

ROZPRAWY NAUKOWE

509

RÓŻA BIEGAŃSKA-MARECIK

WPLYW TECHNOLOGII MINIMALNEGO PRZETWARZANIA  
NA JAKOŚĆ SENSORYCZNĄ I MIKROBIOLOGICZNĄ  
ORAZ ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW BIOLOGICZNIE AKTYWNYCH  
W JARMUŻU (*BRASSICA OLERACEA* L. VAR. *ACEPHALA* DC.)



POZNAŃ 2019

# WPLYW TECHNOLOGII MINIMALNEGO PRZETWARZANIA NA JAKOŚĆ SENSORYCZNĄ I MIKROBIOLOGICZNĄ ORAZ ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW BIOLOGICZNIE AKTYWNYCH W JARMUŻU (*BRASSICA OLERACEA* L. VAR. *ACEPHALA* DC.)

## ABSTRAKT

**Wprowadzenie.** Rosnąca świadomość społeczna o istotnej roli pożywienia w utrzymaniu i poprawie zdrowia oraz walorów życia powoduje zainteresowanie konsumentów jakością spożywanych posiłków. Rola owoców i warzyw jako składnika diety w tym względzie jest bezsprzeczna. Warzywa kapustowate, w tym szczególnie jarmuż, są źródłem wielu związków o wysokiej aktywności biologicznej. Należą do nich m.in. związki fenolowe, karotenoidy oraz glukozynolany, wykazujące działanie przeciwnowotworowe. Ograniczenie wpływu zabiegów procesu technologicznego na cechy przetwarzanych surowców można uzyskać poprzez zastosowanie minimalnego przetwarzania owoców i warzyw. Technologie minimalnego przetwarzania są nowoczesnymi technikami, które pozwalają na uzyskanie żywności o trwałości wystarczającej do umożliwienia jej dystrybucji, a jednocześnie spełniającej potrzeby konsumenta w zakresie wygody i wysokiej jakości produktów. Jednakże w literaturze jest niewiele danych na temat wpływu zabiegów stosowanych w technologii minimalnego przetwarzania, w tym pakowania w atmosferze o wysokiej zawartości tlenu, na zawartość związków biologicznie aktywnych w produkcie. Celem pracy było zbadanie wpływu zabiegów procesu technologicznego oraz warunków pakowania i przechowywania w atmosferze modyfikowanej, ze szczególnym uwzględnieniem atmosfery wysokotlenowej, na jakość sensoryczną, mikrobiologiczną oraz zmiany zawartości związków biologicznie aktywnych w jarmużu o małym stopniu przetworzenia.

**Material i metody.** Badanym materiałem był świeży jarmuż (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.), zielony – odmiany Refleks oraz czerwony – odmiany Redbor. Realizację celu oparto o aktualne metody badawcze i analityczne umożliwiające m.in.: pakowanie z wykorzystaniem różnych opakowań i składów atmosfery, śledzenie zmian stężenia gazów wewnątrz opakowania z minimalnie przetworzonym produktem, ocenę stopnia skażenia mikrobiologicznego surowca, a także analizę zawartości związków biologicznie aktywnych w oparciu o metody chromatograficzne. Zebrane wyniki poddano analizie statystycznej potwierdzającej lub wykluczającej istotny wpływ badanych czynników na wyróżniki jakości oraz wskazującej korelacje pomiędzy parametrami.

**Wyniki.** W pracy przedstawiono wyniki dotyczące jakości sensorycznej oraz mikrobiologicznej jarmużu zapakowanego i przechowywanego w atmosferze modyfikowanej o różnej zawartości tlenu i ditlenku węgla, w tym atmosfery wysokotlenowej, przy zastosowaniu materiałów opakowaniowych o przepuszczalności tlenu od 1,5 do 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm, litych bądź poddanych mikroperforacji. Ponadto zbadano wpływ wybranych warunków pakowania na profil oraz zawartość związków fenolowych, glukozynolanów, karotenoidów, witaminy C oraz siarkowych związków lotnych. Badania ukierunkowano na wybór zarówno atmosfery wysokotlenowej, jak i niskotlenowej w celu porównania ich wpływu na różne aspekty jakości jarmużu o małym stopniu przetworzenia.

**Wnioski.** Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najlepsze warunki pakowania i przechowywania jarmużu o małym stopniu przetworzenia uzyskuje się poprzez połączenie zastosowania atmosfery wysokotlenowej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz materiału opakowaniowego o przepuszczalności tlenu 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm. Wymienione warunki pakowania, wraz z obróbką wstępną jarmużu roztworem kwasów askorbinowego i cytrynowego, pozwoliły na obniżenie aktywności fizjologicznej, uzyskanie wysokiej jakości sensorycznej oraz ograniczenie skażenia mikrobiologicznego produktu w czasie 12 dni przechowywania. Połączenie obróbki roztworem kwasów organicznych oraz pakowania w atmosferze wysokotlenowej umożliwiło zmniejszenie skażenia mikrobiologicznego jarmużu, porównywalne lub istotnie wyższe od zastosowania obróbki wodą chlorowaną. Ponadto wskazane warunki obróbki i pakowania pozwoliły na zachowanie wysokiej zawartości związków fenolowych w produkcie. Wysoką retencję glukozyolanów uzyskano przy zastosowaniu niskotlenowej atmosfery modyfikowanej, natomiast ograniczenie strat karotenoidów w większym stopniu uwarunkowane było większą przepuszczalnością materiału opakowaniowego uzyskiwaną poprzez wykorzystanie mikroperforacji o wielkości 333 otwory o średnicy 70 μm/m<sup>2</sup> folii.

**Słowa kluczowe:** jarmuż, minimalne przetwarzanie, jakość sensoryczna i mikrobiologiczna, związki fenolowe, glukozyolany, karotenoidy

# THE EFFECT OF MINIMAL PROCESSING TECHNOLOGY ON THE SENSORY AND MICROBIOLOGICAL QUALITY AND THE CONTENT OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN KALE (*BRASSICA OLERACEA* L. VAR. *ACEPHALA* DC.)

## ABSTRACT

**Introduction.** The increasing social awareness of the significance of food for the maintenance and improvement of health and quality of life caused consumers' growing interest in the quality of meals. The role of fruit and vegetables as dietary components is unquestionable. Cabbage vegetables, especially kale, are sources of various highly bioactive compounds such as phenolics, carotenoids and glucosinolates, which exhibit anticancer activity. It is possible to reduce the influence of treatments applied in the technological process on the characteristics of processed raw materials by minimal processing of fruit and vegetables. Minimal processing technologies are modern techniques, which enable the production of food of sufficient durability for distribution, which meets consumers' demands for convenience and high quality. Scientific publications do not provide much data about the influence of minimal processing treatments, including packaging in high-oxygen modified atmosphere, on the content of bioactive compounds in products. The aim of the study was to determine the influence of treatments applied in the technological process, packaging and storage in modified atmosphere, especially high-oxygen atmosphere, on the sensory and microbiological quality as well as changes in the content of bioactive compounds in minimally processed kale.

**Materials and methods.** Green (Reflex cultivar) and red (Redbor cultivar) raw kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) was the research material. The aim of the study was achieved by using current methods of research and analysis. Packaging with various materials and atmospheres was analysed. Changes in gas concentrations inside packages with minimally processed products were monitored. The microbial contamination of the raw materials and products was assessed. Bioactive compounds were analysed with chromatographic methods. The results were analysed statistically to confirm or exclude the significant influence of the factors under study on the determinants of quality factors and to indicate correlations between parameters.

**Results.** The study provides data on the sensory and microbial quality of kale washed with tap water and rinsed with solutions of organic acids or chlorinated water. The material was packed and stored in a modified atmosphere with different oxygen and carbon dioxide content, including a high-oxygen atmosphere. The oxygen permeability of solid or microperforated packaging materials ranged from 1.5 to 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm. Apart from that, the influence of selected packaging conditions on the profile and content of phenolic compounds, glucosinolates, carotenoids, vitamin C and volatile sulphur compounds was analysed. The influence of high-oxygen and low-oxygen atmosphere on various qualitative aspects of minimally processed kale was compared.

**Conclusions.** The study showed that a high-oxygen atmosphere with 80% of O<sub>2</sub>, 10% of CO<sub>2</sub> and 10% of N<sub>2</sub> and the packaging material with an oxygen permeability of 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm were the best packaging and storage conditions for minimally processed kale. These packaging conditions and the pretreatment of kale with a solution of ascorbic and citric acids reduced the physiological activity of the product, resulted in its high sensory quality and decreased its microbiological contamination during 12 days of storage. The treatment with the solution of organic acids and packing in the high-oxygen atmosphere reduced the microbiological contamination of kale comparably or significantly higher than the treatment with chlorinated water. In addition, these processing and packaging conditions enabled retention of the high content of phenolic compounds in the product. The low-oxygen modified atmosphere enabled retention of the high content of glucosinolates. The loss of carotenoids was reduced by using microperforation of packaging material with 333 holes, diameter of 70 μm/m<sup>2</sup>.

**Key words:** kale, minimal processing, sensory and microbiological quality, phenolic compounds, glucosinolates, carotenoids

KOMITET REDAKCYJNY

**Anna Golcz, Stanisław Grześ, Jolanta Komisarek, Andrzej Krauss,  
Andrzej Mazur, Sebastian Nowaczewski, Julita Reguła, Arkadiusz Sadowski,  
Jacek Wójtowski (przewodniczący), Anna Zielińska-Krybus**

Redaktor Działu

**dr hab. Julita Reguła**

Recenzent

**dr hab. inż. Hanna Kowalska, prof. SGGW**

**Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**



Książka jest dostępna na licencji Creative Commons – Uznanie autorstwa – Użycie niekomercyjne – Bez utworów zależnych 4.0 Międzynarodowe (CC BY-NC-ND 4.0)

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu  
Poznań 2019, Poland

Praca częściowo finansowana z projektu badawczego nr N 312 2193 3 150

ISSN 1896-1894

ISBN 978-83-7160-923-7

e-ISBN 978-83-67112-72-7

<https://doi.org/10.17306/978-83-67112-72-7>

Opracowanie redakcyjne

Kamila Markowska

Skład i łamanie

Stanisław Tuchołka

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO W POZNANIU

ul. Witosza 45, 61-693 Poznań

tel. 61 848 78 08, e-mail: [wydawnictwo@up.poznan.pl](mailto:wydawnictwo@up.poznan.pl)

<https://wydawnictwo.up.poznan.pl/>

Ark. wyd. 14,5.

Wersja elektroniczna dostępna na stronie <https://wydawnictwo.up.poznan.pl/books.html?dostepnosc=open%20access> oraz w serwisie <https://www.ibuk.pl/>

# SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE .....	11
2. CEL I ZAKRES BADAŃ .....	16
3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ .....	19
3.1. Charakterystyka materiału badawczego .....	19
3.2. Proces technologiczny .....	20
3.3. Metody badań .....	26
3.3.1. Etap I: określenie wpływu składu atmosfery modyfikowanej, rodzaju materiału opakowaniowego oraz jego mikroperforacji na jakość sensoryczną i cechy fizykochemiczne jarmużu o małym stopniu przetworzenia w czasie przechowywania przez 12 dni w temperaturze chłodniczej (4°C) .....	26
3.3.2. Etap II: określenie wpływu zabiegów obróbki wstępnej, składu atmosfery modyfikowanej oraz rodzaju materiału opakowaniowego na jakość mikrobiologiczną jarmużu o małym stopniu przetworzenia .....	28
3.3.3. Etap III: określenie wpływu minimalnego przetwarzania i pakowania w atmosferze modyfikowanej na zmiany zawartości związków biologicznie aktywnych, siarkowych związków lotnych oraz na aktywność przeciwutleniającą jarmużu .....	30
3.3.3.1. Oznaczanie zawartości związków fenolowych .....	30
3.3.3.2. Oznaczanie zawartości glukozyzolanów .....	31
3.3.3.3. Oznaczanie zawartości kwasu askorbinowego .....	32
3.3.3.4. Oznaczanie zawartości karotenoidów .....	33
3.3.3.5. Oznaczanie aktywności przeciwutleniającej .....	34
3.3.3.6. Analiza siarkowych związków lotnych w opakowaniach z produktem .....	35
3.3.4. Analiza statystyczna .....	36

4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA .....	37
4.1. Etap I: określenie wpływu składu atmosfery modyfikowanej i rodzaju materiału opakowaniowego oraz jego mikroperforacji na jakość sensoryczną i cechy fizykochemiczne jarmużu o małym stopniu przetworzenia w czasie przechowywania przez 12 dni w temperaturze chłodniczej (4°C) .....	37
4.1.1. Ocena jakości sensorycznej oraz zmian cech fizykochemicznych jarmużu o małym stopniu przetworzenia zapakowanego z zastosowaniem opakowań WF OTR 1900 oraz WF OTR 3000 ...	37
4.1.2. Zastosowaniem mikroperforacji materiału opakowaniowego do pakowania jarmużu o małym stopniu przetworzenia w atmosferze modyfikowanej .....	48
4.1.3. Ocena wpływu przechowywania w atmosferze o wysokiej zawartości tlenu na jakość sensoryczną i właściwości fizykochemiczne jarmużu .....	57
4.1.4. Ocena jakości sensorycznej jarmużu zapakowanego z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000 .....	67
4.1.5. Określenie wpływu pakowania z zastosowaniem folii F OTR 35 oraz F OTR 3000 na jakość sensoryczną i aktywność fizjologiczną jarmużu .....	69
4.2. Etap II: określenie wpływu zabiegów obróbki wstępnej, składu atmosfery modyfikowanej oraz rodzaju materiału opakowaniowego na jakość mikrobiologiczną jarmużu .....	81
4.2.1. Ocena stanu mikrobiologicznego jarmużu niepoddanego obróbce wstępnej oraz mytego w bieżącej wodzie .....	81
4.2.2. Wpływ obróbki wstępnej na jakość mikrobiologiczną surowca ...	83
4.2.3. Ocena wpływu obróbki wstępnej na stan mikrobiologiczny jarmużu pakowanego w atmosferze powietrza oraz w atmosferze wysokotlenowej o składzie 80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000 .....	86
4.2.4. Ocena stanu mikrobiologicznego jarmużu zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10, przechowywanego w różnych warunkach atmosfery modyfikowanej .....	92
4.3. Etap III: określenie wpływu minimalnego przetwarzania i pakowania w atmosferze modyfikowanej na zmiany zawartości związków biologicznie aktywnych, siarkowych związków lotnych oraz na aktywność przeciwtleniającą jarmużu .....	98



4.3.1. Zmiany zawartości związków polifenolowych i aktywności przeciwutleniającej w jarmużu zielonym i czerwonym świeżym oraz poddanym minimalnemu przetwarzaniu . . . . .	100
4.3.2. Określenie wpływu warunków pakowania w atmosferze modyfikowanej na zawartość glukozydów w jarmużu o małym stopniu przetworzenia . . . . .	119
4.3.3. Określenie wpływu warunków pakowania w atmosferze modyfikowanej na zawartość kwasu askorbinowego oraz karotenoidów w jarmużu o małym stopniu przetworzenia . . . . .	134
4.3.4. Analiza związków lotnych w jarmużu pakowanym i przechowywanym w atmosferze modyfikowanej . . . . .	146
5. WNIOSKI . . . . .	150
6. LITERATURA . . . . .	153



# 1. WPROWADZENIE

Koncepcja roli żywności w życiu człowieka ewoluje w kierunku rozpatrywania jej jako potencjalnego czynnika przedłużającego czas jego trwania z zachowaniem pełnej sprawności i aktywności. Lekarze i dietetycy od wielu lat podkreślają związek między ilością i częstotliwością spożywania owoców i warzyw a stanem zdrowia człowieka. Z żywieniowego punktu widzenia, warzywa kapustowate są ważną pozycją naszego jadłospisu, nie tylko ze względu na swoje cechy organoleptyczne, ale również jako cenne źródło związków mineralnych, witamin, związków biologicznie aktywnych.

W badaniach epidemiologicznych wykazano pozytywną korelację pomiędzy spożywaniem owoców i warzyw a zapobieganiem chorobom takim jak: miażdżyca, nowotwory, cukrzyca, zapalenie stawów i wiele innych (van Poppel i in., 1999; Kaur i Kapoor, 2001; Borek, 2005). Metabolity roślinne, w tym związki fenolowe, karotenolidy i glukozyzyny, należą do najczęściej badanych związków biologicznie aktywnych (Kaur i Kapoor, 2001; 2002; Lefsrud i in., 2007). Rola warzyw kapustowatych w zmniejszeniu ryzyka zachorowalności na wiele chorób, a w szczególności na nowotwory, jest bardzo duża. Spożywanie ich – ze względu na zawartość glukozyzynolanów i produktów ich rozpadu, odgrywających istotną rolę w metabolizmie komórek nowotworowych – może przyczynić się do obniżenia ryzyka występowania niektórych nowotworów. Poza tym warzywa te zawierają znaczne ilości witaminy C, selenu, flawonoidów, które mogą działać jako oddzielne bądź uzupełniające się czynniki zabezpieczające przed kancerogenezą i mutacjami. Voorrips i in. (2000), którzy w swoich badaniach przedstawili zależność odwrotną pomiędzy spożywaniem warzyw i owoców a rakiem jelita grubego, najsilniejszy efekt (blisko 50-procentowe obniżenie ryzyka zachorowań) obserwowali dla osób spożywających warzywa kapustowate.

Wśród tej grupy roślin jarmuż jest szczególnie ze względu na wiele cennych związków w swoim składzie. Zawiera znaczne ilości wapnia (280 mg Ca/100 g) o dużej przyswajalności, a także charakteryzuje się wysoką ilością magnezu i potasu, co stawia go w czołówce wśród warzyw (Lucarini i in., 1999; Kawashima i Valente Soares, 2003). Ponadto jest najbogatszym ze wszystkich warzyw źródłem luteiny

i  $\beta$ -karotenu, ich zawartość w świeżym jarmużu wynosi odpowiednio 30,4–52,6  $\mu\text{g/g}$  i 28,4–43,8  $\mu\text{g/g}$  (De Sà i Rodriguez-Amaya, 2003; 2004). Wartość biologiczną jarmużu podnosi ponadto stosunkowo wysoka zawartość witamin, szczególnie witaminy C. Wśród warzyw jarmuż ustępuje pod tym względem jedynie papryce i natce pietruszki. Ma on także znaczne ilości kwercetyny i kampferolu (odpowiednio: 77–244  $\mu\text{g/g}$  i 235–347  $\mu\text{g/g}$ ), flawonoidów, które wraz z obecnymi w tym surowcu karotenoidami, wpływają na jego wysoką aktywność przeciwutleniającą (Kaur i Kapoor, 2002; Ismail i in., 2004; King i in., 2006).

Glukozynolany w warzywach kapustowatych, oprócz ich znaczenia jako substancji zapachowych, zaliczane są obecnie do związków biologicznie aktywnych o działaniu przeciwnowotworowym. Ulegają one rozkładowi pod wpływem enzymu mirozynazy (tioglikozydazy). Enzym ten, wraz z tioglukozydami, wytwarzany przez niektóre drobnoustroje, występuje także w roślinach, ale ze względu na odizolowanie od substratów, jest nieaktywny. Dopiero po uszkodzeniu tkanek zostaje uwalniany i powoduje degradację glukozynolanów. Produktami rozpadu glukozynolanów są izotiocyaniany i indole. Ukierunkowanie reakcji rozpadu zależy w dużej mierze od pH środowiska, w słabo kwaśnym środowisku charakterystycznym dla warzyw (pH > 5) powstają głównie izotiocyaniany. Glukozynolany obecne w jarmużu w największych ilościach to m.in. glukoiberyna, synigryna, glukorafanina, glukobrasycyna i inne (Westerman, 2000; Kushad i in., 2004). Najkorzystniejsze działanie, w tym hamowanie rozwoju nowotworów, mają glukozynolany, w których podstawnikiem są pochodne indolu. Glukozynolany te występują w jarmużu (Stoewsand, 1995; Rosa i in., 1996; Kushad i in., 2004).

Liczne przeprowadzone badania wskazują na antykancerogenne właściwości jarmużu (van Poppel i in., 1999; Chung i in., 2002; Borek, 2005; Tung i in., 2005). Ponadto Lee-Kim i in. (2003) wykazali, że uzupełnianie diety w sok z jarmużu daje korzystny profil tłuszczów w organizmie, wpływając na poziom HDL-cholesterolu i aktywność peroksydazy glutationowej u mężczyzn z hiperlipidemią, zmniejszając u nich tym samym ryzyko choroby wieńcowej. Z kolei badania Chunga i in. (2002) dowiodły, że spożywanie jarmużu redukuje ilość powstawania N-nitrozodimetyloaminy, związku o charakterze cancerogennym tworzącym się w organizmie ludzkim po spożyciu żywności zawierającej azotany i bogatej w związki aminowe. Luteina i  $\beta$ -karoten, obecne w jarmużu w dużych ilościach, wykazują ważne dla zdrowia właściwości. Nie są jednak syntetyzowane przez ssaki. Ich główne źródło to rośliny. Spożywanie warzyw bogatych w luteinę i  $\beta$ -karoten ma bezpośredni związek z redukcją występowania nowotworów płuc i przewlekłych chorób oczu, takich jak katarakta i starcze wady wzroku (Ismail i in., 2004). Jarmuż jest obecnie jednym z częściej wymienianych warzyw spośród surowców bogatych w związki polifenolowe o dużej aktywności przeciwutleniającej oraz związki karotenoidowe, spożycie których często

wiązane jest z obniżeniem ryzyka zachorowań na wiele chorób (Lucarini i in., 1999; Ismail i in., 2004; Ayaz i in., 2006).

Jarmuż (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.), nazywany czasem kapustą liściastą, to jedna z najstarszych form użytkowych roślin kapustnych. Morfologicznie jest najbardziej zbliżony do kapusty dzikiej. Uprawiano go w starożytności jako roślinę jadalną i ozdobną. W Polsce znany był w uprawie od końca XIV wieku. Jarmuż, ze względu na wysoką wartość odżywczą, cieszy się ogromną popularnością w Skandynawii, Portugalii, a także w Turcji i Malezji (Ayaz i in., 2006). W ostatnich latach zainteresowanie jarmużem wzrasta również w Polsce. Liście jarmużu spożywa się najczęściej świeże w postaci surówek, można też przyrządzać go w sposób podobny do szpinaku. Warzywo to może stanowić również cenny dodatek do zup. Smak liści jarmużu jest lepszy po przemrożeniu, ponieważ wzrasta w nich zawartość cukrów i białka, a zanika charakterystyczny smak goryczki (Siwulski, 1993).

Połączenie zastosowania minimalnego przetwarzania i pakowania w atmosferze modyfikowanej jarmużu wydaje się najprostszą i najkorzystniejszą formą uzyskania produktu zachowującego wszelkie walory odżywcze i prozdrowotne, a jednocześnie zachęcającego konsumentów do jego nabycia. Atrakcyjność minimalnie przetworzonych produktów polega na połączeniu świeżości z wygodą użycia. Aby otrzymać produkt o cechach sensorycznych możliwie mało zmienionych w stosunku do surowca, konieczne jest ograniczenie stosowania obróbki termicznej. Operacje służące przedłużeniu trwałości żywności minimalnie przetworzonej powinny zapewnić jej bezpieczeństwo, przy zachowaniu wartości odżywczej i atrakcyjności sensorycznej (Czapski, 1996; Lamikanra, 2002; Ozdemir i in., 2005).

Minimalnie przetworzone produkty są dostępne od wielu lat. Jednakże ogromna ekspansja ich różnorodności i ilości nastąpiła w ostatniej dekadzie. Początkowo świeżo przygotowane, minimalnie przetworzone produkty były wykorzystywane w bardzo wąskim zakresie, głównie do przygotowywania posiłków w zakładach zbiorowego żywienia (Czapski, 1996; Ozdemir i in., 2005). Obecnie jednak zapotrzebowanie na artykuły spożywcze tego typu znacznie wzrosło. Minimalnie przetworzone produkty eliminują trudności związane z wstępnym przetwarzaniem surowców i zatrudnieniem w tym celu dodatkowej siły roboczej oraz z systemem zabezpieczenia i usuwania odpadów. Możliwa jest ponadto sprawna ich dystrybucja i skrócenie czasu dostarczania. Korzyści związane z wygodą, oszczędnością czasu i redukcją odpadów spowodowały wzrost zainteresowania tego typu żywnością przez odbiorców detalicznych (Watada i in., 1996; Allende i in., 2006; Rojas-Graü i in., 2009).

Produkcja żywności o małym stopniu przetworzenia stała się możliwa dzięki rozwojowi nowych technik pakowania produktów spożywczych. Korzystne ze względu na bezpieczeństwo i wymagania konsumentów są metody pakowania w atmosferze modyfikowanej (MAP). Pakowanie produktów żywnościowych tym sposobem

polega na zastosowaniu odpowiedniego składu gazowego wewnątrz opakowania, odmiennego od atmosfery naturalnej. Celem pakowania w atmosferze modyfikowanej jest wytworzenie wewnątrz opakowania odpowiednio zrównoważonego składu gazowego, który pozwoli na możliwie największe obniżenie aktywności fizjologicznej produktu. Ponadto poziom zawartości tlenu i ditlenku węgla w opakowaniu nie może negatywnie wpływać na produkt (Pretel i in., 2000; Sandhya, 2010). Na skuteczność pakowania w modyfikowanej atmosferze wpływa wiele czynników: świeżość i stopień przetworzenia produktu, jego właściwości, w tym charakter metabolizmu i jakość mikrobiologiczna, odpowiedni skład mieszaniny gazów, barierowość materiału opakowaniowego i jego zależność od temperatury oraz intensywności oddychania produktu (Czapski, 1996; Hertog i in., 1998; Fonseca i in., 2002; Jacxsens i in., 2002).

Obecnie prowadzi się wiele badań dotyczących doboru warunków pakowania w atmosferze modyfikowanej dla różnych warzyw i owoców o małym stopniu przetworzenia. Najczęściej proponowana jest atmosfera o obniżonym poziomie tlenu oraz podwyższonym poziomie ditlenku węgla w stosunku do powietrza (Lee i in., 1996; Agar i in., 1999; Soliva-Fortuny i in., 2001). Jedną z nowszych koncepcji jest użycie atmosfery o wysokim stężeniu tlenu (Zheng i in., 2008). Taki sposób pakowania może być szczególnie efektywny dla minimalnie przetworzonych (fresh-cut) owoców i warzyw ze względu na ich podatność na brązowienie enzymatyczne i zepsucie mikrobiologiczne. Zastosowanie wysokotlenowej atmosfery modyfikowanej ( $\geq 70\%$   $O_2$ ) może zminimalizować bądź wykluczyć problem związany z ryzykiem wystąpienia warunków beztlenowych. Wysoki poziom tlenu jest szczególnie efektywny w zapobieganiu oddychania beztlenowego, hamowania enzymatycznych zmian barwy i inhibicji wzrostu mikroorganizmów (Day, 2000; Jacxsens, 2001; Artés i Allende, 2005; Limbo i Pergiovani, 2006; Angós i in., 2008).

W przypadku jarmużu o małym stopniu przetworzenia, istotną rolę odgrywają także charakterystyczne dla warzyw kapustnych siarkowe związki lotne, obecność których nastręcza trudności w doborze składu atmosfery i materiału opakowaniowego dla uzyskania najlepszych cech produktu. Nadmierne nagromadzenie związków siarkowych w opakowaniu z produktem, przy niedostatecznej przepuszczalności materiału opakowaniowego, powoduje powstanie nieprzyjemnego zapachu i obniżenie jakości sensorycznej produktu. Ponadto rodzaj materiału opakowaniowego, poprzez wpływ na generowanie określonego składu gazowego wewnątrz opakowania z produktem, może mieć istotne znaczenie dla zachowania zawartych w surowcu związków biologicznie aktywnych.

Pomimo dużej ilości dostępnych materiałów opakowaniowych, większość opakowań wykorzystywanych w technologii modyfikowanej atmosfery składa się z kilku podstawowych polimerów: polichlorku winylu (PVC), polipropylenu (PP),

polietylenu (PE), politereftalanu glikolu etylenowego (PET), polichlorku winylidenu (PVDC) i alkoholu winylowo-etylenowego (EVOH) (Barry-Ryan i in., 2000; Giménez i in., 2003; Jacobsson i in., 2004). Laminaty opakowaniowe powinny charakteryzować się odpowiednią barierowością dla tlenu, ditlenku węgla i pary wodnej, przezroczystością i połyskiem, odpornością na przedziurawienia przez łodygi oraz ostre krawędzie, a także możliwością szczelnego zamknięcia umożliwiającego utrzymanie modyfikowanej atmosfery. W przypadku owoców i warzyw, świeżych bądź o małym stopniu przetworzenia, ze względu na zachodzące procesy życiowe, konieczne staje się zastosowanie folii opakowaniowej umożliwiającej wymianę gazową z otoczeniem. Niepożądane jest zastosowanie do tego celu materiałów o dużej barierowości z uwagi na ryzyko rozwoju bakterii beztlenowych i pleśni. Podstawowymi materiałami stosowanymi do pakowania owoców i warzyw są polietylen i polichlorek winylu, charakteryzujące się niską gęstością. Stosuje się również polistyren, a do produktów o niskiej intensywności oddychania – poliester (Czerniawski i Michniewicz, 1998; Artés i in., 2009).

Jakość mikrobiologiczna żywności minimalnie przetworzonej zależy od jej składu chemicznego, aktywności wody i składu otaczającej atmosfery. Gdy tkanka jest żywa, procesy oddechowe zmieniają poziom wszystkich tych czynników, a ich kinetyka warunkuje szybkość rozwoju drobnoustrojów, a tym samym trwałości produktu (Alzamora i in., 2000). Mikroorganizmy rozwijające się w minimalnie przetworzonych produktach to: mikroflora mezofilna, bakterie kwasu mlekowego, *Escherichia coli*, drożdże, pleśnie, mikroflora pektynolityczna (Jacxsens i in., 2002; Schuenzel i Harrison, 2002). Największą populację, po bakteriach kwasu mlekowego, stanowi mikrobiota mezofilna, jednakże liczba i rodzaj mikroorganizmów jest uzależniona od rodzaju produktu, warunków sanitarnych w czasie przetwarzania i warunków uprawy (Watada, 1996). Główne źródło skażenia surowców roślinnych to gleba. Wiele drobnoustrojów atakuje rośliny już na polu. Możliwe jest również zwiększenie skażenia w czasie transportu i przetwarzania, szczególnie kiedy surowiec ulega uszkodzeniu mechanicznemu (Schuenzel i Harrison, 2002).

Przedłużanie trwałości żywności minimalnie przetworzonej musi odbywać się poprzez zastosowanie metod oddziałujących na różne parametry warunkujące rozwój mikroorganizmów. Tego rodzaju technologia utrwalania kombinowanego, nazywana najczęściej „technologią płótków”, polega na sumarycznym działaniu kilku czynników, np. pakowania w atmosferze modyfikowanej i przechowywania w warunkach chłodniczych, z których każdy oddzielnie nie jest w pełni skuteczny. Połączenie modyfikowanej atmosfery z niską temperaturą przechowywania może dawać efekt inhi bicji rozwoju mikroorganizmów w długim okresie, przy zachowaniu wysokiej jakości sensorycznej (Leistner i Gorris, 1995).

## 2. CEL I ZAKRES BADAŃ

W związku ze zwiększającym się skażeniem środowiska i obecnością wielu grup ksenobiotyków powodujących wzrost zachorowalności na choroby cywilizacyjne, w tym nowotwory, podnosi się znaczenie naturalnych związków przeciwdziałających tym negatywnym skutkom. Jednocześnie rosnąca świadomość społeczna o istotnej roli pożywienia w utrzymaniu i poprawie zdrowia oraz komfortu życia, powoduje zainteresowanie konsumentów jakością spożywanych posiłków. Rola owoców i warzyw jako składnika diety w tym względzie jest bezsprzeczna.

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie produkcją warzyw i owoców o małym stopniu przetworzenia. Technologie minimalnego przetwarzania są nowoczesnymi technikami, które pozwalają na uzyskanie żywności o trwałości wystarczającej do umożliwienia jej dystrybucji, a jednocześnie spełniającej potrzeby konsumenta w zakresie wygody i wysokiej jakości. Obecnie rynek produktów owocowo-warzywnych, w tym szczególnie o minimalnym stopniu przetworzenia, jest jednym z dynamicznie rozwijających się w przemyśle spożywczym. Postęp ten dotyczy zarówno tworzenia nowych produktów, jak i modyfikacji technologii w kierunku pozyskania produktów o wysokiej jakości i zawartości związków biologicznie aktywnych. Aby skutecznie przeobrazić technologię, potrzebna jest wiedza na temat wpływu stosowanych zabiegów oraz warunków pakowania i przechowywania na wszystkie aspekty jakości produktu: jakość sensoryczną i mikrobiologiczną oraz zmiany zawartości związków biologicznie aktywnych. Naruszenie struktury tkankowej surowców roślinnych podczas minimalnego przetwarzania oraz stosowanych zabiegów obróbki może powodować zarówno straty związków biologicznie aktywnych, jak i ich syntezę. W Polsce prowadzi się jedynie nieliczne badania dotyczące produktów minimalnie przetworzonych, szczególnie w aspekcie zawartości składników prozdrowotnych (biologicznie aktywnych). W literaturze jest niewiele danych na temat wpływu zabiegów stosowanych w technologii minimalnego przetwarzania, w tym pakowania w atmosferze o wysokiej zawartości tlenu, na zawartość związków biologicznie aktywnych w produkcji.



Celem pracy było zbadanie wpływu zabiegów procesu technologicznego oraz warunków pakowania i przechowywania w atmosferze modyfikowanej, ze szczególnym uwzględnieniem atmosfery wysokotlenowej, na jakość sensoryczną, mikrobiologiczną oraz zmiany zawartości związków biologicznie aktywnych w jarmużu o małym stopniu przetworzenia.

Realizację celu przeprowadzono na podstawie następujących hipotez badawczych:

- dobór zabiegów minimalnego przetwarzania jarmużu poprzez traktowanie mieszaniną kwasów organicznych oraz pakowanie w atmosferze modyfikowanej przy właściwym doborze rodzaju materiału opakowaniowego pozwoli na uzyskanie produktu wysokiej jakości, który może być przechowywany przez 12 dni w warunkach chłodniczych;
- zastosowanie obróbki surowca roztworem kwasów organicznych w połączeniu z zapakowaniem w atmosferze modyfikowanej o wysokiej zawartości tlenu umożliwi uzyskanie porównywalnej lub lepszej jakości mikrobiologicznej produktu w czasie przechowywania, w porównaniu do prób poddanych obróbce roztworem podchlorynu sodowego lub wodą;
- istnieje możliwość wskazania warunków minimalnego przetwarzania, w tym składu atmosfery modyfikowanej i rodzaju materiału opakowaniowego, umożliwiających ograniczenie strat związków biologicznie aktywnych: związków fenolowych, glukozyolanów, karotenoidów, witaminy C oraz zachowanie wysokiej aktywności przeciwutleniającej warzyw;
- zastosowane warunki procesu minimalnego przetwarzania oraz pakowania w atmosferze modyfikowanej z zastosowaniem właściwych materiałów opakowaniowych, w tym poddanych mikroperforacji, determinują zmiany profilu siarkowych związków lotnych jarmużu o małym stopniu przetworzenia.

Weryfikację przedstawionych hipotez przeprowadzono za pomocą aktualnych metod badawczych i analitycznych umożliwiających m.in.: pakowanie z wykorzystaniem różnych opakowań i składów atmosfery, śledzenie zmian stężenia gazów wchodzących w skład atmosfery wewnątrz opakowania z minimalnie przetworzonym produktem przechowywanym w warunkach chłodniczych, ocenę stopnia skażenia mikrobiologicznego surowca, a także analizę związków biologicznie aktywnych. Zebrane wyniki poddano wnikliwym badaniom statystycznym potwierdzającym lub wykluczającym istotny wpływ badanych czynników na wyróżniki jakości oraz wskazującej korelacje pomiędzy parametrami.

Uzyskane wyniki badań skonfrontowano z funkcjonującą w dziedzinie wiedzą i porównano je z rezultatami prac opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

## Zakres badań

Założenia badawcze realizowano w trzech etapach:

1. **Etap I.** Określenie wpływu składu atmosfery modyfikowanej, rodzaju materiału opakowaniowego oraz jego mikroperforacji na jakość sensoryczną i cechy fizykochemiczne jarmużu o małym stopniu przetworzenia w czasie przechowywania przez 12 dni w temperaturze chłodniczej (4°C).
2. **Etap II.** Określenie wpływu zabiegów obróbki wstępnej, składu atmosfery modyfikowanej oraz rodzaju materiału opakowaniowego na jakość mikrobiologiczną jarmużu o małym stopniu przetworzenia.
3. **Etap III.** Określenie wpływu minimalnego przetwarzania i pakowania w atmosferze modyfikowanej na zmiany zawartości związków biologicznie aktywnych, siarkowych związków lotnych oraz na aktywność przeciwutleniającą jarmużu.

