

Mgr inż. Kinga SAMBORSKA¹
Dr hab. inż. Hanna KOWALSKA¹
Dr inż. Urszula TYLEWICZ²
Prof. Marco DALLA ROSA²

¹Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

²Interdepartmental Centre for Agri-Food Industrial Research, Alma Mater Studiorum
Uniwersytet Boloński, Cesena

BADANIE MOBILNOŚCI WODY W JABŁKACH ODWADNIANYCH OSMOTYCZNIE METODĄ MAGNETYCZNEGO REZONANSU JĄDROWEGO (NMR)[®]

Testing of water mobility in osmotically dehydrated apples by nuclear magnetic resonance method (NMR)[®]

Słowa kluczowe: odwadnianie osmotyczne, NMR, żywotność komórek.

Celem prac przedstawionych w artykule jest analiza wpływu odwadniania osmotycznego (OD) na wymianę masy w jabłkach. W celu określenia zmian w strukturze oraz żywotności komórek użyto jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR) oraz mikroskopu fluorescencyjnego. Odwadnianie osmotyczne prowadzono w roztworach sacharozy oraz mieszaninach sacharozy i soków owocowych o ekstrakcie 22 i 65°Brix w temperaturze 45°C. Analiza NMR może być wykorzystywana do określenia obecności i miejsca występowania wody w komórkach tkanki poddanej odwadnianiu osmotycznemu. Informacje te mogą być przydatne w ocenie zmian destrukcji tkanki i zaburzenia jej integralności, a od strony technologicznej do kontroli wymiany masy zachodzącej podczas odwadniania osmotycznego.

Key words: osmotic dehydration, NMR, cell viability.

The aim of this work presented in the paper is to analysis of the influence of osmotic dehydration (OD) on mass transfer in apples. Fluorescence microscopy and time domain nuclear magnetic resonance (NMR) were respectively used to evaluate cell viability and microstructural changes during osmotic dehydration. The OD of apple was carried out in 22 and 65°Brix sucrose solutions or mixture of sucrose solution and fruit juices at 45°C, for a contact period from 0 to 1440 min. NMR analysis can be used to determine the presence and water state in the dehydrated cells. This information may be useful in assessing changes in tissue destruction and its integrity, and on the technological side to control the mass exchange occurring OD.

WSTĘP

Budowa komórkowa tkanki roślinnej umożliwia przepływ wody i substancji w niej rozpuszczonych. Podczas odwadniania osmotycznego (OD) jabłek następuje obniżenie zawartości wody, a w przeciwnym kierunku, do wnętrza odwadnianej tkanki, wnikanie składników roztworu osmotycznego. Siłą napędową procesu jest różnica potencjałów (ciśnien osmotycznych) pomiędzy roztworem osmotycznym, a tkanką roślinną. Odwadnianie osmotyczne jest najczęściej wstępnym etapem przetwarzania surowców roślinnych, na przykład przed zamrażaniem lub suszeniem. Zastosowanie umiarkowanych warunków początkowego odwadniania surowców roślinnych, zwłaszcza w roztworach z dodatkiem koncentratów soków, jest stosowane do otrzymania produktów wzbogaconych w składniki soku, a tym samym uzyskania produktów o pożądanej jakości odżywczej i sensorycznej. Dodatkowo, w wyniku obniżenia ilości wody niezwiązanej

i w znacznym stopniu aktywności wody, możliwe jest zwiększenie stabilności mikrobiologicznej, a także wydłużenie okresu przydatności do spożycia. Monitorowanie ruchliwości wody może być użyteczne w celu wyjaśnienia zachowania mikrostruktur komórkowych podczas OD. Złożoność procesu odwadniania osmotycznego wzrasta przy zastosowaniu roztworów wieloskładnikowych.

Zastosowanie jądrowego rezonansu magnetycznego umożliwia określenie zawartości wody i jej mobilności w różnych strukturach komórkowych przez określenie tzw. protonowego czasu relaksacji poprzecznej (T_2) [4, 14, 18]. W próbkach owoców, im większa jest mobilność cząsteczki protonowej, tym dłuższy czas relaksacji. W praktyce T_2 produktu spożywczego jest odzwierciedleniem ruchliwości molekuł wody w układzie. Intensywność sygnału protonowego (ang. *proton pool intensity*) jest miarą zawartości wody odpowiadającej danej wartości T_2 [1, 14, 18].

Adres do korespondencji – Corresponding author: Hanna Kowalska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa, e-mail: hanna_kowalska@sggw.pl

