

JAKOŚĆ SUSZU I PRZEBIEG JEGO REHYDRACJI W ZALEŻNOŚCI OD SPOSOBU SUSZENIA JABŁEK

Helena Lis, Tadeusz Lis, Anna Hołownia

Katedra Techniki Ciepłej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Biorąc pod uwagę wyniki badań cech jakościowych suszu konwekcyjnego i liofilizatu, a w szczególności przebieg rehydracji można stwierdzić znaczne ich zróżnicowanie, tym większe, im mniejszą zawartość wody posiadał susz (z suszarki sublimacyjnej). Im susz miał niższą zawartość wody, tym na początku procesu większa była szybkość jego rehydracji, następowały większe ubytki kwasu L-askorbinowego i suchej substancji. Ogranicza to czas rehydracji suszu, szczególnie uzyskanego w suszarce sublimacyjnej.

Słowa kluczowe: suszenie sublimacyjne, konwekcyjne, jakość suszy, czas rehydracji a retencja suchej substancji, witamina C.

Wykaz symboli i oznaczeń

- C – zawartość kwasu L-askorbinowego w 100 g produktu o danej zawartości wody [mg],
- r – retencja [%],
- s – substancja [kg],
- S – szybkość rehydracji [$\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg ss}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$],
- u – wilgotność bezwzględna [$\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg s.s.}^{-1}$],
- w – zawartość wody [$\text{kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1}$] $\cdot 100$ [%],
- τ – czas rehydracji suszu [min],

Indeks:

- c – kwas L-askorbinowy, o - surowiec, r - rehydracja s – susz, ss - sucha substancja

Wstęp i cel pracy

Zdolność suszu do pochłaniania wody – to główny wskaźnik prawidłowości przeprowadzenia procesu suszenia [Witrowa-Rajchert 1999]. Wzrost temperatury płyt grzejnych liofilizatora w zakresie 20-70°C oraz ciśnienia w zakresie 30-198 Pa powoduje istotne zmniejszenie zdolności do pochłaniania wody przez susz z liści selera i lubczyka [Polak 2005]. Najmniejsze straty kwasu L-askorbinowego w kolejnych przedziałach czasowych procesu suszenia pora zaobserwowano w najniższej temperaturze powietrza (50°C), przy prędkości jego przepływu 0,3 m·s⁻¹, a najwyższe straty – w temperaturze 65°C, przy prędkości przepływu 0,5 m·s⁻¹ [Rudy 2006].

Celem pracy było porównanie wybranych cech jakościowych suszu jabłkowego uzyskanego w suszarce sublimacyjnej i konwekcyjnej oraz zbadanie wpływu czasu rehydracji na: zawartość wody, wilgotność bezwzględną, szybkość rehydracji, retencję suchej masy i kwasu L-askorbinowego. W obu przypadkach proces suszenia przeprowadzono w optymalnych warunkach, określonych na podstawie wyników wcześniej przeprowadzonych badań. W suszarce sublimacyjnej najlepsze susze z owoców i warzyw pod względem cech sensorycznych uzyskiwano w zakresie temperatury płyt grzejnych, wynoszącej 15°C, pod ciśnieniem 63 Pa, a w konwekcyjnej w temperaturze powietrza 50°C i prędkości jego przepływu $v=0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [Lis H., Lis T. 1996; 1999].

