

DARIUSZ PIOTROWSKI, JOANNA BIRONT, ANDRZEJ LENART

BARWA I WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE ODWADNIANYCH OSMOTYCZNIE I SUSZONYCH SUBLIMACYJNIE TRUSKAWEK

Streszczenie

Celem badań było określenie wpływu odwadniania osmotycznego na barwę i wybrane właściwości fizyczne suszonych sublimacyjnie truskawek. Odwadnianie osmotyczne prowadzono w 67,5 % syropie skrobiowym o równoważniku glukozowym DE 30 - 35 w temperaturze 20 i 50°C w warunkach dynamicznych. Dodatkowo część truskawek przed wstępną obróbką pokrywano błonami wykonanymi z roztworu pektyny niskometylowanej (2 %) lub z roztworu alginianu sodu (0,75 %). Niezależnie od początkowej zawartości wody w surowcu, suszenie sublimacyjne przez 24 h doprowadziło do podobnego poziomu końcowej zawartości wody (średnio około 0,0432 g wody/g s.s.). Liofilizowane truskawki, uprzednio jedynie zamrożone, uzyskały najniższą aktywność wody ($a_w = 0,163$) względem wysuszonych owoców poddanych działaniu cukrów w syropie skrobiowym (a_w od 0,195 do 0,250). Wytworzone na powierzchni owoców powłoki ograniczyły wnikanie substancji osmoaktywnej do tkanki. Proces odwadniania osmotycznego, niezależnie od zastosowanych parametrów, wpłynął w większości próbek na rozjaśnienie barwy produktu, przy czym najmniejszą jasność powierzchni uzyskały owoce odwadniane przez 3 h w temp. 50 °C. Nastąpił wzrost bezwzględnej różnicy barwy ΔE truskawek liofilizowanych wraz z wydłużaniem czasu odwadniania osmotycznego. W wyniku wydłużania czasu obróbki wstępnej w pierwszej fazie rejestrowanych odkształceń następował wyraźny wzrost wytrzymałości na ściskanie owoców po liofilizacji. Truskawki odwadniane przez 20 h i wysuszone sublimacyjnie były najbardziej kruche.

Słowa kluczowe: suszenie sublimacyjne, zawartość cukrów, aktywność wody, barwa, właściwości mechaniczne, truskawki

Wprowadzenie

Jednym ze sposobów wstępnego utrwalania żywności jest stosowanie odwadniania osmotycznego, w wyniku którego otrzymany produkt jest częściowo odwodniony i jednocześnie wysycony substancją osmoaktywną. Uzyskany materiał staje się półproduktem w następnych procesach technologicznych [17]. Suszenie sublimacyjne na skalę przemysłową stosowane jest tylko w niektórych działach przemysłu spożywcze-

Dr inż. D. Piotrowski, mgr inż. J. Biront, prof. dr hab. A. Lenart, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa

go np. do suszenia kawy rozpuszczalnej. Najczęściej zadane ciśnienie, temperaturę ogrzewanych płyt, szybkość mrożenia materiału uznaje się za najistotniejsze parametry wpływające na czas suszenia sublimacyjnego oraz na wskaźniki jakości, w tym składowe i parametry barwy oraz właściwości fizyczne uzyskanego produktu [4]. Podwyższanie temperatury półki powyżej określonego poziomu powodowało np. zmianę właściwości liofilizowanego czosnku w odniesieniu do liczby wytwarzanych porów tak, że zbliżały się one do właściwości suszu konwekcyjnego [14]. Barwa liofilizatów jest bardziej zbliżona do barwy surowca wyjściowego niż suszy otrzymanych innymi metodami. Obróbka wstępna typu odwadnianie osmotyczne zastosowana przed suszeniem sublimacyjnym truskawek prowadzona odpowiednio długo zmienia strukturę wewnętrzną materiału, wpływa na zakres i szybkość adsorpcji pary wodnej uzyskanych liofilizatów [1, 5]. Obserwuje się tendencję do coraz częstszego stosowania powłok jadalnych np. pektynowych lub alginianowych, służących do pokrywania powierzchni warzyw i owoców, w tym truskawek [6, 9, 12], które zapobiegają niekorzystnym zmianom mikrobiologicznym, chemicznym i fizycznym.

