

EWELINA PIASECKA, MAŁGORZATA UCZCIWEK, ROBERT KLEWICKI

ODWADNIANIE OSMOTYCZNE OWOCÓW W ROZTWORACH ZAWIERAJĄCYCH FRUKTOOLIGOSACHARYDY

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu temperatury, czasu i składu roztworu odwadniającego na zawartość sacharydów w owocach odwadnianych.

W badaniach, do osmotycznego odwadniania mrożonych, odpestczonych wiśni odmiany Łutówka oraz mrożonych czarnych porzeczek odmiany Tiben, zastosowano roztwory hipertoniczne zawierające fruktooligosacharydy (FOS), sacharozę, glukozę i fruktozę. W warunkach statycznych odwadnianie prowadzono w różnych zakresach temperatury (25 - 60 °C) z zastosowaniem preparatu FOS w ilości czterokrotnie większej niż masa owoców. W warunkach z mieszaniem odwadnianie wiśni prowadzono w temp. 40 °C, używając roztworu o różnym stosunku koncentrat FOS/sacharoza: 5/95, 15/85, 25/75, 50/50, 100/0. Odwadnianie osmotyczne czarnych porzeczek prowadzono w temperaturze 40 - 80 °C, stosując koncentrat FOS. Stwierdzono, że temperatura, czas oraz skład substancji osmotycznej mają istotny wpływ na zawartość fruktooligosacharydów w owocach. W przypadku wiśni najlepsze rezultaty, ze względu na zawartość fruktooligosacharydów (14,1 g/100 g), uzyskano w następujących warunkach: temperatura 40 °C, czas odwadniania 60 min, jako substancja osmotyczna preparat FOS bez dodatku sacharozy. W przypadku czarnych porzeczek za najlepsze warunki uznano: temperatura 60 °C, czas procesu 120 min, roztwór hipertoniczny – preparat FOS bez dodatku sacharozy (zawartość fruktooligosacharydów w produkcie – 3,2 g/100 g).

Słowa kluczowe: odwadnianie osmotyczne, fruktooligosacharydy, wiśnie, czarne porzeczki

Wstęp

Celem odwadniania osmotycznego jest podwyższenie trwałości żywności o budowie komórkowej poprzez usunięcie części wody występującej w surowcu w postaci niezwiązanej [15]. W procesie wykorzystuje się zjawisko dyfuzji rozpuszczalnika (wody) przez błony półprzepuszczalne, której siłą napędową jest różnica potencjałów chemicznych roztworów po obu stronach błony [21]. Dzięki temu, że woda usuwana jest bez przemiany fazowej, nie zachodzą w surowcu niepożądane zmiany. Proces re-

alizowany jest poprzez zanurzenie tkanki roślinnej (np. rozdrobnione owoce lub warzywa) w roztworze hipertonicznym sporządzonym z cukrów, chlorku sodu, sorbitolu, glicerolu lub innych substancji jadalnych o akceptowanym smaku i zapachu, wytwarzających wysokie ciśnienie osmotyczne i powodujących jak największe obniżenie aktywności wody odwadnianego surowca. Woda oraz niskocząsteczkowe składniki soku komórkowego, tj. cukry, kwasy organiczne, witaminy, przechodzą przez błony do otaczającego roztworu o wyższym ciśnieniu osmotycznym. Odwodnienie sięga 40 – 70 % wody zawartej w surowcu i zależy od właściwości materiału oraz zastosowanych parametrów. Wraz ze wzrostem temperatury, przy malejącej lepkości środowiska i towarzyszącym zmianom fizykochemicznym, proces usuwania wody przebiega z większą intensywnością. Przy podwyższeniu temperatury z 20 do 50 °C następuje znaczne skrócenie czasu odwadniania. Zastosowanie wyższej temperatury powoduje utratę półprzepuszczalności błon komórkowych oraz inaktywację enzymów komórkowych [15, 23]. Zbyt wysoka temperatura powoduje istotne zmiany właściwości materiału, np. straty składników odżywczych, zmiany barwy i struktury [2, 15, 23]. Czas odwadniania zależy od rodzaju surowca i temperatury procesu. W temp. 20 °C wymiana masy przebiega najintensywniej w ciągu pierwszych 2 - 4 h procesu w zależności od rodzaju substancji osmoaktywnej i właściwości odwadnianego surowca. Natomiast w zakresie temp. 70 – 90 °C czas odwadniania nie powinien być dłuższy niż 15 min [23]. Czas wpływa na właściwości błon komórkowych. Z upływem czasu tracą one zdolność selektywnego transportu i znacznie więcej substancji osmotycznej dostaje się do wnętrza komórek [15].

Odwadnianie osmotyczne prowadzi do obniżenia aktywności wody w produkcie do poziomu 0,95, a nawet 0,90. W większości przypadków bakterii chorobotwórczych np. *Salmonella*, aktywność wody poniżej 0,95 wyklucza ich rozwój. Zatem proces ten powoduje zahamowanie rozwoju drobnoustrojów, ale nie zapewnia produktowi całkowitej trwałości. W związku z tym owoce i warzywa odwodnione osmotycznie wymagają końcowego utrwalenia, które może być realizowane przez mrożenie, suszenie konwekcyjne, mikrofalowe, liofilizację lub pasteryzację [15, 23].

Odwadnianiu towarzyszy przeciwnieprzewodny przepływ substancji osmoaktywnej do tkanki [22]. W ten sposób, zależnie od potrzeb, skład chemiczny żywności może być kontrolowany i modyfikowany [23, 24]. Jest to szczególnie atrakcyjne ze względu na możliwość wprowadzania do materiału roślinnego pożądanych żywieniowo substancji, jak np. fruktooligosacharydów (FOS). Substancje te są oligomerami D-fruktozy połączonej wiązaniem β -(2 \rightarrow 1) i zawierającymi glukozę na końcu łańcucha. Do krótkołańcuchowych FOS należą: 1-kestoza (DP 3), nystoza (DP 4) i fruktozylonystoza (DP 5) [13, 33].

Na skalę przemysłową fruktooligosacharydy są otrzymywane z sacharozy (na drodze transglikozylacji), dzięki zastosowaniu fruktozylotransferazy oraz β -fruktofuranosyldazy

uzyskiwanych z grzybów *Aspergillus niger*. Stanowią one wówczas mieszaninę kestozy, nystozy, fruktozylonystozy, sacharozy, glukozy i fruktozy [19, 34]. Mogą być również otrzymywane z inuliny, dzięki zastosowaniu hydrolaz glikozydowych występujących w roślinach akumulujących inulinę oraz uzyskiwanych z grzybów *Aspergillus niger* [20].

