

DOROTA KLUSZCZYŃSKA, WANDA SOWIŃSKA

WPLYW PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH NA ZAWARTOŚĆ SUBSTANCJI BIOAKTYWNYCH W OWOCACH BORÓWKI CZERNICY

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu procesów technologicznych, takich jak: mrożenie, pasteryzacja, liofilizacja oraz produkcja soku i konfitury na zawartość substancji bioaktywnych w owocach borówki czernicy. Surowe owoce charakteryzowały się zawartością polifenoli średnio na poziomie 543 mg GAE/100 g, co warunkowało ich aktywność przeciwutleniającą (7,7 mmol Troloxu/100 g owoców). Równocześnie surowe owoce w 100 g zawierały 43,7 mg kwasu askorbinowego. Procesy technologiczne wpłynęły na zmniejszenie zawartości związków bioaktywnych w badanych owocach. Najmniejsze straty polifenoli ogółem i witaminy C stwierdzono po procesie mrożenia (odpowiednio: 18 i 11 %), natomiast największe ubytki tych związków wystąpiły podczas produkcji soków (odpowiednio: 64 i 58 %). Także soki charakteryzowały się niską aktywnością przeciwutleniającą (1,94 mmola Troloxu/100 g produktu). Najniższą aktywnością przeciwutleniającą w stosunku do surowca świeżego (po uwzględnieniu wydajności procesu) charakteryzowały się owoce liofilizowane. Z tego względu proces liofilizacji nie jest odpowiednią metodą utrwalania owoców borówki czernicy. Mimo znacznych strat składników bioaktywnych podczas utrwalania i przetwarzania, przetwory z borówki czernicy są dobrym ich źródłem, zwłaszcza gdy uwzględni się sezonowość pozyskiwania owoców.

Słowa kluczowe: borówka czernica, związki polifenolowe, kwas askorbinowy, potencjał antyoksydacyjny

Wprowadzenie

Owoce jagodowe są bogatym źródłem związków bioaktywnych, które wykazują dobroczynne działanie na organizm. Wyniki wielu badań wskazują, że najlepszym źródłem związków o działaniu przeciwutleniającym są owoce roślin dziko rosnących, czego przykładem jest borówka czernica (*Vaccinium myrtillus*). Najważniejszym składnikiem przeciwutleniającym borówki są związki fenolowe, których całkowita

Dr inż. D. Kluszczyńska, mgr inż. W. Sowińska, Katedra Żywności Funkcjonalnej, Ekologicznej i Towaroznawstwa, Wydz. Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa. Kontakt: dorota_kluszczyńska@sggw.pl

zawartość w owocach wynosi nawet ok. 30 % suchej masy, z czego 70 % stanowią antocyjany, a w dalszej kolejności (10 %) – pochodne kwasu hydroksycynamonowego. Wśród antocyjanów przeważają takie związki, jak delfinidyna i malwidyna, a spośród fenolokwasów w największej ilości występują: kwas p-kumarowy, hydroksykawowy i 3,4-dimetoksycynamonowy [12]. Badania chemiczne i farmakologiczne przeprowadzone z różnymi frakcjami borówki czernicy wykazały, że dzięki obecności antocyjanów surowiec ten może odgrywać pozytywną rolę w oftalmologii i chorobach pochodzenia naczyniowego. Znaczenie borówki czernicy w schorzeniach związanych z osłabioną fotowrażliwością lub ze zmianami mikrokrążenia w siatkówce udowodniono w wielu badaniach [15]. Występującym w borówce garbnikom przypisuje się działanie zapierające, ściągające i bakteriobójcze. Antybakteryjne działanie owoców jagodowych w głównej mierze związane jest z występowaniem w ich składzie polifenoli. Wykazano, że ekstrakt polifenoli z owoców jagodowych hamuje wzrost takich bakterii, jak: *Salmonella*, *Escherichia*, *Staphylococcus* i *Listeria*. Te właściwości wykazują zarówno owoce świeże, jak i przetworzone [18]. Ze względu na wysoką wartość odżywczą owoce borówki czernicy wykorzystywane są jako środek spożywczy w postaci świeżych owoców, konfitur, marmolad, dżemów, syropów, soków, mrożonek, suszu i wielu innych. Mimo że właściwości smakowe i odżywcze owoców jagodowych należących do rodzaju *Vaccinium* są dobrze poznane i doceniane od wielu lat, to nadal prowadzone są badania mające na celu szczegółowe poznanie składu chemicznego poszczególnych odmian tych owoców, a zwłaszcza zawartości związków polifenolowych, kwasu askorbinowego i ich korzystnego oddziaływania na organizm, wynikającego z ich aktywności przeciwutleniającej [6]. Dostępne dane literaturowe nie wyczerpują tematu wpływu procesu technologicznego na zawartość substancji bioaktywnych i aktywność przeciwutleniającą owoców borówki czernicy.

