b	1,14ab	144,06ab
	S_d	0,77	0,75	0,12	26,74
	C_v	12,15	11,78	10,12	18,56
VS	X	6,43b	6,48b	1,17a	151,51a
	S_d	0,67	0,65	0,10	20,43
	C_v	10,37	10,05	8,09	13,48
VS+MT	X	6,41b	6,46b	1,16a	148,02a
	S_d	0,52	0,51	0,07	15,03
	C_v	8,07	7,89	5,75	10,16

* testiranje je izvedeno po kolonama. Ista slovnica oznaka predstavlja statistički jednake vrednosti na pragu značajnosti od 5%, testiranje izvedeno pomoću Duncan testa.

Vlažnost

Vlažnost zrna graška koji je korišćen prilikom ispitivanja, a koji je prethodno zamrznut na -18°C i zapakovan u odgovarajućoj plastičnoj ambalaži iznosila je $w_0 = 74,82\%_{wb}$, što je u saglasnosti sa vrednostima koje navode *Hatamipour and Mowla (2003)*. Na osnovu promene odnosa vlažnosti (w_t/w_0), utvrđeno je da metod sušenja ima veliki uticaj na brzinu sušenja. Nakon tri sata sušenja kod konvektivnog metoda vlažnost se smanjila na 15 i 16%, dok pri vakum sušenju još uvek je imala visoku vrednost 52 i 55% u odnosu na početnu vrednost. Nakon petog sata sušenja razlike između metoda sušenja su se značajno smanjile, a nakon šestog časa bile minimalne tako da sledeće merenje je izvedeno tek nakon 24 časa sušenja, gde se pri zadatim parametrima za oba metoda sušenja dobija je apsolutno

suv proizvod (Hatamipour and Mowla, 2003). Predtretman mikrotalasnim zračenjem nije imao značajan uticaj na promenu vlažnosti.

Sl. 1 Promena količnika vlažnosti zrna graška u toku vremena pri različitim metodama sušenja

Fig. 1 Changing the moisture content ratio of pea grains over time with different drying methods

Specifična masa (gustina)

Najviše vrednosti za specifičnu masu izmerene su za svež uzorak, koji ima veću gustinu u odnosu na destilovanu vodu. Korišćenjem različitih metoda sušenja dobijene su različite vrednosti specifične mase, što znači da dolazi do razlika u unutrašnjoj teksturi u zavisnosti od metoda sušenja. Vrednosti specifične mase su znatno niže u odnosu na specifičnu masu vode, što predstavlja dokaz znači da su u tkivu zaostale šupljine (Figiel and Michalska, 2017). Najniže vrednosti specifične mase izmerene su za zrno graška sušeno u vakumu. Primena kratkotrajnog mikrotalasnog zračenja pre izvođenja sušenja nije imala statistički značajan uticaj na promenu specifične mase.

Sl. 2 Specifična masa (gustina) zrna graška u zavisnosti od metoda sušenja
Fig. 2 Density of pea grains depend on drying methods

Mehaničke osobine

Primenom testa pritiska (compression test) na pojedinačna zrna graška, u zavisnosti od primenjenog metoda sušenja i predtretmana mikrotalasnim zračenjem, izmerene su vrednosti opterećenja (F) u zavisnosti od rastojanja (D) (sl. 3).

Sl. 3 Promena opterećenja u zavisnosti od rastojanja i metoda sušenja zrna graška
Fig. 3 Change of load depending on distance and methods of pea grain drying