FOS nie są trawione w przewodzie pokarmowym (organizm człowieka nie wytwarza enzymów hydrolizujących wiązanie β -2,1 glikozydowe) i przechodzą w niezmienionej formie do jelita grubego, gdzie stanowią pożywkę dla bakterii fermentacji mlekowej [4, 9, 12]. W odróżnieniu od *Bifidobacterium* sp. i *Lactobacillus* sp., *Escherichia coli* i *Clostridium perfringens* nie metabolizują fruktooligosacharydów. Z tego względu FOS są uznanymi, modelowymi prebiotykami [1, 6, 7].

Powstający w wyniku fermentacji FOS kwas mlekowy, będąc dobrym substratem dla nabłonka okrężnicy, zapobiega jego przemianie w komórki rakowe [12]. Fruktooligosacharydy nie ulegają fermentacji w jamie ustnej, dlatego nie stanowią pożywki dla bakterii powodujących próchnicę, zatem działają ochronnie na uzębienie człowieka [12]. Pod wpływem fruktooligosacharydów zmniejsza się w kale zawartość toksycznych metabolitów oraz niebezpiecznych dla zdrowia człowieka enzymów np. azoreduktazy i β -glukuronazy [33]. Niska zawartość tych metabolitów wchłanianych z przewodu pokarmowego chroni wątrobę przed koniecznością detoksykacji [3, 12]. Poza tym, fruktooligosacharydy wpływają na zwiększenie masy wydalanego kału, dzięki czemu przeciwdziałają zaparciom [12]. FOS charakteryzują się niską wartością energetyczną [8], dzięki czemu mogą być wykorzystywane do produkcji słodzików, batonów dietetycznych i czekolad [12]. Ponadto dodatek tych cukrów nie powoduje istotnych zmian sensorycznych w produktach. Powyższe właściwości uzasadniają zainteresowanie fruktooligosacharydami jako czynnikiem osmoaktywnym, mogącym nadawać pożądane właściwości prebiotyczne odwadnianym owocom.

Celem pracy było określenie wpływu parametrów procesu osmotycznego odwadniania (skład roztworu, temperatura i czas dehydratacji) w roztworach zawierających fruktooligosacharydy na zmiany zawartości FOS, di- i monosacharydów w wiśniach oraz w porzeczkach.

Material i metody badań

Materiałem do badań były mrożone wiśnie odmiany Łutówka oraz mrożone czarne porzeczki odmiany Tiben dostarczone przez Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa w Skierniewicach.

Owadnianie osmotyczne wiśni i porzeczek w warunkach statycznych

Zamrożone owoce, w ilości $14 \pm 0,5$ g w przypadku wiśni, oraz $8 \pm 0,5$ g w przypadku porzeczek, umieszczano w zakręcanych pojemnikach. Do każdego pojemnika dodawano roztwór hipertoniczny (preparat FOS o składzie: fruktooligosacharydy –

31,0 g/100 g, sacharoza – 7,3 g/100 g, fruktoza – 1,6 g/100 g, glukoza – 20,1 g/100 g) w takiej ilości, aby stosunek owoc : roztwór wynosił 1 : 4. Próby przetrzymywano w temp. 25, 40, 50 i 60 °C przez 24 h. Następnie owoce przenoszono na sito, zanurzano w wodzie destylowanej, osuszano na bibule i rozdrabniano. Część owoców wykorzystywano do oznaczania suchej masy, a resztę do oznaczenia sacharydów.

Odwadnianie osmotyczne wiśni w procesie ze wstrząsaniem

Naważki $13,5 \pm 2$ g owoców zamrożonych umieszczano w zakręcanych pojemnikach. Prowadzono pięć wariantów procesu, stosując roztwory hipertoniczne o różnym składzie: a) 100 % preparatu FOS, b) mieszanina: 50 % sacharozy i 50 % preparatu FOS, c) mieszanina: 75 % sacharozy i 25 % preparatu FOS, d) mieszanina: 85 % sacharozy i 15 % preparatu FOS, e) mieszanina: 95 % sacharozy i 5 % preparatu FOS. Do każdego pojemnika dodawano roztwór w ilości czterokrotnie większej niż ilość owoców. We wszystkich wariantach stosowano temp. 40 °C oraz roztwory sacharozy i FOS o stężeniu $60 \pm 0,5$ % (m/m). Po zamknięciu pojemniki wstawiano do wytrząsarki z kontrolowaną temperaturą, w której wstrząsano je z częstotliwością 210 ± 10 cykli/min. W trakcie odwadniania pobierano próbki po 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 min. Owoce płukano w wodzie destylowanej, osuszano na bibule i rozdrabniano. Część próbek wykorzystywano do oznaczania suchej masy zgodnie z PN [29], drugą do oznaczenia sacharydów.

Odwadnianie osmotyczne porzeczek w procesie ze wstrząsaniem

Zamrożone porzeczki odważano w ilości 11 ± 2 g i umieszczano w zakręcanych pojemnikach. Do każdego pojemnika dodawano roztwór hipertoniczny (preparat FOS) w ilości czterokrotnie większej niż ilość owoców. Po zamknięciu pojemniki wstawiano do wytrząsarki i wstrząsano z częstotliwością 210 ± 10 cykli/min. Odwadnianie prowadzono w temp. 40, 50, 60, 70 i 80 °C. W trakcie odwadniania w temp. 40, 50 i 60 °C próbki pobierano po 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300 min, a w przypadku stosowania temp. 70 i 80 °C, po 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 i 75 min. Owoce płukano w wodzie destylowanej, osuszano na bibule i rozdrabniano. Część próbek wykorzystywano do oznaczania suchej masy, a resztę do oznaczenia sacharydów.

Oznaczanie zawartości sacharydów metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej HPLC

Owoce po osmotycznym odwadnianiu poddawano ekstrakcji wodnej. Odważone, rozdrobnione owoce przenoszono do zlewek, dodawano 40 ml wody destylowanej oraz 1 g węglanu wapnia. Zawartość zlewki ogrzewano do wrzenia, a następnie chłodzono. Zawartość zlewki przenoszono do kolby o pojemności 50 ml, dopełniano wodą do kreski; sączono i wirowano. Roztwór odsalano w kolumnach jonitowych wypelnionych

mieszanią kationitu i anionitu w stosunku 1 : 2. Analizę chromatograficzną wykonywano przy użyciu chromatografu HPLC firmy Knauer. Warunki rozdziału: kolumna wapniowa Aminex HPX-87C, faza ruchoma : woda, przepływ 0,5 ml/min, temp. 85 °C, detektor RI.

Wyniki i dyskusja

Największe różnice w składzie materiału wyjściowego dotyczyły sacharozy, której w czarnych porzeczkach było 4,5 razy więcej niż w wiśniach. Zawartość fruktozy była zbliżona w wiśniach i porzeczkach, natomiast glukozy w wiśniach było dwa razy więcej niż w czarnych porzeczkach (tab. 1).

T a b e l a 1

Zawartość sacharydów w owocach świeżych.
Content of saccharides in fresh fruit.

