

WPŁYW ZAMRAŻANIA ORAZ ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO
SUROWCA W RÓŻNYCH ROZTWORACH
NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI LIOFILIZOWANYCH TRUSKAWEK

Agnieszka Ciurzyńska, Andrzej Lenart

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

Streszczenie. Celem pracy było zbadanie wpływu odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej i mrożenia na wybrane właściwości fizyczne liofilizowanych truskawek. Analizę wykonano na podstawie zmian zawartości i aktywności wody oraz właściwości sorpcyjnych i rehydracyjnych. Odwadnianie osmotyczne w roztworze sacharozy truskawek świeżych i zamrożonych powoduje obniżenie adsorpcji pary wodnej przez liofilizaty. Owoce poddane obróbce wstępnej przed suszeniem sublimacyjnym charakteryzują się niższą końcową zawartością wody po rehydracji w stosunku do nieodwadnianych osmotycznie truskawek.

Słowa kluczowe: truskawki, liofilizacja, odwadnianie osmotyczne, sorpcja pary wodnej, rehydracja

WSTĘP

Truskawki są bardzo podatne na pogorszenie jakości podczas przechowywania. Zmiany te wywołane są czynnikami chemicznymi i mikrobiologicznymi, co znacznie ogranicza przydatność tych owoców do użycia w stanie świeżym (Duxbury 1992). Suszenie zapewnia usunięcie wody, przez co zachowana jest stabilność mikrobiologiczna, a zminimalizowaniu ulegają chemiczne i fizyczne zmiany podczas przechowywania (Ciurzyńska i Lenart 2007). W ostatnich latach analizowano różne metody suszenia i dużo uwagi poświęcono jakości utrwalanej tak żywności (Jena i Das 2005).

Suszenie sublimacyjne, polega na zamrożeniu produktu, a następnie sublimacji powstałych kryształków lodu. Susze sublimacyjne o porowatej mikrostrukturze cechuje wysoka higroskopijność, mała odporność na uszkodzenia mechaniczne, zatem istnieje potrzeba modyfikacji tego sposobu suszenia dla ograniczenia niekorzystnych zmian.

Jednym z możliwych rozwiązań jest odwadnianie osmotyczne, polegające na zanurzeniu owoców w roztworach osmotycznych, w wyniku, czego z tkanki usuwana jest woda, a wprowadzane są składniki rozpuszczalne roztworu (Montserrat i Wet 2003). Obróbka osmotyczna może być stosowana jako proces wstępny dla dużej liczby procesów technologicznych, włączając w to m.in. suszenie, pasteryzację, i mrożenie (Matuska i in. 2006). Przeprowadzone w ostatnich latach badania dowodzą, że zastosowanie odwadniania jako obróbki wstępnej owoców i warzyw daje bardzo dobre wyniki obniżenia zawartości wody w produkcie i istotny wzrost zawartości suchej substancji (Kowalska i Lenart 2001), a otrzymany produkt jest atrakcyjny sensorycznie (Piotrowski i in. 2002).

Aby właściwie zaprojektować proces suszenia, dobrać odpowiednie urządzenia oraz zapewnić trwałość produktu w czasie przechowywania ważna jest wiedza o właściwościach sorpcyjnych żywności (Johnson i Brennan 2000). Wielu cennych informacji na temat obecności i stanu wody dostarcza izoterma sorpcji, czyli zależność między aktywnością wody a zawartością wody w produkcie (Gondek i Lewicki 2005). Wnikanie sacharozy podczas odwadniania osmotycznego truskawek oraz temperatura procesu zmieniają szybkość adsorpcji pary wodnej przez suszone sublimacyjnie owoce powodując spowolnienie wchłaniania pary wodnej w porównaniu z materiałem niepoddanym wstępnemu działaniu cukru (Janowicz i in. 2006).

Skład chemiczny tkanki roślinnej wpływa znacząco na zdolność chłonięcia wody, ale zależność ta jest złożona (Witrowa-Rajchert 1999). Prothon (2003) stwierdził, że odwadnianie osmotyczne powoduje ograniczenie zdolności chłonięcia wody w czasie uwadniania suszonych próżniowo jabłek. Prawdopodobnie ma to związek z mniejszą porowatością takiego materiału na skutek wysycenia przestrzeni wewnątrzkomórkowych i ścian komórkowych cukrem. Natomiast według Barbanti i in. (1991) wstępne odwadnianie blanszowanego jabłka i gruszki w roztworze glukozy i fruktozy, poprawia właściwości rehydracyjne suszy. Również marchew suszona sublimacyjnie, wstępnie odwadniana w roztworze chlorku sodowego, charakteryzuje się podobnymi właściwościami (Witrowa-Rajchert 1999).

Celem pracy było zbadanie wpływu odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej i mrożenia na wybrane właściwości fizyczne liofilizowanych truskawek. Podjęto próbę określenia warunków odwadniania osmotycznego poprzedzającego suszenie sublimacyjne truskawek, umożliwiającą oddziaływanie na zawartość i aktywność wody, oraz rehydrację i właściwości sorpcyjne.

