

WPŁYW PROCESU ROZMRAŻANIA MIKROFALOWEGO TRUSKAWEK NA ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH SKŁADNIKÓW W SUSZU

Łukasz Rydz, Dariusz Piotrowski, Anna Mieszkalska
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego SGGW w Warszawie

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu parametrów rozmrażania mikrofalowego na zawartość wybranych składników: antocyjanów i polifenoli ogółem. Badanie prowadzono, wykorzystując mrożone truskawki odmiany Senga Sengana, zebrane w latach 2010, 2011, 2012. Truskawki rozmrażano, stosując następujące moce mikrofal: 0,9; 1,2 i 1,8 W·(g rozmrażanych owoców)⁻¹. Rozmrożone truskawki suszono w laboratoryjnej próżniowej suszarce komorowej w temperaturze zadanej 60°C, przy ciśnieniu 4 kPa. Antocyjany oznaczano, korzystając z pomiarów absorpcji w spektrofotometrze według metody Wrolstada, a polifenole ogółem, korzystając ponownie z metody spektrofotometrycznej zaproponowanej przez Singleton i Rossi. Analizy statystyczne przeprowadzono osobno dla wybranych mocy mikrofal w każdym badanym roku zbioru. Zmiana mocy mikrofal miała istotny wpływ na zawartość składników bioaktywnych rozmrożonych truskawek. Zwiększanie mocy mikrofal powoduje obniżenie zawartości polifenoli ogółem i antocyjanów. Do rozmrażania truskawek należy stosować moc mikrofal na poziomie 0,9 W·(g rozmrażanych owoców)⁻¹. Suszenie próżniowe istotnie zmniejszyło zawartość antocyjanów i polifenoli ogółem.

Słowa kluczowe: rozmrażanie mikrofalowe, truskawki, suszenie próżniowe, antocyjany, polifenole

WSTĘP

Podczas przetwarzania żywności wykorzystanie energii mikrofal jest często rozpatrywane, ponieważ procesy mikrofalowe zachodzą szybko, dają powtarzalne wyniki, mogą już być stosowane w trakcie obróbki wstępnej, wymagają mniejszego nakładu energii niż w konwencjonalnej metodzie obróbki termicznej przez przewodzenie, promieniowa-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Dariusz Piotrowski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, ul. Nowoursynowska 159c, 02-787 Warszawa, e-mail: dariusz_piotrowski@sggw.pl

nie lub konwekcję [Perino-Issartier i in. 2011, Piotrowski i Praga 2011, Melski 2012]. Energia mikrofal jest również wykorzystywana do rozmrażania surowca przed produkcją. Holzwarth i inni [2012] stwierdzili, że wykorzystanie do rozmrażania truskawek energii mikrofal pozwala na lepsze zachowanie składników bioaktywnych w porównaniu z tradycyjnym ogrzewaniem. Oszmiański i inni [2009] wykazali, że rozmrażanie mikrofalowe truskawek jest korzystniejsze niż w temperaturze pokojowej (20°C przez 20 h), bo pozwala zachować więcej antocyjanów. Zwiększenie mocy mikrofal podczas suszenia truskawek mrożonych oraz odwodnionych osmotycznie korzystnie wpływa na skrócenie czasu suszenia [Piotrowski i in. 2004].

Bardzo ważne jest dobranie odpowiednich warunków przechowywania dla danego surowca w celu zapewnienia jak najlepszej jego jakości [Grzegory i Kowalczyk 2014]. Ze względu na krótkotrwałość sezonu zbiorczego i ograniczone możliwości przechowywania chłodniczego [Grzegory i Kowalczyk 2014] większość przetwarzanych odmian truskawek jest zamrażana i następnie w takiej postaci przechowywana oraz wykorzystywana do całorocznej produkcji dżemów, soków, koncentratów i innych przetworów [Skrede 1996, Oszmiański i in. 2009].