## 3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

### 3.1. Charakterystyka materiału badawczego

Do badań wykorzystano jarmuż zielony odmiany Reflex F1 oraz jarmuż czerwony odmiany Redbor F1, który zbierano i analizowano w latach 2009–2015 (ryc. 1). Surowiec pochodził z Ekologicznego Gospodarstwa Ogrodniczego w Pamiątkowie k/Poznań. Zbiór jarmużu odbywał się zwykle od połowy września do połowy grudnia oraz, zależnie od warunków pogodowych, od około 10 stycznia do początku marca. W badaniach wykorzystywano jedynie świeżo zerwane całe rośliny, w związku z tym ze względu na warunki pogodowe drugi termin zbioru nie był możliwy w każdym sezonie. Silny mróz, poniżej  $-5^{\circ}\text{C}$ , uniemożliwiał zbiór. Zrywanie roślin jest możliwe, gdy temperatura oscyluje około  $0^{\circ}\text{C}$ , zrywanie w czasie mrozu



**Ryc. 1.** Jarmuż zielony odmiany Reflex oraz czerwony odmiany Redbor

**Źródło:** <http://www.bejo.pl>

**Fig. 1.** Green kale – Reflex cultivar and red kale – Redbor cultivar

**Source:** <http://www.bejo.pl>

poniżej temperatury  $-2^{\circ}\text{C}$  powoduje występowanie oznak przemrożenia, tj. zaniku turgoru komórek i zwiędnięcia liści, utraty jędrności, wycieku soku komórkowego itp. Jarmuż jest rośliną zimąjącą na polu, dobrze znoszącą niskie temperatury, dlatego w niektórych sezonach zbiór był możliwy po ustaniu mrozu, przy braku oznak przemarznięcia surowca.

Jarmuż odmiany Reflex F1 to roślina średniego wzrostu z gęsto osadzonymi liśćmi w ciemnozielonym kolorze. Odmianę tę cechuje duża odporność na żółknięcie. Kwalifikuje się do późnych jesiennych zbiorów, jest odpowiednia do wielokrotnego zbioru ręcznego. Nie istnieją żadne przeciwwskazania do jej zamrażania. Jarmuż odmiany Redbor to roślina o wysokości 40–60 cm, charakteryzująca się fioletowo-zielonym wybarwieniem liści, nadającymi się do bezpośredniej konsumpcji, a także do mrożenia. Uprawa tej odmiany możliwa jest przez cały sezon wegetacyjny, z przeznaczeniem na wielokrotny zbiór liści.

### 3.2. Proces technologiczny

Z plantacji zrywano całe rośliny jarmużu, po czym oddzielano liście od łodygi głównej. Surowiec po przebraniu i usunięciu ogonków kierowano do obróbki wstępnej. Liście myto pod bieżącą zimną wodą, odsączano i dzielono (rozrywano) na mniejsze fragmenty. Tak przygotowany jarmuż zanurzano na 5 min w roztworze stanowiącym mieszaninę kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l) o temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$ , mieszając co 0,5 min. Stosunek roztworu do surowca wynosił 10:1 (w/w). W przypadku analiz mikrobiologicznych równolegle wykonano próby przetrzymywane w wodzie o temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$  przez 5 min lub zanurzone w roztworze wody chlorowanej (100 ppm  $\text{Cl}^-$ ) na czas 5 min, w obu przypadkach mieszano je co 0,5 min, a stosunek roztworu do surowca wynosił 10:1. Do otrzymania wody chlorowanej wykorzystano podchloryn sodowy (14%), (dodano 7,14 ml  $\text{NaClO}$  do 10 l wody), pH roztworu korygowano do wartości 6,9 za pomocą 1 M roztworu  $\text{HCl}$ . W dalszej części pracy zastosowaną obróbkę nazywano płukaniem w roztworze kwasów, w wodzie chlorowanej lub w zimnej wodzie. Kolejno próby poddane płukaniu odsączono i osuszano najpierw za pomocą wirówki mechanicznej do warzyw (Zepter, Viersen, Niemcy), a następnie na bibule. Tak przygotowany jarmuż umieszczano w opakowaniu (50 g) i przechowywano w temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$  przez 12 dni. W przypadku analizy surowca, próby do badań pobierano po procesie mycia w bieżącej wodzie, natomiast przeprowadzając badania mikrobiologiczne sprawdzano również surowiec niepoddany myciu. Analizę produktu zapakowanego w różnych warunkach wykonywano

po 1, 6 i 12 dniach przechowywania; po 1, 3, 6, 9 i 12 dniach przechowywania i/lub każdego dnia w czasie 12 dni przechowywania, zależnie od doświadczenia.

### **Pakowanie**

Założono zastosowanie atmosfery modyfikowanej o różnym stężeniu tlenu i ditlenku węgla:

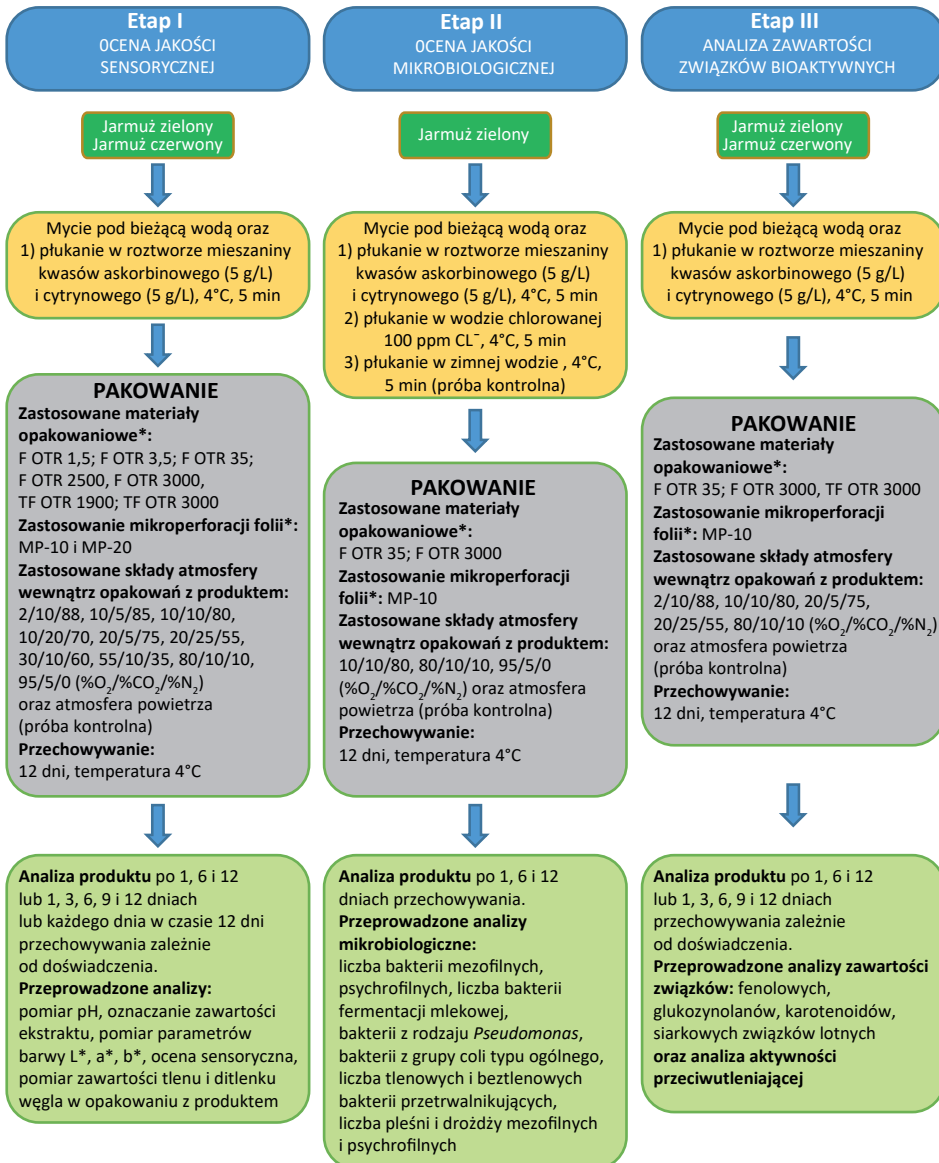
- zastosowane stężenia tlenu 2%, 10%, 20%, 30%, 55%, 80%, 95%
- zastosowane stężenia ditlenku węgla 2%, 10%, 20, 25%.

Powyższe procentowe udziały tlenu i ditlenku węgla zestawiano w różnych kombinacjach, azot stanowił dopełnienie do 100%, jako próbą kontrolną posłużono się pakowaniem w powietrzu. Uproszczony schemat badań przedstawiono na rycinie 2. Szczegółowy opis zastosowanych składów atmosfery omówiono w każdym etapie badań.

W badaniach użyto materiałów opakowaniowych o różnej przepuszczalności tlenu i ditlenku węgla: 1,5; 3,5; 35; 2500; 3000  $\text{cm}^3/\text{m}^2/24 \text{ h} \cdot \text{atm}$  (tab. 1) (przepuszczalność jako wartość liczbową podaną dla tlenu w  $\text{cm}^3$  tlenu/ $\text{m}^2$  opakowania/24 h przy ciśnieniu atmosferycznym RH 85%).

Zastosowano dwa rodzaje opakowań: worki foliowe oraz tacki polipropylenowe (PP) zamykane od góry folią.

Worki foliowe z jarmuzem umieszczonym wewnątrz na tacce styropianowej zamykano za pomocą zamykarki próżniowej A300 (Multivac, Jastków, Polska) z możliwością pakowania w atmosferze modyfikowanej. Tacki PP zamykano folią górną za pomocą maszyny pakującej T200 (Multivac, Wolfertschewnden, Niemcy) umożliwiającej pakowanie w atmosferze o wysokiej zawartości tlenu, wyposażonej w mikser do gazów (WITT KM 100/200-3MEM, Witt-Gasetechnik, Witten, Niemcy), i narzędzie do mikroperforacji (Multivac, Jastków, Polska). Narzędzie do mikroperforacji składało się z metalowych pierścieni wyposażonych w igły nałożone na walec z możliwością obrotu. W czasie przesuwu folii igły nakłuwały materiał opakowaniowy przed zgrzaniem z tacką. Mikroperforację wykonano, używając jednego pierścienia:  $-1 \times 10 \pm 1$  (MP-10) – lub dwóch pierścieni  $-2 \times 10 \pm 2$  (MP-20) – otworów o wielkości 70  $\mu\text{m}$  w folii górnej zamykającej tackę z produktem (10 mikrootworów w materiale opakowaniowym zamykającym tackę – 333 otwory/ $\text{m}^2$  folii) o łącznej średnicy 70  $\mu\text{m}/\text{m}^2$  folii. Atmosfera modyfikowana była wprowadzana do opakowań przed termicznym zamknięciem poprzez połączenie tacki i folii górnej. Do pakowania wykorzystano gazy spożywcze: azot, tlen i ditlenek węgla.



Ryc. 2. Uproszczony schemat poszczególnych etapów badań

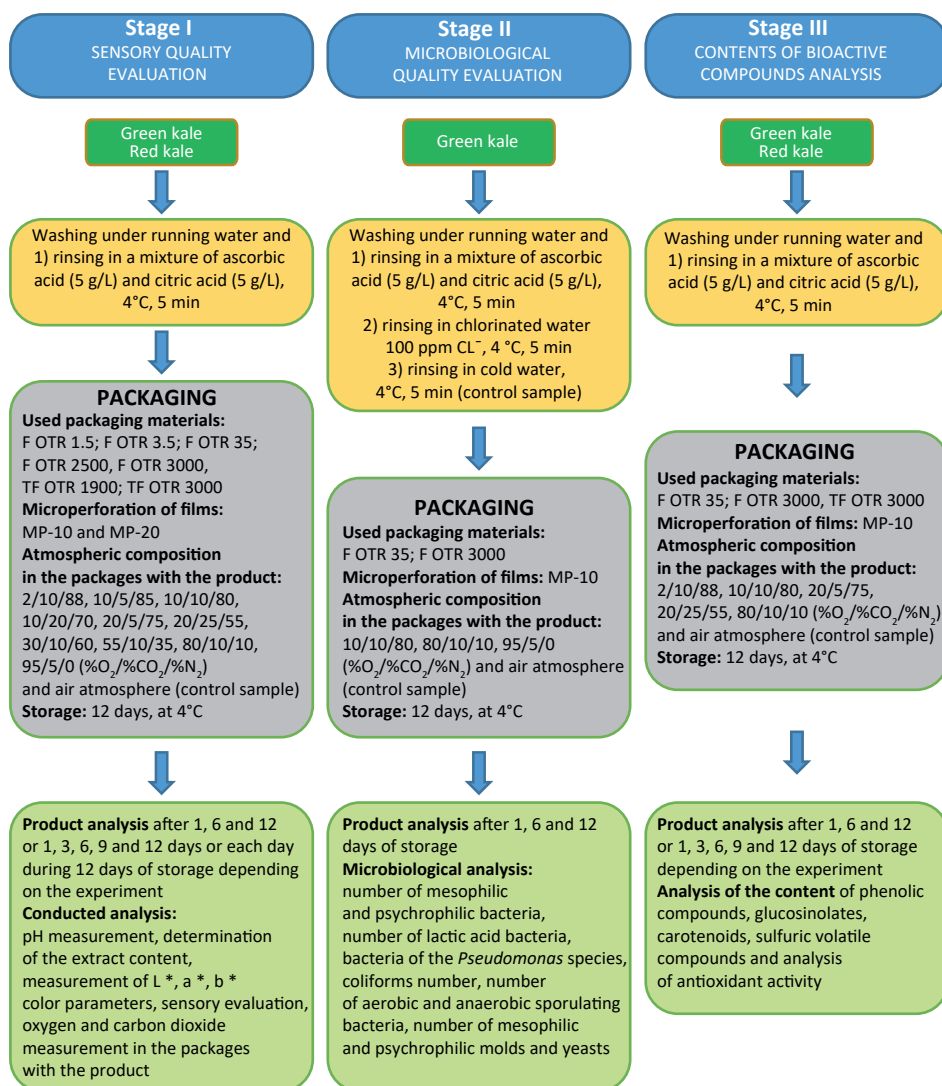


Fig. 2. Research scheme

**Tabela 1.** Charakterystyka materiałów opakowaniowych zastosowanych do pakowania i przechowywania jarmużu o małym stopniu przetworzenia w atmosferze modyfikowanej  
**Table 1.** The characteristics of materials used for the packaging and storage of minimally processed kale in a modified atmosphere

Folia opakowaniowa użyta do pakowania Packaging film	Forma opakowania Packaging form	Oznaczenie formy pakowania w tekście Marking of packaging form in text
1	2	3
<p>VAC HB 180 my (PAEVOH/PE) przepuszczalność tlenu <b>1,5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> opakowania/24 h·atm</b> (przy ciśnieniu atmosferycznym) (Bemis, Soignies, Belgia), mikroperforacja MP-10</p> <p>VAC HB 180 my (PAEVOH/PE) oxygen permeability <b>1.5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> of package/24 h·atm</b> (at atmospheric pressure) (Bemis, Soignies, Belgium), microperforation MP-10</p>	<p><b>tacki PP</b> (polipropylenowe), 205 × 160 × 83 mm, barierowe – przepuszczalność tlenu 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> opakowania/24 h·atm (przy ciśnieniu atmosferycznym; PanPlast, Grosuplje, Słowenia), opakowanie zamknięte z zastosowaniem <b>folii opakowaniowej</b> w temperaturze 170°C</p> <p><b>PP trays</b> (polypropylene), 205 × 160 × 83 mm, barrier-oxygen permeability 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> of package/24 h·atm (at atmospheric pressure; PanPlast, Grosuplje, Slovenia), package sealed with <b>packaging film</b> at 170°C</p>	<p><b>F OTR 1,5</b> folia o przepuszczalności tlenu 1,5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm zamykająca tackę</p> <p><b>F OTR 1.5</b> film with oxygen permeability 1.5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm for closing tray</p>
<p>Flow HB 150 E (OPP/PEEVOH) przepuszczalność tlenu <b>3,5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Bemis, Soignies, Belgia)</p> <p>Flow HB 150 E (OPP/PEEVOH) oxygen permeability <b>3.5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Bemis, Soignies, Belgium)</p>	<p><b>tacki PP</b>, 205 × 160 × 83 mm, barierowe – przepuszczalność tlenu 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm (przy ciśnieniu atmosferycznym; PanPlast, Grosuplje, Słowenia), opakowanie zamknięte z zastosowaniem <b>folii opakowaniowej</b> w temperaturze 170°C</p> <p><b>PP trays</b> (polypropylene), 205 × 160 × 83 mm, barrier-oxygen permeability 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> of package/24 h·atm (at atmospheric pressure; PanPlast, Grosuplje, Slovenia), package sealed with <b>packaging film</b> at 170°C</p>	<p><b>F OTR 3,5</b> folia o przepuszczalności tlenu 3,5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm zamykająca tackę</p> <p><b>F OTR 3.5</b> film with oxygen permeability 3.5 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm for closing tray</p>
<p>Opalen HB 55 my AF (OPA/PE) przepuszczalność tlenu <b>35 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Bemis, Soignies, Belgia), mikroperforacja MP-10 i MP-20</p> <p>Opalen HB 55 my AF (OPA/PE) oxygen permeability <b>35 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Bemis, Soignies, Belgium), microperforation MP-10 and MP-20</p>	<p><b>tacki PP</b>, 205 × 160 × 83 mm, barierowe – przepuszczalność tlenu 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm (przy ciśnieniu atmosferycznym; PanPlast, Grosuplje, Słowenia), opakowanie zamknięte z zastosowaniem <b>folii opakowaniowej</b> w temperaturze 155°C</p> <p><b>PP trays</b> (polypropylene), 205 × 160 × 83 mm, barrier-oxygen permeability 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> of package/24 h·atm (at atmospheric pressure; PanPlast, Grosuplje, Slovenia), package sealed with <b>packaging film</b> at 155°C</p>	<p><b>F OTR 35</b> folia o przepuszczalności tlenu 35 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm zamykająca tackę</p> <p><b>F OTR 35</b> film with oxygen permeability 35 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm used for closing the tray</p>



Tabela 1 cd. – Table 1 cont.

1	2	3
<p>INTACT SP100 przepuszczalność tlenu <b>1900 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Multivac, Jastków, Polska) INTACT SP100 oxygen permeability <b>1900 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Multivac, Jastków, Poland)</p> <p>Flow 70 PEEL PE przepuszczalność tlenu <b>2500 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Bemis, Soignies, Belgia), mikroperforacja MP-10 i MP-20 Flow 70 PEEL PE oxygen permeability <b>2500 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Bemis, Soignies, Belgium), mikroperforacja MP-10 and MP-20</p>	<p><b>tacki styropianowe płaskie</b>, 18 × 13 × 2 mm (Huhtamaki, Czeladź, Polska), produkt na tacce zamknięty w <b>worki foliowe flat polystyrene trays</b>, 18 × 13 × 2 mm (Huhtamaki, Czeladź, Poland), product on a tray closed in <b>plastic bags</b></p> <p><b>tacki PP</b>, 205 × 160 × 83 mm, barierowe – przepuszczalność tlenu 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm (przy ciśnieniu atmosferycznym; PanPlast, Grosuplje, Słowenia), opakowanie zamknięte z zastosowaniem <b>folii opakowaniowej</b> w temperaturze 155°C <b>PP trays</b> (polypropylene), 205 × 160 × 83 mm, barrier-oxygen permeability 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> of package/24 h·atm (at atmospheric pressure; PanPlast, Grosuplje, Slovenia), package sealed with <b>packaging film</b> at 155°C</p>	<p><b>WF OTR 1900</b> worki foliowe o przepuszczalności tlenu 1900 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm/ <b>WF OTR 1900</b> plastic bags with oxygen permeability 1900 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</p> <p><b>F OTR 2500</b> folia o przepuszczalności tlenu 2500 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm zamykająca tackę <b>F OTR 2500</b> film with oxygen permeability 2500 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm for closing tray</p>
<p>My Films Standard przepuszczalność tlenu <b>3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Sealed Air Cryovac, Ożarów Mazowiecki, Polska) My Films Standard oxygen permeability <b>3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Sealed Air Cryovac, Ożarów Mazowiecki, Poland)</p>	<p><b>tacki styropianowe płaskie</b> 18 × 13 × 2 mm (Huhtamaki, Czeladź, Polska), produkt na tacce zamknięty w <b>worki foliowe flat polystyrene trays</b>, 18 × 13 × 2 mm (Huhtamaki, Czeladź, Poland), product on a tray closed in <b>plastic bags</b></p>	<p><b>WF OTR 3000</b> worki foliowe o przepuszczalności tlenu 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm <b>WF OTR 3000</b> plastic bags with oxygen permeability 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</p>
<p>My Films Standard przepuszczalność tlenu <b>3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Sealed Air Cryovac, Ożarów Mazowiecki, Polska), mikroperforacja MP-10 My Films Standard oxygen permeability <b>3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm</b> (Sealed Air Cryovac, Ożarów Mazowiecki, Poland), mikroperforacja MP-10</p>	<p><b>tacki PP</b>, 205 × 160 × 83 mm, barierowe – przepuszczalność tlenu 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm (przy ciśnieniu atmosferycznym; PanPlast, Grosuplje, Słowenia), opakowanie zamknięte z zastosowaniem <b>folii opakowaniowej</b> w temperaturze 155°C <b>PP trays</b> (polypropylene), 205 × 160 × 83 mm, barrier-oxygen permeability 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> of package/24 h·atm (at atmospheric pressure; PanPlast, Grosuplje, Slovenia), package sealed with <b>packaging film</b> at 155°C</p>	<p><b>F OTR 3000</b> folia o przepuszczalności tlenu 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm zamykająca tackę <b>F OTR 3000</b> film with oxygen permeability 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm for closing tray</p>

### 3.3. Metody badań

#### 3.3.1. Etap I: określenie wpływu składu atmosfery modyfikowanej, rodzaju materiału opakowaniowego oraz jego mikroperforacji na jakość sensoryczną i cechy fizykochemiczne jarmużu o małym stopniu przetworzenia w czasie przechowywania przez 12 dni w temperaturze chłodniczej (4°C)

W etapie pierwszym zbadano wpływ różnych stężeń atmosfery modyfikowanej na jakość sensoryczną oraz cechy fizykochemiczne jarmużu o małym stopniu przetworzenia. Jako sposób preparowania jarmużu zastosowano mycie pod bieżącą wodą oraz płukanie w roztworze kwasów askorbinowego i cytrynowego. Ten sposób obróbki przyjęto jako podstawowy dla całego zakresu badań. Biorąc pod uwagę badania wstępne, obróbka w roztworze kwasów pozwalała na uzyskanie produktu o wysokiej jakości sensorycznej, istotnie lepszej niż mycie i płukanie w wodzie, ponadto dawała potencjalną możliwość eliminacji obróbki z zastosowaniem związków chloru. Ze względu na możliwość powstawania szkodliwych związków po obróbce wodą chlorowaną ten sposób obróbki zastosowano jedynie w badaniach nad jakością mikrobiologiczną, w celu porównania uzyskanych efektów z roztworem kwasów.

W badaniach w tym etapie przeprowadzono szereg doświadczeń z wykorzystaniem różnych materiałów opakowaniowych, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 1. Wybrane materiały opakowaniowe poddano mikroperforacji.

Produkt po zapakowaniu przechowywano przez 12 dni w temperaturze 4°C. W czasie przechowywania dokonywano oceny sensorycznej produktu, pomiaru zawartości gazów w opakowaniu oraz oznaczenia kwasowości czynnej, ogólnej i zawartości ekstraktu. Dla wybranych prób wykonano także instrumentalny pomiar parametrów barwy.

#### **Oznaczenie kwasowości czynnej (pH) (PN-90/A-75101/06 eqv. ISO C3B4230-83) oraz zawartości ekstraktu wg PN-90/A75101/02 eqv ISO 2172 – 1987 (E) i 2173 – 1978 (E)**

Oznaczenie kwasowości czynnej (pH) wykonano przy użyciu pH-metru 710A Orion (Thermo Fisher Scientific, Warszawa, Polska) i elektrody z zespolonym ogniwem pomiarowym typu ERH – 11s przeznaczonej do pomiarów pH w produktach spożywczych o wysokiej gęstości. Przed pomiarem próby homogenizowano (homogenizator IKA T25, IKA POL, Warszawa, Polska). Pomiar zawartości ekstraktu refraktometrycznego w próbach jarmużu po homogenizacji sporządzono za pomocą refraktometru ATAGO (USA, Inc.) Digital Hand-held PAL-1. Przeprowadzono po trzy

powtórzenia pomiaru wartości pH oraz zawartości ekstraktu w produktach z trzech równoległych opakowań.

#### **Oznaczanie kwasowości ogólnej (PN-90/A-75101/04)**

Oznaczanie kwasowości ogólnej sporządzono metodą potencjometryczną, miareczkując mianowanym roztworem NaOH (0,01 N) do pH 8,1. Wyniki podano w przeliczeniu na kwas cytrynowy w g/100 g surowca lub produktu. Pomiar wykonano w trzech powtórzeniach dla trzech oddzielnie zapakowanych produktów.

#### **Pomiar zawartości tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z produktem**

Oznaczenie sporządzono przy użyciu aparatu Oxybaby (Witt–Gasetechnik, Witten, Niemcy). Do opakowania przez gumową uszczelkę (Witt–Gasetechnik, Witten, Niemcy) wkluwano igłę sondy. Wykonano trzy powtórzenia pomiaru dla trzech oddzielnych opakowań z produktem.

#### **Pomiar parametrów barwy liści**

Pomiar parametrów barwy liści jarmużu został wykonany po 1, 6 i 12 dniach przechowywania produktu. Pomiar barwy przeprowadzono za pomocą spektrofotometru Konica Minolta typ CM-3600d w systemie CIE L\* a\* b\*. Pomiaru dokonano przy źródle światła D65, wielkości przesłony 25,4 mm, w systemie SCE, typ obserwatora 10°. Pomiaru dokonano na całych liściach przez przyłożenie bezpośrednio liści do okna pomiarowego spektrofotometru. Wyznaczono parametry: L\*, a\*, b\*. Za wzorzec przyjęto świeże liście jarmużu. Wykonano po 10 powtórzeń pomiaru w trzech równoległych opakowaniach z produktem dla każdej próby (łącznie 30 powtórzeń pomiaru dla próby).

#### **Ocena jakości sensorycznej jarmużu (Barylko-Pikielna i Matuszewska, 2009)**

Jakość sensoryczna została oceniona przez 15-osobowy przeszkolony zespół (pracownicy Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu). Przed rozpoczęciem eksperymentów sensorycznych członkowie panelu zostali zapoznani z produktem i metodami oceny poprzez demonstrację oraz ocenę opakowań z produktem na różnym poziomie jego zepsucia. Tę procedurę powtórzono kilka razy, do osiągnięcia poziomu regularności. Badanie sensoryczne wykonywano bezpośrednio po otwarciu opakowań z produktem na indywidualnych stanowiskach dla każdego oceniającego. Próby do badań kodowano. Oceniano następujące wyróżniki jakości sensorycznej: barwa, smak, zapach, tekstura. Badanie jakości sensorycznej przeprowadzono w pięciopunktowej skali, gdzie 5 oznaczało ocenę bardzo dobrą, 4 – dobrą, 3 – zadawalającą, 2 – dopuszczalną, 1 – niezadawalającą. Każdą próbkę oceniono trzy razy, a wyniki

podano jako średnią z tych ocen. Produkty były oceniane bezpośrednio po otwarciu opakowania po 1, 3, 6, 9 i 12 dniach przechowywania. Ocenie poddano także próby świeżego jarmużu.

### **3.3.2. Etap II: określenie wpływu zabiegów obróbki wstępnej, składu atmosfery modyfikowanej oraz rodzaju materiału opakowaniowego na jakość mikrobiologiczną jarmużu o małym stopniu przetworzenia**

Badanie jakości mikrobiologicznej jarmużu o małym stopniu przetworzenia pakowanego w atmosferze modyfikowanej przeprowadzono z uwzględnieniem warunków pakowania wybranych na podstawie doświadczeń wykonanych w etapie I. Wszystkie próby jarmużu pakowano na tackach z polipropylenu (PP) i zamykanych folią opakowaniową. Wybrano dwie folie opakowaniowe o różnej przepuszczalności F OTR 35 oraz F OTR 3000 (tab. 1). W przypadku folii F OTR 35, o niskiej przepuszczalności tlenu, zastosowano mikroperforację MP-10. Do pakowania prób wybrano atmosfery o następującym składzie: powietrze (próba kontrolna), odpowiednio udział tlenu/di-tlenku węgla/azotu (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>): 10/10/80, 80/10/10 oraz 95/5/0.

Próby do badań mikrobiologicznych przygotowano, poddając jarmuż trzem rodzajom obróbki wstępnej po wcześniejszym jego umyciu pod bieżącą zimną wodą (zgodnie z opisem w procesie technologicznym i na ryc. 2): płukaniu w roztworze kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l), płukaniu w wodzie chlorowanej (100 ppm Cl<sup>-</sup>) oraz płukaniu w zimnej wodzie (próba kontrolna). Płukanie w roztworze chloru wykonano w celu porównania jakości mikrobiologicznej prób z jakością prób poddanych obróbce w roztworze mieszaniny kwasów, założonej jako obróbce kluczowej.

Jakość mikrobiologiczną surowca oceniano na podstawie analizy prób niepoddanych myciu i żadnej obróbce oraz prób umytych pod bieżącą wodą. Dokonując oceny wpływu obróbki wstępnej na jakość mikrobiologiczną jarmużu, próby badano po 4 godzinach od dokonania obróbki wstępnej, natomiast w przypadku pozostałych doświadczeń analizę prowadzono po 1, 6 i 12 dniach przechowywania.

#### **Analiza mikrobiologiczna**

##### ***Kierunki posiewów***

Analiza mikrobiologiczna prób w czasie 12 dni przechowywania w temperaturze 4°C obejmowała następujące oznaczenia: liczba bakterii mezofilnych, psychrofilnych, liczba bakterii fermentacji mlekowej, bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, bakterii z grupy *coli* typu ogólnego, liczba tlenowych i beztlenowych bakterii przetrwalnikujących, a także liczba pleśni i drożdży mezofilnych i psychrofilnych.

### **Przygotowanie materiału**

Do czystych mikrobiologicznie worków pobierano po 50 g badanego materiału i dodawano do niego 50 ml jałowej soli fizjologicznej (8,5 g/l NaCl, POCH, Gliwice, Polska). Następnie worek z próbą umieszczano w urządzeniu stomacher DEVIMIX, (De Ville Biotechnology, Raszyn, Polska) i przez 2,5 min przeprowadzano proces rozdrabniania w temperaturze pokojowej. Z przygotowanego w taki sposób materiału badawczego wykonano rozcieńczenia dziesiętne w zakresie  $10^{-1}$ – $10^{-6}$  za pomocą jałowej soli fizjologicznej.

### **Oznaczanie poszczególnych grup mikroorganizmów**

Oznaczanie ogólnej liczby bakterii mezofilnych i psychrofilnych, pleśni i drożdży mezofilnych i psychrofilnych, liczby tlenowych bakterii przetrwalnikujących, liczby beztlenowych bakterii przetrwalnikujących, liczby bakterii fermentacji mlekowej, liczby bakterii z rodzaju *Pseudomonas* i *Aeromonas* oraz oznaczanie liczby bakterii z grupy *coli* typu ogólnego oznaczano, wykorzystując posiew ilościowy metodą płytkową Kocha. Do oznaczeń liczby bakterii mezofilnych i psychrofilnych oraz liczby tlenowych bakterii przetrwalnikujących, jako podłoże zastosowano agar wzbogacony (BTL, Łódź, Polska), liczby pleśni i drożdży mezofilnych i psychrofilnych – podłoże z antybiotykiem dla pleśni i drożdży (BTL, Łódź, Polska), liczby bakterii fermentacji mlekowej – podłoże agarowe MRS (BTL, Łódź, Polska), liczby bakterii z rodzaju *Pseudomonas* i *Aeromonas* – podłoże agarowe GSP (Merck Millipore, Darmstadt, Niemcy), natomiast do określania liczby bakterii *coli* typu ogólnego użyto podłoża Endo C Agar (Merck Millipore, Darmstadt, Niemcy). W przypadku oznaczeń liczby beztlenowych bakterii przetrwalnikujących zastosowano podłoże agarowe z siarczanem i cykloseryną (TSC) (BTL, Łódź, Polska) oraz podłoże TSN (Merck Millipore, Darmstadt, Niemcy), ponadto w pojemniku do hodowli mikroorganizmów zastosowano wkłady umożliwiające uzyskanie warunków beztlenowych Anaerocult® A (Merck Millipore, Darmstadt, Niemcy) lub Anaerogen (OXOID, Basingstoke, Wielka Brytania). Oznaczanie liczby bakterii z grupy *coli* typu fekalnego wykonano metodą filtracyjną z zastosowaniem mColiBlue24® Broth (Merck Millipore, Darmstadt, Niemcy) oraz agaru m-FC (Merck Millipore, Darmstadt, Niemcy).

Dla powyższych grup mikroorganizmów zastosowano następujące warunki inkubacji: bakterie mezofilne: 48–72 h w 30°C; bakterie psychrofilne: 72–120 h w 15°C; drożdże i pleśnie mezofilne: 72–96 h w 30°C; drożdże i pleśnie psychrofilne: 72–96 h w 15°C, bakterie kwasu mlekowego: 48–72 h w 30°C; bakterie z grupy *coli* typu ogólnego i fekalnego: 24–48 h w 30°C i bakterie z rodzaju *Pseudomonas* i *Aeromonas*: 48–72 h w 37°C.

### **3.3.3. Etap III: określenie wpływu minimalnego przetwarzania i pakowania w atmosferze modyfikowanej na zmiany zawartości związków biologicznie aktywnych, siarkowych związków lotnych oraz na aktywność przeciwutleniającą jarmużu**

W jarmużu analizowano następujące grupy związków biologicznie aktywnych: zawartość związków fenolowych ogółem i profil tych związków, zawartość i profil karotenoidów, zawartość witaminy C oraz zawartość i profil glukozynolanów. Ponadto w próbach jarmużu dokonano oznaczenia aktywności przeciwutleniającej oraz analizy siarkowych związków lotnych w opakowaniu z jarmużem w czasie przechowywania. We wszystkich badaniach zastosowano obróbkę wstępną surowca polegającą na myciu pod bieżącą wodą oraz płukaniu w roztworze kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l).

Badania zawartości związków bioaktywnych przeprowadzono w próbkach jarmużu pakowanego w atmosferze modyfikowanej z uwzględnieniem parametrów pakowania wybranych na podstawie doświadczeń wykonanych w etapie I.

#### **3.3.3.1. Oznaczanie zawartości związków fenolowych**

W przypadku oznaczeń zawartości związków fenolowych wszystkie próby jarmużu pakowano na tacki PP zamykanych folia opakowaniową. Zastosowano dwie folie F OTR 3000 oraz F OTR 35. W przypadku folii F OTR 35, o niskiej przepuszczalności tlenu, użyto mikroperforacji MP-10. Do pakowania prób wybrano atmosfery o następującym składzie powietrze (próba kontrolna), 10/10/80 oraz 80/10/10 (odpowiednio %O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>). Przeprowadzono dwa doświadczenia: w pierwszym porównano zawartość związków fenolowych jarmużu zielonego zapakowanego z zastosowaniem obu materiałów opakowaniowych zamykających tackę z produktem, w drugim analizowano zawartość związków fenolowych jarmużu zielonego i czerwonego zapakowanego z wykorzystaniem folii F OTR 3000 przy zastosowaniu obu wymienionych powyżej składów atmosfery (nisko i wysokotlenowej) oraz powietrza. Analizę zawartości związków fenolowych w próbkach jarmużu przeprowadzono po 1, 3, 6, 9 i 12 dniach przechowywania w temperaturze 4°C.

W celu przygotowania ekstraktów związków fenolowych pobraną naważkę próby homogenizowano przy użyciu homogenizatora IKA T-25 z 50 ml 70-procentowego metanolu w temperaturze pokojowej. Następnie homogenaty wytrząsano przez 15 minut na wytrząsarce mechanicznej (Water Bath Shaker typ 357, Lubawa, Poland), po czym wirowano przez 15 min w wirówce mechanicznej Centrifuge MPW-351R (Warszawa, Poland) przy 4200 obrotach/min. Procedurę powtórzono dwukrotnie, supernatanty połączono, odparowano na wyparce próżniowej z łaźnią wodną (Büchi

R-205) w temperaturze 40°C. Zagęszczoną próbę rozpuszczono i uzupełniono do objętości 25 ml wodą o czystości chromatograficznej uzyskując wodny ekstrakt związków fenolowych (Vallejo i in., 2002).

Ekstrakt wykorzystano do oznaczeń ogólnej zawartości związków fenolowych spektrofotometryczną metodą Folina-Ciocalteu'a, w oparciu o metodykę podaną przez Periego i Pompeiego (1972), wykorzystując do oznaczeń wodne ekstrakty związków fenolowych. Pomiaru absorbancji prób dokonano przy długości fali 760 nm. Dla każdej próby wykonano trzy ekstrakty, z każdego ekstraktu trzy powtórzenia oznaczeń ( $n = 9$ ). Ogólną zawartość związków fenolowych podano w mg/100 g surowca lub produktu w przeliczeniu na kwas galusowy.

Profil związków polifenolowych oznaczano metodą HPLC za pomocą systemu LC Agilent Technologies 1200 Rapid Resolution wyposażonego w detektor UV-Vis (DAD 1260) oraz kolumny SB-C18 (5  $\mu\text{m}$ , 4,6  $\times$  150 mm). Rozdział przeprowadzono w odwróconym układzie faz, stosując elucję gradientową. Jako fazę nośną zastosowano 100-procentowy acetonitryl (faza A) oraz 6-procentowy kwas octowy w 2 mmol roztworu octanu sodu (faza B) (Tsao i Yang 2003), stosując gradient: 0–15% A w czasie 15 min, 15–30% B: 10 min., 30–50% B: 5 min i 50–100% B: 5 min. Zastosowano przepływ 1 ml/min, całkowity czas rozdzielania wyniósł 40 min. Wodny ekstrakt związków fenolowych przed nastrzykiem przefiltrowano, stosując filtr strzykawkowy Millipore Millex-LCR o średnicy porów 0,45  $\mu\text{m}$ . Odczytu dokonano przy długości fali 320 nm (pochodne kwasu hydroksycynamonowego, podane w przeliczeniu na kwas chlorogenowy), 360 nm (flawonole, podane w przeliczeniu na kwercetynę lub kemferol), 520 nm (antocyjany, podane w przeliczeniu na cyjanidyno-3-glukozyd). Oznaczeń dokonano w trzech powtórzeniach dla trzech równoległych prób ( $n = 9$ ).

