

GRZEGORZ FIUTAK, EWA HAJDUK, MAGDA FILIPCZAK-FIUTAK,
RYSZARD MACURA, BOŻENA FIREK

WPLYW WYBRANYCH PROCESÓW TERMICZNYCH NA ZACHOWANIE WŁAŚCIWOŚCI PRZECIWUTLENIAJĄCYCH HOMOGENATÓW Z OWOCÓW JAGODOWYCH

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu różnych technik ogrzewania oraz zamrażania, rozmrażania i zamrażalniczego przechowywania na właściwości przeciwutleniające homogenatów z owoców jagodowych. Materiał do badań stanowiły homogenaty owocowe: truskawkowy, z czarnej porzeczki, aroniowy i żurawinowy. Surowce poddano obróbce termicznej: ogrzewaniu (z zastosowaniem kuchenki gazowej, mikrofalowej i urządzenia wielofunkcyjnego Thermomix) i zamrażaniu. Zamrożone próbki przechowywano w temp. -24 °C: 1) przez 3 dni – w celu określenia wpływu procesu zamrażania na właściwości przeciwutleniające homogenatów, 2) przez 90 dni – w celu określenia wpływu zamrażalniczego przechowywania na te właściwości. Przed badaniem próbki rozmrażano w powietrzu (temp. ok. 21 °C) i w kuchence mikrofalowej. W surowcach oznaczono zawartość witaminy C, siłę redukującą i zdolność neutralizowania wolnych rodników. Najwięcej witaminy C zawierał homogenat z czarnej porzeczki (6,4 mg/g s.m.), a najwyższą zdolnością redukującą charakteryzował się homogenat truskawkowy (670,2 mg kwasu askorbinowego/g s.m.). Homogenaty aroniowe poddane obróbce termicznej były najefektywniejszym neutralizatorem wolnych rodników ($EC_{50} = 1,52$ g s.m./g DPPH^{*}). Temperatura powyżej 95 °C spowodowała największe straty witaminy C w homogenacie z czarnej porzeczki, przy czym były one mniejsze w wyniku ogrzewania mikrofalowego niż tradycyjnego. Ogrzewanie wpłynęło na wzrost właściwości redukujących i zdolności neutralizowania wolnych rodników, przy czym był on większy podczas podgrzewania metodą tradycyjną. W wyniku zamrażalniczego składowania nastąpiło zmniejszenie zawartości witaminy C i zdolności neutralizowania wolnych rodników (DPPH^{*}). W przypadku siły redukującej wynik przechowywania zależał od surowca. W homogenatach z czarnej porzeczki i truskawki zaobserwowano zmniejszenie siły redukującej, a w żurawinowych i aroniowych – jej wzrost.

Słowa kluczowe: owoce jagodowe, ogrzewanie, zamrażanie, witamina C, DPPH^{*}, siła redukująca

*Dr inż. G. Fiutak, dr E. Hajduk, dr hab. inż. R. Macura, mgr inż. B. Firek, Katedra Chłodziwa i Koncentratów Spożywczych, mgr inż. M. Filipczak-Fiutak, Katedra Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych, Wydz. Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków.
Kontakt: g.fiutak@ur.krakow.pl*

Wprowadzenie

Owoce, warzywa i ich przetwory są źródłem wielu związków korzystnie wpływających na zdrowie i mających znaczenie w profilaktyce niezakaźnych chorób przewlekłych, takich jak: nowotwory, choroby serca, cukrzyca i otyłość, które określa się jako największe zagrożenie dla zdrowia człowieka w XXI w. Najcenniejsze pod względem zawartości związków biologicznie aktywnych są owoce jagodowe [9, 13]. Są one surowcem sezonowym, dostępnym przez cały rok tylko w postaci przetworzonej. Ze względu na skład owoce jagodowe zapewniają równowagę oksydacyjną [20] oraz chronią przed niektórymi chorobami [15]. Utrzymanie równowagi pomiędzy ilością wolnych rodników a układem przeciwutleniającym ma kluczowe znaczenie dla zdrowia, stąd też coraz szybciej rozwija się rynek żywności funkcjonalnej (bogatej w przeciwutleniacze) i wzrasta zainteresowanie konsumentów takimi produktami [8].

Celem pracy było określenie wpływu ogrzewania różnymi technikami oraz zamrażania, rozmrażania i zamrażalniczego przechowywania na właściwości przeciwutleniające homogenatów z owoców: truskawki, czarnej porzeczki, aronii i żurawiny.

