

MICHAŁ HALAGARDA, KATARZYNA KOWA-HALAGARDA,
STANISŁAW POPEK

OCENA WPŁYWU METODY UTRWALANIA NA WYBRANE DETERMINANTY JAKOŚCI JABŁEK

Streszczenie

Wprowadzenie. Procesy metaboliczne w połączeniu z aktywnością drobnoustrojów wpływają na jakość owoców, a w konsekwencji prowadzą do psucia się produktu, powodując powstawanie odpadów i straty ekonomiczne. Dotyczy to również jabłek, pomimo tego, że przechowywane są one w warunkach chłodniczych. W związku z tym prowadzone są badania nad możliwością stosowania innych metod przedłużania ich trwałości. Stosowane zabiegi mogą jednak oprócz zwiększenia trwałości wpływać na inne aspekty jakości, w szczególności na wartość odżywczą i parametry sensoryczne. W związku z powyższym celem pracy była ocena wpływu metody utrwalania (suszenia konwekcyjnego, suszenia sublimacyjnego i mrożenia) na jakość sensoryczną i skład chemiczny jabłek. W ramach oceny składu chemicznego oznaczono poziom białka, błonnika pokarmowego, witaminy B₁, witaminy B₂ i witaminy C. Wyniki badań analizowano statystycznie za pomocą liniowych modeli mieszanych. W celu zidentyfikowania najbardziej podobnych próbek poddanych trzem metodom utrwalania opracowano dwuwymiarową mapę próbek za pomocą analizy głównych składowych (PCA).

Wyniki i wnioski. Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że najbardziej preferowaną metodą utrwalania było zamrażanie. Zarówno suszenie konwekcyjne, jak i sublimacyjne negatywnie wpłynęły na zawartość witamin, błonnika pokarmowego i białka w jabłkach, przy czym większe zmiany poziomu błonnika pokarmowego, witaminy C, witaminy B₁ oraz zapachu stwierdzono w przypadku suszenia sublimacyjnego. Wyniki analizy PCA potwierdziły, że najbardziej zbliżoną wartością odżywczą do świeżych jabłek oraz najwyższą jakością sensoryczną charakteryzowały się owoce poddane zamrażaniu.

Słowa kluczowe: jabłka, jakość, suszenie konwekcyjne, suszenia sublimacyjne, zamrażanie

Wprowadzenie

Okres przydatności do spożycia świeżej żywności jest z reguły bardzo ograniczony. Szczególnie dotyczy to owoców, które należą do grupy łatwo psujących się pro-

Dr hab. inż. prof. UEK M. Halagarda ORCID: 0000-0001-5716-0353, mgr. inż. K. Kowa-Halagarda, prof. dr hab. inż. S. Popek ORCID: 0000-0002-3681-1679, Katedra Jakości Produktów Żywnościowych, Instytut Nauk o Jakości i Zarządzania Produktem, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, ul. Sienkiewicza 5, 30-033 Kraków. Kontakt e-mail: michal.halagarda@uek.krakow.pl

duktów spożywczych. Procesy metaboliczne w połączeniu z aktywnością drobnoustrojów wpływają na jakość owoców, a w konsekwencji prowadzą do psucia się produktu, powodując powstawanie odpadów i straty ekonomiczne [12]. Dotyczy to również jabłek, które zwykle przechowywane są w warunkach chłodniczych [40]. W związku z tym stosuje się różne techniki przedłużenia ich trwałości, które mają na celu zahamowanie aktywności enzymów i drobnoustrojów lub nawet ich inaktywację. Niestety, niektóre metody utrwalania prowadzą do degradacji wrażliwych składników odżywczych i tym samym mają negatywny wpływ na cechy organoleptyczne owoców [14]. Rosnąca świadomość konsumentów na temat skutków zdrowotnych spożywanej żywności oraz rosnące oczekiwania odnośnie do jej jakości doprowadziły do rozwoju wielu technik utrwalania [39], jednak pomimo tego najpopularniejszymi i ugruntowanymi metodami przedłużającymi trwałość owoców są suszenie i zamrażanie [10, 13].

Pomimo tego, iż zamrażanie nie jest powszechnie wykorzystywane do utrwalania jabłek, metoda ta ze względu na to, że ogranicza procesy oddychania i utleniania, a co najważniejsze, spowalnia aktywność drobnoustrojów i enzymów [10], może stanowić alternatywę dla przechowywania chłodniczego, szczególnie w przypadku przeznaczenia owoców na cele przetwórcze. Jednak konsekwencją stosowania tej techniki w większości przypadków jest odwodnienie lub nawet uszkodzenie komórek, prowadzące do nieodwracalnej utraty turgoru, jędrności i zdolności zatrzymywania wody [11]. To z kolei zmniejsza akceptację konsumencką. Efekt taki dotyczy jednak głównie owoców o delikatnej strukturze, np. malin czy truskawek [3]. Suszenie konwekcyjne, choć powszechnie stosowane, ze względu na łatwość i stosunkowo niskie koszty, ma również wiele wad, do których zalicza się: utratę koloru, pogorszenie tekstury, zmiany chemiczne, a także modyfikację smaku i degradację niektórych składników odżywczych. Tym samym wpływa negatywnie na jakość produktu [25]. Suszenie sublimacyjne to technika utrwalania, która częściowo rozwiązuje większość problemów związanych z jakością produktu występujących w przypadku konwencjonalnego suszenia. W porównaniu z suszeniem konwekcyjnym, pomaga ono zachować składniki bioaktywne i powoduje niewielki skurcz tkanki. Wadą tej metody jest jednak jej koszt i czasochłonność [25, 41].

Jabłka są bogate w fitoskładniki, które mogą zmniejszać ryzyko chorób i mieć pozytywny wpływ na zdrowie człowieka [9]. Ich właściwości bioaktywne pozostają znaczące także po wysuszeniu owoców [48]. Pomimo ciągłego spadku spożycia jabłek w dalszym ciągu są one najchętniej konsumowanymi owocami w Polsce. Polska jest ich największym producentem w Europie i czwartym na świecie. Produkcja jabłek w Polsce stanowiła w 2021 roku 80,4 % ogółu zbiorów owoców [38].

