

Selected physicochemical properties of juice from thawed raspberry fruits of the Polesie variety

Wybrane fizyczno-chemiczne właściwości soku z rozmrożonych owoców malin odmiany Polesie



DOI: 10.15199/62.2024.10.12

Raspberries of the Polesie variety were frozen by convection and stored in air at -20°C for a period of 1–65 days. Fruits were convectively defrosted at room temp. or in the presence of microwaves. Changes in the hardness of fruit defrosted before pressing, juice pressing yield, changes in its pH and total extract content were studied. With increasing storage time, pressing efficiency increased, total extract content and total acidity decreased.

Keywords: pressing efficiency, freezing, freezing storage, raspberries

Zamrażanie żywności i surowców rolniczych wydłuża czas przechowywania produktu z zachowaniem w znacznym stopniu jego pierwotnych właściwości chemicznych, fizycznych i żywieniowych, co jest powodem nieustannie rosnącej popularności tzw. mrożonek^{1–3}. Zamrażanie przeprowadzone z odpowiednią szybkością w niewielkim stopniu pozbawia mrożoną żywność związków prozdrowotnych, które inaktywuje obróbka termiczna (antocyjany, polifenole, betalainy)⁴. Bardzo istotny dla zachowania odpowiedniej jakości produkowanych mrożonek, poza parametrami zamrażania, jest dobór odmiany surowca roślinnego, którego cechy kształtują profil tekstury materiału po rozmrożeniu^{1, 5–7}. Zbyt wysokie temperatury przechowywania zamrażalniczego lub ich fluktuacje mogą być powodem zmian mikrostruktury wywołanych

Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych wpływu procesu zamrażania, zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania owoców maliny na wybrane właściwości fizykochemiczne otrzymywanego soku. Maliny odmiany Polesie konwekcyjnie zamrażano i przechowywano w powietrzu o temp. -20°C przez 1–65 dni. Owoce rozmrażano konwekcyjnie w temperaturze pokojowej lub mikrofalowo. Badano twardość owoców rozmrożonych przed tłoczeniem, wydajność tłoczenia soku, zmiany kwasowości ogólnej oraz zawartość ekstraktu ogólnego. Obróbka zamrażalnicza przed procesem tłoczenia malin może być zabiegiem kształtującym jego wydajność oraz może wpływać na jakość uzyskiwanego soku. W badanych próbach wraz z wydłużającym się czasem przechowywania występował wzrost wydajności tłoczenia soku oraz obniżenie zawartości jego ekstraktu ogólnego i kwasowości ogólnej.

Słowa kluczowe: wydajność tłoczenia, zamrażanie, przechowywanie zamrażalnicze, maliny

przez alokację sieci krystalicznej lodu (rekrytalizacja), która największą intensywność wykazuje podczas długotrwałego przechowywania w temperaturze powyżej -18°C ^{1, 4, 6, 8–10}. Ostatnim etapem zamrażalniczego przechowywania jest rozmrażanie. Nieodpowiednio przeprowadzone rozmrażanie może być również przyczyną strat z powodu obniżenia właściwości sensorycznych^{6, 11, 12}. Istnieją jednak sytuacje, w których zjawiska uznane za błędy technologiczne są wręcz pożądane. Do takich należy zaliczyć zamrażanie kierunkowe mające na celu wytworzenie struktur krystalicznych w kontrolowany sposób oddziałujących destrukcyjnie na mikrostrukturę tkanek mrożonego materiału, aby poprawić ich właściwości teksturalne po rozmrożeniu. W ten sposób wszystkie wady i defekty występujące w technologii zamrażania, zamrażal-



Dr inż. Marek DOMIN (ORCID: 0000-0002-8389-2811) w roku 2000 ukończył studia o specjalności inżynieria żywności na Wydziale Techniki Rolniczej Akademii Rolniczej w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie). W 2008 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych na Wydziale Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Jest adiunktem w Zakładzie Chłódnicwa i Energetyki Przemysłu Spożywczego wchodzącego w skład Katedry Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz na tej samej uczelni. Specjalność – inżynieria mechaniczna.