Material i metody badań

Materiałem do badań były owoce truskawki, czarnej porzeczki, aronii i żurawiny zakupione na rynku w sprzedaży bezpośredniej. Owoce użyte do analiz charakteryzowały się pełną dojrzałością konsumpcyjną. Myto je i osuszano papierowymi ręcznikami. Truskawki i porzeczki odszypułkowano. Każdy gatunek owoców (ok. 2 kg) homogenizowano za pomocą homogenizatora ręcznego, model MR 4000 Plus (Braun, USA). Tak przygotowany materiał dzielono na dwie części. Pierwszą zamrażano w pojemnikach o poj. 100 ml zamykanych nakrętką, w temp. $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$, w zamrażarce bez owiewu powietrza. W celu określenia wpływu procesu zamrażania badany homogenat rozmrażano po 3 dniach, natomiast straty podczas zamrażalniczego przechowywania określano po 90 dniach. Podjęto także próbę określenia wpływu sposobu rozmrażania na aktywność przeciwutleniającą. Próbkę rozmrażano w kuchence mikrofalowej Whirlpool MT46 o mocy 90 W w ciągu ok. 7 min i w powietrzu, w temp. $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, przez ok. 90 min. Rozmrażanie uznawano za zakończone, gdy temperatura homogenatu osiągnęła $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Drugą część surowca (próbki o masie 100 g) poddawano działaniu wysokiej temperatury poprzez gotowanie go w naczyniach otwartych w różnych warunkach. Jako źródła ciepła stosowano: kuchenkę gazową, typ 3400 (Mastercook, Wrozamet, Polska) i urządzenie wielofunkcyjne Thermomix TM3 (Francja). Próbkę utrzymywano w stanie wrzenia przez 5 i 10 minut (dłuższe gotowanie powodowało zbyt duże ubytki wody). Ze względu na brak możliwości pomiaru temperatury w kuchence mikrofalowej oraz w urządzeniu Thermomix, wrzenie próby określano wizualnie (tab. 1).

Tabela 1. Warianty obróbki termicznej homogenatów z owoców jagodowych

Table 1. Variants of thermal treatment of berry fruit homogenates

Rodzaj homogenatu Type of homogenate	Źródło ogrzewania / Heating source		
	Kuchenka mikrofalowa Microwave oven [W / min]	Kuchenka gazowa Gas cooker [min]	Thermomix [min]
Truskawkowy Strawberry	90 / 5 90 / 10	5 10	– –
Z czarnej porzeczki Blackcurrant	90 / 5 90 / 10	5 10	– –
Aroniowy Chokeberry	90 / 5 90 / 10	– –	5 10
Żurawinowy Cranberry	90 / 5 90 / 10	– –	5 10

Wszystkie analizy homogenatów wykonano w trzech niezależnych powtórzeniach.

Zawartość witaminy C oznaczano według PN-A-04019:1998 [17].

Zdolność neutralizowania wolnych rodników oznaczano metodą spektrofotometryczną przy użyciu 2,2-difenylo-1-pikrylohydrozylu (DPPH[•]). Do kolby ze szlifem o pojemności 100 ml odważano 10 g produktu, dodawano 50 ml etanolu o stężeniu 95 % i przeprowadzano ekstrakcję przez 30 min w łaźni wodnej z wytrząsaniem w temp. 20 ± 2 °C. Po tym czasie zawartość kolby filtrowano przez sącdek bibułowy do kolby stożkowej. Ekstrakt rozcieńczano 95-procentowym alkoholem etylowym w zależności od potrzeb: 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 100 lub 150 razy. Rozcieńczoną próbkę o objętości 0,4 ml dodawano do 3,6 ml roztworu DPPH[•]. Procent pozostałych rodników obliczano z równania:

$$[\%] \text{ DPPH}^{\bullet} = 100 \cdot (A_{515} / A_{515T})$$

gdzie: A_{515} – absorbancja próbki badanej po 30 lub 60 min od dodania DPPH[•], A_{515T} – absorbancja próbki kontrolnej.

Na podstawie otrzymanych wyników sporządzano wykresy zależności pomiędzy ilością DPPH[•] pozostałego w próbce a stężeniem ekstraktu badanego produktu na gram DPPH[•] i odczytywano EC_{50} (*efficient concentration*). Absorbancję mierzono po 30 min od dodania DPPH[•] (przy $\lambda = 515 \text{ nm}$) [1].

Siłę redukującą oznaczano spektrofotometryczną metodą FRAP według Yena i Chena [21]. Do zlewki ze szlifem o pojemności 100 ml odważano 2 g produktu, dodawano 50 ml wody destylowanej i prowadzono ekstrakcję przez 1 h w łaźni wodnej z wytrząsaniem, w temp. 20 ± 2 °C. Po tym czasie zawartość kolby filtrowano przez sącdek. Następnie pobierano 1 ml przesącza, dodawano 2,5 ml 0,2 M buforu fosforanowego o pH 6,6 i 2,5 ml 1-procentowego $K_3Fe(CN)_6$. Próbkę inkubowano w temp.

50 °C przez 30 min. Po zakończeniu inkubacji dodawano 2,5 ml 10-procentowego TCA, próbki mieszano, a następnie pobierano 2,5 ml otrzymanej mieszaniny, dodawano 2,5 ml wody destylowanej i 0,5 ml 0,1-procentowego FeCl₃. Po 20 min mierzono absorbancję przy $\lambda = 700$ nm.

Suchą masę oznaczano na podstawie ubytku masy próbek metodą suszenia [16].

Do statystycznej analizy wyników zastosowano wieloczynnikową analizę wariancji. Istotność różnic między wartościami średnimi weryfikowano testem Duncana na poziomie istotności $p \leq 0,05$. Analizę statystyczną wykonano w programie Statistica 10.0 StatSoft.

