

WPLYW WŁAŚCIWOŚCI TKANKI ROŚLINNEJ
NA DYFUZJĘ SUBSTANCJI OSMOAKTYWNYCH

Andrzej Lenart

SGGW-AR w Warszawie

Konwencjonalne metody utrwalania żywności np. suszenie i zamrażanie wywołują zmiany w produktach spożywczych oraz niszczą ich strukturę. W celu uniknięcia niekorzystnych zmian w utrwalanych produktach dąży się do opracowania metod usuwania wody z żywności bez przemiany fazowej. Do takich metod zalicza się osmotyczne odwadnianie polegające na usuwaniu wody z materiału w hipertonicznych roztworach substancji osmoaktywnych. W zależności od rodzaju odwadnianego surowca ze względów organoleptycznych stosuje się odpowiednie substancje osmoaktywne. Owoce najczęściej odwadnia się w syropie cukrowym, natomiast do odwadniania warzyw, mięsa, drobiu i ryb stosuje się roztwory chlorku sodu [2, 3, 6].

Osmotyczne odwadnianie do 20-25% ubytku masy umożliwia utrwalanie poprzez zamrażanie lub suszenie surowców spożywczych o dużej zawartości wody i delikatnej strukturze, takich jak: pomidory, ogórki i selery. Usuwanie 8-10% wody poprzez osmotyczne odwadnianie podnosi efektywność takich procesów, jak np. smażenie. Usuwanie wody z powierzchni surowców zapobiega powierzchniowemu wyciekowi po rozmrożeniu mrożonek. W metodzie Intermediate-Moisture osiąga się podwyższenie trwałości produktu bez zamrażania czy suszenia po osmotycznym odwadnianiu [1-3].

Istotną rolę w uzyskiwaniu opisanych efektów procesu osmozy w surowcach spożywczych ma dyfuzyjny ruch wody i substancji osmoaktywnych. Dotychczas przeprowadzone badania dotyczyły opisu tego procesu dla poszczególnych surowców spożywczych [3, 6]. Celem niniejszej pracy była próba scharakteryzowania wpływu właściwości tkanki roślinnej na dyfuzję wody i substancji osmoaktywnych.

METODYKA PRACY

Analizie poddano wyniki uzyskane podczas osmotycznego odwadniania marchwi i ziemniaków w 15% roztworze chlorku sodu oraz jabłek w 68% roztworze sacharozy [3-5].

Na podstawie oznaczeń zawartości wody i substancji osmoaktywnych obliczono: zawartość wody na jednostkę suchej substancji pierwotnej, zawartość substancji osmoaktywnej na jednostkę suchej substancji pierwotnej, zmiany zawartości wody oraz zmiany masy surowca.

Zawartość wody na jednostkę suchej substancji pierwotnej (suchej masy bez substancji osmoaktywnej) obliczono ze wzoru:

$$U_{H_2O} = \frac{y(1+x)}{1-y(1+x)} \left[\frac{gH_2O}{g \text{ s.s.}} \right],$$

gdzie:

x - zawartość wody (g H₂O/g s.m.),

y - zawartość substancji osmoaktywnej (g/g s.m.).

Zawartość substancji osmoaktywnej na jednostkę suchej substancji pierwotnej określano za pomocą wzoru:

$$U = \frac{x}{1-y(1+x)} [g/g \text{ s.s.}].$$

Zmiany zawartości wody na jednostkę suchej substancji pierwotnej obliczano z zależności:

$$\Delta U_{H_2O} = U_{H_2O}^1 - U_{H_2O}^0 \left[\frac{g \text{ H}_2\text{O}}{g \text{ s.s.}} \right],$$

gdzie:

$U_{H_2O}^1$ - zawartość wody w surowcu w odległości l od powierzchni próbki (gH₂O/g s.s.),

$U_{H_2O}^0$ - zawartość wody w surowcu przed procesem osmozy, g H₂O/g s.s.