Komórka roślinna jest układem termodynamicznie otwartym wymieniającym z najbliższym otoczeniem energię i materię. Wymiana odbywa się poprzez błonę komórkową, której właściwości wpływają na kontrolowanie przez komórkę swego środowiska i tym samym na koordynację wewnątrzkomórkowych procesów metabolicznych. Wszystkie trwałe uszkodzenia błony komórkowej prowadzą do śmierci komórki. Protoplasty barwione diocetanem fluoresceiny (FDA) pozwalają oszacować dwa rodzaje uszkodzeń błony komórkowej: liżę i utratę półprzepuszczalności [3, 5]. W formie zestyfikowanej FDA swobodnie penetrują nienaruszoną błonę komórkową, natomiast ich deestyfikacja powoduje wytrącenie formy wolnej fluoresceiny. Koncentracja fluoresceiny w protoplaście możliwa jest wyłącznie, gdy błona komórkowa jest nienaruszona oraz w komórce aktywne są enzymy z grupy esteraz. Komórka widoczna jest w mikroskopie fluorescencyjnym, gdyż fluoresceina obecna w jej wnętrzu emituje światło zielone. Brak integralności błony komórkowej lub uszkodzenie aparatu enzymatycznego komórki powoduje dyfuzję fluoresceiny do otaczającego środowiska, przez co komórka staje się niewidoczna.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących przepływu masy i określenie stanu wody na podstawie pomiarów jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR) oraz żywotności komórek w próbkach jabłek odwadnianych osmotycznie.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiałem do badań były jabłka odmiany Gala pochodzące z pola doświadczalnego SGGW w Warszawie. Owoce krojono na plastry a następnie wykrawano z nich walce o wymiarach 10×15 mm. Do odwadniania osmotycznego zastosowano roztwory o ekstrakcie 22 i 65°Brix, w których substancją bazową była sacharoza. Soki z owoców aronii (koncentrat o stężeniu 65°Brix) oraz borówki czarnej (12°Brix) stanowiły naturalny dodatek wzbogacający do 65°Brix roztworu sacharozy w ilości 15%. Stosunek masy roztworu do masy owoców wynosił 4:1. Czas odwadniania 30, 60, 120, 240, 360 i 1440 minut. W pracy zastosowano kodowanie próbek, a ich oznaczenia podano w tabeli 1.

Analizowano ubytek wody (1) oraz przyrost suchej substancji (2) na podstawie poniższych wielkości:

$$WL = \frac{m_o \cdot (100 - s_o) - m_t \cdot (100 - s_t)}{m_o \cdot s_o} \text{ [g H}_2\text{O/g p.s.s.]} \quad (1)$$

$$SG = \frac{m_t \cdot s_t - m_o \cdot s_o}{m_o \cdot s_o} \text{ [g/g p.s.s.]} \quad (2)$$

gdzie: m_o – początkowa masa próbki [g],
 m_t – masa próbki po odwadnianiu [g],
 s_o – początkowa zawartość suchej substancji [%],
 s_t – zawartość suchej substancji po odwadnianiu [%].

Badanie NMR przeprowadzano przy użyciu impulsowego spektrometru pracującego przy częstotliwości 20 MHz w temperaturze 24°C, zgodnie z procedurą stosowaną przez Mauro i wsp. [12]. Badania wykonano w sześciu powtórzeniach.

Test żywotności komórek przeprowadzono na próbkach tkanki jabłek świeżych i odwadnianych. W celu stabilizacji próbek przechowywano je przez 24 godziny w temperaturze

Tabela 1. Kodowanie oznaczeń próbek

Table 1. Coding of the signs of samples

Kod	Oznaczenia
22S / 22C / 22B	odwadnianie w roztworach o ekstrakcie 22°Brix: sacharozy (22S), koncentratu soku z aronii (22C), soku z borówki czarnej (22B)
65S / 65C	odwadnianie w roztworze o ekstrakcie 65°Brix: sacharozy (65S), koncentratu soku z aronii (65C)
65S-15C / 65-15B	odwadnianie w roztworze o ekstrakcie w 65°Brix sacharozy z 15% dodatkiem: soku z aronii (65-15C), soku z borówki czarnej (65-15B)
K	próba kontrolna, bez wstępnego odwadniania osmotycznego