### 3.3.3.2. Oznaczanie zawartości glukozyzolanów

Próby jarmużu do oznaczeń zawartości glukozyzolanów zapakowano na tackach PP zamkniętych folią opakowaniową F OTR 3000 oraz F OTR 35 (tab. 1). W przypadku folii F OTR 35, o niskiej przepuszczalności tlenu, zastosowano mikroperforację MP-10. Do pakowania prób wykorzystano atmosferę o następującym składzie: powietrze (próba kontrolna), 10/10/80 oraz 80/10/10 (odpowiednio %O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>).

Przeprowadzono trzy doświadczenia, w pierwszym zastosowano pakowanie jarmużu zielonego w ww. atmosferach przy zastosowaniu folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10, w drugim pakowanie jarmużu zielonego wykorzystując ww. atmosfery i folię F OTR 3000. W trzecim doświadczeniu badano zawartość glukozyzolanów w jarmużu czerwonym, stosując następujące warunki pakowania: powietrze oraz 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), folia F OTR 3000; 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), folia

F OTR 35 z mikroperforacją MP-10. Analizę zawartości glukozyolanów przeprowadzano po 1, 3, 6, 9 i 12 dniach przechowywania w temperaturze 4°C.

Oznaczanie zawartości glukozyolanów wykonano wg PN-EN ISO 9167-1. Próby przeznaczone do analiz przed oznaczeniami poddano procesowi liofilizacji. Naważkę (0,5 g) próby poddano trzykrotnej ekstrakcji za pomocą 70-procentowego metanolu w łaźni wodnej o temperaturze 75°C, przez 20 min. Po każdym etapie ekstrakcji próby wirowano (5 min, 5200 obr./min), a otrzymane supernatanty łączono. Do wszystkich prób przed pierwszą ekstrakcją dodawano glukotropaeolinę w znanym stężeniu jako standard wewnętrzny. Otrzymany ekstrakt наносono na kolumnę jonowymienną Sephadex DEAE A25 oraz dodawano mrówczan imidazolu. Desulfatację prób przeprowadzono poprzez inkubację z sulfatazą (sulfataza z *H. pomatia*) przez 12 h w temperaturze pokojowej, po czym desulfoglukozyolany wymywano poprzez dwukrotne przemycie kolumny wodą. Rozdział glukozyolanów przeprowadzono za pomocą systemu HPLC opisanego w rozdziale 3.3.3.1. Rozdział wykonano w odwróconym układzie faz, stosując elucję gradientową. Jako fazę nośną zastosowano wodę podwójnie destylowaną (faza A) oraz 20-procentowy acetonitryl (faza B) w następującym gradiencie: 1–23 min 0–100% B w A, 23–28 min izokratycznie 100% B, 28–30 min 100%–0% B w A. Czas rozdziału wynosił 30 min przy przepływie 1 ml/min i objętości nastrzyku na kolumnę 20 µl. Odczytu dokonano przy długości fali 229 nm. Wyniki podano w mg/100 g ś.m. (w przeliczeniu na glukotropaeolinę). Oznaczeń dokonano w trzech powtórzeniach dla trzech równoległych prób (n = 9).

### 3.3.3.3. Oznaczanie zawartości kwasu askorbinowego

Zmiany zawartości kwasu askorbinowego określano w jarmużu zielonym, który po procesie minimalnego przetwarzania zapakowano, stosując dwa rodzaje folii opakowaniowej zamykającej tackę z produktem: F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10 oraz F OTR 3000. Jarmuż zapakowano w atmosferze powietrza oraz atmosferze modyfikowanej o składzie 10/10/80 oraz 80/10/10, odpowiednio %O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>. Analizę zawartości kwasu askorbinowego przeprowadzono po 1, 3, 6, 9 i 12 dniach przechowywania w temperaturze 4°C.

Oznaczanie zawartości kwasu askorbinowego wykonano w oparciu o metodykę podaną przez Kurilich i in. (1999). Ekstrakcję kwasu askorbinowego przeprowadzano za pomocą 1-procentowego kwasu metafosforowego. Po dodaniu do surowca próbę homogenizowano przy użyciu homogenizatora IKA T-25 (Staufen, Niemcy), a następnie wytrząsano na wytrząsarce mechanicznej oraz odwirowano (30 min, 5200 obr./min). Procedurę powtórzono dwukrotnie, supernatanty połączono i uzupełniono do znanej objętości 1-procentowym kwasem metafosforowym. Pobrano 2 ml ekstraktu jarmużu, zmieszano z 1 ml 5-procentowego ditiotreitolu i uzupełniono do objętości



10 ml 1-procentowym kwasem metafosforowym. Próby przed naniesieniem na kolumnę chromatograficzną przefiltrowano przez filtr strzykawkowy Millipore Millex-LCR o średnicy porów 0,45  $\mu\text{m}$ .

Analiza chromatograficzna została przeprowadzona za pomocą systemu HPLC opisanego w rozdziale 3.3.3.1. Jako fazę nośną zastosowano 100-procentowy metanol (faza A) oraz 5 mmol roztworu  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (faza B), przy przepływie 0,7 ml/min. Zastosowano następujący gradient rozpuszczalników: 5–22% A w czasie 6 min, 22–25% A w czasie 15 min. Odczytu dokonano przy długości fali 245 nm, identyfikację kwasu askorbinowego przeprowadzono, porównując czas retencji pików ze standardem kwasu askorbinowego. Oznaczeń dokonano w trzech powtórzeniach dla trzech równoległych prób ( $n = 9$ ).

#### 3.3.3.4. Oznaczanie zawartości karotenoidów

Oznaczenia karotenoidów wykonano w próbach jarmużu zielonego. Zastosowano pakowanie jarmużu w worki foliowe WF OTR 3000 oraz na tackach PP zamkniętych folią opakowaniową F OTR 35 i F OTR 3000. W przypadku folii F OTR 35 użyto mikroperforacji MP-10. Do pakowania prób w workach foliowych WF OTR 3000 zastosowano atmosfery niskotlenowe o składzie: 2/10/88, 10/10/80, 20/5/75, 20/25/55 odpowiednio  $\% \text{O}_2 / \% \text{CO}_2 / \% \text{N}_2$  oraz atmosferę powietrza. W przypadku pakowania na tackach PP wybrano atmosfery o następującym składzie: powietrze (próba kontrolna), 10/10/80 oraz 80/10/10 odpowiednio  $\% \text{O}_2 / \% \text{CO}_2 / \% \text{N}_2$ .

Wykonano trzy doświadczenia, w pierwszym analizowano próby zamknięte w workach foliowych WF OTR 3000, zapakowane w atmosferach niskotlenowych, w drugim zastosowano folię zamykającą tackę z produktem F OTR 3000, w trzecim folię F OTR 35 z mikroperforacją MP-10. Analizę zawartości karotenoidów przeprowadzono po 1, 6 i 12 dniach (doświadczenie pierwsze) oraz po 1, 3, 6, 9 i 12 dniach (doświadczenie drugie i trzecie) przechowywania w temperaturze 4°C.

Oznaczanie karotenoidów metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej kolumnowej przeprowadzono w oparciu o metodykę podaną przez de Sá i Rodriqueza-Amayę (2004). W celu wykonania ekstrakcji karotenoidów z jarmużu, naważkę próby poddano trzykrotnej ekstrakcji acetonem, poprzez homogenizację oraz wytrząsanie homogenatów w wytrząsarce mechanicznej. Po każdej ekstrakcji próby wirowano (15 min, 5200 obrotów/min), supernatanty połączono. Otrzymane ekstrakty poddano zmydleniu, dodając 10% KOH w metanolu oraz eter naftowy z dodatkiem BHT (12 godzin, temperatura pokojowa). Zmydlony ekstrakt rozdzielano za pomocą rozdzielacza, zebraną fazę zawierającą karotenoidy odparowywano w wyparce próżniowej do sucha oraz rozpuszczano w 2,5  $\text{cm}^3$  acetonu, przed poddaniem analizie chromatograficznej ekstrakt filtrowano (Millex-LCR, 0,45  $\mu\text{m}$ , Milipore).

Analiza została wykonana za pomocą zestawu do HPLC opisanego w rozdziale 3.3.3.1. Rozdział chromatograficzny przeprowadzono w odwróconym układzie faz. Zastosowano elucję gradientową. Fazę nośną stanowił acetonitryl zawierający 0,05% trietanolaminy (faza A) oraz roztwór metanolu i octanu etylu zmieszanych w stosunku 275 cm<sup>3</sup>: 225 cm<sup>3</sup> (faza B). Zastosowano następujący gradient rozpuszczalników: 0–20 min, 95% A; 20–50 min, 60% A. Rozdział został przeprowadzony przy przepływie 0,5 cm<sup>3</sup>/min w czasie 60 min w temperaturze pokojowej. Objętość nstrzyku na kolumnę wynosiła 20 µl. Detekcja została przeprowadzona w zakresie 400 do 600 nm, odczyt przy długości 455 nm. Wyniki przeliczono w oparciu o standard zewnętrzny luteiny oraz β-karotenu. Wyniki podano w µg/100 g produktu. Oznaczeń dokonano w trzech powtórzeniach dla trzech równoległych prób (n = 9).

### 3.3.3.5. Oznaczanie aktywności przeciwutleniającej

#### Metoda z kationorodnikiem ABTS<sup>+</sup>

Oznaczanie aktywności przeciwutleniającej metodą z kationorodnikiem ABTS<sup>+</sup> (sól diamoniowa kwasu 2,2-azyno-bis-(3-etylobenzotiazolino-6-sulfonowego) wykonano według procedury opisanej przez Re i in. (1999). Kationorodnik ABTS<sup>+</sup> otrzymano w reakcji 7 mmol wodnego roztworu ABTS<sup>+</sup> z 2,45 mmol roztworu nadsiarczanu potasu. Do analizy wykorzystano wodny ekstrakt związków fenolowych, który mieszano z rozcieńczonym roztworem ABTS<sup>+</sup> (o absorbancji  $0,700 \pm 0,020$ ), po 6 min inkubacji w łaźni wodnej (Water Bath Shaker typ 357) o temperaturze 30°C dokonywano pomiaru absorbancji przy długości fali 734 nm, jako próbę odniesienia zastosowano bufor fosforanowy. Wyniki oznaczania zdolności przeciwutleniającej obliczano jako procent redukcji kationorodnika ABTS<sup>+</sup> w porównaniu z roztworem wzorcowym Troloxu (kwas 6-hydroksy-2,5,7,8-tetrametylochroman-2-karboksyłowy) i wyrażono w µmol Troloxu/g. Oznaczeń dokonano w trzech powtórzeniach dla trzech równoległych prób (n = 9).

#### Metoda z odczynnikiem FRAP

Oznaczanie aktywności przeciwutleniającej metodą z odczynnikiem FRAP (ang. *ferric ion reducing antioxidant parameter*) (Benzie i Strain, 1996) opiera się na spektrofotometrycznym pomiarze redukcji związku TPTZ (kompleks żelazowo-2,4,6-tripirydylo-S-tiazyny) pod wpływem działania przeciwutleniacza z wytworzeniem intensywnie niebieskiego związku Fe(II). Roztwór FRAP przygotowano bezpośrednio przed oznaczeniem poprzez zmieszanie buforu octanowego, 10 mmol roztworu TPTZ oraz roztworu 6-cio wodnego chlorku żelaza. Do 6 ml roztworu FRAP dodano wodny ekstrakt związków fenolowych oraz wodę, po czym dokonano ponownego pomiaru absorbancji po 4 min inkubacji w łaźni wodnej w temperaturze 37°C. Zdolność

antyoksydacyjną próbki określa się przez porównanie zmian absorbancji z wartością roztworu wzorcowego  $\text{Fe}^{2+}$ . Jednostka FRAP określa zdolność redukcji 1 mola  $\text{Fe}^{3+}$  do  $\text{Fe}^{2+}$ , wyrażona w  $\mu\text{mol Fe}^{\text{II+}}/\text{g}$ . Oznaczeń dokonano w trzech powtórzeniach dla trzech równoległych prób ( $n = 9$ ).

#### **Metoda z odczynnikiem DPPH**

Zdolność zmiatania rodnika DPPH (2,2-difenylo-1-pikrylhydrazyl) oznaczono według metodyki opisanej przez Sanches-Moreno i in. (1998). Oznaczeń dokonano na podstawie spektrofotometrycznego pomiaru zmian stężenia stabilnego rodnika DPPH w odniesieniu do zdolności zmiatania wolnych rodników przez roztwór Troloxu (kwas 6-hydroksy-2,5,7,8-tetrametylochroman-2-karboksylowy). Do metanolowego roztworu DPPH dodano wodny ekstrakt związków fenolowych, pomiaru zmian absorbancji dokonywano w czasie 10 min od dodania ekstraktu. Na podstawie procentowego spadku absorbancji obliczano zdolność zmiatania rodników w porównaniu z roztworem wzorcowym Troloxu i wyrażono w  $\mu\text{mol Troloxu/g}$ .

#### **3.3.3.6. Analiza siarkowych związków lotnych w opakowaniach z produktem**

Analizę przeprowadzono w opakowaniach prób z jarmużem zielonym zapakowanym na tacki PP zamkniętych folią F OTR 3000 oraz F OTR 35 poddaną mikroperforacji MP-10. Do pakowania prób wybrano atmosfery o następującym składzie: powietrze (próbka kontrolna), 10/10/80 oraz 80/10/10, odpowiednio  $\% \text{O}_2/\% \text{CO}_2/\% \text{N}_2$ . Analizę związków zapachowych wykonano po 1, 6, 9 i 12 dniach przechowywania prób w temperaturze  $4^\circ\text{C}$ . Zestawienie wyników przygotowano po 1 i 12 dniach przechowywania, ze względu na brak różnic między 1 a 6 dniem oraz 9 a 12 dniem przechowywania.

Analizę siarkowych związków lotnych oraz innych związków lotnych obecnych wewnątrz opakowania z jarmużem o małym stopniu przetworzenia przeprowadzono poprzez ekstrakcję HS-SPME i analizę za pomocą chromatografu gazowego połączonego ze spektrofotometrem masowym.

Do opakowania z jarmużem (tacka polipropylenowa zamknięta folią) poprzez uszczelkę (PTFE/silikon) wprowadzano włókno, stosując czas adsorpcji 30 min. Do ekstrakcji SPME zastosowano włókno Divinylbenzene/PDMS (DVB/PDMS),  $65 \mu\text{m}$  (Sigma-Aldrich). Włókno kondycjonowano w porcie nastrykowym aparatu GC przez 30 min w temperaturze  $250^\circ\text{C}$ . Analiza GC/MS została przeprowadzona za pomocą aparatu GC Agilent Technologie i spektrofotometru gazowego (7890A) Agilent Technologie (5975C) z detektorem VL MSD. W badaniach zastosowano kolumnę DB-5MSDB-5MS ( $350^\circ\text{C}$ ,  $25 \times 200 \mu\text{m} \times 0,3 \mu\text{m}$ ). Zastosowano następujące parametry analizy: temperatura portu nastrykowego  $250^\circ\text{C}$ , typ nastryku – splitless,

gaz nośny hel C-60, przepływ 0,8 ml/min, temperatura początkowa 40°C przez 1 min, następnie wzrost o 8°C/min do 220°C i 20°C/min do 280°C, czas analizy 32 min, w trybie pełnego skanowania.

### 3.3.4. Analiza statystyczna

Statystyczną analizę wyników wykonano za pomocą programu Statistica PL 10.0 (StatSoft, Kraków). W celu określenia wpływu czynników doświadczalnych na jakość sensoryczną i wyróżniki fizykochemiczne oraz jakość mikrobiologiczną prób wykonano jednoczynnikową lub wieloczynnikową analizę wariancji (ANOVA), do oceny istotności różnic użyto testu Post-hoc NIR Fishera ( $p < 0,05$ ).

W celu określenia wpływu czynników doświadczalnych na zawartość związków biologicznie aktywnych oraz aktywność przeciwutleniającą wykonano wieloczynnikową analizę wariancji (ANOVA), do oceny istotności różnic użyto testu Post-hoc HSD Tukeya ( $p < 0,05$ ).

Korelacje oszacowano na podstawie testu Pearsona ( $p < 0,05$ ).

Rozproszenie danych wokół wartości średnich przedstawiono w postaci odchylenia standardowego (SD). Różnice międzygrupowe zaznaczono odmiennymi transkrypcjami literowymi, w tabelach pomiędzy kolumnami lub wierszami.

## **4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA**

### **4.1. Etap I: określenie wpływu składu atmosfery modyfikowanej i rodzaju materiału opakowaniowego oraz jego mikroperforacji na jakość sensoryczną i cechy fizykochemiczne jarmużu o małym stopniu przetworzenia w czasie przechowywania przez 12 dni w temperaturze chłodniczej (4°C)**

#### **4.1.1. Ocena jakości sensorycznej oraz zmian cech fizykochemicznych jarmużu o małym stopniu przetworzenia zapakowanego z zastosowaniem opakowań WF OTR 1900 oraz WF OTR 3000**

W doświadczeniach jarmuż o małym stopniu przetworzenia umieszczano na tackach styropianowych, po czym zamykano w workach foliowych. Zastosowano worki wykonane z dwóch rodzajów folii opakowaniowych o różnej przepuszczalności tlenu: WF OTR 1900 oraz WF OTR 3000. Do pakowania zastosowano atmosferę modyfikowaną o składzie  $\%O_2/\%CO_2/\%N_2$ : 2/10/88, 10/10/80, 20/5/75, 20/25/55 oraz atmosferę powietrza. W badaniach założono zastosowanie tradycyjnej atmosfery modyfikowanej o obniżonej w stosunku do powietrza zawartości tlenu i podwyższonej zawartości ditlenku węgla oraz atmosfery o zawartości tlenu zbliżonej do powietrza przy podwyższonej zawartości ditlenku węgla. Zapakowany produkt przechowywano w temperaturze 4°C przez 12 dni.

Warunki pakowania w atmosferze modyfikowanej są zależne od szeregu czynników, wynikających głównie z cech pakowanego produktu, takich jak rodzaj użytego surowca, stopień jego dojrzałości i tempo procesów oddechowych, stopień rozdrobnienia i przetworzenia surowca, ale także od rodzaju opakowania, jego przepuszczalności dla gazów oraz temperatury przechowywania produktu (Amanatidou i in., 1999; Brecht i in., 2003; Fonseca i in., 2005; Simões i in., 2011). Wszystkie te czynniki wpływają zarówno na cechy sensoryczne produktu w czasie przechowywania,

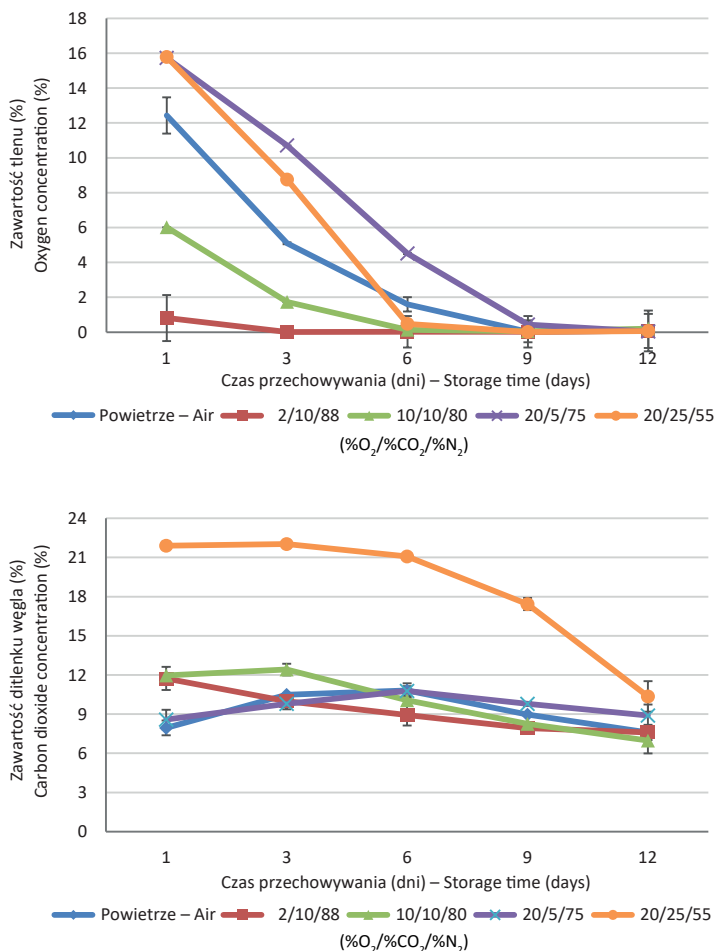
jak i jego właściwości fizykochemiczne. Zmiany zawartości gazów w opakowaniu w przypadku minimalnie przetworzonych produktów oddychających, zachowujących żywą tkankę, to istotny aspekt jakości (Domański, 2002; Ozdemir i in., 2005). Zmiany te są warunkowane szeregiem czynników związanych zarówno z samym surowcem i formą produktu z niego otrzymanego, jak i z rodzajem materiału opakowaniowego. Z drugiej jednak strony zmienność zawartości gazów w opakowaniu istotnie wpływa na cechy jakościowe produktu w czasie przechowywania. Często zależności te są kluczowe dla uzyskania wysokiej jakości produktu.

W przypadku jarmużu zapakowanego w worki WF OTR 1900 zawartość tlenu w opakowaniach z jarmużem gwałtownie spadała w czasie przechowywania, już po 6 dniach w większości prób mieściła się w zakresie od 0% do 2%. Wyjątek stanowiła próba zapakowana w atmosferze 20/5/75 %O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>, w przypadku której zawartość tlenu po 9 dniach przechowywania wynosiła 0,4% (ryc. 3).

Zawartość ditlenku węgla w próbach o 5- i 10-procentowym początkowym jego stężeniu kształtowała się na zbliżonym poziomie, mieszczącym się w zakresie od 7,6% do 12%, niezależnie od składu atmosfery zastosowanej do pakowania. Natomiast przy początkowej zawartości CO<sub>2</sub> wynoszącej 25% odnotowano istotny jego spadek w czasie 12 dni przechowywania do zawartości 12,5% (ryc. 3).

Wytworzenie warunków beztlenowych i utrzymanie wysokiej zawartości ditlenku węgla w opakowaniu najprawdopodobniej było przyczyną gwałtownego obniżenia jakości sensorycznej jarmużu w przypadku zastosowania do pakowania WF OTR 1900. Wskazuje to na zbyt małą przepuszczalność zastosowanego materiału opakowaniowego dla tlenu i ditlenku węgla. Jacobsson i in. (2000) zastosowali orientowany polipropylen, chlorek poliwinylu i polietylen o niskiej gęstości do pakowania brokułów w atmosferze modyfikowanej. Spośród zastosowanych materiałów jedynie polietylen o niskiej gęstości, charakteryzujący się wysoką przepuszczalnością tlenu, pozwolił na uzyskanie wysokiej jakości warzyw przechowywanych 7 dni. W przypadku owoców i warzyw, świeżych bądź o małym stopniu przetworzenia, ze względu na zachodzące procesy życiowe, konieczne jest zastosowanie folii opakowaniowej umożliwiającej usunięcie nadmiaru dwutlenku węgla z opakowania i dostarczenie do wewnątrz odpowiedniej ilości tlenu, aby utrzymać wewnątrz opakowania zastosowaną modyfikowaną atmosferę i zapobiec powstaniu warunków beztlenowych (Jacobsson i in., 2000; Gonzalez-Buesa i in., 2009).

W przypadku jarmużu zapakowanego w worki foliowe WF OTR 3000 zawartość tlenu w opakowaniu po 12 dniach przechowywania, niezależnie od zastosowanego składu atmosfery, utrzymywała się na podobnym poziomie i mieściła się w zakresie od ok. 10% do 15% (ryc. 4). W przypadku atmosfer o wysokiej początkowej zawartości tlenu (20% O<sub>2</sub>) jego wartość malała w czasie przechowywania, natomiast w opakowaniach o niskiej początkowej zawartości (2% O<sub>2</sub> i 10% O<sub>2</sub>) jego wartość

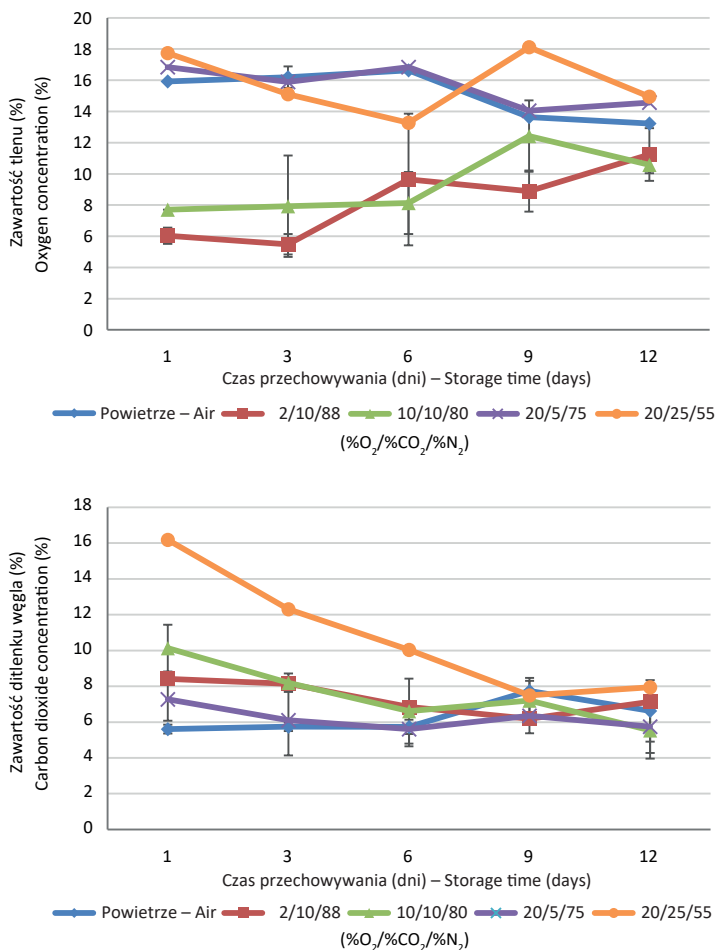


**Ryc. 3.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem (WF OTR 1900) w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie

**Fig. 3.** The content of oxygen and carbon dioxide in packages with kale (WF OTR 1900) stored for 12 days in different modified atmospheres

wzrastała. Podobną sytuację zaobserwowano w przypadku ditlenku węgla. Po 12 dniach przechowywania jego zawartość we wszystkich próbach kształtowała się na podobnym poziomie w zakresie 5,5–8,0%, niezależnie od składu atmosfery zastosowanej do pakowania, co wynikało z wysokiej przepuszczalności zastosowanego materiału opakowaniowego.

Próby jarmużu zapakowane z zastosowaniem materiału opakowaniowego WF OTR 3000 charakteryzowały się istotnie wyższą jakością



**Ryc. 4.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem (WF OTR 3000) w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie

**Fig. 4.** The content of oxygen and carbon dioxide in packages with kale (WF OTR 3000) stored for 12 days in different modified atmospheres

sensoryczną w porównaniu do prób zapakowanych i przechowywanych w opakowaniu WF OTR 1900 (tab. 2). Miało to związek ze zbyt małą przepuszczalnością opakowania i opisanym powyżej wytworzeniem się warunków beztlenowych w czasie przechowywania jarmużu w opakowaniu WF OTR 1900. Najwyższymi notami ogólnej oceny sensorycznej charakteryzowały się próby zapakowane w atmosferze o składzie: 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (tab. 2).

Zaobserwowano, że niska zawartość tlenu w opakowaniach, niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego, korzystnie wpływała na większość



**Tabela 2.** Noty oceny sensorycznej jarmużu o małym stopniu przetworzenia zapakowanego z zastosowaniem opakowań WF OTR 1900 oraz WF OTR 3000, przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, w warunkach chłodniczych (4°C)

**Table 2.** The results of the sensory evaluation of minimally processed kale packaged in WF OTR 1900 and WF OTR 3000, stored under refrigeration (4°C) for 12 days in different modified atmospheres

Skład atmosfery modyfikowanej Composition of modified atmosphere	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Barwa Colour	Smak Taste	Zapach Odour	Tekstura Texture	Ocena ogólna Overall score
1	2	3	4	5	6	7
<b>Opakowanie WF OTR 1900 – WF OTR 1900 packaging</b>						
Powietrze Air	1	5,0 ±0,0 <sup>e</sup>	4,7 ±0,2 <sup>de</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup>	4,9 ±0,1 <sup>bc</sup>	4,9 ±0,1 <sup>e</sup>
	6	4,7 ±0,3 <sup>cde</sup>	4,0 ±0,3 <sup>bcde</sup>	4,2 ±0,2 <sup>cde</sup>	4,7 ±0,0 <sup>b</sup>	4,4 ±0,3 <sup>cd</sup>
	12	4,2 ±0,1 <sup>bc</sup>	3,5 ±0,0 <sup>cde</sup>	3,5 ±0,3 <sup>ab</sup>	4,2 ±0,1 <sup>a</sup>	4,1 ±0,1 <sup>bc</sup>
2/10/88 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,0 ±0,0 <sup>e</sup>	4,7 ±0,3 <sup>de</sup>	4,5 ±0,0 <sup>ef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>0c</sup>	4,8 ±0,1 <sup>de</sup>
	6	4,4 ±0,2 <sup>bcd</sup>	4,0 ±0,4 <sup>bcde</sup>	3,6 ±0,0 <sup>b</sup>	4,8 ±0,06 <sup>bc</sup>	4,2 ±0,2 <sup>bc</sup>
	12	4,3 ±0,2 <sup>abcd</sup>	3,3 ±0,3 <sup>ab</sup>	3,0 ±0,2 <sup>a</sup>	4,8 ±0,06 <sup>bc</sup>	3,9 ±0,2 <sup>ab</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,0 ±0,0 <sup>e</sup>	4,8 ±0,3 <sup>e</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup>	5,0 ±0,0 <sup>0c</sup>	5,0 ±0,1 <sup>e</sup>
	6	4,8 ±0,3 <sup>de</sup>	4,0 ±0,2 <sup>bcde</sup>	4,4 ±0,2 <sup>de</sup>	4,8 ±0,1 <sup>bc</sup>	4,5 ±0,2 <sup>cde</sup>
	12	4,3 ±0,2 <sup>bcd</sup>	3,7 ±0,2 <sup>abc</sup>	4,7 ±0,3 <sup>ef</sup>	4,6 ±0,1 <sup>b</sup>	4,3 ±0,2 <sup>c</sup>
20/5/75 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,0 ±0,0 <sup>e</sup>	4,7 ±0,3 <sup>de</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup>	5,0 ±0,0 <sup>0c</sup>	4,9 ±0,1 <sup>e</sup>
	6	4,5 ±0,1 <sup>bcde</sup>	3,9 ±0,3 <sup>bcd</sup>	4,3 ±0,0 <sup>cde</sup>	4,8 ±0,1 <sup>bc</sup>	4,4 ±0,1 <sup>cd</sup>
	12	4,3 ±0,2 <sup>bcd</sup>	3,5 ±0,0 <sup>ab</sup>	3,8 ±0,2 <sup>bc</sup>	4,6 ±0,2 <sup>b</sup>	4,1 ±0,1 <sup>bc</sup>
20/25/55 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,0 ±0,0 <sup>e</sup>	4,7 ±0,3 <sup>de</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup>	5,0 ±0,0 <sup>0c</sup>	4,9 ±0,2 <sup>e</sup>
	6	4,1 ±0,20 <sup>b</sup>	4,0 ±0,0 <sup>bcde</sup>	3,9 ±0,2 <sup>bcd</sup>	5,0 ±0,1 <sup>c</sup>	4,2 ±0,1 <sup>bc</sup>
	12	3,8 ±0,27 <sup>a</sup>	3,0 ±0,0 <sup>a</sup>	3,0 ±0,3 <sup>a</sup>	4,2 ±0,2 <sup>a</sup>	3,5 ±0,2 <sup>a</sup>
<b>Opakowanie WF OTR 3000 – WF OTR 3000 packaging</b>						
Powietrze Air	1	5,0 ±0,0 <sup>e</sup>	4,1 ±0,4 <sup>abc</sup>	4,2 ±0,4 <sup>a</sup>	5,0 ±0,1 <sup>bc</sup>	4,6 ±0,2 <sup>bcd</sup>
	6	4,5 ±0,3 <sup>cd</sup>	3,6 ±0,2 <sup>ab</sup>	4,5 ±0,4 <sup>a</sup>	4,4 ±0,1 <sup>abc</sup>	4,3 ±0,2 <sup>abc</sup>
	12	3,9 ±0,2 <sup>ab</sup>	3,5 ±0,2 <sup>a</sup>	4,3 ±0,2 <sup>a</sup>	4,0 ±0,2 <sup>a</sup>	3,9 ±0,2 <sup>a</sup>
2/10/88 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,0 ±0,0 <sup>e</sup>	4,5 ±0,5 <sup>c</sup>	4,6 ±0,5 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,1 <sup>c</sup>	4,8 ±0,2 <sup>d</sup>
	6	4,2 ±0,2 <sup>bcd</sup>	4,1 ±0,2 <sup>abc</sup>	4,4 ±0,4 <sup>ab</sup>	4,6 ±0,1 <sup>abc</sup>	4,3 ±0,2 <sup>abcd</sup>
	12	4,0 ±0,2 <sup>b</sup>	4,0 ±0,0 <sup>abc</sup>	4,8 ±0,3 <sup>ab</sup>	4,5 ±0,0 <sup>abc</sup>	4,3 ±0,1 <sup>abcd</sup>

Tabela 2 cd. – Table 2 cont.

1	2	3	4	5	6	7
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	4,1 ± 0,4 <sup>abc</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>b</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	4,8 ± 0,1 <sup>d</sup>
	6	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	4,0 ± 0,0 <sup>abc</sup>	4,9 ± 0,2 <sup>b</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>bc</sup>	4,7 ± 0,1 <sup>cd</sup>
	12	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	4,0 ± 0,0 <sup>abc</sup>	4,9 ± 0,2 <sup>b</sup>	4,9 ± 0,1 <sup>bc</sup>	4,7 ± 0,1 <sup>bcd</sup>
20/5/75 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	4,4 ± 0,3 <sup>bc</sup>	4,6 ± 0,4 <sup>ab</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	4,8 ± 0,2 <sup>cd</sup>
	6	4,6 ± 0,2 <sup>de</sup>	3,7 ± 0,4 <sup>abc</sup>	4,4 ± 0,4 <sup>ab</sup>	4,4 ± 0,2 <sup>abc</sup>	4,3 ± 0,3 <sup>abcd</sup>
	12	4,1 ± 0,2 <sup>bc</sup>	3,8 ± 0,3 <sup>abc</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>ab</sup>	4,6 ± 0,1 <sup>abc</sup>	4,4 ± 0,1 <sup>abcd</sup>
20/25/55 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	4,2 ± 0,4 <sup>abc</sup>	4,5 ± 0,5 <sup>a</sup>	5,0 ± 0,1 <sup>bc</sup>	4,7 ± 0,2 <sup>bcd</sup>
	6	4,2 ± 0,2 <sup>bcd</sup>	3,5 ± 0,2 <sup>a</sup>	4,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	4,6 ± 0,0 <sup>ab</sup>	4,2 ± 0,2 <sup>ab</sup>
	12	3,5 ± 0,1 <sup>a</sup>	3,7 ± 0,3 <sup>abc</sup>	4,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	4,4 ± 0,1 <sup>a</sup>	4,0 ± 0,2 <sup>a</sup>

Wartości w kolumnach (dla danej folii opakowaniowej) oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

The mean values in columns (for each packaging material) marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ .

wyróżników oceny sensorycznej, a w szczególności na smak, zapach i konsystencję. Jednakże wyższe noty oceny sensorycznej próby zapakowanej w atmosferze o składzie: 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) w porównaniu do prób zapakowanych w atmosferze powietrza po 12 dniach przechowywania odnotowano jedynie przy zastosowaniu opakowania WF OTR 3000 (tab. 2). Podobnie wyniki uzyskali Fonseca i in. (2005), wnioskując, że niskie zawartości tlenu w atmosferze zastosowanej do przechowywania jarmużu korzystnie wpływają na jego barwę, hamując żółknięcie. Pesis i in. (2000) wykazali, że atmosfera modyfikowana o zawartości 10% O<sub>2</sub> i 5% CO<sub>2</sub> redukowała uszkodzenia owoców mango wywołane przechowywaniem chłodniczym. Najniższymi notami oceny sensorycznej wśród analizowanych prób charakteryzowały się próby zapakowane w atmosferze o składzie: 20/25/55 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), dla których odnotowano istotny spadek not przyznanych za ogólną ocenę sensoryczną już po 6 dniach przechowywania. Przy zastosowaniu opakowania WF OTR 1900 próby te po 12 dniach przechowywania charakteryzowały się istotnie niższą jakością niż próby kontrolne w opakowaniach zawierających powietrze. Wysokie stężenie ditlenku węgla (25%) niekorzystnie wpływało na wszystkie wyróżniki oceny sensorycznej jarmużu, niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego.