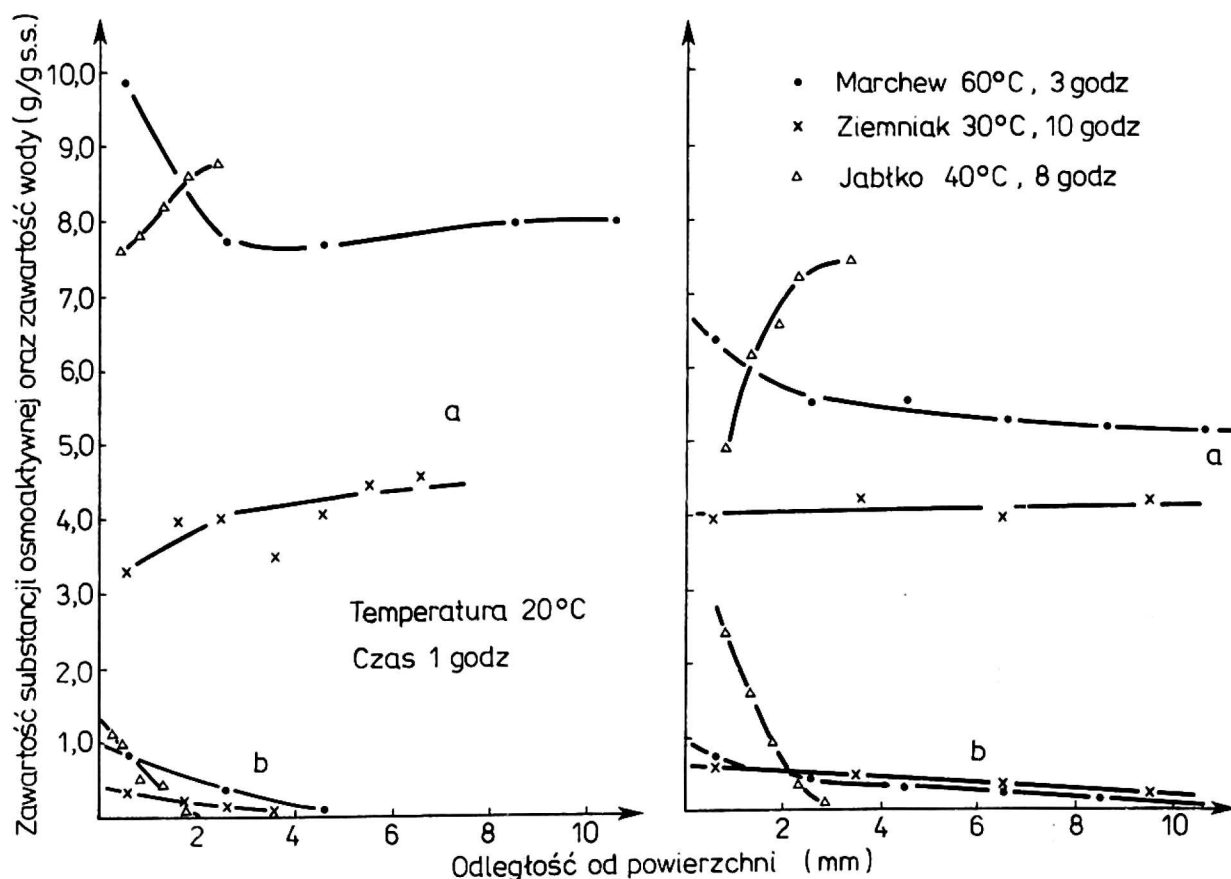
Zmiany masy surowca w odległości l od powierzchni próbki określano za pomocą wzoru:

$$\Delta^1 m = \Delta U_{H_2O}^1 + U^1 (g/g \text{ s.s.}).$$

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Przebieg procesu osmozy w wybranych tkankach roślinnych, ze szczególnym uwzględnieniem dyfuzji wody i substancji osmoaktywnych, przedstawiono na rysunkach 1-5. Właściwości tkanki roślinnej oraz parametry procesu osmozy mają istotny wpływ na przebieg zależności zawartości wody i zawartości substancji osmoaktywnej od odległości od powierzchni surowca (rys. 1).

W jabłku w zakresie temperatury osmozy 20-40°C i czasu 1-8 h zawartość wody obniża się w powierzchniowych warstwach próbki. Zmiany zawartości wody występują do głębokości ok. 3 mm. Przykładowo w temperaturze 20°C po 1 godzinie osmozy zawartość wody zmienia się z 7,6 g H₂O/g s.s. na głębokości 0,5 mm do 8,6 g H₂O/g s.s. na głębokości 2,0 mm, czyli około 13%, gdy w temperaturze 40°C po 8 godzinach zmienia się z 4,4 do 6,9 g H₂O/g s.s., czyli około 57%.



Rys. 1. Wpływ właściwości tkanki oraz parametrów procesu osmozy na zawartość wody oraz zawartość substancji osmoaktywnej w tkance roślinnej; a - krzywa zawartości wody, b - krzywa zawartości substancji osmoaktywnej

Powierzchniowemu ubytkowi wody w tkance jabłka towarzyszy dyfuzja sacharozy, która bardzo zależy od parametrów procesu.

W temperaturze 20°C po 1 godzinie zawartość sacharozy na głębokości 0,5 mm wynosi 0,85 g/g s.s., a na głębokości 2 mm zawartość sacharozy dyfundującej z roztworu jest równa zeru. W temperaturze 40°C po 8 godzinach zawartość sacharozy na głębokości 0,5 mm wzrasta natomiast ponad 3-krotnie - do 2,8 g/g s.s. Głębokość wnikania sacharozy zmienia się nieznacznie i wynosi 2,5 mm.

