

Hanna Kowalska, Andrzej Lenart  
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,  
Wydział Technologii Żywności, SGGW, Warszawa

## Zmiany struktury tkanki roślinnej wywołane odwadnianiem osmotycznym

### Streszczenie:

Przedstawiono wyniki badań dotyczące jednego ze sposobów usuwania wody z żywności - odwadniania osmotycznego jabłek i marchwi w różnych roztworach osmotycznych w zakresie temperatury od 30 do 80°C. W wyniku tego procesu nastąpiły zmiany składu chemicznego oraz struktury jabłek i marchwi. Odwadnianie osmotyczne obu surowców w roztworze glukozy spowodowało uzyskanie największych ubytków wody, ale jednocześnie miał miejsce największy przyrost masy suchej substancji. Największe zmiany strukturalne tkanki miały miejsce przy zastosowaniu roztworu syropu skrobiowego i podwyższonej temperatury do 80°C. W oparciu o osiągnięte wyniki i zmiany strukturalne za najkorzystniejsze warunki odwadniania osmotycznego uznano roztwór sacharozy oraz temperaturę 50°C dla jabłek i 30°C dla marchwi.

**Słowa kluczowe:** struktura, tkanka roślinna, ubytek wody, substancja osmotyczna, jabłka, marchew

### Oznaczenia:

WL - ubytek wody [gH<sub>2</sub>O/g p.s.s.]

SG - przyrost masy suchej substancji [g/g p.s.s.]

dWL - szybkość usuwania wody [gH<sub>2</sub>O/g p.s.s.·min]

dSG - szybkość wnikania substancji osmotycznej [g/g p.s.s.·min]

### Wprowadzenie

Owadnianie osmotyczne jest jednym ze sposobów usuwania wody, które umożliwia opracowanie technologii w dużym stopniu zachowujących wartości odżywcze i sensoryczne utrwalonej żywności. Jednocześnie, w porównaniu z innymi metodami, uszkodzenie struktury żywności jest znacznie mniejsze. Niższe jest również zużycie energii, a produkt charakteryzuje się wysoką jakością. Ponadto tkanka roślinna stanowi dogodny materiał do wprowadzania dodatkowych substancji, jak np. witamin, związków mineralnych. Jednocześnie obniżona zawartość wody wpływa na przedłużenie trwałości produktu, zaś większa koncentracja soku komórkowego i obecność substancji osmotycznej poprawiają jego jakość i umożliwiają wykorzystanie do dalszej obróbki [Lazarides I in., 1995]. Z tego względu odwadnianiu osmotycznemu w ostatnim czasie poświęca się coraz więcej uwagi [Kowalska i Lenart, 2000; Barat i in., 2004; Piotrowski i in., 2004]. Żywność o budowie tkankowej jest jednym z głównych atrybutów decydujących o jakości żywności, a tym samym jej marketingu i akceptacji przez konsumenta.

Z punktu widzenia technologicznego surowce roślinne stanowią matrycę, która nie uczestniczy w wymianie masy, ale umożliwia utrzymanie, bądź przepływ określonych strumieni, co może mieć duże znaczenie przy projektowaniu

nowych produktów, a tym samym prowadzi do wzrostu spożycia owoców i warzyw.

Błony biologiczne (biomembrany) są to podstawowe struktury wszystkich komórek żywych organizmów. Mają budowę lipidowo-białkową i występują w postaci błony komórkowej, oddzielającej wewnątrz komórki od otoczenia oraz błon śródkomórkowych, otaczających organelle komórkowe i tworzących system różnego rodzaju pęcherzyków, istotnych elementów systemu transportu wewnątrz i międzykomórkowego. Błona komórkowa spełnia niezwykle ważną rolę w regulowaniu składu treści komórkowej, ponieważ przez nią wprowadzane są wszystkie składniki pokarmowe wnikające do komórki oraz wszystkie wydaliny

i wydzieliny przedostające się z niej na zewnątrz. Ponadto utrudnia przenikanie pewnych związków, umożliwia wnikanie innych [Mavroudis i in., 1998; Kowalska i Lenart, 2001; Nieto i in., 2004].

Wprowadzenie określonych warunków odwadniania osmotycznego z udziałem innych sposobów utrwalań, np. suszenia lub zamrażania, stwarza możliwość wykreowania nowych atrakcyjnych dla konsumentów produktów.