Na jakość sensoryczną zapakowanych prób jarmużu w przypadku obu opakowań – WF OTR 1900 i WF OTR 3000 – istotny wpływ miały noty przyznane za smak. Noty w znacznym stopniu obniżały noty ogólnej oceny sensorycznej (tab. 2). W próbach o dużym stężeniu ditlenku węgla (25%), smak scharakteryzowano jako nietypowy, z owocowym posmakiem. Smak w dużej mierze determinuje ogólną

jakość i akceptowalność produktu, często w większym stopniu niż pozostałe wyróżniki oceny sensorycznej.

Istotne zmiany zapachu w próbach odnotowano niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego. Były one większe w przypadku prób zapakowanych w opakowania WF OTR 1900, gdzie już po 6 dniach przechowywania odnotowano kwaśny zapach i owocowy smak, a po 12 dniach przechowywania noty przyznane za zapach mieściły się w granicach od 3,0 do 4,7. W przypadku zastosowania opakowania WF OTR 3000 noty przyznane za ten wyróżnik po 12 dniach przechowywania mieściły się w zakresie od 4,3 do 5,0, i w trzech z pięciu analizowanych prób wzrastały w czasie przechowywania.

Istotny wpływ na obniżenie ogólnej oceny sensorycznej jarmużu przechowywanego przez 12 dni miały również noty przyznane za barwę (tab. 2). Było to związane z pojawieniem się jasnozielonych przebarwień oraz brakiem jednolitości barwy. Największe zmiany odnotowano w próbach o wysokiej zawartości ditlenku węgla (25%). W próbach tych wartość not przyznanych za barwę po 12 dniach przechowywania kształtowała się na poziomie 3,8 i 3,5 punktów, odpowiednio dla prób zapakowanych opakowania WF OTR 1900 i WF OTR 3000.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że pomimo odnotowania warunków beztlenowych w próbach jarmużu zapakowanego z zastosowaniem opakowań WF OTR 1900 produkt przez cały okres przechowywania zachowywał akceptowalną jakość sensoryczną. Należy się jednak spodziewać się, że przy dłuższym przechowywaniu, ze względu na powstałe warunki beztlenowe spadek jakości byłby szybszy niż w opakowaniach WF OTR 3000, w których zawartość tlenu utrzymywała się na poziomie ok. 10% przez cały okres przechowywania.

Zaobserwowano, że niska zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem mało przetworzonym wpłynęła na uzyskanie wysokich not ogólnej oceny sensorycznej. Według danych literaturowych jakość produktów minimalnie przetworzonych zapakowanych w atmosferze modyfikowanej zależy nie tylko od doboru składu atmosfery modyfikowanej, ale także czasu i temperatury przechowywania oraz rodzaju materiału opakowaniowego (Fonseca i in., 2002). Według Jacxsens i in. (1999) przechowywanie warzyw mało przetworzonych w atmosferze modyfikowanej w odpowiednio niskiej temperaturze oraz zastosowanie opakowań o wysokiej przepuszczalności dla tlenu i ditlenku węgla dobrze wpływa na jakość sensoryczną, a przede wszystkim zapach warzyw.

Wartości pH prób jarmużu w czasie 12 dni przechowywania mieściły się w zakresie od 6,0 do 6,6 (tab. 3). W czasie 12 dni przechowywania jarmużu, niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego, odnotowano istotny statystycznie, jednakże niewielki, spadek wartości pH większości prób.

**Tabela 3.** Fizykochemiczne właściwości jaruzi o małym stopniu przetworzenia zapakowanego z zastosowaniem opakowań WF OTR 1900 i WF OTR 3000, przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, w warunkach chłodniczych (4°C)  
**Table 3.** The physicochemical properties of minimally processed kale packaged in WF OTR 1900 and WF OTR 3000, stored under refrigeration (4°C) for 12 days in different modified atmospheres

Skład atmosfery modyfikowanej Composition of modified atmosphere	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	pH	Zawartość ekstraktu Solid content (%)	Kwasowość Acidity (mg KC*/100 g)	L*	a*	b*
1	2	3	4	5	6	7	8
Opakowanie WF OTR 1900 – WF OTR 1900 packaging							
Powietrze Air	1	6,1 ±0,02 <sup>i</sup>	12,6 ±0,20 <sup>c</sup>	0,21 ±0,00 <sup>e</sup>	37,7 ±3,2	-5,0 ±0,47	10,1 ±1,26
	6	6,01 ±0,1 <sup>cd</sup>	10,9 ±0,06 <sup>a</sup>	0,23 ±0,00 <sup>ef</sup>	36,7 ±2,2	-4,9 ±0,24	10,5 ±0,87
	12	6,0 ±0,01 <sup>bc</sup>	14,1 ±0,15 <sup>h</sup>	0,21 ±0,00 <sup>e</sup>	38,2 ±2,6	-5,5 ±0,23	11,4 ±0,86
2/10/88 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	6,1 ±0,01 <sup>hi</sup>	12,3 ±0,06 <sup>b</sup>	0,23 ±0,00 <sup>g</sup>	36,5 ±1,6	-5,0 ±0,09	10,4 ±0,32
	6	5,9 ±0,02 <sup>a</sup>	12,5 ±0,06 <sup>bc</sup>	0,18 ±0,00 <sup>a</sup>	35,1 ±2,0	-5,0 ±0,19	10,5 ±0,33
	12	6,0 ±0,03 <sup>bc</sup>	13,6 ±0,32 <sup>ef</sup>	0,22 ±0,00 <sup>e</sup>	38,1 ±2,2	-5,4 ±0,25	11,8 ±1,14
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	6,1 ±0,01 <sup>gh</sup>	13,4 ±0,15 <sup>de</sup>	0,24 ±0,00 <sup>h</sup>	38,8 ±4,7	-5,4 ±0,77	11,6 ±2,34
	6	6,1 ±0,01 <sup>ef</sup>	13,5 ±0,06 <sup>e</sup>	0,22 ±0,00 <sup>e</sup>	37,3 ±2,6	-5,3 ±0,32	11,1 ±1,03
	12	6,0 ±0,01 <sup>b</sup>	14,5 ±0,06 <sup>i</sup>	0,22 ±0,01 <sup>e</sup>	38,0 ±3,0	-5,2 ±0,24	11,2 ±0,35
20/5/75 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	6,1 ±0,01 <sup>ef</sup>	14,1 ±0,35 <sup>gh</sup>	0,19 ±0,00 <sup>b</sup>	36,1 ±2,0	-4,8 ±0,23	10,0 ±0,72
	6	6,1 ±0,01 <sup>fg</sup>	14,1 ±0,12 <sup>h</sup>	0,19 ±0,00 <sup>b</sup>	35,9 ±2,8	-4,8 ±0,06	10,2 ±0,74
	12	6,0 ±0,031 <sup>de</sup>	14,6 ±0,10 <sup>i</sup>	0,22 ±0,00 <sup>e</sup>	37,0 ±3,2	-5,0 ±0,60	10,5 ±1,40
20/25/55 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	6,1 ±0,01 <sup>hi</sup>	13,4 ±0,15 <sup>e</sup>	0,24 ±0,01 <sup>i</sup>	38,9 ±2,7	-5,3 ±0,29	11,8 ±1,00
	6	6,1 ±0,01 <sup>ef</sup>	13,8 ±0,06 <sup>fg</sup>	0,24 ±0,00 <sup>h</sup>	37,5 ±1,6	-5,2 ±0,26	11,1 ±0,75
	12	6,04 ±0,31 <sup>def</sup>	13,1 ±0,12 <sup>d</sup>	0,23 ±0,00 <sup>f</sup>	37,4 ±2,1	-5,14 ±0,44	10,6 ±0,50

Tabela 3 cd. – Table 3 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	
		Opakowanie WF OTR 3000 – WF OTR 3000 packaging						
Powietrze Air	1 6 12	6,1 ±0,02 <sup>b</sup> 6,1 ±0,08 <sup>bc</sup> 6,2 ±0,04 <sup>ef</sup>	11,7 ±0,30 <sup>efgh</sup> 11,4 ±0,29 <sup>ctef</sup> 10,7 ±1,08 <sup>bc</sup>	0,30 ±0,01 <sup>g</sup> 0,25 ±0,01 <sup>de</sup> 0,24 ±0,01 <sup>d</sup>	38,7 ±1,9 <sup>ab</sup> 38,7 ±2,3 <sup>ab</sup> 41,6 ±3,3 <sup>a</sup>	-4,5 ±0,16 <sup>cd</sup> -4,4 ±0,12 <sup>cd</sup> -5,1 ±0,2 <sup>a</sup>	8,8 ±0,25 <sup>ab</sup> 9,2 ±0,77 <sup>abc</sup> 11,2 ±1,35 <sup>c</sup>	
2/10/88 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1 6 12	6,1 ±0,02 <sup>b</sup> 6,6 ±0,03 <sup>g</sup> 6,3 ±0,02 <sup>f</sup>	12,4 ±0,25 <sup>hi</sup> 12,3 ±0,12 <sup>ghi</sup> 11,6 ±0,12 <sup>defg</sup>	0,24 ±0,00 <sup>d</sup> 0,12 ±0,00 <sup>a</sup> 0,18 ±0,01 <sup>b</sup>	36,0 ±2,8 <sup>ab</sup> 36,4 ±2,4 <sup>ab</sup> 35,9 ±2,4 <sup>ab</sup>	-4,9 ±0,17 <sup>ab</sup> -4,7 ±0,19 <sup>abc</sup> -4,8 ±0,27 <sup>abc</sup>	9,8 ±0,64 <sup>bcd</sup> 9,6 ±0,80 <sup>bcd</sup> 9,8 ±0,43 <sup>bcd</sup>	
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1 6 12	6,2 ±0,03 <sup>f</sup> 6,0 ±0,06 <sup>a</sup> 6,1 ±0,02 <sup>bc</sup>	10,8 ±0,27 <sup>bcd</sup> 9,6 ±0,00 <sup>a</sup> 11,2 ±0,12 <sup>cde</sup>	0,30 ±0,01 <sup>g</sup> 0,26 ±0,01 <sup>ef</sup> 0,21 ±0,01 <sup>c</sup>	38,8 ±1,9 <sup>ab</sup> 38,9 ±2,8 <sup>ab</sup> 37,4 ±1,5 <sup>ab</sup>	-4,6 ±0,06 <sup>bcd</sup> -4,6 ±0,15 <sup>bcd</sup> -4,7 ±0,37 <sup>abc</sup>	9,0 ±0,04 <sup>abc</sup> 9,2 ±0,57 <sup>abc</sup> 10,1 ±0,23 <sup>cde</sup>	
20/5/75 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1 6 12	6,2 ±0,01 <sup>def</sup> 6,2 ±0,01 <sup>def</sup> 6,2 ±0,04 <sup>f</sup>	12,6 ±0,51 <sup>i</sup> 12,6 ±0,51 <sup>i</sup> 12,0 ±0,84 <sup>fghi</sup>	0,30 ±0,00 <sup>g</sup> 0,30 ±0,00 <sup>g</sup> 0,25 ±0,01 <sup>d</sup>	38,4 ±2,2 <sup>ab</sup> 37,9 ±2,4 <sup>b</sup> 39,1 ±2,3 <sup>ab</sup>	-4,8 ±0,21 <sup>abc</sup> -4,3 ±0,18 <sup>cd</sup> -4,5 ±0,39 <sup>cd</sup>	8,7 ±0,86 <sup>ab</sup> 8,3 ±0,7 <sup>a</sup> 9,6 ±0,86 <sup>bcd</sup>	
20/25/55 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1 6 12	6,2 ±0,03 <sup>f</sup> 6,1 ±0,05 <sup>cde</sup> 6,1 ±0,03 <sup>cd</sup>	11,4 ±0,32 <sup>cdef</sup> 11,0 ±0,31 <sup>cde</sup> 10,1 ±0,53 <sup>ab</sup>	0,28 ±0,02 <sup>f</sup> 0,25 ±0,01 <sup>de</sup> 0,25 ±0,01 <sup>de</sup>	37,6 ±1,6 <sup>ab</sup> 39,7 ±1,8 <sup>ab</sup> 38,9 ±3,8 <sup>ab</sup>	-4,6 ±0,12 <sup>cd</sup> -4,4 ±0,19 <sup>cd</sup> -4,6 ±0,25 <sup>bcd</sup>	8,6 ±0,24 <sup>ab</sup> 9,2 ±0,49 <sup>abc</sup> 10,8 ±1,25 <sup>de</sup>	

\* – kwas cytrynowy.

Wartości w kolumnach (dla danej folii opakowaniowej) oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – citric acid.

The mean values in columns (for each packaging material) marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ .

Kwasowość produktu, w przeliczeniu na kwas cytrynowy, mieściła się w zakresie od 0,12 do 0,30 mg/100 g. W przypadku zastosowania obu opakowań najniższe wartości kwasowości odnotowano w próbach przechowywanych w atmosferze o składzie 2/10/88 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (tab. 3).

Zawartość ekstraktu w czasie przechowywania jarmużu w opakowaniach WF OTR 1900 istotnie wzrastała, wyjątek stanowiła próba zapakowana w atmosferze o składzie: 20/25/55 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), dla której odnotowano istotny spadek ekstraktu (tab. 3). W próbach przechowywanych w opakowaniach WF OTR 3000 istotny spadek zawartości ekstraktu odnotowano dla trzech prób, zapakowanych w atmosferze powietrza oraz 2/10/88 i 20/5/75 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>). W pozostałych próbach nie odnotowano istotnych zmian. Zaobserwowano, że wysoka zawartość ditlenku węgla (25%), niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego, powodowała obniżenie zawartości ekstraktu.

Zmiany wartości pH, kwasowości oraz zawartości ekstraktu prób były niewielkie i mogły wynikać zarówno z procesów fizjologicznych tkanki, m.in. oddychania i transpiracji, jak i zmian powierzchniowych związanych z podsuszaniem lub chłonięciem pary wodnej i wysychania. Ponadto, różne stężenia ditlenku węgla, ze względu na jego rozpuszczalność w wodzie i tworzenie kwasu węglowego, mogły wpływać na zmiany charakteryzowanych parametrów, szczególnie wartości pH i kwasowości. Ponadto zmienność parametrów fizykochemicznych może wynikać ze zmienności surowca ze względu na różny udział liści i łodyg w próbach oraz różny udział liści młodszych i starszych, charakteryzujących się różnym tempem procesów fizjologicznych (Grzesiuk i Górecki, 1994; Bandurska, 2007).

Zmiany parametrów barwy jarmużu w pomiarze instrumentalnym były nieznaczne (tab. 3). W przypadku prób przechowywanych w opakowaniach WF OTR 1900 nie odnotowano istotnych zmian parametrów barwy L\*, a\* i b\* w zależności od zastosowanych składów atmosfery oraz czasu przechowywania. Parametr L\* przyjmował wartości od 35,9 do 38,9, parametr a\* od -5,5 do -4,8, charakteryzującego barwę zieloną, natomiast wartości parametru b\* mieściły się w zakresie 10,1–11,8 i były wyższe średnio o około 11% niż wartości b\* prób w opakowaniach WF OTR 3000.

W przypadku zastosowania opakowań WF OTR 3000 istotne różnice dla wszystkich trzech parametrów barwy odnotowano dla próby zapakowanej w powietrzu po 12 dniach przechowywania oraz próby zapakowanej w atmosferze 20/5/75 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) po 6 dniach przechowywania. Pozostałe wartości parametru L\* prób w opakowaniach WF OTR 3000 były zbliżone do wartości prób zapakowanych z zastosowaniem opakowań WF OTR 1900. Wartości parametru a\* prób w opakowaniach WF OTR 3000 wskazywał na mniejszy udział barwy zielonej.

Parametry barwy  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  wykazywały niewielką zmienność w zależności od zastosowanych warunków w pakowania i nie uwidaczniały korelacji ze zmianami barwy ocenianymi wizualnie w ocenie sensorycznej. W związku z tym w dalszych etapach badań zrezygnowano z tego pomiaru.

W powyższych badaniach tendencja zmian jakości sensorycznej prób jarmużu o małym stopniu przetworzenia wskazuje na najwyższą jakość sensoryczną prób zapakowanych w atmosferze o składzie: 10/10/80 (% $O_2$ /% $CO_2$ /% $N_2$ ) niezależnie od zastosowanego opakowania. Najniższą jakością w czasie przechowywania przez 12 dni, niezależnie od rodzaju opakowania, odznaczały się próby jarmużu zapakowane w atmosferze o składzie: 20/25/55 (% $O_2$ /% $CO_2$ /% $N_2$ ). Było to wynikiem zastosowania atmosfery, w której udział ditlenku węgla wynosił 25%, i znaczną wrażliwością jarmużu na tak wysokie stężenie tego gazu. Stwierdzono, że stężenie tlenu w opakowaniu na poziomie 10% wpływa korzystnie na jakość sensoryczną jarmużu mało przetworzonego. Jarmuż przechowywany w opakowaniu WF OTR 1900 ze względu na powstanie warunków beztlenowych już po 6 dniach przechowywania charakteryzował się istotnie ( $p < 0,05$ ) niższą jakością sensoryczną w porównaniu do prób przechowywanych w opakowaniach WF OTR 3000.

W badaniach przeprowadzonych przez Radziejewską-Kubzdelę i in. (2007) wykazano, że minimalnie przetworzony seler korzeniowy charakteryzował się najwyższą jakością przy zastosowaniu pakowania w atmosferze zawierającej 2%  $O_2$  oraz 5 lub 10%  $CO_2$ . Próby selera zapakowane w atmosferze powietrza lub w atmosferze zawierającej 0% lub powyżej 10%  $CO_2$  przy 2%  $O_2$  charakteryzowały się znacznie niższymi notami pod względem barwy, smaku i zapachu. Z badań przeprowadzonych przez Rosa i in. (2007) wynika, iż nać pietruszki zachowuje wyższą jakość sensoryczną w próbach przechowywanych z zastosowaniem pasywnej atmosfery modyfikowanej niż w próbach pakowanych w atmosferze o składzie: 15%  $O_2$ , 2%  $CO_2$  i 88%  $N_2$ . Po 13 dniach przechowywania w temperaturze 1–5°C pietruszka zapakowana w atmosferze zawierającej 15%  $O_2$ , 2%  $CO_2$  i 88%  $N_2$  wykazywała znaczne oznaki wędnięcia.

W dalszych badaniach, ze względu na zastosowanie atmosfer wysokotlenowych oraz mikroperforacji materiału opakowaniowego, zastosowano inną formę opakowania polegającą na umieszczeniu jarmużu (50 g) na transparentnej tacy polipropylenowej (PP) zamykanej folią opakowaniową (tab. 1). Przepuszczalność opakowania dla tlenu i ditlenku węgla modyfikowano na folii zamykającej tackę o różnej przepuszczalności tlenu i/lub zastosowanie mikroperforacji folii, przy niezmienniej przepuszczalności tacki PP.

#### 4.1.2. Zastosowaniem mikroperforacji materiału opakowaniowego do pakowania jarmużu o małym stopniu przetworzenia w atmosferze modyfikowanej

W kolejnej części badań porównano jakość jarmużu zapakowanego w atmosferze modyfikowanej z zastosowaniem nowych materiałów opakowaniowych o różnej przepuszczalności tlenu, litych bądź poddanych mikroperforacji. Tacki z jarmużem zamykano, stosując dwa rodzaje folii opakowaniowej F OTR 35 oraz F OTR 2500 (tab. 1). Zastosowano mikroperforację materiału opakowaniowego MP-10 oraz MP-20 (próby zapakowane bez mikroperforacji opakowania oznaczono symbolem MP-0). Próby zapakowano w atmosferze modyfikowanej o składzie (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>): 10/10/80, 55/10/35 oraz w atmosferze powietrza.

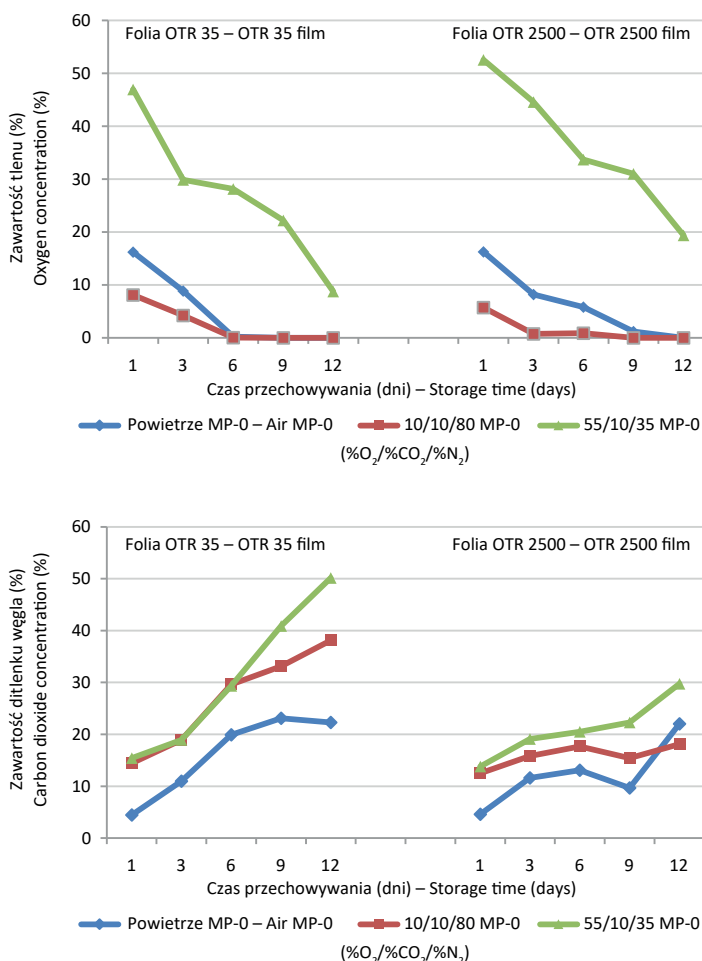
W próbach zapakowanych bez zastosowania mikroperforacji materiału opakowaniowego odnotowano spadek zawartości tlenu i wzrost zawartości ditlenku węgla po 12 dniach przechowywania, niezależnie od przepuszczalności zastosowanego materiału opakowaniowego. Zapakowanie produktu w atmosferze powietrza oraz w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) skutkowało wytworzeniem warunków beztlenowych w czasie przechowywania (ryc. 5).

Zastosowanie do pakowania folii F OTR 35 spowodowało w próbach zapakowanych w powietrzu wytworzenie warunków beztlenowych po 9 dniach przechowywania, natomiast w próbach zapakowanych w atmosferze o początkowej zawartości tlenu w ilości 10% już po 6 dniach przechowywania (ryc. 5).

Próby zapakowane w atmosferze powietrza po 12 dniach przechowywania charakteryzowały się istotnie niższą ( $p \leq 0,05$ ) zawartością ditlenku węgla od pozostałych, zapakowanych bez zastosowania mikroperforacji materiału opakowaniowego. Niezależnie od przepuszczalności zastosowanej folii opakowaniowej zawartość ta wynosiła ok. 22%, natomiast próby zapakowane w atmosferze modyfikowanej charakteryzowały się wyższą zawartością ditlenku węgla po 12 dniach przechowywania przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 35. Jednakże w przypadku obu zastosowanych folii opakowaniowych poziom zawartości ditlenku węgla wzrastał wraz ze wzrostem początkowej zawartości tlenu w zastosowanej atmosferze (ryc. 5). Zależność ta wynikała prawdopodobnie z bardziej intensywnych procesów oddechowych w próbach jarmużu z większą dostępnością tlenu i wskutek tego większym nagromadzeniem ditlenku węgla.

Podobną zależność zmian O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> odnotowali Gonzlez-Buesa i in. (2009), pakując m.in. brzoskwinie i kalafiora w atmosferze modyfikowanej z zastosowaniem mikroperforacji materiału opakowaniowego (wielkość mikroperforacji od 90 × 50 μm do 300 × 100 μm). Autorzy ci zaobserwowali, że zużycie tlenu w opakowaniach było zależne od jego stężenia, natomiast tempo wytwarzania ditlenku węgla miało



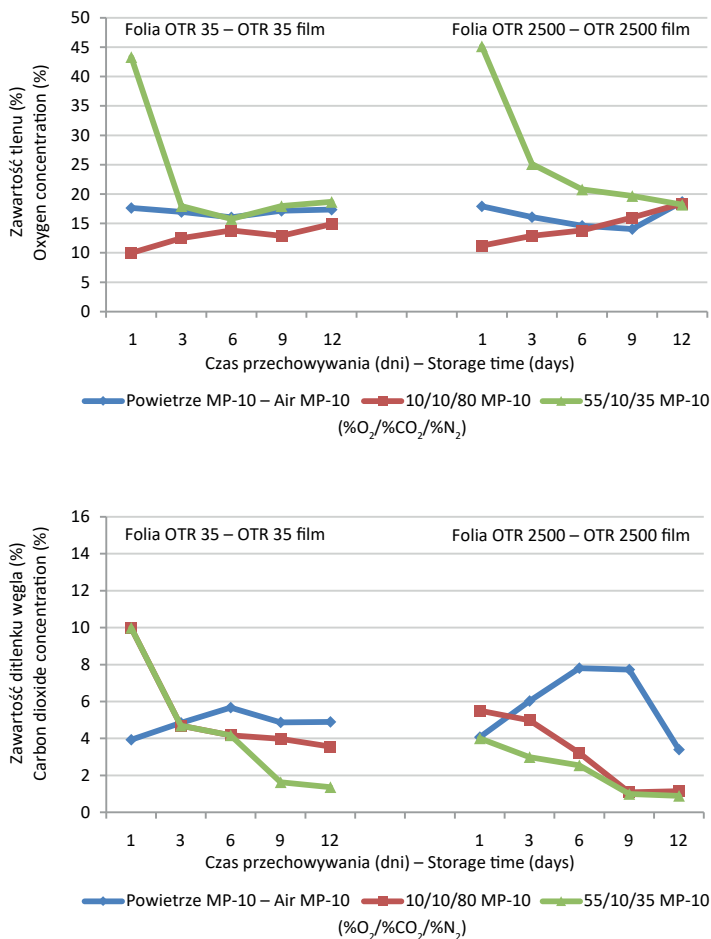


**Ryc. 5.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 35 i F OTR 2500, bez mikroperforacji (MP-0)

**Fig. 5.** The content of oxygen and carbon dioxide in film packages (F OTR 35 and F OTR 2500 without microperforation MP-0) with kale stored for 12 days in different modified atmospheres

charakter liniowy. W niniejszej pracy zawartość ditlenku węgla w próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej z zastosowaniem folii opakowaniowej niepodanej mikroperforacji, wynosiła od 24,1%, przy zastosowaniu atmosfery o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), do 50,17% w próbie o 55-procentowej początkowej zawartości tlenu.

Zastosowanie mikroperforacji folii opakowaniowej powodowało stopniowe wyrównywanie składu gazowego użytego w opakowaniu z atmosferą powietrza (ryc. 6 i 7). Wykorzystanie mikroperforacji MP-20 skutkowało w większości prób uzyskaniem zbliżonych zawartości tlenu do jego zawartości w powietrzu już po 3 dniach przechowywania, co doprowadziło do pogorszenia jakości sensorycznej tych prób w czasie przechowywania (ryc. 7). W przypadku mikroperforacji MP-10 spadek

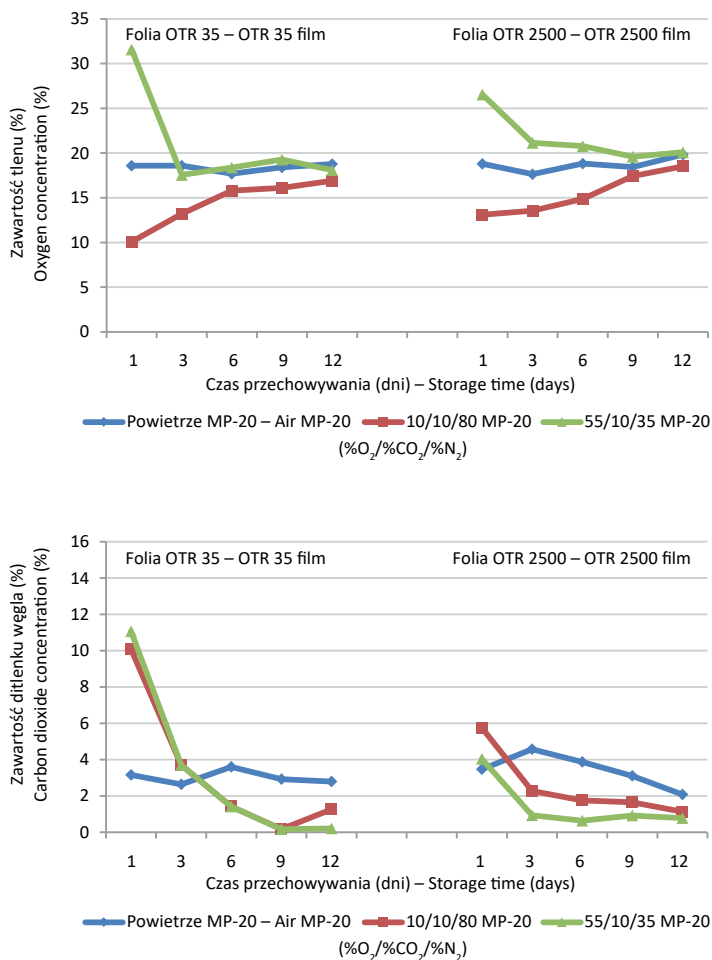


**Ryc. 6.** Zawartość tlenu i dwutlenku węgla w opakowaniach z jarmużem w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 35 i F OTR 2500 z mikroperforacją MP-10

**Fig. 6.** The content of oxygen and carbon dioxide in film packages (F OTR 35 and OTR 2500 film with microperforation MP-10) with kale stored for 12 days in different modified atmospheres

lub wzrost zawartości tlenu do zawartości charakterystycznej dla powietrza był wolniejszy.

Jedynie w opakowaniu próby zapakowanej w atmosferze o początkowej zawartości tlenu 10% stopniowo rosła przez cały okres przechowywania, osiągając po 12 dniach wartość mieszczącą się w zakresie od ok. 15%, przy zastosowaniu folii opakowaniowej F OTR 35, do ok. 18,5%, przy wykorzystaniu folii F OTR 2500 (ryc. 6).



**Ryc. 7.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 35 i F OTR 2500 z mikroperforacją MP-20

**Fig. 7.** The content of oxygen and carbon dioxide in film packages (F OTR 35 and OTR 2500 film with microperforation MP-20) with kale stored for 12 days in different modified atmospheres

Zmiany zawartości ditlenku węgla w próbach zapakowanych z zastosowaniem mikroperforacji materiału opakowaniowego były uzależnione zarówno od wielkości zastosowanej mikroperforacji, jak i od przepuszczalności folii opakowaniowej. W próbach zapakowanych w atmosferze powietrza odnotowano początkowo istotny ( $p \leq 0,05$ ) wzrost zawartości ditlenku węgla, spowodowany najprawdopodobniej procesami oddechowymi, wzmożonymi na skutek narażenia tkanki na stres związany z minimalnym przetwarzaniem, a następnie po 6 dniach przechowywania odnotowano stopniowy spadek zawartości omawianego gazu.

Zawartość ditlenku węgla w opakowaniach prób zapakowanych z zastosowaniem mikroperforacji MP-10 po 12 dniach przechowywania była wyższa niż w przypadku MP-20; wynosiła 4,9% (F OTR 35) i 3,4% (F OTR 2500) przy mikroperforacji MP-10 oraz ok. 2% w obu zastosowanych foliach przy mikroperforacji MP-20.

Spośród zastosowanych warunków pakowania w tej części badań użycie folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 oraz atmosfery modyfikowanej o składzie 10/10/80 i 55/10/35 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) uznano za przydatną ze względu na wysoką jakość przechowywanego produktu (tab. 4). W przypadku zastosowania do pakowania folii F OTR 2500 dobrą jakość produktu uzyskano przy zastosowaniu atmosfery wysokotlenowej 55/10/35 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) zarówno bez mikroperforacji materiału opakowaniowego, jak i przy zastosowaniu mikroperforacji MP-10 (tab. 5). W przypadku obu wykorzystanych folii mikroperforacja MP-20 powodowała szybką utratę atmosfery modyfikowanej i zbliżenie składu atmosfery do powietrza, co mogło być przyczyną intensywnej zmiany cech sensorycznych produktu i w efekcie gorszej jego jakości w porównaniu do prób zapakowanych z zastosowaniem mikroperforacji MP-10 (tab. 5).

W przypadku zastosowania do pakowania folii opakowaniowej F OTR 35 bez mikroperforacji zbyt mała przepuszczalność opakowania była przyczyną wytworzenia warunków beztlenowych w próbach zapakowanych w powietrzu oraz w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), dlatego próby te zdyskwalifikowano i nie poddano ich dalszej ocenie sensorycznej (tab. 4). W próbce zapakowanej w atmosferze wysokotlenowej (55% O<sub>2</sub>), pomimo utrzymania się tlenowych warunków przez cały okres przechowywania, również odnotowano istotny spadek jakości sensorycznej. Natomiast przy zastosowaniu folii F OTR 2500 ze względu na wysoką jej przepuszczalność, brak mikroperforacji spowodował istotny spadek noty sensorycznej w porównaniu do prób zapakowanych z zastosowaniem mikroperforacji MP-10 jedynie dla próby o początkowym stężeniu tlenu wynoszącym 10%. Przy zastosowaniu początkowej zawartości tlenu wynoszącej 10%, przepuszczalność opakowania bez mikroperforacji była zbyt niska, aby utrzymać wewnątrz warunki tlenowe, co w konsekwencji spowodowało obniżenie jakości sensorycznej produktu.