Celem pracy była ocena wpływu procesów technologicznych, takich jak: liofilizacja, pasteryzacja, mrożenie oraz proces produkcji soku i konfitury na zawartość związków polifenolowych ogółem, witaminy C oraz na aktywność przeciwutleniającą owoców borówki czernicy.

Material i metody badań

Material doświadczalny stanowiły świeże owoce borówki czernicy, zakupione na targowisku w Warszawie. Część owoców mrożono w temp. $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, w zamrażarce domowej i przechowywano 4 tygodnie, kolejną część po zamrożeniu suszono metodą liofilizacji. Liofilizację prowadzono w temp. $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, przez 24 h, przy stałym ciśnieniu 63 Pa, stosując urządzenie typu ALPHA 1-4 LSC. Następną próbę stanowiły konfitury otrzymane w warunkach laboratoryjnych, poprzez smażenie w garnku 0,5 kg owoców surowych z cukrem w stosunku wagowym 1 : 1 przez około 25 min. Przygotowano także sok surowy – uzyskany w sokowirówce (Clatronic AE 3465) z wydajnością 76 %

oraz sok pasteryzowany – otrzymany w wyniku pasteryzacji soku surowego w temp. 75 °C w ciągu 15 min (sok pasteryzowano w szklanych zlewkach w łaźni wodnej, a następnie schładzano do oznaczeń). Wszystkie procesy wykonano w 3 powtórzeniach.

W otrzymanych produktach oznaczano zawartość związków polifenolowych ogółem i kwasu askorbinowego oraz określano aktywność przeciwutleniającą.

Związki polifenolowe oznaczano metodą kolorymetryczną, polegającą na przeprowadzeniu reakcji barwnej związków o charakterze polifenoli z odczynnikiem Folina-Ciocalteu'a, a intensywność powstającego zabarwienia mierzono za pomocą spektrofotometru UV-Vis Helios Gamma przy długości fali $\lambda = 720$ nm. Zawartość związków polifenolowych ogółem wyrażano jako ilość (w mg) kwasu galusowego (GAE) w 100 g badanego produktu [20]. Polifenole ekstrahowano z liofilizatu wodą dejonizowaną.

Oznaczanie zawartości kwasu askorbinowego wykonywano metodą kalorymetryczną, polegającą na odbarwieniu związku: 2,6-dichlorofenoloindofenolu podczas reakcji utleniania kwasu askorbinowego zawartego w materiale badanym do kwasu dehydroaskorbinowego. Następnie spektrofotometrycznie przy użyciu UV-Vis Helios Gamma oznaczano nadmiar barwnika ekstrahowanego ksylenem, przy długości fali $\lambda = 500$ nm. Ekstrakcję kwasu askorbinowego z badanej próbki prowadzono kwasem szczawiowym i lodowatym kwasem octowym, zgodnie z normą PN-90-A-75101/11 [16].

Aktywność przeciwutleniającą oznaczano metodą kolorymetryczną, polegającą na wygaszaniu syntetycznych kationorodników ABTS+• przez związki o charakterze przeciwutleniaczy, które znajdują się w badanej próbce. Odbarwienie roztworu będące wynikiem reakcji oznaczano za pomocą spektrofotometru UV-Vis Helios Gamma przy długości fali $\lambda = 734$ nm. Aktywność przeciwutleniającą wyrażano jako mmol Troloxu w 100 g badanego produktu [19].

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono przy użyciu pakietu Microsoft Office Excel 2003 i programu komputerowego Statistica v. 8. Za wynik badania przyjmowano średnią wartość oznaczeń. Do oszacowania różnic pomiędzy średnimi zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji. Weryfikacji hipotez dokonywano testem t-Studenta na poziomie istotności $p < 0,05$.

Wyniki i dyskusja

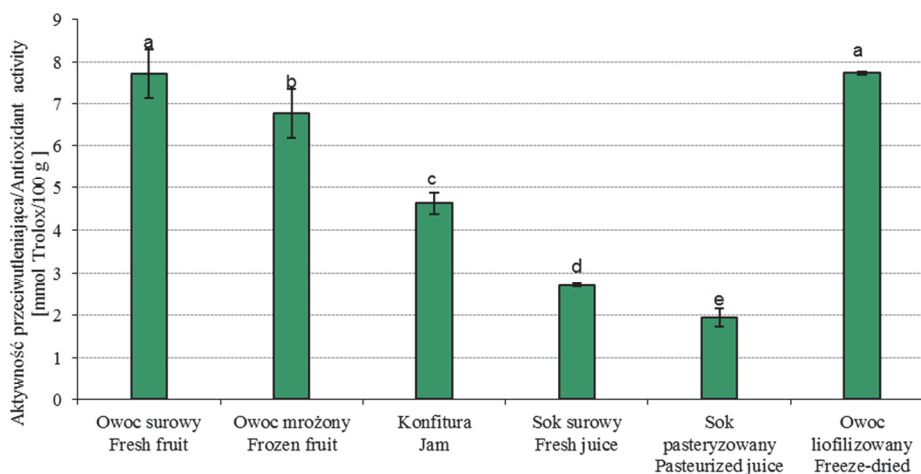
Wpływ procesu technologicznego na zawartość związków polifenolowych ogółem w owocach i przetworach z borówki czernicy