Truskawki są jednym z ważniejszych źródeł składników bioaktywnych, jak witamina C, β -karoten, polifenole, do których zaliczamy fenole, flawonoidy, kwasy fenolowe, lignany i taniny. Wykazują one silne właściwości antyoksydacyjne zarówno *in vitro*, jak i *in vivo* [Scalzo i in. 2005, Tulipani i in. 2009, Puzanowska-Tarasiewicz i in. 2010, Bojarska 2011]. Najliczniejszą grupę polifenoli stanowią flawonoidy o charakterze barwników – antocyjany [Clifford 2000, Castaneda-Ovando i in. 2009, Patras i in. 2010]. Żywność bogata w polifenole, do których są również zaliczane antocyjany, ma między innymi właściwości przeciwzapalne [Subbaramaiah i in. 1998], antykancerogenne [Kuroda i Hara 1999] i antymutagenne [Dell'Agli i in. 2004]. Związki fenolowe występujące w truskawkach to między innymi: kwercetyna, kwas elagowy, antocyjany, katechiny, kampaferol [Burton-Freeman i in. 2010]. Truskawki są dobrym źródłem takich antocyjanów, jak cyjanidyno-3-glukozyd, pelargonidyno-3-glukozyd, pelargonidyno-3-arobinozyd [Wang i Zheng 2001, Kłopotek i in. 2005]. Na stabilność antocyjanów mają wpływ takie czynniki, jak temperatura, pH, światło, tlen i enzymy [Harbourne i in. 2008, Castaneda-Ovando i in. 2009]. Negatywny wpływ wysokich temperatur i podwyższonego ciśnienia na zawartość antocyjanów w malinach został potwierdzony w badaniach prowadzonych przez Verbeyst i innych [2011]. Ponadto zawarte w truskawkach związki fenolowe są wysoce niestabilne zarówno podczas przechowywania jak i przetwarzania [Oszmiański i in. 2007, Kalisz 2011]. Aby zapobiec utracie związków fenolowych w przetworach owocowych podczas przechowywania, proponuje się między innymi dodatek nektaru z ekstraktów roślinnych [Kalisz i in. 2011b]. Poszukuje się także metod utrwalania owoców ograniczających straty związków fenolowych, a jedną z rozpatrywanych jest utrwalanie mikrofalowe [Marszałek i Mitek 2011]. Przechowywanie takich przetworów jak np. zagęszczone soki owocowe w stanie zamrożonym również nie chroni w stopniu wystarczającym przed utratą polifenoli i antocyjanów [Kalisz i in. 2011a].

Celem badań było określenie parametrów rozmrażania mikrofalowego na zawartość antocyjanów i polifenoli ogółem w truskawkach rozmrożonych i otrzymanym z nich suszu.

MATERIAŁ I METODY

Metody technologiczne

Badania prowadzono wykorzystując truskawki odmiany Senga Sengana, o średnicy 23 ± 2 mm, zebrane w latach 2010, 2011, 2012, po zamrożeniu przechowywane w temperaturze -19 ± 1 °C. Oznaczenie polifenoli i antocyjanów prowadzono najpierw po rozmrożeniu mikrofalowym truskawek i po raz drugi po suszeniu próżniowym. Oznaczenie polifenoli i antocyjanów ogółem dla truskawek zebranych w 2010 roku po rozmrożeniu i po suszeniu prowadzono po 31 miesiącach od zbioru, dla truskawek zebranych w 2011 roku po 19 miesiącach od zbioru, a dla truskawek zebranych w 2012 roku po 7 miesiącach od zbioru. Rozmrażanie mikrofalowe przeprowadzono w kuchence mikrofalowej firmy Samsung (model MW87W) dla następujących mocy mikrofal: 0,9; 1,2 i 1,8 W·(g rozmrażanych owoców)⁻¹. Na potrzeby eksperymentalnego ustalenia kryterium zakończenia procesu rozmrażania przyjęto, że miąższ owocu osiągnie temperaturę minimalną +5°C. Rozmrożone truskawki suszono w laboratoryjnej próżniowej suszarce komorowej w temperaturze zadanej 60°C, przy ciśnieniu 4 kPa, aż do uzyskania stanu równowagi potwierdzonego stabilnymi wskazaniem wagi. Otrzymane susze zamykano w szczelnych opakowaniach i przechowywano w zaciemnionym miejscu w temperaturze pokojowej przez ok. 24 h. Antocyjany oznaczano na podstawie metodyki Wrolstada [1993]. Przygotowano ekstrakty z suszu i materiału rozmrożonego. W materiale rozmrożonym stosowano naważkę, uwzględniając zawartość suchej substancji owocu. Naważkę 2 g rozdrobnionego materiału ekstrahowano roztworem metanolu, wody i kwasu mrówkowego w stosunku objętościowym odpowiednio 50 : 42 : 8. Mierzono absorbancję próbek z buforem o pH 1 i pH 4,5 w trzech powtórzeniach, przy dwóch długościach fali świetlnej: 510 i 700 nm. Polifenole oznaczono na podstawie metodyki zaproponowanej przez Singleton i Rossi [1965], wykorzystując pomiary absorbancji w spektrofotometrze Helios γ UV-VIS firmy Thermo Electron, przy długości fali świetlnej $\lambda = 750$ nm, wobec przygotowanej próby kontrolnej. Przygotowano ekstrakty materiału rozmrożonego oraz suszu. Jako rozpuszczalnika ekstrakcyjnego użyto etanolu. W przypadku suszu owocowego stosowano naważkę surowca o identycznej zawartości suchej substancji jak w surowcu rozmrożonym. Zawartość polifenoli obliczono, korzystając z krzywej wzorcowej wyznaczonej dla kwasu chlorogenowego. Ilość związków polifenolowych przedstawiano w przeliczeniu na mg kwasu chlorogenowego·(100g owoców)⁻¹.

