

ZALEŻNOŚĆ CECH JAKOŚCIOWYCH LIOFILIZATU, CZASU SUSZENIA I ZUŻYCIA ENERGII OD JEGO WILGOTNOŚCI

Tadeusz Lis, Helena Lis, Ewa Kłoczek

Wydział Inżynierii Produkcji, Akademia Rolnicza, 20-950 Lublin, ul. Akademicka 13
e-mail: tadlis@faunus.ar.lublin.pl

S t r e s z c z e n i e . Susz nadaje się do długotrwałego przechowywania bez znaczących ubytków witamin jeżeli sublimacyjne suszenie prowadzi się aż do uzyskania jak najniższej wilgotności, ale proces jest energochłonny. Dla trzech poziomów wilgotności suszu z jabłek badano czas sublimacyjnego suszenia, zużycie energii i cechy jakościowe suszu. W zakresie spadku zawartości wody w suszu od $0,075 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suchej masy (7%) do $0,02 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (2%) znacznie zwiększało się zużycie energii (wg wskaźnika 2), a zmniejszała się retencja kwasu L-askorbinowego (o 2%). Wraz ze spadkiem wilgotności końcowej od 16% do 2% przedłużał się czas procesu i w związku z tym ponad trzykrotnie zwiększało się zużycie energii potrzebnej do uzyskania 1 kg suszu w liofilizatorze, jak również – w wyniku długotrwałego suszenia – znacząco zmniejszała się retencja kwasu L-askorbinowego.

S ł o w a k l u c z o w e : sublimacyjne suszenie, zużycie energii, cechy jakościowe

WYKAZ OZNACZEŃ

C/C_o – retencja kwasu L-askorbinowego w odniesieniu do surowca,

C/C_{mr} – retencja kwasu L-askorbinowego w odniesieniu do stanu po zamrożeniu,

R – zdolność 100 g suszu do rehydratacji (mg),

u_o – zawartość wody w surowcu ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.),

u_R – zawartość wody po rehydratacji suszu ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.),

w – wilgotność względna (%),

w_R – wilgotność względna po rehydratacji suszu (%),

w_o – wilgotność względna surowca (%).

WSTĘP

Dotychczas zaleca się niemal zupełne odwodnienie produktów suszonych sublimacyjnie, gdyż po odpowiednim zapakowaniu mogą one być bardzo długo przechowywane w dobrym stanie. Brak wody ogranicza niekorzystne procesy, powodujące pogorszenie jakości suszu. Jednakże zmniejszenie wilgotności suszu

np. do 2-3% powoduje wzrost czasu procesu i zużycia energii, a może być ono niezbyt konieczne przy krótkotrwałym przechowywaniu. Uzyskany z liofilizatora susz jabłkowy o wilgotności 16% po czterech miesiącach próżniowego przechowywania nie odbiegał cechami jakościowymi od świeżego [3] Według normy PN-A-77608 z roku 1997 wilgotność suszu jabłkowego nie powinna przekroczyć 20%, tj. $0,25 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a według wcześniejszej normy – 17%.

Suszenie sublimacyjne jest uznawane za kosztowną metodę konserwowania żywności. Jednym ze składników, stanowiących o kosztach, jest stosunkowo długi czas procesu i duża energochłonność.

Ze wzrostem temperatury płyt liofilizatora czas suszenia jabłek, jak również zużycie energii skraca się wg wielomianów 2°. Przy spadku temperatury płyt poniżej 15°C nie stwierdzono polepszenia jakości suszu, natomiast znacznie przedłużał się czas procesu i zużycie energii rosło [2].

Istotnym wskaźnikiem jakości produktów roślinnych jest zachowanie w nich kwasu askorbinowego, który jest związkiem podatnym na przemiany o charakterze enzymatycznym lub chemicznym w środowisku o wysokim PH i podwyższonej temperaturze [1]. Rudy [4] podaje, iż głównym czynnikiem determinującym zachowanie tej witaminy jest wysycanie surowców kwasem cytrynowym.

