

WPŁYW OBRÓBKI CIEPLNEJ NA BARWĘ I WŁAŚCIWOŚCI ANTYOKSYDACYJNE RÓŻ I ŁODYGI BROKUŁU

Katarzyna Kozłowicz[✉], Dariusz Góral, Franciszek Kluza,
Ewa Jabłońska-Ryś, Marta Zalewska-Korona, Agnieszka Wójtowicz,
Małgorzata Góral

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Celem badań było określenie wpływu blanszowania, zamrażania oraz liofilizacji na zawartość związków fenolowych, właściwości antyoksydacyjne i barwę róż brokułu z uwzględnieniem łodygi jako części użytkowej. W badanym surowcu oznaczono zawartość wody, całkowitą zawartość związków fenolowych, właściwości przeciwutleniające (DPPH) oraz wartość siły redukującej i zdolność redukowania jonów żelaza (FRAP). Barwę mierzono w systemie CIE – $L^*a^*b^*$. Stwierdzono, że zawartość związków fenolowych w różach i w łodydze brokułu oraz aktywność przeciwutleniająca ulegają zmniejszeniu w wyniku blanszowania oraz procesu zamrażania. Blanszowanie oraz zamrażanie róż brokułu powodują istotne zmiany w ich barwie. W przypadku łodygi, zarówno rdzenia, jak i perydermy, nie zaobserwowano istotnych statystycznie zmian w różnicy barwy i jej nasyceniu w wyniku blanszowania, zamrażania i liofilizacji. Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki stwierdzono, że łodyga brokułu może stanowić cenne źródło związków fenolowych.

Słowa kluczowe: brokuł, blanszowanie, zamrażanie, związki fenolowe, właściwości przeciwutleniające, barwa

WSTĘP

Brokuł (*Brassica oleracea* var. *Italica*) zwany inaczej kapustą szparagową, jest popularnym warzywem z rodziny *Brassicaceae*, pochodzącym z rejonu Morza Śródziemnego [Srichandan i in. 2015]. Jest rośliną jednoroczną, której częściami użytkowymi są: róża główna, róże boczne oraz łodyga. Jest bogatym źródłem związków fitochemicznych: glukozyzolanów, flawonoidów, karotenoidów, witamin i minerałów, kwasu foliowego czy błonnika [Lee i Lee 2010, Martí i in. 2015, Cai i in. 2016]. Jest warzywem

[✉]katarzyna.kozlowicz@up.lublin.pl

niskokalorycznym o niewielkiej zawartości tłuszczu [Srichandan i in. 2015]. Badania wykazały, że spożywanie brokołu przyczynia się do zmniejszenia ryzyka zachorowania na nowotwory, choroby sercowo-naczyniowe [Xin i in. 2014, Srichandan i in. 2015, Cai i in. 2016], wspomaga leczenie osteoporozy [Koszowska i in. 2013], zapobiega występowaniu chorób neurodegeneracyjnych [Weichselbaum i Buttriss 2010] oraz hamuje wzrost mikroorganizmów gnilnych i prowadzi do obniżenia poziomu cholesterolu we krwi [Kislichenko i Vladimirova 2008].

Na poziom zawartości związków fitochemicznych w surowcach roślinnych mają wpływ czynniki uprawowe (m.in. warunki klimatyczne i agrotechniczne, stopień dojrzałości, czas zbioru), postępowanie pozbiornicze oraz procesy przetwórcze, wśród których zamrażanie jest najbardziej skuteczną metodą zachowania wartości odżywczej i jakości sensorycznej warzyw [Gębczyński 2003]. Proces zamrażania większości surowców roślinnych poprzedza blanszowanie. Jego celem jest inaktywacja enzymów [Auwaha i in. 2007, Ramaswamy i Marcotte 2015] oraz rozluźnienie struktury surowca [Abu-Ghannam i Jaiswal 2015, Ramaswamy i Marcotte 2015]. Blanszowanie może skutkować wymywaniem niektórych składników i wpływa na inaktywację enzymów odpowiedzialnych za utlenianie enzymatyczne naturalnych przeciwutleniaczy w surowcu. Badania dowodzą, że surowce roślinne poddane blanszowaniu wykazują wyższą aktywność przeciwutleniającą w czasie przechowywania od surowców nieblanszowanych [Hunter i Fletcher 2002, Puupponen-Pimia i in. 2003].

Liofilizacja jest metodą, dzięki której zachowuje się wartość odżywczą surowca. Aktywność przeciwutleniająca oraz zawartość polifenoli w suszach sublimacyjnych jest porównywalna z surowcem wyjściowym [Rząca i Witrowa-Rajchert 1997, Tryzno i in. 2015].

