

WPLÝW TECHNIKI SUSZENIA ORAZ WARUNKÓW PRZECHOWYWANIA
NA WŁAŚCIWOŚCI REKONSTYTUCYJNE I HIGROSKOPIJNE
SUSZU JABŁKOWEGO

Małgorzata Rząca, Dorota Witrowa-Rajchert

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności, SGGW
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa
e-mail: malgorzata_rzaca@sggw.pl

Streszczenie. W pracy badano wpływ suszenia konwekcyjnego i suszenia promiennikowego oraz przechowywania w różnych temperaturach (4, 25 i 40°C) na wybrane właściwości rekonstytucyjne i higroskopijne suszu jabłkowego. Badania wykazały, że suszenie konwekcyjne powoduje większy skurcz materiału niż występujący podczas suszenia promiennikowego. W czasie suszenia nastąpiły nieodwracalne zmiany w strukturze materiału, co wpłynęło na zdolność wchłaniania wody i jej zatrzymywania. Względny przyrost masy i ubytek suchej substancji w czasie rehydracji był większy dla suszu promiennikowego, co wiązało się z jego mniejszym skurczem i gęstością oraz większą porowatością. W czasie przechowywania susz promiennikowy wykazywał podczas uwadniania mniejsze przyrosty masy w czasie rehydracji niż susz konwekcyjny, jedynie w temperaturze 40°C były to wartości porównywalne. Nie stwierdzono istotnego wpływu czasu, temperatury przechowywania i rodzaju suszu na dyfuzję rozpuszczalnych składników suchej substancji z tkanki w czasie jej uwadniania. Podobne tendencje zauważono badając właściwości higroskopijne.

Słowa kluczowe: suszenie konwekcyjne, suszenie promiennikowe, rehydracja, higroskopijność, przechowywanie

WSTĘP

Właściwości fizyczne tkanki roślinnej ulegają zmianie w czasie procesu suszenia. Wraz z ubytkiem wody wzrasta sztywność ścian komórkowych oraz następuje przemieszczanie się związków rozpuszczalnych w wodzie. Skurcz jest jedną z głównych zmian fizycznych materiału zachodzących podczas suszenia, który wpływa na jakość

produktu, poprzez zmiany jego tekstury i obniżenie możliwości adsorpcji (Genskow 1988). Zmiany kształtu i skurcz zależą od początkowej struktury materiału, jego porowatości oraz składu chemicznego. Natomiast porowatość wpływa na sposób przenoszenia masy, a dalej na właściwości mechaniczne i teksturę suszonej żywności (Witrowa-Rajchert 1999)

Po suszeniu wiele produktów jest bezpośrednio spożywanych lub dalej przetwarzanych po ich wcześniejszym uwodnieniu. Podczas rehydracji suchy produkt chłonie wodę, co pozwala określić, w jakim stopniu w czasie suszenia zaszły zmiany fizyczne i strukturalne. W czasie rehydracji następuje zwiększenie masy i objętości suszu oraz maleje stężenie rozpuszczalnych składników suchej substancji (Witrowa-Rajchert 1999). Szybkość i stopień rehydracji zależy od warunków suszenia, które mogą powodować rozrywanie wewnętrznej struktury sieci komórkowej, wpływając jednocześnie na jakość produktu (McMinn i Magee 1997)

W celu określenia zmian zachodzących w surowcu w czasie suszenia bada się właściwości higroskopijne suszonych produktów. Wybór metody suszenia ma znaczący wpływ na właściwości higroskopijne, które bezpośrednio związane są ze skurczem i porowatością suszu. Niewielki skurcz suszu wiąże się z jego większą porowatością, a to prowadzi do szybszego chłonięcia pary wodnej. Przykładowo susz sublimacyjny o skurczu około 4% i większej porowatości łatwiej chłonał parę wodną niż susz konwekcyjny, którego skurcz wynosił około 77% (Fabisiak i in. 2003).

Jakość suszonych surowców roślinnych jest silnie zależna od warunków procesu. Wysoka temperatura i długi czas suszenia może prowadzić do zmian tekstury, zmian barwy, kurczenia się oraz strat aromatu i smaku. Również właściwości produktu po przechowywaniu zależą w dużym stopniu od zastosowanej metody suszenia.