Zrno graška prethodno blanširano i zamrznuto, pa onda odmrznuto ne pruža veliki otpor, i vrednosti opterećenja se kontinualno povećavaju, bez pojave naglih promena u opterećenju, te se može zaključiti da su zrna graška imaju niske vrednosti pritisne čvrstoće i tvrdoće koje sporo rastu sa povećanjem deformacije (rastojanja D). Nakon 24 časa sušenja na temperaturi od 70°C korišćenim metodama sušenja, zrna graška se u potpunosti osuše i postaju tvrda i krta. Prilikom određivanja mehaničkih osobina najinteresantnije je odrediti vrednost opterećenja i rastojanja pri kojem dolazi do krto g loma zrna (*Figiel and Michalska, 2017*). Promena rastojanja je posmatrana u tri intervala 0–0,5; 0,5–1,0 i 1,0–1,5 mm. Već u prvom intervalu (0–0,5 mm) jasno se izdvajaju više vrednosti opterećenja kada je primenjeno konvektivno sušenje bez i sa predtretmanom mikrotalasnim zracima. Za prvi interval izmerene su niže vrednosti opterećenja primenom vakum sušenja u odnosu na konvektivno sušenje. Koeficijent varijacije u prvom intervalu imao je visoke vrednosti (67–75%), koji je posledica velikih razlika u vrednostima izmerenih opterećenja usled nehomogenog ponašanja materijala. U drugom i trećem intervalu (0,5–1,0 i 1,0–1,5 mm), za oba metoda sušenja utvrđen je porast opterećenja, s tim da su za konvektivno sušenje i u ovim intervalima izmerene znatno više vrednosti u odnosu na vakum sušenje. Na osnovu razlike u izmerenim vrednostima utvrđeno je da metod sušenja utiče na unutrašnju teksturu zrna graška. Izračunata vrednost koeficijenta varijacije u drugom i trećem intervalu se višestruko smanjila (15–41%), što je karakteristika ponašanja opterećenja nakon prvobitnog krto g loma zrna, a takođe omogućava i preciznije izvođenje zaključaka. Mikrotalasno zračenje (MT) primenjeno pri konvektivnom sušenju znatno smanjuje vrednosti opterećenja, ali to nije slučaj i za vakum sušenje, gde primenom mikrotalasnog sušenja vrednosti opterećenja ostaju iste ili čak dolazi do porasta vrednosti opterećenja. Na osnovu izmerenih vrednosti, ovim ispitivanjem takođe je potvrđen i uticaj mikrotalasnog zračenja na mehaničke osobine zrna graška. Još veći uticaj na mehaničke osobine i teksturu zrna graška bi se dobio kombinovanim konvektivnim i mikrotalasnim, ili vakum i mikrotalasnim sušenjem.

Boja

Izmerene su statistički značajne razlike u parametrima boje, kako između zamrznutog i odmrznutog zrna graška, tako i između svežag i osušenog graška, kao i razlike između primenjenih metoda sušenja (tab. 2).

Tab. 2 Parametri boje u zavisnosti od metoda sušenja zrna graška
Tab. 2 Color parameters depend on drying method of the pea grain

	Parametri boje			
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
Smrznuti grašak	44,72bc	-13,09 c	21,89 d	47,57 c
	2,07	1,20	1,52	2,11
	4,64	-9,17	6,95	4,43
Odmrznuti grašak	39,70d	-23,04 e	34,62 a	58,96 a
	2,20	1,46	1,47	1,88
	5,54	-6,33	4,24	3,20
KS	45,01b	-12,22 bc	26,32 c	48,08 c
	1,11	1,25	2,56	1,50
	2,46	-10,26	9,74	3,13
KS+MT	50,23a	-8,40 a	20,66 d	45,76 d
	1,82	1,12	2,39	1,63
	3,63	-13,37	11,59	3,55
VS	43,03c	-14,32 d	29,67 b	50,32 b
	2,85	0,45	0,73	1,16
	6,61	-3,14	2,46	2,30
VS+MT	44,88bc	-12,00 b	29,78 b	48,94 bc
	1,24	0,20	0,47	0,51
	2,76	-1,68	1,58	1,04