### **Cel i zakres pracy**

Celem pracy było określenie zmian zachodzących w jabłkach i marchwi w wyniku usuwania wody i równoczesnego nasycania substancjami osmotycznymi. W zakresie pracy ujęto wpływ rodzaju substancji osmotycznej i temperatury na przebieg odwadniania osmotycznego oraz na zmiany struktury jabłek i marchwi wywołane odwadnianiem osmotycznym.

### **Metodyka**

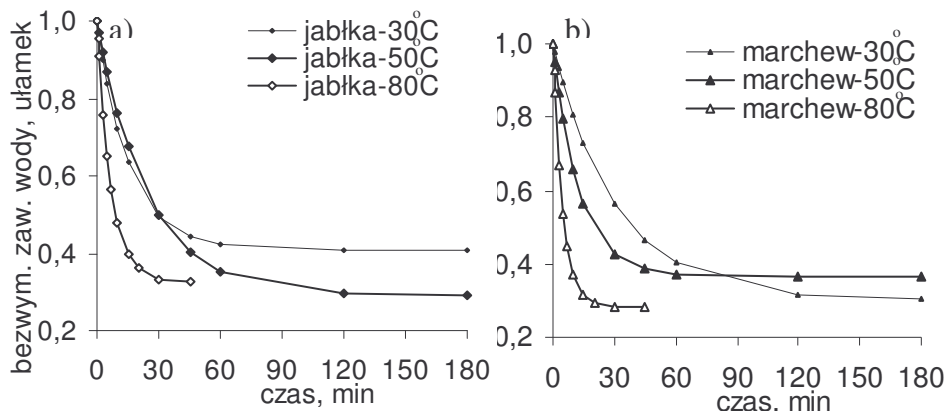
Badania prowadzono na jabłkach odmiany Idared i marchwi odmiany Karotka. Surowiec w kształcie kostek o boku 10 mm odwadniano w roztworach glukozy, sacharozy i syropu skrobiowego (o równoważniku glukozowym DE 30-35) w stężeniach odpowiadających aktywności wody 0,9 oraz przy stosunku masy surowca do masy roztworu osmotycznego 1:4. Proces prowadzony był w temperaturze 30, 50 i 80°C w czasie do 180 minut. Odwadnianie w warunkach dynamicznych prowadzono w wyniku wprawienia naczyń pomiarowych w ruch drgający o amplitudzie 50 obr/min. W czasie każdego eksperymentu po określonym czasie oznaczano masę próbki i zawartość wody (PN-90/A-75-75101/03). Odwadnianie osmotyczne jabłek i marchwi analizowano na podstawie bezwymiarowej zawartości wody, szybkości usuwania wody [ $\text{gH}_2\text{O/g p.s.s.}\cdot\text{min}$ ] oraz szybkości wnikania substancji osmotycznej w przeliczeniu na początkową masę suchej substancji [ $\text{g/g p.s.s.}\cdot\text{min}$ ].

Strukturę materiału surowego i próbek odwodnionych osmotycznie w roztworach glukozy, sacharozy i syropu skrobiowego w temperaturze 30 i 80°C określano na podstawie zdjęć wykonanych w skaningowym mikroskopie elektronowym JSM-35 firmy JOEL przy napięciu przyspieszającym 25kV.

Współczynnik kształtu i średnicę komórek jabłek i marchwi analizowano za pomocą programu komputerowego Mocha (wersja 1.2).

## Wyniki badań i ich analiza

Na rysunku 1 przedstawiono zmiany zawartości wody jako wielkości bezwymiarowe.



Rys. 1. Zmiany zawartości wody podczas odwadniania osmotycznego surowców w roztworze glukozy: a – jabłek, b - marchwi:

Fig. 1. Water content during osmotic dehydration of raw materials in glucose solution: a - apples, b - carrots

Zaobserwowano, że w wyniku wzrostu temperatury nastąpiło większe obniżenie zawartości wody. Największe zmiany zawartości wody miały miejsce na początku procesu.