Materiał i metody

Materiałem badawczym były owoce jabłoni odmiany Jonagold sport Jonagored. Jabłka suszone były po rozdrobieniu na krążki o grubości 4 mm i promieniu 1 cm. Zawartość kwasu L-askorbinowego (wg PN-A-04019) i wody określana była: w świeżych jabłkach, bezpośrednio po suszeniu oraz podczas rehydracji suszu. Dla wyznaczenia średniej zawartości wody pobierano po trzy 50 gramowe próbki, które suszono w suszarce próżniowej. Surowiec po wstępnym zamrożeniu w zamrażarce (do -25°C) umieszczany był w liofilizatorze Alpha 1,4. W suszarce sublimacyjnej końcowa zawartość wody wynosiła 3%, jak również dla porównania - w obu suszarkach również 16%, gdyż susz o takiej zawartości wody w szczelnym opakowaniu dobrze się przechowywał w ciągu 1 roku. Do suszarek podłączone były wagi ułatwiające suszenie do określonej ilości substancji (przeliczonej na zawartość wody). Na podstawie wstępnych badań przyjęto optymalne dla jabłek obciążenie liofilizatora, jak również suszarki konwekcyjnej surowcem, wynoszące 3,2 kg·m⁻². Susze były nawadniane zgodnie z normą PN-90/A-75101/19 w temperaturze wody destylowanej 20°C, jednakże w krótszym czasie - podanym w tab. 2. - do osiągnięcia takiej zawartości wody, jaka była w świeżych jabłkach. Błąd względny oznaczania zawartości wody wynosił 0,004%, zdolności suszu do pochłaniania wody 0,06%, zawartości kwasu L-askorbinowego (błąd miareczkowania) 1,9-3,0%. Wskaźnik ogólny oceny jakości suszu $W_{og} = C/C_{max} + Ip/Ip_{max}$ składał się z sumy wskaźnika strat witaminy C i średniej z 5 cech sensorycznych, takich jak: barwa, aromat, smakowość, kształt, tekstura, które były odniesione do wartości maksymalnej w doświadczeniu.

Wyniki

Zawartość kwasu L-askorbinowego w świeżych jabłkach, zawierających 86,3% wody (odchylenie standardowe 0,16) wynosiła 8,97 mg w 100 g, a w odniesieniu do suchej substancji 64,07 mg w 100 g. W 100 g suchej substancji zawartość kwasu L-askorbinowego w liofilizacji (w=3%) wynosiła 7,35 mg, a w suszu konwekcyjnym 3,79 mg. Jego retencja po suszeniu sublimacyjnym wynosiła 11,5%, a po konwekcyjnym 5,9% (tab. 1).

Susz uzyskany w suszarce sublimacyjnej cechował się lepszymi cechami sensorycznymi, niż w konwekcyjnej. Znaczną różnicę zauważono w przypadku barwy, kształtu i aromatu. Sumaryczny wskaźnik ogólny (W_{og}) badanych cech jakościowych dla suszu uzyskanego sposobem konwekcyjnym był o 36% niższy, niż sublimacyjnym (tab.1).

Jakość suszu...

Tabela 1. Cechy jakościowe suszu uzyskanego w suszarce konwekcyjnej oraz sublimacyjnej
Table 1. Qualitative features of dried material obtained from convection and vacuum freeze drier

Suszarka	konwekcyjna	sublimacyjna
Retencja kwasu L-askorbinowego r_i [%]	5,9	11,5
Wskaźnik retencji kwasu askorb. ($r_{Co} \cdot r_{C_{max}}^{-1}$)	0,51	1,00
Średnia ocena cech sensorycznych lp	3,7	4,8
Wskaźnik cech sensorycznych ($lp \cdot lp_{max}^{-1}$)	0,77	1,00
Wskaźnik ogólny cech jakościowych $W_{og} = (r_{Co} \cdot r_{C_{max}}^{-1}) + (lp \cdot lp_{max}^{-1})$	1,28	2,00

Zawartość kwasu L-askorbinowego w suszach podczas rehydracji została podana w tab. 2, a retencja w tab. 3 wraz z retencją suchej substancji i szybkością procesu.

Wpływ czasu rehydracji (τ) [min] na przebieg zmian wilgotności bezwzględnej, odniesionej do 1 kg suchej substancji, dobrze charakteryzuje równanie logarytmiczne o postaci

$$u_r = A \ln(\tau) + B, \quad (1)$$

przy czym przebieg linii trendu jest zależny od sposobu suszenia jabłek i zawartości wody w suszu (w_s):

$$u_r = 1,2285 \ln(\tau) + 3,1504 \text{ [kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}_{s.s.}^{-1}] \text{ (R}^2 = 0,970) \text{ - dla liofilizatu; } w_s = 3\%, \quad (2)$$

$$u_r = 1,0839 \ln(\tau) + 2,468 \text{ [kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}_{s.s.}^{-1}] \text{ (R}^2 = 0,954) \text{ - dla liofilizatu; } w_s = 16\%, \quad (3)$$

$$u_r = 0,7288 \ln(\tau) + 1,7865 \text{ [kg H}_2\text{O} \cdot \text{kg}_{s.s.}^{-1}] \text{ (R}^2 = 0,975) \text{ - dla suszu konwekcyjnego; } w_s = 16\%. \quad (4)$$

Susz z suszarki konwekcyjnej pochłaniał wodę powoli i w mniejszym stopniu niż z sublimacyjnej. Najszybszy i największy przyrost wilgotności (u_r) odniesionej do 1 kg suchej substancji wystąpił przy liofilizacie o najniższej zawartości wody 3%.

