

ALEKSANDRA FIJAŁKOWSKA, MAŁGORZATA NOWACKA,
DOROTA WITROWA-RAJCHERT

WPLYW FAL ULTRADŹWIĘKOWYCH NA PRZEBIEG SUSZENIA I WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI TKANKI BURAKA ĆWIKŁOWEGO

Streszczenie

Celem badań było określenie wpływu ultradźwięków, jako zabiegu wstępnego, na kinetykę suszenia tkanki buraka ćwikłowego i zużycie energii w tym procesie. Analizowano również wpływ obróbki wstępnej na zawartość suchej masy, zawartość barwników betalainowych oraz parametry barwy materiału. Plastry buraka ćwikłowego poddano działaniu ultradźwięków o częstotliwości 21 kHz przez 10, 20 i 30 min lub blanszowano 3 min w wodzie o temperaturze 90 °C. Materiał wysuszono metodą konwekcyjną w temp. 70 °C. Wykazano, że obróbka wstępna wpłynęła na istotne zmniejszenie zawartości suchej masy w świeżej tkance buraka, co było spowodowane ubytkiem składników i wnikaniem wody do wnętrza próbek. Zastosowanie obróbki wstępnej ultradźwiękami wpłynęło na skrócenie czasu suszenia plasterów buraka od 4,5 do 9 %, w porównaniu z tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym, co doprowadziło do istotnego zmniejszenia (o 11 ÷ 14 %) nakładów energetycznych niezbędnych do wysuszenia materiału. Fale ultradźwiękowe spowodowały znaczące zmiany parametrów barwy suszu, zwiększając jasność plasterów buraka od 23,8 do wartości 35,6 ÷ 37,6, a także zmniejszając udział barwy czerwonej i żółtej odpowiednio do 13,1 ÷ 14,2 i 1 ÷ 1,6. Pomimo strat barwników betalainowych wywołanych obróbką wstępną oraz ich degradacją termiczną w procesie suszenia, w tkance buraka poddanej działaniu ultradźwięków oznaczono istotnie większą ($p = 0,05$) zawartość czerwonego (o 22,5 ÷ 26,5 %) i żółtego barwnika (o 23,5 ÷ 34,6 %) w porównaniu z próbką niepoddaną obróbce wstępnej ani blanszowaniu, co może świadczyć, że wstępne przygotowanie tkanki za pomocą ultradźwięków ułatwia ekstrakcję barwników z tkanki.

Słowa kluczowe: burak ćwikłowy, ultradźwięki, suszenie, barwa, betalainy

Wprowadzenie

Suszenie konwekcyjne jest powszechnie stosowaną metodą utrwalania żywności, umożliwiającą uzyskanie produktu o wydłużonym okresie trwałości. Proces ten powo-

Mgr inż. A. Fijałkowska, dr inż. M. Nowacka, prof. dr hab. D. Witrowa-Rajchert, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydz. Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa. Kontakt: aleksandra_fijalkowska@sggw.pl

duje obniżenie aktywności wody do poziomu uniemożliwiającego rozwój mikroorganizmów oraz ogranicza do minimum szybkość reakcji enzymatycznych i nieenzymatycznych. Ponadto suszenie modyfikuje właściwości produktów pochodzenia roślinnego, redukuje ich masę i objętość, co jest korzystne ze względu na ograniczenie kosztów podczas magazynowania i transportu [3, 5, 14, 29].

Wysoka temperatura stosowana podczas usuwania wody z materiału może obniżać jakość produktu końcowego poprzez degradację witamin, utratę niezbędnych aminokwasów, a także zmianę barwy, smaku i aromatu [1, 26]. Pomimo szerokiego zastosowania w przemyśle spożywczym, proces suszenia konwekcyjnego charakteryzuje się wysokimi nakładami energetycznymi [6, 28].

Ze względu na rosnące zapotrzebowanie nabywców na produkty o wyższej jakości, przy jednoczesnym dążeniu producentów do obniżania kosztów procesu, poszukuje się optymalnych rozwiązań w zakresie połączenia suszenia konwekcyjnego z nietermicznymi technikami obróbki wstępnej, takimi jak: wysokie ciśnienie hydrostatyczne [8], pulsacyjne pole elektryczne [9] czy ultradźwięki [21].

Ultradźwięki są to wibracje powietrza o częstotliwości od 20 kHz do 100 MHz. Dotychczas były stosowane głównie w celach analitycznych do badania produktów żywnościowych. Obecnie ultraakustyka odgrywa ważną rolę również w bezpośrednim wspomaganie procesów produkcyjnych i przetwórczych żywności, a jej dużą zaletą jest precyzyjne, szybkie i nieinwazyjne działanie [2, 11, 16].

