

KINETYKA ODWADNIANIA OSMOTYCZNEGO PLASTRÓW DYNI W ZAGĘSZCZONYM SOKU Z OWOCÓW PIGWOWCA*

Adam Figiel

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Celem pracy było wyznaczenie wpływu temperatury i stężenia zagęszczonego soku z owoców pigwowca na kinetykę odwadniania osmotycznego i skurcz plasterów dyni. Kinetyka odwadniania dotyczyła spadku zredukowanej zawartości wody i wzrost względnego przyrostu zawartości suchej masy plasterów. Plastry dyni o średnicy 18 mm i grubości 6 mm były suszone przez 4 godziny w zagęszczonym soku o temperaturze 45°C i stężeniu 20, 40 i 60°Bx. Spadek zredukowanej zawartości wody w plasterach dyni opisano przy użyciu modelu logarytmicznego, a wzrost względnego przyrostu zawartości suchej masy i skurczu przy użyciu funkcji wykładniczej, przy czym istotne zmiany wartości wyznaczonych wielkości następowały w pierwszych dwóch godzinach odwadniania osmotycznego. Wzrost stężenia roztworu osmotycznego spowodował zmniejszenie zredukowanej zawartości wody oraz zwiększenie skurczu i względnego przyrostu zawartości suchej masy w plasterach dyni, przy czym zwiększenie stężenia od 40 do 60°Bx nie przyczyniło się do powstania istotnych różnic między wartościami zredukowanej zawartości wody oraz względnego przyrostu zawartości suchej masy.

Słowa kluczowe: dynia, zagęszczony sok, odwadnianie osmotyczne

WSTĘP

Podczas odwadniania osmotycznego zachodzą jednocześnie dwa procesy dotyczące wymiany masy. Jeden z nich polega na usuwaniu wody z wilgotnego materiału do otaczającego roztworu o wyższym potencjale osmotycznym. Drugim procesem jest wnikanie suchej substancji zawartej w roztworze osmotycznym do wilgotnego materiału, którego

*Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy N N312 338039.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Adam Figiel, Uniwersytet Przyrodniczy, Instytut Inżynierii Rolniczej, ul. Chelmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław, e-mail: adam.figiel@up.wroc.pl

sok komórkowy charakteryzuje się niższym potencjałem osmotycznym [Kowalska i Lenart 2001, Waliszewski i in. 2002]. W wyniku wyrównywania się potencjałów w obu ośrodkach następuje spowolnienie procesu wymiany masy. Intensywność tego procesu kształtuje kinetykę odwadniania osmotycznego przedstawiającą spadek zawartości wody i wzrost zawartości suchej masy w suszonym materiale, w zależności od czasu. Kinetykę odwadniania osmotycznego można opisać przy użyciu funkcji matematycznych dopasowanych do punktów eksperymentalnych. W ten sposób tworzone są modele empiryczne pozwalające prognozować przebieg odwadniania i tym samym ułatwiać podejmowanie decyzji w procesie produkcyjnym.

Kinetyka odwadniania osmotycznego zależy od wielu czynników związanych zarówno z surowcem, jak i z roztworem osmotycznym [Cao i in. 2006]. Do czynników związanych z surowcem należą: jego rodzaj, kształt i stopień rozdrobnienia, natomiast czynnikami związanymi z roztworem osmotycznym są: rodzaj substancji osmotycznej, stężenie i temperatura roztworu. Okazuje się, że obróbka wstępna surowca, polegająca na mrożeniu lub blanszowaniu, ma także wpływ na przebieg odwadniania osmotycznego [Kowalska i in. 2008].

Odwadnianie osmotyczne może być prowadzone do otrzymania gotowego produktu [Kowalska i Lenart 2001] lub stanowić obróbkę wstępną poprzedzającą suszenie końcowe przy użyciu innej metody [Castilho i in. 2007]. Warto zauważyć, że bilans wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego prowadzi do zmniejszenia objętości suszonego materiału. Można przypuszczać, że wielkość tak powstałego skurczu zależy od zmiany masy spowodowanej ubytkiem wody niedostatecznie kompensowanym przyrostem zawartości suchej substancji. Do sporządzania roztworu osmotycznego najczęściej wykorzystywana jest sacharoza lub chlorek sodu [Mayor i in. 2011]. Znacznie rzadziej roztwór osmotyczny sporządzany jest na bazie soku owocowego [Rózek i in. 2007]. Jednym z owoców charakteryzujących się intensywnym aromatem, który może poprawić wrażenia sensoryczne wysuszonego miąższu dyni jest owoc pigwowca.