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto truskawki (Senga Sengana) świeże i zamrożone przechowywane przez 12 miesięcy. Owoce odwadniano w roztworach o aktywności wody = 0,9 (stężenia: sacharozy 61,5% i glukozy 49,2%) przy stosunku masowym surowca do roz-

tworu 1:4 w temperaturze 30°C, przez 3 godziny w warunkach dynamicznych pod ciśnieniem atmosferycznym (w czterech powtórzeniach). Odwodnione osmotycznie truskawki przetrzymywano w zamrażarce w temperaturze (-70°C) przez 2 godziny. Liofilizacji poddawano zamrożone truskawki wcześniej odwodnione osmotycznie oraz nieodwadniane owoce świeże niezwłocznie zamrożone i owoce przechowywane w stanie zamrożenia przez 12 miesięcy. Proces liofilizacji (w czterech powtórzeniach) prowadzono przy stałych parametrach: ciśnienie 63 Pa, ciśnienie bezpieczeństwa 103 Pa, czas 24 godziny, temperatura półek grzejnych liofilizatora 30°C. Po liofilizacji owoce zamykano w szklanych słoikach i przechowywano w zaciemnionym miejscu w temperaturze 25±3°C do czasu przeprowadzania badań.

Zawartość suchej substancji oznaczano dla truskawek liofilizowanych wstępnie odwadnianych osmotycznie w stanie świeżym i zamrożonych, przechowywanych przed obróbką osmotyczną oraz nieodwadnianych (Drzazga 1995). Owoce rozdrabniano za pomocą homogenizatora Ultra Turrax® T25 firmy IKA (USA). Rozdrobnione próbki truskawek odważano na wadze analitycznej z dokładnością do 0,001 g po około 3 g homogenatu do szklanych naczynek wagowych. Suszenie prowadzono w suszarce konwekcyjnej w temperaturze 60°C do stałej masy, przez około 24 godziny. Po upływie zadanego czasu naczynka wstawiano do eksykatora na około 30 minut i ponownie ważono na wadze analitycznej.

Aktywność wody oznaczano w aparacie Rotronic Hygroscop DT zgodnie z instrukcją producenta w temperaturze 25±1°C. Oznaczenie wykonywano w trzech powtórzeniach. Próbkę do badań stanowił susz w postaci całej truskawki (Ciurczyńska i Lenart 2009).

Pomiar kinetyki adsorpcji pary wodnej wykonywano w czterech powtórzeniach dla wszystkich rodzajów truskawek (Domian i in. 1996). Korzystano ze stanowiska zapewniającego ciągły pomiar przyrostu masy w warunkach stałej temperatury i wilgotności względnej powietrza. Jako czynnik higrostatyczny stosowano roztwór nasycony NaNO₂ o aktywności wody 0,648 w temperaturze 25±1°C przez 20 godzin. Próbkę do badań stanowił susz w postaci całej truskawki. Przyrost masy rejestrowano za pomocą programu komputerowego „Pomiar dla DOS” (Ruciński 1994).

Do interpretacji matematycznej uzyskanych wyników zastosowano równanie wykładnicze:

$$u = a + b * (1 - \exp^{(-c*\tau)}) \quad (1)$$

gdzie: a, b, c – stałe równania,

τ – czas adsorpcji (h),

u – zawartość wody (g H₂O g⁻¹ s.s.).

Oznaczenie właściwości rehydracyjnych polegało na pomiarze masy i zawartości suchej substancji liofilizowanych owoców w czasie 120 minut przetrzymywania w wodzie (Witrowa-Rajchert 1999). Pomiar był wykonywany w temperaturze pokojowej, dla wszystkich rodzajów truskawek liofilizowanych, w dwóch powtórzeniach.

Do dwóch zlewek nalewano po 100 ml wody destylowanej i wkładano po jednej, całej truskawce (masa około 1 g) uprzednio zważonej na wadze technicznej z dokładnością do $\pm 0,001$ g. Po czasie 120 minut owoce były odsączone, wagi i oznaczano w nich zawartość suchej substancji. Dla uzyskanych suszy sublimacyjnych wyliczono zawartość wody, u ($\text{g H}_2\text{O g}^{-1}$ s.s.):

$$u = \frac{(1 - s)}{s} \quad (2)$$

gdzie: s – zawartość suchej substancji w próbce – ułamek.

Wskaźnik dopasowania danych eksperymentalnych i obliczeniowych:

MRE – średni błąd względny (%)

$$\text{MRE} = \frac{100}{n} * \sum \left| \frac{u_e - u_o}{u_e} \right| \quad (3)$$

gdzie: e – eksperymentalna,

o – obliczeniowa,

n – liczba danych.

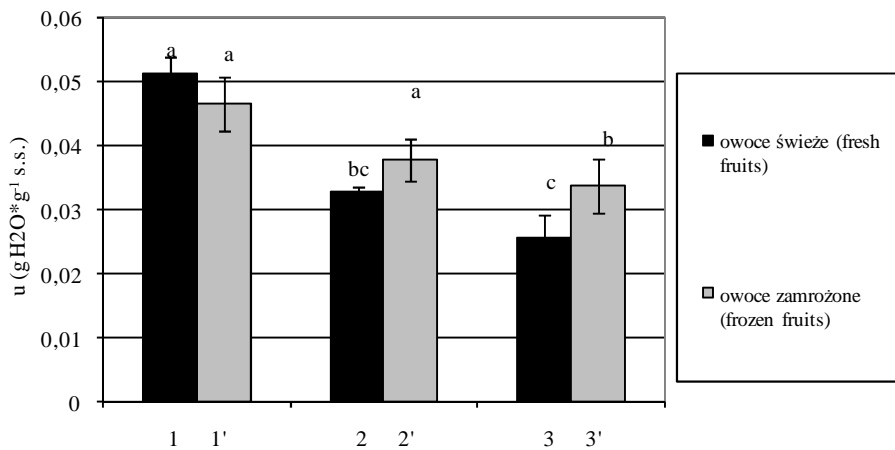
Do przeprowadzenia analizy statystycznej korzystano z pakietu statystycznego Statgraphics Plus wersja 3.0. (Microsoft), Excel 2000 (Microsoft). Dla uzyskanych uśrednionych wyników wyznaczano odchylenia standardowe (sd). Wykorzystano test Fishera do weryfikacji hipotezy o równości średnich wartości analizowanego wskaźnika w badanych próbkach i współczynnik korelacji Pearsona. Analizę przeprowadzono przy poziomie istotności 0,05 (Praca zbiorowa 2002).