Wpływ suszenia konwekcyjnego i sublimacyjnego oraz zamrażania na jakość owoców jest znany. W przypadku jabłek weryfikowano wpływ różnych technik suszenia [7], zamrażania [10], a nawet wykorzystania wspomagających metod, takich jak

np. ultradźwięki, wysokie ciśnienie czy impulsowe pola elektryczne [47] na wybrane determinanty ich jakości. Niemniej jednak w literaturze niewiele jest informacji na temat wpływu trzech metod utrwalania: suszenia konwekcyjnego, suszenia sublimacyjnego i zamrażania na jakość jabłek. W związku z tym celem pracy było zbadanie wpływu wymienionych metod utrwalania na wybrane determinanty wartości odżywczej i jakości sensorycznej jabłek.

Material i metody

Przygotowanie materiału badanego i jego utrwalanie

Materiał badany stanowiły jabłka odmiany Idared, które poddano trzem metodom utrwalania: suszeniu konwekcyjnemu (S), zamrażaniu (Z) i suszeniu sublimacyjnemu (liofilizacji) (L). Próbkę kontrolną stanowiły świeże jabłka (K). Badania przeprowadzono na owocach pozyskanych od polskiego producenta z sadów w okolicach Sandomierza. Jabłka zbierano w drugiej połowie października. Dojrzałość weryfikowano na podstawie barwy pestek. Przed analizą jabłka były przechowywane w temperaturze 4 °C przez 8 tygodni w celu osiągnięcia dojrzałości spożywczej. Wszystkie analizy przeprowadzono na trzech jabłkach, z których do każdego procesu utrwalania przygotowano po 3 próbki.

Jabłka obrano i pozbawiono komór nasiennych przy pomocy drylownicy (Leifehiet, Niemcy), pocięto na plastry i wykrawano walce o średnicy 1,5 cm i wysokości 1 cm. Próbki zostały pobrane w równej odległości od powierzchni zewnętrznej i gniazd nasiennych. Wszystkie procesy utrwalania rozpoczęto równocześnie, w czasie ok. 10 minut po wykrojeniu próbek.

Suszenie konwekcyjne przeprowadzono w suszarce laboratoryjnej Binder (model FP 115), stosując wymuszony obieg powietrza o natężeniu przepływu 0,82 m/s i temperaturze 60 °C. Czas suszenia wynosił 360 min.

Zamrażanie prowadzono w dwutaśmowym aparacie zamrażająco-fluidyzacyjnym (kaskadowy system zamrażania Frigoscandia Flo-FREEZE) w temperaturze -30 °C i z szybkością zamrażania 5 ÷ 10 cm/h bez dostępu światła. Czas zamrażania wynosił 14 min. Rozmrażanie przeprowadzono w temperaturze pokojowej bez dostępu światła.

Suszenie sublimacyjne prowadzono na zamrożonych próbkach jabłek przez 24 godziny w liofilizatorze Christ (model Gamma 1-16 LSC) przy temperaturze półki 25 °C i ciśnieniu 63 Pa. Wielkość wsadu wynosiła 48 g/m² półki liofilizatora.

Analizy chemiczne

Zawartość błonnika pokarmowego

Zawartość całkowitego błonnika pokarmowego określono metodą enzymatyczno-grawimetryczną według AOAC 985.29 [20]. W tym celu przygotowano podwójne

próbki jabłek, które poddano żelowaniu w obecności α -amylazy. Białko i skrobia zostały strawione odpowiednio proteazą i amyloglukozydazą. Niestrawioną pozostałość odsączono, przeniesiono na celit i przemyto (78-procentowym alkoholem etylowym, 95-procentowym alkoholem etylowym i acetonem), a następnie wysuszono. Pozostałość zważono. Jedną z próbek przeanalizowano pod kątem pozostałości białka metodą Kjeldahla zgodnie z AOAC 920.152 [20], a drugą pod kątem pozostałości popiołu, z wykorzystaniem metody spopielenia w piecu muflowym w temperaturze 500 °C przez 5 godzin. Zawartość błonnika pokarmowego obliczono zgodnie ze wzorem:

$$BP = \left(\frac{\frac{R_1 + R_2}{2}}{\frac{M_1 + M_2}{2}} - B - P \right) \times 100\%,$$

gdzie: BP – błonnik pokarmowy; R_1 – pozostałość próbki 1; R_2 – pozostałość próbki 2; M_1 – masa próbki 1; M_2 – masa próbki 2; B – masa białka; P – masa popiołu.

Zawartość witaminy C

Zawartość witaminy C oznaczono metodą spektrofotometryczną z wykorzystaniem spektrometru Nanocolor UV/VIS II (Macherey-Nagel, Niemcy) według normy PN-A-04019 [29].

Zawartość witamin B₁ i B₂

Do oznaczania stężeń witamin B₁ i B₂ zastosowano metodę opisaną przez Vinas i wsp. [44]. Analizy przeprowadzono metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) przy użyciu aparatu Ultimate 3000 RSLC (Thermo Fisher Scientific, USA) wyposażonego w kolumnę Discovery RP-Amide C16 (wielkość cząstek: 5 μ m) i detektor DAD. Na początku zastosowano etap izokratyczny z 10 mM buforem fosforanowym o pH 6 przez 13 minut, a następnie liniowy gradient do mieszaniny acetonitryl-bufor (6 : 94, v/v) przez 1 minutę, utrzymując przepływ docelowej mieszaniny przez 6 minut. W następnej kolejności wykorzystano drugi liniowy gradient do mieszaniny acetonitryl-bufor (12 : 88, v/v) w ciągu 1 minuty, utrzymując przepływ docelowej mieszaniny przez 10 minut. Na koniec przywrócono warunki początkowe w ciągu 1 minuty i utrzymywano przez 15 minut. Natężenie przepływu fazy ruchomej wynosiło 1,0 ml/min. Detekcję przeprowadzono przy długości fali wynoszącej 266 nm.

Zawartość białka

Zawartość białka oznaczono metodą Kjeldahla zgodnie z AOAC 920.152 [20] przy użyciu urządzenia Büchi Wet Digester B-426 sprzężonego ze skrubierem B-414 (Szwajcaria). Do przeliczenia azotu na białko zastosowano przelicznik 6,25.