Zawartość związków polifenolowych ogółem w przeliczeniu na kwas galusowy (GAE) w owocach borówki czernicy i w przetworach z niej charakteryzowała się

znacznym zróżnicowaniem (rys. 1). Świeże owoce zawierały polifenole ogółem na średnim poziomie 543 mg GAE/100 g, podczas gdy Giovanelli i Buratti [4] oznaczyli 577 mg tych związków, Prior i wsp. [17] – 525 mg, a Suchorska-Tropiło [22] – 367 ÷ 578 mg. Mniej polifenoli w owocach borówki czernicy oznaczyli Borowska i wsp. [1] – 460 mg kwasu galusowego/100 g owoców surowych, a znacznie więcej – Witkowska i Zujko [30] – 614 mg/100 g oraz Michalczyk i Kuczewski [13] – ok. 680 mg/100 g.

Najwięcej polifenoli ogółem oznaczono w owocach liofilizowanych: 1638,5 mg GAE/100 g produktu. W procesie liofilizacji owoców borówki czernicy uzyskano wydajność 14,4 %. Jest to wartość o ponad 56 % niższa od wartości uzyskanej w owocach niepoddanych żadnej obróbce technologicznej.

Wykazano statystycznie istotne różnice ($p < 0,05$) pod względem zawartości związków polifenolowych ogółem pomiędzy wszystkimi produktami otrzymanymi z borówki czernicy. Polifenole występujące w owocach jagodowych to głównie antocyjany, które są związkami bardzo nietrwałymi. Na ich zawartość w roślinie wpływa wiele czynników, takich jak: sposób uprawy, odmiana, warunki klimatyczne, nasłonecznienie, termin zbioru oraz faza dojrzałości owoców w trakcie zbioru [17]. Różnice w składzie chemicznym borówki czernicy występują nie tylko wśród owoców pochodzących z różnych regionów kraju, ale także w owocach zebranych na jednym jagodniku [23]. Antocyjany znajdują się w zewnętrznych warstwach hipodermu



Objaśnienia: / Explanatory notes:

a - e – różnice pomiędzy wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne ($p < 0,05$) / differences among mean values denoted by different letters are statistically significant ($p < 0.05$).

Rys. 1. Zawartość związków polifenolowych ogółem w owocach i przetworach z borówki czernicy.
Fig. 1. The total content of polyphenolic compounds.

– magazynowane są w wakuolach w postaci drobnych granulek. Z miąższu owocu można je wydobyć metodami mechanicznymi, np. podczas rozcierania w młynku [25]. Poziom polifenoli ogółem w owocach borówki czernicy mrożonej, oznaczony w badaniach własnych, był o około 18 % niższy w odniesieniu do owoców surowych i wyniósł średnio 448,75 mg GAE/100 g produktu. Potwierdza to obserwację, że w procesie mrożenia odnotowuje się najmniejsze straty antocyjanów. Podobnie Mazur i Borowska [12] w badaniach wpływu mrożenia owoców żurawiny na zawartość polifenoli określiły straty tych związków na poziomie ok. 10 %, w przeliczeniu na suchą masę, natomiast po procesie liofilizacji ich zawartość była o połowę mniejsza. W badaniach własnych proces liofilizacji (po uwzględnieniu wydajności tego procesu, wynoszącej 14,4%) spowodował 56-procentowy ubytek polifenoli w owocach borówki czernicy, można więc przyjąć, że w wyniku tego procesu straty polifenoli są znaczne i kształtują się na poziomie ok. 50 %. Wskazuje to na małą stabilność związków fenolowych w owocach poddanych liofilizacji. Także Mazur i Borowska [12] potwierdziły ponad 50-procentowe straty polifenoli po poddaniu owoców żurawiny procesowi liofilizacji.

Konfitura borówkowa wyprodukowana w warunkach laboratoryjnych zawierała 347,60 mg związków polifenolowych w przeliczeniu na kwas galusowy w 100 g produktu, wobec czego straty związków polifenolowych ogółem wyniosły 36 % w odniesieniu do owoców surowych (z uwzględnieniem rozcieńczenia produktu dodatkiem cukru). Podobne obserwacje dotyczą borówki czernicy w badaniach Witkowskiej i Zujko [27] – zawartość polifenoli w świeżych owocach wynosiła 614 mg/100 g, natomiast w dżemach jagodowych było ich niemal o połowę mniej – 323 mg/100 g. Taką samą zawartość polifenoli – 323 mg/100 g – oznaczyli Mirończuk-Chodakowska i wsp. [14] w dżemie borówkowym niskosłodzonym.