Celem pracy było zbadanie: wybranych cech jakościowych suszu uzyskanego z jabłek rozdrobnionych i wysycanych kwasem cytrynowym, czasu sublimacyjnego suszenia oraz zużycia energii w suszarce dla trzech poziomów zawartości wody: 0,190; 0,075 i 0,020 $\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (co odpowiada względnej wilgotności suszu: 16%; 7% i 2%).

Dodatkowym celem było zbadanie retencji kwasu L-askorbinowego po zabiegach wstępnych: po moczeniu surowca w kwasie cytrynowym, zamrożeniu oraz po suszeniu.

METODYKA I WARUNKI BADAŃ

Jabłka odmiany Jonagold były rozdrabniane na sześciiany o boku 4 mm, moczone w 0,5% roztworze kwasu cytrynowego, odsączone, wstępnie zamrażane w zamrażarce w temperaturze -25°C , a następnie suszone w liofilizatorze ALPHA-4 z ogrzewaniem kontaktowym (który dodatkowo został wyposażony w wagę) w temperaturze płyt wynoszącej 15°C , pod ciśnieniem 63 Pa, przy obciążeniu płyt surowcem w ilości $4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

Podczas suszenia mierzono masę surowca i zużycie kWh energii przez liofilizator, przy użyciu licznika. Zawartość suchej masy oznaczano w oparciu o normę PN-ISO 1026 z 2000 r. a zawartość kwasu L-askorbinowego oznaczana była wg PN-98/A-04019 w następujących etapach procesu: dla surowca, po jego moczeniu w kwasie cytrynowym, po zamrożeniu i po suszeniu.

Wilgotność wyznaczano umieszczając 3 próbki o masie 100 g w suszarce próżniowej, gdzie pozostawały do uzyskania stałej masy. Badania zostały wykonane w 6 powtórzeniach.

WYNIKI

Zawartość kwasu L-askorbinowego w 1 kg świeżych jabłek wynosiła 91,9 mg przy wilgotności 88%, czyli w 1 kg suchej masy – 765,8 mg. Wstępne, 12-to godzinne mrożenie w zamrażarce spowodowało zmniejszenie retencji kwasu L-askorbinowego o 42% (tab. 1).

Proces sublimacyjnego suszenia i próżniowego dosuszania do wilgotności 16% powodował dalsze zmniejszenie jego retencji o 47% w odniesieniu do surowca, a do wilgotności suszu 2% zmniejszenie retencji o 51%.

Jeżeli zawartość tej witaminy po mrożeniu przyjąć za 100%, to jej retencja w suszu zależy od zawartości wody i wynosi:

- przy zawartości wody 0,190 kg·kg⁻¹ s.m. – 13,2%,
- przy zawartości wody 0,075 kg·kg⁻¹ s.m. – 8,3%,
- przy zawartości wody 0,020 kg·kg⁻¹ s.m. – 6,1%.

Tabela 1. Zmiany średniej zawartości kwasu L-askorbinowego w procesach technologicznych
Table 1. Changes of the average content of L-ascorbic acid in the processes

Badany obiekt – Object studied	Zawartość kwasu L-askorbinowego i wody			C/C _o	C/C _{mr.}
	L-ascorbic acid and water contents				
	(mg·kg ⁻¹)	(mg·kg ⁻¹ s.m.)	(kg·kg ⁻¹ s.m.)		
Jabłka świeże Fresh Apple w _o = 88%	91,90	765,8	7,333	1,000	–
– po wysycaniu kw. cytryn., – after saturation with citric acid w = 89%	69,73	731,2	8,091	0,955	–
– po mrożeniu – frozen w = 89%	42,79	413,0	8,091	0,539	1,000
Susz – Dried material (w = 16%)	45,84	54,6	0,190	0,071	0,130
Susz – Dried material (w = 7%)	32,03	34,4	0,075	0,045	0,083
Susz – Dried material (w = 2%)	24,60	25,1	0,020	0,033	0,061

Zdolność suszu do pochłaniania wody była bardzo wysoka (tab. 2), gdyż w odniesieniu do 1 kg suszu wahała się od 7960 ml do 8550 ml.