Zawartość suchej masy

Zawartość suchej masy w badanych jabłkach oraz suszach jabłkowych sprawdzono metodą określoną w normie ISO 1026 [34].

Analiza sensoryczna

W celu porównania jakości sensorycznej jabłek poddanych trzem metodom utrwalania zespół 11 wybranych oceniających [31] przeprowadził analizę przy użyciu 5-stopniowej skali opisowej [43]. Członkowie zespołu oceniającego zostali przeszkoleni zgodnie z procedurą opisaną w normie ISO 8586 [32], a ich sprawność została zweryfikowana w oparciu o wytyczne normy ISO 11132 [30]. Oceniano następujące parametry: wygląd zewnętrzny, barwę, zapach, smakowitość, konsystencję/twardość. Deskryptory do oceny parametrów zostały opracowane w oparciu o wytyczne normy ISO 11035 [35] przez zespół pięciu specjalistów ds. żywności, którzy nie oceniali próbek. Współczynniki ważności opracowano w oparciu o analizę istotności atrybutów.

Analizy przeprowadzono w laboratorium sensorycznym zaprojektowanym zgodnie z normą ISO 8589 [33]. Badania przeprowadzono przy sztucznym oświetleniu imitującym światło dzienne, w temperaturze pokojowej (regulowanej w zakresie $21 \div 23$ °C), w warunkach cyrkulacji powietrza. Ocena odbywała się w trzech sesjach, maksymalnie w ciągu godziny od zakończenia procesu utrwalania (w przypadku wykorzystania technik suszenia) lub od całkowitego rozmrożenia próbki (w przypadku wykorzystania techniki zamrażania).

Analiza statystyczna

Uzyskane wyniki badań chemicznych i sensorycznych poddano analizie statystycznej, którą przeprowadzono przy użyciu programu R 4.0 [36]. Dla istotności statystycznej wymagana była wartość 0,05. Aby uwzględnić wariancję wynikającą ze zmienności materiału badawczego, różnice między metodami utrwalania analizowano za pomocą liniowych modeli mieszanych, przy czym metoda utrwalania była efektem stałym, a próbki jabłek – efektem losowym. W celu zidentyfikowania najbardziej podobnych próbek poddanych trzem metodom utrwalania, opracowano dwuwymiarową mapę próbek za pomocą analizy głównych składowych (PCA).

Wyniki i dyskusja

Wyniki badań chemicznych jabłek poddanych trzem metodom utrwalania, tj. suszeniu konwekcyjnemu (S), zamrażaniu (Z) i suszeniu sublimacyjnemu (liofilizacji) (L) przedstawiono w tabeli 1. Średnia zawartość suchej masy w świeżych jabłkach wyniosła 12,39 g/100 g produktu, co jest zbliżone do wyników badań Guiné i wsp. [18] ($15 \div 20$ g/100 g produktu). Po zastosowaniu procesów utrwalania owoców zawartość suchej masy wynosiła odpowiednio: 12,89 g/100 g jabłek zamrażanych,

88,77 g/100 g jabłek suszonych konwekcyjnie oraz 96,27 g/100 g jabłek liofilizowanych.

Oznaczona zawartość błonnika pokarmowego w świeżych jabłkach (2,23 g/100 g produktu) była zgodna ze średnią podaną w literaturze (2,4 g/100 g produktu) [21]. Wykazano, że wszystkie procesy miały wpływ na zawartość błonnika pokarmowego. Natomiast suszenie konwekcyjne, jak i liofilizacja spowodowały największy spadek stężenia tego składnika w suchej masie. Ponieważ jabłka zawierają metyloestery pektynowe [46] zmiany te mogły być spowodowane transformacją nierozpuszczalnych pektyn w przyswajalne węglowodany pod wpływem aktywności tych enzymów stymulowanej przez warunki procesowe [15].

W świeżych jabłkach witamina C była na poziomie 9,97 mg/100 g świeżej masy produktu, co było ponad dwukrotnie niższą wartością od uzyskanej przez Bujdei i wsp. [4] dla jabłek Golden Delicious (24,52 mg/100 g produktu), Red Prince (25,36 mg/100 g produktu) i Gala (22,92 mg/100 g produktu).

Przyczyną takich rozbieżności mogą być różnice w okresie od zbioru do badania, bowiem cytowani autorzy zaobserwowali znaczny spadek zawartości witaminy C podczas przechowywania jabłek. Z kolei Krishna [21] jako średnią zawartość witaminy C w jabłkach podał 4 mg/100 g, co jest wartością znacznie niższą od otrzymanej w omawianym badaniu. Wszystkie zastosowane metody utrwalania statystycznie istotnie zredukowały zawartość witaminy C w jabłkach. Najmniejszy wpływ na redukcję omawianego składnika miał proces zamrażania, przy czym obniżenie zawartości mogło bardziej wynikać z wycieku soku komórkowego podczas rozmrażania niż z degradacji tego składnika na skutek zamrażania [6]. W literaturze bowiem nie wykazano wpływu procesu zamrażania na zawartość witaminy C w owocach. Redukcję jej zawartości powiązano z długim przechowywaniem [5], które nie miało miejsca w niniejszych badaniach. W próbkach liofilizowanych (L) i suszonych konwekcyjnie (S) zawartość witaminy spadła znacząco, z poziomu ok. 80 mg/100 g suchej masy produktu do ok. 12 mg/100 g suchej masy produktu.

Straty witaminy C w owocach suszonych konwekcyjnie powiązane były z zastosowaniem wysokich temperatur i towarzyszących im przyspieszonych procesów utleniania [8], natomiast redukcja zawartości tej witaminy w jabłkach liofilizowanych mogła wynikać z równoczesnego zastosowania niskich temperatur i bardzo niskiego ciśnienia [26]. Mechanizm degradacji witaminy C w warunkach niskiej dostępności tlenu nie został jeszcze dokładnie wyjaśniony. Przyczyną może być bezpośrednie rozszczepienie mostka 1,4-laktonowego bez wcześniejszego utlenienia do kwasu dehydroaskorbinowego. Reakcja ta najlepiej przebiega w środowisku kwaśnym (pH 3 ÷ 4). Podczas zamrażania wzrasta stężenie jonów wodorowych, co przy ograniczonej zawartości tlenu i niskim ciśnieniu sprzyja zachodzeniu tej reakcji [19]. W przypadku jabłek dla świeżych owoców wartość pH zwykle nie przekracza wartości 4 [16].