Stosunkowo niski wynik otrzymano w przypadku soku surowego z borówki czernicy – 193,8 mg GAE/100 g produktu. Jest to o 64 % mniej od zawartości polifenoli w owocach surowych. Malik i wsp. [11] otrzymali wynik ponad dwukrotnie wyższy – 478 mg GAE/100 g soku surowego. Tak duże rozbieżności mogą wynikać ze sposobu otrzymywania soku. W badaniach własnych sok otrzymywano w sokowirówce, bez żadnej dodatkowej obróbki owoców, co spowodowało powstanie znacznej ilości wycieków z miąższu i skórek, a tym samym straty polifenoli. Należy zaznaczyć, że polifenole gromadzą się w zewnętrznej części owoców jagodowych, a w szczególności w ich skórce [5], dlatego w przypadku soku pozyskanego sokowirówką większość tych cennych związków pozostała w wyciekach. Oprócz związków fenolowych pozostałych w wyciekach, może też zachodzić ich degradacja w trakcie procesu otrzymywania soku przez działanie enzymów endogennych tj. oksydazy polifenolowej oraz peroksydazy. Stosunkowo mała zawartość tych związków w produkcie, w porównaniu z surowcem, mogłaby być zwiększona poprzez modyfikację metod uzyskiwania soku [21].

Sok pasteryzowany z borówki czernicy zawierał jedynie 122,65 mg GAE/100 g produktu. Ścibisz i wsp. [26] wykazali, że zawartość polifenoli w pasteryzowanym soku z owoców borówki wysokiej zmniejszyła się o 30 % w stosunku do soku świeżego. Z uwagi na dużą labilność, związki polifenolowe ulegają znacznej degradacji pod wpływem podwyższonej temperatury [11]. Po przeliczeniu zawartości polifenoli ogółem na porcję produktu zwyczajowo spożywano przez konsumentów (tab. 1) stwierdzono, że najwięcej polifenoli dostarczała organizmowi porcja owoców surowych, następnie mrożonych i kolejno w postaci soków surowych. Porcja soku surowego z borówki czernicy dostarczała 71 % związków polifenolowych ogółem w stosunku do owoców surowych. Najmniej polifenoli było w porcjach konfitur oraz owoców liofilizowanych.

Tabela 1. Zawartość polifenoli ogółem w zwyczajowo spożywanej porcji owoców i przetworów z borówki czernicy.

Table 1. Content of total polyphenols in commonly consumed servings of bilberry fruits and preserves.

Borówka czernica / Bilberry	Porcja / Serving [g]	Polifenole ogółem Total polyphenols [mg GAE/porcję produktu] [mg GAE / product serving]
Surowa / Fresh	100	543,65
Mrożona / Frozen	100	441,94
Konfitura / Jam	30 ¹	104,28
Sok surowy / Fresh Juice	250 ²	387,56
Sok pasteryzowany / Pasteurized Juice	250 ²	245,3
Liofilizowana / Freeze-dried	10 ³	163,85

Objaśnienia: / Explanatory notes:

¹ porcja konfitury zużyta na dwie kromki chleba / jam serving consumed on two slices of bread;

² 1 szklanka soku / glass of juice;

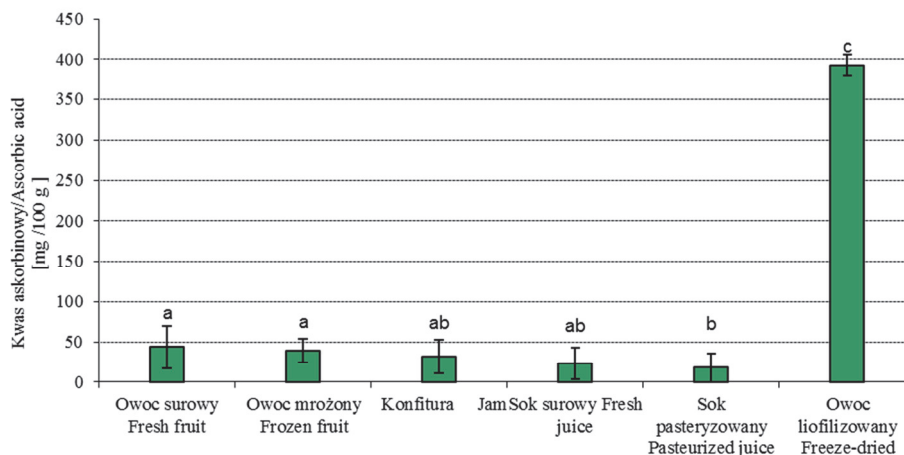
³ przykładowa ilość owoców liofilizowanych spożywana w porcji musli / model amount of freeze-dried fruits consumed in one muesli serving

Wpływ procesu technologicznego na zawartość kwasu askorbinowego w owocach i przetworach z borówki czernicy

W przypadku zawartości kwasu askorbinowego w owocach borówki czernicy wystąpiły znaczne różnice między wynikami badań własnych i danymi literaturowymi. Surowe owoce zawierały 43,7 mg tego kwasu w 100 g produktu. W Tabelach składu i wartości odżywczej żywności [9] podana zawartość tego składnika w borówkach to

14,7 mg/100 g. Różnice wyników spowodowane mogą być zastosowaniem odmiennych metod analitycznych.