Zawartość wody po rehydratacji suszu (odniesiona do jednostki suchej masy) była tym niższa, im susz zawierał mniej wody po procesie suszenia (tab. 2). We wszystkich przypadkach przekraczała ona jednak zawartość wody w surowcu przed jego mrożeniem i sublimacyjnym suszeniem. Świadczy to o bardzo dobrych

rekonstytucyjnych właściwościach suszu uzyskanego w liofilizatorze – tym lepszych, im jego wilgotność była wyższa.

Wskaźnik rehydratacji suszu (u_R/u_o) przyjmował wartości od 1,05 do 1,16, odpowiednio dla wilgotności suszu 2% oraz 16% (tab. 2).

Tabela 2. Zdolność suszu do pochłaniania wody (R) i zawartość wody (u_R) po rehydratacji
Table 2. Ability of the dried fruit to absorb water (R) and the water content (u_R) after rehydration

Zawartość wody w suszu Water content in dried material ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	R ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}$)	* u_R ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	** w_R (%)	u_R/u_o *
0,190 (16%)	7960	9,667	90,6	1,16
0,075 (7%)	8320	9,021	90,0	1,08
0,020 (2%)	8550	8,745	89,7	1,05

*w świeżych jabłkach – fresh Apple $u_o = 7,333 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., ** $w_o = 88\%$

Ocena cech sensorycznych suszu wykazała zaledwie 3 procentowe różnicowanie wskaźnika tych cech pomiędzy suszami o różnicowanej wilgotności 7% i 16% (tab. 3). Średnia ocena cech sensorycznych suszu o wilgotności 16% była nieznacznie niższa, niż o wilgotności 2-7%, jednakże zbyt długi czas trwania ostatniego etapu procesu, tzn. próżniowego dosuszania do wilgotności 2% w liofilizatorze, wpływał niekorzystnie na aromat suszu.

Tabela 3. Średnia ocena cech sensorycznych suszu bezpośrednio po procesie suszenia
Table 3. Average estimation of sensory properties of the dried fruit directly after the drying process

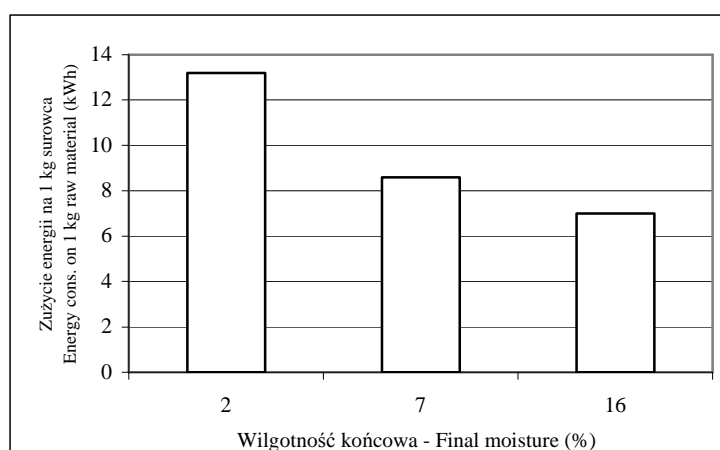
Zawartość wody w suszu Water content in dried material ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.)	Liczba punktów w skali 5-punktowej Number of points in 5-point scale	
	Lp	Lp/lp _{max}
0,190	3,9 ± 0,05	0,97
0,075	4,0 ± 0,09	1,0
0,020	4,0 ± 0,07	1,0

Czas suszenia jabłek (w postaci kostki 4x4x4 mm) w dużym stopniu zależy od stopnia dosuszenia:

- przy zawartości wody 0,02 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – wynosi 13,4 h (100%),
- przy zawartości wody 0,075 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – 8,5 h (63%),
- przy zawartości wody 0,190 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – 7,2 h, 54% (tab. 4).