Źródło: Opracowanie własne

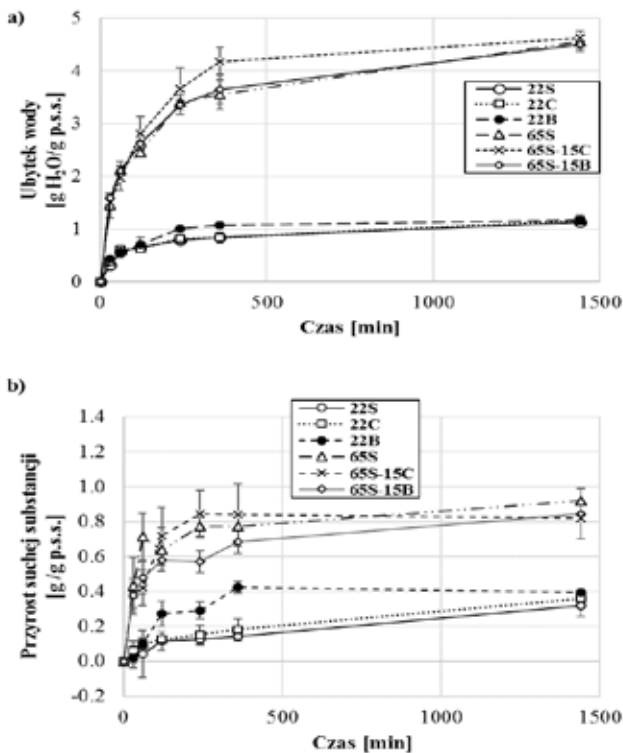
Source: Own study

4°C. Badania prowadzono przy użyciu mikroskopu (Eclipse Ti-U, Nikon Co., Japonia) oraz cyfrowej kamery video (digital sight DS-Qi1Mc, Nikon Co., Japan) w powiększeniu 10x. Plasterki jabłek o grubości 1mm wycięte ze środka próbek umieszczono w diocetanie fluoresceiny (FDA, Sigma-Aldrich, USA, $\lambda_{ex} = 495 \text{ nm}$, $\lambda_{em} = 518 \text{ nm}$) i izotonicznym roztworze sacharozy w stosunku do ekstraktu z tkanki jabłka, a następnie przetrzymywano w warunkach bez dostępu światła przez 5 minut.

Wyniki opracowano statystycznie, przeprowadzając wieloczynnikową analizę wariancji i weryfikację hipotez przy zastosowaniu testu istotności Fishera. Wyznaczono równania regresji oraz współczynnik korelacji Pearsona (r). Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Po stwierdzeniu braku istotnych różnic sprawdzono efekty współdziałań pomiędzy parami cech na podstawie określenia najmniejszej istotnej różnicy (NIR).

WYNIKI I Dyskusja

Podczas odwadniania osmotycznego jabłek w roztworach sacharozy i sacharozy z dodatkiem soków owocowych o ekstrakcie 22 oraz 65°Brix zaobserwowano, że wraz z wydłużeniem czasu trwania procesu następowało zwiększenie ubytku wody z jabłek (WL) (rys. 1a). Wskaźnik ten zwiększał się wraz z wydłużaniem czasu trwania procesu, przy czym w przypadku próbek odwadnianych w roztworach o stężeniu 22°Brix, już po 60 min uzyskano około 50% wartości całkowitego ubytku wody, jaki miał miejsce po 1440 min. W dłuższym przedziale czasowym 360-1440 min ubytek wody pozostawał na zbliżonym poziomie. Podobnie Czajkowska i wsp. [2] już po 60 min prowadzenia procesu zaobserwowali znaczące ubytki wody w jabłkach odwadnianych w roztworze sacharozy z dodatkiem inuliny. Rodzaj zastosowanej substancji osmotycznej nie wpływał istotnie na zmiany WL w próbkach odwadnianych jabłek. W jabłkach odwadnianych w 65°Brix roztworze osmotycznym sacharozy, sacharozy z dodatkiem koncentratu soku z aronii lub soku z borówki czarnej ubytek wody po 60 min mieścił się w zakresie 43-47% całkowitej wartości ubytku wody osiągniętej po 1440 min.



Rys. 1. Ubytek wody (a) oraz przyrost suchej substancji (b) w jabłkach odwadnianych osmotycznie w temperaturze 45°C.

Fig. 1. Water lost (a) and solid gain (b) in osmodehydrated apples at 45°C.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Wykazano istotny wpływ stężenia roztworu na ubytek wody. Zastosowanie roztworu o ekstrakcie 65°Brix skutkowało uzyskaniem 3,3-5,0-krotnie większych wartości ubytków wody w porównaniu do 22°Brix. Kowalska [6] odwadniając jabłka o grubości 15 mm w roztworze sacharozy o stężeniu 60% w temperaturze 60°C przez 180 min uzyskała ubytek wody wynoszący około 1,7 [g H₂O/g p.s.s.]. Wydłużenie czasu do 300 min spowodowało obniżenie ubytku wody do około 1,3 [g H₂O/g p.s.s.]. Wraz z ubytkiem wody następował przyrost masy suchej substancji (SG) w odwadnianych próbkach (rys. 1b). Wydłużanie czasu odwadniania osmotycznego powodowało większy przyrost masy suchej substancji. Największa wartość tego wskaźnika (0,9 g/g p.s.s.) obserwowana była w próbkach odwadnianych przez 1440 min w roztworze sacharozy o stężeniu 65°Brix. Zaobserwowano, że zastosowanie wyższych stężeń sacharozy do odwadniania jabłek powodowało zwiększenie SG. Przy zastosowaniu 65°Brix roztworu sacharozy przyrost suchej substancji jabłek odwadnianych przez 1440 min był o 53-65% większy w stosunku do odwadniania owoców w roztworach o ekstrakcie 22°Brix.

Owadnianie osmotyczne jabłek przez 120 i 360 min w roztworze sacharozy (65°Brix) umożliwiło uzyskanie ubytków wody rzędu od 2,45 do 3,52 g H₂O/g. p.s.s. przy jednoczesnym 4-5 krotnie mniejszym przyroście suchej substancji. W porównaniu do bazowego roztworu sacharozy (65S) zastosowanie 15% dodatku koncentratu soku z aronii w tym samym przedziale czasowym pozwoliło na osiągnięcie o około 49% wyższych ubytków wody oraz o około 14%