Celem badań było określenie wpływu blanszowania, procesu zamrażania oraz liofilizacji na zawartość związków fenolowych, właściwości antyoksydacyjne i barwę róż brokołu z uwzględnieniem łodygi jako części użytkowej.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badanym były brokoły odmiany *Monaco* pochodzące z miejscowej uprawy w gruncie. Uprawa brokułów prowadzona była zgodnie z zasadami agrotechnicznymi, właściwymi dla tego gatunku. Zbiór brokułów był wykonany w optymalnej fazie dojrzałości zbiorczej róż, przy zachowaniu jednolitej wielkości roślin, wolnych od porażań chorobowych i uszkodzeń mechanicznych. Brokoły bezpośrednio po zbiorze, uprzednim usunięciu liści, skróceniu łodyg i umyciu poddawano obróbce cieplnej w różnych wariantach oraz odpowiedniej analizie, wykorzystując różę (o średnicy 3–4 cm) i części łodygi (o długości 1 cm). Materiał blanszowano dwiema metodami: immersyjną we wrzącej wodzie przez 3 minuty (udział masowy surowca do ilości wody 1:2), albo w parze wodnej przy ciśnieniu atmosferycznym przez 5 minut w temperaturze 95°C (naczynie z perforowaną wkładką ogrzewane elektrycznie). Próby po blanszowaniu schładzano w powietrzu, w temperaturze pokojowej (20°C), osuszano i zamrażano owiewowo w warunkach konwekcji naturalnej, w powietrzu o temperaturze –30°C (komora klimatyczna, *Memmert CTC*). Zamrożone próby pakowano w woreczki z folii polietylenowej i przechowywano

przez 7 dni. Suszenie sublimacyjne wykonano w suszarce Christ LOC-1m firmy ALPHA 2-4 L D plus (ciśnienie w komorze 20Pa, temperatura w komorze suszenia -36°C).

Zawartość wody w badanym materiale na każdym etapie obróbki określano zgodnie z AOAC [2000].

Próby brokułu świeżego, blanszowanego, rozmrożonego rozdrabniano przy użyciu blendera Ergo Mixx o mocy 750 W (BOSCH) w czasie 3 min, liofilizowane próby brokułu rozdrabniano w młynku laboratoryjnym WŻ-1 (SPOŁEM) w czasie 1 min. Naważki poszczególnych prób o masie 2 g poddano ekstrakcji, stosując 30 ml 96% etanolu (dla prób świeżych, blanszowanych i mrożonych) lub 80% etanolu (próby liofilizowane) w wytrząsarce Elpan 357 (ELPAN) w 80°C przy 175 rpm w czasie 1 h. Uzyskane ekstrakty wirowano (MPW 350-R; MPW) przy $4,800\times\text{g}$ przez 15 min i stosowano do oznaczeń całkowitej zawartości związków fenolowych z odczynnikiem Folin-Ciocalteu (P.O.Ch), siły zmiatania rodników 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) oraz wartości siły redukującej i zdolności redukcji jonów żelaza (FRAP).

Całkowitą zawartość związków fenolowych oznaczano zgodnie z metodą Dubost i innych [2007] z modyfikacjami. Etanolowe ekstrakty w ilości 0,2 mL mieszano z 0,8 mL odczynnika Folina-Ciocalteu (P.O.Ch.) wcześniej rozcieńczonego wodą destylowaną w stosunku 1:10 (v/v). Po 3 min dodawano 1,25 mL 7% Na_2CO_3 (P.O.Ch.), ponownie mieszano (worteks TK3S; KARTELL) przez 15 s i przetrzymywano w ciemności przez 30 min. Po tym czasie mierzono absorbancję przy długości fali 765 nm (spektrofotometr Helios Gamma; THERMO FISHER SCIENTIFIC). Wyniki wyrażono w mg równoważników kwasu galusowego (GAE) na 100 g brokułu.

Aktywność redukcji rodnika (DPPH) oznaczono zgodnie z metodą Choia i innych [2006] z modyfikacjami. Etanolowe ekstrakty w ilości 0,2 mL mieszano z 0,8 mL 0,2 mM etanolowym roztworem DPPH i przetrzymywano w ciemności przez 15 min. Po tym czasie mierzono absorbancję przy długości fali 520 nm. Wyniki podano w postaci μmol troloxu (TE) na 100 g brokułu.