Tabela 1. Wyniki analiz chemicznych (w przeliczeniu na suchą masę)
 Table 1. The results of chemical tests (on dry matter)

Parametr / Parameter	Proces / Process				Liniowe modele mieszane / Linear mixed models					
	S	Z	L	K	Z vs S	L vs S	K vs S	L vs Z	K vs Z	K vs L
Błonnik pokarmowy / Dietary fiber (g/100 g s.m.) / (g/100 g d.m.)	12,267 ± 0,170	17,297 ± 0,350	11,543 ± 0,083	17,940 ± 0,184	$p < 0,001^*$	$p = 0,003^*$	$p < 0,001^*$	$p = 0,001^*$	$p = 0,048^*$	$p < 0,001^*$
Witamina C / Vitamin C (mg/100 g s.m.) / (mg/100 g d.m.)	12,633 ± 0,061	78,153 ± 1,126	11,897 ± 0,042	80,420 ± 0,566	$p < 0,001^*$	$p = 0,002^*$	$P < 0,001^*$	$p < 0,001^*$	$p = 0,036^*$	$p < 0,001^*$
Witamina B1 / Vitamin B1 (mg/100 g s.m.) / (mg/100 g d.m.)	0,187 ± 0,006	0,330 ± 0,030	0,177 ± 0,006	0,327 ± 0,032	$p = 0,01^*$	$p = 0,101^*$	$p = 0,002^*$	$p = 0,007^*$	$p = 0,902$	$p = 0,01^*$
Witamina B2 / Vitamin B2 (mg/100 g s.m.) / (mg/100 g d.m.)	0,157 ± 0,006	0,253 ± 0,031	0,153 ± 0,006	0,250 ± 0,044	$p = 0,006^*$	$p = 0,423$	$p = 0,021^*$	$p = 0,005^*$	$p = 0,919$	$p = 0,027^*$
Białko / Protein (g/100 g s.m.) / (g/100 g d.m.)	2,190 ± 0,062	3,310 ± 0,187	2,190 ± 0,046	3,497 ± 0,277	$p = 0,001^*$	$p = 1$	$p = 0,009^*$	$p = 0,005^*$	$p = 0,388$	$p = 0,001^*$

Objaśnienia / Explanatory notes:

próbki: suszone konwekcyjnie (S), liofilizowane (L), mrożone (Z), kontrolne (K) / samples: convective-dried (S), freeze-dried (L), frozen (Z), control (K)

wartości średnie (n=3) ± odchylenie standardowe / mean values (n = 3) ± standard deviation

* – różnica statystycznie istotna / statistically significant difference

s.m. – sucha masa / d.m. - dry matter

Wyniki badań innych autorów na temat wpływu procesu liofilizacji na obniżenie zawartości witaminy C wskazują, że zależy on od rodzaju owoców [27, 30] i stopnia ich dojrzałości [26]. W badaniach Marques i wsp. [27] największy spadek jej poziomu zanotowano w przypadku guawy (80%). Duży spadek zawartości witaminy C w wyniku liofilizacji, niezależnie od jej warunków, zauważono także w przypadku jagód [37]. Z kolei Marques i wsp. [26] wykazali, że najwięcej witaminy C w procesie suszenia sublimacyjnego tracą owoce niedojrzałe i mocno dojrzałe.

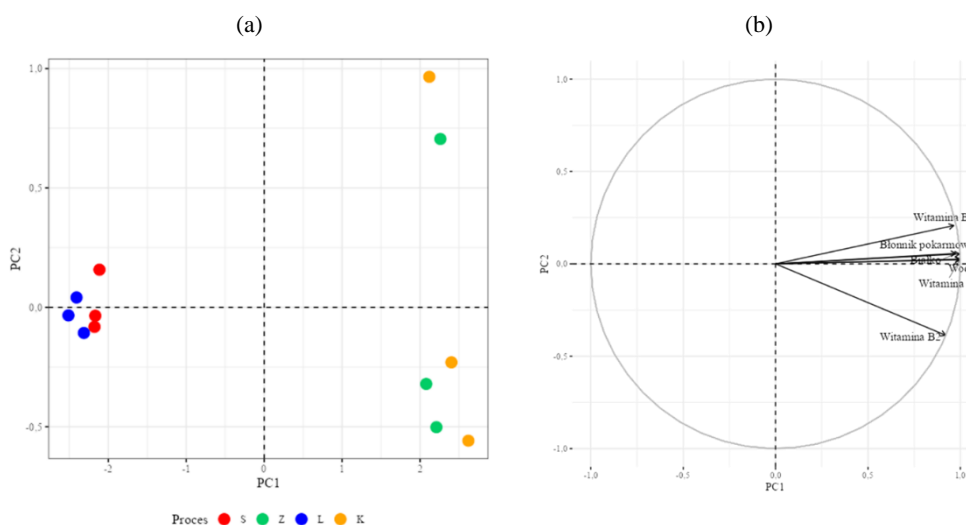
Oznaczona zawartość tiaminy w świeżych jabłkach (0,041 mg/100 g produktu) była istotnie wyższa od średniej podanej przez Krishnę [21] – 0,017 mg/100 g produktu. Natomiast w przypadku ryboflawiny wartości były podobne (odpowiednio 0,032 mg/100 g produktu i 0,026 mg/100 g produktu) do oznaczonych przez cytowanego autora. Zastosowanie procesu zamrażania nie miało istotnego wpływu na zawartość witamin B₁ i B₂ (tiamina i ryboflawina) w jabłkach. Z kolei suszenie konwekcyjne, jak i liofilizacja, spowodowały istotny spadek zawartości witaminy B₁, odpowiednio o 42,8 % i 45,9 % oraz B₂, odpowiednio o 37,2 % i 38,8 % w stosunku do surowca (tab. 1).