WYNIKI I DYSKUSJA

1. Wpływ odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej i mrożenia na zawartość i aktywność wody liofilizowanych truskawek

Dla świeżych truskawek odwadnianych osmotycznie wykazano, że odwadnianie osmotyczne w roztworze glukozy (1) i sacharozy (2) powoduje uzyskanie większych zawartości wody w suszu w stosunku do próbek niepoddanych obrób-

ce wstępnej (3) (rys. 1). Tylko dla roztworu sacharozy (2) zmiany nie są istotne statystycznie. Występuje znaczący wpływ rodzaju substancji osmotycznej.

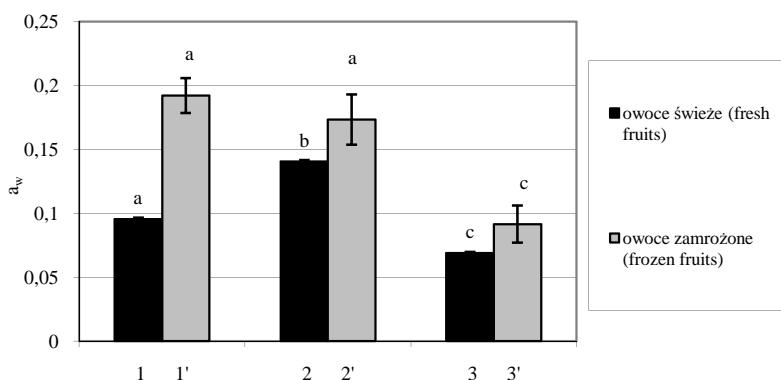


Rys. 1. Średnia zawartości wody (u) w suszonych sublimacyjnie truskawkach wstępnie odwadnianych osmotycznie. Rodzaj substancji osmotycznej: 1 – glukoza, 2 – sacharoza, 3 – nieodwadniane osmotycznie. ^{abc}Te same litery oznaczają brak statystycznie istotnej różnicy (dla poziomu istotności 0,05)

Fig. 1. Average water content (u) of freeze-dried strawberries osmotically dehydrated. Type of osmotic solution: 1 – glucose, 2 – sucrose, 3 – not submitted to osmotic dehydration. ^{abc}The same letter denotes non-significant differences (for significance level of 0.05)

Również Lenart (1988) wykazał, że wraz z podwyższeniem stopnia osmotycznego odwodnienia zwiększa się końcowa zawartość wody w suszonych konwekcyjnie jabłkach. Natomiast Janowicz i Lenart (2005) stwierdzili, że zmiany parametrów odwadniania osmotycznego, takich jak: rodzaj substancji osmotycznej oraz czas, powodowały uzyskanie nieznacznie różnych końcowych zawartości wody dla jabłek wstępnie odwodnionych osmotycznie w roztworze sacharozy, glukozy i syropu skrobiowego przed suszeniem konwekcyjnym.

Zamrożenie i przechowywanie truskawek odwadnianych osmotycznie w roztworach glukozy (1') i sacharozy (2') przed suszeniem sublimacyjnym wpływa na niewielkie, ale istotne statystycznie podwyższenie zawartości wody (u) w stosunku do owoców liofilizowanych nieodwadnianych osmotycznie (3') (rys. 1). Rodzaj substancji osmotycznej nie odgrywa tu znaczącej roli. Natomiast nie wykazano jednoznacznego wpływu mrożenia owoców przed odwadnianiem osmotycznym na zawartość wody w stosunku do świeżych truskawek odwadnianych osmotycznie.



Rys. 2. Średnia aktywności wody (a_w) w suszonych sublimacyjnie truskawkach wstępnie odwadnianych osmotycznie. Rodzaj substancji osmotycznej: 1 – glukoza, 2 – sacharoza, 3 – nieodwadnianie osmotycznie. ^{abc}Te same litery oznaczają brak statystycznie istotnej różnicy (dla poziomu istotności 0,05)

Fig. 2. Average water activity (a_w) of freeze-dried strawberries osmotically dehydrated. Type of osmotic solution: 1 – glucose, 2 – sucrose, 3 – not submitted to osmotic dehydration. ^{abc}The same letter denotes non-significant differences (for significance level of 0.05)

Truskawki odwadniane osmotycznie w stanie świeżym (1-2) uzyskały istotnie statystycznie wyższe wartości aktywności wody niż próbki nieodwadniane osmotycznie (3) (od 0,03 do 0,07 jednostki) (Rys. 2). Wykazano także wyraźne zróżnicowanie aktywności wody w zależności od rodzaju substancji osmotycznej. Również zamrożenie i przechowywanie truskawek odwadnianych osmotycznie w roztworach glukozy (1') i sacharozy (2') przed suszeniem sublimacyjnym wpływa na istotne zwiększenie aktywności wody (a_w) suszu w stosunku do liofilizowanych truskawek nieodwadnianych osmotycznie (3') (rys. 2). Różnice mieszczą się w zakresie 0,08-0,10 jednostki. Brak jest istotnego wpływu rodzaju substancji osmotycznej na poziom aktywności wody.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że odwadnianie osmotyczne truskawek zamrożonych i przechowywanych wpływa na uzyskanie większych aktywności wody w stosunku do świeżych owoców poddanych obróbce osmotycznej (rys. 2). Prawdopodobnie ma to związek ze zmianami struktury truskawek zamrożonych i przechowywanych przez długi czas. Owoce w czasie odwadniania osmotycznego ulegały rozmrożeniu, ich struktura była więc uszkodzona, co może mieć wpływ na łatwiejsze wnikanie substancji osmotycznej i w efekcie na utrudnione usuwanie wody podczas liofilizacji.

