

MAŁGORZATA RZĄCA, DOROTA WITROWA-RAJCHERT, URSZULA
TYLEWICZ, MARCO DALLA ROSA

WYMIANA MASY W PROCESIE ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO OWOCÓW KIWI

Streszczenie

Usuwanie wody z tkanki owoców metodą suszenia zmienia znacznie ich wartość odżywczą i cechy sensoryczne. Jednocześnie wzrasta zainteresowanie produktami o małym stopniu przetworzenia. W związku z tym poszukuje się technologii pozwalających na otrzymanie produktów funkcjonalnych o zachowanej wysokiej wartościach odżywczej, a zarazem wygodnych dla konsumentów i przeznaczonych do bezpośredniego spożycia. Odwadnianie osmotyczne jest łagodną metodą służącą do częściowego usunięcia wody z tkanki roślinnej. Celem pracy była analiza kinetyki procesu odwadniania osmotycznego owoców zielonego kiwi. Zbadano wpływ temperatury procesu odwadniania na zmiany: ubytków masy, zawartości wody, ubytków wody oraz przyrostu masy suchej substancji i zawartości ekstraktu. Odwadnianie osmotyczne przebiegało w wodnym roztworze sacharozy o stężeniu 61,5 %, w zakresie czasu od 0 do 300 min w temperaturze: 25, 35 i 45 °C. Stosunek masy surowca do masy roztworu osmotycznego wynosił 1:5. Z przeprowadzonych badań wynika, że proces odwadniania osmotycznego w pierwszej godzinie był najbardziej dynamiczny, czyli rejestrowano największe ubytki masy i ubytki wody oraz przyrosty masy suchej substancji i zawartości ekstraktu, niezależnie od temperatury procesu. Podczas procesu odwadniania wraz z ubytkiem wody następował skurcz materiału. Na zmiany grubości plastrów kiwi wpływały warunki prowadzenia procesu. Wraz ze wzrostem temperatury i wydłużaniem procesu następowało zmniejszenie grubości plastrów. Ponadto określono współczynnik efektywności odwadniania osmotycznego i był on najwyższy dla procesu przebiegającego w najwyższej temperaturze. Efektywność procesu ustalała się na niezmiennym poziomie po 60 min, gdy proces prowadzono w temperaturze 45 °C i po około 30 min w przypadku temperatury 25 i 35 °C.

Słowa kluczowe: kiwi zielone, efektywność odwadniania, zawartość ekstraktu, grubość plastrów

Wprowadzenie

Owoce kiwi są produktem wysoko cenionym przez konsumentów, szczególnie jako produkt świeży, ale również jako składnik produktów mlecznych, dżemów, gala-

Mgr inż. M. Rząca, prof. dr hab. D. Witrowa-Rajchert, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Technologii Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa, mgr inż. U. Tylewicz, prof. M. Dalla Rosa, Università degli studi di Bologna - Polo di Cesena, Campus of Food Science, Piazza Goidanich 60, 47023 Cesena (ITA)

rettek, syropów oraz wyrobów cukierniczych [14]. Poziom biologicznie aktywnych składników odżywczych w tych owocach jest dość wysoki. Zawierają one barwniki, tj. chlorofil i karotenoidy, a zawartość witaminy C jest wyższa niż w pomarańczy, truskawce, cytrynie czy grejpfrucie. W kiwi odmiany Hayward zawartość witaminy C wynosi od 37 do 200 mg/100 g świeżego surowca. Tak duża zawartość witaminy C wpływa na właściwości przeciwutleniające w większym stopniu niż inne przeciwutleniacze, tj. polifenole czy karotenoidy [15]. Ponadto witamina C pełni rolę inhibitora enzymatycznego brązowienia, które w negatywny sposób wpływa na barwę, teksturę i zapach tkanki roślinnej [16].

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie konsumentów produktami o małym stopniu przetworzenia. Technologie minimalnego przetworzenia są nowoczesnymi technikami, które pozwalają na uzyskanie żywności o trwałości wystarczającej do jej dystrybucji, a jednocześnie dające produkt świeży i „wygodny” [11, 12]. Odwadnianie osmotyczne pozwala uzyskać produkt minimalnie przetworzony, gotowy do bezpośredniego spożycia. Jednocześnie surowce po tym procesie mogą zostać poddane dalszej obróbce, tj. mrożeniu czy suszeniu [4, 6, 14, 16]. W wyniku odwadniania osmotycznego otrzymuje się produkt niehigroskopijny, o podwyższonej trwałości, ale też o większej zawartości wody, w porównaniu z tradycyjnie suszonymi owocami. Zmiany barwy i zapachu są minimalne, ze względu na ograniczone utlenianie, wyeliminowane przez brak kontaktu surowca z tlenem podczas odwadniania [7].