Dr hab. Marek SZMIGIELSKI (ORCID: 0000-0002-4783-4614) w roku 1986 ukończył studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Jest doktorem habilitowanym nauk rolniczych, nauczycielem akademickim w Katedrze Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz na Wydziale Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Specjalność – zagadnienia chemicznej i biochemicznej konwersji materiałów biologicznych spowodowanych procesami technologicznymi oraz przetwarzanie i zastosowanie odnawialnych źródeł energii.

* Adres do korespondencji:

Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, tel.: (81) 531-96-48, e-mail: marek.szmigielski@up.lublin.pl

niczego przechowywania i rozmrażania stają się działaniem celowym, dodatkowo obniżającym koszty przez stosowanie wyższych temperatur i naturalnych warunków. Może być to wykorzystane przy procesach otrzymywania soków i nektarów zarówno owocowych, jak i warzywnych^{7, 13–15}.

Celem pracy była ocena wpływu obróbki chłodniczej owoców maliny na wybrane właściwości fizyczno-chemiczne soku uzyskiwanego drogą tłoczenia w prasie wolnoobrotowej. Zakres badań obejmował zamrażanie, przechowywanie w stanie zamrożonym, rozmrażanie i produkcję soku. Oznaczano wydajność tłoczenia (%), ekstrakt ogólny (°Bx), kwasowość ogólną (pH) oraz zmianę twardości (N) owoców po rozmrożeniu w warunkach konwekcji swobodnej i przy zastosowaniu pola mikrofal.

Część doświadczalna

Materiały

Do badań wykorzystano owoce maliny odmiany Polesie pochodzące z podlubelskiej plantacji. Charakteryzowały się one dojrzałością technologiczną i konsumpcyjną, wyrównanym kształtem i wymiarami. Nie były uszkodzone ani porażone chorobami lub szkodnikami.

Metodyka badań

Badania wykonywano bezpośrednio po zbiorze owoców. Przygotowanie surowca do badań polegało na jego umyciu, osuszeniu i zamrożeniu. Owoce zamrażano konwekcyjnie w pojedynczej warstwie o grubości 5 cm w komorze klimatycznej (typu Memmert CTC 256) z cyrkulacją powietrza o temp. -20°C. Podczas zamrażania i przechowywania rejestrowano temperaturę centrum warstwy wielokanałowym analizatorem MPI-L wyposażonym w sondy pomiarowe TA100. Temperaturę rejestrowano jednocześnie w 5 punktach, a uśrednione wielkości wykorzystano do wyznaczenia temperatury krioskopowej (metodą stycznych Christodulo i Riutowa) oraz czasu i szybkości zamrażania, wykorzystując zależności (1) i (2)^{6, 10, 16}:

$$t = t_2 - t_1 \quad (1)$$

$$v = \frac{s \cdot 0,5}{t} \quad (2)$$

w których t oznacza czas zamrażania, min, t_1 czas rozpoczęcia zamrażania, t_2 czas, po którym uzyskano zamierzoną temperaturę centrum termicznego produktu, v szybkość zamrażania, mm/h, a s wymiar charakterystyczny próby, mm.

Table. Method of determining and preparing samples before laboratory tests

Tabela. Sposób oznaczenia i przygotowania prób przed badaniami laboratoryjnymi

Numer próby	Zamrażanie	Czas przechowywania chłodniczego, doba	Rozmrażanie	
			konwekcyjne	mikrofalowe
1	konwekcyjne z cyrkulacją powietrza o temp. -20°C	0	1a, 1b, 1c	1d, 1e, 1f
2		1	2a, 2b, 2c	2d, 2e, 2f
3		10	3a, 3b, 3c	3d, 3e, 3f
4		15	4a, 4b, 4c	4d, 4e, 4f
5		25	5a, 5b, 5c	5d, 5e, 5f
6		35	6a, 6b, 6c	6d, 6e, 6f
7		45	7a, 7b, 7c	7d, 7e, 7f
8		55	8a, 8b, 8c	8d, 8e, 8f
9		65	9a, 9b, 9c	9d, 9e, 9f