2. Wpływ odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej i mrożenia na kinetykę adsorpcji pary wodnej przez liofilizowane truskawki

Na podstawie przebiegu krzywych zmian zawartości wody w funkcji czasu (rys. 3) stwierdzono, że odwadnianie osmotyczne świeżych truskawek w roztworze sacharozy (2) powoduje istotne obniżenie zdolności chłonięcia pary wodnej po 20 h adsorpcji w porównaniu z owocami nieodwadnianymi osmotycznie (3). Natomiast zastosowanie roztworu glukozy (1) wpływa na zwiększenie chłonięcia pary wodnej w stosunku do owoców niepoddanych obróbce wstępnej (3). Wykazano, że istnieją istotne różnice w przebiegu krzywych kinetyki sorpcji w zależności od rodzaju substancji osmotycznej. Otrzymane wyniki potwierdzają hipotezę o istotnym wpływie powierzchniowej warstwy sacharozy na zmniejszenie ilości zaadsorbowanej wody, co świadczy o znacznie niższej higroskopijności suszu wstępnie odwodnionego osmotycznie (Lenart 1988).

Dla świeżych truskawek odwadnianych osmotycznie oraz owoców zamrożonych i przechowywanych przed odwadnianiem osmotycznym uzyskano podobne zależności.

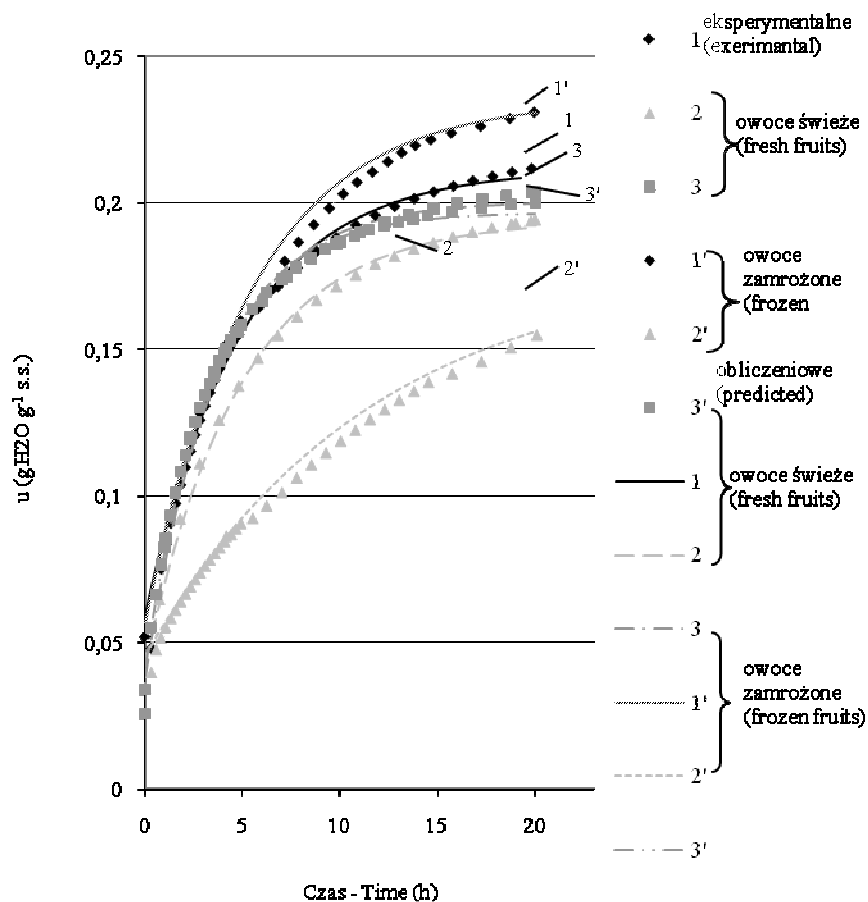
Analizując przebieg krzywych szybkości adsorpcji pary wodnej w funkcji zawartości wody (rys. 4), dla wspólnego zakresu zawartości wody 0,065- 0,19 g H₂O g⁻¹ s.s. stwierdzono, że odwadnianie osmotyczne świeżych owoców w roztworze sacharozy (2) wpływa na uzyskanie mniejszych szybkości adsorpcji pary wodnej w stosunku do truskawek nieodwadnianych osmotycznie (3). Natomiast obróbka wstępna w roztworze glukozy (1) nie spowodowała istotnych różnic.

Wykazano także znaczący wpływ rodzaju substancji osmotycznej na szybkość adsorpcji pary wodnej przez truskawki odwadniane przed liofilizacją w stanie świeżym. Według Lenarta (1988) szybkość adsorpcji pary wodnej dla suszu jabłkowego zależy od zawartości substancji osmotycznej, jej przestrzennego rozmieszczenia oraz struktury suszu. Powierzchniowa warstwa sacharozy zwiększa opory dyfuzji wody, powodując istotne obniżenie szybkości adsorpcji pary wodnej.