Najwięcej kwasu askorbinowego zawierały owoce liofilizowane – 392,1 mg/100 g produktu, a mrożone – 38,9 mg/100 g. Zawartość kwasu askorbinowego w konfiturze z borówki czernicy wynosiła: 31,9 mg/100 g. Najmniejszą zawartością kwasu askorbinowego cechowały się soki surowy i pasteryzowany, odpowiednio: 23,1 i 18,1 mg/100 g przetworu.



Objaśnienia: / Explanatory notes:

a,b,c – różnice pomiędzy wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne ($p < 0,05$) / differences among mean values denoted by different letters are statistically significant ($p < 0.05$).

Rys. 2. Zawartość kwasu askorbinowego w owocach i przetworach z borówki czernicy.

Fig. 2. Content of ascorbic acid in bilberry fruits and preserves.

Pod względem zawartości kwasu askorbinowego istotne różnice wystąpiły pomiędzy owocami mrożonymi a sokiem pasteryzowanym oraz pomiędzy owocami liofilizowanymi a innymi przetworami z borówki czernicy. Zawartość kwasu askorbinowego w mrożonych borówkach była o 11 % mniejsza od jej zawartości w owocach surowych. Powszechnie uważa się, że proces zamrażania (temp. $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) prowadzi do strat witaminy C od 10 do 50 % w stosunku do jej zawartości w owocu surowym. Witamina C jest bardzo nietrwała w roztworach wodnych, łatwo ulega rozkładowi pod wpływem pH, temperatury (termolabilność witaminy C rośnie wraz ze wzrostem temperatury), a także obecności tlenu i niektórych metali. Kwas askorbinowy wykazuje pewną odporność na wysoką temperaturę w warunkach beztlenowych, natomiast w takich warunkach kwas dehydroaskorbinowy jest mniej trwały, co tłumaczy straty witaminy C w czasie ogrzewania [7]. Według Cendrowskiego i wsp. [2] zawartość kwasu askorbinowego w dżemie z borówki wysokiej bezpośrednio po wyprodukowa-

niu wynosiła 8,9 mg/100 g, co stanowiło ok. 30-procentowe zmniejszenie zawartości tej witaminy w stosunku do surowca świeżego. W badaniach własnych straty kwasu askorbinowego, rzędu 26 %, zaobserwowano w konfiturze w stosunku do surowca. Największe jednak ubytki kwasu askorbinowego wystąpiły w soku pasteryzowanym (58 %) w stosunku do owocu surowego. Mniejsze straty dotyczyły soku surowego z borówki czernicy (47 %).

Po przeliczeniu zawartości kwasu askorbinowego na przykładową porcję produktu spożywaną przez konsumentów (tab. 2), najkorzystniejszą zawartością tego związku charakteryzowały się soki surowe. Wartości otrzymane w porcjach soków surowych zdecydowanie przewyższały ilości kwasu askorbinowego zawarte w porcji owoców surowych i mrożonych. Owoce liofilizowane, mimo małej porcji spożywanej zwyczajowo, dostarczały dużo witaminy C. Najmniej istotnym źródłem omawianego związku były konfitury.

Tabela 2. Zawartość kwasu askorbinowego w zwyczajowo spożywanej porcji owoców i przetworów z borówki czernicy.

Table 2. Content of ascorbic acid in commonly consumed serving of bilberry fruits and preserves.

Borówka czernica / Bilberry	Porcja Serving [g]	Kwas askorbinowy Ascorbic acid [mg/porcję produktu] [mg/product serving]
Surowa / Fresh	100	43,68
Mrożona / Frozen	100	38,96
Konfitura / Jam	30	9,58
Sok surowy / Fresh Juice	250	57,8
Sok pasteryzowany/ Pasteurized Juice	250	45,32
Liofilizowana / Freeze-dried	10	39,21