Celem pracy było określenie wpływu odwadniania osmotycznego na barwę i wybrane właściwości fizyczne suszonych sublimacyjnie truskawek.

Material i metody badań








Surowiec do badań stanowiły całe mrożone truskawki odmiany Senga Sengana, bez szypulek, klasy I o średniej wielkości, które wyprodukowano zgodnie z Polską Normą [11]. Do chwili wykorzystania na potrzeby doświadczenia były one przechowywane w torebkach foliowych w stałej temp. $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Odwadnianie osmotyczne truskawek prowadzono w maltozowym syropie skrobiowym (producent: JAR Jaskulski Aromaty, Warszawa) o równoważniku glukozowym DE 30 - 35 i o stężeniu 67,5 %, w temp. 20 i 50 $^{\circ}\text{C}$ w warunkach dynamicznych (ruch drgający o amplitudzie 10 cykli/min). Stosunek masy surowca do masy roztworu odwadniającego równy był 1:4, a czas trwania procesu wynosił 0,5; 3 i 20 h.

Część truskawek przed procesem odwadniania powleczono błonami. Jako substancje błonotwórcze wykorzystano: alginian sodu oraz pektynę niskometylowaną o stopniu zestyfikowania 32 %. Do badań wybrano następujące roztwory substancji błonotwórczych: roztwór alginianu sodu - stężenie 0,75 % oraz roztwór pektyny niskometylowanej - stężenie 2 %. Truskawki przeznaczone do powlekania ważono i zanurzano na 30 s w uprzednio przygotowanym roztworze substancji błonotwórczej. Truskawki powleczone alginianem sodu podsuszano w temp. 70 $^{\circ}\text{C}$ przez 10 min w suszarce komorowej. Przy wytwarzaniu błon zawierających pektynę konieczne było również zanurzenie w 2 % roztworze chlorku wapnia. Bezpośrednio po powlekanii truskawki poddawano odwadnianiu osmotycznemu.

Tabela 1

Zestawienie oznaczeń metod odwadniania stosowanych na rysunkach.
List of codes used to denote dehydration methods applied in Figures.

Legenda Legend	Kod odwadniania i suszenia Dehydration and drying code	Metody odwadniania osmotycznego Osmotic dehydration methods		
		Temperatura [°C] Temperature [°C]	Czas [h] Time [h]	Powłoka Coating
	1	20	0,5	Brak / Absent
	2	20	3	Brak / Absent
	3	20	20	Brak / Absent
	4	50	3	Brak / Absent
	5	20	3	Alginianowa / Alginate
	6	20	3	Pektynowa / Pectine
	7	Surowiec nieodwodniony / Non-dehydrated raw material		

Umieszczane owoce na półkach liofilizatora ważono z dokładnością do 0,01 g i wstawiano wraz ze statywem do zamrażarki ProfiMaster (National Lab GmbH) na 2 h o temp. -70 °C. Truskawki, których nie poddawano obróbce wstępnej domrażano w temp. -70 °C przez 1 h, od temp. -18 °C.

Zamrożone truskawki suszono w laboratoryjnym liofilizatorze typu ALPHA 1-4 (Martin Christ, Osterode, Niemcy). W odniesieniu do wszystkich prób przyjęto stałe parametry procesu: ciśnienie 63 Pa; temp. półki 30 °C; ciśnienie bezpieczeństwa 103 Pa. Całkowity czas suszenia jednej partii wynosił 24 h (tab. 1).