Tabela 2. Zmiany zawartości wody i kwasu L-askorbinowego w czasie rehydracji suszu
Table 2. Changes in water and L-ascorbic acid content during dried fruit rehydration

Czas rehydracji [min]	Susz konwekcyjny $w_s = 16\%^*$			Sublimacyjny $w_s = 16\%^*$			Sublimacyjny $w_s, w = 3\%^*$		
	w [%]	C [mg/100 g]	$C_{s.m.}$ [mg/100 g sm ⁻¹]	w [%]	C [mg/100 g]	$C_{s.m.}$ [mg/100 g sm ⁻¹]	w [%]	C [mg/100 g]	$C_{s.m.}$ [mg/100 g sm ⁻¹]
0	16	3,18	3,786	16	5,07	6,036	3	7,13	7,350
2,5	46	1,76	2,622	48,5	2,65	3,649	43	3,65	4,204
5	76	0,35	1,458	81	0,24	1,263	83	0,18	1,059
10	77	0,29	1,261	84	0,17	1,062	86 [^]	0,13	0,812
15	78	0,275	1,250	85	0,15	1,000			
20	79	0,26	1,238	86 [^]	0,13	0,928			
30	80	0,21	1,050						
60	82	0,11	0,611						
120	85	0,08	0,500						
240	86	0,06	0,400						
300	86 [^]	0,05	0,357						

*- zawartość wody w suszu, [^]- zawartość wody po rehydracji suszu – identyczna, jak w świeżych jabłkach

Tabela 3. Wpływ czasu rehydracji suszu na: szybkość rehydracji (S), retencję suchej substancji (r_{ss}), retencję kwasu L-askorbinowego (r_{Cs}) w odniesieniu do zawartości w suszu oraz do zawartości w jabłkach (r_{Co})

Table 3. The impact of dried fruit rehydration time on: rehydration rate (S), dry substance retention (r_{ss}), and L-ascorbic acid retention (r_{Cs}) with reference to its content in dried material and its content in apples (r_{Co})

Czas rehydracji [min.]	Suszu konwekcyjny $w = 16\%$ wody				Suszu sublimacyjny $w = 16\%$ wody				Suszu sublimacyjny $w = 3\%$ wody			
	S [kg H ₂ O · kg ss ⁻¹ · min ⁻¹]	r_{ss} [%]	r_{Cs} [%]	r_{Co} [%]	S [kg H ₂ O · kg ss ⁻¹ · min ⁻¹]	r_{ss} [%]	r_{Cs} [%]	r_{Co} [%]	S [kg H ₂ O · kg s.m. ⁻¹ · min ⁻¹]	r_{ss} [%]	r_{Cs} [%]	r_{Co} [%]
0	0,000	100,0	100,0	5,9	0,00	100	100,0	9,4	0,00	100	100,0	11,5
2,5	0,260	84,5	69,3	4,1	0,30	87	60,4	5,7	0,29	82	57,2	6,6
5	0,930	69	38,5	2,3	1,33	74	20,9	2,0	1,65	65	14,4	1,6
10	0,040	69	33,3	2,0	0,20	74	17,6	1,6	0,25	64	11,0	1,3
15	0,070	69	33,0	1,9	0,08	72	16,6	1,6				
20	0,040	69	32,7	1,9	0,09	72	15,4	1,4				
30	0,020	67	27,7	1,6								
60	0,020	67	16,1	0,9								
120	0,010	66	13,2	0,8								
240	0,003	66	10,6	0,6								
300	0,008	64	9,4	0,5								

^początkowa zawartość: wody w jabłkach $w_0 = 86,3\%$, kwasu L-askorbinowego 64,07 mg w 100 g s. m.