Badania na temat wpływu liofilizacji i suszenia konwekcyjnego na właściwości mieszanek ziołowych również potwierdzają wpływ obu tych procesów na znaczną (ok 50 %) i porównywalną redukcję zawartości witaminy B₂ [24]. Wang [45] także zanotował znaczne obniżenie zawartości witamin B₁ i B₂ w marchwi poddawanej suszeniu sublimacyjnemu (odpowiednio 55 % i 48 %). Obie witaminy są wrażliwe na przetwarzanie termiczne, przy czym witamina B₁ wykazuje mniejszą odporność niż witamina B₂ [28], co potwierdzają również wyniki niniejszych badań. Niemniej jednak przyczyny ich degradacji spowodowanej procesem suszenia sublimacyjnego wymagają dalszych badań [17].

Jabłka niepoddane procesom utrwalaniu zawierały znacznie więcej białka niż jabłka badane przez Krishnę [21] (0,26 g/100 g świeżej masy) oraz Guiné i wsp. [18] (1,59 g/100 g suchej masy). Proces zamrażania nie miał istotnego wpływu na ilość białka w jabłkach ($p > 0,05$). Z kolei suszenie konwekcyjne i liofilizacja znacząco obniżyły zawartość białka w owocach, do poziomu 2,19 g/100 g suchej masy. Spadek zawartości białka stwierdzono również w przypadku suszonych i liofilizowanych boczniaków [2] oraz suszonych liści *Moringa oleifera* [1]. W literaturze brakuje informacji na temat przyczyn tego zjawiska. Prawdopodobnie mogło nią być uwalnianie się z produktu substancji azotowych powstałych w wyniku denaturacji białek [42], która również ma miejsce w procesach niskotemperaturowych [19] i/lub reakcji Maillarda [23], zachodzących podczas suszenia konwekcyjnego. Niemniej jednak konieczne są dalsze badania w celu udowodnienia tej hipotezy.

Weryfikacja różnic parametrów fizykochemicznych pomiędzy próbkami poddanymi wybranym metodom utrwalania z wykorzystaniem analizy głównych składowych (PCA)

W celu zobrazowania różnic pod względem parametrów chemicznych pomiędzy próbkami jabłek poddanych wybranym metodom utrwalania wykonano analizę głównych składowych (PCA) i przygotowano mapę czynnikową (rys. 1). Otrzymane dwie pierwsze składowe główne wyjaśniały 98,53 % łącznej wariancji. Pierwsza składowa wyjaśniła 95,2 %, a druga 3,33 % wariancji.



Rys 1. Wyniki analizy głównych składowych (PCA) z uwzględnieniem parametrów fizykochemicznych próbek jabłek poddanych procesom utrwalania. Indywidualna mapa czynnikowa dla następujących próbek (a): kontrola (K), mrożona (Z), liofilizowana (L), suszona konwekcyjnie (S) oraz mapa czynnikowa dla zmiennych (b).

Fig. 1. The results of principal component analysis (PCA) with consideration of physicochemical parameters of apple samples subjected to preservation methods. Individual factor map for the following samples (a): control (K), frozen (Z), freeze-dried (L), convective-dried (S), plus the factor map for the variables (b).

Pierwsza składowa wskazuje na wysokie wartości wszystkich parametrów, natomiast składowa druga – na wysoki poziom witaminy B₂ a niski witaminy B₁. Jak wynika z indywidualnej mapy czynnikowej i mapy czynnikowej dla zmiennych, próbki zostały podzielone przez pierwszą główną składową na dwie grupy. Jabłka świeże i mrożone utworzyły pierwszą grupę i charakteryzowały się wysoką zawartością wszystkich analizowanych wyróżników. Z kolei jabłka suszone konwekcyjnie oraz liofilizowane stworzyły drugą grupę, która cechowała się niskim poziomem wszystkich składników chemicznych.

Analiza sensoryczna

W tabeli 2 przedstawiono wyniki analizy sensorycznej badanych jabłek. Wykazano, że jabłka poddane zamrażaniu charakteryzowały się statystycznie istotnie najwyższym wskaźnikiem sensorycznej jakości całkowitej (WSJC), uzyskując jednocześnie najwyższe średnie oceny za wszystkie badane cechy produktu poza smakowością. Wszystkie analizowane próbki uzyskały zbliżone, wysokie oceny za smakowość. Jakość sensoryczna jabłek suszonych konwekcyjnie i liofilizowanych nie różniła się istotnie, niemniej jednak nieco lepiej oceniono konsystencję owoców liofilizowanych ($p < 0,05$). Cecha ta jest kluczowa, ponieważ jest bezpośrednio powiązana z jędrnością, która według Celli i wsp. [6] jest jednym z kluczowych elementów postrzegania jakości owoców przez konsumentów. Wyniki niniejszych badań są zbieżne z wynikami analiz Dalmau i wsp. [13], które wykazały, że zarówno suszenie konwekcyjne, liofilizacja, jak i zamrażanie mają negatywny wpływ na konsystencję jabłek, przy czym największy zmiany powodowało suszenie konwekcyjne i liofilizacja. W niniejszych badaniach nie wykazano różnicy pomiędzy suszeniem konwekcyjnym a liofilizacją w zakresie oceny wyglądu zewnętrznego i barwy. Wyniki te wskazują, że suszenie konwekcyjne i liofilizacja mają podobny wpływ na wygląd zewnętrzny jabłek, który został oceniony niżej niż w przypadku owoców mrożonych. Ponadto stwierdzono, iż pomimo tego, że liofilizacja pozwala w znacznie większym stopniu zachować barwę owoców niż suszenie konwekcyjne [22], to w przypadku jabłek sensoryczna percepcja

Tabela 2. Wyniki analizy jakości sensorycznej
Table 2. The results of sensory quality analysis