Liofilizowane truskawki analizowano po przechowywaniu w zaciemnionym pomieszczeniu przez 1 - 2 tygodni, w temp. 20 - 25 °C. Oznaczano w nich zawartość suchej substancji [2], ekstraktu (za pomocą refraktometru RL1 PZO), aktywność wody (w urządzeniu Aqua Lab CX-2 firmy Dekagon Device Inc), zawartość cukrów (metodą kolorymetryczną po reakcji z kwasem 3,5-dinitrosalicylowym) [16], barwę (za pomocą fotokolorymetru Chroma-Meter serii CR-300 firmy Minolta, układ CIE L*a*b*) i właściwości mechaniczne, przeprowadzając na Uniwersalnej Maszynie Wytrzymałościowej ZWICK, model 1445, test ściskania ze stałą prędkością 20 mm/min do odkształcenia ok. 20 % [15]. Suszenia sublimacyjne, jak i odwadnianie wykonano w dwóch powtórzeniach w każdym wariantcie metody, a oznaczenia zawartości i aktywności wody w trzech powtórzeniach. Po przeprowadzeniu analizy poszczególnych parametrów z 10 powtórzeń krzywych ściskania truskawek wybierano do obliczenia

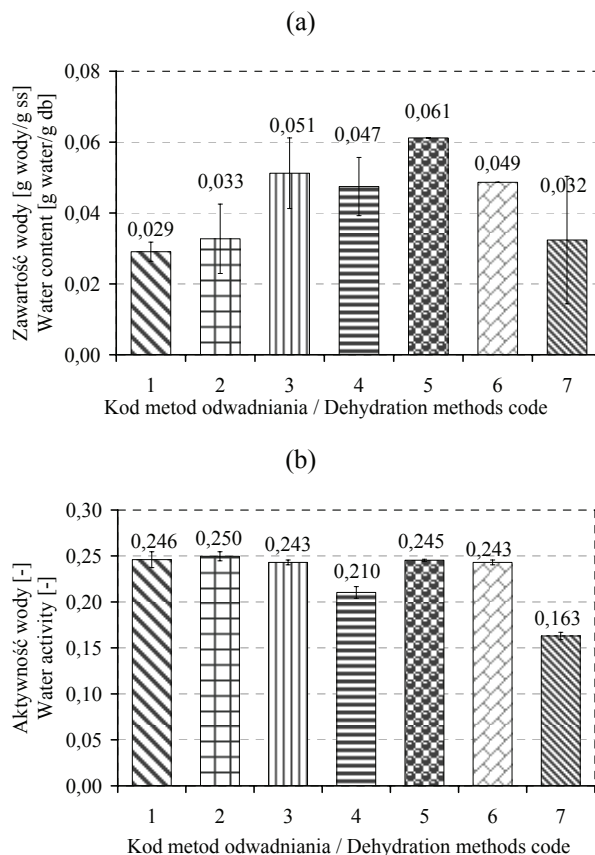
wartości średniej najczęściej 8 powtórzeń. Również do obliczeń średnich wartości parametrów barwy uwzględniano 8 powtórzeń pomiarów, a każdemu z uśrednionych pomiarów wykonywano 3 zdjęcia fotokolorymetrem.

Po analizie wyników zawartości i aktywności wody oraz jasności z poszczególnych powtórzeń stawiano hipotezę o równości średnich w próbie. W zależności od wyników testu równości wariancji grupowych (test Levene'a) wybierano statystykę F lub Welcha testujące równość wartości średnich grupowych. Do analizy istotności różnic porównywanych średnich wybrano test Bonferroniego (test wielokrotnego porównania) lub T2 Tamhanea (test rozstępów). Do obliczeń statystycznych wykorzystano program SPSS for Windows (wersja 14 PL) firmy SPSS Inc [3].

Wyniki i dyskusja

Uzyskano zbliżoną zawartość wody w poszczególnych liofilizatach truskawkowych (rys. 1a, średnio około 0,0432 g wody/g s.s.) mimo zaistniałych różnic w poziomach jej wartości w półproduktach po procesie odwadniania osmotycznego. Test równości wartości średnich grupowych na poziomie istotności $\alpha = 0,01$ wykazał brak zróżnicowania wyników zawartości wody, a test wielokrotnego porównania na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ wykazał jedną statystycznie istotną różnicę pomiędzy średnimi zawartościami wody suszy (1) i (5) (z truskawek odwadnianych w maltozowym syropie skrobiowym w temp. 20 °C przez 0,5 h i z truskawek powleczonych błoną alginianową i odwadnianych przez 3 h; tab. 2).