Oznaczenie całkowitej zdolności antyoksydacyjnej ekstraktów z brokułu określono według Thetsrimuanga i innych [2011] z modyfikacjami. Etanolowe ekstrakty w ilości 0,1 mL mieszano z 1,9 mL reagentu FRAP i inkubowano w ciemności w temperaturze 37°C przez 15 min. Po tym czasie mierzono absorbancję przy długości fali 593 nm. Wyniki podano w postaci μmol troloxu (TE) na 100 g brokułu.

Do pomiarów barwy materiału wykorzystano kolorymetr odwzorowujący Lovibond CAM – System 500 [The Tintometer Ltd., UK] w skali CIE – $L^*a^*b^*$ (Standard Illumination D65, CIE 10° Standard Observer). Wartościami kolorów tła były: $L^* = 94,0$, $a^* = 2,7$ i $b^* = -0,4$. Wykorzystując parametry barwy, obliczono bezwzględną różnicę barwy ΔE oraz zmianę nasycenia barwy ΔC [Pękosławska-Garstka i Lenart 2010, Wrolstad i Smith 2010]:

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_{pr\acute{o}ba} - L^*_{kontrola})^2 + (a^*_{pr\acute{o}ba} - a^*_{kontrola})^2 + (b^*_{pr\acute{o}ba} - b^*_{kontrola})^2} \quad (1)$$

$$\Delta C = \sqrt{(a^*_{pr\acute{o}ba})^2 + (b^*_{pr\acute{o}ba})^2} - \sqrt{(a^*_{kontrola})^2 + (b^*_{kontrola})^2} \quad (2)$$

Analizie poddano średnie arytmetyczne rezultatów trzech równoległych oznaczeń. Obliczono podstawowe statystyki opisowe wyznaczonych parametrów, wykorzystując program *Statistica 13* i analizę wariancji (ANOVA). W celu zweryfikowania istotności różnic pomiędzy wartościami średnimi zastosowano test *t-Studenta* przy poziomie istotności $p < 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnia zawartość wody w badanych użytkowych częściach brokułu mieściła się w zakresie od 84,3 do 85,2% dla róż oraz od 90,0 do 92,4% dla łodygi (tab. 1).

Średnia zawartość związków fenolowych w materiale badanym wahała się odpowiednio od 144,9 mg GAE/100 g próbki (róże zamrożone i blanszowane w wodzie) do 198,1 mg GAE/100 g próbki (róże świeże) oraz od 57,9 mg GAE/100 g próbki (łodyga zamrożona i blanszowana w wodzie) do 92,7 mg GAE/100 g próbki (łodyga świeża). Świeże róże brokułu zawierały 2,1 razy więcej związków fenolowych niż świeża łodyga. Zarówno w mrożonych różach, jak i w łodygach, poddanych blanszowaniu zawartość związków fenolowych była istotnie ($p < 0,05$) niższa niż w próbach materiału świeżego. Uzyskane wyniki badań zawartości związków fenolowych były zbliżone do wyników uzyskanych przez Wieczorek i innych [2013], którzy oznaczyli w brokule świeżym 223 mg GAE/100 g masy oraz w gotowanym na parze brokule 143 mg GAE/100 g masy polifenoli. Ekstrakty z liofilizowanych łodyg zawierały tylko 0,9 razy mniej związków fenolowych niż liofilizowane róże (odpowiednio 696,9 mg GAE/100 g masy oraz 795,1 mg GAE/100 g masy).

Zawartość związków fenolowych ma ścisły związek z aktywnością antyoksydacyjną ekstraktów brokułu mierzoną metodą DPPH. Przeprowadzone badania wykazały, że ekstrakty z róż brokułu w porównaniu do ekstraktów z łodyg wykazywały w przybliżeniu tylko 1,2-krotnie wyższą aktywność antyoksydacyjną. Blanszowanie róż brokułu zarówno w wodzie, jak i w parze nie wpłynęło istotnie na zmniejszenie aktywności antyoksydacyjnej otrzymanych z nich ekstraktów. Niższą zdolność eliminowania rodnika DPPH wykazywały natomiast ekstrakty otrzymane z róż zamrażanych i blanszowanych zarówno w wodzie (154,7 $\mu\text{mol TE}/100$ g próbki), jak i w parze (231,5 $\mu\text{mol TE}/100$ g próbki). W przypadku ekstraktów z łodyg, blanszowanie istotnie zmniejszyło ich aktywność antyoksydacyjną, odpowiednio o 33% oraz o 45%. Mniejsze różnice siły zmiatania wolnych rodników DPPH stwierdzono dla ekstraktów z łodyg zamrażanych i blanszowanych w parze (o 27%). Ekstrakty liofilizowanych części jadalnych brokułu charakteryzowały się zdolnością eliminowania wolnego rodnika na poziomie 2015,3 $\mu\text{mol TE}/100$ g próbki w przypadku róż oraz 1739,6 $\mu\text{mol TE}/100$ g próbki w przypadku łodygi.