Parametr / Parameter	Proces / Process			Liniowe modele mieszane / Linear mixed models		
	S	L	Z	L vs S	Z vs S	Z vs L
Wygląd zewnętrzny / External appearance	4,13 ± 0,35	4,2 ± 0,41	4,7 ± 0,47	$p = 0,494$	$p < 0,001^*$	$p < 0,001^*$
Barwa / Color	4,42 ± 0,49	4,37 ± 0,49	4,8 ± 0,41	$p = 0,69$	$p = 0,001^*$	$p < 0,001^*$
Zapach / Odor	4,8 ± 0,41	4,5 ± 0,51	4,9 ± 0,31	$p = 0,014^*$	$p = 0,276$	$p < 0,001^*$
Smakowość / Palatability	4,83 ± 0,38	4,8 ± 0,41	4,9 ± 0,31	$p = 0,733$	$p = 0,456$	$p = 0,276$
Konsystencja / Consistency	4,2 ± 0,41	4,5 ± 0,51	4,77 ± 0,43	$p = 0,01^*$	$p < 0,001^*$	$p = 0,032^*$
WSJC / Combined sensory quality index	4,4 ± 0,2	4,49 ± 0,24	4,8 ± 0,21	$p = 0,095$	$p < 0,001^*$	$p < 0,001^*$

Objaśnienia / Explanatory notes:

próbki: suszone konwekcyjnie (S), liofilizowane (L), mrożone (Z), kontrolne (K) / samples: convective-dried (S), freeze-dried (L), frozen (Z), control (K)

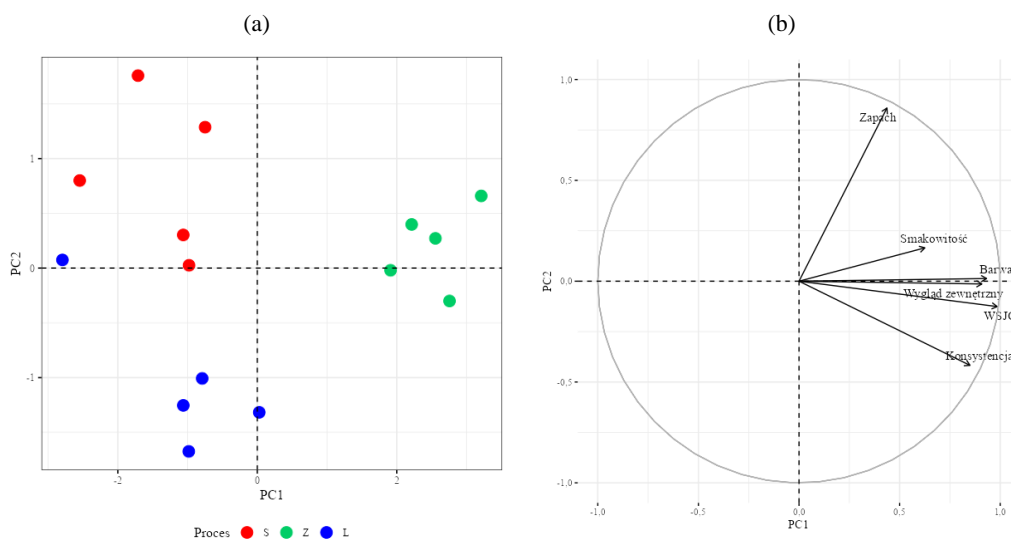
wartości średnie ($n=3$) ± odchylenie standardowe / mean values ($n=3$) ± standard deviation

* – różnica statystycznie istotna / statistically significant difference

jakości barwy pozostawała na tym samym poziomie. Liofilizacja miała najbardziej negatywny wpływ na zapach jabłek spośród wszystkich stosowanych metod utrwalania ($p < 0,05$). Z kolei różnica pomiędzy jabłkami mrożonymi i suszonymi konwekcyjnie była nieistotna. Co zaskakujące, nie wykazano istotnych różnic pomiędzy jabłkami poddanymi trzem analizowanym metodom utrwalania w zakresie smakowitości. Ponadto należy podkreślić, że pomimo różnic, wszystkie badane próbki charakteryzowały się wysoką jakością sensoryczną.

Weryfikacja różnic parametrów sensorycznych pomiędzy próbkami poddanymi wybranym metodom utrwalania z wykorzystaniem analizy głównych składowych (PCA)

W celu wskazania różnic w zakresie parametrów sensorycznych pomiędzy próbkami jabłek poddanych wybranym metodom utrwalania przeprowadzono analizę głównych składowych (PCA) oraz przygotowano mapę czynnikową (rys. 2). Otrzymane dwie pierwsze składowe główne wyjaśniały 82,09 % wariancji całkowitej. Pierwsza składowa wyjaśniła 66,16 %, druga – 15,93 % wariancji.



Rys 2. Wyniki analizy głównych składowych (PCA) z uwzględnieniem parametrów sensorycznych próbek jabłek poddanych zabiegom utrwalającym. Indywidualna mapa czynnikowa dla próbek (a): mrożonych (Z), liofilizowanych (L), suszonych konwekcyjnie (S) oraz mapa czynnikowa dla zmiennych (b).

Fig. 2. The results of principal component analysis (PCA) with consideration of sensory parameters of apple samples subjected to preservation methods. Individual factor map for the following samples (a): frozen (Z), freeze-dried (L), convective-dried (S), plus the factor map for the variables (b).

Pierwsza składowa wskazuje na wysokie wartości wszystkich parametrów, przy zauważalnie mniejszym wpływie zapachu i smakowości. Druga składowa natomiast wskazuje na wysoką ocenę zapachu i niską ocenę konsystencji. Można zatem zauważyć (rys. 2), że próbki zamrożone (Z) charakteryzowały się wysokimi wartościami wszystkich ocenianych parametrów. Z kolei jabłka suszone konwekcyjnie (S) i liofilizowane (L) charakteryzowały się niskimi wartościami wszystkich badanych parametrów przy wciąż stosunkowo wysokich ocenach zapachu w przypadku próbek S i konsystencji w przypadku próbek L.

Wnioski

1. Zamrażanie jabłek, w stosunku do suszenia konwekcyjnego i liofilizacji, pozwalało w większym stopniu na zachowanie zawartości witamin, błonnika pokarmowego, białka i jakości sensorycznej.
2. Porównując obie metody suszenia zauważono istotnie większy i negatywny wpływ procesu liofilizacji na jakość jabłek. Jakość sensoryczna, w tym także barwa jabłek liofilizowanych i suszonych była na wysokim i z reguły porównywalnym poziomie. Liofilizacja miała istotnie większy, negatywny wpływ na zapach owoców.
3. W związku z powyższym można stwierdzić, że najlepszą metodą utrwalania jabłek było ich zamrażanie. Wymaga ono jednak stałego dopływu energii dla utrzymywania temperatury w mroźni i ogranicza wygodę wykorzystywania owoców. Z tego względu godną polecenia metodą utrwalania jabłek jest także suszenie konwekcyjne.