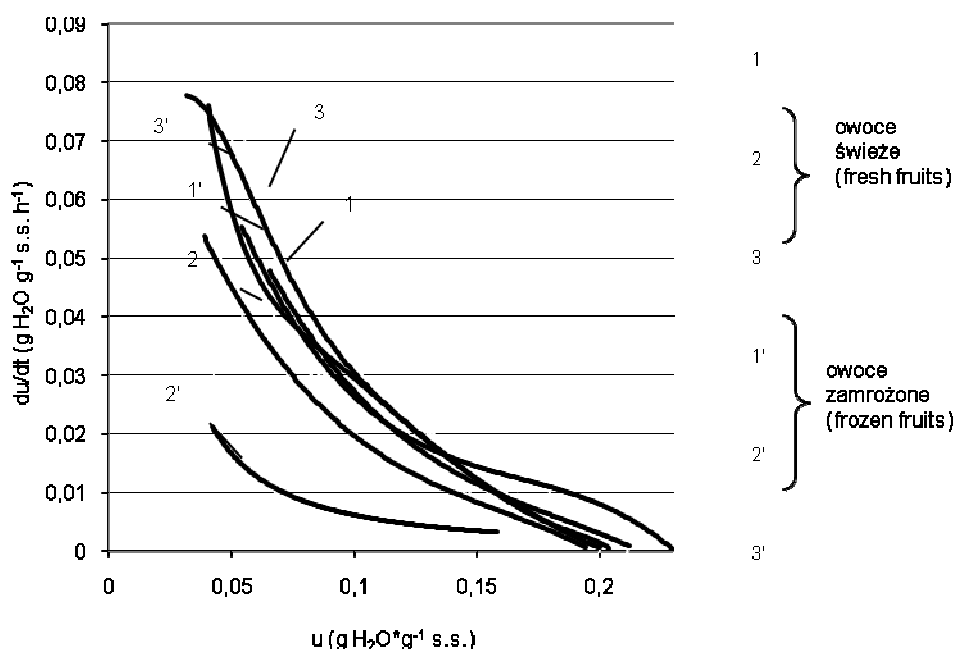
Dla zamrożonych i przechowywanych truskawek odwadnianych osmotycznie wykazano, że zastosowanie roztworu sacharozy (2') powoduje uzyskanie istotnie statystycznie mniejszych szybkości adsorpcji pary wodnej w stosunku do truskawek nieodwadnianych osmotycznie (3') we wspólnym zakresie zawartości wody 0,05 – 0,15 g H₂O g⁻¹ s.s. (rys. 4).

Natomiast obróbka wstępna w roztworze glukozy (1') nie spowodowała znaczących różnic w przebiegu krzywych w porównaniu z owocami nieodwadnianymi osmotycznie (3'). Prawdopodobnie dlatego, że jest to cukier prosty, naturalnie występujący w owocach i zmieniający skład chemiczny w mniejszym stopniu niż to ma miejsce przy zastosowaniu roztworu sacharozy (Cieurzyńska 2007). Wy-

kazano, że dla zamrożonych i przechowywanych truskawek odwadnianych osmotycznie oraz owoców poddanych obróbce osmotycznej w stanie świeżym występują podobne zależności w szybkości adsorpcji pary wodnej. Stwierdzono także, że długi okres przechowywanie truskawek zamrożonych wpływa na uzyskanie przez te liofilizaty niższych szybkości adsorpcji pary wodnej, niż w przypadku owoców zamrożonych bezpośrednio przed liofilizacją.



Rys. 3. Zmiany ilości zaadsorbowanej wody (u) w funkcji czasu przez suszone sublimacyjnie truskawki w zależności od odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej i mrożenia. Rodzaj substancji osmotycznej: 1 – glukoza, 2 – sacharoza, 3 – nieodwadniane osmotycznie
Fig. 3. Changes of water absorption (u) as a function of time for freeze-dried strawberries in relation to osmotic dehydration, type of osmotic solution and freezing. Type of osmotic solution: 1 – glucose, 2 – sucrose, 3 – not submitted to osmotic dehydration



Rys. 4. Zmiana szybkości adsorpcji pary wodnej (du/dt) w funkcji zawartości wody (u) przez suszone sublimacyjnie truskawki w zależności od odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej i mrożenia. Rodzaj substancji osmotycznej: 1 – glukoza, 2 – sacharoza, 3 – nieodwadnianie osmotycznie

Fig. 4. Changes of water absorption rate (du/dt) as a function of water content (u) for freeze-dried strawberries in relation to osmotic dehydration, type of osmotic solution and freezing. Type of osmotic solution: 1 – glucose, 2 – sucrose, 3 – not submitted to osmotic dehydration.

Próbie opisu matematycznego poddano zależności zmian zawartości wody w liofilizowanych truskawkach od czasu adsorpcji (tab. 1). Wysoki współczynnik korelacji (R^2) dla wszystkich rodzajów liofilizatów, niski średni błąd względny (MRE) dopasowania danych eksperymentalnych i obliczeniowych dotyczących zawartości wody początkowej i po 20 godzinach adsorpcji, a także ich zbliżone wartości zadecydowały o wyborze równania wykładniczego (1) do opisu krzywych adsorpcji pary wodnej w badanym przedziale czasu (rys. 3).

Suma współczynników ($a + b$) informuje o przewidywanej na podstawie równania kinetyki adsorpcji pary wodnej (1) równowagowej zawartości wody po procesie adsorpcji pary wodnej. Na podstawie jej wartości wykazano, że odwadnianie osmotyczne w roztworze glukozy (1, 1') wpłynęło na uzyskanie przez ten susz najwyższej równowagowej zawartości wody (u) w stosunku do liofilizatów nieodwadnianych (3, 3') (rys. 3) (tab. 1). Natomiast do najniższej równowagowej

zawartości wody (u) dążą liofilizowane truskawki odwadniane osmotycznie w roztworze sacharozy (2, 2').