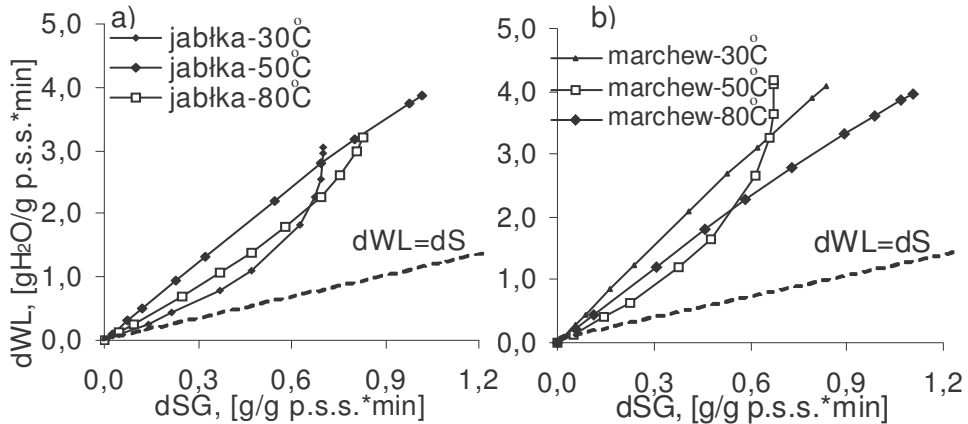
Po dłuższym czasie odwadniania osmotycznego zawartość wody zmieniała się nieznacznie. W jabłkach odwadnianych w roztworze glukozy w temperaturze 30 i 50°C zmiany zawartości wody do około 30 minut odwadniania osmotycznego były zbliżone.

Na podstawie analizy statystycznej wykazano istotny wpływ temperatury na obniżenie zawartości wody w jabłkach i marchwi odwadnianych w roztworach glukozy, sacharozy i syropu skrobiowego [Kowalska i Lenart, 2001].

Podwyższona temperatura spowodowała większy przepływ wody i intensywną wymianę masy w strefie powierzchniowej produktu dzięki obniżonej lepkości roztworu osmotycznego. Wynika to również z faktu, że w wyniku podwyższenia temperatury nastąpiła częściowa deformacja ścian komórkowych i zakłócenie selektywnej zdolności przepływu różnych substancji przez błony komórkowe. Wymiana masy podczas odwadniania osmotycznego w niższych temperaturach nie była tak intensywna ze względu na duży opór stawiany przez tkankę, co wymagało zastosowania dłuższego czasu odwadniania osmotycznego badanych surowców.

Zaobserwowano (rys. 2), że szybkość usuwania wody była znacznie większa od szybkości wnikania suchej substancji. Porównując stosunek  $dWL/dSG$ , okazało się, że w przypadku jabłek (rys. 2a) najlepsze efekty uzyskano podczas odwadniania w temperaturze 50°C ( $dW/dSG$  w całym zakresie pomiarowym mieścił się w zakresie 3,8-4,2). W temperaturze 30°C następowało stopniowe

powiększanie się stosunku  $dW/dSG$  od 1,8 do 4,3 i w nieco niższym zakresie w 80°C od 2,6 do 3,9. Natomiast w marchwi (rys. 2b) uzyskano stosunkowo duże ubytki wody przy ograniczonym wnikanu substancji osmotycznej w temperaturze 30°C ( $dWL/dSG=4,9-5,2$ ), mniejsze w 50°C ( $dWL/dSG=3,6-4,0$ ) i największe w 80°C (sięgające do  $dWL/dSG=6,2$ ).



Rys. 2. Zależność szybkości usuwania wody od szybkości wnikanu suchej substancji w czasie odwadniania osmotycznego jabłek i marchwi w roztworze glukozy: a - w jabłkach, b – w marchwi

Fig. 2. Relationship between rate of water loss and solids gain during osmotic dehydration in glucose solution: a - apples, b - carrots

Zmiany struktury tkanki jabłek i marchwi w wyniku odwadniania osmotycznego przedstawiono na rys. 3 i 4.

Tkanka jabłek świeżych (rys. 3a) złożona jest z komórek o kształcie heksagonalnym o współczynniku kształtu wynoszącym, około 0,80 (tab. 1). Wynikające z takiego ułożenia przestrzenie międzykomórkowe zajmują znaczną część objętości jabłek. Średnia średnica komórek jabłek wynosi około 110  $\mu\text{m}$ .