Metody statystyczne

W celu wyboru testów do porównania średnich sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka czy otrzymane wyniki mają rozkład normalny. O ile dane rozpatrywane łącznie wykazywały zgodność z rozkładem normalnym, to jednak podzielone dla poszczególnych lat zbioru dane miały rozkład odmienny od normalnego. Wobec powyższego kryterium, do porównań zawartości antocyjanów i polifenoli ogółem po rozmrożeniu przy różnych mocach mikrofal i po suszeniu wykorzystano test nieparametryczny Kruskala-Wallisa. Analizy statystyczne przeprowadzono osobno dla wybranych mocy mikrofal w każdym badanym roku zbioru. Porównanie zawartości antocyjanów po rozmrożeniu i po suszeniu

truskawek wykonano, wykorzystując test Friedmana i współczynnik zgodności Kendalla, oddzielnie dla poszczególnych mocy mikrofal w każdym z analizowanego roku zbioru. Analogicznie przeprowadzono analizę dla polifenoli ogółem. Analizy wykonano przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ w programie Statistica 10 firmy StatSoft, Inc.

WYNIKI I DYKUSJA

Wpływ mocy mikrofal użytej do rozmrażania truskawek na zawartość antocyjanów

Ogólny poziom zawartości antocyjanów w truskawkach po rozmrożeniu wynosił od 8,81 (dla truskawek zebranych w 2011 r.) do 17,61 mg·(100g s.s.)⁻¹ (dla truskawek zebranych w 2012 r.) i był statystycznie istotnie wyższy od ilości zmierzonej w suszu od 6,36 (dla truskawek zebranych w 2011 r.) do 12,48 mg·(100g s.s.)⁻¹ (dla truskawek zebranych w 2012 r.) – tabela 1. Potwierdza to wartość testu χ^2 ANOVA = 6,000000 oraz

Tabela 1. Zawartość antocyjanów i polifenoli ogółem w truskawkach odmiany Senga Sengana po rozmrożeniu i po suszeniu próżniowym w zależności od mocy mikrofal podczas rozmrażania [mg·(100g s.s.)⁻¹]

Table 1. Content of anthocyanins and polyphenols in Senga Sengana strawberries after thawing and after vacuum drying according to different microwave powers [mg·(100g d.s.)⁻¹]

Rok zbioru Year of harvesting	Moc mikrofal Microwave power [W·g ⁻¹]	Antocyjaniny [mg·(100 g s.s.) ⁻¹] Anthocyanins [mg·(100 g d.s.) ⁻¹]				Polifenole ogółem [mg·(100 g s.s.) ⁻¹] Total polyphenols [mg·(100 g d.s.) ⁻¹]			
		Po rozmrożeniu After thawing		Po suszeniu After drying		Po rozmrożeniu After thawing		Po suszeniu After drying	
		X _{sr}	±s	X _{sr}	±s	X _{sr}	±s	X _{sr}	±s
2010	0,9	13,05 (a)	0,08	9,84 (a)	0,21	24,71 (a)	0,35	22,52 (a)	0,11
	1,2	13,08 (ab)	0,03	10,03 (a)	0,03	23,92 (ab)	0,05	22,11 (ab)	0,06
	1,8	11,90 (b)	0,05	9,27 (b)	0,04	23,54 (b)	0,05	21,23 (b)	0,07
2011	0,9	9,67 (a)	0,04	6,68 (a)	0,05	19,59 (a)	0,05	19,11 (a)	0,03
	1,2	8,81 (ab)	0,01	6,36 (ab)	0,03	19,41 (ab)	0,07	18,77 (ab)	0,09
	1,8	8,37 (b)	0,15	6,22 (b)	0,10	19,18 (b)	0,07	18,20 (b)	0,21
2012	0,9	17,61 (a)	0,38	12,48 (a)	0,17	34,52 (a)	0,13	33,08 (a)	0,03
	1,2	16,75 (ab)	0,22	12,22 (ab)	0,12	32,45 (ab)	0,16	31,00 (ab)	0,11
	1,8	13,48 (b)	0,25	10,07 (b)	0,16	30,01 (b)	0,09	27,97 (b)	0,05

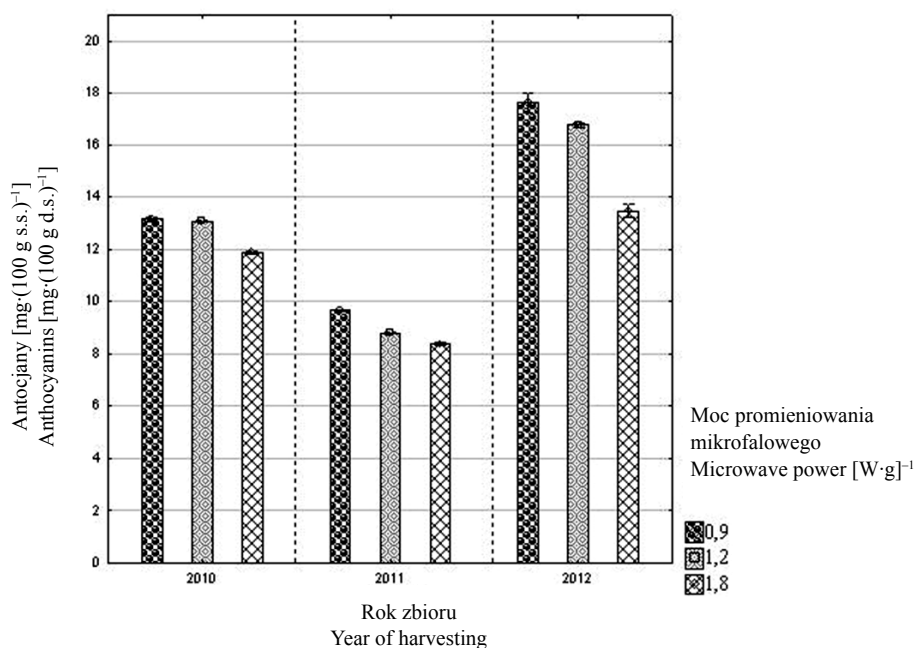
Średnie w tej samej kolumnie dotyczące poszczególnych lat zbioru {2010, 2011, 2012} oznaczone różnymi literami różnią się między sobą istotnie statystycznie ($p < 0,05$), $n = 6$ / Mean values with different letters for particular years of harvesting {2010, 2011, 2012} within each column differ significantly ($p < 0,05$), $n = 6$.