Aktywność antyoksydacyjna określona na podstawie zdolności ekstraktów do redukcji jonów żelazowych do żelazowych (FRAP) w ekstrakcie ze świeżych róż i łodyg wynosiła odpowiednio 819,1 $\mu\text{mol TE}/100$ g próbki i 411,5 $\mu\text{mol TE}/100$ g próbki. Zdolność redukcji żelaza od Fe^{+3} do Fe^{+2} ekstraktów z blanszowanych i zamrażanych róż i łodyg była istotnie niższa w stosunku do ekstraktów uzyskanych z prób świeżych.

W pracach licznych autorów stwierdzono, że procesy obróbki cieplnej wpływają na zawartość związków bioaktywnych w brokułach oraz na ich aktywność przeciwutlenia-

Tabela 1. Wyniki biochemicznej analizy części użytkowych brokołu
Table 1. Results of biochemical analysis of broccoli usable part

Material Material	Świeży Fresh	Blanszowany w wodzie Blanched in water	Blanszowany w parze Blanched in vapor	Zamrożony nieblanszowany Frozen non blanched	Zamrożony blanszowany w wodzie Frozen Blanched in water	Zamrożony blanszowany w parze Frozen Blanched in vapor	Liofilizowany Lyophilized
Część użytkowa Usable part	Zawartość wody – Water content [%]						
Róża Floret	84,8 ±0,2 ^a	85,1 ±0,1 ^a	85,2 ±0,6 ^a	85,0 ±0,1 ^a	85,1 ±1,7 ^a	84,3 ±1,0 ^a	7,7 ±0,0 ^b
Łodyga Stalk	92,4 ±0,1 ^a	91,7 ±0,1 ^b	91,9 ±0,1 ^c	91,1 ±0,9 ^a	90,2 ±0,6 ^d	90,0 ±0,1 ^e	6,7 ±0,1 ^f
Zawartość fenoli – Phenolic content [mg GAE/100 g próbki]							
Róża Floret	198,1 ±3,7 ^a	178,9 ±7,1 ^b	179,5 ±9,9 ^c	155,6 ±6,2 ^d	144,9 ±6,6 ^e	154,3 ±7,7 ^f	795,1 ±46,0 ^g
Łodyga Stalk	92,7 ±0,9 ^a	67,6 ±1,3 ^b	72,5 ±0,8 ^c	84,6 ±1,3 ^d	57,9 ±0,9 ^e	68,7 ±3,0 ^f	696,9 ±39,9 ^g
DPPH [μmol TE/100 g próbki]							
Róża Floret	334,6 ±6,7 ^a	324,8 ±3,8 ^a	331,3 ±4,3 ^a	241,3 ±5,6 ^b	154,7 ±7,3 ^c	231,5 ±2,9 ^d	2015,3 ±195,2 ^e
Łodyga Stalk	278,4 ±6,3 ^a	186,4 ±6,5 ^b	153,2 ±6,2 ^c	182,6 ±6,9 ^d	191,2 ±6,2 ^e	203,9 ±5,0 ^f	1739,6 ±156,6 ^g
FRAP [μmol TE/100 g próbki]							
Róża Floret	819,1 ±23,6 ^a	736,0 ±16,3 ^b	667,4 ±41,8 ^c	636,8 ±22,7 ^d	460,5 ±28,7 ^e	593,5 ±14,2 ^f	4146,9 ±472,5 ^g
Łodyga Stalk	411,5 ±8,7 ^a	274,8 ±10,5 ^b	216,6 ±13,1 ^c	379,2 ±15,0 ^d	262,4 ±6,9 ^e	281,0 ±6,4 ^f	3069,8 ±237,5 ^g

a, b, c – wartości w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie ($p < 0,05$). Średnia ± odchylenie standardowe ($n = 3$).

a, b, c – values in the same row with different letters are significantly different ($p < 0,05$). Mean ± standard deviation ($n = 3$).