Materiał po zamrożeniu podzielono na 18 prób o masie ok. 1 kg każda, które różniły się długością przechowywania chłodniczego. Szczegółowy sposób oznaczenia i przygotowania prób poprzedzający badania laboratoryjne opisano w tabeli. Po 1, 10, 15, 25, 35, 45, 55 i 65 dniach przechowywania chłodniczego odpowiednie próby rozmrażano (konwekcyjnie do 5°C lub w polu mikrofal o mocy 850 W i ekspozycji 5 min) i kierowano do badań laboratoryjnych.

Pomiar twardości przeprowadzono za pomocą teksturometru LFRA Texture Analyzer, stosując wciskanie walca o średnicy 2 cm w warstwę owoców, przy zachowaniu następujących parametrów¹⁷: prędkość przesuwu głowicy 0,5 mm/s; częstotliwość próbkowania 100 pom./s; dokładność pomiaru 0,01 N; minimalna siła kontaktu głowicy z próbką 0,01 N; przemieszczenie 5 cm.

Tłoczeniu poddano owoce rozmrożone, wykorzystując wolnoobrotową wyciskarkę do warzyw i owoców. Pomiar masy prób przed tłoczeniem i masy uzyskanego soku umożliwił obliczenie wydajności tłoczenia wg zależności (3)⁽³⁾:

$$W_j = \frac{M}{M_p} \cdot 100\%$$

w której W_j oznacza wydajność tłoczenia, %, M masę soku uzyskaną podczas tłoczenia, g, a M_p masę próby poddanej tłoczeniu, g.

W celu oznaczenia kwasowości ogólnej uzyskanego soku wykorzystano pehametr laboratoryjny CP-401. Za wynik końcowy uznano średnią wartość z 3 pomiarów.

Zawartość ekstraktu ogólnego mierzono metodą polarymetryczną cyfrowym polarymetrem PR-32a pracującym w skali Brix (°Bx) 0,0–32,0°, z dokładnością do ±0,05. Jako wynik uznano wartość średnią z 3 pomiarów. Istotność różnic pomiędzy średnimi określono, wykorzystując test Tukeya, po uprzednim przeprowadzeniu testu jednorodności wariancji Levene'a.

Wyniki badań

Średnia wydajność tłoczenia świeżych malin wyniosła 67,80%, a uzyskany sok bezpośrednio po tłoczeniu



Mgr inż. Patryk ŚWIRKOSZ w roku 2020 ukończył studia magisterskie na kierunku inżynieria przemysłu spożywczego na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie. Obecnie pracuje jako inżynier procesu w firmie Kongsberg Digital, gdzie zajmuje się tworzeniem symulatorów do platform wiertniczych.

charakteryzował się kwasowością ogólną $\text{pH} = 3,92$ oraz ekstraktem ogólnym $9,83 \text{ }^\circ\text{Bx}$, potwierdzając dane literaturowe¹⁹). Proces zamrażania prowadzono z szybkością $3,11 \text{ mm/h}$, podczas którego temperatura krioskopowa badanych prób wyniosła $-1,53^\circ\text{C}$. Niepewność pomiaru wyznaczonej szybkości zamrażania wyniosła $\delta_w \pm 0,223\%$. Wyznaczone temperatury krioskopowe pokrywały się z wynikami uzyskanymi przez innych badaczy zajmujących się badaniami procesu zamrażania materiałów biologicznych^{20–25}).