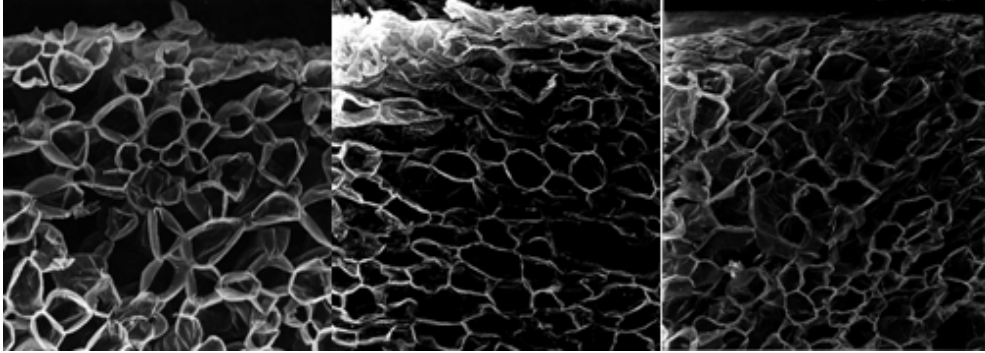
Komórki korzenia świeżej marchwi (rys. 4a) charakteryzują się większą różnorodnością pod względem wielkości komórek w porównaniu z jabłkiem. Pod uwagę wzięto komórki miększu, których średnica wynosi około 38  $\mu\text{m}$ . Komórki marchwi surowej mają kształt kilkuściennych wieloboków (współczynnik kształtu około 0,84) ściśle do siebie przylegając, co eliminuje istnienie dużych powierzchni zajmowanych przez przestrzenie międzykomórkowe.

Owadnianie jabłek i marchwi prowadzone w czasie 24 godzin w temperaturze 30°C spowodowało, że zmiany struktury zbliżone były do tych, jakie uzyskano w krótkim czasie odwadniania (ok. 30 minut) w podwyższonej temperaturze (80°C).

a)

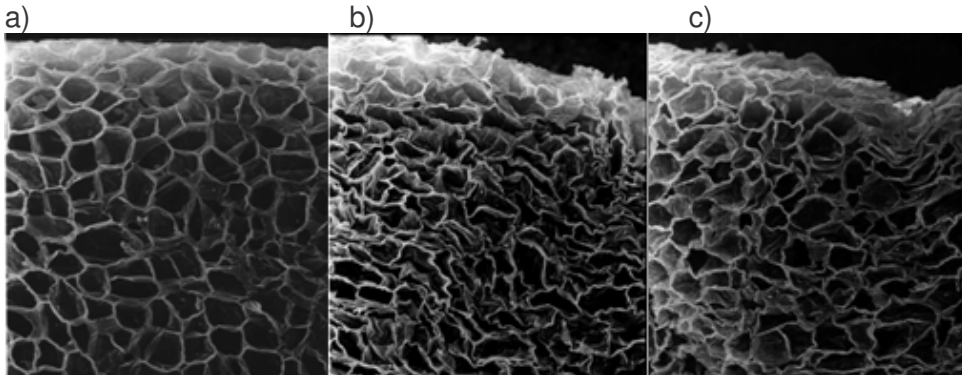
b)

c)



Rys. 3. Struktura tkanki jabłek a – surowe; odwadniane (24 godz, 30°C) w roztworze: b - glukozy, c – sacharozy. Powiększenie 60x.

Fig. 3. Structure of apples tissue: a – raw material; dehydrated (24 h, 30°C) in: b –glucose solution, c - sucrose solution. Zoom 60x



Rys. 4. Struktura tkanki marchwi a –surowa; odwadniana (24 godz, 30°C) w roztworze: b - glukozy, c – sacharozy. Powiększenie 200x

Fig. 4. Structure of carrots tissue: a – raw material, dehydrated (24 h, 30°C) in: b – glucose solution, c - sucrose solution. Zoom 200x

Niezależnie od rodzaju substancji osmotycznej, komórki jabłek i marchwi uległy zmniejszeniu i nastąpiło większe ich upakowanie oraz zniekształcenie ścian komórkowych (rys. 3 i 4). Najbardziej widoczna w tkance jabłek powierzchnia zajmowana przez przestrzeń międzykomórkowe uległa również znacznemu zmniejszeniu. W dużym stopniu został zmniejszony współczynnik kształtu komórek do około 0,71-0,74 w jabłkach i 0,55-0,68 w marchwi, niezależnie od zastosowanego roztworu osmotycznego (tab. 1). Średnia średnica komórek tkanki jabłek została zmniejszona o około 5-18% w jabłkach odwadnianych w roztworze glukozy, sacharozy i syropu skrobiowego, zaś w marchwi o około 20-30%.