W przeprowadzonych doświadczeniach można zaobserwować wpływ zmiennych parametrów odwadniania osmotycznego na uzyskane wartości aktywności wody liofilizowanych truskawek. Wyniki zawierały się w przedziale od 0,163 do 0,250 (rys. 1b). Owoce zamrożone i bezpośrednio wysuszone sublimacyjnie charakteryzowały się najniższą z podanego zakresu aktywnością wody. Wykazano, że wstępne odwadnianie osmotyczne powodowało podwyższenie aktywności wody produktu suchego w porównaniu z truskawkami, które nie zostały poddane obróbce osmotycznej na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ (różnice pomiędzy wartościami średnimi statystycznie istotne, tab. 2). Natomiast wszystkie truskawki w temp. 20 °C cechowały się znacznie wyższą aktywnością wody na poziomie przekraczającym 0,24. Wykazano, że względem szeregu aktywności wody przedstawionej grupy liofilizatów aktywność wody suszu z truskawek odwadnianych w temp. 50 °C różniła się statystycznie na poziomie istotności $\alpha = 0,01$ (tab. 2). O ile aktywność wody truskawek liofilizowanych przez 24 h, poddanych osmotycznemu odwadnianiu lub bez tej obróbki, badanych przez Ciurzyńską i Lenarta [1] była niższa, to aktywność wody truskawek nieodwadnianych, suszonych przez 20 h określona zarówno przez Marzec i Lenarta [8], jak i Piotrowskiego i wsp., [10] była wyższa i wynosiła około 0,200.



Rys. 1. Wpływ parametrów odwadniania osmotycznego na: (a) zawartość wody, (b) aktywność wody suszonych sublimacyjnie truskawek (objaśnienia w tab. 1.)

Fig. 1. Effect of osmotic dehydration parameters on: (a) water content, (b) water activity of freeze-dried strawberries (explanations in Tab. 1)

Proces odwadniania osmotycznego, niezależnie od zastosowanych parametrów, wpłynął w większości próbek na podniesienie jasności liofilizowanego produktu (rys. 2a). Jedyny wyjątek stanowiły owoce odwadniane w temp. 50 °C (4), których najmniejsza jasność różniła się statystycznie na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ względem wszystkich pozostałych wartości jasności otrzymanych liofilizatów (tab. 2). Przyczyną wskazanego kierunku zmian może być wpływ obróbki cieplnej na mało stabilne termicznie barwniki antocyjanowe występujące w truskawkach. Efektem niszczenia barwników antocyjanowych m.in. z udziałem enzymów rodzimych lub dodanych, w przypadku braku określonych związków lub grup chemicznych, może być pociemnienie barwy w wyniku wytworzenia czerwono-brunatnych barwników [18]. W związku z tym podwyższenie temperatury w czasie odwadniania wpływa negatywnie

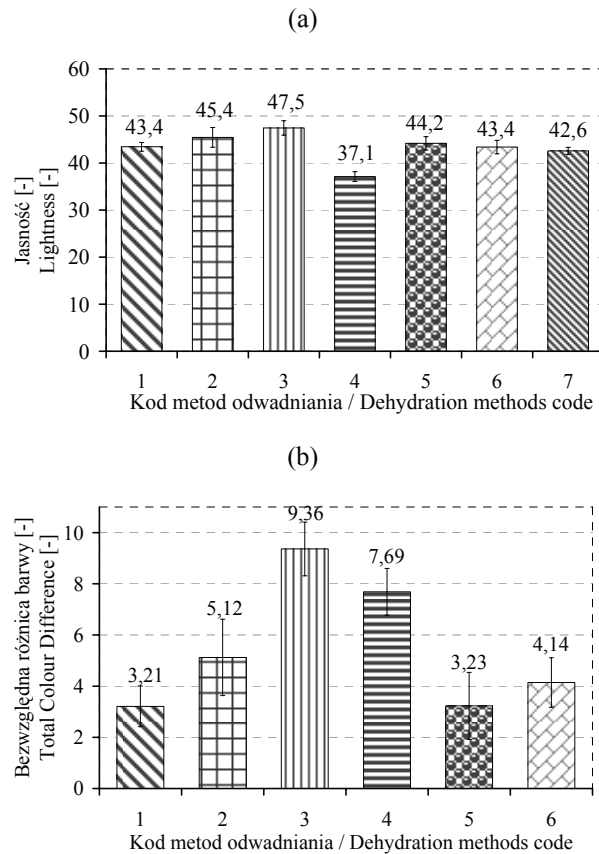
na barwę owoców, powodując ich ciemnienie. Natomiast wydłużenie czasu osmotycznego odwadniania w syropie skrobiowym do 20 h wywołało, z jednym wyjątkiem, statystycznie istotne podniesienie jasności wysuszonych truskawek względem jasności pozostałych liofilizatów (tab. 2).