Średnia twardość prób świeżych i rozmrożonych po 1 dniu zamrożenia wyniosła średnio ok. $9,9 \text{ N}$ i nie wykazywała istotnych statystycznie różnic pomiędzy metodami rozmrażania. Wraz z czasem przechowywania twardość ulegała zmniejszeniu i w przypadku prób przechowywanych 65 dni wyniosła ok. $3,5 \text{ N}$ dla prób rozmrażanych konwekcyjnie i ok. $2,1 \text{ N}$ dla rozmrażanych w polu mikrofal. Istotne statystycznie różnice w twardości owoców rozmrażanych różnymi metodami wystąpiły od 25. dnia przechowywania i wyniosły $7,5$ i $5,4 \text{ N}$ dla owoców rozmrażanych odpowiednio konwekcyjnie i w polu mikrofal. Analiza regresji wykazała liniowy charakter zmian o wysokim współczynniku R^2 zarówno dla rozmrażania konwekcyjnego ($R^2 = 0,966$), jak i wspomaganego mikrofalowo ($R^2 = 0,924$), potwierdzając zasadność dobranych równań regresji (rys. 1). Zmiany twardości zamrażanych owoców zaobserwowane przez innych badaczy wykazywały zbieżny charakter¹¹). Duży wpływ na ich kształtowanie mogły mieć cechy odmianowe i stopień dojrzałości^{15, 26}).

Zamrożenie, przechowywanie i rozmrożenie owoców malin zwiększyło wydajność uzyskiwanego soku z niespełna 70 do ponad 73%. Statystycznie istotne różnice wykazano również pomiędzy metodami rozmrażania, badając próby uzyskane po 30 dniach przechowywania zamrażalniczego. Największy wzrost wydajności tłoczenia odnotowano po 35 i 45 dniach zamrażalniczego przechowywania.

Próby rozmrażane konwekcyjnie charakteryzowały się wydajnością tłoczenia soku na poziomie $81,7\%$, w porównaniu z rozmrażanymi mikrofalowo, które cechowała mniejsza wydajność tłoczenia, rzędu $76,2\%$.

Analiza regresji wykazała liniowy charakter zmian o współczynniku korelacji $R^2 = 0,933$ dla prób rozmrażanych konwekcyjnie i $R^2 = 0,950$ mikrofalowo (rys. 2). Wzrost wydajności tłoczenia na skutek obróbki zamrażalniczej zaobserwowano również w przypadku produkcji soku z warzyw i innych owoców^{12, 18, 19}).

Kwasowość ogólna (pH) soku uzyskiwanego z owoców przechowywanych zamrażalniczo wykazała istotne statystycznie zmiany po 25 i następnie po 55 dniach przechowywania zamrożonych owoców bez względu na metodę rozmrażania. Kwasowość zmniejszała się wraz z postępującym czasem przechowywania. Sok z owoców świeżych i zamrożonych przez 1 dzień miał $\text{pH} = 3,99$, a przechowywanie zamrażalnicze po 65 dniach łączyło się z obniżeniem tej wartości do $\text{pH} = 3,78$ dla soku z prób rozmrażanych mikrofalowo i $\text{pH} = 3,84$ w przypadku rozmrażania konwekcyjnego. Zmiany kwasowości ogólnej

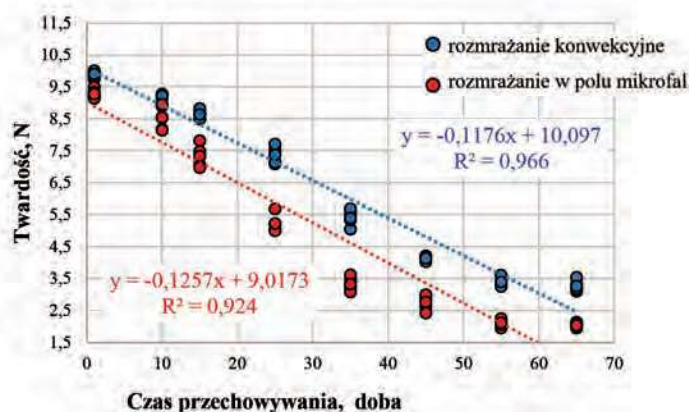


Fig. 1. Hardness of raspberries variety Polesie defrosted by convection and in the microwave field after storage

Rys. 1. Twardość malin odmiany Polesie rozmrażanych konwekcyjnie i w polu mikrofal po przechowywaniu