W czasie odwadniania osmotycznego dochodzi do wymiany masy, podczas której strumień wody przenika z wnętrza materiału do otaczającego roztworu, a strumień substancji osmotycznej – z roztworu do odwadnianej tkanki. Podczas procesu odwadniania następuje ubytek substancji niskocząsteczkowych, tj. cukrów, soli mineralnych, kwasów, witamin, które przenikają z wnętrza odwadnianej tkanki do otaczającego roztworu. Jest to istotny element wymiany masy, która wpływa na końcową wartość odżywczą i właściwości sensoryczne produktu [1, 3, 9, 14, 16]. Dlatego ważny jest wybór odpowiednich parametrów procesu, który będzie powodował minimalne zmiany produktu.

Najczęściej stosowaną substancją osmotyczną jest sacharoza i glukoza [16]. Szybkość i stopień odwadniania surowca oraz zmiany jego składu chemicznego zależą od rodzaju i stężenia substancji osmotycznej, właściwości tkanki roślinnej, stopnia rozdrobnienia surowca, stosunku masy odwadnianego surowca do roztworu osmotycznego, temperatury i czasu odwadniania [10, 13].

Celem pracy była analiza kinetyki procesu odwadniania osmotycznego owoców kiwi. Zbadano wpływ temperatury procesu odwadniania na zmiany: ubytków masy, zawartości wody, ubytków wody oraz przyrostu masy suchej substancji i zawartości ekstraktu w tkance. Wyznaczono również współczynnik efektywności odwadniania osmotycznego kiwi w roztworze sacharozы.

Material i metody badań

Do odwadniania osmotycznego wykorzystano owoce kiwi zielonego odmiany *Actinidia deliciosa*, var. *deliciosa* 'Hayward'. Surowiec zakupiono w supermarkecie w jednej partii. Kiwi przed eksperymentem przechowywano w chłodni o temp. 4 °C. Przed odwadnianiem owoce obierano i krojono w plastry o grubości 10 ± 1 mm.

Substancją osmotyczną był wodny roztwór sacharozy o stężeniu 61,5 %. Stosunek masy surowca do masy roztworu osmotycznego wynosił 1 : 5. Odwadnianie osmotyczne prowadzono w następującym zakresie czasu: 0, 5, 30, 60, 120 i 300 min w temp. 25, 35 i 45 °C. Bezpośrednio przed eksperymentem sacharozę podgrzewano do temperatury, w jakiej prowadzono odwadnianie osmotyczne. Odwadnianie prowadzono w zlewce o pojemności 5000 ml, umieszczonej w łaźni wodnej z zamontowaną siatką na mieszadle. W czasie odwadniania osmotycznego utrzymywano stałą temperaturę oraz ciągle mieszanie. Po zakończeniu odwadniania plastry odsączano na sicie i przepłukiwano wodą o objętości 2000 ml, a następnie osuszano na bibule filtracyjnej.

W materiale surowym i po każdym czasie odwadniania oznaczano: masę próbki, grubość plastrów oraz zawartość suchej substancji. Zawartość ekstraktu w owocach oznaczano metodą refraktometryczną, wyciskając ekstrakt kiwi i uzyskując wynik w °Bx. Podobnie mierzono zawartość sacharozy w roztworze odwadnianym. Zawartość suchej substancji oznaczano metodą suszarkową w temp. 70 °C przez 14 h.