Wyniki i dyskusja

Zawartość witaminy C wahała się od 3,0 mg/100 g świeżej masy (św.m.) w homogenacie aroniowym do 124,8 mg/100 g św.m. w produkcie z czarnej porzeczki, który miał jej 3 razy więcej niż homogenat truskawkowy i ponad 5 razy więcej niż żurawinowy (tab. 2). Drozdowski [6] stwierdził prawie dwukrotnie większą zawartość witaminy C w owocach czarnej porzeczki w porównaniu z wynikami uzyskanymi w badaniach własnych. Zawartość witaminy C zależy od wielu czynników, m.in. od warunków klimatycznych (nasłonecznienia, wielkości opadów) czy dojrzałości owoców. Należy podkreślić, że właściwości przeciwutleniające nie zależą tylko od zawartości witaminy C, ale również od ilości innych witamin, polifenoli, karotenoidów, chlorofilin, wapnia czy selenu [12].

Tabela 2. Zawartość witaminy C i siły redukującej w badanych homogenatach z owoców jagodowych
Table 2. Content of vitamin C in and reducing power of berry fruit homogenates analysed

Rodzaj homogenatu Type of homogenate	Witamina C / Vitamin C		Siła redukująca / Reducing power	
	w świeżej masie in fresh matter [mg/100 g]	w suchej masie in dry matter [mg/g]	w świeżej masie in fresh matter [mg AA/g]	w suchej masie in dry matter [mg AA/g]
Truskawkowy Strawberry	40,1 ^a ± 0,8	4,7 ^a ± 0,1	57,2 ^a ± 3,1	670,2 ^a ± 36,2
Z czarnej porzeczki Blackcurrant	124,8 ^b ± 3,3	6,4 ^b ± 0,2	90,9 ^b ± 5,3	467,6 ^b ± 27,1
Aroniowy / Chokeberry	3,0 ^c ± 0,5	0,13 ^c ± 0,02	118,5 ^c ± 0,8	499,8 ^b ± 3,4
Żurawinowy Cranberry	24,3 ^d ± 1,3	1,9 ^d ± 0,1	40,0 ^d ± 1,6	315,2 ^c ± 12,7

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values ± standard deviations; n = 3;

a, b, c – wartości średnie oznaczone różnymi literami w kolumnie różnią się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$) / mean values in columns and denoted by different letters differ statistically significantly ($p \leq 0.05$). AA – kwas askorbinowy / ascorbic acid.

Najbardziej niekorzystny wpływ ogrzewania na zawartość witaminy C zaobserwowano w przypadku homogenatu z czarnej porzeczki (tab. 3). Po 10 min gotowania tego homogenatu na kuchence gazowej stracie uległo 29,7 % zawartości witaminy C (w przeliczeniu na suchą masę). Dużo łagodniejsze w skutkach od ogrzewania tradycyjnego okazało się ogrzewanie w kuchence mikrofalowej, które wpłynęło na zmniejszenie zawartości tej witaminy tylko o 3,1 %. Mniejsze straty stwierdzono w czasie ogrzewania homogenatu truskawkowego – tj. od 5,5 % (ogrzewanie mikrofalowe) do 8,9 % (ogrzewanie na kuchence gazowej). Wydłużający się czas ogrzewania nie spowodował zmniejszenia zawartości witaminy C w owocach żurawiny i aronii, obserwowano jednak niewielki, lecz statystycznie nieistotny jej wzrost. Prawdopodobnie kwaśne środowisko podczas ogrzewania sprzyjało lepszej ekstrakcji i dostępności tego związku, co mogło mieć wpływ na zwiększenie zawartości witaminy C mimo jej dużej wrażliwości na wysoką temperaturę [11, 19]. W pozostałych wariantach zawartość witaminy C uległa zmniejszeniu pod wpływem ogrzewania. Jest to związane z procesami utleniania intensyfikowanymi wysoką temperaturą [3, 4]. Straty składników odżywczych powodowane ogrzewaniem zwiększają się wraz ze wzrostem temperatury i czasem jej oddziaływania [10]. Ich wielkość uzależniona jest także od kwasowości produktu oraz dostępu tlenu i światła [2].

Wykazano, że im dłużej surowiec owocowy był ogrzewany, tym więcej wody tracił. Zawartość suchej masy homogenatów podgrzewanych w różnych warunkach przedstawiono w tab. 4.

Podczas zamrażalniczego przechowywania straty witaminy C zależały przede wszystkim od gatunku owoców jagodowych (tab. 5). Największe ubytki wystąpiły w homogenacie truskawkowym, w którym po 90 dniach zawartość tej witaminy zmniejszyła się o 76,5 % (w przeliczeniu na suchą masę), natomiast w przypadku czarnej porzeczki – o 14 %. W porównaniu z danymi literaturowymi są to wyniki bardzo niekorzystne, gdyż straty były znaczące. Według Czerwińskiej [4] witamina C w truskawkach zamrażalniczo przechowywanych została zachowana w 90 % (autorka nie podaje czasu zamrażalniczego przechowywania). Należy jednak podkreślić, że Czerwińska analizowała całe owoce. W badaniach własnych owoce homogenizowano, co może świadczyć o negatywnym wpływie rozdrobnienia surowca, powodującego np. uwolnienie enzymów i substratów oddziałujących na zawartość witaminy C.