**Tabela 4.** Właściwości fizykochemiczne oraz noty oceny sensorycznej jarmużu o małym stopniu przetworzenia zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 35, przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, w warunkach chłodniczych (4°C)  
**Table 4.** The physicochemical properties and sensory evaluation of minimally processed kale in film package F OTR 35, stored under refrigeration (4°C) for 12 days in different modified atmospheres

Warunki pakowania z zastosowaniem folii F OTR 35 F OTR 35 film packaging conditions	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	pH	Zawartość ekstraktu Solid content (%)	Barwa Colour	Smak Taste	Zapach Odour	Tekstura Texture	Ocena ogólna Overall score
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bez zastosowanie mikroperforacji MP-0 – Without microperforation MP-0								
Powietrze Air MP-0	1 6 12	6,1 ±0,01 <sup>ab</sup> 6,5 ±0,04 <sup>f</sup> 6,7 ±0,05 <sup>g</sup>	12,5 ±0,49 <sup>de</sup> 12,1 ±0,15 <sup>abcde</sup> 10,8 ±0,75 <sup>abcd</sup>	5,0 ±0,1 <sup>ef</sup> 4,8 ±0,1 <sup>def</sup> –	4,2 ±0,2 <sup>efg</sup> 3,2 ±0,2 <sup>c</sup> –	4,0 ±0,2 <sup>fg</sup> 3,0 ±0,2 <sup>c</sup> –	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 4,5 ±0,2 <sup>def</sup> –	4,6 ±0,2 <sup>bijk</sup> 3,9 ±0,2 <sup>efg</sup> –
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-0	1 6 12	6,1 ±0,04 <sup>a</sup> 6,4 ±0,03 <sup>ef</sup> 6,9 ±0,07 <sup>b</sup>	12,7 ±0,25 <sup>e</sup> 12,0 ±0,42 <sup>abcde</sup> 10,3 ±0,2 <sup>a</sup>	4,5 ±0,1 <sup>bed</sup> – –	4,1 ±0,1 <sup>efg</sup> – –	4,0 ±0,2 <sup>fg</sup> – –	4,0 ±0,2 <sup>bc</sup> – –	4,2 ±0,2 <sup>efghi</sup> – –
55/10/35 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-0	1 6 12	6,2 ±0,01 <sup>abcd</sup> 6,3 ±0,02 <sup>cde</sup> 6,3 ±0,01 <sup>cde</sup>	12,5 ±0,32 <sup>de</sup> 11,6 ±0,26 <sup>abcde</sup> 11,3 ±0,2 <sup>abcde</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,8 ±0,2 <sup>def</sup> 4,5 ±0,1 <sup>bed</sup>	5,0 ±0,1 <sup>i</sup> 3,2 ±0,2 <sup>c</sup> 1,0 ±0,0 <sup>a</sup>	5,0 ±0,1 <sup>h</sup> 3,3 ±0,1 <sup>cd</sup> 1,0 ±0,0 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 4,0 ±0,2 <sup>bc</sup> 4,0 ±0,1 <sup>bc</sup>	5,0 ±0,1 <sup>k</sup> 3,8 ±0,2 <sup>ef</sup> 2,6 ±0,2 <sup>bb</sup>
Mikroperforacja MP-10 – Microperforation MP-10								
Powietrze Air MP-10	1 6 12	6,2 ±0,01 <sup>abcd</sup> 6,2 ±0,03 <sup>abc</sup> 6,3 ±0,05 <sup>de</sup>	12,3 ±0,2 <sup>bcde</sup> 11,7 ±0,56 <sup>abcde</sup> 10,6 ±0,72 <sup>abc</sup>	4,8 ±0,2 <sup>def</sup> 4,7 ±0,2 <sup>a</sup> 4,1 ±0,3 <sup>a</sup>	4,6 ±0,1 <sup>ghi</sup> 4,1 ±0,2 <sup>c</sup> 4,0 ±0,3 <sup>b</sup>	4,5 ±0,1 <sup>gh</sup> 4,2 ±0,2 <sup>c</sup> 4,1 ±0,1 <sup>b</sup>	4,4 ±0,2 <sup>cde</sup> 4,2 ±0,2 <sup>a</sup> 4,0 ±0,2 <sup>a</sup>	4,6 ±0,1 <sup>bijk</sup> 3,3 ±0,2 <sup>cd</sup> 2,8 ±0,2 <sup>bc</sup>

Tabela 4 cd. – Table 4 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-10	1 6 12	6,1 ±0,03 <sup>a</sup> 6,3 ±0,02 <sup>cde</sup> 6,2 ±0,05 <sup>bed</sup>	12,2 ±0,53 <sup>bcd</sup> 11,5 ±0,61 <sup>abcde</sup> 10,7 ±0,98 <sup>abcd</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,5 ±0,1 <sup>bed</sup>	5,0 ±0,1 <sup>i</sup> 4,6 ±0,1 <sup>ghi</sup> 4,0 ±0,2 <sup>def</sup>	4,8 ±0,1 <sup>h</sup> 4,5 ±0,1 <sup>gh</sup> 3,9 ±0,3 <sup>ef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 5,0 ±0,1 <sup>g</sup> 4,5 ±0,1 <sup>def</sup>	5,0 ±0,2 <sup>k</sup> 4,8 ±0,1 <sup>jk</sup> 4,2 ±0,2 <sup>ighi</sup>
55/10/35 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-10	1 6 12	6,2 ±0,01 <sup>abcd</sup> 6,1 ±0,05 <sup>ab</sup> 6,3 ±0,04 <sup>cde</sup>	12,4 ±0,66 <sup>cde</sup> 11,9 ±0,29 <sup>abcde</sup> 10,8 ±0,85 <sup>abcd</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,7 ±0,1 <sup>cdef</sup>	4,8 ±0,2 <sup>hi</sup> 4,0 ±0,3 <sup>def</sup> 3,9 ±0,2 <sup>de</sup>	4,5 ±0,2 <sup>gh</sup> 4,0 ±0,2 <sup>fg</sup> 3,8 ±0,3 <sup>def</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 5,0 ±0,1 <sup>g</sup> 4,1 ±0,1 <sup>bcd</sup>	4,8 ±0,1 <sup>jk</sup> 4,5 ±0,2 <sup>hijk</sup> 4,1 ±0,2 <sup>efgh</sup>
Mikroperforacja MP-20 – Microperforation MP-20								
Powietrze Air MP-20	1 6 12	6,2 ±0,03 <sup>abc</sup> 6,1 ±0,01 <sup>ab</sup> 6,3 ±0,01 <sup>cde</sup>	12,3 ±0,76 <sup>bcd</sup> 11,7 ±0,72 <sup>abcde</sup> 10,6 ±0,71 <sup>abc</sup>	4,8 ±0,2 <sup>def</sup> 3,9 ±0,2 <sup>a</sup> 3,9 ±0,2 <sup>a</sup>	4,3 ±0,2 <sup>efgh</sup> 3,0 ±0,2 <sup>c</sup> 1,0 ±0,2 <sup>a</sup>	4,1 ±0,2 <sup>fg</sup> 3,0 ±0,2 <sup>c</sup> 1,0 ±0,3 <sup>a</sup>	4,6 ±0,1 <sup>efg</sup> 3,0 ±0,3 <sup>a</sup> 3,0 ±0,2 <sup>a</sup>	4,5 ±0,1 <sup>hijk</sup> 3,2 ±0,2 <sup>c</sup> 2,2 ±0,2 <sup>a</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-20	1 6 12	6,1 ±0,01 <sup>ab</sup> 6,3 ±0,04 <sup>cde</sup> 6,2 ±0,05 <sup>bcd</sup>	12,3 ±0,4 <sup>bcd</sup> 11,3 ±0,46 <sup>abcde</sup> 10,5 ±0,94 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,7 ±0,1 <sup>cdef</sup> 4,4 ±0,2 <sup>bc</sup>	4,5 ±0,0 <sup>ghi</sup> 4,2 ±0,2 <sup>efg</sup> 3,8 ±0,2 <sup>de</sup>	4,5 ±0,1 <sup>gh</sup> 4,0 ±0,2 <sup>fg</sup> 3,8 ±0,1 <sup>def</sup>	4,9 ±0,1 <sup>f</sup> 4,6 ±0,1 <sup>ef</sup> 4,1 ±0,1 <sup>bed</sup>	4,7 ±0,1 <sup>ijk</sup> 4,4 ±0,2 <sup>ghij</sup> 4,0 ±0,1 <sup>efg</sup>
55/10/35 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-20	1 6 12	6,3 ±0,02 <sup>cde</sup> 6,2 ±0,01 <sup>abcd</sup> 6,4 ±0,02 <sup>ef</sup>	12,3 ±0,7 <sup>bcd</sup> 11,4 ±0,5 <sup>abcde</sup> 10,6 ±0,71 <sup>abc</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,6 ±0,1 <sup>cde</sup> 4,2 ±0,2 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,1 <sup>i</sup> 5,0 ±0,1 <sup>i</sup> 4,2 ±0,1 <sup>cd</sup>	5,0 ±0,1 <sup>h</sup> 5,0 ±0,1 <sup>h</sup> 4,2 ±0,1 <sup>cde</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 4,6 ±0,1 <sup>efg</sup> 3,8 ±0,2 <sup>b</sup>	5,0 ±0,1 <sup>k</sup> 4,8 ±0,2 <sup>hjk</sup> 3,7 ±0,2 <sup>de</sup>

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .  
The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 5.** Właściwości fizykochemiczne oraz noty oceny sensorycznej jarmużu o małym stopniu przetworzenia zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 2500, przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, w warunkach chłodniczych (4°C)  
**Table 5.** The physicochemical properties and sensory evaluation of minimally processed kale in film package F OTR 2500, stored under refrigeration (4°C) for 12 days in different modified atmospheres

Warunki pakowania z zastosowaniem folii F OTR 2500 F OTR 2500 film packaging conditions	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	pH	Zawartość ekstraktu Solid content (%)	Barwa Colour	Smak Taste	Zapach Odour	Tekstura Texture	Ocena ogólna Overall score
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bez mikroperforacji MP-0 – Without microperforation MP-0								
Powietrze Air MP-0	1 6 12	6,1 ±0,02 <sup>ab</sup> 6,1 ±0,06 <sup>ab</sup> 6,3 ±0,03 <sup>cd</sup>	12,2 ±0,55 <sup>bcd</sup> 12,1 ±0,46 <sup>bcd</sup> 10,8 ±0,91 <sup>abc</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,1 <sup>ef</sup> 4,8 ±0,1 <sup>ef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 4,9 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,3 ±0,2 <sup>cde</sup>	4,7 ±0,2 <sup>fgh</sup> 4,5 ±0,2 <sup>efgh</sup> 4,3 ±0,3 <sup>defg</sup>	5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 4,9 ±0,2 <sup>de</sup> 4,6 ±0,1 <sup>bcd</sup>	4,9 ±0,2 <sup>fg</sup> 4,8 ±0,2 <sup>fg</sup> 4,5 ±0,3 <sup>def</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-0	1 6 12	6,0 ±0,03 <sup>a</sup> 6,1 ±0,03 <sup>ab</sup> 6,2 ±0,04 <sup>bc</sup>	12,2 ±0,21 <sup>bcd</sup> 11,6 ±0,5 <sup>abcd</sup> 10,6 ±0,21 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,5 ±0,1 <sup>cd</sup> –	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 3,0 ±0,3 <sup>a</sup> –	4,6 ±0,2 <sup>efgh</sup> 3,0 ±0,3 <sup>a</sup> –	5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 4,3 ±0,1 <sup>ab</sup> –	4,9 ±0,0 <sup>fg</sup> 3,7 ±0,4 <sup>ab</sup> –
55/10/35 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-0	1 6 12	6,0 ±0,02 <sup>a</sup> 6,4 ±0,02 <sup>d</sup> 6,3 ±0,03 <sup>cd</sup>	12,6 ±0,76 <sup>d</sup> 12,4 ±0,61 <sup>cd</sup> 11,4 ±0,35 <sup>abcd</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,1 <sup>ef</sup> 4,8 ±0,2 <sup>ef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 4,9 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,5 ±0,2 <sup>def</sup>	4,8 ±0,3 <sup>fgh</sup> 4,7 ±0,2 <sup>fgh</sup> 4,2 ±0,4 <sup>def</sup>	5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 4,7 ±0,2 <sup>cde</sup>	5,0 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,9 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,6 ±0,2 <sup>efg</sup>
Mikroperforacja MP-10 – Microperforation MP-10								
Powietrze Air MP-10	1 6 12	6,1 ±0,02 <sup>ab</sup> 6,1 ±0,04 <sup>ab</sup> 6,2 ±0,04 <sup>bc</sup>	12,4 ±0,9 <sup>cd</sup> 11,3 ±0,79 <sup>abcd</sup> 10,8 ±0,17 <sup>abc</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,8 ±0,1 <sup>ef</sup> 4,7 ±0,1 <sup>de</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 4,3 ±0,3 <sup>cde</sup> 3,8 ±0,2 <sup>b</sup>	4,8 ±0,1 <sup>fgh</sup> 4,0 ±0,2 <sup>cd</sup> 3,5 ±0,3 <sup>bc</sup>	5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 4,7 ±0,1 <sup>cde</sup> 4,6 ±0,1 <sup>bcd</sup>	5,0 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,5 ±0,2 <sup>def</sup> 4,2 ±0,2 <sup>cde</sup>

Tabela 5 cd. – Table 5 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-10	1 6 12	6,1 ±0,03ab 6,1 ±0,02ab 6,1 ±0,03ab	12,3 ±0,81 <sup>bcd</sup> 11,3 ±0,87 <sup>abcd</sup> 10,6 ±0,21 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,2 <sup>ef</sup> 4,9 ±0,1 <sup>ef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 4,6 ±0,2 <sup>defg</sup>	4,9 ±0,1 <sup>gh</sup> 4,8 ±0,2 <sup>fgh</sup> 4,5 ±0,2 <sup>defgh</sup>	5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 4,9 ±0,1 <sup>de</sup> 4,8 ±0,2 <sup>cde</sup>	5,0 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,9 ±0,2 <sup>fg</sup> 4,7 ±0,2 <sup>fg</sup>
55/10/35 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-10	1 6 12	6,0 ±0,1 <sup>a</sup> 6,2 ±0,05 <sup>bc</sup> 6,3 ±0,01 <sup>cd</sup>	12,2 ±0,15 <sup>bcd</sup> 11,9 ±0,66 <sup>abcd</sup> 11,0 ±0,42 <sup>abcd</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,9 ±0,1 <sup>ef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 5,0 ±0,1 <sup>g</sup> 4,5 ±0,2 <sup>def</sup>	5,0 ±0,0 <sup>h</sup> 4,8 ±0,2 <sup>fgh</sup> 4,7 ±0,2 <sup>fgh</sup>	5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 4,8 ±0,2 <sup>cde</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 5,0 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,7 ±0,1 <sup>fg</sup>
Mikroperforacja MP-20 – Microperforation MP-20								
Powietrze Air MP-20	1 6 12	6,1 ±0,03ab 6,1 ±0,04ab 6,2 ±0,07 <sup>bc</sup>	12,3 ±0,21 <sup>bcd</sup> 10,7 ±0,47 <sup>abc</sup> 10,3 ±0,15 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,4 ±0,1 <sup>bc</sup>	4,7 ±0,0 <sup>efg</sup> 4,6 ±0,1 <sup>defg</sup> 4,0 ±0,1 <sup>bc</sup>	4,6 ±0,1 <sup>defgh</sup> 4,6 ±0,1 <sup>defgh</sup> 4,1 ±0,2 <sup>cde</sup>	5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 5,0 ±0,1 <sup>e</sup> 4,5 ±0,1 <sup>bc</sup>	4,8 ±0,2 <sup>fg</sup> 4,8 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,2 ±0,1 <sup>cde</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-20	1 6 12	6,1 ±0,01 <sup>ab</sup> 6,1 ±0,03ab 6,3 ±0,01 <sup>cd</sup>	12,4 ±0,25 <sup>cd</sup> 11,5 ±0,8 <sup>abcd</sup> 10,8 ±0,21 <sup>abc</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,7 ±0,1 <sup>de</sup> 4,1 ±0,1 <sup>a</sup>	4,9 ±0,0 <sup>fg</sup> 3,3 ±0,2 <sup>a</sup> 2,9 ±0,1 <sup>a</sup>	4,7 ±0,1 <sup>fgh</sup> 3,2 ±0,2 <sup>b</sup> 2,5 ±0,2 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,1 <sup>e</sup> 4,6 ±0,1 <sup>bcd</sup> 4,0 ±0,1 <sup>a</sup>	4,8 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,0 ±0,2 <sup>bc</sup> 3,4 ±0,1 <sup>a</sup>
55/10/35 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) MP-20	1 6 12	6,1 ±0,03ab 6,3 ±0,01 <sup>cd</sup> 6,4 ±0,03 <sup>d</sup>	12,1 ±0,68 <sup>bcd</sup> 11,5 ±0,67 <sup>abcd</sup> 10,7 ±0,42 <sup>abc</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,2 ±0,2 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 4,9 ±0,1 <sup>fg</sup> 4,2 ±0,1 <sup>bcd</sup>	5,0 ±0,0 <sup>h</sup> 4,9 ±0,1 <sup>gh</sup> 4,2 ±0,2 <sup>def</sup>	5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 5,0 ±0,0 <sup>e</sup> 4,0 ±0,1 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>g</sup> 5,0 ±0,2 <sup>fg</sup> 4,1 ±0,1 <sup>bcd</sup>

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .  
The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .



Zastosowanie mikroperforacji materiału opakowaniowego przy pakowaniu produktów oddychających jest alternatywą tradycyjnej atmosfery modyfikowanej wykorzystującej folię opakowaniową lite o zdefiniowanej przepuszczalności dla gazów (Montanez i in., 2010). Gradient dyfuzji tlenu i ditlenku węgla przez folię poddaną mikroperforacji zależy zarówno od ilości i wielkości mikrootworów, jak i od stężenia wymienionych gazów w opakowaniu, przy czym w przypadku produktów zachowujących żywą tkankę konieczne jest również uwzględnienie zmian stężenia tlenu i ditlenku węgla spowodowanych procesami oddechowymi (Ozdemir i in., 2005; Gonzalez-Buesa i in., 2009; Montanez i in., 2010).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie mikroperforacji może istotnie poprawiać jakość jarmużu przy zastosowaniu materiału opakowaniowego o niskiej przepuszczalności tlenu. Taki sposób pakowania był korzystny szczególnie przy zastosowaniu atmosfery o niskim początkowym stężeniu tlenu (10%) oraz mikroperforacji MP-10. Mikroperforacja MP-20 na skutek zbyt dużej możliwości wymiany gazowej spowodowała utratę atmosfery modyfikowanej w opakowaniu, co niekorzystnie wpłynęło na jakość produktu. Połączenie zastosowania mikroperforacji materiału opakowaniowego MP-10 i atmosfery o wysokiej zawartości tlenu badano w kolejnej części badań.

#### **4.1.3. Ocena wpływu przechowywania w atmosferze o wysokiej zawartości tlenu na jakość sensoryczną i właściwości fizykochemiczne jarmużu**

W kolejnym etapie badań nad wpływem warunków pakowania na jakość jarmużu o małym stopniu przetworzenia do pakowania produktu umieszczonego na taczkach PP zastosowano atmosfery wysokotlenowe o składzie: 30/10/60, 55/10/35, 80/10/10, 95/5/0 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz atmosferę powietrza. Próby zamknięto folią F OTR 1,5, F OTR 35 oraz F OTR 2500.

Ponadto w badaniach zastosowano folię F OTR 3,5, stosując składy atmosfery jak dla folii F OTR 1,5 (30/10/60, 55/10/35, 80/10/10, odpowiednio %O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), jednakże uzyskane wyniki jakości badanych prób nie różniły się istotnie ( $p < 0,05$ ) od jakości uzyskanej przy zastosowaniu folii F OTR 1,5, dlatego ich nie zaprezentowano. W dalszych etapach badań nie wykorzystywano ww. folii.

Początkowa koncentracja gazu w produktach pakowanych w modyfikowanej atmosferze znacznie wpływa na ich tempo metabolizmu, i co się z tym wiąże, na tempo zmian jakościowych pakowanych surowców. Atmosfera modyfikowana o wysokiej zawartości tlenu może być alternatywą tradycyjnej atmosfery modyfikowanej, o udziale tlenu na poziomie 1–3% i ditlenku węgla 3–10%, stosowanej do pakowania owoców i warzyw (Day, 1996; Allende i in., 2002). Wysokie stężenia

tlenu (50–90%), wg danych literaturowych, mogą powodować tak zwany szok tlenowy, który zwalnia procesy oddechowe tkanek, zapobiega oddychaniu beztlenowemu i hamuje rozwój mikroorganizmów (Day, 2000; Limbo i Piergiovani, 2006). Jaxsens i in. (2001) podają, że atmosfera wysokotlenowa stanowi alternatywę dla atmosfery o niskiej zawartości tlenu, hamując m.in. tempo procesów fizjologicznych produktu. Według Allende i in. (2004) zastosowanie wysokiej zawartości tlenu w opakowaniu łagodzi skutki zranienia tkanki i korzystnie wpływa na ogólną jakość produktu. Zastosowanie atmosfery modyfikowanej o wysokiej zawartości tlenu może ograniczać rozwój mikroorganizmów oraz tempo procesów fizjologicznych produktu (Jaxsens i in., 2001; 2002). Według Kadera i Ben-Yehoshua (2000) zastosowanie atmosfery o podwyższonej zawartości tlenu do pakowania mało przetworzonych owoców i warzyw, może stymulować, redukować lub pozostawać bez wpływu na brązowienie enzymatyczne, produkcję metabolitów fermentacyjnych, a także utratę ogólnej jakości sensorycznej. Zależy to od produktu, stężenia tlenu, czasu i temperatury przechowywania, zawartości ditlenku węgla oraz koncentracji etylenu. Wszystkie te czynniki, a zwłaszcza rodzaj surowca i stopień jego przetworzenia, są bardzo istotne w końcowej jakości produktu (Radziejewska-Kubzdela i Biegańska-Marecik, 2009).

W przypadku zastosowania atmosfery wysokotlenowej dobór materiału opakowaniowego wydaje się prostszy niż w przypadku tradycyjnej atmosfery. Wynika to z braku zagrożenia powstania warunków beztlenowych w opakowaniach o niskiej przepuszczalności dla gazów oraz stopniowego obniżania stężenia tlenu w czasie przechowywania w opakowaniach o wysokiej przepuszczalności, co również wydaje się być aspektem korzystnym. Jednakże przy zastosowaniu atmosfer wysokotlenowych bardzo istotne są zmiany stężenia ditlenku węgla w opakowaniu. Przy niskiej przepuszczalności opakowania dla gazów brak możliwości migracji ditlenku węgla powoduje nadmierne jego nagromadzenie w opakowaniu. Rośliny często wykazują znaczną wrażliwość na wysokie stężenia ditlenku węgla objawiającą się uszkodzeniami fizjologicznymi i w konsekwencji pogorszeniem jakości sensorycznej, a ten fakt pociąga za sobą intensywny rozwój mikroorganizmów oraz często straty związków biologicznie aktywnych. Wrażliwość na wysokie stężenia ditlenku węgla jest w dużym stopniu cechą gatunkową. Jednakże istotne znaczenie ma również sposób obróbki wstępnej surowca oraz stopień jego rozdrobnienia. Zastosowanie opakowania o wysokiej przepuszczalności eliminuje problem nadmiernego nagromadzenia w opakowaniu ditlenku węgla oraz pozwala na dłuższe utrzymanie wysokiej jakości sensorycznej produktu. Jednak optymalizacja warunków pakowania musi odbywać się indywidualnie dla każdego surowca i rodzaju produktu.

W przypadku pakowania jarmużu zastosowane tacki miały bardzo niską przepuszczalność dla gazów (tacki PP OTR 7–8 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm.), tak więc przepuszczalność

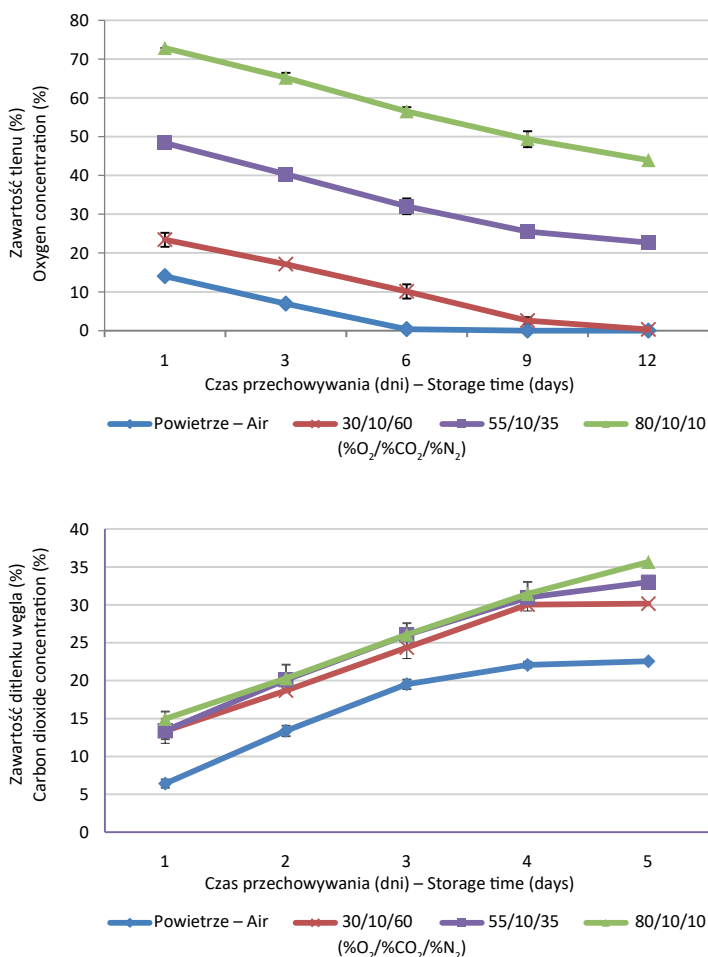
opakowania zwiększano jedynie poprzez zastosowanie odpowiedniej folii zamykającej tackę.

Tendencje zmian zawartości tlenu i ditlenku węgla w analizowanych próbach były zbliżone do odnotowanych wcześniej w podobnych warunkach pakowania. Przy zastosowaniu folii F OTR 1,5 odnotowano szybki spadek zawartości tlenu w opakowaniach oraz wzrost stężenia ditlenku węgla (ryc. 8). Przy zastosowaniu atmosfer o początkowej zawartości tlenu 55% i 80% obecność tlenu w opakowaniu notowano przez cały okres przechowywania produktu (12 dni). Jego stężenie wynosiło odpowiednio 22% i 45%. Natomiast w przypadku zastosowania atmosfery o początkowej zawartości tlenu 30%, która zawierała zwiększoną zawartość tlenu w stosunku do powietrza, jednak nie była typową atmosferą wysokotlenową, po 9 dniach przechowywania jego zawartość zbliżyła się do zera (0,58%). Zawartość ditlenku węgla wzrastała liniowo we wszystkich próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej do 9 dnia przechowywania, natomiast w próbie zapakowanej w powietrzu do 6 dnia przechowywania (ryc. 8).

Przy dłuższym przechowywaniu tempo wytwarzania ditlenku węgla wszystkich prób było mniejsze, szczególnie dla próby zapakowanej w powietrzu, w której warunki beztlenowe wytworzone po 6 dniach przechowywania spowodowały wolniejsze tempo wytwarzania ditlenku węgla. Końcowa zawartość ditlenku węgla, po 12 dniach przechowywania, wynosiła od 30% do 36% w opakowaniach prób zapakowanych w atmosferze modyfikowanej oraz 23% w opakowaniach prób zapakowanych w powietrzu (ryc. 8).

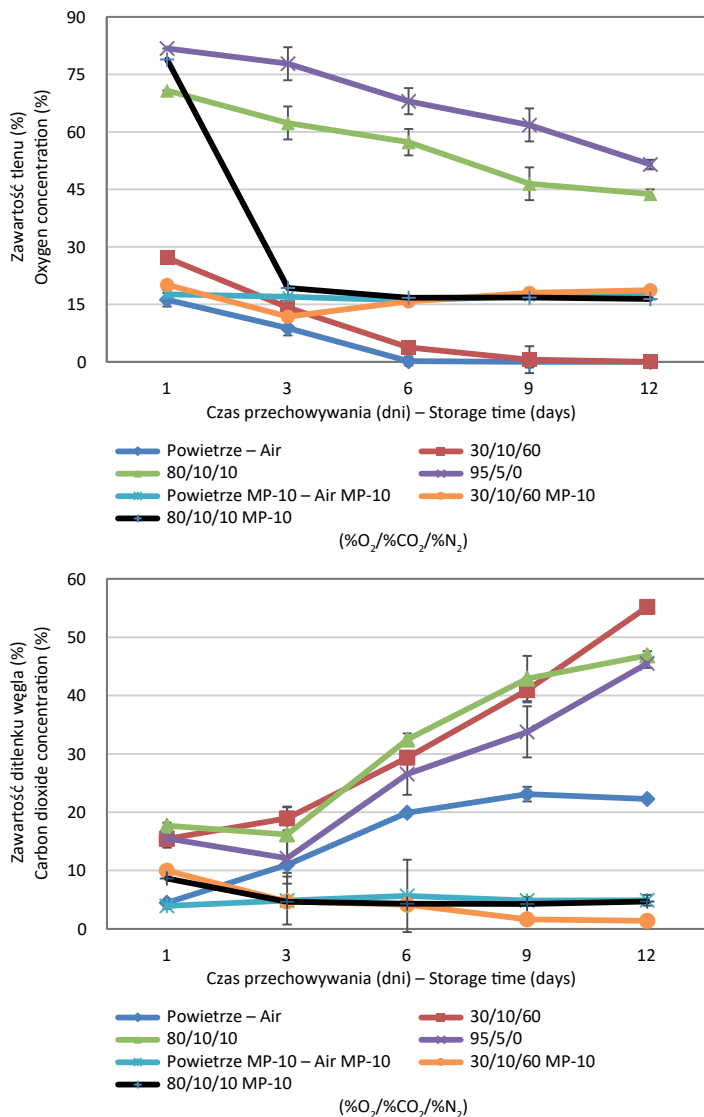
Niewielka różnica w przepuszczalności dla gazów folii F OTR 1,5 i F OTR 35 wpłynęła na podobny charakter zmian tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach prób zapakowanych z użyciem tych folii. Jednakże dotyczyło to wariantów bez zastosowania mikroperforacji. W próbach zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 35 bez mikroperforacji i początkowej zawartości tlenu 80% i 95% w czasie 12 dni przechowywania odnotowano równomierny spadek zawartości tlenu, do wartości odpowiednio 39% i 47%, natomiast w próbie o 30-procentowej początkowej zawartości tlenu oraz zapakowanej w atmosferze powietrza po 6 dniach odnotowano poziom tlenu zbliżony do zera (ryc. 9).

We wszystkich opakowaniach prób zamkniętych folią F OTR 35 bez mikroperforacji odnotowano istotny wzrost zawartości ditlenku węgla w czasie przechowywania (ryc. 9). Jednakże w próbach o 80- i 95-procentowej początkowej zawartości tlenu po 12 dniach przechowywania odnotowano niższe stężenie ditlenku węgla (ok. 47%), natomiast w próbie zapakowanej w atmosferze z 30-procentowym udziałem tlenu stężenie to wynosiło 55%. Wskazuje to na zahamowanie tempa procesów fizjologicznych w próbach o szokowo wysokim stężeniu tlenu (80 i 5%). Próba zapakowana w powietrzu charakteryzowała się wzrostem zawartości ditlenku węgla do 9



**Ryc. 8.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 1,5 bez mikroperforacji  
**Fig. 8.** The content of oxygen and carbon dioxide in film package (F OTR 1.5 without microperforation) with kale stored for 12 days in different modified atmospheres

dnia przechowywania, po czym, po 12 dniach przechowywania, nastąpił nieznaczny spadek stężenia do wartości 22%. Jacxsens i in. (2001), stosując do pakowania minimalnie przetworzonych produktów: selera, grzybów i endywii atmosferę wysokotlenową o 95-procentowej zawartości  $O_2$  oraz barierową folię opakowaniową, uzyskali różne tempo spadku zawartości tlenu, zależnie od rodzaju surowca. Jednocześnie dla wszystkich prób w czasie 7 dni ich przechowywania odnotowali wzrost zawartości  $CO_2$  do wartości mieszczącej się w zakresie od 45,5% do 47,5%.



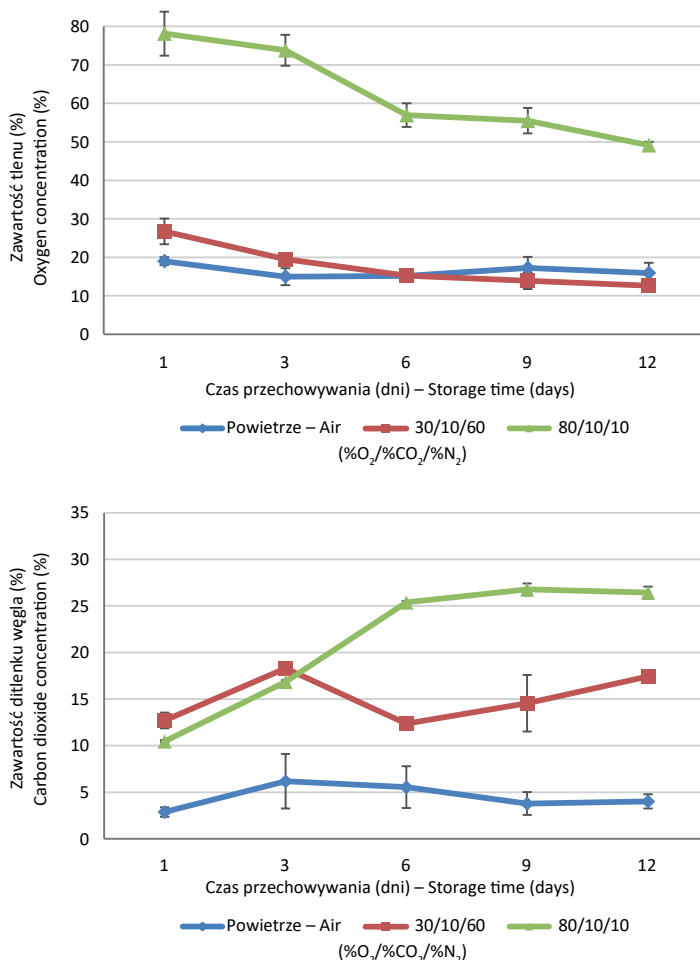
**Ryc. 9.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jaruzem w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 35 niepoddanej mikroperforacji oraz z mikroperforacją MP-10

**Fig. 9.** The content of oxygen and carbon dioxide in film packages (F OTR 35 without microperforation and with microperforation MP-10) with kale stored for 12 days in different modified atmospheres

Opakowania z jarmużem zamknięte folią F OTR 35 poddaną mikroperforacji MP-10 odznaczały się odmiennym charakterem zmian stężenia tlenu i ditlenku węgla. Zawartość tlenu w tych próbach (powietrze oraz atmosfery o 30- i 80-procentowym stężeniu  $O_2$  przy 10-procentowym stężeniu  $CO_2$ ) już po 3 dniach przechowywania była bardzo zbliżona i wynosiła ok. 16%. Taki poziom tlenu utrzymał się w opakowaniach wymienionych prób do końca okresu przechowywania. Stężenie ditlenku węgla w wymienionych próbach zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji istotnie zmniejszało się od 1 do 12 dnia przechowywania, osiągając po 12 dniach wartości od 1,2% do 5% (ryc. 9).

Zmiany zawartości gazów w opakowaniu F OTR 2500 przy zastosowaniu pakowania w powietrzu były nieznaczne, stężenie tlenu od 1 do 12 dnia spadło z 29% do 17% (ryc. 10). Podobny charakter zmian odnotowano w opakowaniach próby przechowywanej w atmosferze o składzie 30/10/10 (% $O_2$ /% $CO_2$ /% $N_2$ ), w którym od 1 do 12 dnia przechowywania stężenie tlenu zmniejszyło się z 28% do 12%. W przypadku jarmużu zapakowanego w atmosferze wysokotlenowej (80% tlenu, 10% ditlenku węgla) zawartość tlenu również spadała w czasie przechowywania i po 12 dniach wynosiła 49%. Natomiast zawartość ditlenku węgla w wymienionych próbach wzrastała w czasie przechowywania (ryc. 10). W próbie zapakowanej w atmosferze o 30-procentowej zawartości tlenu oraz w powietrzu odnotowano najpierw wzrost zawartości ditlenku węgla do 3 dnia przechowywania, następnie jego spadek, przy czym w próbie zapakowanej w powietrzu niewielki spadek utrzymał się do końca przechowywania produktu, natomiast w próbie zapakowanej w atmosferze o składzie 30/10/10 (% $O_2$ /% $CO_2$ /% $N_2$ ) po 3 dniach nastąpił wzrost zawartości stężenia ditlenku węgla. W efekcie końcowe zawartości  $CO_2$  w opakowaniach tych prób wynosiły odpowiednio 4%, 2% i 17%. W opakowaniu próby zapakowanej w atmosferze o składzie 80/10/10 (% $O_2$ /% $CO_2$ /% $N_2$ ) odnotowano intensywny wzrost  $CO_2$  do wartości 25,5% po 6 dniach przechowywania, po czym zbliżone stężenie utrzymywało się do końca przechowywania próby.

Na podstawie przeprowadzonej oceny sensorycznej najlepszą jakość prób przy zastosowaniu ww. warunków pakowania odnotowano w przypadku jarmużu zapakowanego w atmosferze o składzie 80/10/10 (% $O_2$ /% $CO_2$ /% $N_2$ ) i folii F OTR 35 bez mikroperforacji oraz F OTR 2500. Wysoką jakością charakteryzowała się również próba o początkowej 95-procentowej zawartości tlenu przy zastosowaniu folii F OTR 2500 (tab. 6). Wymienione próby uzyskały po 12 dniach przechowywania noty ogólnej oceny sensorycznej wynoszące 4,7. Dobrą jakością sensoryczną (noty od 4,0 do 4,3) po 12 dniach przechowywania zachowały również próby zapakowane z zastosowaniem folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji, zarówno zapakowane w atmosferze powietrza, jak i przy 30- i 80-procentowej początkowej zawartości tlenu w opakowaniu ( $CO_2$  10%) oraz próby zapakowane w zastosowaniu folii



**Ryc. 10.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 2500, niepoddanej mikroperforacji

**Fig. 10.** The content of oxygen and carbon dioxide in film package (F OTR 2500 without microperforation) with kale stored for 12 days in different modified atmospheres

F OTR 2500 w atmosferze powietrza i 30/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>). Przykłady korzystnego wpływu zastosowania atmosfery wysokotlenowej na jakość produktów roślinnych potwierdzają inne prowadzone badania. Radziejewska-Kubzdela i Czaczyk (2017) uzyskały dobrą jakość sensoryczną surówki coleslaw przy zastosowaniu wysokotlenowej atmosfery modyfikowanej, 70% O<sub>2</sub> i 30% CO<sub>2</sub>, stosując jako zamknięcie tacek z produktem barierowy materiał poddany mikroperforacji. Amanatidou i in.