Najbardziej rozpowszechniona metoda stosowana do suszenia surowców roślinnych to suszenie konwekcyjne. Metoda ta jest często stosowana w przemyśle, ze względu na prostotę budowy i łatwą eksploatację urządzeń. Jednak, niska sprawność energetyczna takich suszarek oraz niska jakość uzyskanego suszu (Wang i Chao 2002) są przyczynami poszukiwania metod, które dają lepszy produkt pod względem jakościowym, a zarazem charakteryzujących się niskim kosztem produkcji. Jedną z nowoczesnych, niekonwencjonalnych metod suszenia jest zastosowanie promieniowania podczerwonego. Suszenie promieniami podczerwonymi może być szybsze nawet o około 50% od suszenia konwekcyjnego, przy zastosowaniu porównywalnych parametrów procesu (Nowak i Lewicki 2004). Doniesienia dotyczące suszenia promieniami podczerwonymi często odnoszą się jedynie do badania kinetyki procesu

suszenia, natomiast na temat jakości przechowalniczej takich suszy jest niewiele informacji w literaturze naukowej. Dlatego istnieje potrzeba podjęcia badań wyjaśniających, jak proces suszenia promieniami podczerwonym wpływa na jakość przechowywanego suszu. Celem badań było określenie zmian wybranych właściwości fizycznych jabłek podczas suszenia konwekcyjnego i promiennikowego oraz po przechowywaniu suszy w różnych warunkach (czas 2, 12 i 20 tygodni; temperatura 4, 25, 40°C).

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto jabłek odmiany *Idared*. Owoce myto, obierano i krojono w plastry o średnicy 30 mm i grubości $2,5 \pm 0,1$ mm. Pokrojony materiał zanurzano w 0,1 % rozworze kwasu cytrynowego, w celu zabezpieczenia przed reakcjami brunatnienia enzymatycznego. Następnie osuszano materiał na bibule, układano na płytach sitowych i suszono.

Zastosowano dwie metody suszenia: suszenie konwekcyjne i suszenie przy wykorzystaniu promieniowania czerwonego. Procesy te przeprowadzono w suszarkach laboratoryjnych w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW. W przypadku suszenia konwekcyjnego surowiec układano na sicie w pojedynczej warstwie i suszono w temperaturze 70°C, stosując przepływ powietrza równoległy do warstwy materiału o prędkości $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast dla suszenia promiennikowego dobrano tak parametry, aby temperatura suszonego materiału była porównywalna do temperatury materiału suszonego metodą konwekcyjną. Stosowano przepływ nieogrzewanego powietrza, równoległy do warstwy materiału, o prędkości $1,2\text{-}1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Źródłem promieniowania podczerwonego było dziewięć lamp ustawionych szeregowo w trzech rzędach, o mocy 175 W każda i średnicy 125 mm. Odległość lamp od powierzchni suszonego materiału wynosiła 20 cm.

Otrzymane susze przechowywano bez dostępu światła, w trzech temperaturach: 4, 25 i 40°C. Susz przechowywano przez okres 2, 12 i 20 tygodni. Jakość suszu określano badając zmiany gęstości, skurczu, właściwości rehydracyjnych i właściwości higroskopijnych.

Oznaczenie objętości wykonano metodą toluenową (Mazza 1983). Na podstawie pomiarów objętości materiału określono skurcz, a dodatkowo pomiar masy próbek umożliwił obliczenie gęstości.

Zdolność do rehydracji wyrażano względnym przyrostem masy i względnym ubytkiem rozpuszczalnych składników suchej substancji. Plastry suszu o znanej masie zalewano 100 cm^3 wody destylowanej o temperaturze 20°C. Kinetykę procesu

badano w zakresie 0-5 godzin. Po 0,5; 2 i 5 godzinach próbkę oddzielano na sicie od wody, osuszano bibułą, ważono i oznaczano zawartość suchej substancji.

W celu określenia właściwości higroskopijnych, materiał bezpośrednio po suszeniu oraz po każdym czasie przechowywania układano na szalce wagi, którą umieszczano w środowisku o $a_w = 1$ w stanowisku pomiarowym, umożliwiającym ciągłą rejestrację przyrostów masy. Kinetykę adsorpcji wyznaczano przez 24 godziny w temperaturze 25°C.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono przy zastosowaniu testu t-Studenta, dwuczynnikowej analizy wariancji i procedury Duncana przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Suszenie z zastosowaniem energii podczerwonej skróciło czas suszenia o około 47% w porównaniu do suszenia konwekcyjnego, co wpłynęło na różnice właściwości otrzymanych suszy. Zróżnicowany sposób dostarczenia energii mógł mieć wpływ na jakość suszu. Zawartość suchej substancji, gęstość i skurcz materiału otrzymanego różnymi metodami suszenia przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka suszu