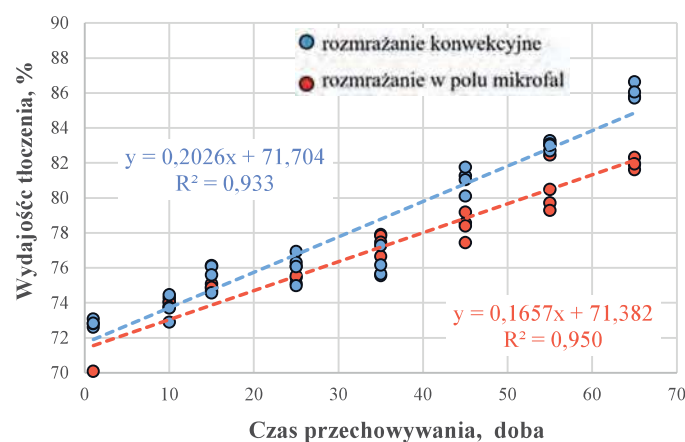


Fig. 2. Pressing efficiency of raspberries variety Polesie defrosted by convection and in the microwave field after storage

Rys. 2. Wydajność tłoczenia malin odmiany Polesie rozmrażanych konwekcyjnie i w polu mikrofal po przechowywaniu

w czasie przechowywania zamrażalniczego opisują funkcje liniowe, których współczynniki korelacji wynoszą $R^2 = 0,952$ podczas rozmrażania konwekcyjnego oraz $R^2 = 0,902$ w polu mikrofal (rys. 3).

Zawartość ekstraktu ogólnego w soku uzyskanym z rozmrażanych owoców zmniejszała się wraz z postępującym czasem przechowywania zamrażalniczego. Dla soku z owoców świeżych i po jednym dniu przechowywania istotna statystycznie wartość ekstraktu ogólnego wynosiła $9,5 \text{ }^\circ\text{Bx}$ dla prób rozmrażanych konwekcyjnie, a w przypadku soku z owoców rozmrażanych mikrofalowo $9,8 \text{ }^\circ\text{Bx}$. Czas przechowywania łączył się z obniżeniem wartości ekstraktu ogólnego w uzyskiwanym soku, osiągając po 25 dniach przechowywania wartość ok. $9,1 \text{ }^\circ\text{Bx}$. Pomimo dalszego obniżania się wartości ekstraktu ogólnego (poniżej $8,8 \text{ }^\circ\text{Bx}$ po 65 dniach), zmiany te nie były istotne statystycznie. Przebieg zmian opisano za pomocą zależności liniowych o wysokich współczynnikach korelacji (rys. 4).

Procesy zamrażania i rozmrażania mogą wpływać destrukcyjnie na tkanki i mikrostrukturę materiału biologicznego²). Stosowane i odpowiednio kontrolowane techniki procesów zamrażalniczych mogą więc przyczynić się do

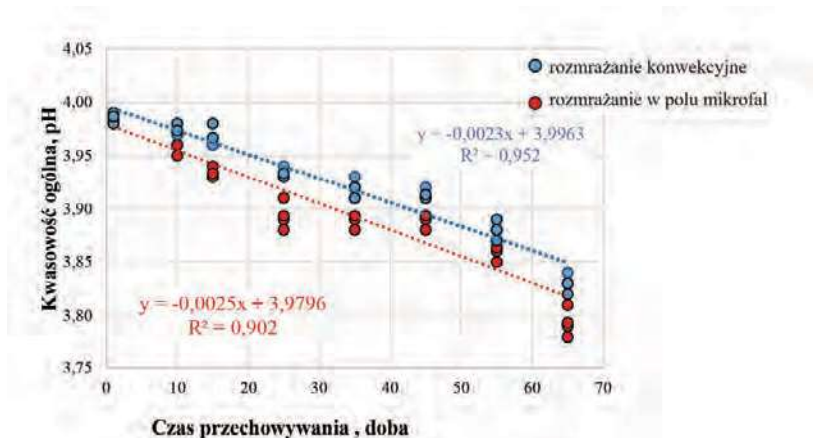


Fig. 3. Total acidity of juice from raspberries variety Polesie defrosted by convection and in the microwave field after storage