Tabela 6 cd. – Table 6 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Folia opakowaniowa F OTR 35 – Packaging film F OTR 35								
Powietrze	1	5,8 ± 0,03 <sup>d</sup>	12,3 ± 0,81 <sup>g</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>f</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	6,1 ± 0,02 <sup>g</sup>	11,3 ± 0,87 <sup>bcdefg</sup>	4,5 ± 0,0 <sup>c</sup>	5,0 ± 0,1 <sup>d</sup>	4,0 ± 0,5 <sup>c</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	4,5 ± 0,3 <sup>cde</sup>
Air	12	6,1 ± 0,03 <sup>g</sup>	10,6 ± 0,21 <sup>abc</sup>	–	–	–	–	–
Without microperforation MP-0	1	5,7 ± 0,02 <sup>c</sup>	12,4 ± 0,9 <sup>g</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	4,8 ± 0,1 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	5,0 ± 0,1 <sup>f</sup>
30/10/60	6	6,1 ± 0,04 <sup>g</sup>	11,3 ± 0,79 <sup>bcdefg</sup>	4,8 ± 0,1 <sup>c</sup>	4,3 ± 0,3 <sup>bc</sup>	4,0 ± 0,2 <sup>c</sup>	4,7 ± 0,1 <sup>cd</sup>	4,5 ± 0,2 <sup>cd</sup>
(%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	12	6,2 ± 0,04 <sup>h</sup>	10,8 ± 0,17 <sup>abcd</sup>	3,7 ± 0,1 <sup>ab</sup>	2,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,3 <sup>a</sup>	3,6 ± 0,1 <sup>a</sup>	3,2 ± 0,2 <sup>a</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	1	5,6 ± 0,1 <sup>b</sup>	12,2 ± 0,15 <sup>fg</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>f</sup>
(%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	6	6,2 ± 0,05 <sup>h</sup>	11,9 ± 0,66 <sup>defg</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,1 <sup>d</sup>	4,8 ± 0,2 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	5,0 ± 0,1 <sup>f</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	12	6,3 ± 0,01 <sup>i</sup>	11,0 ± 0,42 <sup>abcde</sup>	4,9 ± 0,1 <sup>d</sup>	4,5 ± 0,2 <sup>c</sup>	4,7 ± 0,2 <sup>d</sup>	4,8 ± 0,1 <sup>de</sup>	4,7 ± 0,1 <sup>def</sup>
Without microperforation MP-0	1	5,9 ± 0,05 <sup>e</sup>	11,5 ± 0,89 <sup>bcdefg</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	4,9 ± 0,1 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	5,0 ± 0,1 <sup>f</sup>
95/5/0	6	6,2 ± 0,09 <sup>h</sup>	10,5 ± 0,12 <sup>abc</sup>	5,0 ± 0,1 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	4,8 ± 0,2 <sup>d</sup>	4,9 ± 0,1 <sup>de</sup>	4,9 ± 0,2 <sup>ef</sup>
(%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	12	6,1 ± 0,05 <sup>g</sup>	10,1 ± 0,46 <sup>g</sup>	3,9 ± 0,1 <sup>b</sup>	4,0 ± 0,2 <sup>b</sup>	3,0 ± 0,2 <sup>b</sup>	4,5 ± 0,2 <sup>c</sup>	3,9 ± 0,2 <sup>b</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	1	5,4 ± 0,03 <sup>a</sup>	10,7 ± 0,83 <sup>abc</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>f</sup>
Powietrze	6	6,1 ± 0,05 <sup>g</sup>	11,0 ± 0,79 <sup>abcde</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	4,0 ± 0,5 <sup>b</sup>	4,0 ± 0,2 <sup>c</sup>	4,0 ± 0,2 <sup>b</sup>	4,3 ± 0,3 <sup>c</sup>
Mikroperforacja MP-10	12	6,2 ± 0,06 <sup>h</sup>	10,0 ± 0,36 <sup>g</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	4,0 ± 0,7 <sup>b</sup>	4,0 ± 0,7 <sup>c</sup>	4,0 ± 0,3 <sup>b</sup>	4,3 ± 0,3 <sup>c</sup>
Air	1	5,9 ± 0,02 <sup>c</sup>	12,4 ± 0,97 <sup>g</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>f</sup>
Without microperforation MP-10	6	6,1 ± 0,06 <sup>g</sup>	12,0 ± 0,17 <sup>efg</sup>	4,5 ± 0,5 <sup>c</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	4,9 ± 0,1 <sup>ef</sup>
30/10/60	12	6,0 ± 0,04 <sup>f</sup>	11,6 ± 0,81 <sup>cdefg</sup>	3,5 ± 0,5 <sup>a</sup>	4,0 ± 0,3 <sup>b</sup>	3,0 ± 0,4 <sup>b</sup>	4,5 ± 0,1 <sup>c</sup>	3,8 ± 0,3 <sup>b</sup>
(%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	5,9 ± 0,02 <sup>c</sup>	12,4 ± 0,97 <sup>g</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>f</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	6,1 ± 0,06 <sup>g</sup>	12,0 ± 0,17 <sup>efg</sup>	4,5 ± 0,5 <sup>c</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>d</sup>	5,0 ± 0,0 <sup>e</sup>	4,9 ± 0,1 <sup>ef</sup>
Without microperforation MP-10	12	6,0 ± 0,04 <sup>f</sup>	11,6 ± 0,81 <sup>cdefg</sup>	3,5 ± 0,5 <sup>a</sup>	4,0 ± 0,3 <sup>b</sup>	3,0 ± 0,4 <sup>b</sup>	4,5 ± 0,1 <sup>c</sup>	3,8 ± 0,3 <sup>b</sup>

Tabela 6 cd. – Table 6 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Mikroperforacja MP-10 Microperforation MP-10	1 6 12	5,4 ±0,03 <sup>a</sup> 6,1 ±0,03 <sup>g</sup> 6,3 ±0,04 <sup>i</sup>	11,6 ±0,60 <sup>cddefg</sup> 11,1 ±0,0 <sup>abcdef</sup> 10,4 ±0,87 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 5,0 ±0,0 <sup>d</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 4,0 ±0,1 <sup>b</sup> 4,0 ±0,1 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 4,0 ±0,2 <sup>c</sup> 4,0 ±0,6 <sup>c</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 4,0 ±0,1 <sup>b</sup> 4,0 ±0,6 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,3 ±0,2 <sup>c</sup> 4,3 ±0,3 <sup>c</sup>
Folia opakowaniowa F OTR 2500 – Packaging film F OTR 2500								
Powietrze Bez mikroperforacji MP-0 Air Without microperforation MP-0	1 6 12	6,2 ±0,01 <sup>c</sup> 6,3 ±0,02 <sup>c</sup> 6,4 ±0,04 <sup>a</sup>	15,9 ±0,49 <sup>a</sup> 15,8 ±0,2 <sup>a</sup> 14,8 ±0,72 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,1 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,0 ±0,0 <sup>b,c</sup> 3,9 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,3 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,0 <sup>b</sup>
30/10/60 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Bez mikroperforacji MP-0 Without microperforation MP-0	1 6 12	6,1 ±0,03 <sup>d</sup> 6,3 ±0,08 <sup>c</sup> 6,4 ±0,07 <sup>a</sup>	15,4 ±1,68 <sup>a</sup> 11,1 ±0,52 <sup>b</sup> 10,2 ±0,40 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 5,0 ±0,0 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,5 ±0,0 <sup>c</sup> 4,0 ±0,2 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,5 ±0,0 <sup>d,e</sup> 4,0 ±0,5 <sup>b,c</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,1 ±0,1 <sup>c</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,7 ±0,1 <sup>a</sup> 4,3 ±0,2 <sup>b</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Bez mikroperforacji MP-0 Without microperforation MP-0	1 6 12	6,0 ±0,02 <sup>b</sup> 6,0 ±0,04 <sup>b</sup> 6,4 ±0,03 <sup>a</sup>	15,2 ±0,25 <sup>a</sup> 13,1 ±0,61 <sup>c</sup> 10,4 ±1,59 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 5,0 ±0,0 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,9 ±0,1 <sup>a</sup> 4,5 ±0,5 <sup>c</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,8 ±0,3 <sup>ae</sup> 4,3 ±0,2 <sup>cd</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 5,0 ±0,0 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>a</sup> 4,9 ±0,1 <sup>a</sup> 4,7 ±0,3 <sup>a</sup>

Wartości w kolumnach (dla danej folii opakowaniowej) oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .  
The mean values in columns (for each packaging material) marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

(1999; 2000) wykazali, że jakość mało przetworzonej marchwi pakowanej w atmosferze modyfikowanej zawierającej 50% O<sub>2</sub> i 30% CO<sub>2</sub> była porównywalna lub lepsza niż pakowanej w atmosferze o zawartości 1% O<sub>2</sub> i 10% CO<sub>2</sub>.

Najniższą jakością sensoryczną w niniejszych badaniach charakteryzowały się próby zapakowane z zastosowaniem folii F OTR 1,5, co wynikało z wytworzenia wewnątrz opakowań warunków beztlenowych lub w przypadku prób zapakowanych w atmosferach wysokotlenowych (55% i 80% O<sub>2</sub>) znikomej możliwości wymiany gazowej spowodowanej barierowością opakowania. Przy braku tlenu w atmosferze, energia potrzebna tkance jest dostarczana na drodze oddychania beztlenowego. Wiąże się to z nagromadzeniem produktów niepełnego utleniania związków organicznych, tj. aldehydów, alkoholi czy kwasów, które uszkadzają komórkę i powodują znaczne zmiany cech sensorycznych produktu (Rolle i Chism, 1987; Domański, 2002).

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, w dalszych badaniach zrezygnowano ze stosowania folii F OTR 1,5, ze względu na zbyt małą jej przepuszczalność i w konsekwencji złą jakość przechowywanych prób. Dla folii F OTR 1,5 oraz F OTR 3,5 nie stosowano mikroperforacji ze względu na zbyt dużą ich grubość (95 μm). W takim przypadku temperatura zgrzewania folii z tacką jest bardzo wysoka (160–170°C), co często powoduje zamknięcie wykonanych mikrootworów.

Folia F OTR 35 została wykorzystana w dalszych badaniach z zastosowaniem mikroperforacji MP-10. W przypadku folii F OTR 2500 pomimo wysokiej jej przepuszczalności i możliwości utrzymania wysokiej jakości produktu po 12 dniach przechowywania została ona odrzucona w dalszych badaniach. Decydujące były tu względy praktyczne. Folia F OTR 2500 to folia polietylenowa z warstwą „peel” umożliwiającą łatwe otwieranie opakowań, co niestety przyczyniło się do rozszielania opakowań z produktem w trakcie przechowywania i bardzo utrudniało uzyskanie wiarygodnych wyników. Ponadto folia miała tendencję do zamglawiania, co wpływało na wygląd opakowania i uniemożliwiało, zwykle już od trzeciego dnia przechowywania, obserwacji produktu wewnątrz opakowania. W dalszych etapach badań wykorzystano natomiast folię F OTR 3000 stosowaną w pierwszym etapie badań.

#### **4.1.4. Ocena jakości sensorycznej jarmużu zapakowanego z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000**

Folia F OTR 3000 ze względu na wysoką przepuszczalność tlenu umożliwiła zastosowanie różnych składów atmosfer do pakowania, zarówno nisko, jak i wysokotlenowych. Ponadto zastosowano mikroperforację ww. folii opakowaniowej MP-10.

Ze względu na dużą liczbę wyników uzyskanych w tej serii badań nie zostały one zamieszczone, a jedynie podano otrzymane wnioski. Próby wybrane do dalszych

**Tabela 7.** Warunki pakowania jarmużu o małym stopniu przetworzenia z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000**Table 7.** The conditions of packaging minimally processed kale in film F OTR 3000

Zastosowana folia opakowaniowa zamykająca tackę z produktem Packaging film closing tray with product	Skład atmosfery modyfikowanej Composition of modified atmosphere (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )
F OTR 3000	Powietrze – Air
Bez mikroperforacji MP-0	10/5/85
F OTR 3000	10/10/80
Without microperforation MP-0	10/20/70
	30/10/60
	55/10/35
	80/10/10
	95/5/0
F OTR 3000	Powietrze (MP-10) – Air (MP-10)
Bez mikroperforacji MP-10	10/10/80
F OTR 3000	30/10/60
Without microperforation MP-10	55/10/35
	80/10/10
	95/5/0

badan powtórzone w kolejnym doświadczeniu z wykorzystaniem tej samej folii opakowaniowej. W tabeli 7 zestawiono warianty pakowania jarmużu zastosowane w tej serii badań.

Zastosowanie folii opakowaniowej F OTR 3000, dzięki bardzo dużej jej przepuszczalności dało możliwość uzyskania produktu o dobrej i bardzo dobrej jakości bez stosowania mikroperforacji, co jest atutem tych warunków pakowania ze względu na możliwość utrzymania atmosfery modyfikowanej wewnątrz opakowania z produktem przez cały okres przechowywania. Fakt ten okazał się bardzo istotny dla zachowania dobrej jakości mikrobiologicznej produktu, a także zachowania związków biologicznie aktywnych w jarmużu o małym stopniu przetworzenia w badaniach prezentowanych w etapach II i III. W przeprowadzonych badaniach z mikroperforacją folii F OTR 3000 również uzyskano dobrą i bardzo dobrą jakość sensoryczną produktu, jednakże ten sposób pakowania wykluczono. Folia opakowaniowa F OTR 3000 to bardzo cienka i delikatna folia poliolefinowa, mikroperforacja tej folii bardzo często powoduje jej rozerwanie lub powstanie otworów o rzeczywistej wielkości większej niż średnica igieł nakłuwających.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń do dalszych badań wybrano próby zapakowane i przechowywane w atmosferze o składzie (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>): 10/10/80, 10/20/70, 55/10/35 oraz 80/10/10 w ww. folii opakowaniowej bez zastosowania mikroperforacji. Próby zapakowane w atmosferze o 80-procentowej zawartości tlenu

charakteryzowały się najwyższą jakością sensoryczną spośród wszystkich zastosowanych wariantów pakowania, po 12 dniach przechowywania uzyskały maksymalne noty za wszystkie oceniane wyróżniki oceny sensorycznej. Próba zapakowana w atmosferze o składzie 55/10/35 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) charakteryzowała się dobrą jakością sensoryczną przez 12 dni przechowywania produktu, uzyskując po 12 dniach przechowywania średnią notę ogólnej oceny sensorycznej równą 4,6. Obniżenie noty końcowej wynikało głównie z pogorszenia zapachu próby. Dla porównania wybrano atmosferę o zawartości tlenu i ditlenku węgla 10% jako atmosferę najczęściej polecaną do przechowywania warzyw minimalnie przetworzonych. Pomimo gorszej jakości sensorycznej tej próby, nota ogólnej oceny sensorycznej po 12 dniach przechowywania wynosiła 4,3. Ponadto w kolejnych badaniach zastosowano atmosferę o składzie 10/20/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), ze względu na założenie porównania aktywności fizjologicznej i zmian stężenia gazów w opakowaniu z jarmużem przy 20-procentowym stężeniu ditlenku węgla z 10-procentową jego zawartością. Nota ogólnej oceny sensorycznej tej próby po 12 dniach przechowywania wynosiła 3,2.

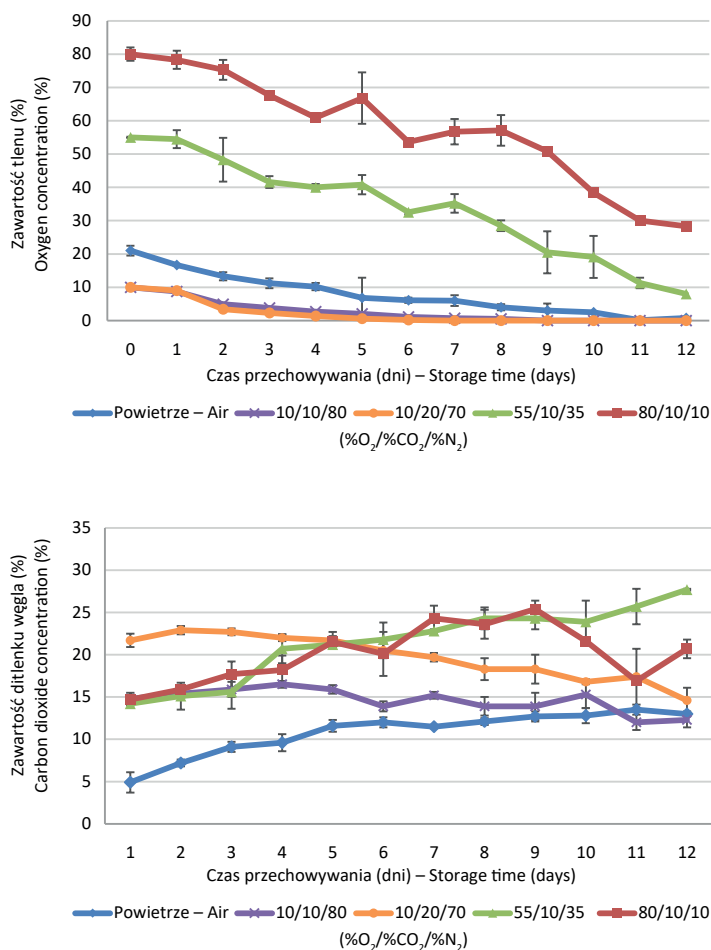
#### **4.1.5. Określenie wpływu pakowania z zastosowaniem folii F OTR 35 oraz F OTR 3000 na jakość sensoryczną i aktywność fizjologiczną jarmużu**

W doświadczeniach wykorzystano jarmuż zielony odmiany Refleks oraz czerwony odmiany Redbor. Jarmuż umieszczony na tackach PP zamykano folią F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 oraz F OTR 3000 bez mikroperforacji. Jarmuż zielony zapakowano w atmosferze powietrza i atmosferze modyfikowanej składzie (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>): 10/10/80, 10/20/70, 55/10/35 i 80/10/10, jarmuż czerwony natomiast zapakowano w atmosferze powietrza i atmosferze o składzie (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>): 80/10/10. W czasie 12 dni przechowywania w temperaturze 4°C w odstępach 24-godzinnych przeprowadzono analizę składu gazów w opakowaniu z produktem.

Badając wpływ składu atmosfery modyfikowanej i rodzaj folii opakowaniowej na wyróżniki jakości, można stwierdzić, że zastosowanie folii o niskiej przepuszczalności tlenu, poddanej mikroperforacji (F OTR 35), umożliwia uzyskanie produktu o dobrej jakości sensorycznej w przypadku wszystkich zastosowanych składów atmosfery modyfikowanej. Jednakże zastosowanie mikroperforacji materiału opakowaniowego powoduje szybszą utratę składu atmosfery modyfikowanej wprowadzonej do opakowania i utrzymuje w opakowaniu stężenie gazów zbliżone do powietrza. Zastosowanie folii o wysokiej przepuszczalności tlenu bez mikroperforacji (F OTR 3000) pozwala na zachowanie dobrej i bardzo dobrej jakości sensorycznej jedynie w próbach zapakowanych i przechowywanych w atmosferach o wysokiej zawartości tlenu.

W czasie 12 dni przechowywania jarmużu zielonego oraz czerwonego zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 3000 zaobserwowano istotny ( $p < 0,05$ ) spadek zawartości tlenu i wzrost zawartości ditlenku węgla w opakowaniach (ryc. 11 i 12). Próby zapakowane w atmosferze wysokotlenowej o zawartości tlenu 80%, zarówno dla jarmużu zielonego, jak i czerwonego charakteryzowały się szybkim spadkiem stężenia tlenu w opakowaniach. Średni dzienny spadek zawartości tlenu w opakowaniach z jarmużem zielonym wynosił 5,0 punktów procentowych (ryc. 11), natomiast w przypadku jarmużu czerwonego 4,3 punktu procentowego (ryc. 12). Spadek zawartości tlenu był konsekwencją oddychania tlenowego zapakowanego produktu. Jednakże stosunkowo wysoka jego zawartość po 12 dniach przechowywania (28,3% dla prób jarmużu zielonego i 33,1% dla jarmużu czerwonego) miała wpływ na utrzymanie wysokiej jakości sensorycznej. Ponadto jarmuż zielony zapakowany w atmosferze wysokotlenowej (80% tlenu) utrzymywał wysoką aktywność fizjologiczną do 9 dni przechowywania, na co wskazuje wzrost stężenia ditlenku węgla w tym czasie. Od 10 dnia przechowywania odnotowano zmniejszenie stężenia tego gazu. W przypadku jarmużu czerwonego zapakowanego w atmosferze o 80-procentowej zawartości tlenu obserwowano podobne zależności jak w jarmużu zielonym, a utrzymanie aktywności fizjologicznej i wzrost zawartości ditlenku węgla obserwowano do 11 dnia przechowywania. Z danych literaturowych wynika, że przechowywanie truskawek w atmosferze o 40, 60, 80, 90 i 100% zawartości tlenu powodowało początkowe zahamowanie intensywności oddychania do 5 dnia przechowywania, a następnie jego intensywny wzrost (Wszelaki i in., 2000). Według Van der Steen i in. (2002) truskawki i maliny pakowane w atmosferze wysokotlenowej charakteryzowały się znacznie dłuższym czasem przydatności do spożycia niż te, które były zapakowane w atmosferze powietrza lub zawierającej niskie stężenie tlenu. Jednakże zmiany w procesach fizjologicznych minimalnie przetworzonych owoców i warzyw w dużej mierze są zależne zarówno od gatunku surowca i stopnia jego rozdrobnienia, jak i warunków pakowania (Alarcon-Flores i in., 2014).

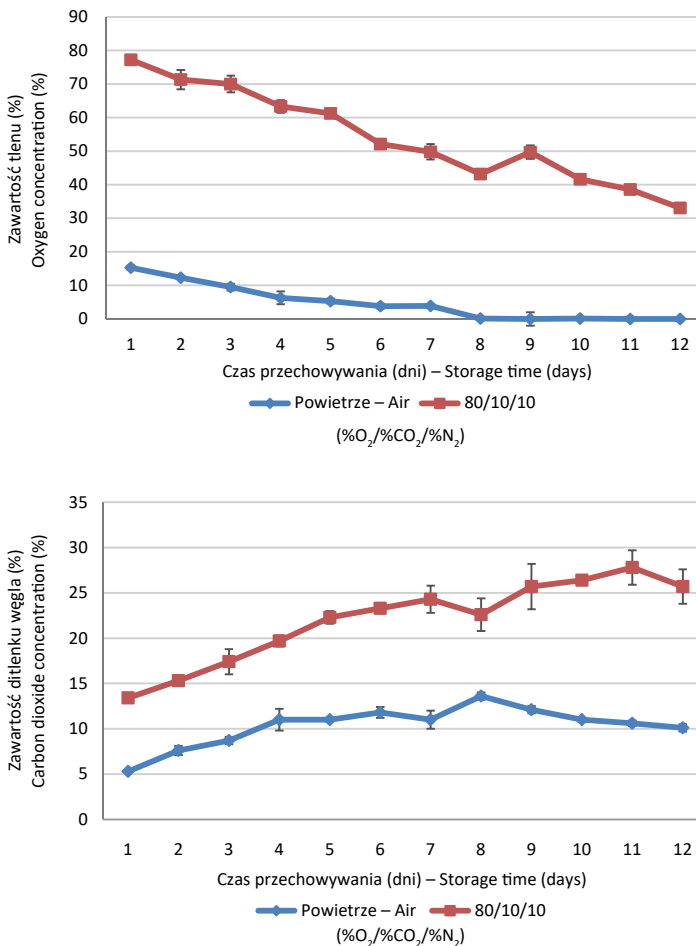
W próbach jarmużu zielonego zapakowanego w atmosferze o 55/10/35 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) średni dzienny spadek zawartości tlenu wynosił 4,0 punkty procentowe w stosunku do 1 dnia i po 12 dniach przechowywania jego zawartość w opakowaniu wynosiła 8,0% (ryc. 10). W przypadku zastosowania tej atmosfery nie odnotowano spadku aktywności fizjologicznej i związanego z tym spadku stężenia ditlenku węgla w czasie przechowywania produktu. Według danych literaturowych stosowane atmosfery wysokotlenowe do przechowywania zapakowanych produktów powinny zawierać minimum 70% tlenu (Oms-Oliu i in., 2008). Takie stężenia w największym stopniu wpływają na aktywność fizjologiczną produktów i mogą przyczynić się do poprawy ich jakości.



**Ryc. 11.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem zielonym w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 3000 bez mikroperforacji

**Fig. 11.** The content of oxygen and carbon dioxide in packages with green kale closed with packaging film F OTR 3000 without microperforation and stored for 12 days in different modified atmospheres

Mechanizmy dotyczące wpływu wysokiego stężenia tlenu na intensywność oddychania tkanki nie są jeszcze poznane. W warunkach stresowych, jakim jest wysokie stężenie tlenu, w związku z większym zapotrzebowaniem tkanki na energię wzrasta utlenianie substratów oddechowych. Łańcuch oddechowy nie może transportować zwiększonej ilości elektronów, co skutkuje wytwarzaniem większej



**Ryc. 12.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem czerwonym w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 3000 bez mikroperforacji

**Fig. 12.** The content of oxygen and carbon dioxide in packages with red kale closed with packaging film F OTR 3000 without microperforation and stored for 12 days in different modified atmospheres

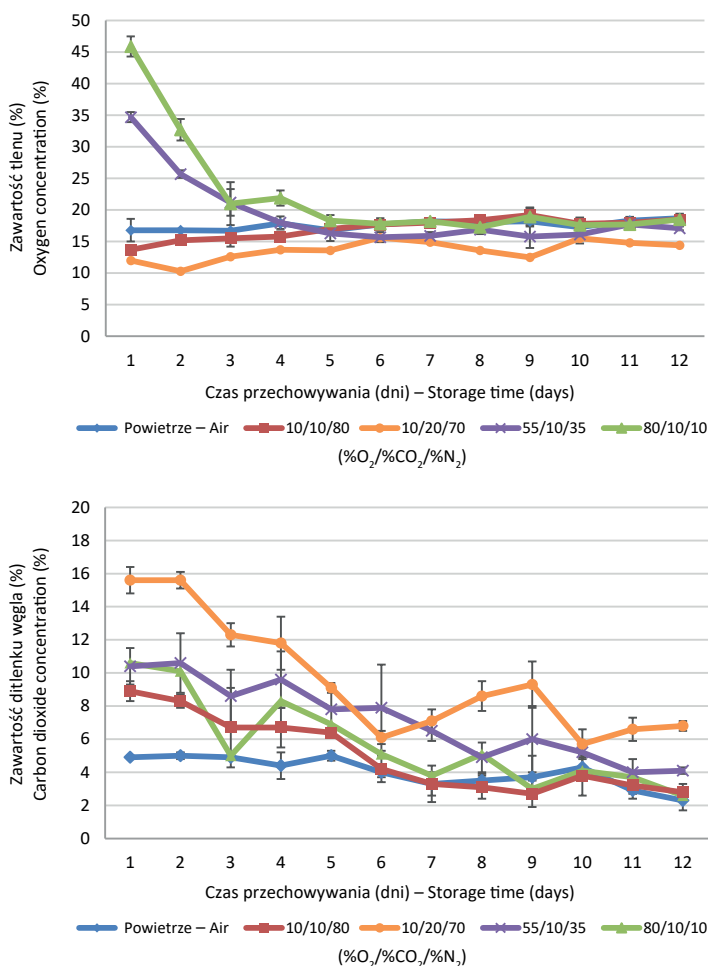
ilości reaktywnych form tlenu, przekraczającej często pojemność przeciwutleniającą tkanki. Niektórzy autorzy sugerują, że w atmosferze otaczającej tkankę, o ciśnieniu tlenu wyższym niż 21 kPa, uruchamia się alternatywny szlak transportu elektronów (ang. *cyanide-resistant respiration*) (Tucker i Laties, 1995; Oms-Oliu i in., 2008). Istnieje przypuszczenie, że oddychanie alternatywne może dodatkowo zwiększyć wytwarzanie reaktywnych form tlenu, powodujących uszkodzenia błon



komórkowych. Natomiast w badaniach Purvisa (1997), w których działaniu wysokiego tlenu poddano paprykę zieloną, odnotowano redukcję powstających na skutek procesów oddechowych nadtlenuków. Wskazuje to na istnienie innej drogi utleniania substratów oddechowych, niepowodującej wzrostu stężenia reaktywnych form tlenu. Autorzy sugerują ponadto istotną rolę w tym procesie antyoksydantów obecnych w tkance.

Wolniejszym spadkiem stężenia tlenu w opakowaniach z jarmużem zielonym zamkniętych folią F OTR 3000 charakteryzowały się próby przechowywane w atmosferze o składzie: 10/10/80 i 10/20/70 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), dla których średni dzienny spadek zawartości wynosił odpowiednio 2,5 i 2,0 punkty procentowe (ryc. 10). W próbach tych zawartość tlenu utrzymywała się jedynie do, odpowiednio, 3 i 4 dnia przechowywania. Wolniejsze zmiany stężenia tlenu najprawdopodobniej były spowodowane niższą początkową jego zawartością. Wytworzone warunki beztlenowe w opakowaniach skutkują bardzo szybkim tempem psucia produktu. Jest to związane to z nagromadzeniem produktów niepełnego utleniania związków organicznych, uszkadzających komórkę i powodujących znaczne zmiany cech sensorycznych produktu (Radziejewska-Kubzdela i Biegańska-Marecik, 2009). Z drugiej jednak strony, według danych literaturowych ditlenek węgla w podwyższonym w stężeniu wpływa hamująco na oddychanie owoców i warzyw, przez co wykorzystuje się jego stężenia w zakresie 2–20% w przechowalnictwie plonów roślinnych (Bandurska, 2007). Z przeprowadzonych badań wynika, że podwyższona zawartość ditlenku węgla nie wywołuje w przypadku jarmużu pozytywnego aspektu przedłużenia trwałości rozumianej jako brak niekorzystnych zmian cech sensorycznych.

W próbach jarmużu zielonego zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10, pomimo bardzo zróżnicowanej początkowej zawartości tlenu w opakowaniach poszczególnych prób, już po 4 dniu przechowywania jego zawartość była zbliżona dla wszystkich prób i mieściła się w zakresie od 14% do 22% (ryc. 13). Natomiast po 12 dniach przechowywania prób wynosiła od 14,4% do 18,7%. Znaczne wahania zawartości tlenu w opakowaniu odnotowano dla próby zapakowanej w atmosferze o składzie 10/20/70 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), co związane było najprawdopodobniej ze stresem rośliny wywołanym zwiększoną zawartością ditlenku węgla w opakowaniu. We wszystkich próbach zapakowanych przy użyciu folii opakowaniowej F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 odnotowano spadek zawartości ditlenku węgla w czasie przechowywania do końcowej zawartości (po 12 dniach przechowywania) mieszczącej się w zakresie od 2%, dla próby zapakowanej w powietrzu, do 6,8% w opakowaniu próby zapakowanej w atmosferze o początkowej zawartości CO<sub>2</sub> wynoszącej 20%. Ponadto największe wahania spadku zawartości ditlenku węgla odnotowano dla prób zapakowanych w atmosferze o składzie: 10/20/70 oraz 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (ryc. 13).



**Ryc. 13.** Zawartość tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem zielonym w czasie 12 dni przechowywania w atmosferze o różnym składzie, przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 3000 z mikroperforacją MP-10

**Fig. 13.** The content of oxygen and carbon dioxide in packages with green kale closed with packaging film F OTR 3000 with microperforation MP-10 and stored for 12 days in different modified atmospheres

Folia z mikroperforacją ułatwiła wymianę gazową pomiędzy opakowaniem a atmosferą powietrza. Powyżej opisane zmiany zawartości tlenu i ditlenku węgla w opakowaniach z jarmużem wydają się być warunkowane głównie zastosowaniem mikroperforacji materiału opakowaniowego i ukierunkowane były na wyrównanie

składu ze składnikami otaczającego powietrza. W zastosowanych warunkach tempo procesów fizjologicznych produktu nie miało istotnego znaczenia.

Niezależnie od składu atmosfery użytej do pakowania zastosowanie folii F OTR 35 mikroperforacją MP-10 pozwoliło na uzyskanie produktu o dobrej lub bardzo dobrej jakości sensorycznej. Noty ogólnej oceny sensorycznej prób po 12 dniach przechowywania mieściły się w zakresie od 4,3 do 4,8 (tab. 8). Jednakże istotnie wyższe wartości ( $p < 0,05$ ) not w porównaniu do powietrza uzyskano dla prób zapakowanych w atmosferze 10/10/80 oraz 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (tab. 8).

Spośród prób zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 3000 bardzo dobrą jakość sensoryczną w czasie 12 dni przechowywania uzyskano jedynie w przypadku jarmużu zielonego zapakowanego w atmosferze o najwyższej początkowej zawartości tlenu (80%) (tab. 8). Nota ogólnej oceny sensorycznej tej próby (4,9) po 12 dniach przechowywania była istotnie wyższa ( $p < 0,05$ ) w porównaniu do próby zapakowanej w atmosferze powietrza oraz pozostałych prób zapakowanych w atmosferze modyfikowanej. Próby zapakowane w atmosferze o składzie 10/10/80, 10/20/70 i 55/10/35 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) charakteryzowały się istotnie niższymi ( $p < 0,05$ ) notami oceny sensorycznej zapachu i smaku już po 6 dniu przechowywania. W przypadku jarmużu czerwonego zapakowanego w wysokotlenowej atmosferze modyfikowanej do 6 dnia przechowywania odnotowano noty oceny sensorycznej zbliżone do próby kontrolnej, zapakowanej w powietrzu, jednakże po 12 dniach przechowywania uzyskano istotnie wyższe noty ( $p < 0,05$ ) tej próby, w stosunku do próby zapakowanej w powietrzu, w przypadku ogólnej oceny sensorycznej wynosiły one odpowiednio: 4,4 i 3,0 (tab. 8). Porównując produkty pakowane w atmosferze wysokotlenowej (80% tlenu) i powietrzu z zastosowaniem folii F OTR 3000 bez mikroperforacji nie odnotowano istotnych różnic w jakości sensorycznej prób jarmużu zielonego i czerwonego pakowanych w tych samych warunkach.

Wartość pH prób jarmużu zielonego, zapakowanego przy zastosowaniu folii F OTR 3000 uległa obniżeniu w czasie 12 dni przechowywania produktu (tab. 8). Po pierwszym dniu wartości te mieściły się w zakresie 5,98–6,49 a po 12 dniach: 5,77–6,18. Spadek wartości pH mógł być spowodowany dużą wilgotnością prób i mieć związek z konwersją ditlenku węgla do kwasu węglowego, obniżając tym samym pH produktu. W przypadku jarmużu czerwonego zapakowanego z zastosowaniem tej samej folii opakowaniowej odnotowano istotny wzrost ( $p \leq 0,05$ ) wartości pH. W próbach po 1 dniu przechowywania wartość pH mieściła się w zakresie od 5,56 do 5,67 a po 12 dniach odnotowano wartości w przedziale od 6,38 do 6,47. W próbach jarmużu zielonego zapakowanego przy zastosowaniu folii opakowaniowej F OTR 35 z mikroperforacją zaobserwowano istotny wzrost wartości pH w czasie przechowywania produktu. Po 12 dniach odnotowane wartości mieściły się w zakresie od 6,08 do 6,61. Wzrost wartości pH w tych próbach był najprawdopodobniej spowodowany

**Tabela 8.** Właściwości fizykochemiczne oraz noty oceny sensorycznej jarmużu zielonego o małym stopniu przetworzenia zapakowanego z zastosowaniem materiałów opakowaniowych F OTR 35 i F OTR 3000, przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, w warunkach chłodniczych (4°C)

**Table 8.** The physicochemical properties and sensory evaluation of minimally processed green and red kale in films F OTR 35 and F OTR 3000, stored under refrigeration (4°C) for 12 days in different modified atmospheres

Warunki pakowania: skład atmosfery, mikroperforacja Packaging conditions: composition of atmosphere, microperforation	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	pH	Zawartość ekstraktu Solid content (%)	Barwa Colour	Smak Taste	Zapach Odour	Tekstura Texture	Ocena ogólna Overall score
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jarmuż zielony, folia opakowaniowa F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 – Green kale, packaging film F OTR 35 with microperforation MP-10								
Powietrze	1	5,5 ±0,05 <sup>a</sup>	13,2 ±0,6 <sup>abcd</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	5,9 ±0,06 <sup>c</sup>	13,9 ±1,4 <sup>bcdef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	4,0 ±0,2 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	4,8 ±0,1 <sup>bc</sup>
Air	12	6,1 ±0,07 <sup>de</sup>	14,4 ±0,4 <sup>f</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	4,0 ±0,10 <sup>b</sup>	4,0 ±0,4 <sup>a</sup>	4,0 ±0,6 <sup>a</sup>	4,3 ±0,0 <sup>a</sup>
Mikroperforacja MP-10	1	5,7 ±0,02 <sup>b</sup>	13,4 ±0,9 <sup>abcde</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,00 <sup>c</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	6	6,0 ±0,13 <sup>cd</sup>	13,8 ±0,1 <sup>bcdef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,9 <sup>c</sup>
Mikroperforacja MP-10	12	6,1 ±0,06 <sup>de</sup>	14,2 ±0,4 <sup>ef</sup>	4,0 ±0,5 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	4,8 ±0,1 <sup>bc</sup>
Mikroperforacja MP-10	1	6,2 ±0,04 <sup>ef</sup>	13,0 ±0,3 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup>
10/20/70 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	6	6,2 ±0,24 <sup>ef</sup>	13,3 ±0,7 <sup>abcde</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,1 <sup>c</sup>
Mikroperforacja MP-10	12	6,6 ±0,13 <sup>g</sup>	13,9 ±0,4 <sup>bcdef</sup>	5,0 ±0,9 <sup>b</sup>	4,0 ±0,5 <sup>a</sup>	4,0 ±0,4 <sup>a</sup>	4,0 ±0,2 <sup>a</sup>	4,3 ±0,2 <sup>a</sup>

Tabela 8 cd. – Table 8 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
55/10/35 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Mikroperforacja MP-10	1 6 12	5,5 ±0,08 <sup>a</sup> 6,3 ±0,12 <sup>f</sup> 6,5 ±0,06 <sup>g</sup>	13,0 ±0,3 <sup>ab</sup> 12,6 ±0,3 <sup>a</sup> 14,0 ±0,2 <sup>cdef</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,6 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,5 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,2 <sup>3a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,1 <sup>c</sup> 4,4 ±0,1 <sup>a</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Mikroperforacja MP-10	1 6 12	5,5 ±0,15 <sup>a</sup> 5,9 ±0,21 <sup>c</sup> 6,1 ±0,08 <sup>de</sup>	13,1 ±0,5 <sup>abc</sup> 13,9 ±0,5 <sup>bcd</sup> 14,1 ±0,5 <sup>def</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,5 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,1 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 4,8 ±0,1 <sup>bc</sup>
Jarmuż zielony, folia opakowaniowa F OTR 3000 bez mikroperforacji MP-0 – Green kale, packaging film F OTR 3000 without microperforation MP-0								
Powietrze Bez mikroperforacji MP-0	1 6 12	5,9 ±0,08 <sup>bed</sup> 6,0 ±0,08 <sup>cde</sup> 5,9 ±0,14 <sup>bed</sup>	14,7 ±0,2 <sup>cde</sup> 14,9 ±0,6 <sup>def</sup> 15,3 ±0,3 <sup>efg</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,2 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 4,0 ±0,1 <sup>c</sup> 2,0 ±0,4 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,0 ±0,3 <sup>d</sup> 3,0 ±0,4 <sup>c</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,1 <sup>c</sup> 4,0 ±0,6 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,5 ±0,0 <sup>c</sup> 3,3 ±0,4 <sup>c</sup>
Without microperforation MP-0	1 6 12	6,5 ±0,31 <sup>h</sup> 6,2 ±0,21 <sup>efg</sup> 5,9 ±0,12 <sup>bed</sup>	14,9 ±1,7 <sup>def</sup> 16,0 ±0,7 <sup>fg</sup> 14,8 ±0,5 <sup>cde</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,2 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 3,2 ±0,0 <sup>b</sup> 2,0 ±0,1 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 3,0 ±0,4 <sup>c</sup> 2,0 ±0,5 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,1 <sup>c</sup> 4,0 ±0,2 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,0 ±0,2 <sup>d</sup> 3,3 ±0,2 <sup>b</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Bez mikroperforacji	1 6 12	6,1 ±0,31 <sup>def</sup> 6,1 ±0,12 <sup>def</sup> 6,1 ±0,18 <sup>def</sup>	14,9 ±0,8 <sup>def</sup> 16,3 ±0,4 <sup>g</sup> 14,6 ±0,5 <sup>cde</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,5 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 2,0 ±0,8 <sup>a</sup> 2,0 ±0,3 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 2,0 ±0,2 <sup>b</sup> 1,0 ±0,4 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 4,0 ±0,4 <sup>a</sup> 4,0 ±0,4 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 3,3 ±0,3 <sup>c</sup> 2,7 ±0,2 <sup>a</sup>
Without microperforation	1 6 12	6,1 ±0,04 <sup>def</sup> 6,2 ±0,06 <sup>efg</sup> 5,8 ±0,01 <sup>abc</sup>	15,0 ±0,4 <sup>def</sup> 14,9 ±0,5 <sup>def</sup> 15,4 ±0,5 <sup>efg</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,5 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 4,0 ±0,5 <sup>c</sup> 3,0 ±0,3 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,0 ±0,1 <sup>d</sup> 4,0 ±0,5 <sup>d</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 4,0 ±0,4 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,5 ±0,2 <sup>c</sup> 3,8 ±0,1 <sup>d</sup>

Tabela 8 cd. – Table 8 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Bez mikroperforacji Without microperforation	1 6 12	6,2 ±0,17 <sup>efg</sup> 6,1 ±0,27 <sup>def</sup> 6,2 ±0,08 <sup>efg</sup>	15,3 ±0,2 <sup>efg</sup> 15,4 ±0,4 <sup>efg</sup> 14,1 ±0,3 <sup>bcd</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 5,0 ±0,1 <sup>d</sup> 5,0 ±0,1 <sup>d</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,1 <sup>f</sup> 4,5 ±0,4 <sup>e</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,1 <sup>c</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,9 ±0,1 <sup>f</sup>
Jarmuż czerwony, folia opakowaniowa F OTR 3000 bez mikroperforacji MP-0 – Red kale, packaging film F OTR 3000 without microperforation MP-0								
Powietrze Bez mikroperforacji MP-0 Air Without microperforation MP-0	1 6 12	5,7 ±0,16 <sup>ab</sup> 6,3 ±0,11 <sup>fgh</sup> 6,4 ±0,08 <sup>gh</sup>	12,6 ±1,2 <sup>a</sup> 14,1 ±0,9 <sup>bcd</sup> 13,7 ±0,1 <sup>abc</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 4,0 ±0,4 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 5,0 ±0,1 <sup>d</sup> 2,0 ±0,3 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,1 <sup>f</sup> 2,0 ±0,3 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,1 <sup>c</sup> 4,0 ±0,5 <sup>a</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,1 <sup>f</sup> 3,0 ±0,3 <sup>b</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Bez mikroperforacji MP-0 Without microperforation MP-0	1 6 12	5,6 ±0,07 <sup>a</sup> 6,4 ±0,01 <sup>gh</sup> 6,5 ±0,03 <sup>h</sup>	14,1 ±0,5 <sup>bcd</sup> 14,0 ±0,7 <sup>bcd</sup> 13,1 ±0,6 <sup>ab</sup>	5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup> 5,0 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>d</sup> 5,0 ±0,1 <sup>d</sup> 4,0 ±0,5 <sup>c</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,1 <sup>f</sup> 4,0 ±0,1 <sup>d</sup>	5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 5,0 ±0,0 <sup>c</sup> 4,5 ±0,0 <sup>b</sup>	5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 5,0 ±0,0 <sup>f</sup> 4,4 ±0,1 <sup>c</sup>

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .  
The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

brakiem kondensacji ditlenku węgla w opakowaniach, dzięki zastosowaniu mikroperforowanej folii, w porównaniu do spadku tej wartości w próbach zapakowanych bez mikroperforacji.