Owoce Fruit	Sacharydy / Saccharides [g/100 g]			
	Sacharoza Saccharose	Fruktoza Fructose	Glukoza Glucose	Sorbitol Sorbitol
Wiśnie Sour cherries	0,34	4,11	5,33	2,72
Czarne porzeczki Blackcurrants	1,53	3,52	2,21	–

W pierwszym etapie badań sprawdzono stabilność fruktooligosacharydów w warunkach odwadniania osmotycznego, prowadzonego z wykorzystaniem koncentratu FOS. Owoce przetrzymywano w roztworze hipertonicznym przez 24 h. Symulowano w ten sposób (w pewnym stopniu) warunki wielokrotnego wykorzystania roztworu do odwadniania owoców. Ponowne wykorzystanie czynnika osmotycznego jest niezbędne z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ zagospodarowanie wykorzystanego syropu jest jednym z najistotniejszych problemów związanych z odwadnianiem osmotycznym [32]. Wielokrotne użycie koncentratu fruktooligosacharydów, jako czynnika osmotycznego, wiąże się z hydrolizą sacharydów spowodowaną obecnością kwasów przenikających z owoców do roztworu [5]. Rozkład cukrów może być także powodowany oddziaływaniem enzymów, co potwierdzili Viberg i Sjöholm [32] w odniesieniu do osmotycznego odwadniania truskawek.

Zarówno wiśnie, jak i porzeczki, zawierają duże ilości kwasów – wiśnie ok. 1,3 %, porzeczki ok. 3 % w przeliczeniu na kwas jabłkowy [14]. Spodziewać się można zatem obniżonej stabilności sacharydów w środowisku osmotycznego odwadniania, zwłaszcza, jeśli jest prowadzone w podwyższonej temperaturze.

W tab. 2. zamieszczono wyniki doświadczeń dotyczących stabilności sacharydów w różnych zakresach temperatury odwadniania (25 ÷ 60 °C). Podwyższanie temperatury powodowało zmniejszanie zawartości fruktooligosacharydów w owocach odwadnianych. W przypadku porzeczek po odwadnianiu osmotycznym w temp. 25 °C zawartość FOS wynosiła 16,6 g/100 g produktu. Temperatura 60 °C prowadziła do zmniejszenia zawartości oligosacharydów do poziomu 5,5 g/100 g produktu. Zawartość FOS w wiśniach odwadnianych w temp. 25 °C wynosiła 9,4 g/100 g, a w 60 °C jedynie 1,2 g/100 g produktu. Wiadomo jest, że wyższa temperatura intensyfikuje wymianę masy (a więc i wnikanie czynnika osmotycznego do materiału odwadnianego), dlatego można było się spodziewać większych zawartości fruktooligosacharydów w materiale odwadnianym w wyższej temperaturze (przynajmniej w pewnym zakresie temperatury). Tego typu zjawisko obserwowano w odniesieniu do jabłek i śliwek, gdzie w temp. 40 °C uzyskano większą zawartość FOS w materiale odwodnionym niż w 25 °C [16].

W przypadku porzeczek i wiśni zmniejszenie zawartości FOS nastąpiło już w temp. 40 °C, co w połączeniu z mniejszą zawartością fruktooligosacharydów w roztworze po odwodnieniu (zmniejszenie z 29 g do 14,4 g/100 g przy wzroście temp. z 25 do 60 °C w przypadku porzeczek i zmniejszenie z 29,2 g do 13,2 g/100 g przy analogicznym wzroście temperatury w przypadku wiśni) świadczy o hydrolizie cukrów mającej miejsce podczas osmotycznego odwadniania. Zjawisku temu towarzyszy wzrost zawartości fruktozy, w porzeczkach z 4,7 g do 13,3 g/100 g, w wiśniach z 13,6 g do 24,1 g/100 g oraz wzrost zawartości glukozy, w przypadku porzeczek z 12,7 g do 17,5 g/100 g, w wiśniach z 19,7 g do 27,2 g/100 g. Wzrost zawartości monosacharydów obserwowany był także w roztworach po odwadnianiu.

Na rys. 1 - 4 przedstawiono całkowitą zawartość fruktooligosacharydów, sacharozy, fruktozy i glukozy w układzie (owoce + roztwór hipertoniczny).

W przypadku wiśni 24-godzinne odwadnianie w temp. 25 °C spowodowało hydrolizę 10 % fruktooligosacharydów. Podwyższenie temp. do 40 °C zwiększyło stopień hydrolizy do ponad 37 %. Dalsze podwyższenie temp. do 50 °C spowodowało hydrolizę 42 % FOS, a w 60 °C hydrolizie uległo 62 % fruktooligosacharydów.

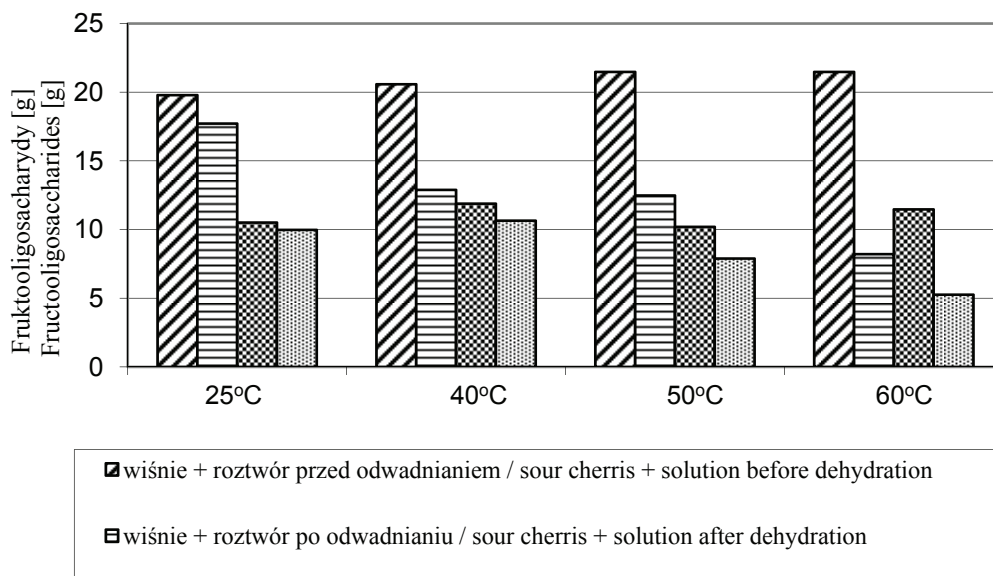
W porzeczkach osmotyczne odwadnianie w temp. 25 °C spowodowało 5 % hydrolizę FOS, w 40 °C hydrolizie uległo 10 % fruktooligosacharydów, w 50 °C 23 % FOS, natomiast w 60 °C 54 % FOS uległo hydrolizie. Z przedstawionych danych wynika, że w porzeczkach hydroliza przebiegała wolniej (co w zestawieniu z kwasowością materiału, wyższą w porzeczkach niż w wiśniach, sugeruje, iż kwasy nie były jedynym czynnikiem odpowiedzialnym za rozpad FOS; zachodzi tu także hydroliza enzymatyczna). Utrata fruktooligosacharydów, nawet rzędu kilkudziesięciu procent, może zatem wystąpić w przypadku wielokrotnego użycia roztworów FOS jako czynnika osmotycznego, gdy łączny czas odwadniania wynosiłby około 24 h.