Literatura

- [1] Alakali J.S., Kucha C.T., Rabiou I.A.: Effect of drying temperature on the nutritional quality of Moringa oleifera leaves. *Afr. J. Food Sci.*, 2015, 9, 395-399.
- [2] Arumuganathan T., Manikantan M.R., Indurani C., Rai R. D., Kamal S.: Texture and quality parameters of oyster mushroom as influenced by drying methods. *Int. Agrophys.*, 2010, 24, 339-342.
- [3] Bilbao-Sainz C., Sinrod A., Powell-Palm M., Dao L.T., Takeoka G.R., Williams T.G., Wood D.F., Ukpai G., Aruda J., Bridges D.F., Wu V.C., Rubinsky B., McHugh T.H.: Preservation of sweet cherry by isochoric (constant volume) freezing. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2019, 52, 108-115.
- [4] Bujdei, A., Stan, A., Dobrin A., Bădulescu L., Stănică F.: Apples quality indicators variation during storage in controlled atmosphere conditions. *Sci. Papers Ser. B Hort.*, 2019, 63 (1), 91-96.
- [5] Bulut M., Bayer, Ö., Kırtıl E.: Effect of freezing rate and storage on the texture and quality parameters of strawberry and green bean frozen in home type freezer. *Int. J. of Refrig.*, 2018, 88, 360-369.
- [6] Celli G.B., Ghanem A., Brooks M.S.: Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Rev. Int.*, 2016, 32 (3), 280-304.
- [7] Çetin N., Sağlam, C.: Effects of ultrasound pretreatment assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples. *J. Sci. Food Agric.*, 2023, 103, 534-547.

- [8] Chang C.H., Lin H.Y., Chang C.Y., Liu Y.C.: Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *J. Food Eng.*, 2006, 77, 478-485.
- [9] Chang S.K., Alasalvar C., Shahidi F.: Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits. *J. Funct. Food*, 2016, 21, 113-132.
- [10] Chassagne-Berces S., Fonseca F., Citeau M., Marin, M. Freezing protocol effect on quality properties of fruit tissue according to the fruit, the variety and the stage of maturity. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2010, 43, 1441-1449.
- [11] Chassagne-Berces S., Poirier C., Devaux M.-F., Fonseca F., Lahaye M., Pigorini G.: Changes in texture, cellular structure and cell wall composition in apple tissue as a result of freezing. *Food Res. Int.*, 2009, 42 (7), 788-797.
- [12] D'Aquino S., Mistriotis A., Briassoulis D., Di Lorenzo M.L., Malinconico M., Palma A.: Influence of modified atmosphere packaging on postharvest quality of cherry tomatoes held at 20°C. *Postharv. Biol. Technol.*, 2016, 115, 103-112.
- [13] Dalmau M.E., Bornhorst G.M., Eim V., Rosselló C., Simal S.: Effects of freezing, freeze drying and convective drying on in vitro gastric digestion of apples. *Food Chem.*, 2017, 215, 7-16.
- [14] Dolas R., Saravanan Ch., Kaur B.P.: Emergence and era of ultrasonic's in fruit juice preservation: A review. *Ultrason. Sonochem.*, 2019, 58(104609), 1-13.
- [15] Garcia-Amezquita L.E., Tejada-Ortigoza V., Campanella O., Welti-Chanes J.: Influence of Drying Method on the Composition, Physicochemical Properties, and Prebiotic Potential of Dietary Fibre Concentrates from Fruit Peels. *J. Food Qual.*, 2018, vol. 2018, Article ID 9105237, 1-11.
- [16] Glass K.A., Golden M.C., Wanless B.J., Bedale W., Czuprynski C.: Growth of *Listeria monocytogenes* within a caramel-coated apple microenvironment. *mBio*, 2015, 6, e01232-15.
- [17] Goulette T.R.: Determining Kinetic Parameters of Thiamine Degradation in Three NASA Spaceflight Foods in Thermal Processing and Long-Term Storage AND Methods for Analyzing Microstructure and Precipitant Development in Real and Model Wines Doctoral Dissertations. 1618. University of Massachusetts Amherst. USA. 2019. Dostęp w Internecie [13.11.2023]: https://scholarworks.umass.edu/dissertations_2/1618/
- [18] Guiné R.P.F., Sousa R., Alves A., Figueiredo C., Fonseca S., Soares S., Correia A.C., Jordão A.M., Lopes A.D., Ferreira D.: Composition of Regional Portuguese Apple Cultivars in Different Harvest Years. *Int. J. Fruit Sci.*, 2009, 9(4), 360-371.
- [19] Harguindeguy M., Fissore D.: On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: A review. *Dry. Technol.*, 2019, 6, 1-23.
- [20] Horowitz W., Latimer G.W.: AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th ed. AOAC International, Maryland, USA, 2005.
- [21] Krishna, K.R.: Agroecosystems: Soils, Climate, Crops, Nutrient Dynamics and Productivity. Apple Academic Press, Oakville, Canada, 2013.
- [22] Krokida M.K., Maroulis Z.B., Saravacos G.D.: The effect of the method of drying on the color of dehydrated products. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2001, 36, 53-59.
- [23] Li X., Gao K., Jinfeng B., Wu X., Li X., Guo C.: Investigation of the effects of apple polyphenols on the chromatic values of weakly acidic lysine-fructose maillard system solutions. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2020, 125, 109237.
- [24] Mahanom H., Azizah A.H., Dzulkifly M.H.: Effect of different drying methods on concentrations of several phytochemicals in herbal preparation of 8 medicinal plants leaves. *Malays. J. Nutr.*, 1999, 5, 47-54.
- [25] Marić L., Malešić E., Jurinjak Tušek A., Benković M., Valinger D., Jurina T., Gajdoš Kljusurić J.: Effects of drying on physical and chemical properties of root vegetables: Artificial neural network modelling. *Food Bioprod. Process.*, 2020, 119, 148-160.