Tab. 1. Analiza matematyczna struktury jabłek i marchwi

Tab. 1. Mathematical analysis of apple and carrot structure

wart. średnia/ odchyl. standard.	wsp. kształtu	średnica Fereta, $\mu\text{m}$
jabłka surowe	<b>0.80/0.05</b>	<b>110.52/8.62</b>
jabłka odwadniane (24 godz., 30°C) w roztworze:		
glukoza	<b>0.71/0,10</b>	<b>108.27/16.40</b>
sacharoza	<b>0.74/0.07</b>	<b>96.85/18.27</b>
syrop skrobiowy	<b>0.71/0.11</b>	<b>89.26/14.73</b>
marchew surowa	<b>0.84/0.04</b>	<b>38,20/5,46</b>
marchew odwadniana (24 godz., 30°C) w roztworze:		
glukoza	<b>0.55/1,21</b>	<b>26,51/5,66</b>
sacharoza	<b>0.68/0.09</b>	<b>31,96/6.27</b>
syrop skrobiowy	<b>0.67/0.12</b>	<b>28,12/13,22</b>

Wielkość i kształt komórek zależały od ilości usuniętej wody, która w marchwi została obniżona w większym stopniu w porównaniu z jabłkami, niezależnie od temperatury procesu (rys. 1). Przyrost masy suchej substancji tylko nieznacznie ograniczał deformację ścian komórkowych. W jabłkach jak i w marchwi odwadnianych w roztworze sacharozy w zakresie temperatury 30-50°C uzyskano najbardziej korzystne obniżenie zawartości wody i wysycenie substancją osmotyczną badanej tkanki, głównie w warstwach zewnętrznych, co nie spowodowało znaczących zmian kształtu i wielkości komórek.

## Wnioski

Na zmiany tkanki roślinnej podczas odwadniania osmotycznego jabłek i marchwi wpływ miała intensywność wymiany masy, która uzależniona była od temperatury procesu.

Za najkorzystniejszą temperaturę odwadniania osmotycznego jabłek uznano 50°C, a dla marchwi 30°C. Ubytki wody były największe, a przyrosty suchej masy najmniejsze. Stosunek szybkości usuwania wody do szybkości wnikania substancji osmotycznej wyniósł około 4 dla jabłek i około 5 dla marchwi.

Odwadnianie osmotyczne prowadzone w czasie 24 godzin spowodowało znaczną deformację struktury tkanki roślinnej i zmniejszenie wielkości komórek oraz przestrzeni międzykomórkowych.

Na zmiany struktury tkanki roślinnej podczas odwadniania osmotycznego miał wpływ rodzaj substancji osmotycznej. Najmniejsze zmiany miały miejsce przy zastosowaniu roztworu sacharozy i temperatury 30-50°C.

## **Bibliografia**

Barat J.M., Rodriguez-Barona S., Andrès A., Visquert M. 2000: Mass transfer analysis during the cod desalting process. *Food Research International*, Elsevier 37(2004) pp.203–208

Kowalska H., Lenart A., 2000: The influence of plant tissue structure on osmotic dehydration, 12th International Drying Symposium IDS, Netherlands, Hague, paper nr 242

Kowalska H., Lenart A., 2001: Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables, *Journal of Food Engineering* 49 (2/3), 137-140

Lazarides H. N., Katsanidis E., Nicolaidis A. (1995): "Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake"; *Journal of Food Engineering*, 25, 151-165

Mavroudis M.E., Gekas W., Sjöholm I., 1998: Osmotic dehydration of apples. Shrinkage phenomena and the significance of initial structure on mass transfer rates. *Journal of Food Engineering*, Elsevier 38 (1998) 101-123

Nieto A.B., Salvatori D.M., Castro M.A., Alzamora S.M., 2004: Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, Elsevier 61(2) pp: 269-278

Piotrowski D., Lenart A., Wardzyński A., 2004: Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. *Journal of Food Engineering*, Elsevier 65 (2004) pp. 519–525

## **Changes of structure in plant tissue followed dewatering**

### **Summary**

Osmotic dehydration of apples was carried out in solution of glucose, sucrose and starch syrup. Temperature of dewatering was changed from 30 to 50 and 80°C. Time of dehydration was varied from 0 to 180 min. Osmotic dehydration of apples depends on processing time, the kind of osmotic substances and temperature. When the time of processing is longer, osmotic dehydration is more intensive, because tissue structure of apples has some loose. The most significant changes of water content, water loss and solids gain took place during osmotic dehydration of apples and carrots at 80°C temperature. The optimal parameters of osmotic dehydration were obtained by using saccharose solution and 50°C for apples and 30°C for carrots. In that cases deformation of tissue structure was not considerable.

**Keywords:** structure, plant tissue, water loss, solids gain, apple, carrot.