Tabela 2

Zawartość sacharydów w owocach i roztworach hipertonicznych przed i po 24-godzinnym odwadnianiu osmotycznym. Warunki odwadniania: temperatura 25, 40, 50, 60 °C, stosunek owoce/roztwór 1/4.

Content of saccharides in fruit and in hypertonic solutions before and after 24-hour osmotic dehydration. Dehydration conditions: temperature 25, 40, 50, and 60°C, fruit/syrup ratio: 1/4.

T	Porzeczki przed odwadnianiem / Blackcurrants before dehydration										Porzeczki po odwadnianiu / Blackcurrants after dehydration										
	Owoc / Fruit					Roztwór / Solution					Owoc / Fruit					Roztwór / Solution					
	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	
25°C					10,5	2,50	1,14	5,78		1,22	0,36	0,34	1,27	8,76	2,17	1,19	4,89				
40°C	0	0,30	0,68	0,43	11,9	2,83	1,29	6,54		1,17	0,41	0,56	1,06	9,48	1,97	1,61	5,66				
50°C					10,2	2,43	1,11	5,62		0,83	0,35	0,59	1,17	7,06	2,41	1,87	4,88				
60°C					11,5	2,73	1,25	6,31		0,40	0,52	0,97	0,93	4,86	3,63	3,75	6,10				
T	Porzeczki przed odwadnianiem / Blackcurrants before dehydration										Porzeczki po odwadnianiu / Blackcurrants after dehydration										
	Owoc / Fruit					Roztwór / Solution					Owoc / Fruit					Roztwór / Solution					
	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	
25°C					35,0	8,32	3,81	19,2		16,6	4,91	4,67	12,7	29,0	7,19	3,95	16,2				
40°C	0	1,53	3,52	2,21	35,0	8,32	3,81	19,2		14,3	5,06	6,89	14,4	27,6	5,73	4,68	16,5				
50°C					35,0	8,32	3,81	19,2		12,0	5,02	8,54	15,3	23,9	8,13	6,31	16,5				
60°C					35,0	8,32	3,81	19,2		5,51	7,17	13,3	17,5	14,4	10,74	11,12	18,1				
T	Wiśnie przed odwadnianiem / Sour cherries before dehydration										Wiśnie po odwadnianiu / Sour cherries after dehydration										
	Owoc / Fruit					Roztwór / Solution					Owoc / Fruit					Roztwór / Solution					
	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	FOS [g]	Sach [g]	Fruk [g]	Glu [g]	
25°C					19,8	5,13	2,79	11,0		1,36	0,24	1,97	2,84	16,4	3,87	3,17	9,96				
40°C	0	0,05	0,57	0,74	20,6	4,72	2,11	10,7		0,37	0,11	1,94	2,30	12,5	2,25	5,38	10,7				
50°C					21,5	4,92	2,20	11,2		0,20	0,11	2,12	2,47	12,3	2,41	7,03	12,4				
60°C					21,5	4,92	2,20	11,2		0,14	0,13	2,78	3,13	8,07	1,78	9,77	13,9				
T	Wiśnie przed odwadnianiem / Sour cherries before dehydration										Wiśnie po odwadnianiu / Sour cherries after dehydration										
	Owoc / Fruit					Roztwór / Solution					Owoc / Fruit					Roztwór / Solution					
	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	FOS [g/100g]	Sach [g/100g]	Fruk [g/100g]	Glu [g/100g]	
25°C					35,1	9,09	4,94	19,4		9,45	1,67	13,7	19,7	29,2	6,89	5,64	17,8				
40°C	0	0,34	4,11	5,33	37,0	8,48	3,79	19,3		3,19	0,97	16,9	19,9	21,6	3,88	18,5					
50°C					37,0	8,48	3,79	19,3		1,66	0,89	17,4	20,3	20,4	4,00	20,6					
60°C					37,0	8,48	3,72	19,3		1,22	1,14	24,1	27,2	13,2	2,92	16,0	22,9				

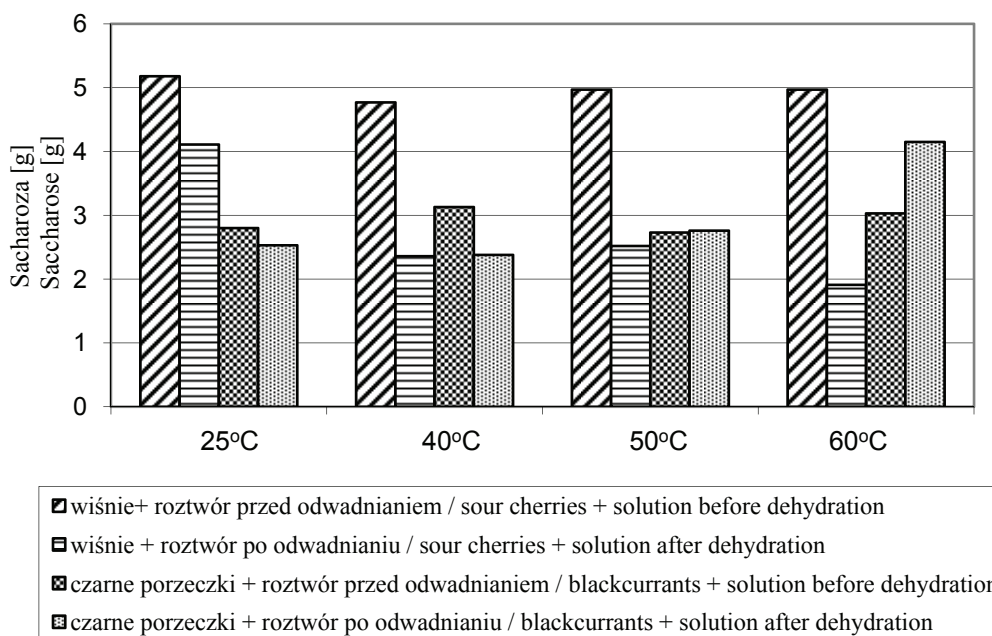


Rys. 1. Sumaryczna zawartość fruktooligosacharydów w owocach i roztworze hipertonicznym przed i po odwadnianiu osmotycznym w różnych wartościach temperatury.

Fig. 1. Total content of fructooligosaccharides in fruit and in hypertonic solution before and after osmotic dehydration at various temperatures.