Celem pracy było wyznaczenie wpływu stężenia zagęszczonego soku z owoców pigwowca oraz czasu trwania procesu na kinetykę odwadniania osmotycznego i skurcz plasterów dyni.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badanym materiałem były krążki o średnicy 18 mm i grubości 6 mm wycięte z miąższu dyni odmiany Karowita. Krążki, niepoddawane wcześniej żadnej obróbce wstępnej, były suszone osmotycznie w zagęszczonym soku z owoców pigwowca (*Chaenomeles japonica*) w temperaturze 45°C. Sok uzyskany ze świeżych owoców przy pomocy sokowirówki został przefiltrowany z użyciem bibuły filtracyjnej i zagęszczony w wyparce próżniowej do stężeń na poziomie 20, 40 i 60°Bx. Czas odwadniania osmotycznego krążków dyni wynosił 1, 2, 3 i 4 godziny. Masę próbek mierzono przy użyciu wagi laboratoryjnej (Radwag, Radom) z dokładnością do 0,001 g. Ubytek masy próbek (RM) obliczono jako różnicę ich masy przed odwadnianiem (m_0) i po odwadnianiu (m_k):

$$RM = m_0 - m_k \quad (1)$$

Wilgotność próbek wyznaczono przy użyciu suszarki próżniowej (SPT-200, ZEAMiL Horyzont, Kraków), w temperaturze 70°C, przez 12 godzin. Zawartość suchej masy w świeżych i odwadnianych osmotycznie próbkach wyznaczono metodą gravimetryczną, przy czym całkowite usunięcie wody z materiału odbywało się w suszarce próżniowej w ciągu 12 godzin, w temperaturze 70°C. Kinetykę odwadniania przedstawiono w funkcji czasu jako spadek zredukowanej zawartości wody (U_{red}) oraz wzrost względnego przyrostu suchej masy (Δsm), która stanowiła przyrost suchej masy w próbce poddanej odwadnianiu osmotycznemu w stosunku do suchej masy zawartej w świeżej próbce:

$$U_{\text{red}} = \frac{u_t - u_r}{u_0 - u_r} \quad (2)$$

gdzie: u_t – zawartość wody w czasie t ,
 u_0 – początkowa zawartość wody,
 u_r – równowagowa zawartość wody.

Podczas wyznaczania wartości U_{red} dokonano uproszczenia polegającego na pominięciu wartości u_r . Takie uproszczenie, powszechnie stosowane, nie ma dużego wpływu na wyniki badań dotyczące kinetyki suszenia [Rasouli i in. 2011].

Skurcz suszonych osmotycznie próbek (S) wyznaczono na podstawie zmiany objętości suszonych plastrów w stosunku do ich objętości początkowej:

$$S = \frac{V_0 - V_k}{V_0} \quad (3)$$

gdzie: V_0 – objętość plastrów przed odwadnianiem,
 V_k – objętość plastrów po odwadnianiu.