Rys. 3. Kwasowość ogólna soku z malin odmiany Polesie rozmrażanych konwekcyjnie i w polu mikrofal po przechowywaniu

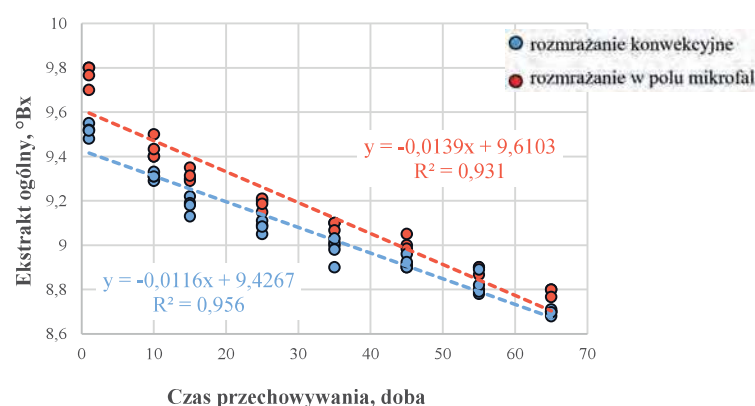


Fig. 4. Total juice extract from raspberries variety Polesie defrosted by convection and in the microwave field after storage

Rys. 4. Ekstrakt ogólny soku z malin odmiany Polesie rozmrażanych konwekcyjnie i w polu mikrofal po przechowywaniu

zwiększenia wydajności tłoczenia soku, choć równocześnie wiąże się to ze zmianą właściwości soku, czyli obniżeniem pH i zawartości ekstraktu ogólnego. Podobne wyniki uzyskano również w analogicznych badaniach owoców ziarnkowych i warzyw korzeniowych^{9, 10, 18)}.

Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie obróbki zamrażalniczej jako technologii przygotowawczej do tłoczenia owoców malin odmiany Polesie jest operacją podnoszącą ilość i wpływającą na jakość uzyskiwanego soku. Wydłużający się czas przechowywania w badanym zakresie powoduje wzrost wydajności tłoczenia.

Obniżająca się wartość ekstraktu ogólnego przy jednoczesnym wzroście wydajności tłoczenia jest wynikiem ułatwionego usuwania frakcji ciekłej dzięki rozległym uszkodzeniom tkanek surowca na skutek przemian krystalograficznych i lignifikacyjnych spowodowanych zamrażaniem, przechowywaniem i rozmrażaniem.

Obróbka mikrofalowa podczas rozmrażania owoców malin przeznaczonych do tłoczenia korzystnie wpływa zarówno na wzrost wydajności tłoczenia, jak i na poddane analizie parametry

technologiczne uzyskiwanego soku w odniesieniu do prób rozmrażanych konwekcyjnie.

Zamrażanie owoców przed tłoczeniem jest doskonałym zabiegiem na zapewnienie dostępności świeżo tłoczonego soku z niemal dowolnego surowca po sezonie jego dostępności. Uzyskiwany sok nie odbiega istotnie jakością od soku świeżego, a jego atutem jest brak obróbki termicznej diametralnie zmieniającej zarówno jego smak, jak i właściwości prozdrowotne, co potwierdzają również inni badacze.