W ziemniaku w zakresie temperatury osmozy 20-40°C i czasu 1-10 h obserwuje się brak istotnych zmian zawartości wody (rys. 1). W niskich temperaturach występuje nieznaczne obniżenie zawartości wody w powierzchniowych warstwach tkanki do głębokości około 2 mm. Dyfuzja soli odbywa się natomiast na znaczne głębokości przy jednocześnie niskiej jej zawartości. W temperaturze 20°C po 1 godzinie osmozy zawartość soli na głębokości 0,5 mm wynosi 0,35 g/g s.s., a brak soli stwierdzono na głębokości 4 mm. W temperaturze 30°C po 10 godzinach procesu zawartość soli na głębokości 0,5 mm wzrasta 1,5 raza do 0,55 g/g s.s., a jej dyfuzja odbywa się do głębokości 12 mm.

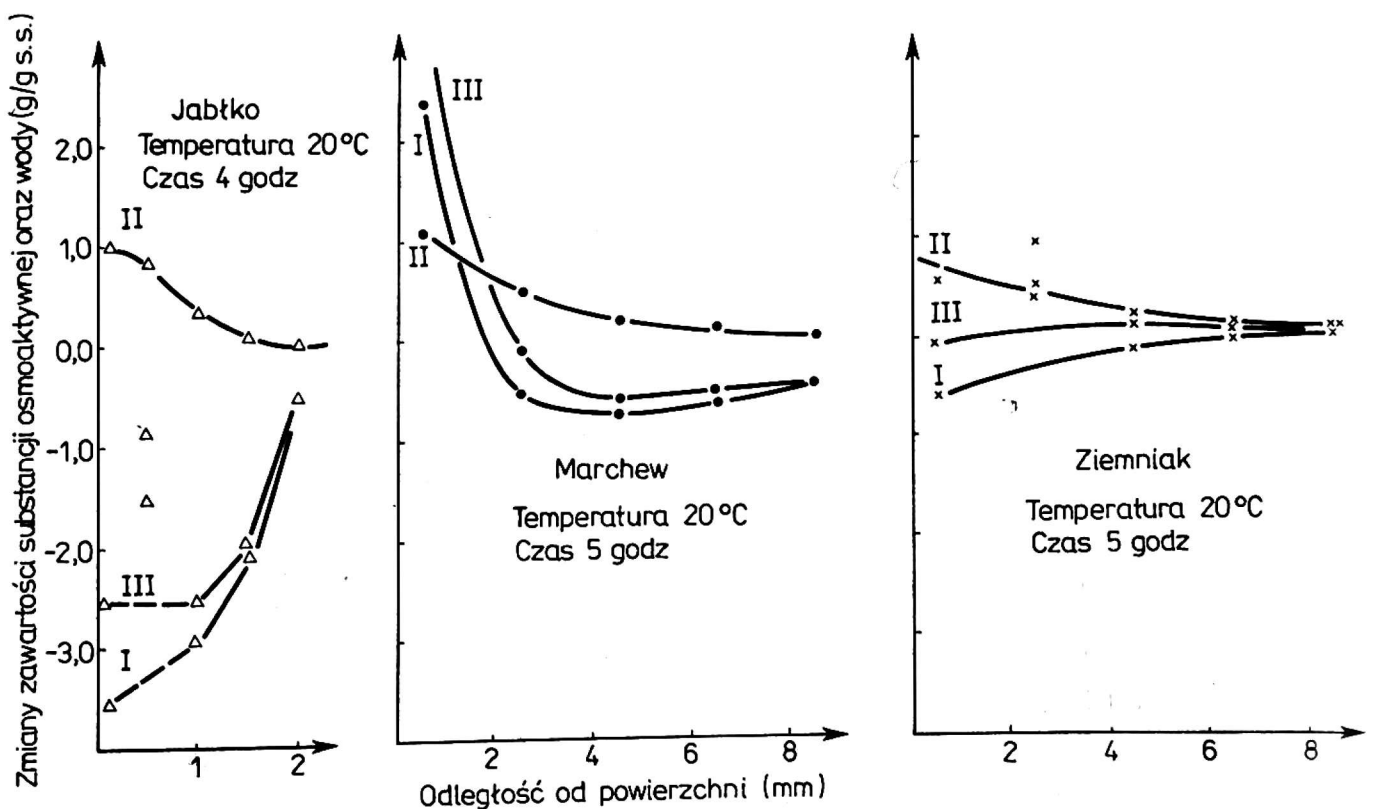
W marchwi w zakresie temperatury osmozy 20-60°C i czasu 1-5 godzin zawartość wody zależy od parametrów procesu i odległości od powierzchni próbki (rys. 1). Niezależnie od warunków osmozy obserwuje się wzrost zawartości wody w tkance marchwi do głębokości około 2 mm. W temperaturze 20°C po 1 godzinie zawartość wody zmienia się z 8,2 g H₂O/g s.s. na głębokości 2 mm do 9,85 g H₂O/g s.s. na głębokości 0,5 mm, czyli około 20%, a w temperaturze 60°C po 3 godzinach z 5,5 do 6,4 g H₂O/g s.s., czyli około 16%. Na głębokościach większych od 2 mm w niższych temperaturach obserwuje się nieznaczne obniżenie zawartości wody i jej wzrost do wartości wyjściowej. Wraz ze wzrostem temperatury i czasu procesu występuje obniżenie zawartości wody do znacznych głębokości. Przykładowo w temperaturze 60°C po 3 godzinach do głębokości większej od 10 mm.