X_{sr} – wartość średnia / mean value.

±s – odchylenie standardowe / standard deviation.

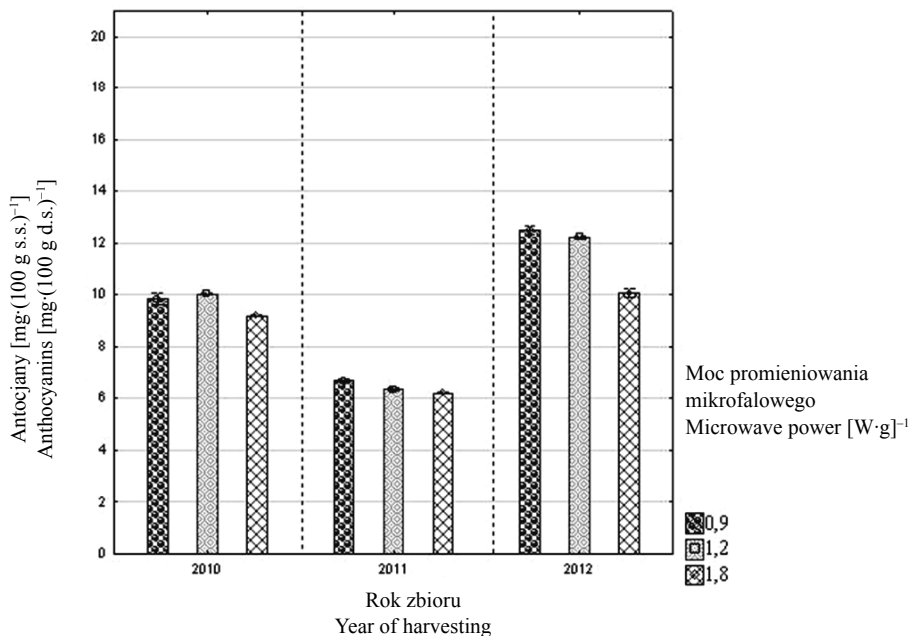
poziom prawdopodobieństwa $p = 0,01431$ (ANOVA Friedmana obliczony z podziałem na grupy). Kolniak [2008] badała zawartość antocyjanów i polifenoli w trzech odmianach truskawek (Elkat, Kent oraz Senga-Sengana) po sześciomiesięcznym przechowywaniu w temperaturze -20°C . Autorka wykazała, że rozmrażając owoce w temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$ przez 20 h, ilość rozpatrywanych związków wynosiła $38,33 \text{ mg}\cdot(100 \text{ g s.s.})^{-1}$, a przy rozmrażaniu w kuchenke mikrofalowej przez trzy minuty była porównywalna z wartością uzyskaną w truskawkach świeżych ($38,86 \text{ mg}\cdot(100 \text{ g s.s.})^{-1}$). Badania własne na truskawkach odmiany Senga Sengana z 2012 roku, przechowywanych przez 7 miesięcy, przy nieznacznie wyższej temperaturze składowania (-19°C), po każdym wariacie mikrofalowego rozmrożenia miały niższe zawartości antocyjanów niż w badaniach Kolniak [2008] (porównanie jest utrudnione ze względu na brak podania przez autorkę mocy mikrofal).

Zastosowanie różnych mocy mikrofal wykazało, że stosowanie wyższych mocy promieniowania mikrofalowego przy rozmrażaniu istotnie wpływa na zawartość antocyjanów (tab. 1, rys. 1). Podobną tendencję w zawartości antocyjanów zaobserwowano w owocach po suszeniu (rys. 2). Najmniejszą ilość antocyjanów oznaczono w truskawkach pochodzących z 2011 roku oraz rozmrażanych z zastosowaniem najwyższej mocy mikrofal (tab. 1). Nie uzyskano istotnych różnic, stosując najniższe moce mikrofal ($0,9$ i $1,2 \text{ W}\cdot\text{g}^{-1}$) do rozmrażania (tab. 1).