Fale ultradźwiękowe wywołują serię szybkich kompresji i dekompresji, podobnych do tych, które zachodzą w gąbce na skutek jej ściskania i rozluźniania, co prowadzi do powstawania mikroskopijnych kanałów, a tym samym przyspieszenia dyfuzji podczas suszenia [19, 24]. Ultradźwięki wywołują również zjawisko kawitacji, które jest odpowiedzialne za nagły wzrost ciśnienia i temperatury w produkcie, powodujące zniszczenie struktury komórkowej i ułatwiające usuwanie wody [2, 12].

Zastosowanie ultradźwięków powoduje skrócenie czasu suszenia, co ma istotne znaczenie dla zachowania składników wrażliwych na wysoką temperaturę. Efekt ich działania zależy od rodzaju produktu oraz parametrów obróbki wstępnej, tj. częstotliwości i czasu aplikacji. Wykorzystanie ultradźwięków jest jedną z najbardziej obiecujących alternatyw dla termicznej obróbki wstępnej surowców, a prowadzone badania potwierdzają słusność ich stosowania w celu optymalizacji przebiegu procesów technologicznych [4, 18].

Celem pracy było określenie wpływu obróbki wstępnej za pomocą ultradźwięków na kinetykę suszenia tkanki buraka ćwikłowego i zużycie energii w tym procesie oraz zawartość suchej masy, zawartość barwników betalainowych oraz parametry barwy materiału. Skutki zastosowania ultradźwięków w obróbce wstępnej porównano z wpływem blanszowania na tkankę buraka. Do badań wybrano buraka ćwikłowego ze

względu na jego wysoką zdolność przeciwutleniającą oraz powszechne spożycie w Polsce [15].

Material i metody badań

Materiał do badań stanowiły buraki ćwikłowe odmiany 'Boro F1', zakupione na lokalnym rynku, które przechowywano w chłodni w temp. 5 - 8 °C do 4 tygodni, podczas których wykonywano badania. Surowiec krojono w plastry o średnicy $30,0 \pm 0,1$ mm i grubości $5,0 \pm 0,1$ mm.

Przygotowany materiał poddawano obróbce ultradźwiękami (US) o częstotliwości 21 kHz (MKD-3, MKD Ultrasonic, Stary Konik, Polska, wymiary wewnętrzne: $240 \times 140 \times 110$ mm) w ciągu 10, 20 i 30 min, przy stosunku masy wody i surowca 4 : 1 lub blanszowano przez 3 min w wodzie o temp. 90 °C przy takim samym stosunku masy wody i materiału.

Zawartość suchej masy w materiale surowym, blanszowanym oraz poddanym ultradźwiękom oznaczano metodą suszarkową, zgodnie z PN-90/A-75101/03 [22]. Suszenie konwekcyjne prowadzono w suszarce laboratoryjnej (Warszawa, Polska) w temperaturze powietrza 70 °C oraz w przepływie równoległym do warstwy materiału z prędkością 1,5 m/s. Obciążenie sita wynosiło 0,25 kg ($2,15 \text{ kg/m}^2$). Proces prowadzono do osiągnięcia równowagowej zawartości wody. Przy użyciu programu komputerowego „Pomiar” (Radwag, Radom, Polska) rejestrowano zmiany masy podczas procesu suszenia. Czas suszenia plastrów buraka ćwikłowego określano dla materiału zawierającego 0,2 kg $\text{H}_2\text{O/kg}$ s.m. Kinetykę suszenia przedstawiono jako zależność względnej zawartości wody, określającej stosunek zawartości wody po danym czasie suszenia i początkowej zawartości wody, od czasu suszenia. Suszenie powtórzono dwukrotnie.

Badano zużycie energii podczas obróbki wstępnej ultradźwiękami za pomocą licznika kosztów energii Energy Logger 4000F (Voltcraft, Niemcy), a także w trakcie trwania procesu suszenia przy użyciu miernika (Pawbol Sp. z o.o., Sułkowice). Pomiar wykonano w dwóch powtórzeniach.

Barwę tkanki surowej oraz suszu określano metodą odbiciową w systemie CIE $L^*a^*b^*$ przy użyciu chromometru CM-5 (Konica Minolta, Japonia) (światło rozproszone, kąt pomiaru 8°, obserwator standardowy CIE 2°), gdzie parametr L^* oznacza jasność próbki, współrzędna chromatyczna a^* określa udział barwy zielonej (-) i czerwonej (+), a współrzędna b^* opisuje udział barwy niebieskiej (-) i żółtej (+). Pomiar wykonano w 15 powtórzeniach.