Tabela 3. Zawartość witaminy C, siła redukująca oraz EC₅₀ w homogenatach z owoców jagodowych, determinowane wpływem techniki i czasu ogrzewania

Table 3. Content of vitamin C in, reducing power and EC₅₀ of berry fruit homogenates depending on effects of heating technique and heating time

Czas ogrzewania Heating time [min]	Homogenat truskawkowy Strawberry homogenate			Homogenat z czarnej porzeczki Blackcurrant homogenate			Homogenat z aronii Chokeberry homogenate			Homogenat żurawinowy Cranberry homogenate		
	Źródło ogrzewania / Heating source											
	kuchenka gazowa gas cooker	kuchenka mikrofalowa microwave oven	kuchenka gazowa gas cooker	kuchenka mikrofalowa microwave oven	kuchenka mikrofalowa microwave oven	Thermomix	kuchenka mikrofalowa microwave oven	Thermomix	kuchenka mikrofalowa microwave oven	Thermomix	kuchenka mikrofalowa microwave oven	
0	4,7 ^{aA} ± 0,09	6,4 ^{aB} ± 0,2	Witamina C / Vitamin C [mg/100 g s.m. / d.m.]						0,1 ^{aC} ± 0,02	1,9 ^{aD} ± 0,10		
5	4,6 ^{aA} ± 0,05	4,7 ^{aA} ± 0,02	5,9 ^{BB} ± 0,2	6,6 ^{aC} ± 0,08	0,5 ^{BD} ± 0,1	0,3 ^{aBE} ± 0,05	2,1 ^{BF} ± 0,06	1,8 ^{aG} ± 0,06				
10	4,3 ^{bA} ± 0,02	4,4 ^{bAB} ± 0,09	4,5 ^{CB} ± 0,07	6,2 ^{bC} ± 0,08	0,6 ^{BD} ± 0,1	0,3 ^{bFE} ± 0,03	2,2 ^{BF} ± 0,05	1,9 ^{aG} ± 0,06				
0	670,2 ^{aA} ± 36,2	467,6 ^{aB} ± 27,1	Siła redukująca / Reducing power [mg AA/g s.m. / d.m.]						499,8 ^{aB} ± 3,4	315,2 ^{aC} ± 12,7		
5	866,3 ^{bA} ± 21,2	769,5 ^{BB} ± 29,6	563,7 ^{BC} ± 28,3	603,28 ^{BCE} ± 6,0	688,5 ^{BD} ± 45,8	644,9 ^{BDE} ± 19,0	378,9 ^{BF} ± 11,9	314,4 ^{aG} ± 6,3				
10	824,2 ^{bA} ± 32,0	729,1 ^{BB} ± 35,9	557,5 ^{BC} ± 19,0	625,7 ^{BD} ± 28,1	811,38 ^{aA} ± 22,2	639,3 ^{CD} ± 51,2	426,0 ^{DE} ± 15,8	343,9 ^{aF} ± 18,1				
0	7,73 ^{aA} ± 0,08	6,16 ^{aB} ± 0,06	EC ₅₀ [g s.m./g DPPH] / [g d.m./g DPPH]						2,16 ^{aC} ± 0,02	16,7 ^{aD} ± 0,17		
5	6,88 ^{bA} ± 0,07	6,98 ^{bA} ± 0,08	4,93 ^{BB} ± 0,05	5,34 ^{BC} ± 0,05	1,91 ^{BD} ± 0,02	2,09 ^{aE} ± 0,02	20,35 ^{BF} ± 0,20	16,58 ^{aG} ± 0,17				
10	6,38 ^{cA} ± 0,06	6,99 ^{BB} ± 0,07	4,09 ^{cC} ± 0,04	4,91 ^{cD} ± 0,05	1,52 ^{BE} ± 0,02	2,12 ^{aE} ± 0,02	19,81 ^{cG} ± 0,17	19,37 ^{bH} ± 0,19				

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values ± standard deviations; n = 3;

a, b, c – wartości średnie oznaczone różnymi literami w kolumnie (w obrębie jednego parametru) różnią się statystycznie istotnie (p ≤ 0,05) / mean values in columns and denoted by different letters (within one parameter) differ statistically significantly (p ≤ 0,05).

A, B, C – wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie (p ≤ 0,05) / mean values in rows and denoted by different letters differ statistically significantly (p ≤ 0,05).