Zawartość ekstraktu w jarmużu zielonym i czerwonym pakowanym przy zastosowaniu folii F OTR 3000 mieściła się w zakresie od 12,6% do 15,4% (tab. 8). Wahań zawartości ekstraktu były nieukierunkowane, wystąpiły we wszystkich próbach niezależnie od składu atmosfery. Nie odnotowano istotnego statystycznie wpływu warunków pakowania i przechowywania produktu na zawartość ekstraktu (tab. 8). W próbach jarmużu zielonego zapakowanego przy użyciu folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 zawartość ekstraktu po 1 dniu przechowywania wynosiła od 13,0% do 13,4%, natomiast po 12 dniach wartości te kształtowały się na poziomie od 13,9% do 14,4%. Wzrost zawartości ekstraktu był prawdopodobnie spowodowany odparowaniem wody wynikającym z zastosowania mikroperforacji folii opakowaniowej.

Podsumowując powyższą część badań, można stwierdzić, że w próbach przechowywanych w atmosferze o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000 bez mikroperforacji odnotowano zahamowanie aktywności fizjologicznej, zarówno w jarmużu zielonym (po 9 dniach przechowywania), jak i czerwonym (po 11 dniach przechowywania), co przejawiało się spowolnieniem spadkiem zużycia tlenu oraz spadkiem zawartości ditlenku węgla. W próbach zapakowanych w atmosferze o 20-procentowej zawartości ditlenku węgla przy zastosowaniu folii F OTR 35 zaobserwowano istotne wahania zawartości gazów w kolejnych dniach przechowywania, co mogło być związane ze stresem rośliny, wywołanym atmosferą o wysokim stężeniu ditlenku węgla.

Próby jarmużu zielonego zapakowane w atmosferze wysokotlenowej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) zarówno przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 3000, jak i F OTR 35 z mikroperforacją MP-10, charakteryzowały się wysoką jakością sensoryczną, uzyskując istotnie wyższe ( $p < 0,01$ ) od innych prób noty oceny sensorycznej. Noty te po 12 dniach przechowywania wynosiły odpowiednio 4,9 i 4,8. W przypadku zastosowania folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 również wysoką notę ogólnej oceny sensorycznej (4,8) uzyskała próba przechowywana w atmosferze niskotlenowej o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>).

Podsumowując wszystkie badania dotyczące wyboru warunków pakowania przeprowadzone w etapie I, w tym zarówno składu atmosfery modyfikowanej, jak i rodzaju materiału opakowaniowego, na jakość sensoryczną, a także aktywność fizjologiczną jarmużu o małym stopniu przetworzenia jako charakteryzujące się istotnie wyższą ( $p < 0,05$ ) jakością, wskazano próby przechowywane w atmosferze o składzie 80/10/10 oraz 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), przy czym dla każdego z wymienionych składów atmosfery dobrano inny rodzaj materiału opakowaniowego pozwalającego na uzyskanie najlepszych cech sensorycznych w obrębie badanych wyróżników.

W przypadku atmosfery o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) najlepsze rezultaty otrzymano przy użyciu materiału opakowaniowego F OTR 3000. Jest to folia poliolefinowa o bardzo niewielkiej grubości, której zaletą, oprócz uzyskania wysokiej jakości sensorycznej prób zapakowanych z jej zastosowaniem, jest duża przezroczystość i brak zamglawiania, pozwalające na uzyskanie estetycznego wyglądu produktu. Porównywalną lub nieznacznie niższą jakość prób przechowywanych w atmosferze wysokotlenowej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) uzyskano przy zastosowaniu folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10, natomiast w przypadku zastosowania atmosfery niskotlenowej o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) najlepszą jakość sensoryczną, istotnie wyższą od pozostałych zastosowanych materiałów opakowaniowych, uzyskano jedynie dla wymienionej powyżej folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10. W przypadku atmosfery niskotlenowej zwiększenie przepuszczalności poprzez zastosowanie mikroperforacji było nieodzowne dla uzyskania dobrej jakości produktu.

Spośród wymienionych warunków pakowania istotne zahamowanie aktywności fizjologicznej odnotowano jedynie dla atmosfery o 80-procentowej zawartości tlenu przy zastosowaniu folii F OTR 3000.

Badania w etapie I ukierunkowywano tak, aby wybrać atmosferę zarówno wysokotlenową, jak i niskotlenową, oraz porównać ich wpływ na pozostałe aspekty jakości jarmużu o małym stopniu przetworzenia, jakość mikrobiologiczną oraz zawartość związków biologicznie aktywnych. Wybrane, opisane powyżej warunki pakowania zastosowano w pozostałych etapach badań, uzupełniając je w niektórych doświadczeniach o warianty pakowania dające niższą jakość sensoryczną, zakładając wprowadzenie większej zmienności w uzyskanych wynikach oraz szerszy pogląd na wpływ atmosfery o różnym składzie na jakość mikrobiologiczną i zmiany zawartości związków bioaktywnych. Ponadto wiedza dotycząca zmian zawartości tlenu i ditlenku węgla w czasie przechowywania prób oraz końcowego ich stężenia po założonym czasie przechowywania, będąca rezultatem tej części badań, jest bardzo istotna dla wyjaśnienia przebiegu zarówno zmian jakości mikrobiologicznej, jak i zmian zawartości związków bioaktywnych.



## 4.2. Etap II: określenie wpływu zabiegów obróbki wstępnej, składu atmosfery modyfikowanej oraz rodzaju materiału opakowaniowego na jakość mikrobiologiczną jarmużu

### 4.2.1. Ocena stanu mikrobiologicznego jarmużu niepoddanego obróbce wstępnej oraz mytego w bieżącej wodzie

Analizę mikrobiologiczną surowca przeprowadzono dwukrotnie, w październiku oraz w grudniu, natomiast badanie surowca mytego w bieżącej wodzie wykonano z wykorzystaniem jarmużu ze zbioru październikowego.

Dominującą mikrobiotę jarmużu niepoddanego obróbce wstępnej stanowiły bakterie z rodzaju *Pseudomonas* (3,75–5,48 log jtk/g), bakterie mezofilne (3,28–3,57 log jtk/g), drożdże i pleśnie psychrofilne (3,0–3,49 log jtk/g) oraz bakterie fermentacji mlekowej (2,04–2,23 log jtk/g) (tab. 9). Odnotowano także obecność bakterii z grupy *coli* typu ogólnego (1,60–2,04 log jtk/g), ponadto w próbie surowca zbieranego w grudniu stwierdzono obecność bakterii psychrofilnych (2,23 log jtk/g). Nie stwierdzono obecności pozostałych badanych grup mikroorganizmów. Mycie jarmużu w bieżącej zimnej wodzie spowodowało istotny wzrost liczby bakterii mezofilnych i psychrofilnych, bakterii fermentacji mlekowej oraz bakterii z rodzaju *Pseudomonas*. Wzrost skażenia jest prawdopodobnie wynikiem wyższej aktywności wody na powierzchni surowca oraz wskazuje na niewielką skuteczność samego mycia w wodzie w eliminacji mikroorganizmów.

Mikrobiota występująca na owocach i warzywach jest bardzo zróżnicowana i stanowi zbiór mikroorganizmów z gleby, wody i powietrza. Najczęściej występujące na warzywach mikroorganizmy to: *Pseudomonas* spp., *Erwinia herbicola*, *Flavobacterium*, *Xanthomonas*, *Enterobacter agglomerans*, bakterie kwasu mlekowego oraz pleśnie i drożdże. W przypadku warzyw liściastych, typową mikrobiotę stanowią bakterie fermentacji mlekowej (zwłaszcza *Leuconostoc mesenteroides*, i *Lactobacillus* spp.), oraz drożdże i pleśnie (Nguyen-The i Carlin, 1994; Szwejda i Czapski, 2007). Według Abadias i in. (2008) bakterie fermentacji mlekowej i bakterie z rodzaju *Pseudomonas* to mikroorganizmy naturalnie bytujące na warzywach. Natomiast pleśnie i drożdże pojawiają się na nich w wyniku przetwarzania np. mycia, rozdrabniania, krojenia i tarcia. Według Ragaert i in. (2007) pleśnie w minimalnie przetworzonych warzywach są mniej istotne niż bakterie. Wynika to z lekko kwaśnego do obojętnego pH warzyw, które bardziej sprzyja wzrostowi bakterii niż pleśni i drożdży. Minimalnie przetworzone warzywa zasiedlają przede wszystkim pochodzące z wody i środowiska saprofityczne Gram-ujemne bakterie. Jeśli surowiec jest bardzo zanieczyszczony zabiegi obróbki wstępnej powinny być przeprowadzone

**Tabela 9.** Skażenie mikrobiologiczne jarmużu nieprzetworzonego oraz poddanego myciu w bieżącej wodzie  
**Table 9.** The microbial contamination of unprocessed kale and kale washed with running water

Próba Sample	Analizowany wyróżnik (log <sub>10</sub> jtk/g) – Index (log CFU/g)					
	ogólna liczba total count of	bakterii psychrofilnych psychrophilic bacteria	bakterii fermentacji mlekowej lactic acid bacteria	bakterii z rodzaju <i>Pseudomonas</i> <i>Pseudomonas</i> bacteria	bakterii z grupy <i>coli</i> typu ogólnego Coliform bacteria	drożdży i pleśni psychrofilnych psychrophilic yeast and moulds
Surowiec zbiór w październiku Raw material harvested in October	3,28 ±0,02 <sup>a</sup>	*	2,04 ±0,08 <sup>a</sup>	3,75 ±0,02 <sup>a</sup>	2,04 ±0,08 <sup>a</sup>	3,49 ±0,05 <sup>a</sup>
Surowiec zbiór w grudniu Raw material harvested in December	3,57 ±0,0 <sup>b</sup>	2,23 ±0,05 <sup>a</sup>	2,23 ±0,05 <sup>b</sup>	5,48 ±0,0 <sup>b</sup>	1,60 ±0,24 <sup>b</sup>	3,00 ±0,00 <sup>b</sup>
Surowiec myty w bieżącej wodzie Raw material washed with running water	3,99 ±0,01 <sup>c</sup>	3,49 ±0,01 <sup>b</sup>	3,49 ±0,01 <sup>c</sup>	6,3 ±0,0 <sup>c</sup>	2,23 ±0,05 <sup>a</sup>	3,45 ±0,0 <sup>a</sup>

\* – nieobecne w 0,1 g.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – not detected in 0.1 g.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ .

w sposób dokładny, ponadto często konieczne jest zastosowanie substancji dezynfekujących (Leguani i Leoni, 2004; Szwejdą i Czapski, 2007).

#### 4.2.2. Wpływ obróbki wstępnej na jakość mikrobiologiczną surowca

Jako główny sposób obróbki w przeprowadzonych badaniach zastosowano zanurzenie w roztworze kwasów askorbinowego i cytrynowego, porównując go z próbą kontrolną (próba poddana obróbce w zimnej wodzie) oraz próbą poddaną płukaniu w roztworze podchlorynu sodowego. W przemyśle spożywczym roztwór podchlorynu sodowego (NaClO), dysocjujący w wodzie do kwasu podchlorawego, jest często stosowanym związkiem dezynfekującym. Wykazuje działanie biobójcze w kierunku bakterii, drożdży, pleśni i wirusów, ponadto niszczy przetrwalniki mikroorganizmów (López-Gálvez i in., 2010). Jednakże obecnie ogranicza się jego wykorzystanie do bezpośredniej obróbki żywności, w tym szczególnie warzyw i owoców minimalnie przetworzonych. Ograniczenia wynikają z możliwości powstania produktów niepełnego utleniania składników żywności i wytwarzania szkodliwych produktów ubocznych, m.in. chloroformu (CHCl<sub>3</sub>), kwasów halogenooctowych i innych trihalogenometanów (THM) (Nieuwenhuijsen i in., 2000; Martin-Diana i in., 2007). Z tego względu obróbkę roztworem chloru zastosowano tylko w badaniach mikrobiologicznych w celu porównania z obróbką kwasami. Zastosowanie kwasów organicznych wg danych literaturowych może być skuteczne w hamowaniu zarówno psychrofilnych, jak i mezofilnych mikroorganizmów w produktach minimalnie przetworzonych (Gómez i Artés, 2004; Artés i in., 2009; Escalona i in., 2015). Obróbkę w roztworze kwasów zastosowano jako główny sposób traktowania jarmużu o małym stopniu przetworzenia przed zapakowaniem. Obróbka ta została wybrana ze względu na potencjalną, alternatywną dla chloru, możliwość poprawy stanu mikrobiologicznego produktu oraz korzystny wpływ na jakość sensoryczną.

W próbach kontrolnych (jarmuż myty zanurzany w zimnej wodzie) odnotowano obecność wszystkich badanych grup mikroorganizmów (tab. 10). Dominującą mikroflorę stanowiły bakterie mezofilne i psychrofilne (odpowiednio 3,28 log jtk/g i 3,93 log jtk/g), bakterie z rodzaju *Pseudomonas* (3,18 log jtk/g), tlenowe bakterie przetrwalnikujące (3,28 log jtk/g) oraz pleśnie i drożdże psychrofilne (odpowiednio 2,30 log jtk/g i 3,15 log jtk/g). Liczebność pozostałych badanych grup mikroorganizmów kształtowała się na poziomie 10<sup>1</sup> jtk/g. Zastosowanie obróbki zarówno roztworem kwasów, jak i roztworem chloru spowodowało istotny spadek liczby większości badanych grup mikroorganizmów w odniesieniu do próby kontrolnej (tab. 10). Istotne obniżenie liczebności mikroorganizmów odnotowano dla bakterii mezofilnych, bakterii z grupy *coli* typu ogólnego, tlenowych bakterii przetrwalnikujących, drożdży

**Tabela 10.** Skażenie mikrobiologiczne jarmużu mytego w bieżącej wodzie oraz poddanego obróbce wstępnej polegającej na: płukaniu w zimnej wodzie, płukaniu w roztworze kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l) oraz płukaniu w wodzie chlorowanej (100 ppm CL)

**Table 10.** The microbial contamination of kale washed with running water and pre-treated by: rinsing with cold water, rinsing with a solution of ascorbic acid (5 g/L) and citric acid (5 g/L) and by rinsing with chlorinated water (100 ppm CL)

Próba Sample	Analizowany wyróżnik (log jtk/g) – Index (log CFU/g)										
	ogólna liczba total count of		liczba – count of								drożdży psychrofil- nych psychro- philic yeast
	bakterii mezofilnych mesophilic bacteria	bakterii psychrofil- nych psychro- philic bacteria	bakterii fermentacji mlekowej lactic acid bacteria	bakterii z rodzaju <i>Pseudomo- nas</i> <i>Pseu- domonas</i> bacteria	bakterii z grupy <i>coli</i> typu ogól- nego Coliform bacteria	tlenowych bakterii przetrwali- kujących aerobic sporulating bacteria	pleśni mezofilnych mesophilic mould	pleśni psy- chrofilnych psychro- philic mould	drożdży mezofilnych mesophilic yeast		
Jarmuż myty oraz płukany w bieżącej wodzie Kale washed and rinsed with running water	3,28 ±0,05 <sup>c</sup>	3,93 ±0,18 <sup>a</sup>	1,65 ±0,05 <sup>a</sup>	3,18 ±0,15 <sup>a</sup>	1,95 ±0,05 <sup>b</sup>	3,28 ±0,05 <sup>c</sup>	1,30 ±0,24 <sup>a</sup>	2,30 ±0,02 <sup>a</sup>	1,18 ±0,15 <sup>a</sup>	3,15 ±0,02 <sup>c</sup>	
Jarmuż myty oraz płukany w roztworze kwasów* Kale washed and rinsed with acid solution*	2,48 ±0,0 <sup>b</sup>	3,60 ±0,44 <sup>a</sup>	**	3,00 ±0,0 <sup>a</sup>	1,74 ±0,15 <sup>a</sup>	2,48 ±0,0 <sup>b</sup>	**	2,72 ±0,40 <sup>a</sup>	**	2,59 ±0,07 <sup>a</sup>	
Jarmuż myty oraz płukany w wodzie chlorowanej Kale washed and rinsed with chlorinated water	2,08 ±0,06 <sup>a</sup>	3,93 ±0,43 <sup>a</sup>	**	3,00 ±0,0 <sup>a</sup>	1,60 ±0,0 <sup>a</sup>	2,08 ±0,06 <sup>a</sup>	**	**	**	2,71 ±0,04 <sup>b</sup>	

\* – roztwór kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l), \*\* – nieobecne w 0,1 g.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – solution of ascorbic acid (5 g/L) and citric acid (5 g/L), \*\* – not detected in 0.1 g.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

psychrofilnych. Ponadto w próbach traktowanych roztworem kwasów oraz roztworem chloru nie odnotowano obecności bakterii fermentacji mlekowej, pleśni mezofilnych, pleśni psychrofilnych (tylko w przypadku obróbki roztworem chloru) oraz drożdży mezofilnych. Nie odnotowano natomiast wpływu wymienionych sposobów obróbki na liczbę bakterii psychrofilnych oraz bakterii z rodzaju *Pseudomonas* w odniesieniu do próby kontrolnej. Podobnie nie zaobserwowano wpływu obróbki roztworem kwasów na liczbę pleśni psychrofilnych (tab. 10).

Uzyskane wyniki wskazują na istotną poprawę stanu mikrobiologicznego zarówno po zastosowaniu obróbki roztworem kwasów, jak i roztworem chloru, w porównaniu do obróbki samą wodą. Natomiast różnice pomiędzy obróbką roztworem kwasów a roztworem chloru są nieznaczne, na korzyść drugiej metody. W próbach po obróbce z użyciem chloru odnotowano istotnie mniejszą liczbę bakterii mezofilnych (jednak obie próby na poziomie  $10^2$  jtk/g), podobnie liczby tlenowych bakterii przetrwalnikujących oraz liczby pleśni psychrofilnych (spadek o dwa poziomy logarytmiczne) (tab. 10).

Natomiast w przypadku drożdży psychrofilnych w próbach płukanych w roztworze chloru odnotowano istotnie większą ich liczebność. Radziejewska-Kubzdela i Czaczyk (2015) uzyskały istotne obniżenie liczby bakterii psychrofilnych, bakterii kwasu mlekowego, bakterii z grupy *coli* typu ogólnego oraz pleśni i drożdży psychrofilnych o 1 cykl logarytmiczny stosując obróbkę mieszanki coleslaw wodą chlorowaną w stężeniu 100 ppm  $Cl^-$ . Te same autorki po użyciu obróbki roztworem kwasów askorbinowego i cytrynowego (5 g/l każdego kwasu) uzyskały redukcję liczby bakterii z rodzaju *Pseudomonas* oraz drożdży mezofilnych o dwa cykle logarytmiczne oraz istotny spadek liczby bakterii mezofilnych i bakterii z grupy *coli* (Radziejewska-Kubzdela i Czaczyk, 2017). W badaniach Martin-Diana i in. (2007) zanurzanie na 5 min sałatki coleslaw-mix w wodzie chlorowanej spowodowało zmniejszenie liczby bakterii o 1 cykl logarytmiczny. Traktowanie liści sałaty wodą chlorowaną o stężeniu chloru 50 ppm spowodowało znaczący spadek liczby drobnoustrojów. Jednakże dalsze zwiększanie zawartości chloru (do 200 ppm) nie wpłynęło na poprawę stanu mikrobiologicznego surowca (Cliffe-Byrnes i O'Beirne, 2005).

Zastosowanie obróbki roztworami kwasów organicznych wydaje się być dobrą alternatywą dla zastosowania chloru. Obie obróbki mogą wykazywać efekt dezynfekcyjny, natomiast obróbka roztworem kwasów może ponadto korzystnie wpływać na jakość sensoryczną minimalnie przetworzonego produktu (Biegańska-Marecik i Radziejewska-Kubzdela, 2009; Manalopoulou i Varzacas, 2013). Dane literaturowe wskazują na skuteczność w hamowaniu rozwoju mikroorganizmów m.in. kwasu mlekowego, octowego, cytrynowego oraz askorbinowego. W szczególności działanie to odnotowuje się w minimalnie przetworzonych produktach owocowo-warzywnych w odniesieniu zarówno do mikroorganizmów psychrofilnych, jak i mezofilnych

(Radziejewska-Kubzdela i in., 2007b; Escalona i in., 2015). Niektóre badania wskazują, że zastosowanie kwasów organicznych jest bardziej skuteczne w hamowaniu bakterii niż pleśni i drożdży (Artés i in., 2009). Działanie kwasów organicznych jako związków dezynfekujących może wynikać z powierzchniowego obniżenia pH rozdrobnionych warzyw, zaburzenia przepuszczalności membran komórkowych na skutek dysocjacji jonów wodorowych kwasu i obniżenia wewnątrzkomórkowego pH. Amanatidou i in. (2000), stosując obróbkę rozdrobnionej marchwi roztworem kwasu cytrynowego (5 g/l), odnotowali spadek liczby bakterii tlenowych, bakterii kwasu mlekowego, *Pseudomonas* spp. oraz *Enterobacteriace*. Radziejewska-Kubzdela i in. (2007b) zaobserwowali spadek liczby bakterii mezofilnych i psychrofilnych w wiórkach selera korzeniowego stosując roztwory o stężeniu 2–4 g/l kwasu askorbinowego. Gómes i Artés (2004) zastosowali obróbkę roztworem kwasu askorbinowego (0,5 M) oraz cytrynowego (0,1 M) zielonego selera, uzyskując redukcję liczby mikroorganizmów zbliżoną do efektu zastosowania podchlorynu sodowego w stężeniu 100 mg/l.

W celu przedłużania trwałości warzyw i owoców minimalnie przetworzonych często konieczne jest stosowanie kombinacji kilku łagodnych czynników utrwalających jednocześnie. Zastosowanie właściwej obróbki wstępnej, zapakowanie w atmosferze modyfikowanej i przechowywanie w warunkach chłodniczych to przykład działania trzech czynników, które mogą determinować jakość i długość okresu przechowywania tego typu produktów.

#### **4.2.3. Ocena wpływu obróbki wstępnej na stan mikrobiologiczny jarmużu pakowanego w atmosferze powietrza oraz w atmosferze wysokotlenowej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000**

W kolejnych doświadczeniach dokonano oceny wpływu przechowywania w atmosferze modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) w porównaniu z próbami zapakowanymi w atmosferze powietrza na jakość mikrobiologiczną prób poddanych trzem metodom obróbki wstępnej: płukaniu w wodzie (próba kontrolna), w roztworze kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l) oraz wodzie chlorowanej (100 ppm Cl<sup>-</sup>). Próby zapakowano na tackach PP i zamknięto folią F OTR 3000. Stan mikrobiologiczny produktu badano po 1, 6 i 12 dniach przechowywania w warunkach chłodniczych.

Zastosowanie obróbki roztworem kwasów oraz wodą chlorowaną, podobnie jak w poprzednim doświadczeniu, spowodowało istotne zmniejszenie poziomu skażenia jarmużu po 1 dniu przechowywania, jednakże efekt zastosowania pakowania w atmosferze modyfikowanej i powietrza w różny sposób wpłynął na zmiany jakości mikrobiologicznej produktu w trakcie jego dalszego przechowywania (tab. 11).



Tabela 11 cd. – Table 11 cont.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jarmuż płukany w roztworze kwasów**	1	2,48 ±0,0 <sup>bc</sup>	3,60 ±0,44 <sup>a</sup>	***a	3,30 ±0,0 <sup>c</sup>	1,74 ±0,0 <sup>bcd</sup>	1,00 ±0,0 <sup>b</sup>	***a	2,62 ±0,40 <sup>cde</sup>	***a	2,59 ±0,07 <sup>b</sup>
Powietrze*	6	3,03 ±0,60 <sup>def</sup>	5,23 ±0,03 <sup>d</sup>	1,60 ±0,18 <sup>c</sup>	5,18 ±0,15 <sup>c</sup>	2,40 ±0,11 <sup>ef</sup>	1,88 ±0,05 <sup>de</sup>	***a	2,40 ±0,48 <sup>bcd</sup>	2,00 ±0,0 <sup>c</sup>	4,54 ±0,3 <sup>hi</sup>
Kale rinsed with acids solution**	12	5,18 ±0,09 <sup>i</sup>	6,45 ±0,13 <sup>ef</sup>	2,76 ±0,06 <sup>d</sup>	5,11 ±0,14 <sup>c</sup>	4,63 ±0,06 <sup>i</sup>	1,30 ±0,0	***a	2,74 ±0,2 <sup>e</sup>	3,38 ±0,29 <sup>ef</sup>	4,26 ±0,06 <sup>gh</sup>
Air*											
Jarmuż płukany w roztworze kwasów**	1	2,48 ±0,0 <sup>bc</sup>	3,58 ±0,09 <sup>a</sup>	***a	***a	1,30 ±0,0 <sup>a</sup>	***a	***a	2,66 ±0,07 <sup>de</sup>	***a	2,67 ±0,32 <sup>b</sup>
Kale rinsed with acids solution**	6	2,78 ±0,15 <sup>cd</sup>	4,06 ±0,93 <sup>ab</sup>	***a	3,55 ±0,49 <sup>c</sup>	1,56 ±0,24 <sup>ab</sup>	***a	***a	***a	***a	4,08 ±0,06 <sup>g</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	12	3,08 ±0,02 <sup>def</sup>	4,11 ±0,97 <sup>ab</sup>	***a	3,15 ±0,61 <sup>c</sup>	2,65 ±0,28 <sup>f</sup>	***a	***a	***a	2,98 ±0,57 <sup>de</sup>	4,05 ±0,19 <sup>f</sup>
Jarmuż płukany w roztworze chloru	1	2,08 ±0,06 <sup>a</sup>	3,82 ±0,43 <sup>ab</sup>	***a	3,30 ±0,0 <sup>c</sup>	1,60 ±0,0 <sup>abc</sup>	***a	***a	***a	***a	2,71 ±0,48 <sup>b</sup>
Powietrze*	6	2,00 ±0,0 <sup>a</sup>	4,34 ±0,03 <sup>bc</sup>	***a	5,26 ±0,06 <sup>c</sup>	1,54 ±0,09 <sup>ab</sup>	***a	***a	***a	2,64 ±0,46 <sup>cd</sup>	3,38 ±0,09 <sup>d</sup>
Kale rinsed with chlorinated water	12	2,30 ±0,10 <sup>ab</sup>	3,60 ±0,20 <sup>a</sup>	***a	4,15 ±0,02 <sup>d</sup>	2,70 ±0,0 <sup>f</sup>	***a	***a	***a	***a	***a
Air*											
Jarmuż płukany w roztworze chloru	1	3,04 ±0,33 <sup>de</sup>	3,82 ±0,82 <sup>ab</sup>	***a	2,60 ±0,11 <sup>b</sup>	1,54 ±0,06 <sup>ab</sup>	***a	***a	***a	2,26 ±0,05 <sup>c</sup>	2,90 ±0,05 <sup>b</sup>
Kale rinsed with chlorinated water	6	4,41 ±0,03 <sup>h</sup>	7,00 ±0,0 <sup>ef</sup>	***a	5,40 ±0,09 <sup>c</sup>	4,18 ±0,15 <sup>i</sup>	***a	***a	2,20 ±0,11 <sup>b</sup>	2,54 ±0,20 <sup>cd</sup>	4,36 ±0,23 <sup>gh</sup>
80/10/10* (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	12	3,90 ±0,59 <sup>g</sup>	6,48 ±0,20 <sup>ef</sup>	***a	4,32 ±0,25 <sup>d</sup>	3,73 ±0,06 <sup>h</sup>	***a	***a	***a	2,70 ±0,49 <sup>cd</sup>	5,20 ±0,21 <sup>j</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – roztwór kwasu askorbinowego i cytrynowego, \*\*\* – nieobecne w 0,1 g.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – solution of ascorbic and citric acid, \*\*\* – not detected in 0.1 g.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .



Po 1 dniu przechowywania w próbach poddanych obróbce w wodzie i zapakowanych w powietrzu odnotowano liczbę bakterii mezofilnych i psychrofilnych wynoszącą odpowiednio 3,30 log jtk/g i 3,98 log jtk/g produktu (tab. 11). Liczba pleśni i drożdży mezofilnych kształtowała się na poziomie  $10^1$  jtk/g, natomiast liczba pleśni psychrofilnych (2,40 log jtk/g) była istotnie mniejsza niż drożdży psychrofilnych (3,15 log jtk/g). Liczba bakterii z rodzaju *Pseudomonas* wynosiła 3,30 log jtk/g, natomiast tlenowych bakterii przetrwalnikujących 2,18 log jtk/g. Liczba bakterii fermentacji mlekowej oraz bakterii z grupy *coli* kształtowała się na poziomie  $10^1$  jtk/g (tab. 11).

W czasie 12 dni przechowywania próby płukanej w wodzie i zapakowanej w powietrzu odnotowano istotny wzrost większości badanych grup mikroorganizmów: bakterii mezofilnych (do wartości 4,36 log jtk/g), psychrofilnych (6,20 log jtk/g), liczby bakterii z rodzaju *Pseudomonas* (5,08 log jtk/g), bakterii z grupy *coli* (3,62 log jtk/g), pleśni i drożdży psychrofilnych (odpowiednio 3,54 i 3,74 log jtk/g) oraz drożdży mezofilnych (4,23 log jtk/g). Natomiast w przypadku bakterii fermentacji mlekowej, tlenowych bakterii przetrwalnikujących oraz pleśni mezofilnych odnotowano istotny spadek liczebności po 12 dniach, w odniesieniu do próby po 1 dniu przechowywania. Poziom bakterii psychrofilnych oraz drożdży mezofilnych w próbce poddanej obróbce w wodzie wzrósł o trzy cykle logarytmiczne w czasie 12 dni przechowywania, bakterii z rodzaju *Pseudomonas* oraz z grupy *coli* o dwa cykle logarytmiczne, dało to w efekcie wysoki poziom skażenia próby (tab. 11).

Zastosowanie atmosfery modyfikowanej o składzie 80/10/10 (% $O_2$ /% $CO_2$ /% $N_2$ ) istotnie poprawiło jakość mikrobiologiczną w czasie przechowywania prób poddanych obróbce w wodzie, w odniesieniu do prób zapakowanych w atmosferze powietrza (tab. 11). Zastosowanie pakowania w atmosferze modyfikowanej w porównaniu z zapakowaniem w powietrzu spowodowało istotny spadek po 12 dniach przechowywania liczby bakterii psychrofilnych o dwa cykle logarytmiczne, a także bakterii fermentacji mlekowej, bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, tlenowych bakterii przetrwalnikujących oraz drożdży mezofilnych, o jeden cykl logarytmiczny. Ponadto odnotowano istotne zmniejszenie liczby bakterii z grupy *coli* i pleśni mezofilnych. W przypadku bakterii mezofilnych oraz drożdży psychrofilnych odnotowano wzrost liczebności (tab. 11).

Jakość mikrobiologiczna żywności minimalnie przetworzonej jest uzależniona od jej składu chemicznego, aktywności wody i składu otaczającej atmosfery. Skuteczność technologii pakowania w atmosferze modyfikowanej zależy od wielu czynników, m.in. świeżości i stopnia przetworzenia surowca, jego metabolizmu i początkowej jakości mikrobiologicznej, a także od zastosowania właściwego składu mieszaniny gazów oraz materiału opakowaniowego o odpowiedniej przepuszczalności (Czapski, 1996; Amanatidou i in., 1999; Alzamora i in., 2000; Czapski i Radziejewska, 2001;

Fonseca i in., 2002). Przy produkcji żywności minimalnie przetworzonej konieczne jest zastosowanie kilku metod przedłużania trwałości, oddziałujących na różne parametry odpowiedzialne za rozwój mikroorganizmów. Tego rodzaju technologia utrwalania kombinowanego, nazywana najczęściej „technologią płotków”, polega na sumarycznym działaniu kilku czynników, np. zastosowania właściwej obróbki wstępnej, pakowania w atmosferze modyfikowanej i przechowywania w warunkach chłodniczych, z których każdy oddzielnie nie jest w pełni skuteczny (Leistner i Gorris, 1995; Oms-Oliu i in., 2008).

W przypadku zastosowania atmosfery modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) do pakowania i przechowywania prób poddanych obróbce roztworem kwasów odnotowano również istotne zmniejszenie liczebności większości badanych grup mikroorganizmów w porównaniu do próby poddanej obróbce w roztworze kwasów i zapakowanej w atmosferze powietrza (tab. 11). W przypadku ogólnej liczby bakterii mezofilnych i psychrofilnych, bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, bakterii z grupy *coli* oraz pleśni psychrofilnych zauważono istotne zmniejszenie liczebności o dwa cykle logarytmiczne. W próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej nie odnotowano obecności bakterii fermentacji mlekowej oraz tlenowych bakterii przetrwalnikujących, natomiast w próbach przechowywanych w atmosferze powietrza ich liczba po 12 dniach przechowywania wynosiła odpowiednio 2,76 log jtk/g i 1,30 log jtk/g. W obu próbach nie wykryto obecności pleśni mezofilnych. Nie odnotowano istotnego wpływu przechowywania w atmosferze modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) na liczbę drożdży mezofilnych i psychrofilnych po 12 dniach przechowywania, w obu próbach występowały one na poziomie, odpowiednio 10<sup>3</sup> jtk/g i 10<sup>4</sup> jtk/g. W przypadku drożdży zarówno mezofilnych, jak i psychrofilnych, istotny wpływ wysokotlenowej atmosfery modyfikowanej w porównaniu do powietrza odnotowano po 6 dniach przechowywania prób jarmużu.