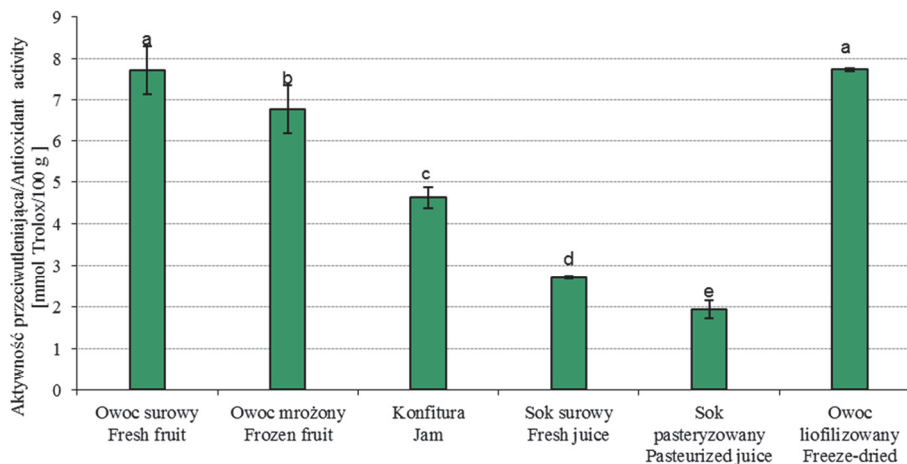
Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Wpływ procesu technologicznego na aktywność przeciwutleniającą owoców i przetworów z borówki czernicy

Owoce borówki czernicy są bogatym źródłem polifenoli, a szczególnie antocyjanów. Tym samym charakteryzują się wysoką aktywnością przeciwutleniającą. Aktywność świeżych owoców borówki czernicy może wynosić od 3,8 do 5,5 mmol Troloxu/100 g produktu [8]. Według danych literaturowych aktywność przeciwutleniająca różnych odmian borówek może wynosić od 1,9 do 13,1 mmol Troloxu/100 g produktu [7]. Szajdek i wsp. [25] podają aktywność przeciwutleniającą świeżych owoców borówki czernicy na średnim poziomie 4,46 mmol Troloxu/100 g, a Giovanelli i Buratti [4] – 10,79 mmol Troloxu/100 g produktu.

Właściwości przeciwutleniające świeżych owoców mogą ulec znacznemu zmniejszeniu podczas ich przetwarzania. Jest to związane z niestabilnością związków polifenolowych, zwłaszcza antocyjanów, wynikającą z destrukcyjnego wpływu na nie procesów technologicznych prowadzonych zwłaszcza w podwyższonej temperaturze [10].

Zbliżone wartości aktywności przeciwutleniającej (różnice nieistotne statystycznie, $p > 0,05$) oznaczono w owocach borówki czernicy surowej i liofilizowanej, odpowiednio: 7,7 i 7,73 mmol Troloxu/100 g. Aktywność przeciwutleniająca borówki czernicy mrożonej była niższa od wartości uzyskanych w owocach surowych i liofilizowanych, osiągnęła bowiem 6,76 mmola Troloxu/100 g produktu. Aktywność przeciwutleniająca konfitury wyniosła 4,63, natomiast soku surowego – 2,71 mmola Troloxu/100 g badanego produktu. Najniższą aktywnością charakteryzował się sok pasteryzowany (1,94 mmola Troloxu/100 g). Wykazano różnice statystycznie istotne ($p < 0,05$) aktywności przeciwutleniającej pomiędzy wszystkimi produktami otrzymanymi z borówki czernicy, z wyjątkiem wymienionego wcześniej liofilizatu, co przedstawiono na rys. 3.



Objaśnienia: / Explanatory notes:

a - e – różnice pomiędzy wartościami średnimi oznaczonymi różnymi literami są statystycznie istotne ($p < 0,05$) / differences among mean values denoted by different letters are statistically significant ($p < 0.05$).

Rys. 3. Aktywność przeciwutleniająca owoców i przetworów z borówki czernicy.

Fig. 3. Antioxidation activity of bilberry fruits and preserves.

Najniższą aktywnością przeciwutleniającą, w przeliczeniu na surowe owoce borówki czernicy, charakteryzował się liofilizat. W stosunku do owoców surowych straty aktywności przeciwutleniającej wyniosły 85,7 %, co zapewne związane jest z wysokim ubytkiem (56 %) związków polifenolowych w przeliczeniu na surowiec świeży

(z uwzględnieniem wydajności procesu). Podobny poziom zmian aktywności przeciwutleniającej owoców liofilizowanych względem świeżych uzyskano w badaniach żurawiny [12]. Obliczona zależność między zawartością związków polifenolowych a zdolnością wygaszania wolnych rodników pozwala przypuszczać, że istotne znaczenie miały niekorzystne przemiany omawianych związków, zwłaszcza w procesie liofilizacji.