jąca [Zhang i Hamauzu 2004, Gawlik-Dziki 2008, Drużyńska i in. 2009, Wieczorek i in. 2013, Różańska i in. 2014]. Jednak wyniki badań nie są jednoznaczne. Niektórzy autorzy wykazują pozytywny wpływ obróbki cieplnej na zawartość związków fenolowych i aktywność antyoksydacyjną, a inni dowodzą zmniejszenia tych wartości. W badaniach prowadzonych przez Gawlik-Dziki [2008] wykazano, że obróbka hydrotermiczna (gotowanie) mrożonych brokułów prowadzi do zwiększenia ilości związków fenolowych od 0,964 do 2,497 mg·g⁻¹ świeżej próby. Podobnie Drużyńska i inni [2009] wykazali, że największą zawartością związków polifenolowych charakteryzowały się ekstrakty z brokułów surowych po ugotowaniu (1,71 g/100 g s.m.), zaś w ekstraktach z brokułów surowych zawartość tych związków była niższa (1,29 g/100 g s.m.). Badania Zhang i Hamauzu [2004] dowodzą natomiast obniżenia zawartości związków fenolowych pod wpływem obróbki termicznej. Stwierdzili oni, że całkowita zawartość polifenoli w 100 g róż brokułu wynosi 34,5 mg, a po 30 s ich gotowania 23,6 mg, po 5 min. gotowania – 9,7 mg. Zmniejszeniu uległa także aktywność antyoksydacyjna brokułów gotowanych w porównaniu ze świeżymi. Wieczorek i inni [2013] również zauważyli, że brokuły świeże, niepoddane obróbce cieplnej zawierały o 44% więcej polifenoli niż brokuły mrożone. Na niejednoznaczne wyniki badań różnych autorów wpływa wiele czynników, do których możemy zaliczyć m.in. czynniki uprawowe i warunki przechowywania surowca, parametry obróbki cieplnej, sposób przygotowania surowca do oznaczeń czy dobór metody ekstrakcyjnej i rozpuszczalnika [Różańska i in. 2014].

Analiza składowych barwy róż brokułu wykazała statystycznie istotne różnice wartości parametru L^* prób poddanych obróbce cieplnej oraz zamrażaniu w porównaniu z próbami świeżymi (tab. 2). Blanszowanie oraz zamrażanie powodują istotne zmniejszenie jasności róż. Uzyskane wartości zmniejszyły się z 60,7 dla róż świeżych do 22,0 dla róż blanszowanych w parze wodnej. W przypadku łodygi, zarówno dla rdzenia, jak i perydermy, blanszowanie i zamrażanie nie wpłynęły istotnie na wartości parametru L^* . W przypadku róży oraz łodygi-rdzenia poddanych blanszowaniu oraz zamrażaniu zaobserwowano spadek wartości współczynnika chromatyczności a^* (bardziej zielone) oraz istotny wzrost współczynnika chromatyczności b^* (bardziej żółte) w porównaniu z próbami świeżymi. Blanszowanie oraz proces zamrażania róż i łodygi wpłynęły na zmianę barwy w sposób zauważalny, ponieważ wszystkie wyznaczone różnice barwy (ΔE) przekroczyły wartość 5,0 (tab. 2), która to wartość uważana jest za graniczną, umożliwiającą rozróżnienie kolorów przez ludzkie oko [Wrolstad i Smith 2010]. Zmiany barwy prób w porównaniu z surowcem świeżym były najmniejsze w przypadku róż nieblanszowanych i zamrażanych (12,0), liofilizowanych (6,32) oraz w przypadku łodygi-rdzenia liofilizowanej (4,7) i prób zamrażanych poddanych blanszowaniu w wodzie (6,88). Podobne zależności zaobserwowano, analizując zmiany nasycenia barwy (ΔC). Na duże różnice barwy i jej nasycenia róż i łodyg brokułu w wyniku procesu blanszowania mogą mieć wpływ fizyczne zmiany tkanki obejmujące degradację chlorofilu. Zmiana koloru zieleni spowodowana obróbką cieplną polega przede wszystkim na zwiększeniu parametrów barwy (w wyniku krótkich zabiegów blanszowania), a następnie ich spadku [Tijssens i in. 2001, Szydłowska i Czarniecka-Skubina 2006]. Na zróżnicowane zmiany barwy i jej nasycenia róż brokułu może mieć również wpływ utrudniony pomiar, co wynika z faktu, że powierzchnia róż brokułu nie jest płaska i zależy od stopnia ich dojrzałości (etap otwarcia kwiatów).