Zawartość betalain oznaczano metodą chemiczną według Nilssona [17], polegającą na ekstrakcji barwników za pomocą buforu fosforanowego o pH 6,5 oraz spektrofotometrycznym pomiarze absorpcji przy długościach fali $\lambda = 476, 538$ i 600 nm. Zawartość barwników czerwonych wyrażano w mg betaniny w 100 g suchej masy,

a barwników żółtych – w mg wulgaksantyny w 100 g suchej masy. Oznaczenie wykonano trzykrotnie dla każdego rodzaju próbek.

Opracowanie matematyczne i graficzne uzyskanych wyników wykonano stosując oprogramowanie Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation). Do analizy statystycznej wyników zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) wykonaną w programie Statgraphics Plus 5.1 (StatPoint Technologies, Inc.). Za pomocą testu Levene'a sprawdzono jednorodność wariancji. Grupy homogenne, statystycznie nieróżniące się istotnie pod względem średniej, identyfikowano testem Duncana ($p = 0,05$). W przypadku niejednorodności wariancji lub rozkładu odmiennego od normalnego, do identyfikowania grup jednorodnych zastosowano test Kruskala-Wallisa (test porównań wielokrotnych), wykonany za pomocą oprogramowania Statistica 10 (StatSoft, Inc.) przy poziomie istotności $p = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Surowy burak ćwikłowy charakteryzował się zawartością suchej masy na poziomie 14,3 %. Wszystkie rodzaje obróbki wstępnej spowodowały statystycznie istotne ($p < 0,05$) zmniejszenie zawartości suchej masy, a największy ubytek wystąpił w tkance poddanej blanszowaniu (tab. 1). Zmniejszenie zawartości suchej masy spowodowane było przebiegiem dwóch przeciwkierunkowych procesów: wnikania składników suchej masy do środowiska oraz wody do materiału. Podobnie Nowacka i wsp. [18] stwierdzili, że podczas obróbki jabłka ultradźwiękami następuje ubytek suchej masy, przy czym wraz ze wzrostem czasu działania ultradźwięków obserwowano większy jej ubytek.

Tabela 1. Zawartość suchej masy w burakach niepoddanych i poddanych obróbce wstępnej

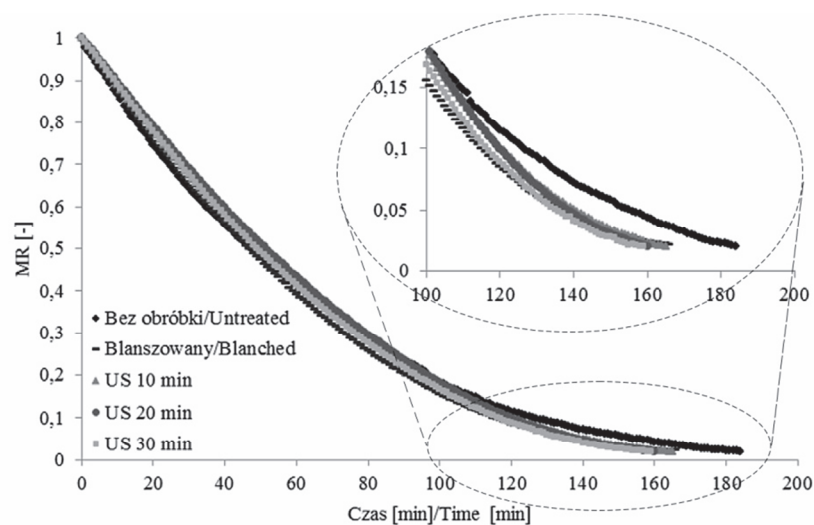
Table 1. Dry matter content in untreated and pre-treated beetroots

Rodzaj obróbki wstępnej Type of pre-treatment	Zawartość suchej masy [%] Dry matter content [%]
Bez obróbki / Untreated	14,3 ^d ± 0,1
Blanszowany / Blanched	12,8 ^a ± 0,1
US 10 min	13,5 ^b ± 0,1
US 20 min	13,5 ^b ± 0,1
US 30 min	13,9 ^c ± 0,1

Objaśnienia: / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviations; $n = 3$; a - d – grupy homogeniczne ($p < 0,05$) / homogeneous groups ($p < 0,05$).