Analizę kinetyki odwadniania osmotycznego kiwi dokonywano na podstawie ubytku masy ΔM_t^o [kg/kg], ubytku wody ΔM_t^w [kg H₂O/kg kiwi] i przyrostu masy suchej substancji ΔM_t^{ST} [kg s.s./kg kiwi] [2]:

$$\Delta M_t^o = \frac{(m_0 - m_t)}{m_0} \quad (1)$$

$$\Delta M_t^w = \frac{(m_0 X_0^w - m_t X_t^w)}{m_0} \quad (2)$$

$$\Delta M_t^{ST} = \frac{(m_t X_t^{ST} - m_0 X_0^{ST})}{m_0} \quad (3)$$

gdzie:

m_0 - masa początkowa kiwi przed odwadnianiem [kg],

m_t - masa końcowa kiwi po odwadnianiu [kg],

X_0^w, X_0^{ST} - zawartość wody i suchej substancji przed odwadnianiem [kg/kg],

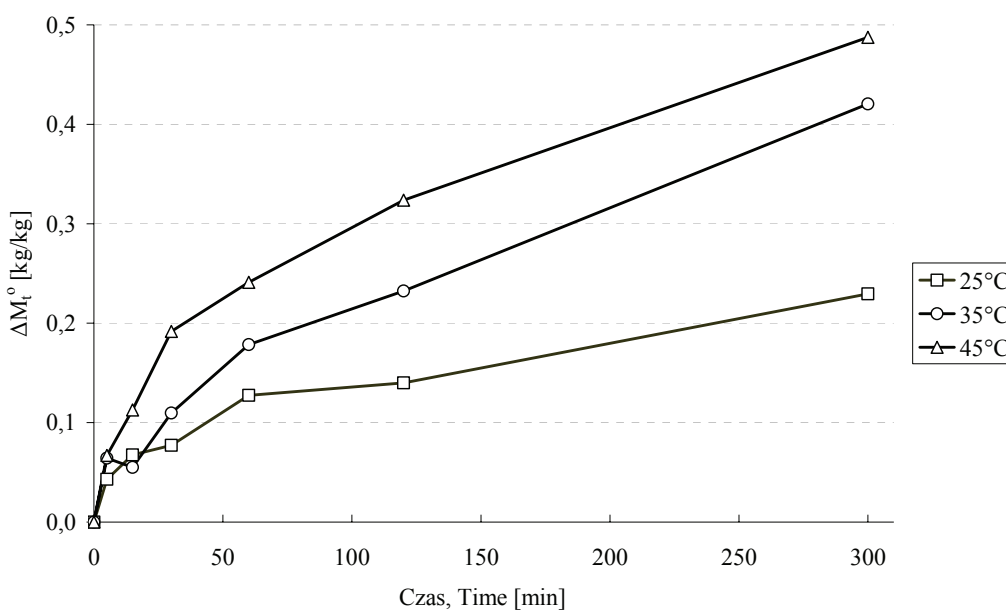
X_t^w, X_t^{ST} - zawartość wody i suchej substancji po odwadnianiu [kg/kg].

Obliczono również stosunek $\Delta M_t^w / \Delta M_t^{ST}$, zwany współczynnikiem efektywności odwadniania osmotycznego (WL/SG).

Wyniki opracowano statystycznie, przeprowadzając dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA. Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Ubytki masy powstają w wyniku przepływu strumienia wody, wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami z surowca. Jest on większy od strumienia wnikałej do tkanki roślinnej sacharozy w czasie odwadniania osmotycznego [1].



Rys. 1. Ubytek masy podczas odwadniania osmotycznego kiwi w roztworze sacharozy w temperaturze 25, 35 i 45 °C.