W przypadku wiśni zmniejszeniu zawartości FOS w układzie towarzyszyło zwiększenie zawartości fruktozy o 53 % po odwadnianiu w temp. 25 °C oraz ponad 3,5-krotnie w temp. 60 °C. Jednocześnie w przypadku odwadniania porzeczek zawartość fruktozy w układzie pozostała na zbliżonym poziomie, wówczas gdy proces prowadzono w 25 °C. Gdy zastosowano temp. 60 °C zawartość fruktozy zwiększyła się blisko 2,5-krotnie (rys. 3).

Odwadnianie statyczne przebiega wolniej niż odwadnianie z mieszaniem, ponieważ ruch czynnika osmotycznego istotnie wpływa na transport masy między roztworem a odwadnianym materiałem [9]. W następnym etapie zastosowano zatem odwadnianie z mieszaniem (wstrząsanie 210 ± 10 cykli/min). Doświadczenie prowadzono w 40 °C, gdyż temperatura wyższa może przyczynić się do intensyfikowania niekorzystnych zmian w owocach, takich jak utrata aromatu czy procesy enzymatycznego brunatnienia [35].



Rys. 2. Sumaryczna zawartość sacharozy w owocach i roztworze hipertonicznym przed i po odwadnianiu osmotycznym w różnych wartościach temperatury.

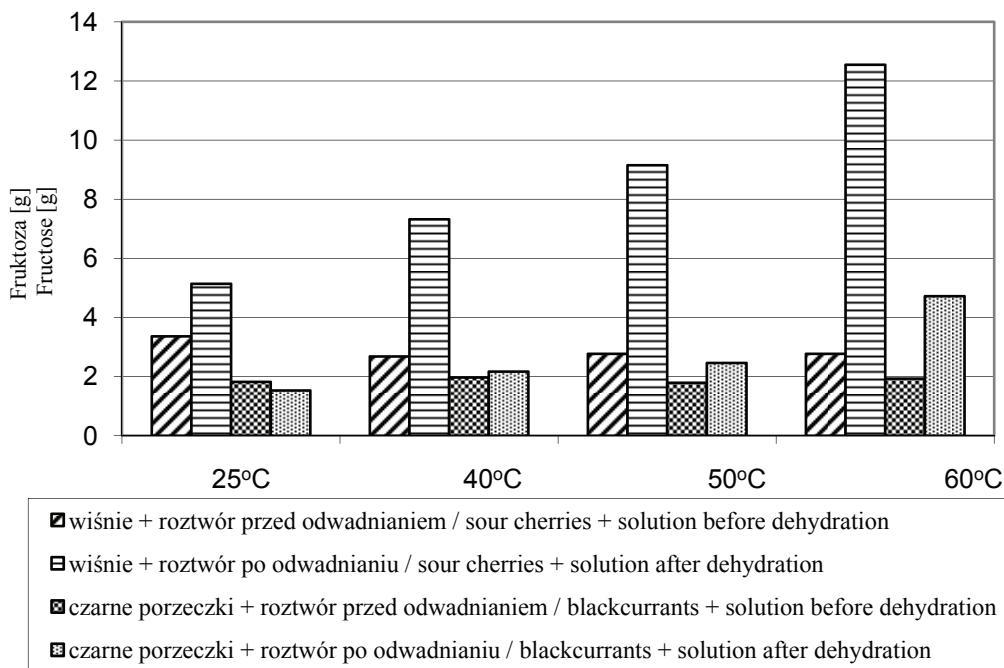
Fig. 2. Total content of saccharose in fruit and in hypertonic solution before and after osmotic dehydration at various temperatures.

Roztwór hipertoniczny w doświadczeniach stosowano w ilości 4-krotnie większej niż ilość owoców. Na taką proporcję wskazuje się jako na zapewniającą już właściwy przebieg procesu odwadniania z punktu widzenia zabezpieczenia roztworu przed jego nadmiernym rozcieńczeniem wodą z owoców [25, 26, 27, 28, 30].

Przebadano wpływ zawartości fruktooligosacharydów w roztworze na przebieg odwadniania osmotycznego oraz ich zawartość w materiale odwadnianym. Skład roztworu używanego do odwadniania wpływa w pewnym stopniu na szybkość przyrostu suchej substancji (rys. 5).

Roztwór zawierający najwięcej sacharydów o wyższych masach cząsteczkowych (kestoza, nystoza) – będący koncentratem FOS bez dodatku sacharozy – powodował wolniejszy przyrost suchej substancji materiału niż syrop o większym udziale sacharozy (powstały w wyniku mieszania w różnych proporcjach sacharozy i koncentratu FOS). Wzrost zawartości suchej substancji jest wypadkową dwóch zjawisk – wnikania cukrów z roztworu hipertonicznego do owoców oraz transportu wody w kierunku przeciwnym. Roztwory zawierające takie same ilości suchej substancji, ale o większym

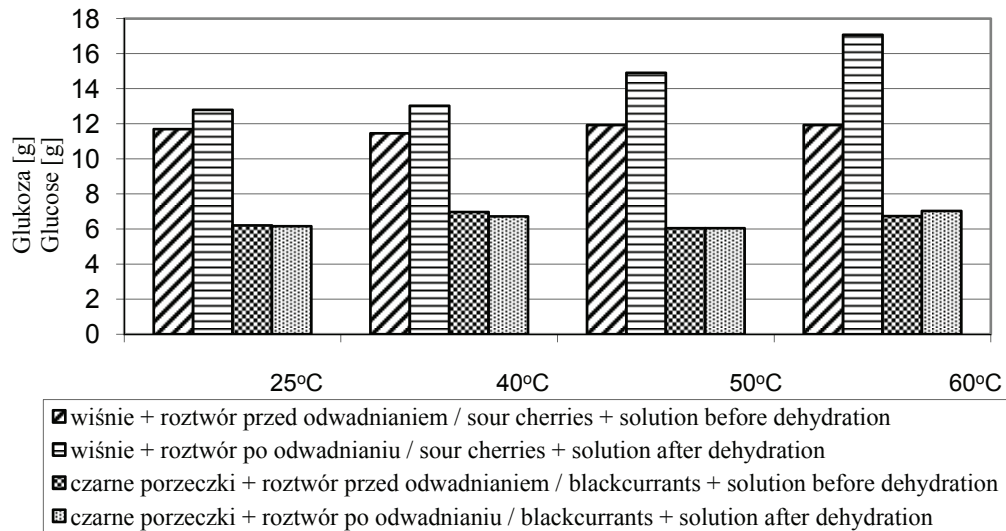
udziale mniejszych cząsteczek, charakteryzują się wyższym ciśnieniem osmotycznym, a więc powodują silniejszy efekt odwadniający. Z drugiej strony, cząsteczki czynnika osmotycznego o mniejszej masie cząsteczkowej łatwiej mogą wnikać do owoców, co także prowadzi do szybszego wzrostu zawartości suchej substancji [21].