Tabela 4. Zawartość suchej masy w homogenatach z owoców jagodowych poddanych różnym technikom ogrzewania.
 Table 4. Content of dry matter in berry fruit homogenates treated using various heating techniques

Źródło ogrzewania Heating source	Homogenat truskawkowy Strawberry homogenate [%]	Homogenat z czarnej porzeczki Blackcurrant homogenate [%]	Homogenat aroniowy Chokeberry homogenate [%]	Homogenat żurawinow Cranberry homogenate [%]
Świeży surowiec (bez ogrzewania) Fresh material (without heating)	8,54 ± 0,13	19,45 ± 0,20	23,71 ± 0,19	12,92 ± 0,13
Kuchenka gazowa Gas cooker 5 min	10,31 ± 0,18	24,38 ± 0,22	-	-
Thermomix 5 min	-	-	26,09 ± 0,21	13,16 ± 0,18
Kuchenka mikrofalowa Microwave oven 5 min	9,33 ± 0,12	21,55 ± 0,18	25,17 ± 0,20	13,52 ± 0,20
Kuchenka gazowa Gas cooker 10 min	12,24 ± 0,15	29,52 ± 0,19	-	-
Thermomix 5 min	-	-	28,40 ± 0,14	13,86 ± 0,11
Kuchenka mikrofalowa Microwave oven 10 min	10,83 ± 0,15	23,97 ± 0,20	25,38 ± 0,19	13,57 ± 0,19

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values ± standard deviations; n = 3 (-) – nie oznaczano / not assayed

Tabela 5. Zawartość witaminy C, siła redukująca i EC₅₀ w homogenatach z owoców jagodowych, determinowane wpływem czasu zamrażalniczego przechowywania oraz techniką rozmrażania
 Table 5. Content of vitamin C in, reducing power and EC₅₀ of berry fruit homogenate depending on effects of freezing time effect and defrosting technique

Czas zamrażalniczego przechowywania Time of frozen storage [dni / days]	Homogenat truskawkowy Strawberry homogenate			Homogenat z czarnej porzeczki Blackcurrant homogenate			Homogenat z aronii Chokeberry homogenate			Homogenat żurawinowy Cranberry homogenate		
	Metoda rozmrażania / The method of defrost											
	w atmosferze otoczenia In air	w kuchenke mikrofalowej In microwave oven	w atmosferze otoczenia In air	w kuchenke mikrofalowej In microwave oven	w atmosferze otoczenia In air	w kuchenke mikrofalowej In microwave oven	w atmosferze otoczenia In air	w kuchenke mikrofalowej In microwave oven	w atmosferze otoczenia In air	w kuchenke mikrofalowej In microwave oven	w atmosferze otoczenia In air	w kuchenke mikrofalowej In microwave oven
Witamina C / Vitamin C												
0	4,7 ^{aA} ± 0,09	6,4 ^{aB} ± 0,2	6,4 ^{aB} ± 0,2	0,1 ^{aC} ± 0,02	0,1 ^{aC} ± 0,02	0,1 ^{aC} ± 0,02	1,9 ^{aD} ± 0,10	1,9 ^{aD} ± 0,10	1,9 ^{aD} ± 0,10	1,9 ^{aD} ± 0,10	1,9 ^{aD} ± 0,10	1,9 ^{aD} ± 0,10
3	3,0 ^{bA} ± 0,04	3,3 ^{bB} ± 0,07	6,89 ^{bC} ± 0,01	6,92 ^{bC} ± 0,09	0,16 ^{aD} ± 0,03	0,18 ^{aD} ± 0,01	1,90 ^{aE} ± 0,11	1,85 ^{aE} ± 0,11	1,90 ^{aE} ± 0,11	1,90 ^{aE} ± 0,11	1,85 ^{aE} ± 0,11	1,85 ^{aE} ± 0,11
90	1,14 ^{cA} ± 0,10	1,07 ^{cA} ± 0,10	5,51 ^{cB} ± 0,07	5,41 ^{cB} ± 0,11	0,06 ^{aC} ± 0,005	0,05 ^{aC} ± 0,01	1,67 ^{bD} ± 0,09	1,60 ^{bD} ± 0,12	1,67 ^{bD} ± 0,09	1,67 ^{bD} ± 0,09	1,60 ^{bD} ± 0,12	1,60 ^{bD} ± 0,12
Siła redukująca / Reducing power												
0	670,2 ^{aA} ± 36,2	467,6 ^{aB} ± 27,1	467,6 ^{aB} ± 27,1	499,8 ^{aB} ± 3,4	499,8 ^{aB} ± 3,4	499,8 ^{aB} ± 3,4	315,2 ^{aC} ± 12,7	315,2 ^{aC} ± 12,7	315,2 ^{aC} ± 12,7	315,2 ^{aC} ± 12,7	315,2 ^{aC} ± 12,7	315,2 ^{aC} ± 12,7
3	633,1 ^{bA} ± 36,7	673,4 ^{aB} ± 32,8	450,5 ^{aC} ± 4,3	442,0 ^{aB} ± 6,7	537,6 ^{bF} ± 25,3	539,6 ^{bF} ± 22,9	350,2 ^{aG} ± 8,2	345,6 ^{aB} ± 6,6	350,2 ^{aG} ± 8,2	350,2 ^{aG} ± 8,2	345,6 ^{aB} ± 6,6	345,6 ^{aB} ± 6,6
90	519,3 ^{cA} ± 14,0	549,8 ^{bA} ± 14,1	418,5 ^{bB} ± 6,4	409,7 ^{bB} ± 11,3	602,3 ^{aC} ± 9,2	604,6 ^{aC} ± 30,8	358,8 ^{bD} ± 5,7	361,6 ^{bD} ± 10,3	602,3 ^{aC} ± 9,2	604,6 ^{aC} ± 30,8	358,8 ^{bD} ± 5,7	361,6 ^{bD} ± 10,3
EC ₅₀												
0	7,73 ^{aA} ± 0,08	6,16 ^{aB} ± 0,06	6,16 ^{aB} ± 0,06	2,16 ^{aC} ± 0,02	2,16 ^{aC} ± 0,02	2,16 ^{aC} ± 0,02	16,7 ^{aD} ± 0,17	16,7 ^{aD} ± 0,17	2,16 ^{aC} ± 0,02	2,16 ^{aC} ± 0,02	16,7 ^{aD} ± 0,17	16,7 ^{aD} ± 0,17
3	8,89 ^{bA} ± 0,09	9,92 ^{bB} ± 0,10	5,75 ^{bC} ± 0,06	6,01 ^{aD} ± 0,06	2,93 ^{bE} ± 0,03	2,95 ^{bE} ± 0,03	19,69 ^{bF} ± 0,20	18,67 ^{bG} ± 0,19	2,93 ^{bE} ± 0,03	2,95 ^{bE} ± 0,03	19,69 ^{bF} ± 0,20	18,67 ^{bG} ± 0,19
90	10,97 ^{cA} ± 0,11	11,19 ^{cB} ± 0,13	8,19 ^{cC} ± 0,08	7,96 ^{bD} ± 0,07	2,25 ^{aE} ± 0,02	2,41 ^{cE} ± 0,02	18,46 ^{cF} ± 0,19	18,39 ^{cP} ± 0,18	2,25 ^{aE} ± 0,02	2,41 ^{cE} ± 0,02	18,46 ^{cF} ± 0,19	18,39 ^{cP} ± 0,18