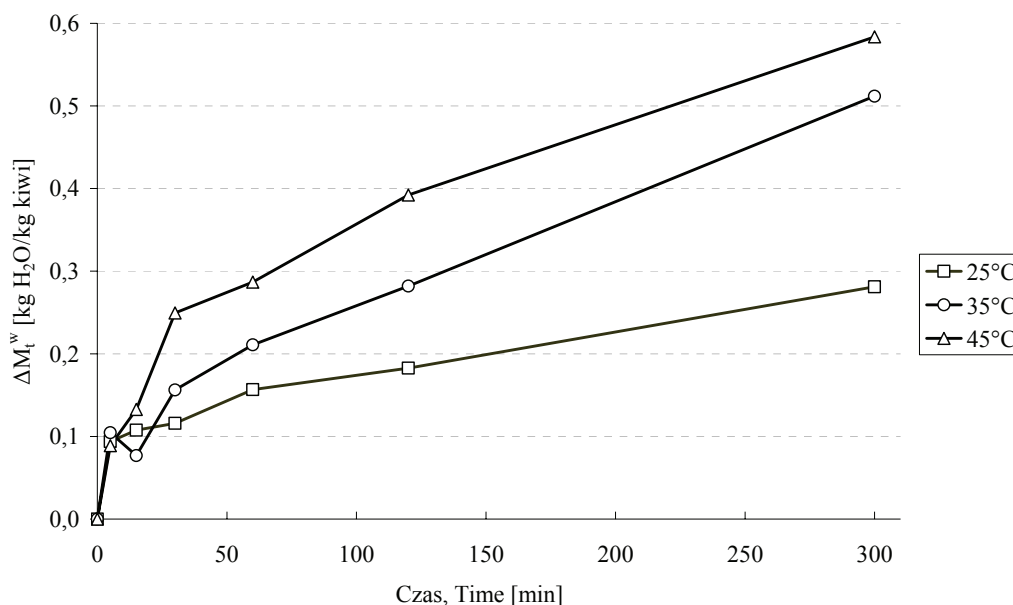
Fig. 1. Mass loss during osmotic dehydration of green kiwi fruit in sucrose solution at 25, 35, and 45 °C.

Z przeprowadzonej analizy statystycznej wynika, że na ubytek masy owoców kiwi istotnie wpływała temperatura, w której przeprowadzany był proces, oraz w mniejszym stopniu czas procesu. Ubytki masy były najintensywniejsze w ciągu 60 min trwania procesu (rys. 1). Po tym czasie w przypadku temp. 25 °C masa kiwi zmniejszyła się o około 13 %, w temp. 35 °C o około 18 % i w temp. 45 °C o około 24 %. Dalsze odwadnianie nie przebiegało już tak dynamicznie. Najprawdopodobniej było to spowodowane zmianą struktury surowca na skutek odwadniania osmotycznego i mniejszą siłą napędową w czasie dalszej części procesu. W kolejnych 4 godzinach masa zmniejszyła się odpowiednio o 10, 24 i 25 %. Szybkość odwadniania osmotycznego na początku procesu jest największa, gdyż następuje dyfuzja wody z powierzchniowych

warstw komórek, a wnikanie substancji osmotycznej do wnętrza jest szybkie. Wówczas strumień usuwanej wody jest dużo większy niż strumień wnikającej substancji osmotycznej. Następnie strumienie te maleją i ubytek wody stabilizuje się do stałego poziomu, a dyfuzja substancji osmotycznej nieznacznie się zwiększa [8]. Tak jak we wszystkich procesach dyfuzyjnych wyższa temperatura powodowała intensywniejsze ubytki wody i wnikanie suchej substancji. Ze względu na to, że strumień wody był znacznie większy, obserwowano w efekcie większe przyrosty masy w wyższej temperaturze.

Ubytki masy są głównie związane ze zmniejszeniem zawartości wody. Analiza wariancji potwierdziła, że na ubytek masy w czasie odwadniania osmotycznego owoców kiwi miał wpływ zarówno czas odwadniania, jak i temperatura roztworu osmotycznego, przy czym temperatura odwadniania miała większe znaczenie.