Tabela 2

Zestawienie obliczeń testów lub statystyk wybranych właściwości liofilizatów truskawkowych.
Comparative list of test or statistics calculations for some selected properties of the lyophilized strawberries.

Właściwość Property	Obliczona istotność – test lub statystyka Calculated significance – test or statistics			Pary o istotnie różniące się różnicy wartości średnich – test Pairs with significantly varying difference of mean values – test		Poziom istotności Signifi- cance level
	Levene Levene	F F	Welcha Welch	Bonferroni Bonferroni	T2 Tamhane T2 Tamhane	
Zawartość wody Water content	0,095	0,018	0,000	Brak / Absent	—	0,01
Zawartość wody Water content	0,095	0,018	0,000	1+5	—	0,05
Aktywność wody Water activity	0,023	0,000	0,000	1+4, 1+7, 2+4, 2+7, 3+4, 3+7, 4+5, 4+6, 4+7, 5+7, 6+7	—	0,01
Aktywność wody Water activity	0,023	—	0,000	—	1+7, 2+4, 2+7, 3+7, 4+7, 5+7, 6+7	0,05
Jasność Lightness	0,003	—	0,000	—	1+3, 1+4, 2+4, 3+4, 3+5, 3+6, 3+7, 4+5, 4+6, 4+7	0,05

Analizując bezwzględną różnicę barwy ΔE truskawek suszonych sublimacyjnie wykazano, że parametr ten jest w ich przypadku znacznie wyższy, niż w półprodukcie tj. owoców odwadnianych osmotycznie. Wraz z wydłużaniem czasu odwadniania osmotycznego, a zatem i zwiększaniem zawartości cukru, występował wzrost obliczonego parametru ΔE truskawek liofilizowanych (rys. 2b). Susze uzyskane z truskawek odwodnionych w temp. 50 °C (4) miały wyższe wartości rozpatrywanego parametru o około 50 % w porównaniu z owocami uprzednio odwodnionymi w temp. 20 °C (2). Natomiast w truskawkach wysuszonych sublimacyjnie, pokrytych powłokami (5 i 6) przed procesem osmotycznego odwadniania, o mniejszej zawartości cukrów oznaczono o 20 – 35 % mniejsze wartości bezwzględnej różnicy barwy ΔE względem suszu uzyskanego z surowca odwodnionego osmotycznie (2).