Aktywność przeciwutleniająca konfitury przygotowanej z borówki czernicy była niższa o 39,8 % w stosunku do owocu surowego. Jeszcze mniejszą aktywność przeciwutleniającą stwierdzono w sokach pasteryzowanych – była ona aż o 74,8 % niższa w porównaniu z surowcem. Podczas produkcji soków znaczna część owoców pozostała w wytlókach. Były to głównie pestki i skórki, a te części owoców jagodowych kumulują najwięcej związków polifenolowych, które decydują o poziomie potencjału przeciwutleniającego [5].

Na aktywność przeciwutleniającą w najmniejszym stopniu wpłynęło mrożenie. Po tym procesie aktywność borówki czernicy mrożonej była mniejsza o 12 % w stosunku do owoców surowych.

Tabela 3. Aktywność przeciwutleniająca porcji owoców i przetworów z borówki czernicy.

Table 3. Antioxidant activity of one serving of bilberry fruits and preserves.

Borówka czernica / Bilberry	Porcja Serving [g]	Aktywność przeciwutleniająca Antioxidation activity [mmol Troloxu/porcję produktu] [mmol Trolox /product serving]
Surowa / Fresh	100	7,70
Mrożona / Frozen	100	6,76
Konfitura / Jam	30	1,39
Sok surowy / Fresh Juice	250	6,75
Sok pasteryzowany / Pasteurized Juice	250	4,85
Liofilizowana / Freeze-dried	10	0,77

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Otrzymane wyniki przeliczono na ilości produktu spożywanego w zwyczajowych porcjach (tab. 3). Aktywność przeciwutleniająca w przeliczeniu na porcję produktu była najwyższa w owocach surowych i mrożonych oraz w soku niepasteryzowanym. Najniższa aktywność przeciwutleniająca porcji produktu odnosiła się do owoców liofilizowanych.

Aktywność przeciwutleniająca w głównym stopniu uzależniona jest od masy owoców w produkcie oraz od parametrów jednostkowych procesów przetwarzania [24]. Mimo wykazanych strat, przetwory z owoców borówki czernicy są dobrym nośnikiem związków fenolowych o walorach prozdrowotnych w diecie, gdy ze względu na sezonowość świeże owoce borówki czernicy są niedostępne.

Wnioski

1. Produkty z borówki czernicy charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością związków polifenolowych ogółem i kwasu askorbinowego oraz różną aktywnością przeciwutleniającą.
2. Najwyższą aktywnością przeciwutleniającą oraz zawartością polifenoli ogółem i kwasu askorbinowego odznaczały się owoce świeże i mrożone.
3. Zdecydowanie najniższą aktywnością przeciwutleniającą względem surowca świeżego (po uwzględnieniu wydajności procesu) charakteryzowały się owoce liofilizowane, co związane było z największymi stratami związków polifenolowych w tym produkcie. Z tego względu proces liofilizacji nie jest odpowiednią metodą utrwalania owoców borówki czernicy.
4. Mimo znacznych strat składników bioaktywnych, związanych z oddziaływaniem różnych metod utrwalania i przetwarzania, przetwory z owoców borówki czernicy są dobrym ich źródłem, zwłaszcza gdy uwzględni się sezonowość występowania tych owoców.

Literatura

- [1] Borowska J., Szajdek E., Szajdek A.: Składniki dietetyczne i substancje bioaktywne w owocach aronii, borówki czernicy i porzeczki czarnej. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2005, Supl., 181-184.
- [2] Cendrowski A., Ścibisz I., Mitek M.: Wpływ warunków przechowywania na zawartość hydroksymetylofurfuralu, furfuralu i kwasu askorbinowego w dżemach z owoców jagodowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2011, **6 (79)**, 155-166.
- [3] Czapski J.: Czynniki wpływające na zawartość przeciwutleniaczy w surowcach roślinnych. W: *Przeciwutleniacze w żywności, aspekty zdrowotne, technologiczne i analityczne*. Red. W. Grajek. WNT, Warszawa 2007, ss. 78-82.
- [4] Giovanelli G., Buratti S. Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild Italian blueberries and some cultivated varieties. *Food Chem.*, 2009, **112**, 903-908.
- [5] Garcia A., Pascual-Teresa S., Santos-Buelga C., Rivas-Gonzalo J.: Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food Chem.*, 2004, **84**, 13-18.
- [6] Gryszczyńska B., Iskra M., Gryszczyńska A., Budzyń M., Aktywność przeciwutleniająca wybranych owoców jagodowych. *Postępy w Fitoterapii*, 2011, **4**, 265-274.
- [7] Guranowski M., Mitek M.: Pojemność przeciwutleniająca oraz zawartość polifenoli, antocyjanów i kwasu askorbinowego w przechowywanych produktach z czarnej jagody. *Żyw. Czł. Met.*, 2004, **31**, Supl. 2, cz. II.
- [8] Kahkonen M.P., Hopia A.I., Heinonen M.: Berry phenolics and their antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, **49**, 4076-4082.
- [9] Kunachowicz H., Nadolna I., Przygoda B., Iwanow K.: *Tabele składu i wartości odżywczej żywności*. Wyd. Lek. PZWL, Warszawa 2005.