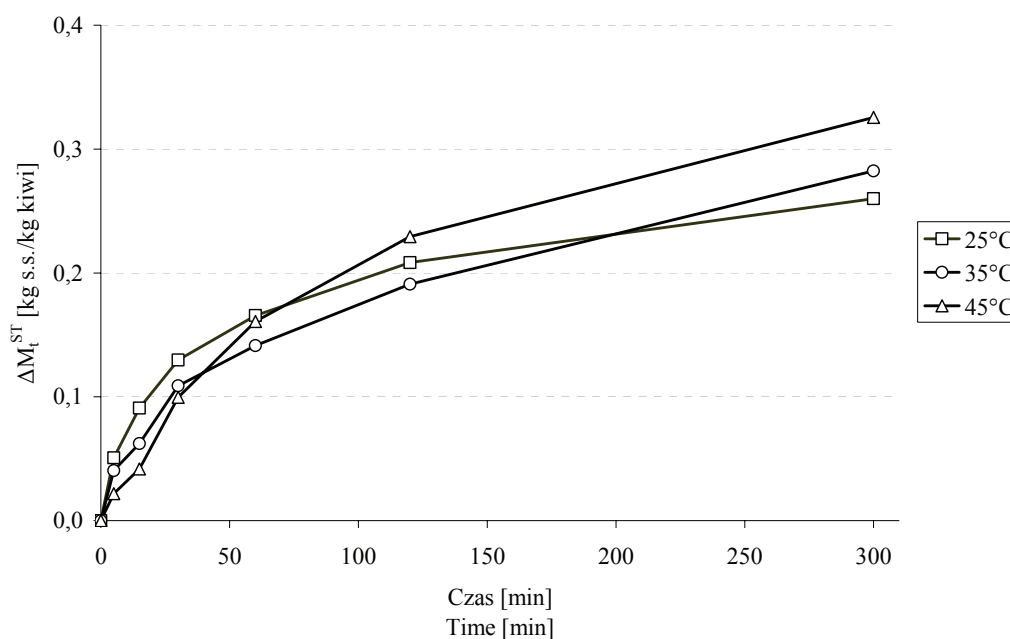
Zmniejszenie zawartości wody spowodowało ubytki wody w odwadnianej tkance, co przedstawiono na rys. 2. Wzrost temperatury i wydłużenie czasu procesu spowodowało zwiększenie tych ubytków. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że na ubytek wody w czasie odwadniania osmotycznego owoców kiwi miał wpływ zarówno czas odwadniania, jak i temperatura roztworu osmotycznego, przy czym czas odwadniania miał większe znaczenie.



Rys. 2. Ubytek wody podczas odwadniania osmotycznego kiwi w roztworze sacharozy w temperaturze 25, 35 i 45 °C.

Fig. 2. Water loss during green kiwi fruit osmotic dehydration in sucrose solution at 25, 35 and 45 °C.

Przyrost masy suchej substancji wynika z koncentracji składników ekstraktu oraz ilości wnikażącej sacharozy do odwadnianego materiału. Wraz z wydłużaniem czasu odwadniania osmotycznego następował większy przyrost masy suchej substancji. Wnikanie substancji osmotycznej najszybciej przebiegało na początku procesu. Jednakże przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że na przyrost masy suchej substancji istotny wpływ miała temperatura procesu, a nie czas. Pod koniec procesu przyrost ten osiągnął końcową wartość 26 % w temp. 25 °C, 51 % w temp. 35 °C i 58 % w temp. 45 °C (rys. 3).



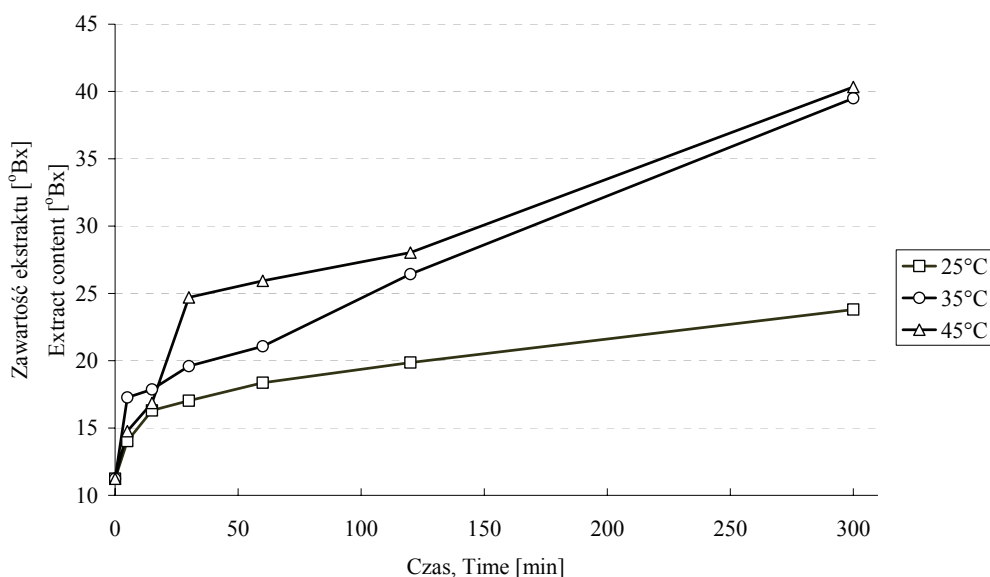
Rys. 3. Przyrost masy suchej substancji podczas odwadniania osmotycznego kiwi w roztworze sacharozy w temperaturze 25, 35 i 45 °C.