Proces suszenia konwekcyjnego wywołuje wiele niepożądanych zmian w mikrostrukturze i wartości odżywczej surowców roślinnych. W celu ograniczenia tych zmian dąży się do redukcji czasu suszenia [13]. Czas potrzebny do wysuszenia tkanki buraka bez obróbki wstępnej do zawartości wody 0,2 kg H₂O/kg s.m. wynosił 178 min (rys. 1). Wszystkie rodzaje obróbki wstępnej spowodowały skrócenie procesu do 168, 170, 164 i 162 min odpowiednio: w przypadku tkanki blanszowanej oraz traktowanej ultradźwiękami przez 10, 20 i 30 min. Materiał poddany działaniu ultradźwięków charakteryzował się czasem suszenia krótszym o 4, 8 i 9 % tkanki traktowanej odpowiednio przez: 10, 20 i 30 min, przy czym w porównaniu z materiałem niepoddanym obróbce wstępnej statystycznie istotne różnice ($p < 0,05$) stwierdzono jedynie w przypadku materiału poddanego działaniu ultradźwięków przez 20 i 30 min. Podobne efekty obserwowali Rodrigues i Fernades [23] w przypadku melona, Jambaka i wsp. [10] – w przypadku kalafiora i brukselki, García-Pérez i wsp. [7] – skórki cytryny, Ortuño i wsp. [20] – skórki pomarańczy oraz Nowacka i wsp. [18] – jabłka. Zastosowanie ultradźwięków przed procesem suszenia prowadzi do niszczenia struktury tkanki roślinnej, co przyspiesza wymianę masy podczas suszenia [18].



Rys. 1. Względna zawartość wody [MR] podczas suszenia buraka ćwikłowego niepoddanego i poddanego obróbce wstępnej

Fig. 1. Relative water content [MR] during drying of untreated and treated beetroot

Stwierdzono również, że po ok. 120 min trwania procesu nastąpiło znaczące zwiększenie szybkości suszenia buraka poddanego zabiegom wstępnym w porównaniu z tkanką niepoddaną obróbce wstępnej. Skrócenie suszenia spowodowało istotne zmniejszenie zużycia energii w trakcie procesu (tab. 2). Nakłady energetyczne na wy-

suszenie plastrów buraka ćwikłowego poddanego obróbce wstępnej przed suszeniem zostały zredukowane od 11 do 14 % w stosunku do materiału niepoddanego zabiegom wstępnym i różnice te były statystycznie istotne ($p < 0,05$). Natomiast zużycie energii związane z obróbką wstępną było nieznaczne i wynosiło od 0,002 do 0,007 kWh.

Tabela 2. Zużycie energii podczas obróbki ultradźwiękami i w trakcie suszenia

Table 2. Energy consumption during ultrasound pre-treatment and drying

Rodzaj procesu Type of process	Bez obróbki Untreated	Blanszowany Blanched	US 10 min	US 20 min	US 30 min
Obróbka ultradźwiękami [kWh] Ultrasound pre-treatment [kWh]	–	–	0,002	0,004	0,007
Proces suszenia [kWh] Drying process [kWh]	155 ^b ± 1	137 ^a ± 5	138 ^a ± 3	134 ^a ± 3	133 ^a ± 1

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviations; n = 2; a - b – grupy homogeniczne ($p < 0,05$) / homogeneous groups ($p < 0,05$).

Barwa jest istotnym parametrem decydującym o jakości surowców i produktów spożywczych. W trakcie procesu suszenia barwa produktów uległa zmianie. Surowa tkanka buraka charakteryzowała się średnią jasnością na poziomie 20,3 (tab. 3). Barwa suszu buraczanego uległa rozjaśnieniu, jednak różnice pod względem wartości parametru L^* nie były statystycznie istotne ($p < 0,05$). Zastosowanie blanszowania nie spowodowało znaczących zmian jasności suszu w porównaniu z suszem niepoddanym obróbce. Natomiast istotnie wyższą wartością parametru L^* charakteryzowały się susze buraczane potraktowane ultradźwiękami przed procesem suszenia. Jasność badanych próbek była o ponad 50 % wyższa w porównaniu z wysuszoną tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym. Różnice barwy między produktami surowym i suszonym mogą być konsekwencją różnic w strukturze powierzchni tych materiałów. Oznaczenie polega na pomiarze światła odbitego od badanej powierzchni. Inaczej odbijane jest światło od powierzchni surowca świeżego, który jest produktem o dużej zawartości wody, a inaczej od porowatej powierzchni suszu. Może to doprowadzić do zwiększenia mierzonej instrumentalnie jasności materiału wysuszonego, mimo braku takich spostrzeżeń podczas sensorycznej oceny barwy [25]. Ponadto na barwę materiału po obróbce wstępnej, którą przeprowadzano w środowisku wodnym, mogło mieć wpływ wypłukiwanie składników suchej masy, w tym barwników betalainowych rozpuszczalnych w wodzie, co istotnie wpływało na wzrost jasności tkanki [15].

Podobną zależność zaobserwowali Tiwari i wsp. [27], którzy badali wpływ ultradźwięków na barwę soków z czerwonych winogron. Zastosowanie ultradźwięków

spowodowało wzrost jasności soku w porównaniu z próbką kontrolną, niezależnie od zastosowanego czasu działania i amplitudy ultradźwięków.