Tabela 4. Czas suszenia oraz zużycie energii w liofilizatorze przy zróżnicowanej wilgotności suszu
Table 4. Drying time and energy consumption in lyophilising cabinet with diversified humidity of the dried fruit

Zawartość wody Water content (kg·kg ⁻¹ s.m.)	Czas suszenia Time of drying		Masa surowca na 1 kg suszu Raw material per 1 kg of dried material (kg)	Zużycie energii na 1 kg surowca Energy consumption per 1 of kg raw material		Zużycie energii na 1 kg suszu Energy consumption per 1 kg dried material	
	(min)	(h)		(kWh)	(%)	(kWh)	(%)
0,190 (16%)	431	7,2	3,6	7,0	53	25,0	26
0,075 (7%)	510	8,5	5,3	8,6	65	45,4	48
0,020 (2%)	803	13,4	7,1	13,2	100	94,3	100



Rys. 1. Zapotrzebowanie energii na wysuszenie 1 kg jabłek w liofilizatorze elektrycznym

Fig. 1. Energy consumption in the drying of 1 kg of apples in an electric lyophilising cabinet

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań sublimacyjnego suszenia jabłek (odmiany Jonagold, rozdrobionych na kostkę o boku 4 mm, wysycanych kwasem cytrynowym, przy obciążeniu płyt liofilizatora 4 kg·m⁻², w temperaturze płyt 15°C pod ciśnieniem 63 Pa) można sformułować następujące wnioski:

1. Po procesie suszenia retencja kwasu L-askorbinowego była tym niższa, im susz miał mniejszą wilgotność.

2. Wskaźnik rehydratacji suszu (u_R/u_0) przyjmował wartości od 1,05 do 1,16, odpowiednio dla wilgotności suszu 2% oraz 16%.

3. Wraz ze spadkiem zawartości wody w suszu wydłuża się czas suszenia i zwiększa zapotrzebowanie na energię. Jeżeli czas suszenia do zawartości wody $0,02 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. przyjąć za 100%, to jego skrócenie o 37% wystąpiło, gdy proces prowadzony był do zawartości wody $0,075 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s. m.

PIŚMIENNICTWO

1. **Fik M., Macura R.:** Wpływ przechowywania na jakość mrożonych i liofilizowanych przecierów z czarnych porzeczek. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 4, 19-21, 1997.
2. **Lis T., Lis H.:** Temperatura sublimacyjnego suszenia jako czynnik wpływający na cechy jakościowe suszu jabłkowego oraz na zużycie energii. *Inżynieria Rolnicza*, 4(10), 219-226, 1999.
3. **Lis H., Zarajczyk J.:** Wyniki wieloczynnościowych badań liofilizacji jabłek. *Inżynieria Rolnicza*, 2(22), 203-216, 2001.
4. **Rudy S.:** Wpływ warunków konwekcyjnego oraz sublimacyjnego suszenia na przebieg zmian cech jakościowych wybranych warzyw. Rozprawa doktorska. Katedra Techniki Ciepłej AR w Lublinie, 2003.

DEPENDENCE OF QUALITATIVE FACTORS OF LYOPHILISATE, DRYING TIME AND ENERGY CONSUMPTION ON ITS HUMIDITY

Tadeusz Lis, Helena Lis, Ewa Kłoczek

Faculty of Agricultural Engineering, University of Agriculture, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin
e-mail: tadlis@faunus.ar.lublin.pl

Abstract. If freeze-drying is conducted until achieving as low a humidity as possible, the dried fruit is suitable for long-term storage without significant loss of vitamins but the process is highly energy-consuming. The period of time of freeze-drying, energy consumption and qualitative factors of the dried fruit were studied for three levels of apple dried fruit humidity. In the range of water content decrease in the dried fruit from 0.075 kg kg^{-1} of dry matter (7%) to 0.02 kg kg^{-1} of dry matter (2%) energy consumption increased considerably (according to indicator 2) and retention of L-ascorbic acid decreased (by 2%). Along with the decrease of final humidity from 16% to 2%, the process time was lengthened and for this the energy-consumption necessary to achieve 1 kg of dried fruit in a lyophilising cabinet increased over threefold, and (as a result of long-term drying) the retention of L-ascorbic acid was significantly decreased.

Key words: freeze-drying, energy consumption, qualitative factors