Rys. 1. Zawartość antocyjanów po rozmrożeniu mikrofalowym truskawek w zależności od mocy mikrofal dla analizowanych lat zbioru

Fig. 1. Anthocyanins content in strawberries after microwave thawing according to the microwave power for analyzed years of harvesting



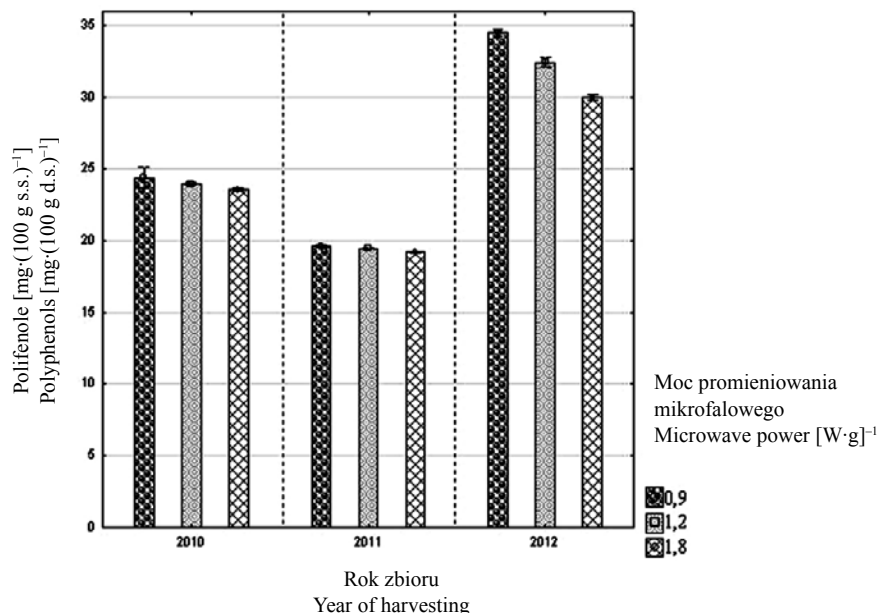
Rys. 2. Zawartość antocyjanów po suszeniu truskawek w zależności od mocy mikrofal dla analizowanych lat zbioru

Fig. 2. Anthocyanins content in strawberries after drying according to the microwave power for analyzed years of harvesting

Wpływ mocy mikrofal użytej do rozmrażania truskawek na zawartość polifenoli

Całkowity poziom polifenoli po rozmrożeniu wynosił od 19,18 (dla truskawek zebranych w 2011 r.) do 34,52 $\text{mg}\cdot(100 \text{ g s.s.})^{-1}$ (dla truskawek zebranych w 2012 r.) – tabela 1 i był ponownie statystycznie istotnie wyższy (obliczenia z podziałem na grupy, test ANOVA-Friedmana) od ilości oznaczonej w suszu od 18,20 (dla truskawek zebranych w 2011 r.) do 33,08 $\text{mg}\cdot(100 \text{ g})^{-1}$ (dla truskawek zebranych w 2012 r.) (tab. 1). Wojdyła i inni [2009] również wykazali istotne obniżenie zawartości polifenoli po suszeniu truskawek prowadzonym w warunkach obniżonego ciśnienia. Według autorów, najlepszej jakości produkty uzyskano przy suszeniu próżniowo-mikrofalowym z zastosowaniem niskiej mocy mikrofal (240 W). Holzwart i inni [2012] rozmrażali truskawki w trzech temperaturach (4, 20, 37°C) z wykorzystaniem energii mikrofal (700 W). Autorzy zauważyli, że najwyższa zawartość polifenoli wystąpiła przy rozmrażaniu z wykorzystaniem energii mikrofal w temperaturze +20°C.

Najmniejszą ilość polifenoli ogółem w materiale po rozmrożeniu (rys. 3) oznaczono w truskawkach zebranych w 2011 roku i rozmrażanych przy największych mocach mikrofal.



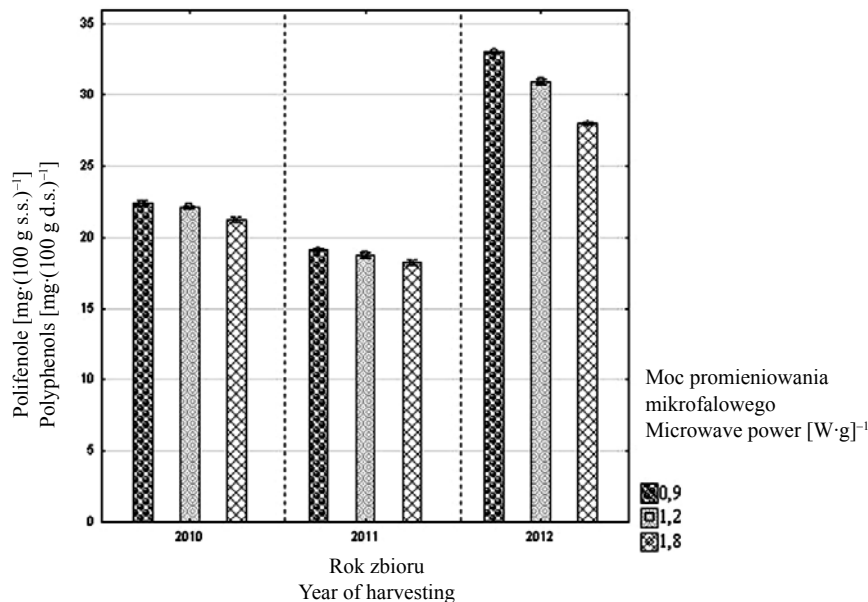
Rys. 3. Zawartość polifenoli po rozmrożeniu mikrofalowym truskawek w zależności od mocy mikrofal dla analizowanych lat zbioru