Tabela 3. Parametry barwy buraka surowego oraz suszu niepoddanego i poddanego obróbce wstępnej
Table 3. Colour parameters of raw beetroot, untreated dried and pre-treated dried beetroot

Rodzaj obróbki wstępnej Type of pre-treatment	L*	a*	b*
Surowiec / Raw	20,28 ^a ± 0,70	21,01 ^c ± 3,29	5,56 ^e ± 1,20
Bez obróbki/ Untreated	23,77 ^a ± 2,45	21,91 ^c ± 2,44	2,45 ^d ± 0,81
Blanszowany / Blanched	22,53 ^a ± 2,08	16,68 ^b ± 2,25	0,32 ^a ± 0,72
US 10 min	35,56 ^b ± 2,55	14,19 ^a ± 2,21	1,00 ^b ± 1,10
US 20 min	37,04 ^b ± 3,54	13,14 ^a ± 2,78	1,56 ^c ± 1,21
US 30 min	37,60 ^b ± 2,98	13,59 ^a ± 2,08	1,42 ^{bc} ± 0,75

Objaśnienia / Explanatory notes:

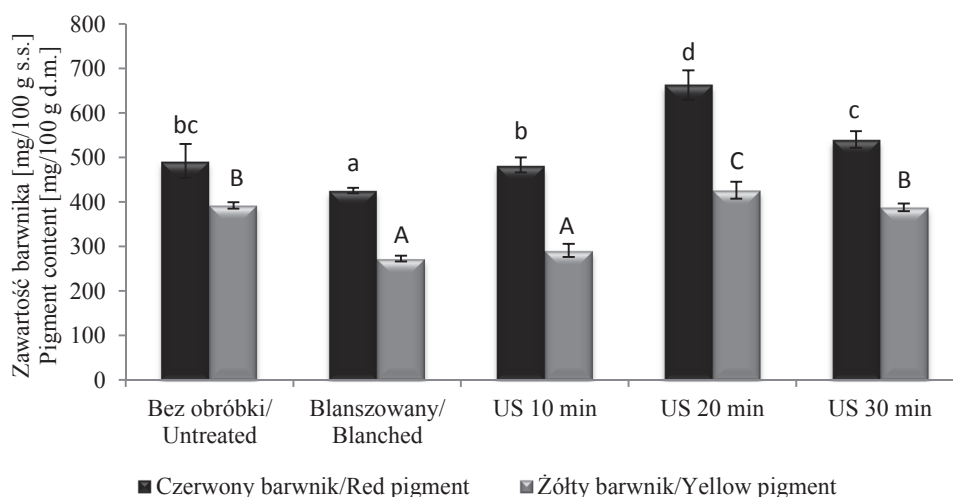
W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values and standard deviations; n = 25; a - e – grupy homogeniczne w kolumnach (p < 0,05) / homogeneous groups in columns (p < 0.05).

W przypadku parametru a* zaobserwowano, że proces suszenia konwekcyjnego nie wpłynął istotnie na wartość tej współrzędnej chromatycznej w porównaniu z surowcem (tab. 3). Z kolei blanszowanie znacznie zmniejszyło wartość tego parametru w stosunku do materiału niepoddanego obróbce wstępnej. Najniższą wartość a*, a tym samym najniższy udział barwy czerwonej, stwierdzono w tkance potraktowanej ultradźwiękami i różnice te były statystycznie istotne (p < 0,05).

W przypadku parametru b* istotny był wpływ suszenia na wartość współrzędnej chromatycznej b* (tab. 3). Susz buraczany charakteryzował się znacznie mniejszym udziałem barwy żółtej w porównaniu z tkanką surową, której średnia wartość b* wynosiła 5,6. Najniższą wartość b*, statystycznie różniącą się od pozostałych, uzyskano po blanszowania tkanki buraka przed suszeniem. Zastosowanie ultradźwięków również spowodowało istotne zmniejszenie udziału barwy żółtej w stosunku do suszu niepoddanego zabiegom wstępnym. Jednak po zastosowaniu 20-minutowej obróbki ultradźwiękami uzyskano większą wartość parametru b* niż po 10 min działania ultradźwięków.

Zawartość betalain w próbkach określa się na podstawie udziału barwnika czerwonego, wyrażonego w mg betaniny na 100 g s.m. i żółtego – w mg wulgaksantyny na 100 g s.m. Barwniki betalainowe dobrze rozpuszczają się w wodzie i są wrażliwe na wysoką temperaturę. Dlatego w wyniku obróbki wstępnej oraz procesu suszenia następuje ich ubytek [15], co potwierdzają uzyskane wyniki.