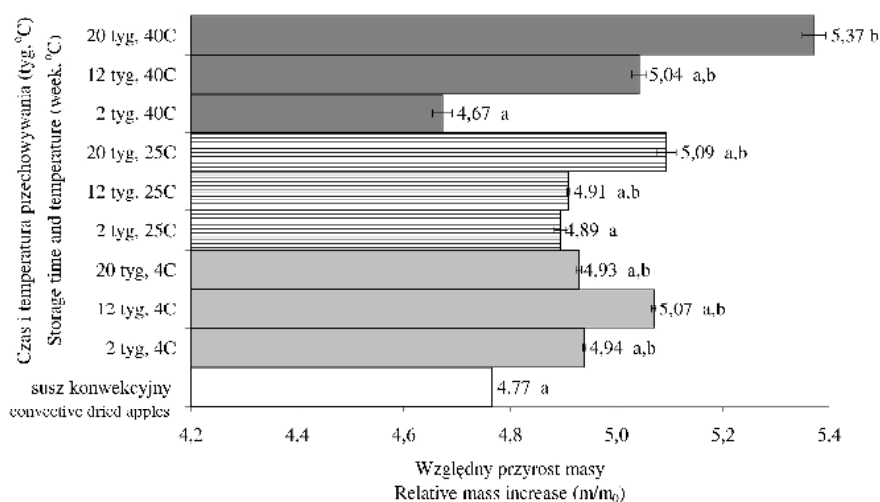
Table 1. Characteristic of dried apple slices

Metoda suszenia Method of drying	Zawartość suchej substancji Dry matter content (%)	Gęstość Density (g·cm ⁻³)	Skurcz Shrinkage (%)
Konwekcyjne Convective	93,0±0,99	0,464±0,01	76,0
Podczerwień Infrared	91,1±1,10	0,435±0,02	72,3

Skurcz materiału suszonego konwekcyjne był większy w porównaniu do suszenia promiennikowego i była to różnica istotna statystycznie. Większy skurcz wiąże się ze wzrostem gęstości próbki, co natomiast powoduje mniejszą porowatość. Te właściwości wyraźnie wpływały na proces rehydracji, podczas którego w początkowym okresie susz promiennikowy intensywniej wchłaniał wodę niż susz konwekcyjny. W dalszych etapach uwadniania różnice między suszami zanikały, ponieważ woda wypełniła już pory, a przyrost masy wynikał z wnikania wody do matrycy ciała stałego. W czasie rehydracji następował również ubytek rozpuszczalnych składników su-

czej substancji, który określano na podstawie pomiarów masy oraz zawartości suchej substancji po każdym czasie rehydracji. Szybszy ubytek w przypadku suszu promiennikowego wynikał prawdopodobnie z większego wchłaniania wody, a więc większej możliwości dyfuzji rozpuszczalnych składników do środowiska.

W celu oceny wpływu czasu i temperatury przechowywania na przyrost masy materiału podczas rehydracji zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji. Dla suszu konwekcyjnego stwierdzono większy wpływ czasu przechowywania, natomiast dla suszu promiennikowego – temperatury przechowywania. Może być to związane ze sposobem dostarczania ciepła do surowca i w związku z tym z różnymi zmianami, jakie mogły nastąpić w czasie suszenia, a następnie przechowywania. Dla obydwu suszy względny przyrost masy po 5 godzinach rehydracji zawierał się w granicach 4,4-5,4, dla różnych temperatur i czasów przechowywania (rys. 1 i 2).

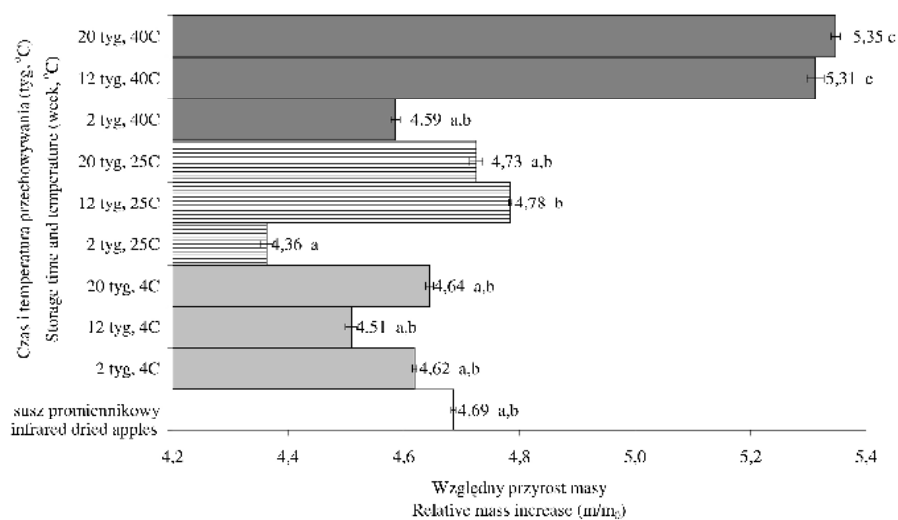


Rys. 1. Wpływ temperatury i czasu przechowywania na przyrost masy suszu konwekcyjnego po 5 h rehydracji. a, b – te same litery wskazują grupy jednorodne