Fig. 3. Polyphenols content in strawberries after microwave thawing according to the microwave power for analyzed years of harvesting

Zakres zmienności dla wskazanego roku w zawartości polifenoli ogółem był najmniejszy dla zadanych mocy mikrofal, przy czym zróżnicowanie porównywanych średnich było istotne statystycznie dla mocy 1,8 W·(g rozmrażanych owoców)⁻¹.

Najmniejszą ilość polifenoli ogółem w materiale po suszeniu (rys. 4) oznaczono w truskawkach zebranych w 2011 roku i rozmrażanych przy wykorzystaniu największych mocy mikrofal 18,20 ± 0,21 mg·(100 g s.s.)⁻¹.

Warunki glebowe, klimatyczne, stopień dojrzałości owoców i sposób postępowania z nimi po zbiorze wpływają na zróżnicowaną zawartość związków fenolowych [Borowska 2003]. Kolniak [2008], badając poziom polifenoli w truskawkach Senga Sengana, zaobserwowała wzrost ich ilości w owocach mrożonych w stosunku do owoców świeżych. Po sześciu miesiącach przechowywania w temperaturze -20°C ich ilość wynosiła 183,7 mg·(100 g s.s.)⁻¹ w truskawkach rozmrażanych w 20°C przez 20 h oraz 185,4 mg·(100 g s.s.)⁻¹ w truskawkach rozmrażanych w kuchence mikrofalowej, podczas gdy ilość oznaczona w materiale świeżym wynosiła 157,1 mg·(100 g s.s.)⁻¹. Podobnie wzrost zawartości polifenoli podczas przechowywania w warunkach zamrożenia zaobserwowały Skupień i Wójcik-Stopczyńska [2005]. Oceniały one zawartość polifenoli w przecierach z truskawek odmiany Elsanta, poddanych mrożeniu i przechowywanych do 12 miesięcy. Zawartość polifenoli w świeżych przecierach wynosiła 373,8 mg·(100 g s.s.)⁻¹, a w przecierach po dwunastu miesiącach składowania 385,7 mg·(100 g s.s.)⁻¹. Wybrany w niniejszych badaniach proces suszenia próżniowego istotnie zmniejszył zawartość



Rys. 4. Zawartość polifenoli po suszeniu truskawek w zależności od mocy mikrofal dla analizowanych lat zbioru

Fig. 4. Polyphenols content in strawberries after drying according to the microwave power for analyzed years of harvesting

polifenoli ogółem. Przykładowo, dla mocy $1,8 \text{ W} \cdot (\text{g rozmrażanych owoców})^{-1}$ średnie obniżenie zawartości polifenoli ogółem względem zawartości rozpatrywanych związków w truskawkach rozmrażanych mikrofalowo mieści się w zakresie od 5,11 do 9,81%.

WNIOSKI

1. Zwiększanie mocy mikrofal powoduje obniżenie zawartości polifenoli ogółem i antocyjanów, a wskazana zależność została potwierdzona dla truskawek bez względu na rok zbioru. Do rozmrażania truskawek należy stosować moc mikrofal na poziomie $0,9 \text{ W} \cdot (\text{g rozmrażanych owoców})^{-1}$.

2. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej wykorzystanie mocy mikrofal na poziomie $1,8 \text{ W} \cdot (\text{g rozmrażanych owoców})^{-1}$ dla poszczególnych lat zbioru truskawek odmiany Senaga Sengana powodowało statystycznie istotne obniżenie zawartości badanych związków bioaktywnych. Z reguły zastosowana moc mikrofal na poziomie $1,2 \text{ W} \cdot (\text{g rozmrażanych owoców})^{-1}$ powodował nieznaczne obniżenie zawartości badanych związków bioaktywnych w stosunku do mocy $0,9 \text{ W} \cdot (\text{g rozmrażanych owoców})^{-1}$, statystycznie nieistotne.

3. Suszenie próżniowe istotnie statystycznie zmniejsza zawartość antocyjanów i polifenoli ogółem względem zawartości rozpatrywanych bioaktywnych związków w rozmrożonych truskawkach.