Podczas obróbki wstępnej, polegającej na zanurzeniu surowca w wodzie jako medium przenoszącym ultradźwięki lub powodującym blanszowanie, stwierdzono ubytek rozpuszczalnych składników suchej masy, w tym barwników betalainowych (tab. 1). Wysoka temperatura podczas blanszowania spowodowała statystycznie istotne ($p < 0,05$), w stosunku do buraka niepoddanego zabiegom wstępnym, zmniejszenie zawartości zarówno barwnika czerwonego, jak i żółtego (rys. 2). Natomiast w wyniku poddania buraka działaniu ultradźwięków oznaczono większą zawartość betalain w stosunku do buraka niepoddanego zabiegom wstępnym. Istotnie większą zawartością barwnika czerwonego i żółtego charakteryzował się materiał traktowany ultradźwiękami przez 20 min. Zwiększenie zawartości betalain w tkance poddanej sonikacji świadczy o tym, że fale ultradźwiękowe ułatwiają ekstrakcję betalain. Ponadto nie obserwowano liniowej zależności pomiędzy czasem oddziaływania ultradźwięków a wzrostem zawartości barwników, co wskazuje, że istnieje konieczność ustalenia określonych parametrów obróbki wstępnej przy wykorzystaniu ultradźwięków, w celu uzyskania najkorzystniejszych wyników dla określonego surowca.



Objaśnienia: / Explanatory notes:

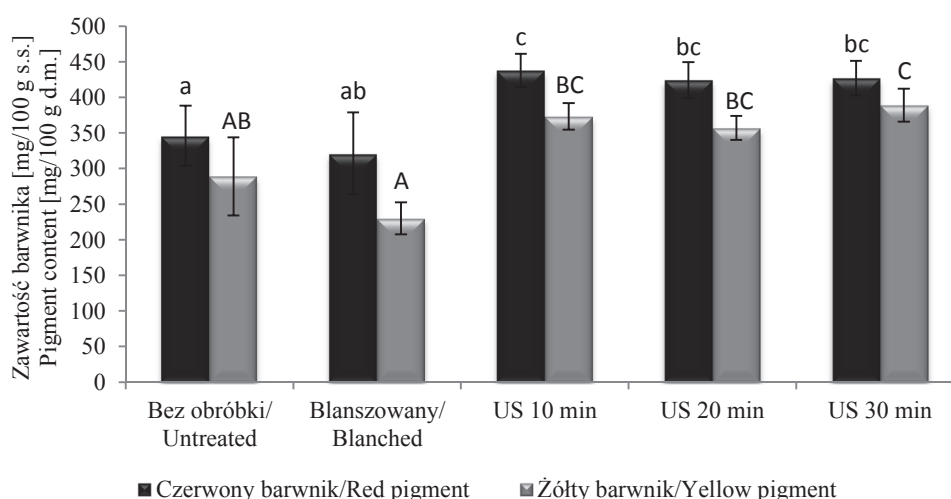
a - c – grupy homogeniczne w przypadku barwnika czerwonego ($p < 0,05$) / homogeneous groups in case of red pigment ($p < 0,05$); A - C – grupy homogeniczne w przypadku barwnika żółtego ($p < 0,05$) / homogeneous groups in case of yellow pigment ($p < 0,05$).

Rys. 2. Zawartość betalain w buraku niepoddanym i poddanym obróbce wstępnej

Fig. 2. Betalains content in untreated and pre-treated beetroot

Susz buraczany charakteryzował się mniejszą zawartością barwników betalainowych w porównaniu z surową tkanką (rys. 2 i 3). W przypadku wysuszonej tkanki

buraka poddanej blanszowaniu przed suszeniem wykazano brak statystycznie istotnych różnic ($p < 0,05$) pod względem zawartości barwnika czerwonego i żółtego w stosunku do suszu niepoddanego zabiegom wstępnym (rys. 3). Z kolei tkanka buraka poddana działaniu ultradźwięków charakteryzowała się większą zawartością betalain w stosunku do suszu niepoddanego procesom wstępnym. Zastosowanie ultradźwięków spowodowało podwyższenie zawartości zarówno barwnika czerwonego, jak i żółtego. Jednak statystycznie istotna różnica wystąpiła jedynie w przypadku barwnika czerwonego. Najwyższą wartością charakteryzowała się próbka poddana 10-minutowemu oddziaływaniu ultradźwięków, uzyskując wartość zbliżoną do zawartości betalain w surowej tkance buraka.



Objaśnienia jak pod rys. 2. / Explanatory notes as in Fig. 2.