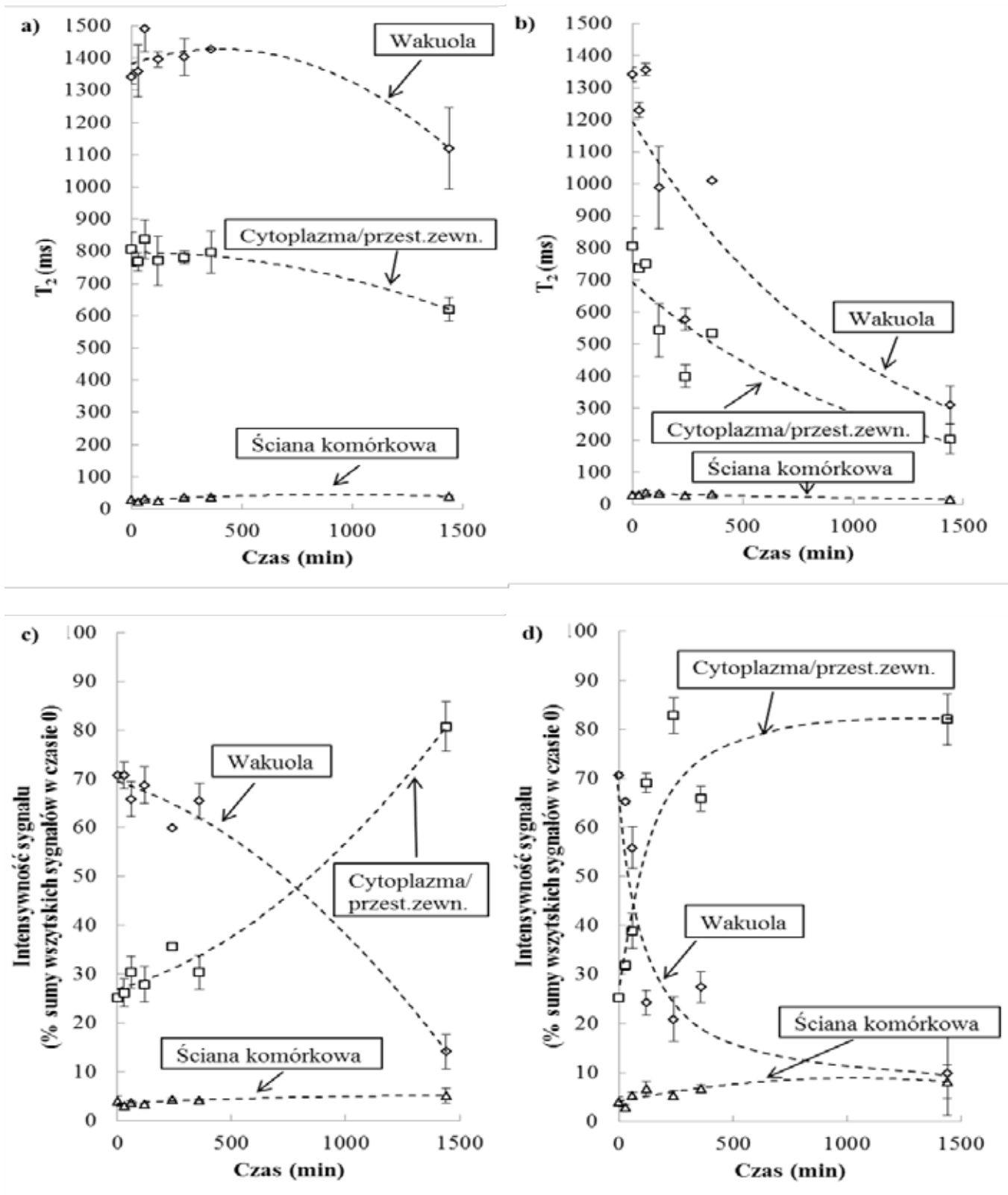
większych przyrostów suchej substancji. Z kolei porównując zastosowanie soku z borówki, tj. roztworu osmotycznego o niższym stężeniu (22°Brix), z użyciem roztworu sacharozy do odwadniania jabłek przez 120 i 360 min, również odnotowano zwiększenie wartości WL średnio o 15-29% oraz przyrostu suchej masy o nawet 2-krotnie wyższej.

Owadnianie osmotyczne jest atrakcyjnym sposobem wprowadzania do tkanki roślinnej pożądaných żywniowych substancji przy jednoczesnym kontrolowaniu ubytku wody i przyrostu suchej substancji. Dzięki temu, w zależności od potrzeb, skład chemiczny żywności może być kontrolowany i modyfikowany [10]. Odwadnianie osmotyczne przy użyciu wieloskładnikowych roztworów osmotycznych, sporządzonych z soku owocowego, koncentratu soku lub ich dodatku do roztworu bazowego przebiega w sposób zależny od rodzaju i masy cząsteczkowej substancji w nich zawartych. Soki zawierają cukry, głównie fruktozę i glukozę, ale też inne substancje o różnej wielkości cząstek. Cząsteczki o niższej masie cząsteczkowej wywołują wyższe ciśnienie osmotyczne i wnikają głębiej do odwadnianego materiału. Wpływają też na uzyskanie większych ubytków wody [7]. Zastosowanie substancji o większej masie cząsteczkowej przy jednakowych warunkach prowadzenia procesu i tym samym stężeniu roztworu spowalnia proces wymiany masy i na powierzchni odwadnianego materiału powoduje powstanie warstwy o większej porowatości. Im większa masa cząsteczkowa substancji tym większa porowatość powstającej warstwy.