Zmiany zawartości chlorku sodu w odwadnianej tkance marchwi są analogiczne do zmian zawartości wody. Głębokość penetracji soli odpowiada zakresowi obniżania się zawartości wody. W temperaturze 20°C po 1 godzinie głębokość ta wynosi około 4,5 mm, a w temperaturze 60°C po 3 godzinach jest większa od 10 mm.

Porównując przebieg procesu osmozy w tkance jabłka, ziemniaka i marchwi, należy stwierdzić, że w przypadku jabłek występuje znaczne obniżenie zawartości wody w warstwach powierzchniowych

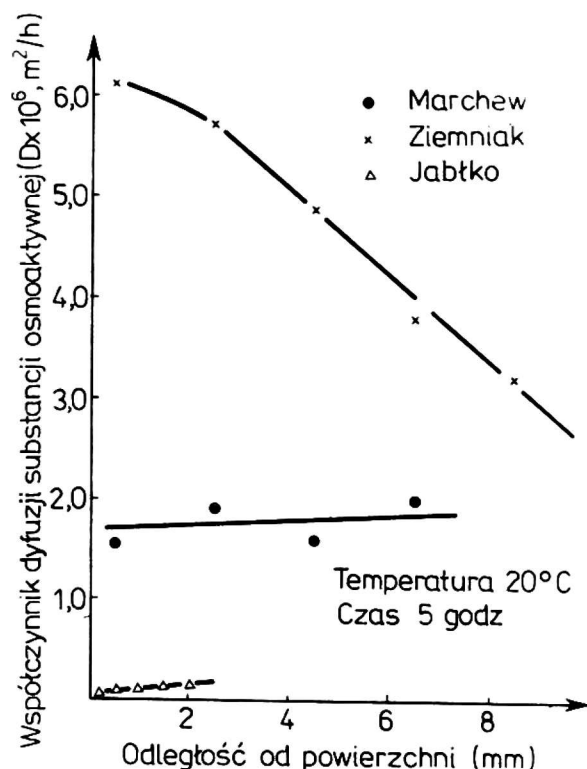
tkanki. Dyfuzji wody z tkanki jabłka towarzyszy dyfuzja sacharozy, która powoduje znaczny wzrost zawartości cukru. Oba procesy przebiegają do głębokości około 3 mm. W tkance ziemniaka zawartość wody zmienia się natomiast nieznacznie wraz ze zmianą odległości od powierzchni. Tylko w warstwach powierzchniowych do głębokości około 2 mm obserwuje się nieznaczne obniżenie zawartości wody w niższych temperaturach przebiegu procesu. Zasięg dyfuzji soli zależy od parametrów procesu i dochodzi do 12 mm. W przypadku tkanki marchwi obserwuje się wraz ze wzrostem temperatury i czasu procesu zwiększenie głębokości, do której zawartość wody jest większa od wartości wyjściowej. Jednocześnie do tych samych głębokości odbywa się dyfuzja chlorku sodu.

Podczas traktowania tkanki jabłka roztworem sacharozy występuje ruch wody na zewnątrz próbki i ruch cukru do wnętrza tkanki. Zjawiska te przebiegają w powierzchniowych warstwach tkanki. Wzrost czasu i temperatury osmozy zwiększa ilość usuniętej wody przy jednoczesnym wzroście zawartości sacharozy, ale bez wzrostu głębokości penetracji procesu. W założonych parametrach osmozy tkanka jabłka oddaje wodę, ale przy znacznej dyfuzji sacharozy do jej wnętrza.