LITERATURA

- Bojarska J.E., Zadernowski R., Tońska E., 2011. *Makroelementy owoców truskawek*. *Bromat. Chem. Toksykol.* 3(44), 572–576.
- Borowska J., 2003. *Owoce i warzywa jako źródło naturalnych przeciwutleniaczy (1)*. *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.* 5, 11–12.
- Burton-Freeman B., Linares A., Hyson D., Kappagoda T., 2010. *Strawberry modulates LDL oxidation and postprandial lipemia in response to high-fat meal in overweight hyperlipidemic men and women*. *J. Am. Coll. Nutr.* 29(1), 46–54.
- Castaneda-Ovando A., Pacheco-Hernandez M.D., Paez-Hernandez M.E., Rodriguez J.A., Galan-Vidal C.A., 2009. *Chemical studies of anthocyanins: a review*. *Food Chem.* 113(4), 859–871.
- Clifford M.N., 2000. Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden. *J. Sci. Food Agric.* 80(7), 1063–1072.
- Dell'Agli M., Busciala A., Bosisio E., 2004. Vascular effects of wine polyphenols. *Cardiovasc. Res.* 63(4), 593–602.
- Drużyńska B., Stępień K., Piecyk M., 2009. Wpływ gotowania i mrożenia na zawartość niektórych składników bioaktywnych i ich aktywność przeciwutleniającą w brokułach. *Bromat. Chem. Toksykol.* 42(2), 169–176.
- Grzegory P., Kowalczyk D., 2014. Wybrane aspekty chłodniczego przechowywania owoców i warzyw. *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.* 58(6), 27–29.
- Harbourne N., Jacquier J.C., Morgan D.J., Lyng J.G., 2008. Determination of the degradation kinetics of anthocyanins in a model juice system using isothermal and non-isothermal methods. *Food Chem.* 111(1): 204–208.
- Holzwarth M., Korhummel S., Carle R., Kammerer D.R., 2012. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color, polyphenol and ascorbic acid retention in strawberries (*Fragaria × ananassa Duch.*) *Food Res. Int.* 48(1), 241–248.
- Kalisz S., 2001. Zmiany wybranych wyróżników jakościowych podczas przechowywania nektarów truskawkowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 566, 69–77.
- Kalisz S., Mitek M., Cendrowski A., Leśkiewicz M., 2011a. Wpływ stopnia zagęszczenia soków truskawkowych na zmiany wybranych wyróżników jakościowych podczas przechowywania. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 569, 131–144.
- Kalisz S., Ścibisz I., Mitek M., 2011b. Wpływ dodatku ekstraktów roślinnych na wybrane parametry jakościowe napojów truskawkowych. *Bromat. Chem. Toksykol.* 44(3), 928–933.
- Klopotek Y., Otto K., Bohm V., 2005. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total antocyanins, and antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 53(14), 5640–5646.
- Kolniak J., 2008. Wpływ sposobu zamrażania, rozmrażania oraz dodatków kriochronnych na zawartość polifenoli ogółem, antocyjanów i pojemność przeciwutleniającą mrożonek truskawkowych. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość* 5(60), 135–148.
- Kuroda Y., Hara Y., 1999. Antimutagenic and anticarcinogenic activity of tea polyphenols. *Mutat. Res.-Rev. Mutat.* 436, 69–97.

- Marszałek K, Mitek M., 2011. Wpływ utrwalania mikrofalowego w przepływie na zmiany antocyjanów, witaminy C i barwy puree truskawkowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 566, 135–142.
- Melski K., 2012. Towaroznawcza ocena opakowań żywności stosowanych w technice mikrofalowej. *Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.*
- Oszmiański J., Wojdyło A., Matuszewski P., 2007. *Zmiany zawartości związków fenolowych podczas produkcji zagęszczonego soku truskawkowego w warunkach przemysłowych.* *Żywn. Nauk. Technol. Jakość* 1(50), 94–104.
- Oszmiański J., Wojdyło A., Kolniak J., 2009. *Effect of L-ascorbic acid, sugar, pectin and freeze-thaw treatment on polyphenol content of frozen strawberries.* *LWT-Food Sci. Technol.* 42, 581–586.
- Patras A., Brunton N.P., O'Donnell C., Tiwari B.K., 2010. *Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation.* *Trends Food Sci. Tech.* 21(1), 3–11.
- Perino-Issarter S., Jean-Francois M., Chemat F., 2011. *Microwave Food Processing.* In: Alternatives to Conventional Food Processing. (Ed.) A. Proctor, RSC Publishing, Cambridge, 415–458.
- Piotrowski D., Lenart A., Wardzyński A., 2004. *Influence of osmotic dehydration on microwave convective drying of frozen strawberries.* *J. Food Eng.* 65(4), 519–525.
- Piotrowski D., Praga W., 2011. *Suszenie owoców i warzyw z wykorzystaniem energii mikrofal.* *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.* 55(9), 26–27.
- Puzanowska-Tarasiewicz H., Kuźmicka L., Tarasiewicz M., 2010. *Antyoksydanty a reaktywne formy tlenu.* *Bromat. Chem. Toksykol.* 43(1), 9–14.
- Scalzo, J., Politi A., Pellegrini N., Mezzetti B., Battino M., 2005. *Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit.* *Nutrition* 21, 207–213.
- Skrede G., 1996. *Effect of freezing on fruits.* *Food Sci. Technol.* 72, 183–245.
- Singleton V.L., Rossi J.A., 1965. *Colorimetry of total phenolics with phosphomolybic-phosphotungstic acid reagents.* *Am. J. Enol. Viticult.* 16(3), 58–144.
- Skupień K., Wójcik-Stopczyńska B., 2005. *Quality estimation of Elsanta cultivar strawberry homogenates.* *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 4(2), 25–35.
- Subbaramaiah K., Michaluart P., Chung W.J., Dannenberg A.J., 1998. *Resveratrol inhibits the expression of cyclooxygenase-2 in human mammary and oral epithelial cells.* *Pharm. Biol.* 36, 35–43.
- Tulipani S., Romandini S., Busco F., Bompadre S., Mezzetti B., Battino M., 2009. *Ascorbate, not urate, modulates the plasma antioxidant capacity after strawberry intake.* *Food Chem.* 117, 181–188.
- Verbeyst L., Van Crombruggen K., Van der Plancken I., Hendrickx M., Van Loey A., 2011. *Anthocyanin degradation kinetics during thermal and high pressure treatments of raspberries.* *J. Food Eng.* 105(3), 513–521.
- Wang S.Y., Zheng W. 2001. *Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry.* *J. Agric. Food Chem.* 49(10), 4977–4982.
- Wojdyło A., Figiel A., Oszmiański J., 2009. *Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits.* *Agric. Food Chem.* 57(4), 1337–1343.
- Wrolstad R.E., 1993. *Color and pigment analyses in fruit products.* Station Bulletin. Agricultural Experiment Station Oregon State University, Corvallis 624, 1–17.