Tabela 2. Parametry barwy badanych części użytkowych brokołu
Table 2. Colour parameters of analyzed usable broccoli parts

Material Material	Świeży Fresh	Blanszowany w wodzie Blanched in water	Blanszowany w parze Blanched in vapor	Zamrożony nieblanszowany Frozen non blanched	Zamrożony blan- szowany w wodzie Frozen blanched in water	Zamrożony blan- szowany w parze Frozen blanched in vapor	Liofilizowany Lyophilized
Część użytkowa – Usable part							
<i>L*</i>							
Róża – Floret	60,7 ± 0,2 ^a	40,1 ± 0,8 ^b	22,0 ± 0,4 ^c	49,1 ± 0,5 ^d	30,6 ± 1,4 ^e	33,3 ± 0,4 ^f	62,5 ± 0,8 ^g
Łodyga – rdzeń / Stalk – stem	93,3 ± 0,0 ^a	92,9 ± 0,0 ^a	92,8 ± 0,2 ^a	92,4 ± 0,2 ^b	92,9 ± 0,6 ^a	92,5 ± 0,3 ^a	92,9 ± 0,6 ^a
Łodyga – peryderma / Stalk – periderm	82,4 ± 0,3 ^a	82,3 ± 0,2 ^a	84,4 ± 0,3 ^b	82,7 ± 0,3 ^a	82,7 ± 0,3 ^a	82,4 ± 0,3 ^a	83,9 ± 0,8 ^a
<i>a*</i>							
Róża – Floret	-9,5 ± 0,5 ^a	-18,7 ± 1,8 ^b	-29,1 ± 0,9 ^c	-10,3 ± 1,2 ^a	-19,2 ± 0,8 ^{cd}	-18,4 ± 1,7 ^c	-10,3 ± 1,2 ^a
Łodyga – rdzeń / Stalk – stem	-2,0 ± 0,0 ^a	-4,0 ± 0,5 ^b	-4,0 ± 0,5 ^c	-5,1 ± 0,0 ^a	-3,0 ± 0,5 ^a	-5,4 ± 0,9 ^d	-0,4 ± 0,0 ^b
Łodyga – peryderma / Stalk – periderm	-14,4 ± 0,9 ^a	-12,4 ± 0,4 ^b	-13,7 ± 2,0 ^a	-14,2 ± 0,5 ^a	-12,7 ± 0,4 ^c	-14,0 ± 0,9 ^a	-10,3 ± 1,2 ^d
<i>b*</i>							
Róża – Floret	15,8 ± 1,6 ^a	30,7 ± 0,9 ^b	21,9 ± 0,5 ^c	18,7 ± 0,9 ^a	21,1 ± 0,5 ^d	21,9 ± 0,9 ^e	21,8 ± 1,8 ^f
Łodyga – rdzeń / Stalk – stem	15,3 ± 0,0 ^a	22,9 ± 0,5 ^b	23,7 ± 1,2 ^c	30,7 ± 1,2 ^d	22,1 ± 0,5 ^e	30,5 ± 0,5 ^f	10,9 ± 0,5 ^g
Łodyga – peryderma / Stalk – periderm	52,4 ± 0,4 ^a	40,6 ± 1,8 ^b	41,4 ± 2,5 ^c	39,9 ± 1,8 ^{cd}	39,3 ± 1,7 ^e	40,4 ± 0,8 ^f	20,0 ± 0,8 ^g
ΔE							
Róża – Floret	-	27,04	43,81	12,0	32,07	29,45	6,32
Łodyga – rdzeń / Stalk – stem	-	7,87	8,65	15,73	6,88	15,6	4,7
Łodyga – peryderma / Stalk – periderm	-	12,0	11,2	12,5	31,55	12,0	32,7
ΔC							
Róża – Floret	-	17,51	17,98	2,91	10,09	10,16	5,71
Łodyga – rdzeń / Stalk – stem	-	4,81	5,60	12,68	3,86	12,53	-7,53
Łodyga – peryderma / Stalk – periderm	-	24,01	25,17	23,91	22,86	24,32	4,06

a, b, c – wartości w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie ($p < 0,05$). Średnia ± odchylenie standardowe ($n = 3$).
a, b, c – values in the same row with different letters are significantly different ($p < 0,05$). Mean ± standard deviation ($n = 3$).

WNIOSKI

1. Róże brokołu w porównaniu z lodygami charakteryzowały się wyższą zawartością związków fenolowych i większą aktywnością przeciwutleniającą. Zawartość związków fenolowych w róży świeżej kształtowała się na poziomie 198,12 mg/100 g próbki, a w lodydze świeżej 92,70 mg/100 g próbki.