Przebieg zmian ilorazu wilgotności bezwzględnej produktu w czasie rehydracji i wilgotności bezwzględnej surowca (stanowiącej granicę rehydracji) również ma charakter logarytmiczny, co świadczy o szybkim przebiegu rehydracji na początku procesu i stopniowym przejściu do stanu równowagi, gdyż:

$$(u_r/u_0) \cdot 100 = A \ln(\tau) + B \quad (5)$$

$$(u_r/u_0) \cdot 100 = 19,42 \ln(\tau) + 49,801 [\%] - \text{dla liofilizatu; } w_s = 3\%, \quad (6)$$

$$(u_r/u_0) \cdot 100 = 17,131 \ln(\tau) + 39,008 [\%] - \text{dla liofilizatu; } w_s = 16\%, \quad (7)$$

$$(u_r/u_0) \cdot 100 = 11,52 \ln(\tau) + 28,24 [\%] - \text{dla suszu konwekcyjnego (} w_s = 16\% \text{)}. \quad (8)$$

Linia trendu zmian zawartości suchej substancji w czasie rehydracji również ma charakter logarytmiczny, co świadczy o gwałtownym charakterze zjawiska na początku procesu, gdy największej szybkości rehydracji towarzyszą znaczne ubytki suchej substancji wraz z witaminą C, gdyż:

$$ss = A \ln(\tau) + B \quad (9)$$

$$ss = -3,395 \ln(\tau) + 69,123 [\text{g}\%] (R^2 = 0,980) - \text{dla liofilizatu; } w_s = 3\%, \quad (10)$$

$$ss = -1,794 \ln(\tau) + 65,29 [\text{g}\%] (R^2 = 0,856) - \text{dla liofilizatu; } w_s = 16\%, \quad (11)$$

$$ss = -0,995 \ln(\tau) + 60,176 [\text{g}\%] (R^2 = 0,920) - \text{dla suszu konwekcyjnego; } w_s = 16\%. \quad (12)$$

Po 2,5 minutach rehydracji zawartość wody w suszu konwekcyjnym wzrosła od 16% do 43% i w jeszcze w większym stopniu w liofilizatach: od 16% do 48,5% i od 3% do 46% przy jednoczesnym zmniejszeniu retencji suchej substancji do poziomu 84,5% w suszu konwekcyjnym, do 87% w sublimacyjnym ($w_s=16\%$) i w największym stopniu - do 82% w sublimacyjnym o najniższej zawartości wody ($w_s=3\%$), gdzie rehydracja była najbardziej gwałtowna. Spadek retencji kwasu L-askorbinowego do 69% wystąpił w suszu konwekcyjnym oraz odpowiednio do 60% i 57% w sublimacyjnym (tab. 3).

Retencja kwasu L-askorbinowego po suszeniu konwekcyjnym wyniosła 5,9%, po sublimacyjnym 11,5%, a po 2,5 min rehydracji, w odniesieniu do świeżych jabłek, wyniosła niewiele (odpowiednio: 4,1%; 5,7% i 6,6%). Im mniejsza zawartość wody w suszu z suszarki sublimacyjnej, tym krótszy powinien być czas jego rehydracji. Krótki czas rehydracji suszu z jabłek ograniczy straty suchej substancji, a szczególnie kwasu L-askorbinowego. Ze względu na zróżnicowaną porowatość susz uzyskany w suszarce sublimacyjnej odznaczał się większą szybkością rehydracji, niż z konwekcyjnej. Objętość porów wypełnionych powietrzem w liofilizacji wynosi ok. 91%, podczas gdy w suszu z suszarki konwekcyjnej ok. 55%.