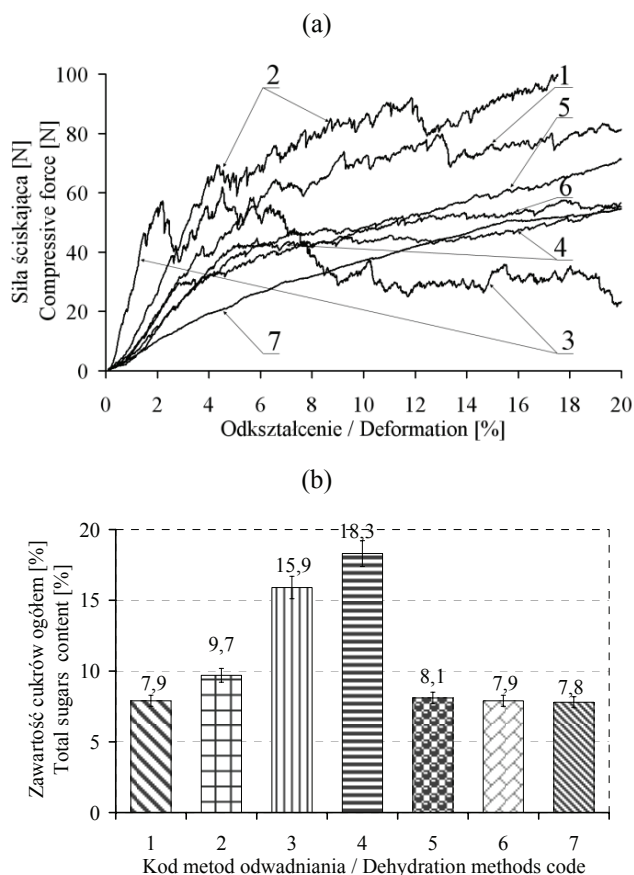


Rys. 2. Wpływ parametrów odwadniania osmotycznego na (a) jasność L^* (b) bezwzględną różnicę barwy ΔE suszonych sublimacyjnie truskawek (Objaśnienia w tab. 1).

Fig. 2. Effect of osmotic dehydration parameters on: (a) L^* lightness; (b) absolute colour difference, ΔE , of the freeze-dried strawberries (explanations/legend in Tab. 1).

Rejestrowana maksymalna siła ściskania liofilizowanych truskawek wzrastała wraz z wydłużaniem czasu odwadniania, jak i ze wzrostem temperatury (rys. 3a). Jednak, wysuszone owoce po 20 h odwadniania osmotycznego (3), pomimo osiągnięcia najwyższych wartości sił w początkowej fazie ściskania, były najbardziej kruche. Przy dalszym nacisku rozpadały się na kilka części, a krzywa z uśrednionych rejestrowanych sił ściskających przy odkształceniu w zakresie 8 - 20 % przebiegała najniżej. Uśrednione krzywe ściskania liofilizatów z truskawek powleczonych powłokami i odwodnionych w przypadku całego zakresu odkształcenia przebiegały poniżej uśrednionej krzywej porównywalnego materiału niepewleczzonego błoną (2). O ile przebieg rozpatrywanych krzywych odnoszących się do wysuszonych owoców powleczonych powłokami w początkowym zakresie odkształcenia był zbliżony, to przy odkształce-

niach z zakresu 12 - 20 % liofilizowane truskawki, uprzednio powleczone błoną alginianową i odwodnione osmotycznie (5), uzyskiwały większą siłę ściskającą niż stosowny produkt uprzednio powleczone błoną z pektyny niskometylowanej (6). Przyjmuje się, że znajomość wpływu aktywności wody na właściwości reologiczne produktów liofilizowanych może być przydatna nie tylko do optymalizacji procesu suszenia, ale i do projektowania właściwości gotowego produktu [13].



Rys. 3. Wpływ parametrów odwadniania osmotycznego na: (a) siłę ściskania suszonych sublimacyjnie truskawek, (b) zawartość cukrów ogółem w odwadnianych osmotycznie truskawkach (objaśnienia w tab. 1).

Fig. 3. Effect of osmotic dehydration parameters on: (a) compressive force of freeze-dried strawberries, (b) content of total sugars in osmotically dehydrated strawberries (explanations in Tab. 1).

Wyznaczone zawartości cukrów w nieodwadnianych osmotycznie truskawkach (rys. 3b) nie odbiegały od wartości typowych. Natomiast największy wpływ na zmiany zawartości cukrów w odwadnianych osmotycznie owocach miała ilość syropu skro-

biowego, jaka przeniknęła do tkanki w czasie tego procesu. Zmiany zawartości cukrów w czasie odwadniania osmotycznego zależały między innymi od ich początkowej zawartości w surowcu. Zawartość cukrów w badanych truskawkach rosła wraz z wydłużaniem czasu, jak i temperatury procesu (rys. 3b). Największą zawartość cukrów ogółem (18,3 %) zaobserwowano w truskawkach odwadnianych przez 3 h w temp. 50 °C (4). Natomiast najmniejszą zawartość cukrów ogółem 7,9 % oznaczono w truskawkach odwadnianych w krótkim czasie, czyli przez 0,5 h w temp. 20 °C (1). Odwadniane osmotycznie przez 3 h truskawki, uprzednio powleczone błoną alginianową (5) wykazywały tendencje do osiągnięcia nieznacznie większej zawartości cukrów niż owoce uprzednio powleczone błoną z pektyny niskometylowanej (6) lub truskawki bez błony odwadniane w krótkim czasie (1).