Fig. 3. Increase in dry matter during osmotic dehydration of green kiwi fruit in sucrose solution at 25, 35, and 45 °C.

Podobnie zawartość ekstraktu w plasterkach kiwi wzrastała wraz z wydłużeniem czasu odwadniania osmotycznego oraz podwyższaniem temperatury procesu, od około 11 % w surowych owocach do ponad 40 % po 5 h odwadniania w temp. 40 °C (rys. 4). Na zawartość ekstraktu w kiwi istotny wpływ miała temperatura procesu oraz czas jego trwania, co zostało potwierdzone przez analizę wariancji.

Podczas procesu odwadniania wraz z ubytkiem wody następował skurcz materiału. Wpływ odwadniania osmotycznego na zmianę grubości plasterków kiwi przedstawiono na rys. 5. Na zmiany grubości plasterków kiwi wpływały warunki prowadzenia procesu. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała, że na grubość materiału istotny

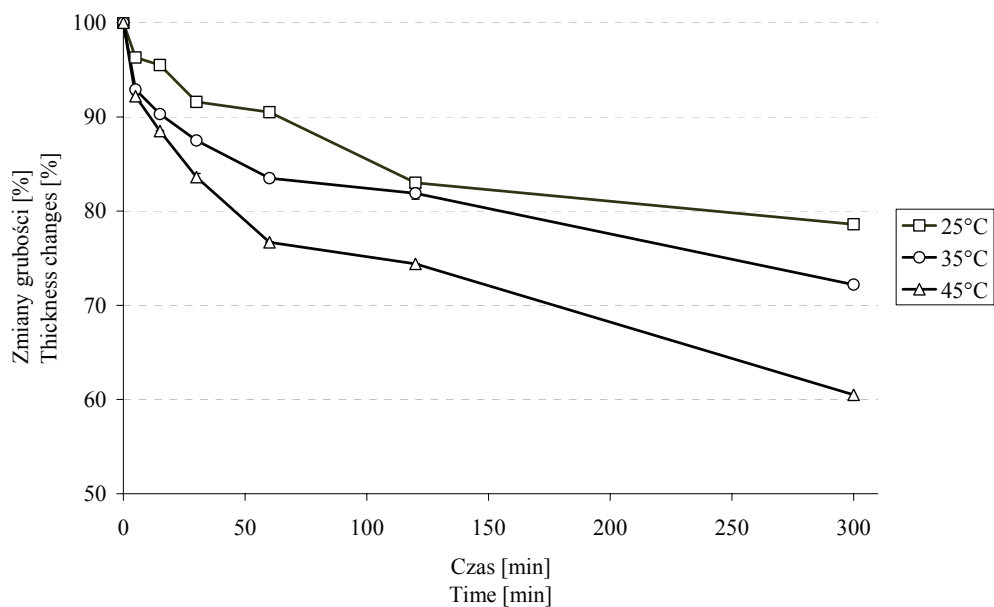
wpływ miała temperatura procesu oraz w mniejszym stopniu czas procesu. Grubość plastrów kiwi po 5 h odwadniania, w porównaniu z materiałem odwadnianym w temp. 25 °C, była większa o 6,4 % w przypadku procesu prowadzonego w temp. 35 °C i odpowiednio o 18,1 % w temp. 45 °C. Po 5 h grubość plastrów kiwi odwadnianego w temp. 25 °C zmniejszyła się o 21,4 %, w temp. 35 °C – o 27,8 %, natomiast w temp. 45 °C aż o 39,5 %.



Rys. 4. Zawartość ekstraktu w plastrach kiwi podczas odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozu w temperaturze 25, 35 i 45°C [°Bx]