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values ± standard deviations; n = 3
 a, b, c – wartości średnie oznaczone różnymi literami w kolumnie (w obrębie jednego parametru) różnią się statystycznie istotnie (p ≤ 0,05) / mean values in columns and denoted by different letters (within one parameter) differ statistically significantly (p ≤ 0,05).

A, B, C – wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie (p ≤ 0,05) / mean values in rows and denoted by different letters differ statistically significantly (p ≤ 0,05).

Jedną z metod określenia właściwości przeciwutleniających homogenatów owocowych jest pomiar siły redukującej z wykorzystaniem soli Fe^{3+} . W tab. 2. przedstawiono jej wartości w świeżych homogenatach. Homogenat aroniowy charakteryzował się statystycznie istotną ($p \leq 0,05$), największą zdolnością do redukcji jonów żelaza Fe^{3+} , w porównaniu z pozostałymi homogenatami. Drugi w kolejności był homogenat z czarnej porzeczki, a następnie homogenat z truskawki i żurawiny. Z uwagi na to, że surowiec znacząco różnił się pod względem zawartości wody, wyniki przeliczono na suchą masę. Homogenat truskawkowy charakteryzował się o 22,4 % większą siłą redukującą od aroniowego i o 30,2 % – od homogenatu z czarnej porzeczki. Różnica między homogenatami z czarnej porzeczki i aronii była statystycznie nieistotna ($p \leq 0,05$). Ogrzewanie homogenatów sprzyjało narastaniu właściwości redukujących, szczególnie gdy zastosowano gotowanie na kuchence gazowej (tab. 3). W stosunku do surowca wyjściowego największy wzrost siły redukującej stwierdzono w homogenacie z aronii. Już po 5 min gotowania tradycyjnego siła redukująca tego homogenatu zwiększyła się o 37,9 %, a po ogrzewaniu mikrofalowym w tym samym czasie – o 29 %. Świadczy to o pozytywnym wpływie ogrzewania na właściwości przeciwutleniające homogenatu aroniowego, co przypuszczalnie sprzyja większej ekstrakcji związków kształtujących tę cechę.

Wpływ zamrażania i zamrażalniczego przechowywania oraz sposobu rozmrażania na właściwości redukujące badanych homogenatów przedstawiono w tab. 5. Sposób rozmrażania nie wpłynął istotnie ($p \leq 0,05$) na uzyskane wyniki. Wyjątek stanowił homogenat truskawkowy przechowywany przez 3 dni, którego wariant rozmrożony w kuchence mikrofalowej charakteryzował się większą siłą redukującą od próby rozmrażanej w atmosferze otoczenia (tab. 5). Stwierdzono natomiast wpływ zamrażania i zamrażalniczego przechowywania, przy czym różnił się on w zależności od rodzaju surowca. W przypadku homogenatów: truskawkowego i z czarnej porzeczki nastąpiło zmniejszenie właściwości redukujących, a w odniesieniu do żurawinowego i aroniowego – ich wzrost.