Najviša vrednost parametra sjajnosti (L^*) utvrđena je za konvektivno sušenje uz prethodno tretiranje mikro talasima. Negativne vrednosti parametra a^* pokazuju dominantan sadržaj zelene u odnosu na crvenu boju. Najviša vrednost sadržaja zelene boje utvrđena je za svež odmrznut uzorak graška. Za vakum sušenje utvrđen je statistički značajno viši sadržaj zelene boje u odnosu na konvektivno sušenje. Parametar b^* pokazuje dominantno prisustvo plave u odnosu na žutu boju. Najviši sadržaj plave boje izmeren je za svež odmrznut uzorak graška. Za vakum sušenje utvrđen je statistički značajno viši sadržaj plave boje u odnosu na konvektivno sušenje. Ukupne razlike u boji sagledane preko parametra ΔE^* , takođe potvrđuju navedene zavisnosti, da je statistički značajno najviša vrednost izmerena za sveže odmrznut uzorak zrna graška, i da su statistički značajno više vrednosti dobijene za vakum sušenju u odnosu na konvektivno sušenje. je takođe imal Ovim ispitivanjem je utvrđeno da se vakum sušenjem dobija proizvod bliži po boji svežem grašku. Predtretman mikrotalasnim zračenjem imao je negativan uticaj naročito po pitanju parametara zelene i plave boje (a^* i b^*), a što je bilo još više izraženo pri konvektivnom sušenju.

4. ZAKLJUČAK

Istraživanje različitih metoda potrebno je izvoditi da bi se procenio uticaj različitih radnih parametara na kvalitet zelenog graška, jer sadrži visok procenat osnovnih hranljivih materija i ima veliku lekovitu vrednost. Nedavna istraživanja o dehidraciji poljoprivrednih proizvoda primenom vakuum-mikrotalasne tehnike pokazala su da je najperspektivnija metoda za kombinovano sušenje koje obezbeđuje visok kvalitet uz najmanju moguću potrošnju energije. U ovom istraživanju nedvomisleno su utvrđene statistički značajne razlike u brzini otpuštanja vode, mehaničkim osobinama i boji između konvektivnog i vakuum metoda sušenja, kao i uticaj tretiranja zrna graška mikrotalasnim zračenjem.

5. LITERATURA

1. Figiel A, Michalska A. 2017. Overall Quality of Fruits and Vegetables Products Affected by the Drying Processes with the Assistance of Vacuum-Microwaves. *International Journal of Molecular Sciences*. 71: 1-18.
2. Hatamipour M.S, Mowla D. 2003. Correlations for shrinkage, density and diffusivity for drying of maize and green peas in a fluidized bed with energy carrier. *Journal of Food Engineering* 59: 221–227.
3. ISO 5691-1981 (E),
4. Ponjičan O, Radomirović D, Kešelj K, Radojčin M, Ivanišević M. 2018. Fizičke i mehaničke osobine dorađenog semena graška, pasulja, spanaća i rotkvice. *Journal on Processing and Energy in Agriculture* 22, (4): 196-201.
5. Senapati, K.A, Varshney K.A, Sharma K.V, 2019. Dehydration of green peas: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2): 1088-1091.
6. Zhu Y.Y, Zhang M, Wang Y.Q, 2015. Vacuum frying of peas: effect of coating and pre-drying. *Journal of food science and technology*, 52(5): 3105-3110.

INFLUENCE OF CONVECTIVE AND VACUUM DRYING ON PEA GRAINS MECHANICAL PROPERTIES AND COLOR

**Ponjičan Ondrej, Radomirović Dragi, Pavkov Ivan,
Radojčin Milivoj, Kešelj Krstan, Stamenković Zoran**

Faculty of Agriculture, University of Novi Sad, Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

e-mail: ondrej.ponjican@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

The effect of convective and vacuum drying of pea grains on mechanical properties and color was investigated. Drying of the pea grain results in a decrease in the geometric and arithmetic diameter, and by convective drying, the sphericity of the pea grain is disturbed. Convective drying releases moisture from the grain faster than vacuum drying. Vacuum-dried grain peas had statistically significantly lower density values than convective drying. The compression test for individual pea grains revealed statistically significantly lower values of the load for vacuum drying compared to convective drying. Microwave treatment also has a statistically significant effect on the mechanical properties and internal texture of pea grains, especially during convective drying. Vacuum drying proved to be more favorable from the aspect of color as well, while microwave treatment had a negative effect.

Key words: pea grain, convective drying, vacuum drying, microwave drying, moisture content, mechanical properties, color.

<p>Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu: TR – 031058, Kombinovana tehnologija sušenja voća i povrća iz integralne i organske proizvodnje, koji finansira Ministarstvo za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Vlade Republike Srbije.</p>

Primljeno: 22. 07. 2019. god.

Prihvaćeno: 29. 07. 2019. god.