Tabela 1. Parametry dopasowania równania wykładniczego $u = a + b * (1 - \exp^{-c*\tau})$ opisującego kinetyki adsorpcji pary wodnej przez liofilizowane truskawki odwadniane osmotycznie w stanie świeżym i zamrożonym. Rodzaj substancji osmotycznej: 1 – glukoza, 2 – sacharoza, 3 – nieodwadniane osmotycznie

Table 1. Parameters of fitting of exponential equation $u = a + b * (1 - \exp^{-c*\tau})$ describing water vapour sorption kinetics for freeze-dried strawberries osmotically dehydrated in fresh and frozen state. Type of osmotic solution: 1 – glucose, 2 – sucrose, 3 – not submitted to osmotic dehydration.

Liofilizat Freeze-dried strawberry	Współczynniki równania Equation coefficient		R ²	MRE (%)		u eksperymentalne. u experimental (g H ₂ O/g s.s.)		u obliczeniowe u predicted (g H ₂ O/g s.s.)			
	Świeże FR- Fresh	Zamrożone Frozen		Świeże Fresh	Zamrożone Frozen	Świeże Fresh	Zamrożone Frozen	Świeże Fresh	Zamrożone Frozen	Świeże Fresh	Zamrożone Frozen
1	a = 0,059 b = 0,151 c = 0,202	a = 0,057 b = 0,178 c = 0,186	0,997	0,999	9,63	9,37	u ₀ = 0,05 u ₂₀ = 0,21	u ₀ = 0,05 u ₂₀ = 0,23	u ₀ = 0,06 u ₂₀ = 0,23	u ₀ = 0,04 u ₂₀ = 0,21	
2	a = 0,042 b = 0,151 c = 0,202	a = 0,045 b = 0,134 c = 0,087	0,997	0,998	7,57	8,32	u ₀ =0,03 u ₂₀ =0,19	u ₀ =0,04 u ₂₀ =0,16	u ₀ =0,04 u ₂₀ =0,16	u ₀ =0,06 u ₂₀ =0,19	
3	a = 0,038 b = 0,162 c = 0,272	a = 0,043 b = 0,154 c = 0,283	0,993	0,998	1,99	13,74	u ₀ = 0,02 u ₂₀ = 0,20	u ₀ = 0,03 u ₂₀ = 0,19	u ₀ = 0,04 u ₂₀ = 0,19	u ₀ = 0,04 u ₂₀ = 0,19	

Dla czasu $\tau = 0$, początkowa zawartość wody równa się wartości współczynnika (a) i jest zbliżona do wartości eksperymentalnych. Po 20 godzinach pomiaru adsorpcji pary wodnej wykazano, że najwyższą zawartość wody osiągną liofilizaty poddane obróbce osmotycznej w roztworze glukozy (1, 1'), a najniższą odwadniane w roztworze sacharozy (2, 2'), co jest zgodne z danymi eksperymentalnymi (rys. 3, tab. 1).

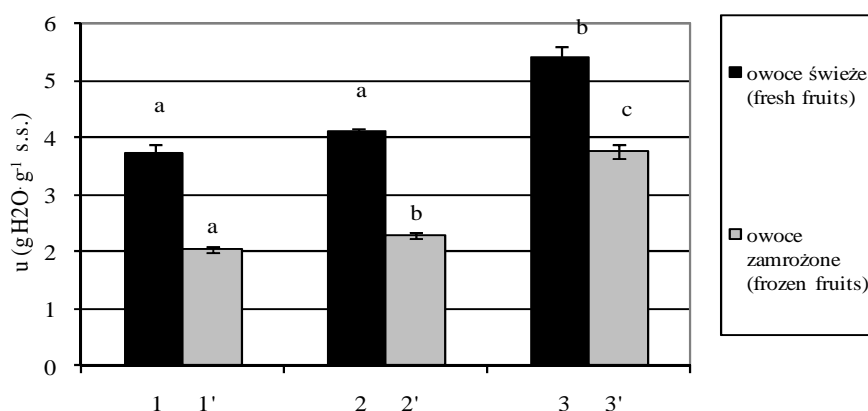
Stała procesu c dla liofilizatów odwadnianych osmotycznie w roztworze glukozy (1, 1') i sacharozy (2, 2') jest niższa w stosunku do suszu nieodwadnianego (3, 3'), co świadczy o mniejszej szybkości adsorpcji pary wodnej dla tych suszy (rys. 4, tab. 1).

Uzyskane zależności dla świeżych truskawek odwadnianych osmotycznie oraz zamrożonych i przechowywanych przed odwadnianiem osmotycznym są podobne.

3. Wpływ odwadniania osmotycznego, rodzaju substancji osmotycznej i mrożenia na właściwości rehydracyjne liofilizowanych truskawek

Jedną z najważniejszych właściwości suszonej żywności jest zdolność do szybkiej i całkowitej rehydracji. Zmienność tej cechy uzależniona jest od właściwości suszonej żywności, zastosowanej obróbki wstępnej przed suszeniem i parametrów suszenia.

Odwadnianie osmotyczne w roztworze glukozy (1) i sacharozy (2) truskawek świeżych wpłynęło na istotne statystycznie obniżenie końcowej zawartości wody (po 120 minutach rehydracji) liofilizowanych truskawek w stosunku do owoców nieodwadnianych osmotycznie przed suszeniem sublimacyjnym (3) (rys. 5). Nie stwierdzono znaczącego wpływu rodzaju substancji osmotycznej na zawartość wody po rehydracji. Według Lenarta (1988) analiza zmian zawartości wody w suszu podczas rehydracji, w odniesieniu do początkowej zawartości suchej substancji wskazała na znaczenie wstępnego odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze sacharozy.