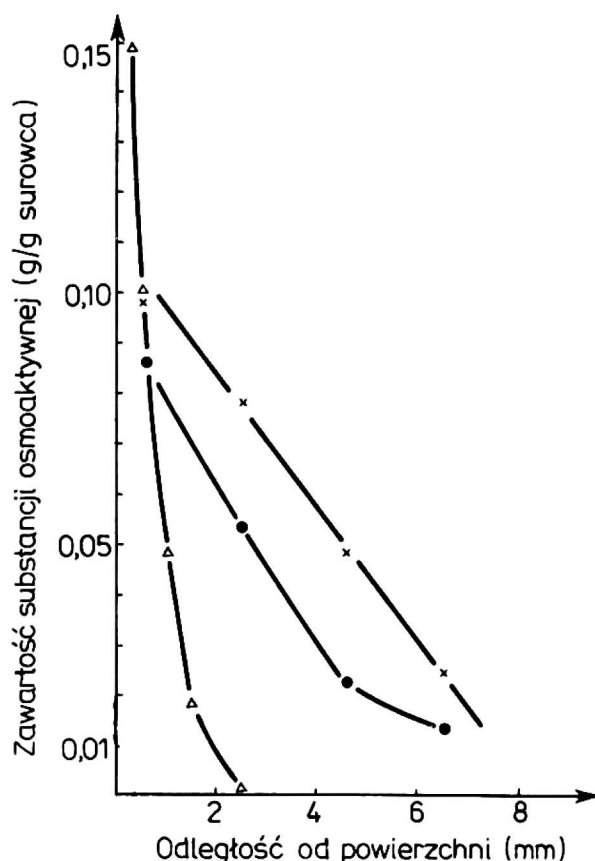


Rys. 2. Wpływ właściwości tkanki na zmiany zawartości wody oraz zawartości substancji osmoaktywnej w tkance roślinnej: I - krzywe zmian zawartości wody, II - krzywe zmian zawartości substancji osmoaktywnej, III - krzywe wynikowe zmian masy surowca

W tkance ziemniaka ruch wody występuje natomiast tylko w niewielkim stopniu w powierzchniowych warstwach, przy penetracji chlorku sodu na znaczne głębokości. Tkanka ziemniaka w przyjętych warunkach osmozy nie oddaje wody przy wchłanianiu chlorku sodu. Tylko powierzchniowe warstwy ulegają niewielkiemu odwodnieniu.



Rys. 3. Zmiany współczynnika dyfuzji substancji osmoaktywnej w tkance roślinnej podczas procesu osmozy



Rys. 4. Zmiany zawartości substancji osmoaktywnej w tkance roślinnej podczas procesu osmozy

W przypadku tkanki marchwi obserwuje się dyfuzję jednokierunkową wody i soli do wnętrza próbki. Wraz ze wzrostem temperatury i czasu osmozy proces obejmuje coraz głębsze warstwy tkanki marchwi. Tylko w niższych temperaturach wewnątrz tkanki występuje lokalne obniżenie zawartości wody.

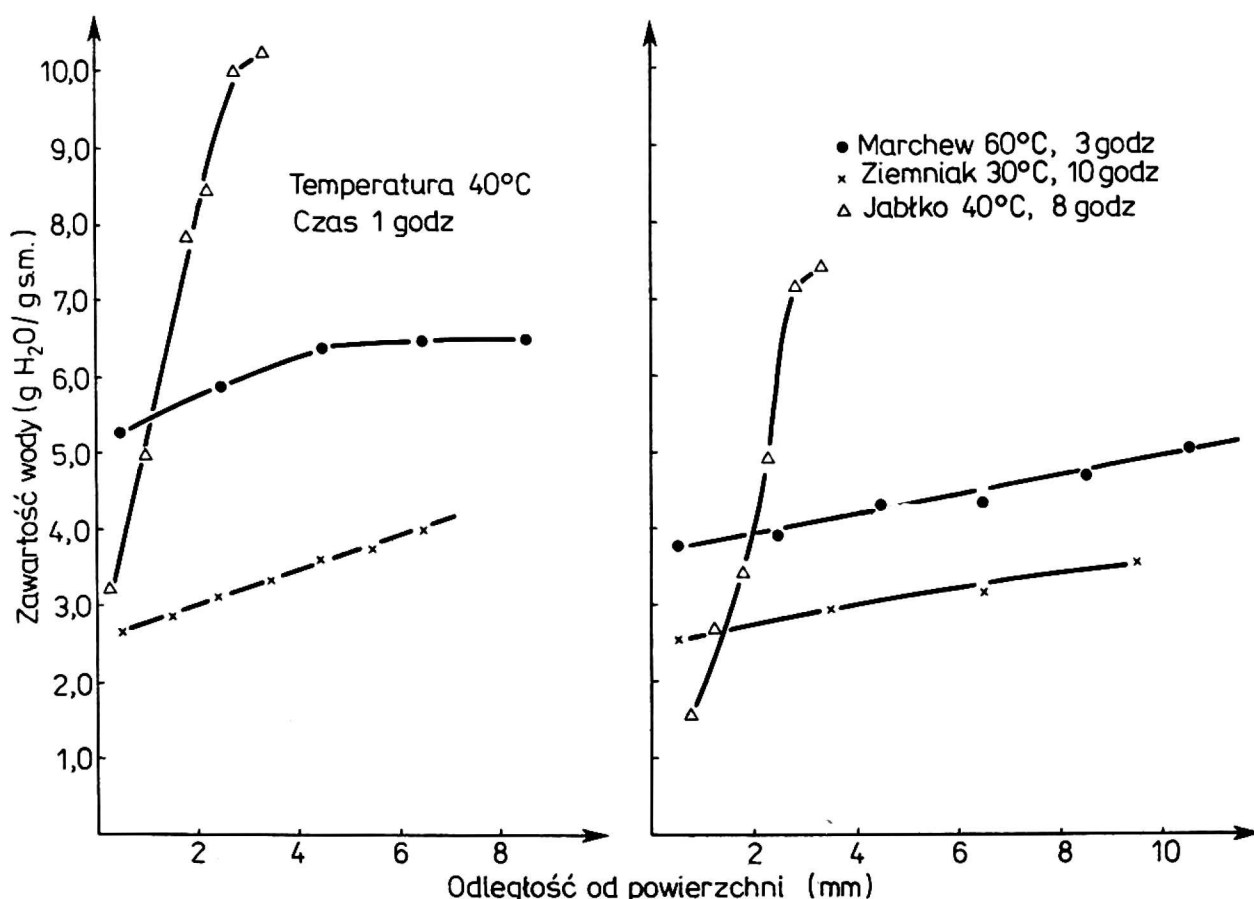
Przedstawioną interpretację potwierdzają zależności podane na rysunku 2. Dla wszystkich badanych surowców, tzn. dla jabłka, marchwi i ziemniaka, zmiany zawartości substancji osmoaktywnej są dodatnie. Największe przyrosty zawartości substancji osmoaktywnej występują w tkance jabłka i marchwi. Chlorek sodu przenika głębiej niż sacharoza. Wynika to tak z właściwości samych substancji osmoaktywnych, jak i właściwości tkanki roślinnej. Tylko dla jabłka zmiany zawartości wody mają zawsze znaczne war-