- [26] Marques L.G., Ferreira M.C., Freire J.T.: Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.) Chem. Eng. Process., 2007, 46, 451-457.
- [27] Marques L.G., Silveira A.M., Freire J. T.: Freeze-drying characteristics of tropical fruits. Dry. Technol., 2006, 24(4), 457-463.
- [28] Naknaen P., Charoenthaikij P., Kerdsup P.: Physicochemical Properties and Nutritional Compositions of Foamed Banana Powders (Pisang Awak, *Musa sapientum* L.) Dehydrated by Various Drying Methods. Walailak J. Sci. Tech., 2016, 13, 177-191.
- [29] PN-A-04019:1998. Produkty spożywcze. Oznaczanie zawartości witaminy C.
- [30] PN-EN ISO 11132:2022-02. Analiza sensoryczna. Metodyka . Wytyczne do badania sprawności zespołu sensorycznego w analizie ilościowej.
- [31] PN-EN ISO 5492:2009/A1:2017-02. Analiza sensoryczna. Terminologia.
- [32] PN-EN ISO 8586:2014-03. Analiza sensoryczna. Ogólne wytyczne wyboru, szkolenia i monitorowania wybranych oceniających i ekspertów oceny sensorycznej.
- [33] PN-EN ISO 8589:2010. Analiza sensoryczna. Ogólne wytyczne dotyczące projektowania pracowni analizy sensorycznej.
- [34] PN-ISO 1026:2000. Produkty owocowe i warzywne. Oznaczanie zawartości suchej substancji w wyniku suszenia przy obniżonym ciśnieniu i zawartości wody w wyniku destylacji azeotropowej.
- [35] PN-ISO 11035:1999. Analiza sensoryczna. Identyfikacja i wybór deskryptorów do ustalania profilu sensorycznego z użyciem metod wielowymiarowych.
- [36] R: A language and environment for statistical computing. [online]. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2020. Dostęp w Internecie [27.05.2021]: <https://www.R-project.org>
- [37] Reyes A., Evseev A., Mahn A., Bubnovich V., Bustos R., Scheuermann E.: Effect of operating conditions in freeze-drying on the nutritional properties of blueberries. Int. J. Food Sci. Nutr., 2011, 62(3), 303-306.
- [38] Roczniki Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2022. [online]. GUS, Warszawa, Polska. Dostęp w Internecie [29.04.2023]: https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/en/defaultaktualnosci/3328/6/17/1/statistical_yearbook_of_agriculture_2022.pdf
- [39] Shao P., Niua B., Chen H., Sun P.: Fabrication and characterization of tea polyphenols loaded pullulan-CMC electrospun nanofiber for fruit preservation. Int. J. Biol. Macromol., 2018, 107, 1908-1914.
- [40] Shewa A.G., Gobena D.A., Ali M.K.: Review on postharvest quality and handling of apple. J. Agric. Sci. Food Technol., 2022, 8(1), 028-032.
- [41] Shofian N.M., Hamid A.A., Osman A., Saari N., Anwar F., Dek M.S.P., Hairuddin M.R.: Effect of freeze drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. Int. J. Mol. Sci., 2011, 12, 4678-4692.
- [42] Somkuti J., Houska M., Smeller L.: Pressure and temperature stability of the main apple allergen Mal d1. Eur. Biophys. J., 2011, 40, 143-151.
- [43] Stone H., Bleibaum R.N., Thomas H.A.: Sensory evaluation practices, 4th ed. Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA, 2012.
- [44] Vinas P., Lopez-Erroz C., Balsalobre N., Hernandez-Cordoba M.: Reversed-phase liquid chromatography on an amide stationary phase for the determination of the B group vitamins in baby foods. J. Chromatogr. A., 2003, 1007, 77-84.
- [45] Wang Q.: Changing Trend of the Vitamin Content in Carrot during Drying. Mod. Food Sci. Technol., 2020, 36(7), 120-124.
- [46] Wei J., Ma F., Shi S., Qi X., Zhu X., Yuan J.: Changes and postharvest regulation of activity and gene expression of enzymes related to cell wall degradation in ripening apple fruit. Postharvest Biol. Technol. 2010, 56(2), 147-154.

- [47] Wiktor A., Landfeld A., Matys A., Novotná P., Dadan M., Kovářiková E., Nowacka M., Mulenko M., Witrowa-Rajchert D., Strohalm J., Houška M.: Selected Quality Parameters of Air-Dried Apples Pretreated by High Pressure, Ultrasounds and Pulsed Electric Field - A Comparison Study. *Foods*, 2021, 10(8), 1943.
- [48] Wojdyło A., Figiel A., Oszmiański J.: Influence of temperature and time of apple drying on phenolic compounds content and their antioxidant activity. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2007, 57(4(C)), 601-605.

ASSESSING THE IMPACT OF A PRESERVATION METHOD ON THE SELECTED QUALITY DETERMINANTS OF APPLES

S u m m a r y

Background. Metabolic processes, along with microbial activity, affect the quality of fruit, and consequently, lead to product spoilage, resulting in waste and an economic loss. This also applies to apples, even though they are stored under refrigerated conditions. Therefore, research on the possibility of using other methods to extend their shelf life is currently being conducted. However, treatments used may, in addition to enhancing durability, affect other aspects of quality, in particular, nutritional value and sensory parameters. Therefore, the aim of the study was to assess the impact of the preservation method (convection drying, freeze drying and freezing) on sensory quality and chemical composition of apples. The chemical composition assessment involved the determination of the contents of protein, dietary fiber, vitamin B₁, vitamin B₂ and vitamin C. Differences between preservation methods were analyzed statistically using linear mixed models. To identify the most similar samples subjected to the three preservation methods, a two-dimensional sample map was developed by means of a principal component analysis (PCA).

Results and conclusions. Based on the research results, it can be concluded that the most preferred method of preservation was freezing. Both convection and freeze-drying had a negative impact on the content of vitamins, dietary fiber and protein in apples, with greater changes in the levels of dietary fiber, vitamin C, vitamin B₁ and odor being noted in the case of freeze-dried samples. The results of the PCA analysis confirmed that frozen fruit had the closest nutritional value to fresh apples and the highest sensory quality.

Key words: apples, quality, convective drying, freeze-drying, freezing ☒