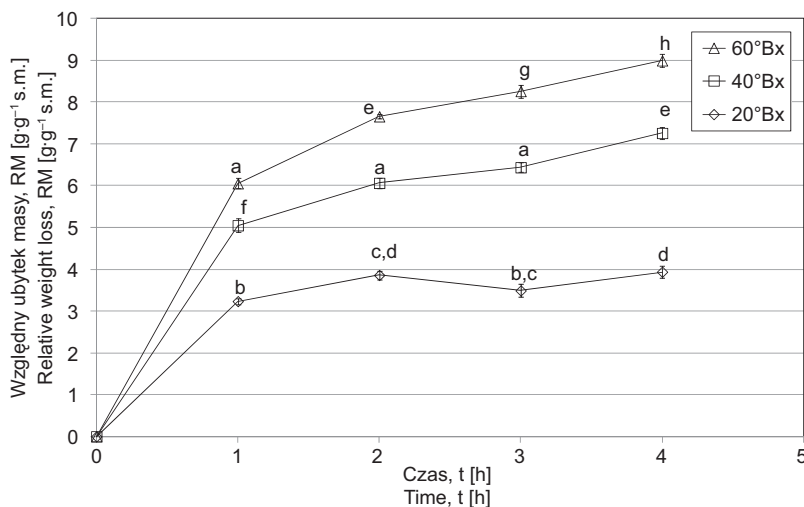
Objętość próbek obliczono na podstawie pomiaru podstawowych wymiarów plastrów, dokonanego z dokładnością 0,01 mm, przy użyciu suwmiarki elektronicznej, przy czym wysuszone osmotycznie plastry przed pomiarem dosuszono sublimacyjnie w celu nadania im twardszej tekstury, aby uniknąć błędu związanego z łatwym odkształcaniem się materiału pod wpływem nacisku elementów pomiarowych. Założono przy tym, że skurcz towarzyszący suszeniu sublimacyjnemu jest nieznaczny.

Dopasowanie funkcji matematycznych do punktów eksperymentalnych odbyło się przy użyciu programu Table Curve 2D Windows v2.03 (Jandel Scientific Software, USA). Wieloczynnikową analizę wariancji przeprowadzono, korzystając z pakietu Anova programu Statistica 8.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, USA). Zastosowano test istotności Tukeya na poziomie $\alpha = 0,05$. Przyjęto, że takie same oznaczenia literowe przy punktach eksperymentalnych reprezentujących wartości średnie świadczą o braku statystycznie istotnych różnic.

WYNIKI I DYKUSJA

Ubytek masy (RM) plasterów dyni, suszonych osmotycznie w zagęszczonym soku z owoców pigwowca, o różnym stężeniu, przedstawiono na rysunku 1. Analizując zawarty tam wykres, należy mieć na uwadze fakt, że ubytek masy jest wypadkową wymiany masy, która odbywa się między surowcem roślinnym o dużej zawartości wody i skoncentrowanym roztworem osmotycznym o stosunkowo dużej zawartości suchej masy. W tej wymianie masy przepływ wody z surowca do roztworu dominuje nad przenikaniem suchej masy z roztworu do surowca. W rzeczywistości następuje także utrata suchej masy surowca, ale jest ona nieznaczna z uwagi na selektywne działanie półprzepuszczalnych błon komórkowych, które umożliwiają wymianę wody, stanowiąc barierę dla cząsteczek tworzących suchą masę. Bariera ta jest znacznie osłabiona w warstwie zewnętrznej w wyniku mechanicznego oddziaływania ostrza narzędzia służącego do wycinania plasterów. Można przypuszczać, że w związku z półprzepuszczalną funkcją błon komórkowych sucha masa z zagęszczonego roztworu wnika głównie do przestrzeni międzykomórkowych surowca roślinnego. Należy jednak wziąć pod uwagę destrukcyjny wpływ wysokiego gradientu ciśnienia na strukturę komórkową przy dużej różnicy potencjałów osmotycznych. Wpływ ten jest dodatkowo potęgowany działaniem podwyższonej temperatury, która zmniejsza wytrzymałość mechaniczną błon komórkowych.

Zgodnie z oczekiwaniem wzrost zarówno długości czasu odwadniania, jak i stężenia roztworu osmotycznego przyczynił się do zwiększenia ubytku masy plasterów, przy czym największa i jednocześnie istotna statystycznie wartość ubytku masy następowała w pierwszych dwóch godzinach odwadniania. Wyniki wielu badań potwierdzają, że największy ubytek masy występuje w początkowej fazie odwadniania osmotycznego [Kowalska i Lenart 2001, Rózek i in. 2007]. Jest to spowodowane dużą początkową różnicą