Wnioski

1. W wyniku wielogodzinnej liofilizacji truskawek odwadnianych osmotycznie w syropie skrobiowym otrzymano mniej statystycznie istotnych różnic zawartości wody w suszach w porównaniu z różnicami aktywności wody w tej samej grupie produktów.
2. Wstępne odwadnianie osmotyczne powodowało istotne podwyższenie aktywności wody liofilizowanych truskawek. Aktywność wody suszu liofilizowanego była tym większa, im większy był przyrost masy suchej substancji w wyniku odwadniania osmotycznego. Natomiast wykorzystanie przyrostu zawartości cukrów w odwadnianych osmotycznie truskawkach do przewidywania aktywności wody suszu liofilizowanego nie było możliwe.
3. Odwadnianie osmotyczne prowadzone w temp. 20 °C, niezależnie od wprowadzenia powłok z alginianu lub pektyny, wpłynęło na podniesienie jasności liofilizowanych truskawek. Wraz z wydłużaniem czasu odwadniania osmotycznego występował wzrost bezwzględnej różnicy barwy truskawek suszonych sublimacyjnie.
4. Zmiany struktury wewnętrznej, spowodowane obecnością substancji osmotycznej w owocach truskawek, zostały ograniczone po wprowadzeniu powłok ochronnych. Zwiększenie siły potrzebnej do zniszczenia struktury otrzymanych suszy, w stosunku do truskawek, które nie zostały poddane obróbce wstępnej, było niewielkie. W wyniku wydłużenia czasu odwadniania osmotycznego jedynie w pierwszej fazie rejestrowanych odkształceń następował wzrost wytrzymałości na ściskanie owoców po liofilizacji. Truskawki odwadniane przez 20 h i wysuszone sublimacyjnie były najbardziej kruche.
5. Liofilizowane truskawki, uprzednio powleczone błoną alginianową i odwodnione osmotycznie, w odniesieniu do większości rozpatrywanych właściwości wykazywały tendencje do osiągnięcia nieznacznie większych wartości (zawartość i aktywność wody, jasność, siła ścisająca przy odkształceniach z zakresu 12-20 %) niż liofilizowane truskawki bez powłoki.

zowane truskawki uprzednio powleczone błoną z pektyny niskometylowanej i odwodnione.

Praca była prezentowana podczas VI Konferencji Naukowej nt. „Nowoczesne metody analityczne w zapewnieniu jakości i bezpieczeństwa żywności”, Warszawa, 6 - 7 grudnia 2007 r.