Po 5 minutowym procesie rehydracji ilość wody, odniesiona do jednostki suchej substancji, zwiększyła się 17-krotnie w suszu z suszarki konwekcyjnej, 22-krotnie w liofilizacie o tej samej zawartości wody (16%) oraz 157-krotnie w liofilizacie o zawartości wody 3%. Podczas rehydracji liofilizat osiągnął zawartość wody taką, jak w surowcu (86%) po 10 min, jeżeli był wysuszony do 3%, po 20 min - jeżeli był wysuszony do 16%, a susz konwekcyjny - po 5 godz. Po rehydracji liofilizatu w zakresie 3% - 86% retencja suchej masy wynosiła zaledwie 64%, retencja kwasu L-askorbinowego w odniesieniu do stanu przed rehydracją 11%, a do stanu w surowcu 1,3%. Ze względu na straty, pełną rehydrację suszy - do uzyskania zawartości wody charakterystycznej dla surowych jabłek należy wykluczyć. Ubytki suchej masy, w tym kwasu L-askorbinowego, są ważnym czynnikiem ograniczającym czas rehydracji suszu z jabłek, który nie powinien przekraczać 2,5 min.

Wnioski

1. Retencja kwasu L-askorbinowego po sublimacyjnym suszeniu jabłek była niemal 2-krotnie większa, niż po konwekcyjnym. Znacznie większa szybkość rehydracji liofilizatu, niż suszu konwekcyjnego, przy zbyt długim czasie tego procesu może prowadzić do strat suchej substancji, a szczególnie badanej witaminy C.
2. Linie trendu zmian wilgotności bezwzględnej i ulegającej wyflukiwaniu zawartości suchej substancji w czasie rehydracji mają charakter logarytmiczny, co świadczy o gwałtownym charakterze przebiegu tych zjawisk w przedziale czasowym 2,5-5 min, gdy największej szybkości rehydracji towarzyszą znaczne ubytki suchej substancji wraz z kwasem L-askorbinowym. Im susz miał niższą zawartość wody, tym większa była szybkość jego rehydracji w ww. przedziale czasowym.
3. Racjonalne ograniczenie czasu rehydracji suszu z jabłek w temperaturze 20°C do 2,5 min zapewni wystarczający wzrost zawartości wody w suszu konwekcyjnym w zakresie 16%-46%, a w sublimacyjnym od 3% do 43%. Ograniczy to spadek retencji suchej masy odpowiednio do ok. 84% i 82% i spadek retencji kwasu L-askorbinowego (w stosunku do zawartości w suszach) do 69% - w suszu z suszarki konwekcyjnej i do 57% z sublimacyjnej.

Bibliografia

- Lis H., Lis T.** 1996. Energochłonność suszenia owoców. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 444. s. 279-283.
- Lis H., Lis T.** 1999. Temperatura sublimacyjnego suszenia jako czynnik wpływający na cechy jakościowe suszu jabłkowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 4. s. 219-226.
- Witrowa-Rajchert D.** 1999. Rehydratacja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Warszawa, Wydaw. Fund. "Rozwój SGGW". s. 25-39.
- Polak R.** 2005. Studia nad sublimacyjnym suszeniem wybranych roślin przyprawowych. Praca doktorska w Katedrze Techniki Ciepłej AR w Lublinie. Maszynopis.
- Rudy S.** 2003. Wpływ warunków konwekcyjnego oraz sublimacyjnego suszenia na przebieg zmian cech jakościowych wybranych warzyw. Praca doktorska w Katedrze Techniki Ciepłej AR w Lublinie.
- Rudy S.** 2006. Matematyczne modelowanie termicznej degradacji kwasu L-askorbinowego w czasie konwekcyjnego suszenia pora. Inżynieria Rolnicza. Nr 6(81). Kraków. s. 203-212.

DRIED FRUIT QUALITY AND ITS REHYDRATION PROGRESS DEPENDING ON APPLE DRYING METHOD

Abstract. Taking into account results of the studies on qualitative features of convection dried fruit and lyophilisate, and in particular the rehydration progress, one may observe their considerable diversification, which is growing with decreasing water content in dried material (from vacuum freeze drier). The lower water content in dried material, the higher its rehydration rate at the beginning of the process, and higher losses of L-ascorbic acid and dry substance. This reduces rehydration time for dried fruit, in particular that obtained from vacuum freeze drier.

Key words: sublimation drying, convective drying, dried material quality, rehydration time and dry substance retention, vitamin C

Adres do korespondencji:

Tadeusz Lis: e-mail: tadeusz.lis@up.lublin.pl
Katedra Techniki Ciepłej
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 44
20-236 Lublin