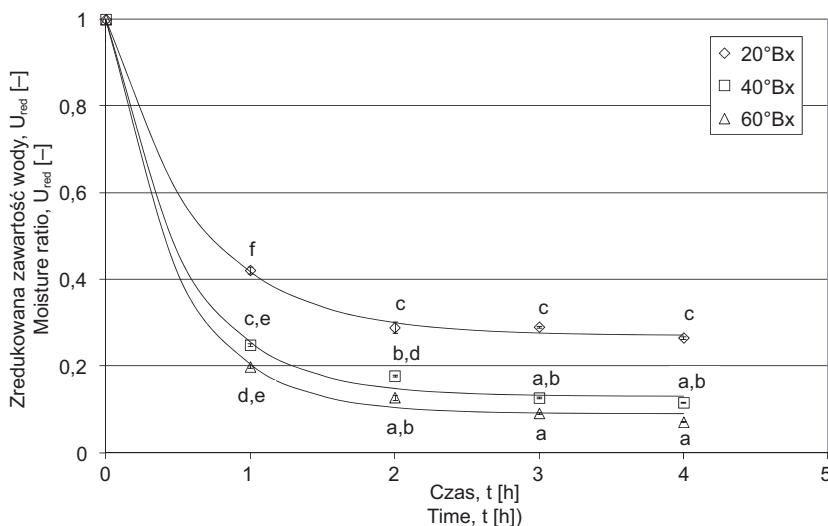


Rys. 1. Ubytek masy (RM) podczas odwadniania osmotycznego plasterów dyni w zagęszczonym soku pigwowca w temperaturze 45°C

Fig. 1. Weight loss (RM) during osmotic dehydration of pumpkin slices in condensed quince juice at temperature 45°C

potencjałów osmotycznych między dwoma ośrodkami reprezentowanymi przez suszony materiał roślinny i skoncentrowany roztwór osmotyczny. W miarę upływu czasu różnica potencjałów osmotycznych maleje, czego rezultatem jest zmniejszenie intensywności wymiany masy. Po upływie godziny w próbkach odwadnianych w roztworze o stężeniu 20°Bx nastąpiło zahamowanie wymiany masy, objawiające się nieznacznym wzrostem wartości RM w ciągu dalszych 3 godzin, wynoszącym zaledwie $0,7 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ w zakresie od 3,2 do 3,9 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$, podczas gdy w roztworze o stężeniu 40°Bx wzrost ten wyniósł 2,3 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ w zakresie od 5 do 7,3 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$, a w roztworze o stężeniu 60°Bx sięgał 2,9 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ w zakresie od 6,1 do 9 $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$

Zmiana masy próbek podczas odwadniania osmotycznego była ściśle związana z kinetyką odwadniania obrazującą spadek zredukowanej zawartości wody U_{red} (rys. 2) i wzrost względnego przyrostu suchej masy (Δsm) – rysunek 3. Największy spadek U_{red} nastąpił w pierwszej godzinie procesu odwadniania. Wartości U_{red} osiągnięte przy stężeniach 20, 40 i 60°Bx wynosiły wówczas odpowiednio: 0,42, 0,25 i 0,20, co przy początkowej zawartości wody, sięgającej 15,77 $\text{gH}_2\text{O}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$, odpowiadało zawartości wody wynoszącej 6,64, 3,92 i 3,13 $\text{gH}_2\text{O}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ Po dalszych trzech godzinach odwadniania osmotycznego wartości U_{red} spadły odpowiednio do 0,26, 0,12 i 0,07, co odpowiadało zawartości wody wynoszącej 4,19, 1,83 i 1,12 $\text{gH}_2\text{O}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s.m.}$ Należy zauważyć, że jedynie w ciągu pierwszych dwóch godzin procesu odwadniania wyznaczone wartości różniły się w sposób statystycznie istotny. Wzrost stężenia zagęszczonego soku sprzyjał uzyskiwaniu mniejszych wartości U_{red} , przy czym zwiększenie stężenia z 20 do 40°Bx było zdecydowanie bardziej efektywne niż zwiększenie stężenia z 40 do 60°Bx. Stwierdzono, że zwiększanie koncentracji zagęszczonego soku z owoców pigwowca powyżej 40°Bx nie prowadzi do statystycznie istotnej poprawy kinetyki odwadniania osmotycznego plasterów dyni.