- [10] Lohachoompol V., Szrednicki G., Craske J.: The change of total anthocyanins in blueberries and their antioxidant effect after drying and freezing. *J. Biomed. Biotechnol.*, 2004, **5**, 248-52.
- [11] Malik A., Targoński Z., Stój A.: Aktywność przeciwutleniająca soków z owoców jagodowych w odniesieniu do ogólnej zawartości związków fenolowych. *Żyw. Czł. Met.*, 2004, **31**, Supl. 2, cz. II.
- [12] Mazur B., Borowska E.J.: Produkty z owoców żurawiny błotnej – zawartość związków fenolowych i właściwości przeciwutleniające. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2007, **3**, 239-243.
- [13] Michalczyk M., Kuczewski D.: Zmiany zawartości składników o charakterze prozdrowotnym w przechowywanych sorbetach z owoców jagodowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2012, **4 (83)**, 66-74.
- [14] Mironczuk-Chodakowska I., Zujko M.E., Witkowska A.: Zawartość polifenoli oraz aktywność antyoksydacyjna niektórych przetworów owocowych o znacznym stopniu przetworzenia. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2011, **3**, 905-910.
- [15] Piątkowska E., Kopeć A., Leszczyńska T.: Antocyjany – charakterystyka, występowanie i oddziaływanie na organizm człowieka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2011, **4 (77)**, 24-35.
- [16] PN-90-A-75101/11:2009. Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczenie zawartości witaminy C.
- [17] Prior R.L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt W., Krewer G., Mainland C.M.: Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, **46**, 2686-2693.
- [18] Puupponen-Pimia R., Nohynek L., Alakomi H., Oksman-Caldentey K.: Bioactive berry compounds – novel tools against human pathogens. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2005, **67**, 8-18.
- [19] Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C.: Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 1999, **9-10**, **26**, 1231-1237.
- [20] Roura E., Andres-Lacueva C., Estruch R., Lamuela-Raventos R.M.: Total polyphenol intake estimated by a modified Folin-Ciocalteu assay of urine. *Clinical Chemistry*, 2006, **4**, **53**, 749-752.
- [21] Skrede G., Wrolstad R.E., Durst R.W.: Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *J. Food Sci.*, 2000, **65 (2)**, 357-364.
- [22] Suchorksa-Tropiło K., Pióro-Jabrucka E., Brodowska M.: Rośliny z rodziny wrzosowatych jako źródło związków polifenolowych. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura*, 2004, **240**, **96**, 185-188.
- [23] Szajdek A., Borowska E.: Bioactive compounds and health-promoting properties of berry fruits: a review. *Plant Foods Hum Nutr.* 2008 Dec; **63(4)**, 147-56.
- [24] Szajdek A., Borowska J.: Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, **4 (41)**, 5-28.
- [25] Szajdek A., Borowska E.J., Czaplicki S.: Effect of bilberry mash treatment on the content of some biologically active compounds and the antioxidant activity of juices. *Acta Aliment.*, 2009, **38 (3)**, 281-292.
- [26] Ścibisz I., Mitek M., Serwinowska K.: Aktywność przeciwutleniająca soków i półkoncentratów otrzymanych z owoców borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2004, **3 (40)** Supl., 196-203.
- [27] Witkowska A., Zujko M.E.: Aktywność antyoksydacyjna owoców leśnych. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2009, **42**, 900-903.

EFFECT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON CONTENT OF BIOACTIVE SUBSTANCES IN BILBERRY FRUITS

S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the effect of technological processes, such as freezing, pasteurization, lyophilisation, production of juice and preserve, on the content of bioactive substances in bilberry fruits. The fresh bilberry fruits were characterized by a content of polyphenols amounting to 543 mg GAE/100 g on average, and this content determined their antioxidant activity (7.7 mmol of Trolox / 100 g of fruits). At the same time, the amount of ascorbic acid was 43.7 mg per 100 g of fresh fruits. The technological processes caused the content of bioactive compounds in the fruits analyzed to decrease. The lowest losses in total polyphenolic compounds and vitamin C were reported after the freezing process (18 and 11 %, respectively), whereas the highest losses in those compounds were determined during the production of juices (64 and 58 %, respectively). Moreover, the juices were characterized by a low antioxidant activity (1.94 mmol of Trolox / 100 g of product). The lyophilized fruits were characterized by the lowest antioxidant activity compared to the fresh fruits (with the process efficiency included). Therefore, the lyophilisation process is not a suitable method for the preservation of bilberry fruits. Despite considerable losses in bioactive compounds during the preservation and processing, the bilberry products are a good source of those compounds, especially from the point of view of the seasonality of supply thereof.

Key words: bilberry, polyphenolic compounds, ascorbic acid, antioxidant potential 