Fig. 1. Influence of temperature and time of storage on mass increase of convective dried apple slices after 5 h of rehydration. a, b – the same letters indicate homogeneous groups

Dla suszu konwekcyjnego wydłużenie czasu przechowywania powodowało większy przyrost masy w czasie uwadniania w porównaniu z suszem wyjściowym, ale był on statystycznie istotny tylko dla materiału przechowywanego w temperaturze 40°C przez 20 tygodni (rys. 1). Natomiast dla suszu promiennikowego przyrost masy zale-

żał w większym stopniu od temperatury przechowywania. W temperaturze 4°C dla suszu promiennikowego występował w czasie uwadniania mniejszy przyrost masy w stosunku do materiału bezpośrednio po suszeniu, natomiast w 25 i 40°C, poza pierwszymi 2 tygodniami przechowywania, zauważono większy przyrost masy w stosunku do suszu wyjściowego (rys. 2). Susz konwekcyjny, przechowywany w temperaturze 25 i 40°C, wykazywał się większym przyrostem masy wraz z przedłużaniem przechowywania. W temperaturze 4°C przyrost masy wzrósł po 12 tygodniach przechowywania, a po 20 tygodniach obniżył się, ale nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w stosunku do suszu na początku przechowywania. Natomiast w przypadku suszu promiennikowego przechowywanego w temperaturze 4°C przyrost masy podczas rehydracji przebiegał odwrotnie. Po 12 tygodniu przechowywania przyrost masy był mniejszy niż po 2 tygodniach przechowywania, natomiast w 20 tygodniu wzrósł do wartości zbliżonej do początkowego okresu przechowywania.



Rys. 2. Wpływ temperatury i czasu przechowywania na przyrost masy suszu promiennikowego po 5 h rehydracji. a, b, c – te same litery wskazują grupy jednorodne

Fig. 2. Influence of temperature and time of storage on mass increase of infrared dried apple slices after 5h of rehydration. a, b, c – the same letters indicate homogeneous groups

Na podstawie analizy statystycznej stwierdzono, że temperatura i czas przechowywania oraz rodzaj suszu nie wpłynęły na ilość rozpuszczalnych składników substancji dyfundujących z materiału do wody w czasie rehydracji.

Mniejszy skurcz suszu promiennikowego niż suszu konwekcyjnego wiąże się z jego większą porowatością, a to prowadzi do szybszego chłonięcia pary wodnej. 1 g suchej substancji suszu promiennikowego absorbował w ciągu 24 h około 0,94 g wody, natomiast suszu konwekcyjnego – 0,75 g H₂O. Wartości te mogą wskazywać również, że w czasie suszenia konwekcyjnego nastąpiło większe uszkodzenie tkanki roślinnej, w wyniku czego została obniżona zdolność wiązania wody.

Tabela 2. Właściwości higroskopijne suszy w czasie przechowywania

Table 2. Hygroscopic properties of dried apple slices during storage

Temperatura przechowywania Storage temperature (°C)	Czas przechowywania (tyg) Storage time (weeks)			
	0	2	12	20
Czas, po którym susz adsorbował 0,3 g H ₂ O·g s.s. ⁻¹ Time after which dried apples adsorbed 0.3 g H ₂ O g d.m. ⁻¹ , (h)				
Suszu konwekcyjny – Convective dried apples				
4		2,1	3,7	4,3
25	2,2	2,3	4,1	4,0
40		3,6	4,3	4,0
Suszu promiennikowy – Infrared dried apples				
4		2,8	1,8	9,6
25	1,7	2,0	– *	3,3
40		2,8	2,3	2,6

* brak danych – no data available.