Rys. 3. Zawartość betalain w suszu buraczanym niepoddanym i poddanym obróbce wstępnej
Fig. 3. Betalains content in untreated dried and pre-treated dried beetroot

W badaniu parametrów barwy stwierdzono wzrost jasności i zmniejszenie udziału barwy czerwonej i żółtej (tab. 3) w suszach po zastosowaniu ultradźwięków, co znalazło potwierdzenie w wynikach badania dotyczącego wpływu obróbki wstępnej i procesu suszenia na ubytek barwników betalainowych. Pomimo stwierdzonych strat związanych z zastosowaniem procesu suszenia oznaczono większą zawartość betalain w próbkach poddanych działaniu ultradźwięków w porównaniu z suszem bez obróbki wstępnej. Oznacza to, że wstępne działanie fal ultradźwiękowych przed suszeniem zwiększa możliwość późniejszej ekstrakcji, a tym samym ułatwia wydobycie barwników z wysuszonej tkanki buraka.

Wnioski

1. Zastosowanie obróbki wstępnej ultradźwiękami skróciło czas suszenia plastrów buraka od 4,5 do 9 % w porównaniu z tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym, co doprowadziło do istotnego zmniejszenia nakładów energetycznych niezbędnych do wysuszenia materiału.
2. Fale ultradźwiękowe wpłynęły na znaczące zmiany barwy suszu, zwiększając jasność plastrów buraka i zmniejszając udział barwy czerwonej i żółtej.
3. Pomimo strat barwników betalainowych spowodowanych obróbką wstępną oraz ich degradacją termiczną w procesie suszenia, w tkance buraka poddanej działaniu ultradźwięków oznaczono istotnie większą zawartość czerwonego i żółtego barwnika, co może dowodzić, że działanie fal ultradźwiękowych ułatwia ekstrakcję barwników z tkanki.

Literatura

- [1] Azoubel P.M., Baima M.A.M., Amorim M.R., Oliveira S.S.B.: Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *J. Food Eng.*, 2010, **97**, 194-198.
- [2] Carcel J.A., Garcia-Perez J.V., Benedito J., Mulet A.: Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *J. Food Eng.*, 2012, **110**, 200-207.
- [3] Ciurzyńska A., Janowicz M., Piotrowski D., Pomarańska-Lazuka W., Sitkiewicz I., Lenart A.: Właściwości rekonstrukcyjne suszonych próżniowo truskawek. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2011, **569**, 21-34.
- [4] Cybulska J., Zdunek A., Konstankiewicz K.: Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. *J. Food Eng.*, 2011, **102**, 217-223.
- [5] Gamboa-Santos J., Soria A.C., Pérez-Mateos M., Carrasco J.A., Montilla A., Villamiel M.: Vitamin C content and sensorial properties of dehydrated carrots blanched conventionally or by ultrasound. *Food Chem.*, 2013, **136 (2)**, 782-788.
- [6] Gamboa-Santos J., Montilla A., Carcel J.A., Villamiel M., Garcia-Perez J.V.: Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. *J. Food Eng.*, 2014, **128**, 132-139.
- [7] García-Pérez J.V., Carcel J.A., Riera E., Mulet A.: Influence of the applied acoustic energy on the drying of carrots and lemon peel. *Dry Technol.*, 2009, **27**, 281-287.
- [8] Hsu H.Y., Sheen S., Sites J., Huang L., Wu J.S-B.: Effect of high pressure treatment on the survival of Shiga toxin-producing *Echerichia coli* in strawberry puree. *Food Microbiol.*, 2014, **40**, 25-30.
- [9] Jaeger H., Meneses N., Knorr D.: Food Technologies: Pulsed Electric Field Technology. *Encyclopedia of Food Safety*, 2014, **3**, 239-244.
- [10] Jambrak A.R., Mason T.J., Paniwnyk L., Lelas V.: Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *J. Food Eng.*, 2007, **81**, 88-97.
- [11] Jambrak A.R., Lelas V., Mason T.J., Kresić G., Badanjak M.: Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *J. Food Eng.*, 2009, **93**, 386-393.
- [12] Jambrak A.R., Mason T.J., Lelas V., Kresić G.: Ultrasonic effect on physicochemical and functional properties of α -lactalbumin. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2010, **43 (2)**, 254-262.