Rys. 3. Sumaryczna zawartość fruktozy w owocach i roztworze hipertonicznym przed i po odwadnianiu osmotycznym w różnych wartościach temperatury.

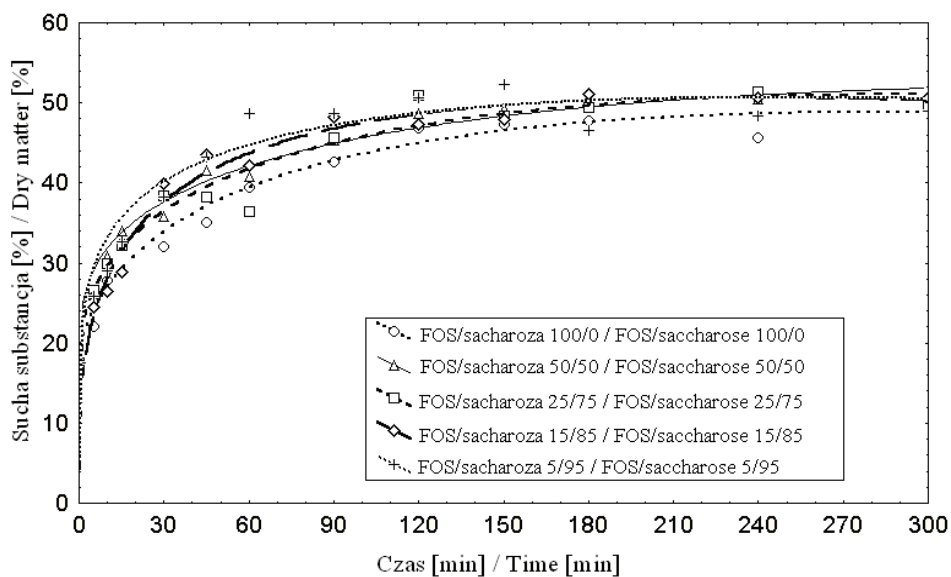
Fig. 3. Total content of fructose in fruit and in hypertonic solution before and after osmotic dehydration at various temperatures.

W obrębie samych mieszanin (koncentratu FOS i sacharozy) różnice szybkości przyrostu suchej substancji były niewielkie. Sucha substancja wzrosła w ciągu 1 h z 17,6 do około 40 %. Tak wstępnie odwodniony materiał może być kierowany do dalszego suszenia np. metodą konwekcyjną, która ze swej natury jest energochłonna. Wstępne odwadnianie osmotyczne pozwala zmniejszyć koszty związane z nakładem energii [22].



Rys. 4. Sumaryczna zawartość glukozy w owocach i roztworze hipertonicznym przed i po odwadnianiu osmotycznym w różnych zakresach temperatury.

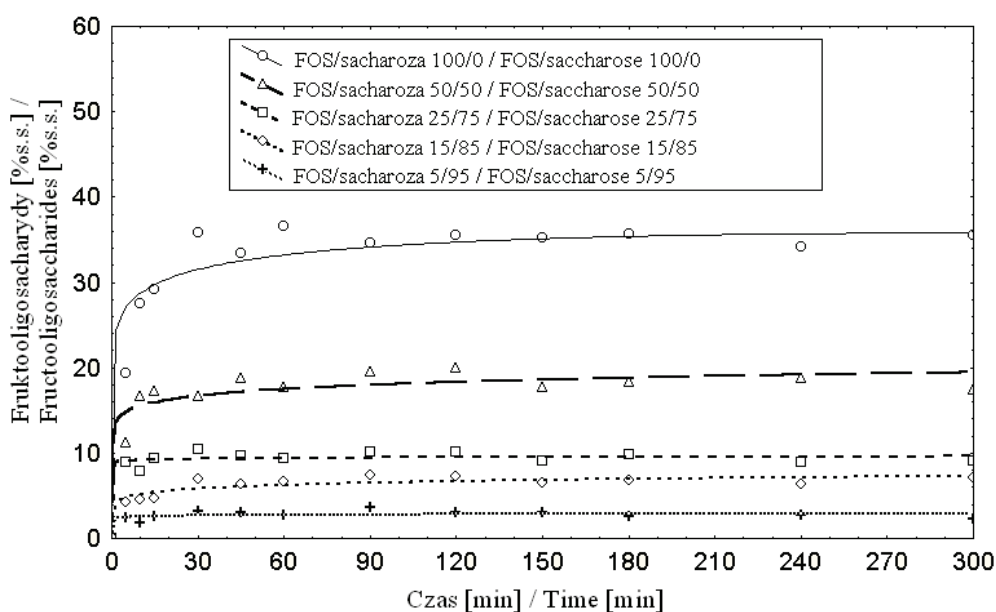
Fig. 4. Total content of glucose in fruit and in hypertonic solution before and after osmotic dehydration at various temperatures.



Rys. 5. Zmiana zawartości suchej substancji w wiśniach odwadnianych osmotycznie w mieszaninach koncentratu FOS i sacharozy. Warunki procesu: wstrząsanie 210 ± 10 cykli/min, temp. 40°C , owoce/roztwór hipertoniczny 1/4.

Fig. 5. Change in the content of dry matter of sour cherries being osmotically dehydrated in mixtures of FOS preparation and saccharose. Process conditions: shaking 210 ± 10 cycles/min; temperature 40°C , fruit/hypertonic solution ratio 1/4.

Okres 60 min jest również wystarczający do uzyskania maksymalnej ilości fruktooligosacharydów w sumie cukrów wynoszącej od 2,9 do 35,5 % (uzależnionej od ilości FOS w użytym roztworze). Dane przedstawione na rys. 6. wskazują, że w przypadku wiśni maksymalną zawartość FOS można osiągnąć już po 15 min, z tym że zawartość suchej substancji owoców wahała się wtedy od 26 do 35 %.