Podczas przechowywania następowały zmiany właściwości higroskopijnych, co wskazuje, że w strukturze suszu również następowały zmiany. W tabeli 2 przedstawiono czasy, po których susze wchłaniały określoną ilość pary wodnej (0,3 g H₂O (g s.s.)⁻¹). Suszu promiennikowy wykazywał się lepszymi właściwościami higroskopijnymi w porównaniu z konwekcyjnym. Dla suszu promiennikowego nie miała statystycznie istotnego wpływu ani temperatura ani czas przechowywania, natomiast dla suszu konwekcyjnego

większy wpływ na właściwości higroskopijne miała temperatura przechowywania niż czas przechowywania, co potwierdziła dwuczynnikowa analiza wariancji. Dla suszu konwekcyjnego przechowywanego przez 2 i 12 tygodni wraz ze wzrostem temperatury malała higroskopijność suszu, ponieważ ze wzrostem temperatury przechowywania wzrastał czas potrzebny do zaabsorbowania $0,3 \text{ g H}_2\text{O} \cdot (\text{g s.s})^{-1}$. Przechowywanie suszy w wyższych temperaturach mogło spowodować zmiany w biopolimerach, przez co zdolność do wiązania wody zmalała. Po czasie 20 tygodni obserwowano dla obydwu badanych suszy odwrotną tendencję, to znaczy zdolność adsorpcji zwiększała się wraz ze wzrostem temperatury przechowywania.

WNIOSKI

1. Metoda suszenia wpływała na właściwości fizyczne suszu. Suszenie z zastosowaniem promieniowania podczerwonego skróciło czas suszenia jabłka prawie o połowę w porównaniu do suszenia konwekcyjnego. Otrzymany susz charakteryzował się mniejszym skurczem i gęstością, co wpłynęło na większy względny przyrost masy w czasie rehydracji oraz charakteryzował się większą higroskopijnością niż susz konwekcyjny.

2. Właściwości produktu po przechowywaniu zależały w dużym stopniu od zastosowanej metody suszenia oraz warunków przechowywania. Przechowywany susz promiennikowy wykazywał mniejsze przyrosty masy w czasie rehydracji niż susz konwekcyjny. Jedynie w temperaturze 40°C były to wartości porównywalne. Nie stwierdzono istotnego wpływu czasu, temperatury przechowywania i rodzaju suszu na dyfuzję rozpuszczalnych składników suchej substancji z tkanki w czasie jej uwadniania.

3. Susz promiennikowy bezpośrednio po suszeniu charakteryzował się większą higroskopijnością niż susz konwekcyjny. W czasie przechowywania wraz ze wzrostem temperatury i czasu przechowywania wydłużał się czas wchłaniania określonej ilości wody, czyli pogorszyły się właściwości higroskopijne.

PIŚMIENNICTWO

- Fabisiak A., Witrowa-Rajchert D., Głuszko J., 2003. Wpływ temperatury na wybrane właściwości jabłek suszonych konwekcyjnie i sublimacyjnie, *Żywność*, 2(35) Supl., 19-27.
- Genskow L.R., 1988. Considerations in drying consumer products, VI International Drying Symposium, eds M.A. Roques, A.S. Mujumdar, Versailles, France, 39-46.
- Mazza, G., 1983. Dehydration of carrots: effect of predrying treatments on moisture transport and product quality. *Journal of Food Technology*, 18, 113-123.

- McMinn W., Magee T., 1997. Quality and physical structure of a dehydrated starch-based system, *Drying Technology*, 15(6/8), 1961-1972.
- Nowak D., Lewicki P.P., 2004. Infrared drying of apple slices, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(3), 353-360.
- Wang J., Chao Y., 2002. Drying characteristics of irradiated apple slices, *Journal Food of Engineering*, 52, 83-88,
- Witrowa-Rajchert D., 1999. Rehydracja jako wskaźnik zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia, Wydawnictwo Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa.

THE INFLUENCE OF DRYING TECHNIQUE AND STORAGE CONDITIONS ON DRIED APPLES RECONSTITUTION AND HYGROSCOPIC PROPERTIES

Małgorzata Rząca, Dorota Witrowa-Rajchert

Department of Food Engineering and Process Management, Faculty of Food Technology,
Warsaw Agricultural University
ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa
e-mail: mrzaca@o2.pl

Abstract. Investigation of the influence of convective and infrared drying and storage at 4, 25 and 40°C on reconstitution and hygroscopic properties of dried apple slices was the purpose of the research. Achieved results showed that convective drying caused greater shrinkage than infrared drying. Irreversible changes in the structure of material appeared during drying, which had an influence on the ability of water imbibition and retention. The relative mass increase and solubles loss were greater for the infrared dried material, which was connected with smaller shrinkage and density and with greater porosity. During storage, infrared dried material had smaller mass increases during rehydration than the convective dried apples. The values were comparable at 40°C. No significant influence of time and temperature storage and kind of dried material on diffusion of solubles from tissue during soaking was found. Similar tendencies were noticed when investigating the hygroscopic properties.

Key words: convection drying, infrared drying, rehydration, hygroscopic properties, storage