Rys. 2. Zredukowana zawartość wody U_{red} plasterów dyni suszonych osmotycznie w zagęszczonym soku pigwowca o różnym stężeniu

Fig. 2. Moisture ratio U_{red} of pumpkin slices osmotically dehydrated in condensed quince juice of different concentration

Kinetykę spadku zredukowanej zawartości wody opisano przy użyciu modelu logarytmicznego [Jakubczyk 2009]:

$$U_{\text{red}} = a \cdot e^{-k \cdot t} + b \quad (4)$$

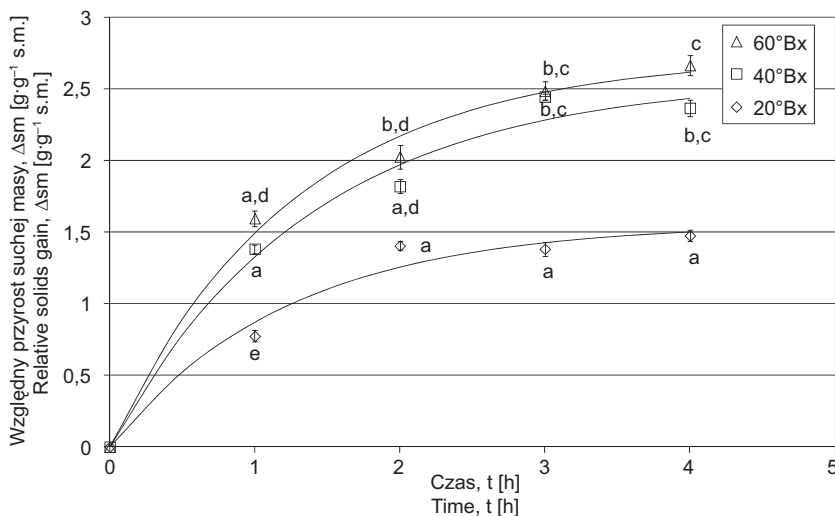
Wartości parametrów tego modelu zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości parametrów modelu logarytmicznego (4) opisującego spadek U_{red} w czasie odwadniania osmotycznego

Table 1. Values of parameters of logarithmic model (4) describing lowering of U_{red} during osmotic dehydration

Stężenie [%] Concentration [%]	a	k	b	R^2
20	0,7302	1,5956	0,2701	0,9990
40	0,8688	1,9322	0,1306	0,9980
60	0,9102	2,0689	0,0895	0,9985

Na podstawie wyników przedstawionych na rysunku 3 można stwierdzić, że względny przyrost suchej masy (Δsm) także był najintensywniejszy podczas pierwszej godziny odwadniania osmotycznego, przy czym znaczne zmiany Δsm zaobserwowano również w kolejnej godzinie w przypadku stężenia 20°Bx oraz w kolejnych dwóch godzinach w przypadku stężenia 40 i 60°Bx. Ostatecznie po czterech godzinach odwadniania osmotycznego w sokach o stężeniu 20, 40 i 60°Bx wartości Δsm wynosiły odpowiednio: 1,47, 2,36 i 2,66 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.m.}$. Należy podkreślić, że statystycznie istotne różnice wartości Δsm ujawniły się jedynie w pierwszych dwóch godzinach trwania procesu odwadniania. Za-



Rys. 3. Względny przyrost suchej masy (Δsm) w plastrach dyni suszonych osmotycznie w zagęszczonym soku pigwowca o różnym stężeniu

Fig. 3. Relative solids gain Δsm in pumpkin slices osmotically dehydrated in condensed quince juice of different concentration

uważono także, że zwiększanie koncentracji zagęszczonego soku z owoców pigwowca powyżej 40°Bx nie przyczyniło się do istotnego zwiększenia wartości Δsm podczas odwadniania osmotycznego plasterów dyni.