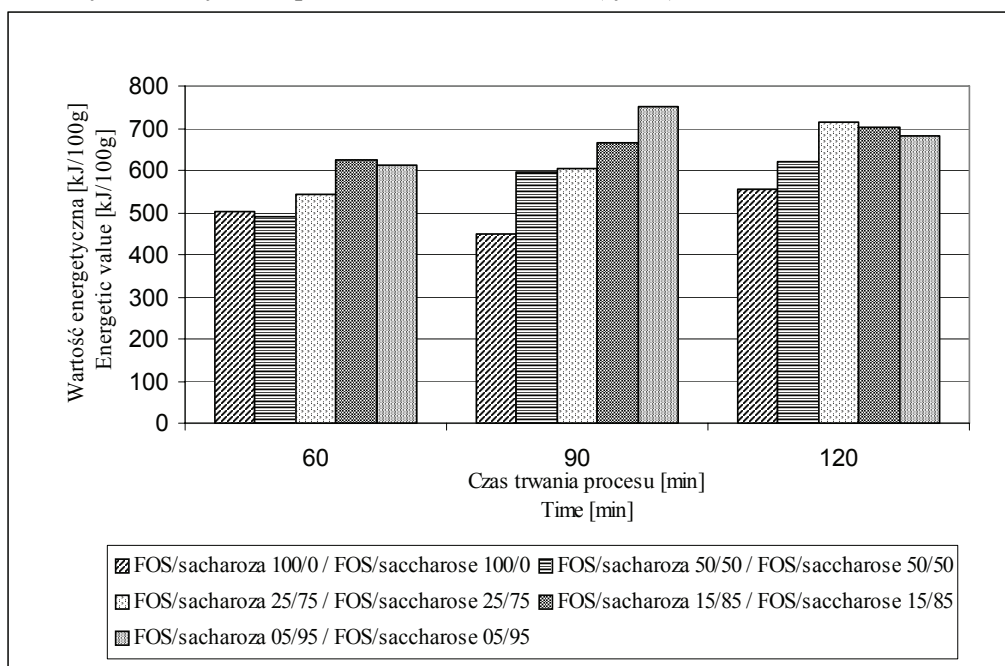


Rys. 6. Udział fruktooligosacharydów w sumie cukrów w wiśniach odwadnianych osmotycznie w mieszaninach koncentratu FOS i sacharozy. Warunki procesu: wstrząsanie 210 ± 10 cykli/min, temp. 40°C , owoce/roztwór hipertoniczny 1/4.

Fig. 6. Content of fructooligosaccharide in the total quantity of carbohydrates in sour cherries being osmotically dehydrated in the mixtures of FOS preparation and saccharose. Process conditions: shaking 210 ± 10 cycles/min; temperature 40°C ; fruit/hypertonic solution ratio 1/4.

Zawartość FOS na poziomie około 32 % sumy sacharydów, odpowiadała zawartości fruktanów $14,1 \text{ g}/100 \text{ g}$ produktu. Owoce zawierające tak dużą ilość oligosacharydów mogą być z powodzeniem stosowane jako składniki produktów typu musli, w których występują w małych ilościach. W produktach do bezpośredniego spożycia (typu „snack”) byłyby to poziomy zbyt wysokie, gdyż codzienne spożycie FOS nie powinno przekraczać $2,5 \div 10 \text{ g}$ [20]. Zbyt duża dawka oligosacharydów prowadzi do zaburzeń gastrycznych [12]. W związku z tym przeprowadzono doświadczenia z roztworami o mniejszej zawartości fruktooligosacharydów. Stosując mieszaninę FOS/sacharoza 5/95 uzyskano produkt zawierający $1,4 \text{ g}/100 \text{ g}$ FOS, co można uznać za bezpieczny poziom przy jednorazowym spożyciu większej ilości produktu (np. 100 g).

Używanie roztworu hipertonicznego o wyższej zawartości FOS przynosi dodatkowy efekt obniżenia wartości kalorycznej odwadnianego materiału. Wartość energetyczna cukrów zawartych w 100 g produktu odwadnianego w ciągu 60 min, w roztworze 5/95 koncentratu FOS/sacharoza jest o 22 % większa od wartości energetycznej cukrów w produkcie odwadnianym w roztworze 100/0 koncentratu FOS/sacharoza. Podobny efekt uzyskano po 120 min odwadniania (rys. 7).



Rys. 7. Wartość energetyczna frakcji sacharydów w owocach odwadnianych w mieszaninach o różnym udziale preparatu FOS i sacharozy, w różnym czasie.

Fig. 7. Caloric value of saccharide fraction in fruit being dehydrated in the mixtures showing different ratio between FOS preparation and saccharose, during various time periods.

W dalszym etapie badano odwadnianie osmotyczne porzeczek w temp. 40 °C. Okazało się, że odwadnianie zachodziło bardzo mało efektywnie, co można przypisać ochronnemu działaniu skórki, która stanowi dla wody trudną do pokonania barierę. Po 60 min sucha substancja wzrosła zaledwie do 19 % z początkowych 18,1 %. Zawartość fruktooligosacharydów wyniosła około 3,1 % sumy cukrów. W celu przyspieszenia procesu odwadniania podwyższono temperaturę. W temp. 50 °C nie uzyskano znacznego przyrostu suchej substancji, natomiast niewiele wyższa była zawartość FOS, około 4 %. Proces odwadniania przebiegał znacznie szybciej dopiero w temp. 60 °C. Po 60 min zawartość suchej substancji wzrosła do około 23 %. Jeszcze wyższy wzrost odnotowano w przypadku podwyższenia temp. do 70 °C (około 27 %) i 80 °C (około 37 %).

Wnioski

1. Temperatura wpływa na stabilność fruktooligosacharydów (FOS) podczas osmotycznego odwadniania wiśni i czarnych porzeczek – im wyższa temperatura tym szybciej zachodzi hydroliza FOS. Rozkład jest intensywniejszy w przypadku dehydratacji wiśni.
2. Odwodnione w koncentratkach FOS mrożone wiśnie zawierają więcej fruktooligosacharydów niż odwodnione w tych samych warunkach porzeczek, które są materiałem trudno poddającym się odwadnianiu osmotycznemu i wymagają zastosowania temperatury minimum 60 °C.
3. Dodatek fruktooligosacharydów: kestozy i nystozy do roztworu sacharozy spowalnia proces dehydratacji owoców.
4. Zastąpienie 50 % sacharozy fruktooligosacharydami (nystozą i ketozą) powoduje zmniejszenie wartości energetycznej cukrów zawartych w produktach odwodnionych o ponad 22 %.