INFLUENCE OF MICROWAVE THAWING ON TOTAL POLYPHENOLS AND ANTHOCYANINS IN VACUUM DRIED STRAWBERRIES

Summary. The objective of this study was to determinate the effect of microwave thawing parameters on the anthocyanins and total polyphenols content in strawberries. Strawberries of the Senga Sengana variety were harvested in years 2010, 2011, 2012 then they were frozen and stored until the day of the experiment in temperature -19°C . Strawberries harvested in 2010 were stored 31 months, strawberries harvested in 2011 were stored 19 months, and strawberries harvested in 2012 were stored 7 months. Strawberries were thawed using microwave oven (Samsung, model MW87W), following microwave powers were used: 0.9 , 1.2 and $1.8 \text{ W}\cdot(\text{g thawed strawberries})^{-1}$. Thawing was continued until the temperature inside the fruit was $(+5^{\circ}\text{C})$. After thawing strawberries were dried in laboratory vacuum dryer (60°C , 4 kPa). The contents of total polyphenols and anthocyanins in microwave thawed strawberries were compared before vacuum drying and after this process. Anthocyanins in strawberries were indicated using Wrolstad [1993] methodology. Extracts of dried and thawed material were prepared. Absorbency was measured with wave light: $\lambda = 510$ and 700 nm . Total polyphenols were indicated using Singleton and Rossi [1965] methodology. Total polyphenols were indicated in spectrophotometer Helios γ UV-VIS Thermo Electron, wave light: $\lambda = 750 \text{ nm}$. Separated statistics were carried out for different microwave powers in each analyzed year of harvesting. Because experiment results did not have normal distribution, to determine significant differences Kruskal-Wallis's test was used. Statistical analysis was performed at the $\alpha = 0.05$ significance level using Statistica 10 software (StatSoft, Inc.). The lowest total polyphenols and anthocyanins retention was indicated in microwave thawed strawberries ($1.8 \text{ W}\cdot(\text{g thawed strawberries})^{-1}$) harvested in the year 2011, stored for 19 months. The highest content of considered biologically active compounds was obtained for thawed strawberries harvested in the year 2012, and stored only for 7 months. The biggest total polyphenols and anthocyanins retention in microwave thawed strawberries after vacuum drying was also indicated in strawberries harvested in 2012. Vacuum drying leads to statistically significant loss of anthocyanins and total polyphenols in strawberries. Anthocyanins content in thawed strawberries was significantly greater ($8.29\text{--}17.99 \text{ mg}\cdot(100 \text{ g d.s.})^{-1}$) than anthocyanins level in strawberries after drying ($6.17\text{--}12.68 \text{ mg}\cdot(100 \text{ g d.s.})^{-1}$). Total polyphenols level in thawed strawberries was significantly greater ($19.15\text{--}34.68 \text{ mg}\cdot(100 \text{ g d.s.})^{-1}$) than total polyphenols level in strawberries after drying ($18,10\text{--}33,12 \text{ mg}\cdot(100 \text{ g d.s.})^{-1}$). Anthocyanins and total polyphenols contents were greater when microwave power used for thawing strawberries were lower (these differences were statistically significant). For thawing frozen strawberries it is appropriate to use microwave power $0.9 \text{ W}\cdot(\text{g thawed strawberries})^{-1}$. For microwave power $1.8 \text{ W}\cdot(\text{g thawed strawberries})^{-1}$ the content of bioactive compounds was statistically significant lower for Senga Sengana strawberries harvested in each analyzed year. The power of the microwave $1.2 \text{ W}\cdot(\text{g thawed strawberries})^{-1}$ caused statistically insignificant reduction in the content of bioactive compounds in relation to the power $0.9 \text{ W}\cdot(\text{g thawed strawberries})^{-1}$.

Key words: microwave thawing, strawberries, vacuum drying, anthocyanins, polyphenols