Literatura

- [1] Ciurzyńska A., Lenart A.: Wpływ rodzaju substancji osmotycznej na adsorpcję pary wodnej przez liofilizowane truskawki. *Inż. Rol.*, 2007, **11 5 (93)**, 53-62.
- [2] Drzazga B.: Analiza techniczna w przemyśle spożywczym. WSiP, Warszawa 1992, s. 302-305.
- [3] Górniak J., Wachnicki J.: Pierwsze kroki w analizie danych. SPSS Polska, Kraków 2004, s. 11-231.
- [4] Hammami Ch., René F., Marin M.: Process-quality optimization of the vacuum freeze-drying of apple slices by the response surface method. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 1999, **34 (2)**, 145-160.
- [5] Janowicz M., Lenart A., Idzikowska W.: Sorption properties of osmotically-dehydrated and freeze-dried strawberries. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2007, **57 (1)**, 69-76
- [6] Lenart A., Piotrowski D.: Drying characteristics of osmotically dehydrated fruits coated with semipermeable edible films. *Drying Technol.*, 2001, **19 (5)**, 849-877.
- [7] Lewicki P.P., Jakubczyk E.: Effect of water activity on mechanical properties of dry cereal products. *Acta Agrophysica*, 2004, **4 (2)**, 381-391.
- [8] Marzec A., Lenart A.: Właściwości mechaniczne suszonych truskawek i wiśni. *Mat. XXXII Sesji Nauk. KTChŻ PAN*, Warszawa 2001, płyta CD, nr pliku: **231**, 1-7.
- [9] Ogonek A., Lenart A.: Znaczenie powłok jadalnych w odwadnianiu osmotycznym mrożonych truskawek. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2002, **3 (32) Supl.**, 116-126.
- [10] Piotrowski D., Lenart L., Pomarańska-Lazuka W.: Wpływ sposobu suszenia na barwę odwadnianych osmotycznie wybranych owoców. *Mat. XXXII Sesji Nauk. KTChŻ PAN*, Warszawa 2001, płyta CD, nr pliku: **241**, 1-6.
- [11] PN-A-78652:1997. Truskawki zamrożone.
- [12] Ribeiro C., Vicente A.A., Teixeira J.A., Miranda C.: Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *J. Postharvest Biol. Technol.*, 2007, **44 (1)**, 63-70.
- [13] Rowicka R., Nowak D., Lewicki P.P.: Wpływ aktywności wody na właściwości reologiczne liofilizowanego jabłka. *Mat. XXXII Sesji Nauk. KTChŻ PAN*, Warszawa 2001, płyta CD, nr pliku: **244**, 1-6.
- [14] Sablani S.S., Rahman M.S., Al-Kuseibi M.K., Al-Habsi N.A., Al-Belushi R.H., Al-Marhubi I., Al-Amri I.S.: Influence of shelf temperature on pore formation in garlic during freeze-drying. *J. Food Eng.*, 2007, **80 (1)**, 68-79.

- [15] Sitkiewicz I.: Wpływ obróbki enzymatycznej na efektywność osmotycznego odwadniania oraz właściwości mechaniczne truskawek odwodnionych osmotycznie. *Mat. XXXII Sesji Nauk. KTChŻ PAN*, Warszawa 2001, płyta CD, nr pliku: **247**, 1-6.
- [16] Toczko M., Grzebińska A.: *Materiały do ćwiczeń z biochemii*. Wyd. SGGW, Warszawa 2001, s. 33-38.
- [17] Torezan G., Favareto P., Pallet D., Menezes H.: Osmotic dehydration of mango: effects of temperature and process time. *Proc. 14th Int. Drying Symp., Campinas, Brazil 2004*, vol. C, pp 2165-2172.
- [18] Wrolstad R.E., Durst R.W., Lee J.: Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends Food Sci. Technol.*, 2005, **16 (9)**, 423-428.

COLOUR AND PHYSICAL PROPERTIES OF OSMOTICALLY DEHYDRATED AND FREEZE-DRIED STRAWBERRIES

S u m m a r y

The objective of this research was to examine the effect of osmotic dehydration on the colour and selected physical properties of freeze-dried strawberries. The process of osmotic dehydration of strawberries was carried out in a 67.5 % starch syrup with the dextrose equivalent of DE 30-35 at a temperature of approx. 20 and 50 °C under the dynamic conditions. In addition, prior to its initial pre-treatment, one part of strawberries was covered with coatings made of low methylated pectin solutions (2 %) or with alginate sodium solution (0.75 %). Regardless of the initial water content in raw material, 24 h freeze-drying resulted in a similar level of final water content (approx. 0.0432 g water/g db). The lyophilised strawberries, previously just frozen, obtained the lowest water activity ($a_w = 0.163$) compared to dried fruit after their osmotic dehydration in a starch syrup (a_w from 0.195 to 0.250). The coatings formed on the fruit surface limited the penetration of osmotically active substance into the tissue. The process of osmotic dehydration, regardless of the applied parameters, caused, in the majority of the samples, the product colour to lighten, and the lowest surface lightness was obtained for fruit dehydrated for 3 h at the temperature of 50 °C. The increase in absolute colour difference, ΔE , of the freeze-dried strawberries occurred along with the lengthening of the osmotic dehydration duration period. The initial pre-treatment duration period increased during the first phase of deformations registered and resulted in the clear rise in the compressive strength of freeze-dried fruit. The most fragile fruit were strawberries dehydrated for 20 h and freeze-dried.

Key words: freeze-drying, sugar content, water activity, colour, mechanical properties, strawberries 