wpływ parametrów procesu osmozy na dyfuzję substancji osmotycznej w tkance roślinnej [3-5].

Temperatura (w °C)	Czas (w h)	Marchew					Ziemniaki					Jabłko				
		odleg- łość od pow. (w mm)	zawartość wody (w g H ₂ O/g s.m.)	zawartość soli NaCl/ (w g sur.)	współczyn- nik dyfuzji soli (w m ² /h·10 ⁶)	odleg- łość od pow. (w mm)	zawartość wody (w g H ₂ O/g s.m.)	zawartość soli NaCl/ (w g sur.)	współczyn- nik dyfuzji soli (w m ² /h·10 ⁶)	odleg- łość od pow. (w mm)	zawartość wody (w g H ₂ O/g s.m.)	zawartość sacharozы (w g cukru/ g sur.)	współczyn- nik dyfuzji cukru (w m ² /h·10 ⁶)			
20	1	0,5	5,54	0,067	2,21	0,5	2,49	0,070	1,08	0,125	3,28	0,125	0,04			
		2,5	6,15	0,028	3,64	1,5	3,31	0,038	1,65	0,375	3,86	0,102	0,09			
		4,5	7,47	0,003	2,53	2,5	3,57	0,023	2,23	0,75	5,03	0,059	0,17			
		6,5	6,96	0,000	-	3,5	3,29	0,011	2,51	1,25	5,80	0,042	0,28			
		8,5	7,97	0,000	-	4,5	4,02	0,002	2,53	1,75	7,95	0,002	0,39			
20	jabłko 4	0,5	4,97	0,087	1,56	0,5	2,52	0,099	6,11	0,125	2,35	0,148	0,03			
		2,5	5,03	0,054	1,92	2,5	3,28	0,079	5,72	0,50	3,49	0,103	0,07			
		4,5	5,33	0,023	1,59	4,5	3,61	0,049	4,88	1,00	4,00	0,049	0,09			
		6,5	6,58	0,014	2,06	6,5	3,95	0,024	3,78	1,50	5,99	0,019	0,12			
		8,5	7,55	0,000	-	8,5	4,04	0,021	3,24	2,00	7,65	-	0,14			
40	jabłko 2	0,5	5,27	0,033	5,90	0,5	2,69	0,091	7,56	0,25	3,18	0,147	0,07			
		2,5	5,84	0,012	6,17	1,5	2,87	0,0	7,09	1,00	4,97	0,077	0,16			
		4,5	6,38	-	-	2,5	3,13	0,052	6,50	1,75	7,87	0,23	0,23			
		6,5	6,24	0,000	-	4,5	3,35	0,032	6,25	2,25	8,72	0,013	0,29			
		8,5	6,54	0,000	-	5,5	3,66	0,010	5,81	2,75	9,97	0,002	0,26			
marchew 30 ziemniaki jabłko 40	8	0,5	3,77	0,086	4,37	0,5	2,57	0,098	7,84	0,75	1,45	0,289	0,13			
		2,5	3,82	0,064	6,86	3,5	2,85	0,080	7,73	1,25	2,69	0,153	0,13			
		4,5	4,32	0,040	6,22	6,5	3,11	0,051	6,54	1,75	3,40	0,109	0,13			
		6,5	4,29	0,035	9,66	9,5	3,59	0,030	5,68	2,25	5,22	0,045	0,12			
		8,5	4,72	0,016	7,26	12,5	4,28	0,013	4,58	2,75	7,16	0,006	0,09			
10,5	5,05	-	-	-	-	-	-	3,25	10,22	-	-	-				