W przypadku zastosowania wieloskładnikowych roztworów osmotycznych taka warstwa utworzona z substancji o większej masie cząsteczkowej (np. sacharoza) umożliwiła wnikanie przez pory mniejszych cząsteczek (np. fruktoza, glukoza, chlorek sodu) oraz przenikanie wody [17, 8]. Marani i wsp. [9] wykazali, że zastosowanie cukrów o różnych masach cząsteczkowych wpływa na proces OD brzoskwiń, truskawek i kiwi. Zastosowanie sacharozy i cukrów o dużej masie cząsteczkowej umożliwiło badaczom uzyskanie dużego stopnia odwodnienia przy niewielkim wnikaniu substancji osmotycznej. Zastosowanie roztworu wieloskładnikowego umożliwia określony przeciwnie kierunkowy przepływ rozpuszczonych w nim substancji do tkanki odwadnianych owoców.

Przeprowadzone odwadnianie osmotyczne w różny sposób wpłynęło na destrukcję i integralność odwadnianej tkanki jabłek. Parametrem opisującym stan dynamiczny wody w materiale jest czas tzw. relaksacji poprzecznej (T_2). Za pomocą tej wartości można ocenić dynamikę molekularną frakcji wody związanej i niezwiązanej. Dane literaturowe wskazują, że T_2 rejestrowane przez NMR można wykorzystać do zebrania informacji o zmianach w strukturze komórkowej tkanki roślinnej [14, 18].

Na rysunku 2 przedstawiono zależność odwadniania osmotycznego tkanki jabłek od wartości T_2 oraz intensywność sygnału dla poszczególnych struktur komórkowych w zależności od zastosowania stężenia roztworu sacharozy (22 i 65°Brix). Odwadnianie osmotyczne powodowało skrócenie czasu relaksacji T_2 wraz z wydłużeniem czasu trwania procesu OD. Zmiany te zależały od stężenia roztworu osmotycznego. W przypadku tkanki jabłek świeżych (K) czasy relaksacji T_2 , które wynosiły około 1342, 806 i 29 ms (tab. 2) zostały przypisane odpowiednio do wody występującej w wakuoli, cytoplazmie/prze-strzeni zewnątrzkomórkowej i ścianie komórkowej.



Rys. 2. Wartość czasu relaksacji T_2 (a, b) oraz intensywność sygnałów (c, d) jablek odwadnianych osmotycznie w roztworach sacharozy o ekstrakcie 22°Brix (a, c) oraz 65°Brix (b,d) w temperaturze 45°C.

Fig. 2. Relaxation time T_2 value (a, b) and peak intensity (c, d) of osmodehydrated apple in 22°Brix (a, c) or 65°Brix (b,d) sucrose solution at temperature of 45°C.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Tabela 2. Wartość T_2 oraz intensywność sygnałów (IP) jabłek odwadnianych osmotycznie w 22 i 65°Brix roztworach w czasie 360 i 1440 min i w temperaturze 45°C

Table 2. T_2 value and peak intensity (IP) of osmodehydrated apple in 22 and 65°Brix solution at 45°C for 360 and 1440 min

Kod	Czas (min)	Ściana komórkowa		Cytoplazma/przestrzeń zewnątrzkomórkowe		Wakuola	
		T_2 (ms)	IP* (%)	T_2 (ms)	IP (%)	T_2 (ms)	IP (%)
K	0	29±0 ^d	4±1 ^a	806±54 ^e	25±0 ^e	1342±22 ^{f,g}	71±1 ^d
22S	360	38±5 ^e	4±0 ^{a,b}	797±66 ^d	30±3 ^e	1427±2 ^g	65±4 ^e
22S	1440	39±2 ^e	5±2 ^{a,b,c}	620±37 ^{a,b}	81±5 ^d	1119±127 ^{d,e}	14±3 ^e
22C	360	30±1 ^d	7±0 ^{b,c,d,e}	558±31 ^{c,d}	52±2 ^{c,d}	1317±47 ^{f,g}	41±2 ^d
22C	1440	20±3 ^c	7±1 ^{b,c,d,e}	279±15 ^b	88±0 ^b	571±32 ^c	5±1 ^c
22B	360	31±6 ^d	7±2 ^{c,d,e}	608±43 ^d	51±6 ^d	1200±56 ^{e,f}	42±8 ^d
22B	1440	14±4 ^b	3±0 ^a	179±5 ^{a,b}	91±0 ^{a,b}	531±5 ^c	6±0 ^{b,c}
65S	360	31±1 ^d	7±1 ^{b,c,d,e}	533±1 ^{c,d}	66±2 ^{c,d}	1010±5 ^d	27±3 ^d
65S	1440	15±5 ^{b,c}	8±3 ^{d,e}	203±47 ^{a,b}	82±5 ^{a,b}	310±57 ^b	10±9 ^{b,c}
65S-15C	360	34±0 ^{d,e}	9±0 ^e	570±3 ^{c,d}	58±2 ^{c,d}	1281±85 ^{f,g}	32±2 ^{d,e}
65S-15C	1440	5±1 ^a	5±0 ^{a,b,c}	96±10 ^a	75±8 ^a	141±20 ^a	20±8 ^a
65S-15B	360	35±1 ^{d,e}	9±0 ^e	467±152 ^c	55±0 ^c	1289±12 ^{f,g}	36±0 ^{d,e}
65S-15B	1440	10±1 ^{a,b}	6±2 ^{a,b,c,d}	147±47 ^a	75±3 ^a	221±51 ^{a,b}	19±5 ^{a,b}