Zdolność neutralizowania wolnych rodników przedstawiono jako wartość EC_{50} (tab. 3 i 5). Najmniejszą początkową wartością EC_{50} , świadczącą jednocześnie o największych zdolnościach neutralizowania wolnych rodników, charakteryzował się homogenat z aronii. W zakresie wygaszania wolnych rodników był on silniejszy 2,9 razy w porównaniu z homogenatem z czarnej porzeczki i 3,6 razy – w porównaniu z truskawkowym. Najmniejszymi zdolnościami neutralizowania wolnych rodników charakteryzował się homogenat z żurawiny. Podobne wyniki uzyskali Nawirska i wsp. [14], którzy badali wytloki m.in. z aronii, czarnych porzeczek i truskawek i pod względem aktywności przeciwutleniającej uszeregowali je następująco: aronia > czarna porzeczka > truskawka. Również według Szajdek i wsp. [18] mus z aronii okazał się bardzo dobrym źródłem przeciwutleniaczy. W badaniach własnych po obróbce termicznej nastą-

piło niewielkie (statystycznie nieistotne w przypadku ogrzewania mikrofalowego) zmniejszenie wartości EC_{50} w homogenacie z żurawiny. Było ono mniejsze po zastosowaniu ogrzewania tradycyjnego w porównaniu z mikrofalowym. Po 5 min gotowania tradycyjnego zdolność neutralizowania wolnych rodników przez homogenat żurawinowy była o ok. 20 % mniejsza niż w podobnym homogenacie gotowanym w kuchence mikrofalowej.

Zmiany zdolności wygaszania wolnych rodników w czasie zamrażalniczego przechowywania przedstawiono w tab. 5. W przypadku homogenatów z aronii i żurawiny tylko proces zamrażania wpłynął nieznacznie na poprawę zdolności neutralizowania wolnych rodników, natomiast trzymiesięczne zamrażalnicze przechowywanie nie wpłynęło statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$) na ten parametr. W homogenacie truskawkowym i z czarnej porzeczki zarówno zamrażanie, jak i zamrażalnicze przechowywanie wpłynęły na obniżenie zdolności neutralizowania wolnych rodników. Nie stwierdzano istotnego ($p \leq 0,05$) wpływu sposobu rozmrażania na te właściwości.

Biorąc pod uwagę wszystkie otrzymane w pracy wyniki można próbować ocenić efekty ogrzewania mikrofalowego i tradycyjnego na zachowanie właściwości przeciwutleniających w badanym surowcu. Zaobserwowano negatywny wpływ gotowania na kuchence gazowej na zawartość witaminy C, w porównaniu z gotowaniem w kuchence mikrofalowej. Gotowanie tradycyjne wpływa jednocześnie na wzrost właściwości przeciwutleniających, najprawdopodobniej na skutek większego wyekstrahowania składników. Wzrost właściwości przeciwutleniających w podwyższonej temperaturze stwierdzili także Duda-Chodak i wsp. [7] podczas analizy wpływu temperatury suszenia sliwek na ich właściwości przeciwutleniające. W badaniach Czerwińskiej [5] zachowanie właściwości przeciwutleniających brokułów zależało przede wszystkim od czasu działania wysokiej temperatury. Autorka zwraca uwagę na kwestię, którą zauważono także w badaniach własnych: ogrzewanie z użyciem kuchenki mikrofalowej jest łagodniejsze w porównaniu z ogrzewaniem tradycyjnym, podczas którego dochodzi do miejscowego przegrzewania produktu i, co może być z tym związane, zwiększonej inaktywacji enzymów.

Wnioski

1. Spośród badanych homogenatów z owoców jagodowych najsilniejszymi właściwościami przeciwutleniającymi charakteryzował się homogenat aroniowy. Jednocześnie zawierał on najmniej witaminy C.
2. Ogrzewanie tradycyjne wpłynęło protekcyjnie na zachowanie właściwości przeciwutleniających homogenatów w porównaniu z ogrzewaniem mikrofalowym.
3. Ogrzewanie mikrofalowe wpłynęło z kolei ochronnie na zachowania witaminy C w homogenatach z owoców jagodowych w porównaniu z ogrzewaniem tradycyjnym.

4. Zamrażalnictwo przechowywanie w większości przypadków wpłynęło na obniżenie właściwości przeciwutleniających homogenatów, wyjątkiem był wzrost siły redukującej homogenatu aroniowego i żurawinowego przechowywanego w warunkach zamrażalniczych przez 90 dni.
5. Metoda rozmrażania nie miała wpływu na zachowanie właściwości przeciwutleniających homogenatów z owoców jagodowych.

Badania współfinansowano z dotacji celowej na prowadzenie badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych służących rozwojowi młodych naukowców w ramach projektu nr rej. BM-4784/KChiKS/2015