2. Zawartość związków fenolowych w różach i w lodydze brokołu oraz aktywność przeciwutleniająca ulegają zmniejszeniu w wyniku blanszowania w wodzie i w parze oraz procesu zamrażania.

3. Blanszowanie oraz zamrażanie róż brokołu powodują istotne zmniejszenie jasności barwy (spadek wartości L), zwiększenie udziału koloru zielonego (spadek wartości współczynnika chromatyczności a^*) i koloru żółtego (wzrost współczynnika chromatyczności b^*). W przypadku lodygi, zarówno jej rdzenia, jak i perydermy, blanszowanie i zamrażanie nie wpłynęły istotnie na wartości parametru L^* oraz współczynnika chromatyczności a^* . Zaobserwowano istotne zmiany wartości współczynnika chromatyczności b^* .

4. Zmiany barwy brokułów po obróbce cieplnej w porównaniu z surowcem świeżym były najmniejsze w przypadku róż liofilizowanych (6,32) oraz liofilizowanej lodygi-rdzenia (4,7).

5. Lodyga brokołu charakteryzuje się niższą zawartością związków fenolowych i niższą aktywnością przeciwutleniającą w porównaniu do róży.

LITERATURA

- Abu-Ghannam N., Jaiswal A.K., 2015. Blanching as a treatment process: Effect on polyphenols and antioxidant capacity of cabbage. W: Preedy V. (red.): Processing and impact on active components in food. Elsevier, London, UK, 35–43.
- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Awuaha G.B., Ramaswamy H.S., Economides A., 2007. Thermal processing and quality: Principles and overview. Chemical Engineering and Processing 46, 584–602.
- Cai C., Miao H., Qian H., Yao L., Wang B., Wang Q., 2016. Effects of industrial pre-freezing processing and freezing handling on glucosinolates and antioxidant attributes in broccoli florets. Food Chem. 210, 451–456.
- Choi Y., Lee S.M., Chun J., Lee H.B., Lee J., 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. Food Chem. 99, 381–387.
- Gębczyński P., 2003. Zmiany ilościowe wybranych składników chemicznych w procesie mrożenia i zamrażalniczego składowania głównych i bocznych róż brokołu. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria 2(1), 31–39.
- Drużyńska B., Stepień K., Piecyk M., 2009. Wpływ gotowania i mrożenia na zawartość niektórych składników bioaktywnych i ich aktywność przeciwutleniającą w brokułach. Bromat. Chem. Toksykol. 2, 169–176.
- Dubost N.J., Ou B., Beelman R.B., 2007. Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity. Food Chem. 105, 727–735.