Objaśnienia:

a, b, c... – wartości oznaczone tymi samymi literami stanowią grupy homogeniczne;

IP* – intensywność sygnału (ang. *peak intensity*) wyrażona w %, stosunek wartości sygnału do sumy wszystkich sygnałów.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Tabela 3. Korelacja pomiędzy czasem relaksacji T_2 przypisanej wakuoli, a przyrostem suchej substancji i ubytkiem wody w jabłkach odwadnianych osmotycznie

Table 3. Correlation between relaxation time T_2 (vacuole) and solid gain and water lost in osmodehydrated apple

Kod	Równanie regresji	r
22S	T_2 (wakuola) = 1521,8 - 229,4*WL	-0,42
	T_2 (wakuola) = 1424,2 - 514,9*SG	-0,42
22C	T_2 (wakuola) = 1882,5 - 909,8*WL	-0,77
	T_2 (wakuola) = 1613,6 - 2480*SG	-0,88
22B	T_2 (wakuola) = 1677,7 - 659,6*WL	-0,66
	T_2 (wakuola) = 1396,8 - 1058*SG	-0,57
65S	T_2 (wakuola) = 1791,4 - 301*WL	-0,83
	T_2 (wakuola) = 1788,7 - 1238*SG	-0,59
65S-15C	T_2 (wakuola) = 1783,7 - 410,9*WL	-0,64
	T_2 (wakuola) = 1784,6 - 1388*SG	-0,60
65S-15B	T_2 (wakuola) = 1783,7 - 210,9*WL	-0,54
	T_2 (wakuola) = 1784,6 - 1288*SG	-0,52

Źródło: Opracowanie własne

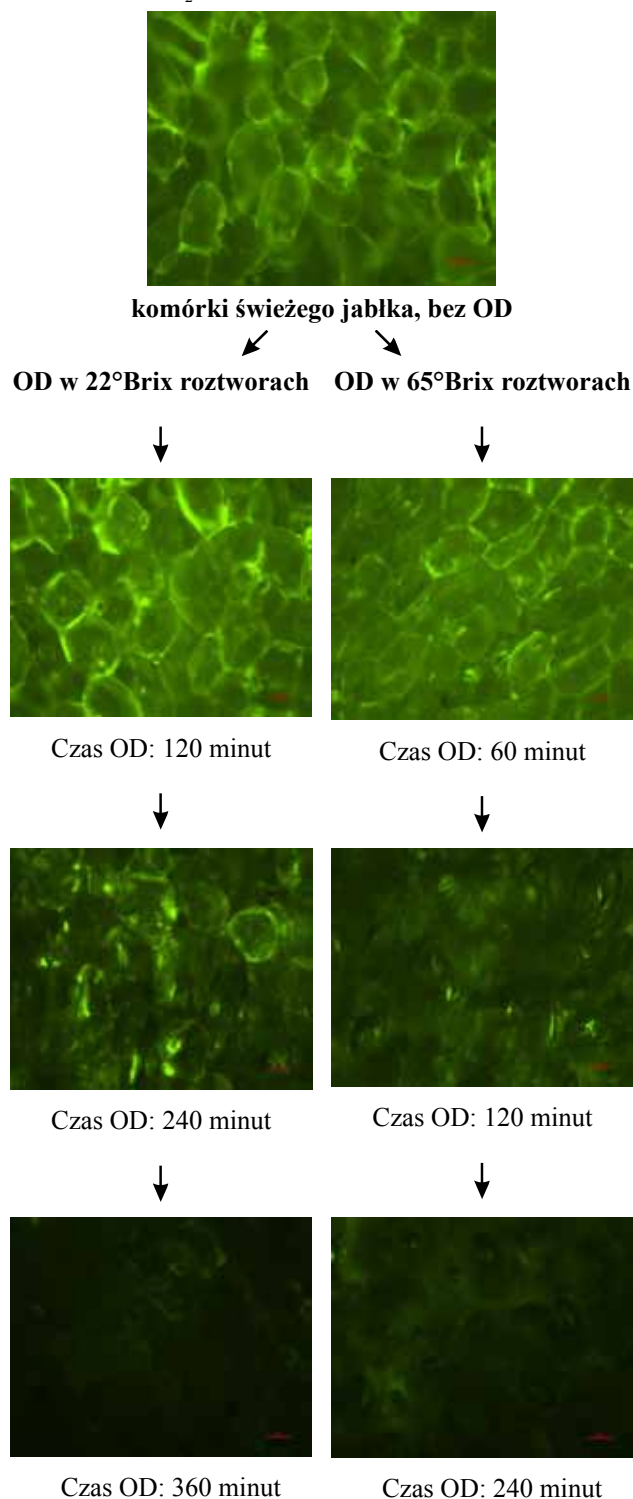
Source: Own study

Bezwzględna intensywność sygnału jest proporcjonalna do liczby protonów i pozwala na ocenę gradientu wody