Rys. 5. Średnia ilość zaadsorbowanej wody (u) w czasie 120 minut rehydracji przez liofilizowane truskawki wstępnie odwadniane osmotycznie. Rodzaj substancji osmotycznej: 1 – glukoza, 2 – sacharoza, 3 – nieodwadniane osmotycznie. ^{abc}Te same litery oznaczają brak statystycznie istotnej różnicy (dla poziomu istotności 0,05)

Fig. 5. Average value of adsorbed water (u) during 120 minutes of rehydration for freeze-dried strawberries osmotically dehydrated. Type of osmotic solution: 1 – glucose, 2 – sucrose, 3 – not submitted to osmotic dehydration. ^{abc}The same letter denotes non-significant differences (for significance level of 0.05)

Również Rastogi i in. (2004) potwierdzają wpływ substancji osmotycznej na obniżenie rehydracji suszu. Substancja osmotyczna powoduje naprężenia komórkowe, wpływa na półprzepuszczalność komórek i z tego powodu komórki w cza-

się rehydracji nie są w stanie zaadsorbować tyle wody, co próbka niepoddana odwadnianiu osmotycznemu (Lewicki 1998). Pogorszenie właściwości rekonstrukcyjnych suszonej próżniowo marchwi odwadnianej osmotycznie w roztworze sacharozy wykazali także Chetan i in. (2006). Stwierdzili, że zawartość wody w próbkach nieodwadnianych traktowanych wodą była wyższa, podczas gdy dla marchwi odwadnianej w roztworze o stężeniu sacharozy 10% i wyższym była niższa bez względu na czas rehydracji. Zjawisko to również łączone jest z oddziaływaniem substancji osmotycznej na komórki, ograniczeniem załamania i zniszczenia ścian komórkowych, wzmocnieniem struktury i zwiększeniem wytrzymałości mechanicznej podczas obróbki osmotycznej (Lewicki 1998).

Zamrożone i przechowywane truskawki odwadniane osmotycznie w roztworze glukozy (1') i sacharozy (2') przed suszeniem sublimacyjnym również uzyskały niższe końcowe zawartości wody po 120 minutach rehydracji w stosunku do owoców nieodwadnianych osmotycznie przed liofilizacją (3') (Rys. 5). Stwierdzono natomiast istotny statystycznie wpływ rodzaju substancji osmotycznej na badaną wielkość.

Wykazano, że świeże truskawki odwadniane osmotycznie przed liofilizacją wykazują lepsze właściwości rehydracyjne niż owoce zamrożone, przechowywane i poddane obróbce osmotycznej przed suszeniem sublimacyjnym. Lepiej zachowana struktura liofilizowanych owoców pozwala na chłonicie wody w większym stopniu i uzyskanie wyższych wartości zawartości wody po 120 minutach rehydracji. Również Aguilera (1999) oraz Tzee Lee i in. (2006) uzależniają zdolność do rehydracji liofilizatów od jakości mikrostruktury suszu sublimacyjnego. Witrowa – Rajchert (1999) twierdzi, że zdolność do rehydracji suszonych produktów jest wskaźnikiem jakości i określa fizyczne i chemiczne zmiany podczas suszenia jako wpływ warunków suszenia, przygotowania próbki i składu chemicznego.

WNIOSKI

1. Odwadnianie osmotyczne truskawek świeżych i zamrożonych, przechowywanych przed suszeniem sublimacyjnym powoduje uzyskanie wyższych zawartości wody w liofilizatach w stosunku do próbek niepoddanych obróbce wstępnej. Nie wykazano jednoznacznego wpływu mrożenia owoców przed odwadnianiem osmotycznym na zawartość wody w stosunku do truskawek odwadnianych w stanie świeżym.

2. Odwadniane osmotycznie truskawki świeże i zamrożone, przechowywane w stanie zamrożenia uzyskały wyższe wartości aktywności wody niż próbki nieodwadniane osmotycznie przed suszeniem sublimacyjnym. Truskawki zamrożone i przechowywane przed odwadnianiem osmotycznym uzyskały wyższe aktywności wody w stosunku do owoców poddanych obróbce osmotycznej w stanie świeżym.

3. Odwadnianie osmotyczne w roztworze sacharozy truskawek świeżych i zamrożonych, przechowywanych w stanie zamrożenia powoduje obniżenie zdolności chłonięcia pary wodnej po 20h adsorpcji w porównaniu z owocami nieodwadnianymi osmotycznie, natomiast zastosowanie roztworu glukozy wpływa na zwiększenie chłonięcia pary wodnej w stosunku do owoców niepoddanych obróbce wstępnej.

4. Dla odwadnianych osmotycznie truskawek świeżych oraz zamrożonych i przechowywanych w stanie zamrożenia występują podobne zależności w szybkości adsorpcji pary wodnej. Długi okres przechowywania owoców w stanie zamrożonym wpływa na uzyskanie przez te liofilizaty niższych szybkości adsorpcji pary wodnej niż w przypadku truskawek zamrożonych bezpośrednio przed liofilizacją.

5. Dla truskawek odwadnianych osmotycznie zaobserwowano uzyskanie niższych końcowych zawartości wody po 120 minutach rehydracji w stosunku do owoców nieodwadnianych osmotycznie przed suszeniem sublimacyjnym. Wykazano, że truskawki odwadniane osmotycznie w stanie świeżym wykazują lepsze właściwości rehydracyjne niż zamrożone i przechowywane owoce poddane obróbce osmotycznej.