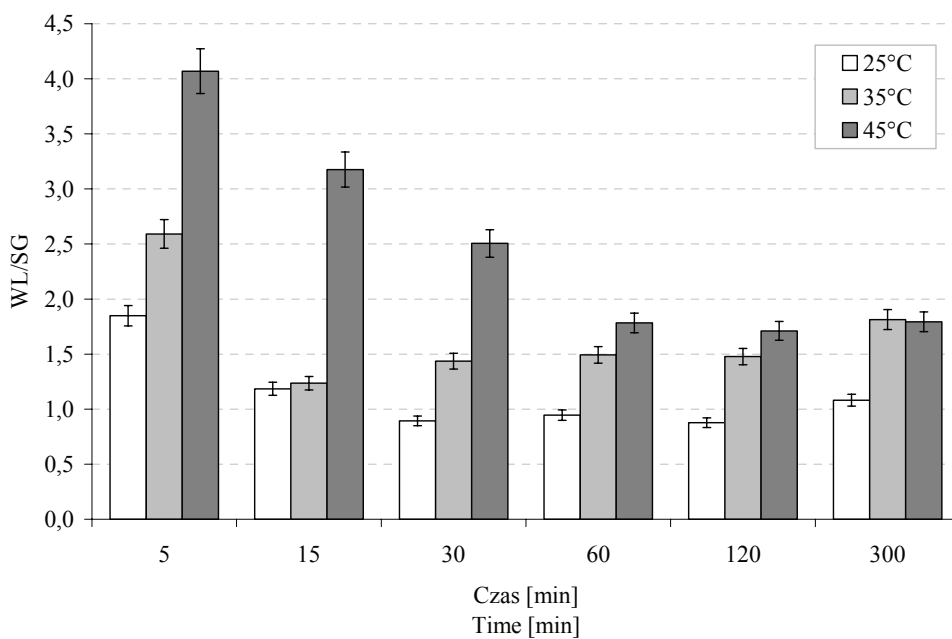
Fig. 4. Content of solids in kiwi slices during osmotic dehydration in sucrose solution at 25, 35, and 45°C [Brix degrees]

Współczynnik efektywności odwadniania osmotycznego był najwyższy podczas pierwszych minut procesu (rys. 6). Współczynnik ten przyjmował najwyższe wartości po 5 min procesu, a następnie malał do 60 min procesu. Jednocześnie był on wyższy w wyższej temperaturze. Wraz z podwyższaniem temperatury maleje lepkość środowiska, wzrasta szybkość reakcji chemicznych, następują zmiany fizykochemiczne oraz intensyfikacja procesu osmozy i dyfuzji [5]. Proces przebiegający w temp. 45 °C był więc najbardziej efektywny, a współczynnik zmniejszał się do 60. min. Wydłużenie odwadniania w tej temperaturze nie różnicowało efektywności procesu. W przypadku niższych temperatur ustabilizowanie efektywności następowało w czasie około 30 min.



Rys. 5. Zmiany grubości plastrów kiwi podczas odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy w temperaturze 25, 35 i 45 °C.

Fig. 5. Changes in thickness of kiwi slices during osmotic dehydration in sucrose solution at 25, 35, and 45 °C.



Rys. 6. Współczynnik efektywności odwadniania osmotycznego w temperaturze 25, 35 i 45 °C.

Fig. 6. Osmotic dehydration efficiency coefficient of kiwi fruit in sucrose solution at 25, 35, and 45 °C.

Wnioski

1. Kinetyka odwadniania osmotycznego owoców kiwi w 61,5 % roztworze sacharozy była zależna od temperatury procesu i przebiegała intensywniej w wyższej temperaturze.
2. Największe ubytki masy, wody oraz przyrost masy suchej substancji i zawartości ekstraktu obserwowano w czasie pierwszej godziny odwadniania osmotycznego, niezależnie od temperatury procesu.
3. Wraz ze wzrostem temperatury i wydłużaniem procesu następowało zmniejszenie grubości plastrów odwadnianego materiału, dochodzące do 60 % grubości początkowej.
4. Współczynnik efektywności odwadniania osmotycznego przyjmował najwyższe wartości podczas procesu przebiegającego w temp. 45 °C, które stabilizowały się po 60 min procesu. W temp. 25 i 35 °C efektywność zmniejszała się przez pierwsze 30 min, po czym utrzymywała się na stałym poziomie.