w strukturze komórkowej jabłek podczas OD. Zaobserwowano, że w świeżych jabłkach 71% wszystkich protonów zlokalizowano w wakuoli. Podczas odwadniania osmotycznego wartość T_2 oraz liczba protonów zlokalizowanych w wakuoli malała, co świadczy o migracji wody. Odwadnianie osmotyczne w roztworach o ekstrakcie 65°Brix z 15% dodatkiem soku z aronii i borówki czarnej przez 1440 min pozwoliło na uzyskanie najniższych wartości T_2 , które wynosiły odpowiednio 141 i 221 ms. Wykazano statystycznie istotną ujemną korelację pomiędzy czasem relaksacji T_2 przypisaną wakuoli, a ubytkiem wody i przyrostem suchej substancji, niezależnie od zastosowanego roztworu osmotycznego (tab. 3).

Uzyskanie większego efektu odwodnienia owoców (większych wartości wskaźników WL i SG) powodowało skrócenie czasu relaksacji T_2 . Panarese i wsp. [14] wykazali, że usunięcie wody z komórki i zwiększenie zawartości cukru powoduje wyraźne zmniejszenie się wartości T_2 . Selektywność kanałów błony otaczającej komórkę i błony otaczającej wakuolę (tonoplast) jest zróżnicowana i zależna od rodzaju zastosowanej substancji osmotycznej [11, 15, 16]. Ponadto czas odwadniania osmotycznego może wpłynąć na zmiany właściwości błon komórkowych polegające na utracie zdolności ochrony wnętrza komórki roślinnej od środowiska zewnętrznego. W dwukierunkowej wymianie masy, jaka zachodzi podczas OD, w zależności od warunków procesu, miejsce usuniętej wody odwadnianego materiału częściowo zajmuje wnikaćca substancja osmotyczna, ale nie chroni to tkanki przed destrukcją wywołaną głównie obniżeniem zawartości wody. Na podstawie uzyskanych wyników przyrost

suchej substancji przyspiesza efekt odwadniania, bo maleje udział wody w próbce i w konsekwencji zmniejsza się wartość wskaźnika T_2 .



Rys. 3. Mikroskopowe obrazy komórek jabłek odwadnianych osmotycznie w 22 i 65°Brix roztworze sacharozu.

Fig. 3. Microscopic images of osmodehydrated apple cells in 22 and 65°Brix sucrose solutions.

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own study

Analizę stanu fizjologicznego komórek jabłek odwadnianych osmotycznie przeprowadzono używając mikroskop fluorescencyjny. Za pomocą wykonanych fotografii określano

czas żywotności komórek jabłek odwadnianych w roztworach o stężeniu 22 i 65°Brix. Stwierdzono, że odwadnianie osmotyczne wpływa destrukcyjnie na żywotność komórek (rys. 3). Zastosowanie dłuższego czasu OD zwiększało ten efekt. Odwadnianie osmotyczne owoców w roztworze o wysokim stężeniu (65°Brix) skróciło żywotność komórek (ciemniejszy obraz) w odniesieniu do odwadnianych osmotycznie w 22°Brix roztworze. Może to być wynikiem większych zmian związanych ze strukturą i integralnością komórek tkanki owoców podczas odwadniania w roztworach o wyższym stężeniu, co wiąże się z większą intensywnością wymiany masy w skali makro (ubytek wody WL, przyrost suchej substancji SG) niż tych, które zachodzą, gdy tkanka jabłek odwadniana jest w roztworze powodującym mniejszy efekt odwadniania.

Mavroudis i wsp. [13] wykazali, że utrata żywotności komórek zależała od stopnia wnikania substancji osmotycznej do tkanki jabłek. Komórki zlokalizowane na powierzchni, będące bezpośrednio w kontakcie z substancją osmotyczną, charakteryzowały się mniejszą żywotnością niż komórki znajdujące się w środku próbki.

PODSUMOWANIE

1. Zastosowanie roztworu osmotycznego złożonego z sacharozu i koncentratu soku z aronii o stężeniu 65°Brix jak i sacharozu z sokiem z borówki czernicy o stężeniu 22°Brix do odwadniania jabłek zachodzi efektywniej, zwłaszcza do 360 minut, w porównaniu do użycia roztworu sacharozu.
2. Większy stopień odwodnienia tkanki jabłek wiąże się bezpośrednio z destrukcją tkanki jabłek. Zastosowanie roztworów osmotycznych o wyższym stężeniu (65°Brix) wpływa na skrócenie żywotności komórek w porównaniu z niższym stężeniem (22°Brix).
3. Spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego może być wykorzystana jako uzupełnienie tradycyjnych metod analizy wiązania i stanu wody w układach wieloskładnikowych.
4. Analiza NMR oraz mikroskop fluorescencyjny mogą być wykorzystywane do określenia obecności i miejsca występowania wody w komórkach tkanki poddanej odwadnianiu osmotycznemu. Informacje te mogą być przydatne w ocenie stanu destrukcji tkanki i zaburzenia jej integralności, a od strony technologicznej do kontroli wymiany masy zachodzącej podczas odwadniania osmotycznego.