Otrzymano: 02-09-2024

Zrecenzowano: 30-09-2024

Zaakceptowano: 02-10-2024

Opublikowano: 21-10-24

LITERATURA

- [1] M. Paślawska, B. Stępień, M. Surma, K. Jałoszyński, *Inż. Roln.* 2011, **9**, 161.
- [2] T.F. Bedane, O. Altin, B. Erol, F. Marra, F. Erdogdu, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2018, **50**, 139, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.09.001>.
- [3] B. Grabowska, *Przem. Spoż.* 2020, **74**, nr 9, 24, doi: 10.15199/65.2020.9.4.
- [4] X. Zhang, A. Sandhu, I. Edirisinghe, B. Burton-Freeman, *Food Funct.* 2018, **9**, 806, doi: <https://doi.org/10.1039/C7FO00893G>.
- [5] S. Begum, Ch.P. Das, P. Karmoker, *Fundam. Appl. Agric.* 2018, **3**, nr 2, 440, doi: <http://dx.doi.org/10.5455/faa.289995>.
- [6] K. Wilczyński, M. Panasiewicz, K. Olesińska, K. Kałwa, *Inż. Przetw. Spoż.* 2018, **1**, nr 25, 26.
- [7] A.M. Giuffrè, L. Louadj, P. Rizzo, M. Poiana, V. Sicari, *Food Control* 2019, **97**, 105, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.10.027>.
- [8] J. Bogdanowicz, W. Mozolewski, S. Rybaczek, *Przem. Spoż.* 2018, **72**, nr 8, 28, doi: 10.15199/65.2018.8.5.
- [9] L. Cheng, W. Wu, K. An, Y. Xu, Y. Yu, J. Wen, J. Wu, Y. Zou, H. Liu, J. Zhu, G. Xiao, *Crystals* 2020, **10**, nr 5, 368, <https://doi.org/10.3390/cryst10050368>.
- [10] P.K. Kumar, B.A. Rasco, J. Tang, S.S. Sablani, *Food Eng.* 2020, **12**, 421, <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09255-8>.
- [11] R.G.M. Van der Sman, *Food Eng.* 2020, **12**, 399, <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09216-1>.
- [12] J. Wu, M. Zhang, B. Bhandari, C-H. Yang, *Int. Agrophys.* 2021, **35**, 235, doi: 10.31545/intagr/142289.
- [13] K. Szwedziak, E. Polańczyk, M. Dąbrowska-Molenda, A. Kamińska, *Postępy Tech. Przetw. Spoż.* 2017, **1**, 71.
- [14] Z. Zhu, T. Li, D.W. Sun, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2021, **61**, nr 17, 2793, <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1841729>.
- [15] Z. Li, Z. He, W. Hao, K. Li, X. Ding, Y. Cui, *Processes* 2023, **11**, 598, <https://doi.org/10.3390/pr11020598>.
- [16] L. Bøgh-Sørensen, Recommendations for the processing and handling of frozen foods, International Institute of Refrigeration, Paris 2006.
- [17] N. Barytko-Pikielna, I. Matuszewska, *Sensoryczne badania żywności. Podstawy – Metody – Zastosowania*, Wydawnictwo Naukowe PTTŻ, Kraków 2009.
- [18] R. Nadulski, K. Zawisławski, P. Panasiewicz, K. Strzałkowska, *Inż. Roln.* 2013, **1**, nr 141, 133.
- [19] A. Wiktor, A. Fijałkowska, I. Kućko, M. Wojnowski, K. Królikowski, M. Hankus, T. Chudoba, W. Łojkowski, D. Witrowa-Rajchert, *Zesz. Probl. Postępów Nauk Roln.* 2015, **582**, 125.
- [20] Z. Pałacha, D. Bułka, *Postępy Tech. Przetw. Spoż.* 2016, **2**, 48.
- [21] Z. Pałacha, J. Krystian, *Postępy Tech. Przetw. Spoż.* 2014, **2**, 62.
- [22] Z. Pałacha, G. Świstak, *Postępy Tech. Przetw. Spoż.* 2015, **1**, 9.
- [23] L. de Oliveira Machado, *Assessing freezing effect on kiwifruit cultivars and mapping suitable areas for growing in eastern Texas*. Praca doktorska, Stephen F. Austin State University, Texas 2021, nr 431, <https://scholarworks.sfasu.edu/etds/431>.
- [24] I.A. Korotkiy, E.N. Neverov, E.V. Korotkaya, *Nexo Sci. J.* 2022, **35**, nr 03, 771, <https://doi.org/10.5377/nexo.v35i03.15006>.
- [25] C. Xinyuan, Z. Lina, K. Zhiliang, *J. Phys. Conf. Ser.* 2020, **1453**, 012143, doi: 10.1088/1742-6596/1453/1/012143.
- [26] G. Rajauria, B.K. Tiwari, *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*, Academic Press, Elsevier 2018.