Kinetykę względnego przyrostu suchej masy (Δsm) opisano przy użyciu równania wykładniczego:

$$\Delta sm = a \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{b}} \right) \quad (5)$$

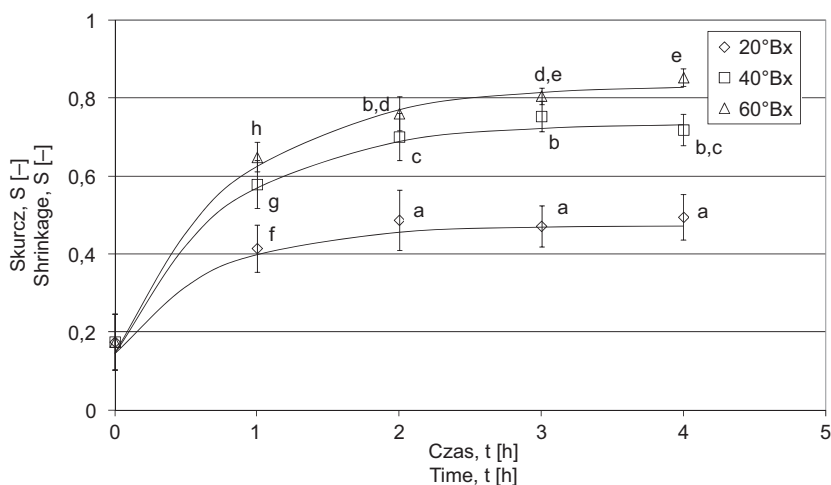
Wartości parametrów tego równania zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości parametrów równania wykładniczego (5) opisującego wzrost względnego przyrostu suchej masy (Δsm) w funkcji czasu odwadniania próbek dyni

Table 2. Values of exponential model (5) describing relative solids gain (Δsm) as a function of pumpkin samples dehydration time

Stężenie [%] Concentration [%]	<i>a</i>	<i>b</i>	R ²
20	1,561	1,229	0,9783
40	2,574	1,385	0,9856
60	2,730	1,267	0,9926

Wzrost skurczu (*S*) próbek dyni podczas odwadniania osmotycznego w zagęszczonym soku z owoców pigwowca (rys. 4) wynika z ubytku wody, który ma decydujący wpływ na ubytek masy (*RM*) – rysunek 1. Mayor i in. [2011] wykazali, że objętość próbek dyni odwadnianych w roztworach sacharozy i chlorku sodu o temperaturze 70°C malała liniowo wraz z redukcją ich masy. Ubytek masy (*RM*) tylko w nieznacznym stopniu rekom-



Rys. 4. Skurcz (*S*) plasterów dyni suszonych osmotycznie w zagęszczonym soku pigwowca o różnym stężeniu

Fig. 4. Shrinkage (*S*) of pumpkin slices osmotically dehydrated in condensed quince juice of different concentration

pensowany jest przyrostem zawartości suchej substancji. Dlatego przebieg wartości S był podobny do zmian wartości RM . Na podstawie wyników badań wykazano, że po dwóch godzinach odwadniania osmotycznego próbek dyni w zagęszczonym soku z pigwowca o stężeniu 20 i 40°Bx wartości skurczu wynosiły 0,47 i 0,67. Wartości te były tylko nieznacznie mniejsze od wartości uzyskanych po czterech godzinach procesu odwadniania. W przypadku odwadniania osmotycznego w roztworze o stężeniu 60°Bx skurcz uległ zwiększeniu w ciągu dwóch ostatnich godzin procesu od 0,75 do 0,85. Stwierdzono, że zwiększenie koncentracji zagęszczonego soku z owoców pigwowca w zakresie od 20 do 60°Bx spowodowało istotne zwiększenie wartości skurczu plasterów dyni. Wzrost skurczu (S) w całym przedziale czasu opisano przy użyciu równania wykładniczego:

$$S = a \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{b}} \right) + c \quad (6)$$

Wartości parametrów tego równania zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości parametrów równania wykładniczego (6) opisującego skurcz próbek dyni suszonych osmotycznie w zagęszczonym soku z pigwowca

Table 3. Values of exponential model (6) describing shrinkage of pumpkin samples dehydrated osmotically in condensed quince juice

Stężenie [%] Concentration [%]	a	b	c	R^2
20	0,3275	0,6738	0,1442	0,9939
40	0,5900	0,7865	0,1437	0,9957
60	0,6857	0,8399	0,1464	0,9966