- Gawlik-Dziki U., 2008. Effect of hydrothermal treatment on the antioxidant properties of broccoli (*Brassica oleracea* var. *Botrytis italica*) florets. *Food Chem.* 109, 393–401.
- Hunter K.J., Fletcher J.M., 2002. The antioxidant activity and composition of fresh, frozen, jarred and canned vegetables. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 3, 399–406.
- Kislichenko V.S., Vladimirova I.N., 2008. Polysaccharides from *brassica oleracea* var. *italica*. *Chemistry of Natural Compounds* 44, 77–78.
- Koszowska A., Dittfeld A., Puzoń-Brończyk A., Nowak J., Zubelewicz-Szkodzińska B., 2013. Polifenole w profilaktyce chorób cywilizacyjnych. *Postępy Fitoterapii* 1, 263–266.
- Lee J.H., Lee H.Y., 2010. Effect of Broccoli Powder on Consumer Perception and Sensory Characteristics of Cookies. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 15, 335–339.
- Martí R., Valcárcel M., Herrero-Martínez J.M., Cebolla-Cornejo J., Roselló, S., 2015. Fast simultaneous determination of prominent polyphenols in vegetables and fruits by reversed phase liquid chromatography using a fused-core column. *Food Chem.* 169, 169–179.
- Pękosławska-Garstka A., Lenart A., 2010. Wpływ obróbki termicznej na stabilność barwy miąższu dyni odwadnianej osmotycznie. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 552, 177–185.
- Puupponen-Pimia R., Hakkinen S., Marjukka A., Suortii T., Lampi A., Eurola M., Piironen V., Nuttila A., Oksman-Caldentey K., 2003. Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *J. Sci. Food Agric.* 83, 1389–1402.
- Ramaswamy H.S., Marcotte M., 2015. *Food processing: principles and applications*. CRC Press, United States of America.
- Różańska D., Regulska-Iłow B., Iłow R., 2014. Wpływ wybranych procesów kulinarnych na potencjał antyoksydacyjny i zawartość polifenoli w żywności. *Probl. Hig. Epidemiol.* 95(2), 215–222.
- Rząca M., Witrowa-Rajchert D., 2007. Suszenie żywności w niskiej temperaturze. *Przemysł Spożywczy* 4, 30–35.
- Srichandan S., Mangaraj A.K., Mohanty A., Behera K.K., Panda D., 2015. Influence of organic and inorganic fertilizer on nutrient content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Plant Archives* 15, 1127–1130.
- Szydłowska A., Czarniecka-Skubina E., 2006. Wpływ sposobu gotowania i przechowywania po ugotowaniu na temperaturę, wydajność i jakość sensoryczną brokułów. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 1(46), 117–132.
- Thetsrimuang C., Khammuang S., Chiablaem K., Srisomsap C., Sarnthima R., 2011. Antioxidant properties and cytotoxicity of crude polysaccharides from *Lentinus polychrous* Lév. *Food Chem.* 128, 634–639.
- Tijsskens L.M.M., Schijvens E.S.A., Biekman E.S.A., 2001. Modeling the change in colour of broccoli and green beans during blanching. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2, 303–313.
- Tryzno E., Śledź M., Witrowa-Rajchert D., 2015. Wpływ warunków przechowywania na wybrane właściwości liofilizowanych malin. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 581, 113–122.
- Weichselbaum E., Buttriss J.L., 2010. Polyphenols in the diet. *Nutrition Bulletin* 35(2), 157–164.
- Wieczorek C., Bliska B., Przybylski W., Klocek A., 2013. Wpływ sposobu obróbki cieplnej na poziom polifenoli w świeżych i mrożonych brokułach. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2, 36–39.
- Wrolstad R.E., Smith D.E., 2010. Color analysis. In: *Food Analysis* (Eds. Nielsen). Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 574–586.

- Xin Y., Zhang M., Adhikari B., 2014. Freezing characteristics and storage stability of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) under osmodehydrofreezing and ultrasound-assisted osmodehydrofreezing treatments. *Food and Bioprocess Technology* 7, 1736–1744.
- Zhang D., Hamauzu Y., 2004. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chem.* 88, 503–509.

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON COLOUR AND ANTIOXIDANTE PROPERTIES OF BROCCOLI FLORETS AND STALK

Summary. Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*) belongs to cruciferous family and is popular for their appealing colour, flavor and texture. Broccoli is rich in health-promoting compounds such as ascorbic acid, tocopherol, β -carotene, polyphenols, glucosinolate, flavonoids and selenium. These compounds are known to provide different degree of protection against cancer and cardiovascular diseases. However, fresh broccoli has a limited shelf-life. It is well known that freezing is one of the most efficient methods to preserve perishable fruits and vegetables. The aim of this research was to evaluate how blanching, freezing and freeze-drying impact on the contents of phenolic compounds, antioxidant properties and colour of broccoli florets and stalk. Broccoli florets and stalk were blanched in water or vapor, frozen and lyophilized. Water content in samples was determined according to AOAC. Samples were freeze-dried (*Christ LOC-1m firmy ALPHA 2-4 L D plus*) at the pressure 20Pa. The total phenolic content was determined according to the Folin-Ciocalteu procedure and calculated as gallic acid equivalents (GAE). Free radical scavenging activity was determined using the DPPH method in ethanol extracts. The reducing power of the extracts was measured by the ferric reducing/antioxidant power (FRAP) technique. The colour was measured in the CIE *Lab* system with the calculation of colour difference and change in saturation of colour. The results showed that the broccoli florets were characterised by higher content of phenolic compounds and higher antioxidant activity than the broccoli stalk. The content of phenolic compounds in fresh florets came to 198.12 mg/100 g sample, and in fresh stalk 92.70 mg/100 g sample. The blanching in water or vapor and then freezing significantly increased the content of phenolic compounds and reduced antioxidant properties of both florets and stalk. The blanching and freezing of broccoli florets cause a significant decrease in colour brightness, an increase in the proportion of green and yellow. In the case of stalk, both its core and periderm, blanching and freezing did not significantly affect the value of the L^* parameter and the a^* chromaticity coefficient. There were no significant changes in color and difference in saturation between fresh broccoli floret and stalk and after its freeze-drying. It has been shown that the stalk is a valuable source of important nutritionally ingredients and can be used in food processing.

Key words: broccoli, blanching, freezing, phenolic compounds, antioxidant properties, colour