Podziękowania

Kinga Samborska dziękuje władzom Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego za wsparcie finansowe, które umożliwiło przeprowadzenie badań w Interdepartmental Centre for Agri-Food Industrial Research Uniwersytetu Bolońskiego w Cesena w ramach miesięcznego stażu.

LITERATURA

- [1] **CORNILLON P. 2000.** „Characterization of osmotically dehydrated apple by NMR and DSC”. *LWT – Food Science and Technology* 33(4): 261-267.

- [2] **CZAJKOWSKA K., H. KOWALSKA, M. WOJNOWSKI. 2014.** „Zastosowanie inuliny do odwadniania osmotycznego jabłek”. *Nauki Inżynierskie i Technologia* 3(14): 9-21.
- [3] **HALPERIN S.J., K.L. KOSTER. 2006.** „Sugar effects on membrane damage during desiccation of pea embryo protoplasts”. *Journal of Experimental Botany* 57(10): 2303-2311.
- [4] **HILLS B.P., S.L. DUCE. 1990.** „The influence of chemical and diffusive exchange on water proton transverse relaxation in plant tissues”. *Magnetic Resonance Imaging* 8(3): 321-331.
- [5] **KOSTER K.L., N. REISDORPH, J.L. RAMSAY. 2003.** „Changing desiccation tolerance of pea embryo protoplasts during germination”. *Journal of Experimental Botany* 54(387):1607-1614.
- [6] **KOWALSKA H. 2013.** „Wybrane aspekty odwadniania osmotycznego jabłek w roztworze sacharozy z dodatkiem kwasu askorbinowego i soli wapnia”. *Rozprawy Naukowe i Monografie. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.*
- [7] **KOWALSKA H., A. LENART, D. LESZCZYK. 2008.** „The effect of blanching and freezing on osmotic dehydration of pumpkin”. *Journal of Food Engineering* 86(1): 30-38.
- [8] **KOWALSKA H., A. MARZEC, J. KOWALSKA, A. CIURZYŃSKA, K. CZAJKOWSKA, J. CICHOWSKA, K. RYBAK, A. LENART. 2017.** „Osmotic dehydration of Honeoye strawberries in solutions enriched with natural bioactive molecules”. *LWT – Food Science and Technology* 85: 500-505.
- [9] **MARANI C.M., M.E. AGNELLI, R.H. MASCHERONI. 2007.** „Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation”. *Journal of Food Engineering* 79: 1122-1130.
- [10] **MATUSKA M., A. LENART, N.H. LAZARIDES. 2006.** „On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake”. *Journal of Food Engineering* 72: 85-91.
- [11] **MAUREL C. 2007.** „Plant aquaporins: Novel functions and regulation properties”. *FEBS Letters* 581(12): 2227-2236.
- [12] **MAURO M.A., N. DELLAROSA, U. TYLEWICZ, S. TAPPI, L. LAGHI, P. ROCCULI, M. DALLA ROSA. 2016.** „Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple tissue during osmotic dehydration in sucrose solutions”. *Food Chemistry* 195: 19-28.
- [13] **MAVROUDIS N.E., P. DEJMEK, I. SJÖHOLM. 2004.** „Osmotic-treatment-induced cell death and osmotic processing kinetics of apples with characterised raw material properties”. *Journal of Food Engineering* 61(1): 47-56.
- [14] **PANARESE V., L. LAGHI, A. PISI, U. TYLEWICZ, M. DALLA ROSA, P. ROCCULI. 2012.** „Effect of osmotic dehydration on *Actinidia deliciosa* kiwifruit: A combined NMR and ultrastructural study”. *Food Chemistry* 132(4): 1706-1712
- [15] **PEITER E., F.J.M. MAATHUIS, L.N. MILLS, H. KNIGHT, J. PELLOUX, A.M. HETHERINGTON, D. SANDERS. 2005.** „The vacuolar Ca²⁺-activated channel TPC1 regulates germination and stomatal movement”. *Nature* 434: 404-408.
- [16] **TAPKEN D., U. ANSCHÜTZ, L.H. LIU, T. HUELSEN, G. SEEBOHM, D. BECKER, M. HOLLMANN. 2013.** „A plant homolog of animal glutamate receptors is an ion channel gated by multiple hydrophobic amino acids”. *Science Signaling* 6(279): ra47.
- [17] **TORTOE CH. 2010.** „A review of osmodehydration for food industry”. *African Journal of Food Science* 4(6): 303-324.
- [18] **TYLEWICZ U., V. PANARESE, L. LAGHI, P. ROCCULI, M. NOWACKA, G. PLACUCCI, M. DALLA ROSA. 2011.** „NMR and DSC water study during osmotic dehydration of *Actinidia deliciosa* and *Actinidia chinensis* kiwifruit”. *Food Biophysics* 6(2): 327-333.