WNIOSKI

1. Spadek zredukowanej zawartości wody w plasterach dyni suszonych w zagęszczonym soku z owoców pigwowca opisano przy użyciu modelu logarytmicznego, a wzrost względnego przyrostu zawartości suchej masy i skurczu spowodowanego odwadnianiem – przy użyciu funkcji wykładniczej. Zaproponowane równania, wyznaczone przy dużych wartościach współczynnika determinacji, pozwalają ze stosunkowo dużą dokładnością prognozować zmiany wyznaczanych parametrów podczas odwadniania osmotycznego przy stężeniach zagęszczonego soku, wynoszących 20, 40 oraz 60°Bx.

2. Istotnie statystycznie zmiany wartości zredukowanej zawartości wody, względnego przyrostu zawartości suchej masy oraz skurczu następowały jedynie w ciągu dwóch pierwszych godzin odwadniania osmotycznego trwającego cztery godziny.

3. Wzrost stężenia roztworu osmotycznego sporządzonego z zagęszczonego soku owoców pigwowca spowodował spadek zredukowanej zawartości wody oraz wzrost skurczu i względnego przyrostu zawartości suchej masy w plasterach dyni, przy czym zwiększenie stężenia od 40 do 60°Bx nie przyczyniło się do powstania istotnych różnic między wartościami zredukowanej zawartości wody oraz względnego przyrostu zawartości suchej masy.

LITERATURA

- Castilho Garcia C., Aparecida Mauro M., Kimura M., 2007. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). *Journal of Food Engineering* 82, 284–291.
- Cao H., Zhang M., Mujumdar A.S., Du W., Sun J., 2006. Optimization of osmotic dehydration of kiwifruit. *Drying Technology* 24 (1), 89–94.
- Jakubczyk E., 2009. Charakterystyka suszenia konwekcyjno-mikrofalowego spienionego przecieru jabłkowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 1 (62), 109–118.
- Kowalska H., Lenart A., 2001. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *Journal of Food Engineering* 49, 137–140.
- Kowalska H., Lenart A., Leszczyk D., 2008. The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin. *Journal of Food Engineering* 86, 30–38.
- Mayor L., Moreira R., Sereno A.M., 2011. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. *Journal of Food Engineering* 103, 29–37.
- Rasouli M., Seiedlou S., Ghasemzadeh H.R., Nalbandi H., 2011. Convective drying of garlic (*Allium sativum* L.). Part I: Drying kinetics, mathematical modeling and change in color. *Australian Journal of Crop Science* 5 (13), 1707–1714.
- Rózek A., Achaerandio I., Güell C., López F., Ferrando M., 2007. Mass transfer during osmotic dehydration in a multicomponent solution rich in grape phenolics with antioxidant activity. *Drying Technology* 25 (11), 1847–1855.
- Waliszewski K.N., Delgado J.L., Garcia M.A., 2002. Equilibrium concentration and water and sucrose diffusivity in osmotic dehydration of pineapple slabs. *Drying Technology* 20 (2), 527–538.

KINETICS OF OSMOTIC DEHYDRATION OF PUMPKIN SLICES IN CODENSED JUICE FROM QUINCE FRUIT

Summary. The aim of this study was to determine the effect of temperature and concentration of condensed juice from quince fruit on the kinetics of osmotic dehydration and shrinkage of the pumpkin slices. Drying kinetics concerned decreasing of moisture ratio and relative solids gain in the slices. Pumpkin slices of diameter 18 mm and thickness of 6 mm were dried for 4 hours in the condensed juice of concentration 20, 40 and 60°Bx at 45°C. The decreasing of the moisture ratio of pumpkin slices was described using the logarithmic model, while the relative solids gain and shrinkage by using an exponential function. It was found, that the significant changes in the determined parameters occurred in the first two hours of osmotic dehydration. The increase in the concentration of the osmotic solution decreased the moisture ratio and increased shrinkage as well as relative solids gain of pumpkin slices. However, increasing the concentration from 40 to 60°Bx did not contribute to the creation of significant differences between the values of the moisture ratio and the relative solids gain.

Key words: pumpkin, quince, juice, osmotic dehydration