tości ujemne. Dla ziemniaka osiągają wartości ujemne bliskie zera. Dla marchwi natomiast w powierzchniowych warstwach przyjmują wartości dodatnie, a w głębszych obserwuje je się nieznaczne ubytki zawartości wody lub brak ubytków.

W wyniku sumowania zmian zawartości wody i zmian zawartości substancji osmoaktywnej otrzymuje się krzywe zmian masy surowca (rys. 2). W jabłkach występuje obniżenie masy końcowej próbki. W tkance ziemniaka zmian nie ma, lub zmiany oscylujące w pobliżu wartości zerowej. W tkance marchwi występują natomiast przyrosty masy w warstwach powierzchniowych, by na większych głębokościach osiągać wartości zerowe lub nieco poniżej zera.



Rys. 5. Zmiany zawartości wody w tkance roślinnej podczas procesu osmozy

Współczynnik dyfuzji jest dodatkowym wskaźnikiem umożliwiającym głębszą analizę dyfuzji substancji osmoaktywnej. W przypadku procesu osmozy jest on funkcją odległości od powierzchni i zawartości substancji osmoaktywnej (rys. 3 i 4). W temperaturze 20°C po 5 godzinach osmozy współczynnik dyfuzji soli w ziemniakach na głębokości 1 mm wynosi $6,05 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$ przy zawartości soli 0,97 g/g sur., w marchwi $1,70 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$ przy zawartości soli 0,78 g/g sur., w jabłkach $0,10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$ przy zawartości sacharozy 0,49 g/g sur. Zróznicowanie wartości współczynnika dyfuzji

(tab. 1) wynika z różnych właściwości tkanki marchwi i ziemniaka, a w przypadku jabłek dodatkowo z powodu innych właściwości sacharozy jako substancji osmoaktywnej, w porównaniu z chlorkiem sodu.

Wynikiem procesu osmozy jest zawartość wody na jednostkę suchej masy obejmującą suchą masę wyjściową wraz z wnikiem substancją osmoaktywną. Wskaźnik ten może służyć do oceny wzrostu trwałości produktu. Na rysunku 5 przedstawiono wpływ rodzaju tkanki roślinnej oraz parametrów procesu osmozy na zmiany zawartości wody. W zakresie przyjętych do badań parametrów osmozy zawartość wody maleje dla wszystkich trzech surowców. Największe obniżenie występuje dla jabłek, a dla ziemniaka i marchwi jest mniejsze, ale na zbliżonym poziomie. Przykładowo w temperaturze 40°C po 1 godzinie odwadniania zawartość wody w jabłkach na głębokości 1 mm wynosi 4,95 g H₂O/g s.m., a na głębokości 3 mm wzrasta 2-krotnie do 10,1 g H₂O/g s.m. Odpowiednio dla marchwi wzrasta o 9,1% z 5,45 do 6,0 g H₂O/g s.m., a dla ziemniaków o 14% z 2,75 do 3,2 g H₂O/g s.m.

Proces osmozy przebiega różnie w badanych surowcach spożywczych. W jabłkach występuje efektywne osmotyczne odwadnianie z przewagą procesu usuwania wody nad wnikaniem sacharozy. W ziemniakach w większości przypadków ilość usuwanej wody jest zbliżona do ilości wnikającej soli, przy czym wartości te są mniejsze niż w przypadku jabłek. W marchwi natomiast, szczególnie w warstwach powierzchniowych, następuje zwiększenie zawartości wody i przyrost ilości substancji osmoaktywnej. Jednak w wyniku całego procesu osmozy w zakresie temperatury 20-40°C i czasu 1-10 h uzyskuje się obniżenie zawartości wody na jednostkę suchej masy dla jabłek, marchwi i ziemniaków. Efektem końcowym oprócz zmiany właściwości surowca jest podwyższenie jego trwałości.

WNIOSKI

1. Proces osmozy powoduje największe ubytki wody w tkance jabłka, nieznaczne lub zerowe w tkance ziemniaka, a w tkance marchwi wzrost zawartości wody. Zmiany pod względem ilości wody występują do głębokości około 3 mm.