Literatura

- [1] ADA REPORTS: Position of the American Dietetic Association Functional foods. *J. Am. Diet. Assoc.*, 1999, **10**, 1278-1285.
- [2] Alvarez C.A., Aguerre R., Gómez R., Yidaes S., Alzamora S.M., Gerschenson L.N.: Air dehydration of strawberries: effect of blanching and osmotic pre-treatments on the kinetics of moisture transport. *J. Food Eng.*, 1995, **25**, 167-178.
- [3] Amarowicz R.: Znaczenie żywieniowe oligosacharydów. *Roczn. PZH*, 1999, **50**, 89-95.
- [4] Andersson H.B., Ellegard L.H., Bosaeus I.G.: Non-digestibility characteristics of inulin and oligofructose in humans. *J. Nutr.*, 1999, **129**, 1428S.
- [5] Bolin H.R., Huxol C.C., Jackson R., Ng K.C.: Effects of osmotic agents and concentration on fruit quality. *J. Food Sci.*, 1983, **48**, 202-205.
- [6] Bornet F., Achour L., Bourne Y., Mottos M., Vahedi K., Salfati J., Pochart P., Flourie B., Rambaud J.C.: Four weeks ingestion of short-chain fructooligosaccharides increase fecal bifidobacteria and cholesterol's concentration in healthy elderly volunteers. *Proc. Int. Symp. „Non – digestible oligosaccharides: food for the colon?”* 1997, Wageningen, the Netherlands, p. 161.
- [7] Bornet F., Bourne Y., Vahedi K., Achour L., Salfati J., Martens P., Flourie B., Rambaud J. C.: Short-chain fructooligosaccharides administration increase faecal bifidobacteria in healthy humans with a dose-respons relation. *Proc. Intern. Symp. „Non – digestible oligosaccharides: healthy, food for the colon?”* 1997, Wageningen, the Netherlands, p. 160
- [8] Bornet F.R.J., Brouns F., Tashiro Y., Duvillier V.: Nutritional aspects of short-chain fructooligosaccharides: natural occurrence, chemistry, physiology and health implications. *Digest Liver Dis*, 2002, **34** (suppl. 2), S111-120.
- [9] Chiralt A., Talers P.: Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *J. Food Eng.*, 2005, **67**, 167-177.
- [10] Florowska A., Krygier K.: Zastosowanie nietrawionych oligosacharydów w produktach spożywczych. *Przem. Spoż.*, 2004, **5**, 44-46.

- [11] Gibson G.R.: Dietary modulation of the human gut microflora using the prebiotics oligofructose and inulin. *J. Nutr.* 1999, **129**, 1438S.
- [12] Jarczyk A., Berdowski J.B.: Przetwórstwo owoców i warzyw. Część I, WSiP, Warszawa 1997, s. 21.
- [13] Kamińska A., Lewicki P.P.: Metoda dehydrofreezing (D-F) – znaczenie i przyszłość. *Przem. Spoż.*, 2005, **9**, 12-14.
- [14] Klewicki R., Uczciwek M.: Effect on osmotic dehydration in fructose, sucrose and fructooligosaccharide solutions on the content of saccharides in plums and apples and their energy value. *Agric. Food Sci.*, przyjęte do druku.
- [15] Kowalska H., Lenart A.: The influence of plant tissue structure on osmotic dehydration. 12th Int. Drying Symp. IDS, 2000, Netherlands, Hague, p. 242.
- [16] Król B., Klewicki R.: Wytwarzanie koncentratów fruktooligosacharydów (FOS) o zróżnicowanym składzie oligomerycznym z wykorzystaniem enzymatycznej biokonwersji sacharozy. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **2 (43)**, 5-21.
- [17] Król B., Zduńczyk Z.: Biokonwersja sacharozy i inuliny do prebiotycznych β -fruktooligosacharydów. W: Enzymatyczna modyfikacja składników żywności – pod red. E. Kołakowskiego, W. Bednarskiego i S. Bieleckiego, Wyd. AR, Szczecin 2005, ss. 451-461.
- [18] Lazarides H.N., Katsanidis E., Nicolaidis A.: Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *J. Food Eng.*, 1995, **25**, 151-165.
- [19] Lenart A., Lewicki Piotr P.P.: Owoce i warzywa utrwalane sposobem osmotyczno-owiewowym. *Przem. Spoż.*, 1996, **8**, 70-72.
- [20] Lenart A.: Osmotyczne odwadnianie jako obróbka wstępna przed suszeniem konwekcyjnym owoców i warzyw. *Przem. Spoż.*, 1990, **12**, 307-309.
- [21] Lenart A.: Sacharoza jako czynnik modyfikujący osmotyczno-owiewowe utrwalanie jabłek. Wyd. SGGW-AR, Warszawa 1988, ss. 9-29.
- [22] Lewicki P., Porzecka-Pawlak R.: Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *J. Food Eng.*, 2005, **66**, 43-50.
- [23] Matuska M., Lenart A., Lazarides N.H.: On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *J. Food Eng.*, 2006, **72**, 85-91.
- [24] Ogonek A., Lenart A.: Wpływ selektywnych powłok jadalnych na odwadnianie osmotyczne truskawek. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2001, **3 (28)**, 62-73.
- [25] Piotrowski D., Lenart A., Wardzyński A.: Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. *J. Food Eng.*, 2004, **65**, 519-525.
- [26] PN-90 A –75101/03. Oznaczanie zawartości suchej masy metodą wagową.
- [27] Rastogi N.K., Raghavarao K.S.M.S., Niranjana K., Knorr D.: Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 2002, **13**, 48-59.
- [28] Rosa M.D., Giroux F.: Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *J. Food Eng.*, 2001, **49**, 223-236.
- [29] Saito Y., Takano T., Rowland I.: Effects of soybean oligosaccharides on the microflora *in vitro* culture. *Microbial Ecol. Health Dis.*, 1992, **5**, 105.
- [30] Spiegel J.E., Rose R., Karabell P., Frankos Vasilios H., Schmitt D.F.: Safety and benefits fructooligosaccharides as food ingredients. *Food Technol.*, 1994, **1**, 85-89.
- [31] Torreggiani D.: Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Res. Int.*, 1993, **26**, 59-68.
- [32] Viberg U., Sjöholm I.: Sucrose Inversion During Osmotic Pre-treatment of Strawberries. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 1998, **31**, 546-551.

**OSMOTIC DEHYDRATION OF FRUITS IN SOLUTIONS CONTAINING
FRUCTOOLIGOSACCHARIDES**

S u m m a r y

The objective of the study was to determine the effect of temperature, time, and composition of dehydrating solution on the content of saccharides in fruits being dehydrated.

In the experiments, hypertonic solutions containing fructooligosaccharides, saccharose, glucose, and fructose were used to osmotically dehydrate frozen, stoned sour cherries (English Morello variety) and frozen blackcurrants (Tiben variety). Under the static conditions, dewatering was performed in different temperature ranges (25 - 60 °C) using a FOS preparation the quantity of which was four times as high as the quantity of fruit. When stirring was included in the process, sour cherries were dehydrated at 40 °C using a solution showing a varying FOS-to-saccharose ratio: 5/95, 15/85, 25/75, 50/50, and 100/0. The dehydration process of blackcurrants was performed at 40 - 80 °C and the FOS concentration was applied. It was proved that the temperature, time and the composition of the solution used significantly impacted the content of fructooligosaccharide in dried fruit. In the case of sour cherries, the best results, owing to fructooligosaccharides contained in the fruit (14.1 g/100 g) were obtained under the following conditions: temperature of 40 °C, the FOS preparation with no saccharose added applied as an osmotic substance. In the case of blackcurrants, it was found that the best conditions were as follows: temperature: 60 °C; FOS/saccharose ratio: 100/0; process time: 120 min, hypertonic solution: FOS preparation with no saccharose added (the content of fructooligosaccharide in the product: 3.2 g/100 g).

Key words: osmotic dehydration, fructooliosaccharides, sour cherries, blackcurrants ☒