PIŚMIENNICTWO

- Aguilera J. M., 1999. *Microstructural principles of food processing and engineering*, second edition. A Chapman & Hall Food Science Book, Aspen.
- Barbanti D., Mastracola D., Pinnavaia G. Severini C., Dalla Rosa M. Air drying of fruit; Effects of different pre-treatment on drying rate and product quality. *Proceedings of the 7th International Drying Symposium. Drying'91* (eds. AS. Mujumdar, I. Filkova), Elsevier Sci. Publ., Amsterdam 1991, 471-482.
- Chetan A., Nayak K., Suguna K., Rastogi N. K. 2006. Combined effect of gamma-irradiation and osmotic treatment on mass transfer during rehydration of carrots. *Journal of Food Engineering*, 74, 134-142.
- Ciurzyńska A., Lenart A. 2007. Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na adsorpcję pary wodnej przez liofilizowane truskawki. *Inżynieria Rolnicza*, 5(93), 53-62.
- Ciurzyńska A. Lenart A. 2007. Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na adsorpcję pary wodnej przez liofilizowane truskawki. *Inżynieria Rolnicza* 5, 93, 53-62.
- Ciurzyńska A., Lenart A. 2009. Wpływ odwadniania osmotycznego na barwę liofilizowanych truskawek. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 48(40), 20-21.
- Domian E., Lenart A., Lewicki P. P. 1996. Wpływ wstępnego odwadniania osmotycznego na kinetykę adsorpcji pary wodnej przez susz otrzymany konwekcyjnie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 430, 227-232.
- Drzazga B. 1995. *Analiza techniczna w przetwórstwie owoców i warzyw*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Duxbury D.D. 1992. Strawberries-source of natural flavor and nutrition. *Food Processing*, 53(7), 97.
- Gondek E., Lewicki P. P. 2005. Izotermie sorpcji pary wodnej suszonych i kandyzowanych owoców. *Acta Scientiarum Polonorum*, 4, 63-71.
- Janowicz M., Idzikowska W., Lenart A. 2006. Wpływ parametrów obróbki osmotycznej na kinetykę adsorpcji pary wodnej przez liofilizowane truskawki. *Acta Agrophysica*, 8 (4), 851-862.
- Janowicz M., Lenart A. 2005. Wpływ wstępnego odwadniania osmotycznego na współczynnik dyfuzji

- wody w tkance jabłek suszonych konwekcyjnie. *Inżynieria Rolnicza*, 11, 191-199.
- Jena S., Das H. 2005. Modeling for moisture variation during osmo-concentration in apple and pineapple. *Journal of Food Engineering*, 66, 425-432.
- Johnson P.-N. T., Brennan J. G. 2000. Moisture sorption isotherm characteristics of plantain (Musa, AAB). *Journal of Food Engineering*, 44, 79-84.
- Kowalska H., Lenart A. 2001. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering*, 49, 137-140.
- Lenart A. 1988. Sacharoza jako czynnik modyfikujący osmotycznie – owiewowe utrwalanie jabłek. Wydawnictwo SGGW – AR, Warszawa.
- Lewicki P. P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 36, 81-87.
- Matuska M., Lenart A., Lazarides H.N. 2006. On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering* 72, 85-91.
- Montserrat F., Wet S. 2003. Effect of osmotic stress on microstructure and mass transfer in onion and strawberry tissue. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 951-953.
- Piotrowski D., Lenart A., Pomarańska - Łazuka W. 2002. Ocena jakości suszonych owoców pestkowych poddanych odwadnianiu osmotycznemu. *Inżynieria Rolnicza*, 6, 249-257.
- Praca zbiorowa 2002. Wybrane zagadnienia wnioskowania statystycznego z wykorzystaniem pakietu STATGRAPHICS, Red.: Grzegorzewski P., Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Prothon F. 2003. Combined dehydration methods from fresh fruit to high-quality ingredients. Department of Food Engineering Lund Institute of Technology, Sweden.
- Rastogi N. K., Nayak C. A., Raghavarao K. S. M. S. 2004. Influence of osmotic pre-treatments on rehydration characteristics of carrots. *Journal of Food Engineering*, 65, 287-292.
- Ruciński R. 1994. instrukcja obsługi programu Pomiar, wersja 1.0. wydruk powielony, Radom Radwag, 1-38.
- Tzee Lee K., Farid M., Nguang S. K. 2006. The mathematical modeling of the rehydration characteristics of fruits. *Journal of Food Engineering*, 72, 16-23.
- Witrowa – Rajchert D. 1999. Rehydracja jako wskaźnik zmian zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.

INFLUENCE OF FREEZING AND OSMOTIC DEHYDRATION IN VARIOUS TYPES OF OSMOTIC SOLUTIONS ON CHOSEN PROPERTIES OF FREEZE-DRIED STRAWBERRIES

Agnieszka Ciurzyńska, Andrzej Lenart

Department of Food Engineering and Process Management, Faculty of Food Sciences, SGGW
ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa
e-mail: agnieszka_ciurzynska@sggw.pl

Abstract. The aim of this work was to investigate the effect of osmotic dehydration, type of osmotic solution and freezing on chosen physical properties of freeze-dried strawberries. Analyses were made on the basis of changes in water content and water activity as well as sorption and rehydration properties. Osmotic dehydration in sucrose solution of strawberries, fresh and frozen, caused water vapour sorption decrease. Fruits after osmotic pre-treatment before freeze-drying were characterised by lower final water content after 2 hours of rehydration in comparison to fruits not subjected to osmotic dehydration.

Key words: strawberries, freeze-drying, osmotic dehydration, water vapour, rehydration sorption