2. Sacharoza w procesie osmozy dyfunduje tylko do głębokości około 2,5 mm, a chlorek sodu do głębokości przekraczających 12 mm w zależności od parametrów procesu.

3. W jabłkach, ziemniakach i marchwi w wyniku procesu osmozy uzyskuje się powierzchniowe obniżenie ilości wody na jednostkę suchej masy, co powoduje wzrost trwałości produktu.

4. Zastosowanie osmozy do odwadniania jabłek jest uzasadnione tak względami energetycznymi, jak i możliwością otrzymania nowego, atrakcyjnego produktu. W przypadku marchwi i ziemniaków proces może mieć zastosowanie do powierzchniowego odwadniania przy jednoczesnym nasycaniu solą.

LITERATURA

1. Anonim: Food Engin., 42, 5, 119-121, 1970.
2. Flink J.M.: Report to SJVF. Roy. Vet. Agric., College Copenhagen, 1981.
3. Lenart A.: Zesz. Nauk. SGGW-AR, Technol. Rol.-Spoż., 14, 33-47, 1981.
4. Lewicki P., Lenart A., Turska D.: Zesz. Nauk. SGGW-AR, Technol. Rol.-Spoż., 16, 1983 (w druku).
5. Lewicki P., Lenart A., Małkowska M.: Zesz. Nauk. SGGW-AR, Technol. Rol.-Spoż., (w druku).
6. Zozulewicz B., Czumak Sz.J.: Konsierwnaja i Owoszczesuszilnaja Promyszlennost, 4, 42-44, 1974.

A. Ленарт

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ТКАНЕЙ НА ДИФФУЗИЮ ОСМОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Р е з ю м е

Во избежание неблагоприятных изменений в хранимых продовольственных продуктах предпринимаются попытки разработки новых методов удаления воды из этих продуктов без фазовых изменений. К таким методам принадлежит осмотическая диффузия заключающаяся в удалении воды из сырья в гипертонических растворах осмоактивных веществ. Существенную роль в получении конечного эффекта осмоса в продовольственных продуктах играет диффузивное движение воды и осмоактивных веществ. Проведенные до сих пор исследования касались описания этого процесса для отдельных видов продовольственного сырья. Целью настоящей работы было охарактеризовать влияние свойств растительных тканей на диффузию воды и осмоактивных веществ. Анализировали результаты полученные другими авторами в осмотическом обезвоживании моркови и картофеля в 15%-ном растворе хлористого натрия и яблок в 68%-

-ном растворе сахарозы. Установлено, что процесс осмоса приводит к наивысшим убыткам воды в тканях яблок, а к незначительным или нулевым в тканях картофеля, тогда как в тканях моркови - к повышению содержания воды. Изменения в содержании воды выступают до глубины около 3 мм. Сахароза в процессе осмоса диффундирует только до глубины 2,5 мм, а хлористый натрий - до глубины свыше 12 мм, в зависимости от параметров процесса. В яблоках, картофеле и моркови получено поверхностное снижение содержания воды на единицу сухого вещества, что приводит к повышению стойкости продукта. Осмос примененный для обезвоживания яблок обоснован энергетическими соображениями и возможностью получения нового аттрактивного продукта. В случае моркови и картофеля указанный процесс может находить применение для поверхностного обезвоживания при одновременном насыщении солью.

A. Lenart

EFFECT OF PLANT TISSUE PROPERTIES ON DIFFUSION OF OSMOACTIVE SUBSTANCES

S u m m a r y

To avoid unfavourable changes in stored food products the attempts are made to develop new methods of water removal from these products without phase changes. To such methods belongs osmotic dehydration consisting in water removal from raw materials in hypertonic solutions of osmoactive substances. An essential role in getting the final osmosis effect in food plays diffusive movement of water and osmoactive substances. The investigations carried out up to now concerned description of this process for particular food raw materials. The aim of the present work was to characterize the effect of plant tissue properties on diffusion of water and osmoactive substances. Results obtained by other authors during osmotic dehydration of carrot and potatoes in 15% solution of sodium chloride and of apples in 68% solution of saccharose were analyzed. It has been found that the osmosis leads to the highest water content decrements in the tissues of apples and insignificant or zero ones in those of potatoes, whereas in those of carrot it results in a growth of

the water content. The water content changes occur to the depth of about 3 mm. Saccharose diffuses in the osmosis process to the depth of about 2.5 mm only, whereas sodium chloride - to the depth of more than 12 mm, depending on parameters of the process. In apples, potatoes and carrot significant decrease of the water content per unit of dry matter occurs, ensuring stability of the product. The osmosis application in dehydration of apples is justified by the reasons of energy consumption and of getting new attractive product. In case of carrot and potatoes this process can be applied for superficial dehydration at simultaneous saturation with salt.