Literatura

- [1] Brand-Wilims W., Cuvelier M.E., Berset C.: Use of free radical to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 1995, **28** (1), 25-30.
- [2] Cichon R., Wądołowska L.: Zmiany wartości odżywczej podczas przechowywania i przetwarzania żywności. W: *Żywnienie człowieka. Podstawy nauki o żywieniu*. Wyd. III. Red. J. Gawęcki, L. Hryniewiecki. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2010, ss. 389-402.
- [3] Cieślak E., Kostogryś R.B., Pisulewski P.: Biomarkery pobrania przeciwutleniaczy. *Przeciwutleniacze w żywności*. WNT, Warszawa 2007, ss. 416-421.
- [4] Czerwińska D.: Owoce słońca. *Przeł. Gastr.*, 2004, **58** (6), 41-42.
- [5] Czerwińska D.: Mikrofała na fali. *Przeł. Gastr.*, 2006, **60** (4), 12-13.
- [6] Drozdowski B.: Witaminy. W: *Chemia żywności*. Red. Z.E. Sikorski. WNT, Warszawa 2000, ss. 349-454.
- [7] Duda-Chodak A., Tarko T., Suwara M.: Wpływ temperatury i obróbki mikrofalowej na aktywność antyoksydacyjną suszonych śliwek. *Przem. Ferm. Owoc. Warz.*, 2009, **7-8**, 38-41.
- [8] Girard K.: Przeciwutleniacze na rynku żywności funkcjonalnej. *Przem. Spoż.*, 2008, **1**, 32-33.
- [9] Górecka A.: Amerykańska żurawina – unikalne zbiory i właściwości zdrowotne. *Przem. Spoż.*, 2006, **12**, 35-37.
- [10] Klimczak J., Irzyniec Z.: Szybkość degradacji witaminy C w kapuście brukselskiej mrożonej różnymi metodami. *Chłodnictwo*, 2001, **36** (6), 40-42.
- [11] Lee S.K., Kander A.A.: Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content in horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.*, 2000, **20** (3), 207-220.
- [12] Łata B.: Owoce jagodowe źródłem antyoksydantów. *Ogrodnictwo*, 2002, **6**, 11-13.
- [13] Makosz E.: Przyszłość uprawy truskawki, maliny, czarnej porzeczki i wiśni w Polsce. *Przem. Ferm. Owoc. Warz.*, 2006, **2**, 24-26.
- [14] Nawirska A., Sokół-Łętowska A., Kucharska A.: Właściwości przeciwutleniające wyłoków z wybranych owoców kolorowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*. 2007, **53** (4), 120-125.
- [15] Aruoma O.I.: Assessment of potential prooxidant and antioxidant actions. *JAOCS*, 1996, **73** (12), 1617-1625.
- [16] PN-EN 12145:2001. Soki owocowe i warzywne. Oznaczanie całkowitej suchej substancji. Metoda grawimetryczna oznaczania ubytku masy w wyniku suszenia.
- [17] PN-A-04019:1998. Produkty spożywcze. Oznaczanie zawartości witaminy C.
- [18] Szajdek A., Borowska E., Borowski J., Saczuk B.: Musy owocowe jako źródło naturalnych przeciwutleniaczy. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, **55** (6), 100-108.

- [19] Wawer I.: Aronia – wartościowy dodatek do wypieków. *Przegl. Piek. Cuk.*, 2006, **3**, 8-10.
- [20] Wilska-Jeszka J.: Inne naturalne składniki żywności. W: *Chemia żywności*. Red. Z.E. Sikorski. WNT, Warszawa 2000, ss. 457-472.
- [21] Yen G.H., Chen H.Y.: Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *J. Agric. Food Chem.*, 1995, **43**, 27-32.

EFFECT OF SELECTED THERMAL PROCESSES ON ANTIOXIDANT PROPERTIES OF BERRY FRUIT HOMOGENATES

Summary

The objective of the research study was to determine the effect of various heating and freezing techniques, as well as of the defrosting and frozen storage on the antioxidant properties of berry fruit homogenates.

The experimental material consisted of strawberry, blackcurrant, cranberry, and chokeberry homogenates. The raw material was thermally treated, i.e. it was heated (using a gas stove, a microwave oven, and a Thermomix multifunction device) and frozen. The frozen samples were stored at a temperature of $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$: 1) for 3 days, to determine the effect of freezing process on the antioxidant properties of homogenates; 2) for 90 days to determine the effect of frozen storage on those properties. Prior to the analysis, the samples were defrosted in air (at a temperature of approx. $21\text{ }^{\circ}\text{C}$) and in a microwave oven. In the raw material, there were assayed: content of vitamin C, reducing power, and ability to scavenge free radicals. The blackcurrant homogenate contained the highest amount of vitamin C (6.4 mg/g of dry matter), whereas the strawberry homogenate was characterized by the highest reducing capability (670.2 mg of ascorbic acid/g of dry matter). The thermally treated chokeberry homogenates were the most effective scavengers of free radicals ($EC_{50} = 1.52\text{ g}$ of dry matter/g of DPPH). A temperature above 95°C caused the highest losses in vitamin C in the blackcurrant homogenates; those losses were lower in the microwave-heated homogenates than in the conventionally heated ones. The heating caused the reducing properties and free radical-scavenging activity to increase; the increase was higher when heating by a traditional method. The frozen storage caused the content of vitamin C and the scavenging capability of free radicals to decrease. As for the reducing power, the effect of storage depended on the raw material. A decrease was reported in the reducing power of the blackcurrant and strawberry homogenates, while the reducing power of cranberry and chokeberry homogenates increased.

Key words: berry fruits, heating, freezing, vitamin C, DPPH, reducing power ☒