- [13] Janowicz M., Lenart A.: Znaczenie suszenia owoców i warzyw. Post. Techniki Przetw. Spoż., 2003, **12** (1), 28-32.
- [14] Kek S.P., Chin N.L., Yusof Y.A.: Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. Food Bioprod. Process., 2013, **91** (4), 495-506.
- [15] Kidoń M., Czapski J.: Wpływ obróbki termicznej na zawartość barwników betalainowych i zdolność przeciwutleniającą buraka ćwikłowego. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2007, **1** (50), 124-131.
- [16] Mason T.J., Paniwnyk L., Lorimer J.P.: The uses of ultrasound in food technology. Ultrason. Sonochem., 1996, **3** (3), 253-260.
- [17] Nilsson T.: Studies into the pigments in beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *rubra* L.) Lantbrukshogskolans Annaler, 1970, **36**, 179-197.
- [18] Nowacka M., Wiktor A., Śledź M., Jurek N., Witrowa-Rajchert D.: Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. J. Food Eng., 2012, **113**, 427-433.
- [19] Nowacka M., Tylewicz U., Laghi L., Dalla Rosa M., Witrowa-Rajchert D.: Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration. Food Chem., 2014, **144**, 18-25.
- [20] Ortuño C., Pérez-Munuera I., Puig A., Riera E., Garcia-Perez J.V.: Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. Physics Procedia, 2010, **3**, 153-159.
- [21] Ozuna C., Álvarez-Arenas T.G., Riera E., Cárcel J.A., Garcia-Perez J.V.: Influence of material structure on air-borne ultrasonic application in drying. Ultrason. Sonochem., 2014, **21**, 1235-1243.
- [22] PN-90/A-75101/03. Przetwory owocowe i warzywne. Oznaczenie zawartości suchej masy metodą wagową.
- [23] Rodrigues S., Fernandes F.A.N.: Use of ultrasound as pretreatment for dehydration of melons. Dry Technol., 2007, **25**, 1791-1796.
- [24] Rodríguez Ó., Santacatalina J.V., Simal S., Garcia-Perez J.V., Fermentia A., Rosselló C.: Influence of power ultrasound application on drying kinetics of apple and its antioxidant and microstructural properties. J. Food Eng., 2014, **129**, 21-29.
- [25] Rząca M., Witrowa-Rajchert D.: Wpływ parametrów suszenia konwekcyjno-mikrofalowego na barwę jabłek. Acta Agrophysica, 2007, **10** (2), 445-454.
- [26] Rząca M., Witrowa-Rajchert D.: Wpływ parametrów suszenia konwekcyjno-mikrofalowego na aktywność przeciwnadrodnikową jabłek. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2007, **5** (54), 222-230.
- [27] Tiwari B.K., Patras A., Brunton N., Cullen P.J., O'Donnell C.P.: Effect of ultrasound processing on anthocyanins and color of red grape juice. Ultrasonics Sonochemistry, 2010, **17**, 598-604.
- [28] Wiktor A., Łuczywek K., Witrowa-Rajchert D., Hankus M., Królikowski K.: Aproksymacja krzywych kinetycznych suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego liści oregano wybranymi równaniami. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2013, **573**, 61-73.
- [29] Zotarelli M.F., Almeida Porciuncula B.D. i Borges Laurindo J.: A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. J. Food Eng., 2012, **108** (4), 523-531.

EFFECT OF ULTRASOUND WAVES ON DRYING PROCESS AND SELECTED PROPERTIES OF BEETROOT TISSUE

S u m m a r y

The objective of the research study was to determine both the effect of ultrasounds as an pre-treatment procedure on the drying kinetics of beetroot tissue and the energy consumption during the process. Also, there was analyzed the effect of that pre-treatment procedure on the content of dry matter and betalains

pigments, as well as on the colour parameters of the samples analyzed. Beetroot slices were either sonicated using a frequency of 21 kHz for 10, 20, and 30 minutes or blanched for 3 minutes in water at a temperature of 90°C. To dry the material analyzed, a convection method was applied, the drying temperature was 70 °C. It was shown that the pre-treatment significantly decreased the dry matter content in the fresh tissue of beetroot by reason of the loss of compounds and water penetration into the samples. The application of ultrasound pre-treatment caused the drying time of beetroot slices to be shortened 4.5 to 9 % in comparison to the drying time of untreated tissue; the shortening of the drying time resulted in a significant decrease in the energy inputs (11-14 %) indispensable for drying the samples. Ultrasound waves caused substantial changes in the colour parameters of the dried beetroot: the colour lightness of the beetroot slices increased from a value of 23.8 to 35.6-37.6 and the redness and yellowness increased to 13.1-14.2 and 1-1.6, respectively. Despite the losses of betalains pigments caused by the pre-treatment process applied and despite their thermal degradation during the drying process, a substantial ($p = 0.05$) increase was determined in the content of red pigment (22.5-26.5 %) and yellow pigment (23.5-34.6 %) in the sonicated beetroot tissue compared to the untreated and not blanched samples. This fact may prove that the ultrasound pre-treatment of beetroot tissue facilitates the extraction of pigments from the beetroot tissue.

Key words: beetroot, ultrasounds, drying, colour, betalains ☒