Literatura

- [1] Erle U., Shubert H.: Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *J. Food Eng.*, 2001, **49**, 193-199.
- [2] Escriche I., Garcia-Pinchi R., Carot J.M., Serra J.A.: Comparison of must and sucrose as osmotic solutions to obtain high quality minimally processed kiwi fruit (*Actinidia chinensis* P.) slices. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2002, **37**, 87-95.
- [3] Khin M.M., Zhou W., Perera C.O.: Impact of process conditions and coatings on the rehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. *J. Food Eng.*, 2007, **79**, 817-827.
- [4] Kopera M., Mitek M.: Wpływ procesu odwadniania osmotycznego na zawartość polifenoli w suszach gruszkowych (*Pyrus communis* i *Pyrus pyrifolia*). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **5 (54)**, 213-221.
- [5] Kowalska H., Jędrzak S.: Odwadnianie osmotyczne jabłek w roztworze sacharozy i kwasu askorbinowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **3 (52)**, 119-126.
- [6] Kowalska H., Lenart A.: Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *J. Food Eng.*, 2001, **49**, 137-140.
- [7] Lenart A., Lewicki P.P.: Owoce i warzywa utrwalone sposobem osmotyczno-owiewowym. *Przem. Spoż.*, 1996, **8**, 70-72.
- [8] Lenart A.: Mathematical modeling of osmotic dehydration of apple and carrot. *Acta Alimentaria*, 1992, **1/42**, **1**, 33-44.
- [9] Lenart A.: Osmotyczne odwadnianie jako obróbka wstępna przed suszeniem konwekcyjnym owoców i warzyw. *Przem. Spoż.*, 1990, **44 (12)**, 307-309.
- [10] Leric C.R., Pinnavaia C.R., Rosa M.D., Bartolucci L.: Osmotic dehydration of fruits: influence of osmotic agents on during behavior and product quality. *J. Food Sci.*, 1995, **50**, 1217-1219.
- [11] O'Connor-Show R.E., Roberts R., Ford A.L., Nottingham S.M.: Shelf life of minimally processed honeydew, kiwifruit, papaya, pineapple and cantaloupe. *J. Food Sci.*, 1994, **59 (6)**, 1202-1215.
- [12] Ohlsson T.: Minimal processing-preservation methods of the future: an overview. *Trends Food Sci. Technol.* 1994, **5 (11)**, 341-348.

- [13] Rastogi N.K., Raghavarao K.S.M.S., Niranjan K.: Mass transfer during osmotic dehydration of banana: Fickian diffusin in cylindrical configuration. *J. Food Eng.*, 1997, **31** (4), 423-432.
- [14] Talens P., Escriche N., Martinez-Navarrete N., Chiralt A.: Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. *Food Res. Int.*, 2003, **36**, 635-642.
- [15] Tavarini S., Degl'Innocenti E., Remorini D., Massai R., Guidi Lucia.: Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chem.*, 2008, **107**, 282-288.
- [16] Vial C., Guilbert S., Cuq J.L.: Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. *Sciences des Aliments*, 1991, **11**, 63-84.

MASS EXCHANGE IN OSMOTIC DEHYDRATION PROCESS OF KIWI FRUITS

S u m m a r y

Removing water from fruit tissue using a drying method causes their nutritional value and sensory properties to change. On the other hand, more and more people are continuously interested in products showing a low processing degree. Therefore, technologies are searched to produce functional products of high nutritional value and, at the same time, consumer-friendly and ready-to-eat. Osmotic dehydration is a very gentle method of partially removing water from a plant tissue. The objective of this study was to analyze kinetics of osmotic dehydration of green kiwi fruit. The impact was examined of the dehydration temperature on changes in: mass loss, water content, water loss, dry matter increase, and solids gain. The osmotic dehydration was performed in a 61.5% sucrose solution, during periods ranging from 0 to 300 minutes, at three temperatures: 25, 35, and 45 °C. A ratio: kiwi mass to osmotic solution mass was 1:5. The research performed showed that the osmotic dehydration was the most dynamic process during the first hour, i.e. during this time, the highest mass and water loss were reported, as were the highest increases in dry matter and solids gain, regardless of the process temperature. During the osmotic dehydration process, a material shrinkage was found to occur along with the water loss. The process parameters impacted the changes in the thickness of kiwi slices. Along with the increase in the temperature and with the extension of the process time, the thickness of kiwi slices decreased. Furthermore, the effectiveness coefficient of osmotic dehydration was determined; it was the highest for the dehydration process running at the highest temperature. The efficiency of the process became constant after 60 minutes, when the process was carried out at a temperature of 45 °C, and after ca. 30 minutes at a temperature of 25 and 35 °C.

Key words: green kiwi, dehydration effectiveness, content of solids, slices thickness 