Najczęściej polecaną atmosferą do pakowania i przechowywania mało przetworzonych owoców i warzyw jest atmosfera zawierająca 1–5% tlenu oraz 5–10% ditlenku węgla, uzupełniona azotem (Gorny i in., 2002). Taki skład atmosfery wpływa m.in. na zmniejszenie transpiracji, intensywności oddychania oraz przyczynia się do zahamowania wzrostu mikroorganizmów tlenowych, a obecność ditlenku węgla ogranicza wzrost głównie bakterii Gram-ujemnych dzięki wydłużeniu fazy spoczynkowej i obniżeniu tempa wzrostu w fazie logarytmicznej. Atmosfera o wysokiej zawartości tlenu jest alternatywą dla stosowanej do pakowania owoców i warzyw atmosfery niskotlenowej. Wysoka zawartość tlenu w opakowaniu gwarantuje zachowanie tego pierwiastka podczas całego okresu przechowywania (Day, 1996; Day, 2000; Oms-Oliu, 2008). Ponadto badania prowadzone nad wykorzystaniem atmosfery wysokotlenowej do pakowania owoców i warzyw wskazują na możliwość utrzymania dobrej

jakości sensorycznej i mikrobiologicznej przechowywanych produktów. Według Amanatidou i in. (1999) zastosowanie wysokiego stężenia tlenu (80% do 90% O<sub>2</sub>) i dopełnienie atmosfery azotem nie redukuje liczby mikroorganizmów izolowanych z minimalnie przetworzonych warzyw, a jedynie hamuje poziom ich wzrostu w temperaturze 8°C, wydłużając lag fazę (fazę zastoju) w cyklu życiowym. Natomiast połączenie wysokiej zawartości tlenu ze stężeniem CO<sub>2</sub> na poziomie 10–20% zdaniem wielu autorów powoduje bardziej efektywną inhibicję wzrostu mikroorganizmów (Day, 1996; Ananatidou, 1999; Allende, 2004).

Conesa i in. (2007a; 2007b) badali wpływ atmosfery modyfikowanej o różnej zawartości tlenu i ditlenku węgla na jakość mikrobiologiczną kostkowanej papryki, przechowywanej 9–10 dni w temperaturze 5°C. Najlepszą jakość mikrobiologiczną zachowały próby pakowane w atmosferze o składzie 80/15/5 oraz 50/15/35 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>). Ponadto atmosfera składająca się wyłącznie z tlenu lub z tlenu z dodatkiem azotu wykazała znacznie gorsze rezultaty niż atmosfera o niskim stężeniu tlenu w połączeniu z 15% CO<sub>2</sub>. Radziejewska-Kubzdela i Czaczyk (2017) wykazały zahamowanie wzrostu bakterii mlekowych w próbach zapakowanych w atmosferze wysokotlenowej (50–70%) oraz wzrost skażenia w próbach zapakowanych z niskim udziałem tlenu, przy zawartości ditlenku węgla w próbach wynoszącej 10–30%.

W literaturze spotyka się sprzeczne doniesienia na temat wyników działania tlenu na wzrost drożdży. Van der Steen i in. (2003) wykazali, że w zależności od gatunku lub szczepu wzrost drożdży może być ograniczony lub stymulowany obecnością tlenu. W badaniach Jacxsens i in. (2001) zastosowanie 70%, 80% i 95% tlenu w atmosferze otaczającej produkt spowodowało wyraźne zahamowanie wzrostu drożdży *Candida lambica*, podczas gdy w badaniach Amanatidou i in. (1999) 80% tlenu w atmosferze stymulowało wzrost drożdży z rodzaju *Candida guilliermondii*.

Porównując jakość mikrobiologiczną prób poddanych obróbce w wodzie chlorowanej, odnotowano istotnie mniejsze skażenie prób zapakowanych w atmosferze powietrza w odniesieniu do prób zapakowanych w atmosferze wysokotlenowej 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (tab. 11). W próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej odnotowano istotnie wyższą liczebność bakterii mezofilnych i psychrofilnych, bakterii z grupy *coli* oraz drożdży mezo- i psychrofilnych. Największą różnicę odnotowano dla bakterii psychrofilnych, dla których odnotowano wzrost liczebności o trzy cykle logarytmiczne w próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej w porównaniu do powietrza. Efekt taki może być związany m.in. z całkowitym zahamowaniem wzrostu bakterii fermentacji mlekowej poprzez samo zastosowanie płukania w roztworze chloru, bakterie te stanowią naturalnie występującą mikroflorę warzyw liściowych i mogą ograniczać wzrost liczebności innych grup mikroorganizmów (Ragaert i in. 2007). Podobne rezultaty dla bakterii mezofilnych oraz psychrofilnych uzyskały Radziejewska-Kubzdela i Czaczyk (2015), stosując 70-procentowe

stężenie tlenu oraz 30-procentowe stężenie ditlenku węgla w atmosferze do pakowania surówki coleslaw. Warunki te dla prób traktowanych wcześniej wodą chlorowaną spowodowały większą liczebność wskazanych grup mikroorganizmów niż w próbach zapakowanych w powietrzu. Zastosowanie do obróbki jarmużu roztworu chloru dało efekt poprawy jakości mikrobiologicznej istotnie lepszy w porównaniu do dwóch pozostałych obróbek. Jednakże połączenie tej obróbki z atmosferą modyfikowaną skutkowało istotnie większym skażeniem mikrobiologicznym w porównaniu do pozostałych prób, płukanych w wodzie oraz w roztworze kwasów i zapakowanych w atmosferze modyfikowanej.

Biorąc pod uwagę wpływ obu czynników, tj. rodzaju obróbki oraz składu atmosfery zastosowanej do pakowania, obróbka roztworem chloru i zapakowanie w atmosferze powietrza dały efekt zbliżony lub nieznacznie gorszy od zastosowania płukania w roztworze kwasów i pakowania w atmosferze modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>). Mając na uwadze wcześniej opisane negatywne skutki zastosowania wody chlorowanej oraz niekorzystny wpływ tej obróbki na cechy sensoryczne, przyjęto zastosowanie połączenia obróbki roztworem kwasów askorbinowego (5 g/l) oraz cytrynowego (5 g/l) z przechowywaniem przez 12 dni w atmosferze wysokotlenowej jako najlepszy sposób poprawy jakości mikrobiologicznej prób jarmużu o małym stopniu przetworzenia.

Zastosowanie kwasów do obróbki jarmużu umożliwia skuteczne ograniczenie rozwoju mikroorganizmów w próbach pakowanych w atmosferze modyfikowanej. Efekt ten jest zbliżony lub lepszy niż zastosowanie obróbki roztworem chloru i wskazuje na możliwość zastosowania obróbki w roztworze kwasów jako głównej obróbki jarmużu o małym stopniu przetworzenia. Założenia takie przyjęto w pierwszym etapie badań, który w znacznej części prowadzony była równolegle do oznaczeń mikrobiologicznych.

#### **4.2.4. Ocena stanu mikrobiologicznego jarmużu zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10, przechowywanego w różnych warunkach atmosfery modyfikowanej**

Ze względu na ograniczenie rozwoju mikroorganizmów w próbach jarmużu pakowanych w atmosferze modyfikowanej poddanych obróbce wstępnej polegającej na płukaniu w roztworze kwasów askorbinowego i cytrynowego, do dalszych badań wybrano właśnie ten rodzaj obróbki jako właściwy. W kolejnych doświadczeniach do pakowania prób zastosowano folię opakowaniową F OTR 35 poddaną mikroperforacji MP-10. Próby pakowane z zastosowaniem tej folii opakowaniowej charakteryzowały się, podobnie jak próby zapakowane z zastosowaniem folii F OTR 3000 z użyciem

atmosfery wysokiego tlenu, bardzo dobrą lub dobrą jakością sensoryczną (badania w ramach etapu I).

Zastosowanie obróbki jarmużu roztworem kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l) oraz zapakowanie z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10 spowodowało wzrost liczby bakterii mezofilnych i psychrofilnych, bakterii z rodzaju *Pseudomonas* i z grupy *coli* oraz drożdży psychrofilnych w próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej o składzie 10/10/80 oraz 95/5/0 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (tab. 12) w porównaniu do takich samych prób (po obróbce w roztworze kwasów) zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 3000 przechowywanych w atmosferze modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), analizowanych w poprzedniej części badań mikrobiologicznych. Natomiast próba poddana obróbce w roztworze kwasów i zapakowana w atmosferze powietrza z zastosowaniem folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 charakteryzowała się mniejszym skażeniem (tab. 12) w porównaniu do analogicznej próby zapakowanej z zastosowaniem folii F OTR 3000.

Zastosowanie atmosfery modyfikowanej o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) i pakowania z użyciem folii F OTR 35 w porównaniu do próby zapakowanej w tych samych warunkach w atmosferze powietrza po 12 dniach przechowywania spowodowało istotnie ( $p < 0,05$ ) większą liczbą bakterii psychrofilnych, bakterii z rodzaju *Pseudomonas* oraz drożdży psychrofilnych, w każdym przypadku o 1 cykl logarytmiczny (tab. 12). Natomiast istotnie ( $p < 0,05$ ) mniejszą liczbę odnotowano w przypadkach liczby bakterii z grupy *coli* oraz pleśni mezo- i psychrofilnych. Nie odnotowano istotnej różnicy pomiędzy wymienionymi próbami w przypadku liczby bakterii mezofilnych.

Zastosowanie pakowania w atmosferze modyfikowanej o składzie 95/5/0 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 spowodowało istotny wzrost liczby bakterii psychrofilnych, bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, bakterii z grupy *coli* oraz drożdży psychrofilnych w porównaniu zarówno do próby zapakowanej w atmosferze powietrza, jak i atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>). Liczba bakterii psychrofilnych w tej próbie po 12 dniach przechowywania była na poziomie  $\sim 10^7$  jtk/g, liczba bakterii z rodzaju *Pseudomonas* już po 6 dniach przechowywania osiągnęła poziom  $\sim 10^7$  jtk/g. Odnotowano również wysoką liczebność drożdży psychrofilnych po 12 dniach przechowywania ( $\sim 10^6$  jtk/g). Tak wysoki poziom skażenia dyskwalifikuje te warunki pakowania jako wskazane do przechowywania produktu o małym stopniu przetworzenia.

W kolejnym doświadczeniu porównano jakość mikrobiologiczną prób poddanych obróbce w roztworze kwasów zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 35 w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), stosując mikroperforację MP-10, oraz prób zapakowanych w atmosferze 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) przy użyciu tej

**Tabela 12.** Skazenie mikrobiologiczne jarumzu płukanego w roztworze kwasów askorbinowego i cytrynowego, przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanego z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 35 z mikroperforacją MP-10  
**Table 12.** The microbial contamination of kale rinsed with a solution of ascorbic and citric acids, stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 35 with microperforation MP-10

Warunki pakowania prób płukanych w roztworze kwasów* Conditions of packing samples washed with the acid solution*	Czas przechowywania (dni) Storage time (days)	Analizowany wyroźnik (log jtk/g) – Analyzed index (log CFU/g)									
		ogólna liczba total count of		liczba – count of							
		bakterii mezofilnych mesophilic bacteria	bakterii psychrofilnych psychrophilic bacteria	bakterii fermentacji mlekowej lactic acid bacteria	bakterii z rodzaju <i>Pseudomonas</i> bacteria	bakterii z grupy <i>coli</i> typu ogólnego Coliform bacteria	bakterii tlenowych przetrwalnikujących aerobically sporulating bacteria	pleśni mezo- i zofilnych mesophilic mould	pleśni psychrofilnych psychrophilic mould	drożdży mezofilnych mesophilic yeast	drożdży psychrofilnych psychrophilic yeast
Powietrze** Mikroperforacja MP-10 Air**	1 6 12	2,74 ± 0,04 <sup>a</sup> 4,18 ± 0,43 <sup>b</sup> 4,58 ± 0,09 <sup>cd</sup>	3,48 ± 0,36 <sup>c</sup> 4,74 ± 0,08 <sup>b</sup> 4,76 ± 0,32 <sup>b</sup>	*** *** ***	4,40 ± 0,02 <sup>a</sup> 4,78 ± 0,24 <sup>b</sup> 4,48 ± 0,15 <sup>ab</sup>	**** 3,94 ± 0,04 <sup>b</sup> 5,20 ± 0,61 <sup>c</sup>	2,39 <sup>a</sup> *** ***	*** *** ***	2,88 ± 0,08 <sup>c</sup> 2,54 ± 0,06 <sup>b</sup> 2,81 ± 0,18 <sup>c</sup>	**** 2,26 ± 0,04 <sup>c</sup> 2,15 ± 0,05 <sup>b</sup>	3,54 ± 0,13 <sup>c</sup> 4,40 ± 0,09 <sup>a</sup> 4,11 ± 0,02 <sup>a</sup>
10/10/80** (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Mikroperforacja MP-10 Microperforation MP-10	1 6 12	2,54 ± 0,06 <sup>a</sup> 3,54 ± 0,13 <sup>c</sup> 4,90 ± 0,24 <sup>d</sup>	3,72 ± 0,06 <sup>a</sup> 3,90 ± 0,05 <sup>a</sup> 5,45 ± 0,03 <sup>f</sup>	*** *** ***	3,46 ± 0,06 <sup>d</sup> 3,70 ± 0,08 <sup>c</sup> 5,46 ± 0,16 <sup>f</sup>	**** 2,85 ± 0,06 <sup>d</sup> 3,78 ± 0,24 <sup>b</sup>	*** *** ***	*** *** ***	**** **** ****	**** **** ****	2,65 ± 0,38 <sup>b</sup> 2,70 ± 0,49 <sup>b</sup> 5,54 ± 0,06 <sup>d</sup>
95/5/0** (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Mikroperforacja MP-10 Microperforation MP-10	1 6 12	3,40 ± 0,59 <sup>a</sup> 4,18 ± 0,09 <sup>bc</sup> 4,23 ± 0,04 <sup>bc</sup>	2,30 ± 0,0 <sup>d</sup> 7,18 ± 0,15 <sup>c</sup> 7,30 ± 0,0 <sup>c</sup>	*** *** ***	2,78 ± 0,24 <sup>c</sup> 7,40 ± 0,09 <sup>h</sup> 6,18 ± 0,25 <sup>g</sup>	**** 4,26 ± 0,09 <sup>bc</sup> 5,11 ± 0,38 <sup>e</sup>	*** *** ***	*** *** ***	3,65 ± 0,15 <sup>d</sup> 3,90 ± 0,05 <sup>e</sup> 2,40 ± 0,09 <sup>b</sup>	**** **** ****	3,11 ± 0,09 <sup>c</sup> 4,70 ± 0,49 <sup>a</sup> 6,48 ± 0,15 <sup>e</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – roztwór kwasu askorbinowego i cytrynowego, \*\*\* – nieobecne w 0,1g.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – solution of ascorbic and citric acid, \*\*\* – not detected in 0.1 g.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

samej folii opakowaniowej bez mikroperforacji. Jako próbę kontrolną zastosowano pakowanie w powietrzu z wykorzystaniem ww. folii bez mikroperforacji.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, podobnie jak w poprzednim doświadczeniu, że zapakowanie prób w atmosferze wysokotlenowej, przy zastosowaniu materiału opakowaniowego o niskiej przepuszczalności dla gazów, niezależnie od zastosowania lub niezastosowania mikroperforacji, nie pozwalają na uzyskanie produktu przechowywanego przez 12 dni w temperaturze 4°C o zadawalającej jakości mikrobiologicznej (tab. 13). Liczba bakterii psychrofilnych oraz bakterii z rodzaju *Pseudomonas* w próbie zapakowanej w atmosferze wysokotlenowej (80% O<sub>2</sub>) była na poziomie ~10<sup>7</sup> jtk/g, natomiast bakterii z grupy *coli* oraz drożdży psychrofilnych na poziomie ~10<sup>6</sup> jtk/g (tab. 13).

Śród badanych warunków pakowania (prób poddanych obróbce w roztworze kwasów) z wykorzystaniem folii F OTR 35 jedynie przechowywanie w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) przy zastosowaniu mikroperforacji materiału opakowaniowego pozwala na uzyskanie zadawalającej jakości mikrobiologicznej produktu w czasie 12 dni przechowywania. Jednakże jarmuż zapakowany i przechowywany w takich warunkach charakteryzuje się istotnie ( $p < 0,05$ ) większym poziomem skażenia w czasie 12 dni przechowywania w porównaniu do prób zapakowanych z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000 oraz atmosfery modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>). Jest to związane najprawdopodobniej z krótkim okresem utrzymania wewnątrz opakowania atmosfery modyfikowanej. Jak wynika z analiz zawartości gazów w opakowaniu z jarmużem przeprowadzanych w pierwszym etapie badań, zastosowanie mikroperforacji materiału opakowaniowego powodowało utrzymanie wewnątrz opakowania wprowadzonej atmosfery jedynie przez 3–4 dni przechowywania, a następnie poziom tlenu oraz ditlenku węgla utrzymywał się na poziomie zbliżonym do składu powietrza. W badaniach przeprowadzonych w ramach etapu I próby zapakowane z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 35 poddanej mikroperforacji uzyskały wysokie noty oceny sensorycznej, co – jak się okazało – nie korelowało z zadawalającą jakością mikrobiologiczną tych prób.

Badania Radziejewskiej i in. (2001) wykazały, że pakowanie w atmosferze modyfikowanej zawierającej 10% CO<sub>2</sub> i 2% O<sub>2</sub> powoduje obniżenie liczby bakterii mezofilnych w rozdrobnionym selerze. Poziom bakterii mezofilnych w czasie 12-dniowego przechowywania tego produktu w temperaturze 4°C osiągnął wartość 10<sup>2</sup> jtk/g surowca. Według innych badań poziom 5–10% CO<sub>2</sub> przy niskim stężeniu tlenu w atmosferze może przyspieszyć wzrost mikroorganizmów (Carrasco i in. 2008). Z kolei Radziejewska-Kubzdela i Czaczyk (2017) odnotowały zbliżoną jakość mikrobiologiczną po 12 dniach przechowywania surówki coleslaw przechowywanej w atmosferze 5% zawartości O<sub>2</sub> oraz 10% zawartości CO<sub>2</sub> oraz atmosferze wysokotlenowej

**Tabela 13.** Skażenie mikrobiologiczne jarmużu plukanego w roztworze kwasów askorbinowego i cytrynowego, przechowywanego przez 12 dni w atmosferze o składzie 10/10/80 oraz 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), zapakowanego z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 35  
**Table 13.** The microbial contamination of kale rinsed with a solution of ascorbic and citric acids, stored for 12 days in modified atmospheres composed of 10/10/80 and 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), packed in film F OTR 35

Warunki pakowania prób plukanych w roztworze kwasów*	Czas przechowywania (dni) Storage time (days)	Analizowany wyróżnik (log jtk/g) – Index (log CFU/g)									
		ogólna liczba total count of		liczba – count of							
		bakterii mezofilnych mesophilic bacteria	bakterii psychrofilnych psychrophilic bacteria	bakterii fermentacji mlekowej lactic acid bacteria	bakterii z rodzaju <i>Pseudomonas</i> <i>Pseudomonas</i> bacteria	bakterii z grupy <i>coli</i> typu ogólnego Coliform bacteria	tlenowych bakterii przetrwałych aerobic sporulating bacteria	pleśni mezoofilnych mesophilic mould	pleśni psychrofilnych psychrophilic mould counts	drożdży mezofilnych mesophilic yeast	drożdży psychrofilnych psychrophilic yeast counts
Powietrze** Bez mikroperforacji MP-0 Air** Without microperforation MP-0	1 6 12	2,70 ± 0,19 <sup>b</sup> 3,81 ± 0,03 <sup>e</sup> 5,20 ± 0,24 <sup>c</sup>	3,85 ± 0,06 <sup>d</sup> 4,45 ± 0,22 <sup>a</sup> 7,30 ± 0,0 <sup>b</sup>	2,11 ± 0,0 <sup>g</sup> *** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup>	3,18 ± 0,15 <sup>b</sup> 5,64 ± 0,07 <sup>a</sup> 7,40 ± 0,09 <sup>c</sup>	*** <sup>a</sup> 5,18 ± 0,15 <sup>b</sup> 6,65 ± 0,05 <sup>f</sup>	*** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup>	*** *** ***	2,11 ± 0,07 <sup>b</sup> 2,9 ± 0,05 <sup>c</sup>	*** <sup>a</sup> *** <sup>a</sup> 3,40 ± 0,20 <sup>c</sup>	2,15 ± 0,13 <sup>a</sup> 3,49 ± 0,09 <sup>d</sup> 6,54 ± 0,02 <sup>g</sup>
10/10/80** (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Mikroperforacja MP-10 Microperforation MP-10	1 6 12	*** <sup>a</sup> 2,78 ± 0,24 <sup>b</sup> 5,15 ± 0,06 <sup>c</sup>	4,64 ± 0,55 <sup>a</sup> 4,54 ± 0,06 <sup>a</sup> 5,93 ± 0,08 <sup>f</sup>	*** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup>	4,34 ± 0,52 <sup>d</sup> 5,40 ± 0,09 <sup>a</sup> 6,18 ± 0,15 <sup>c</sup>	*** <sup>a</sup> 2,26 ± 0,05 <sup>c</sup> 5,30 ± 0,24 <sup>b</sup>	*** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup>	*** *** ***	*** <sup>a</sup> *** <sup>a</sup> *** <sup>a</sup>	*** <sup>a</sup> *** <sup>a</sup> 5,30 ± 0,06 <sup>c</sup>	2,28 ± 0,38 <sup>ab</sup> 2,63 ± 0,49 <sup>c</sup> 5,30 ± 0,06 <sup>c</sup>
80/10/10** (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Bez mikroperforacji MP-0 Without microperforation MP-0	1 6 12	*** <sup>a</sup> 2,20 ± 0,17 <sup>d</sup> 4,70 ± 0,31 <sup>f</sup>	3,26 ± 0,20 <sup>c</sup> 5,26 ± 0,21 <sup>c</sup> 7,18 ± 0,15 <sup>b</sup>	*** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup> *** <sup>b</sup>	2,90 ± 0,05 <sup>b</sup> 5,68 ± 0,23 <sup>a</sup> 7,30 ± 0,0 <sup>c</sup>	*** <sup>a</sup> 3,32 ± 0,03 <sup>d</sup> 6,18 ± 0,15 <sup>c</sup>	*** <sup>b</sup> 1,98 ± 0,02 <sup>a</sup> *** <sup>b</sup>	*** *** ***	*** <sup>a</sup> *** <sup>a</sup> 3,26 ± 0,07 <sup>d</sup>	*** <sup>a</sup> *** <sup>a</sup> 3,18 ± 0,06 <sup>b</sup>	2,34 ± 0,09 <sup>abc</sup> 2,58 ± 0,49 <sup>bc</sup> 6,18 ± 0,15 <sup>f</sup>

\* – roztwór kwasu askorbinowego i cytrynowego, \*\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\*\* – nieobecne w 0,1g.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – solution of ascorbic and citric acid, \*\* – composition of modified atmosphere, \*\*\* – not detected in 0.1 g.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ .



z wysoką zawartością ditlenku węgla (50% O<sub>2</sub> i 30%CO<sub>2</sub>). Negatywnym aspektem zastosowania atmosfery modyfikowanej do przechowywania produktów roślinnych o małym stopniu przetworzenia jest nierównomierne hamowanie rozwoju mikroorganizmów, w zależności zarówno od rodzaju mikroorganizmów, gatunku surowca, formy, jak i stopnia jego rozdrobnienia oraz skażenia początkowego (Oms-Oliu, 2008a; Xiao i in., 2014). Jacxsens i in. (2001) nie wykazali wpływu niskotlenowej atmosfery modyfikowanej o zawartości 3%O<sub>2</sub> i 5% CO<sub>2</sub> na wzrost mikroorganizmów w minimalnie przetworzonych produktach roślinnych w czasie 7 dni przechowywania w warunkach chłodniczych, natomiast odnotowali istotny wpływ atmosfery o zawartości 70% O<sub>2</sub> przy zawartości CO<sub>2</sub> na poziomie 10–20%.

Podsumowując wszystkie przeprowadzone badania jakości mikrobiologicznej jarmużu o małym stopniu przetworzenia pakowanego w atmosferze modyfikowanej oraz badania surowca niepoddanego obróbce, można stwierdzić, że dominującą mikrobiotę jarmużu bez obróbki wstępnej stanowiły bakterie z rodzaju *Pseudomonas* (10<sup>3</sup>-10<sup>5</sup> jtk/g), bakterie mezofile (10<sup>3</sup> jtk/g), drożdże psychrofilne (10<sup>3</sup> jtk/g) oraz bakterie fermentacji mlekowej (10<sup>2</sup> jtk/g). W badanym surowcu zaobserwowano obecność bakterii z grupy *coli* typu ogólnego (10<sup>1</sup> jtk/g).

Zastosowanie obróbki wstępnej, polegającej na traktowaniu surowca roztworem kwasów askorbinowego i cytrynowego oraz pakowaniu prób w atmosferze powietrza nie poprawiło stanu mikrobiologicznego produktu w czasie 12-dniowego przechowywania. Poziom bakterii i pleśni psychrofilnych, tlenowych bakterii przetrwalnikujących oraz bakterii z rodzaju *Pseudomonas* pozostawał na poziomie prób kontrolnych. Zaobserwowano wzrost ogólnej liczby bakterii mezofilnych, drożdży psychrofilnych, bakterii fermentacji mlekowej oraz bakterii z grupy *coli* typu ogólnego. Lepszy efekt mikrobiologiczny uzyskano stosując obróbkę wstępną polegającą na traktowaniu prób wodą chlorowaną przy zapakowaniu w tych samych warunkach.

Pakowanie w atmosferze modyfikowanej wpłynęło na poprawę ogólnego stanu mikrobiologicznego produktu w stosunku do prób pakowanych w atmosferze powietrza. Połączenie obróbki wstępnej w roztworze kwasów lub wodzie chlorowanej z pakowaniem w atmosferze modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) spowodowało poprawę stanu mikrobiologicznego jarmużu w czasie 12-dniowego okresu przechowywania. Pakowanie w atmosferze modyfikowanej jarmużu traktowanego roztworem kwasów spowodowało redukcję poziomu bakterii psychrofilnych, pleśni psychrofilnych, bakterii z rodzaju *Pseudomonas* i bakterii z grupy *coli* typu ogólnego. Kombinacja pakowania w atmosferze modyfikowanej z obróbką wstępną wodą chlorowaną spowodowała zmniejszenie liczby drożdży mezofilnych i pleśni psychrofilnych. Zastosowanie atmosfery modyfikowanej o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) w połączeniu z obróbką wstępną kwasami spowodowało redukcję liczby bakterii psychrofilnych oraz bakterii z grupy *coli* typu ogólnego.

Użycie do pakowania jarmużu folii opakowaniowej F OTR 35 poddanej mikroperforacji spowodowało znaczący wzrost skażenia mikrobiologicznego jarmużu płukanego w roztworze kwasów askorbinowego i cytrynowego w porównaniu do prób pakowych z zastosowaniem folii F OTR 3000 bez mikroperforacji.

W trakcie 12-dniowego okresu przechowywania w warunkach chłodniczych najlepszą jakością mikrobiologiczną charakteryzował się jarmuż poddany obróbce wstępnej polegającej na traktowaniu surowca roztworem kwasów askorbinowego i cytrynowego i pakowany w atmosferze modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) z wykorzystaniem do pakowania folii F OTR 3000.

### **4.3. Etap III: określenie wpływu minimalnego przetwarzania i pakowania w atmosferze modyfikowanej na zmiany zawartości związków biologicznie aktywnych, siarkowych związków lotnych oraz na aktywność przeciwutleniającą jarmużu**

Sposób żywienia ma istotny wpływ na zdrowie. Złe nawyki żywieniowe zwiększają ryzyko zachorowania m.in. na cukrzycę typu 2, choroby układu krążenia, otyłość oraz niektóre nowotwory. Coraz większa świadomość konsumentów na temat roli zbilansowanej diety w zmniejszaniu ryzyka zapadania na wiele chorób spowodowała wzrost zainteresowania żywnością o wysokiej zawartości związków biologicznie aktywnych (Górecka, 2007).

Owoce i warzywa ze względu na zawarte w nich związki o charakterze bioaktywnym, mają znaczący udział w tworzeniu nowych produktów o znaczeniu prozdrowotnym. Wśród związków biologicznie aktywnych, jakie występują w owocach i warzywach, są związki fenolowe, karotenoidy, witaminy i składniki mineralne. W warzywach kapustowatych występują ponadto glukozynolany, które mają duże znaczenie w profilaktyce nowotworów. Wśród warzyw kapustowatych jarmuż zielony i czerwony są bogatym źródłem glukozynolanów, kwasu askorbinowego i związków fenolowych. Proces minimalnego przetwarzania jarmużu w znacznym stopniu pozwala na zachowanie tych związków, w porównaniu z innymi procesami przetwarzania i obróbki wstępnej. Zaletą produktów minimalnie przetworzonych jest zachowanie cech świeżego surowca, zarówno w odniesieniu do cech sensorycznych i wartości odżywczej, jak i zawartości związków biologicznie aktywnych. Zawartość związków biologicznie aktywnych w surowcu stanowiącym materiał badawczy w niniejszej pracy przedstawiono w tabeli 14.

**Tabela 14.** Zawartość związków biologicznie aktywnych w jarmużu zielonym i czerwonym w różnych latach zbioru

**Table 14.** The content of bioactive compounds in green and red kale in different harvest years

Data zbioru surowca Date of harvest	Zawartość polifenoli (metoda Folin-Ciocalteu) (mg/100 g surowca) Phenolic content (Folin-Ciocalteu methods) (mg/100 g raw material)	Aktywność przeciwutleniająca (ABTS) (μmol Trolox/g surowca) Antioxidative activity (ABTS) (μmol Trolox/g raw material)	Aktywność przeciwutleniająca (DPPH) (μmol Trolox/g surowca) Antioxidative activity (DPPH) (μmol Trolox/g raw material)	Zawartość karotenoidów (mg/100 g surowca) Carotenoid content (mg/100 g raw material)
Jarmuż zielony odmiana Refleks – Green kale, Reflex cultivar				
Grudzień December 2010	183,37 ±3,9	27,75 ±0,9	11,0 ±0,5	13,6 ±1,9
Styczeń January 2011	179,10 ±2,6	23,87 ±1,2	11,9 ±0,2	16,7 ±1,4
Styczeń January 2012	172,6 ±4,6	22,64 ±1,6	9,73 ±0,6	15,3 ±0,5
Marzec March 2013	262,3 ±2,3	24,00 ±1,5	12,3 ±1,3	–
Marzec March 2015	192,9 ±6,8	21,66 ±2,8	8,19 ±0,5	22,8 ±0,55
Jarmuż czerwony odmiana Redbor – Red kale, Redbor cultivar				
Grudzień December 2010	346,6 ±3,2	44,4 ±2,1	20,6 ±0,4	11,2 ±0,4
Styczeń January 2012	242,9 ±1,9	26,5 ±0,7	12,1 ±0,3	–
Styczeń January 2013	423,6 ±2,9	32,6 ±1,4	19,0 ±2,0	16,0 ±0,2

#### **4.3.1. Zmiany zawartości związków polifenolowych i aktywności przeciwutleniającej w jarmużu zielonym i czerwonym świeżym oraz poddanym minimalnemu przetwarzaniu**

Polifenole są związkami należącymi do wtórnych metabolitów roślin. W swojej częścieczce zawierają grupy hydroksylowe połączone z pierścieniem aromatycznym. Najczęściej występują w postaci glikozydów i estrów (Gumul i in., 2005). Dotychczas poznanych jest wiele związków fenolowych, zróżnicowanych pod względem struktury i właściwości. Biorąc pod uwagę konstrukcję szkieletu węglowego, można je podzielić na kwasy hydroksybenzoesowe i hydroksycynamonowe, naftochinony, ksantony, stilbeny, flawonoidy (Wilska-Jeszka, 2007a; 2007b).

Związki fenolowe obecne w warzywach i owocach ograniczają utlenianie m.in. nienasyconych kwasów tłuszczowych, karotenoidów i witaminy C. Właściwości przeciwutleniające wykazują głównie flawonoidy i kwasy fenolowe. Aktywność ich polega na wiązaniu wolnych rodników, inhibicji oksydaz oraz przerywaniu łańcuchowych reakcji rodnikowych. Kwasy fenolowe mają ponadto zdolność do blokowania kancerogenów (Gawlik-Dziki, 2004). Warzywa kapustowate są zróżnicowane pod względem profilu i zawartości związków fenolowych. Bogatym ich źródłem jest jarmuż zielony i czerwony, w których dominują flawonole i kwasy fenolowe (Olsen i in., 2009; 2010). Równie cennym źródłem jest kapusta czerwona, włoska oraz brukselska (Podsędek, 2006). Antocyjany zawarte w czerwonej kapuście i jarmużu, poza właściwościami przeciwutleniającymi, warunkują czerwoną barwę tych warzyw (Wilska-Jeszka, 2007a).

W badaniach nad zmianami zawartości związków fenolowych w jarmużu o małym stopniu przetworzenia oraz jego aktywnością przeciwutleniającą zastosowano dwie odmiany jarmużu – Reflex (jarmuż zielony) i Redbor (jarmuż czerwony), które zapakowano w atmosferze modyfikowanej o składzie: 10/10/80, 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz w atmosferze powietrza. Do pakowania produktu zastosowano tacki PP zamknięte folią F OTR 3000 oraz F OTR 35 z mikroperforacją MP-10. Produkt przechowywano przez 12 dni w temperaturze 4°C. W pierwszym doświadczeniu porównano zmiany zawartości związków fenolowych w jarmużu zielonym przy zastosowaniu obu wymienionych folii opakowaniowych (tab. 15 i 16). W drugim doświadczeniu powtórzono, w kolejnym roku zbioru surowca, analizę zawartości fenoli w jarmużu zielonym dla folii F OTR 3000 (stosując te same zmienne) (tab. 17 i 18). Trzecie doświadczenie przeprowadzono dla jarmużu czerwonego, używając folii F OTR 3000 (tab. 19 i 20).

### **Omówienie zawartość związków fenolowych oraz aktywności przeciwutleniającej surowców stosowanych w badaniach**

Ogólna zawartość związków fenolowych oznaczonych metodą Folina-Ciocalteu w jarmużu zielonym, w badaniach prezentowanych poniżej wynosiła 172,3–262,6 mg/100 g, natomiast suma związków fenolowych oznaczanych metodą HPLC w tym surowcu wynosiła 182,9–195,9 mg/100 (tab. 15 i 17). W przypadku jarmużu czerwonego odnotowano istotnie wyższe zawartości związków fenolowych, wynoszące 423,6 mg/100 g i 291,1 mg/100 g, odpowiednio dla ogólnej zawartości polifenoli oraz sumy związków fenolowych oznaczanych metodą HPLC (tab. 19 i 20). W jarmużu czerwonym istotnie wyższa zawartość związków fenolowych wynika z obecności antocyjanów, które w przypadku analizowanego surowca stanowią ok. 25% sumy oznaczonych związków (69,9 mg/100 g). Według Huang i in. (2009) zawartość związków fenolowych ogółem w jarmużu zielonym wynosi 490 mg/100 g, natomiast Olsen i in. (2009) podali zawartość na poziomie 850 mg/100 g. Sikora i in. (2008) odnotowali w jarmużu zielonym odmiany Winterbor zawartość polifenoli wynoszącą ogółem 773 mg/100 g. Z kolei Hagen i in. (2009) podali w jarmużu zielonym zawartość związków fenolowych oznaczonych metodą HPLC wynoszącą 266,7 mg/100 g, natomiast wg Korus i Lisiewskiej (2011) jarmuż zielony odmiany Winterbor charakteryzował się zawartością omawianych związków wynoszącą 385 mg/100 g.

W jarmużu czerwonym Olsen i in. (2010) podali zawartość polifenoli na poziomie 872 mg/100 g, natomiast Korus (2011a) dla odmiany Redbor w zakresie od 291–531 mg/100 g, w zależności od roku uprawy i terminu zbioru.

W jarmużu zielonym flawonoidy stanowiły dominującą grupę związków fenolowych, stanowiącą 67–69% ogółu badanych związków, z większą zawartością kemferolu (37–39%) w porównaniu do kwercetyny (30%). Udział kwasów fenolowych w ogólnej zawartości związków fenolowych wynosił 31–33%, w tym kwas ferulowy stanowił 15–19%, pozostałe zidentyfikowane kwasy to: p-kumarowy (4,7–9%), kawowy (2,3–3,8%), synapinowy (4–4,5%) (tab. 16). Przykładowe chromatogramy rozdzielu związków fenolowych jarmużu zielonego i czerwonego przedstawiono na rycinie 13. Zgodnie z literaturą, kemferol i kwercetyna oraz ich pochodne tworzone przez mono- do pentaglikozylację aglikonów, stanowią główne flawonoidy jarmużu (Lin i Harnly, 2009; Olsen, 2009, 2010; Schmidt, 2010; Korus, 2011a; Korus i Lisiewska, 2011; Fiol, 2013). Podobny profil związków fenolowych jarmużu zielonego podali Olsen i in. (2009), w prezentowanych przez nich badaniach zawartość flawonoidów i kwasów fenolowych wynosiła odpowiednio 646 i 204 mg/100 g, co stanowiło 76% i 24% ogółu polifenoli. Wśród flawonoidów dominującym związkiem był kemferol oraz kwercetyna, ich glikozydy i formy acylowane. W grupie kwasów autorki zidentyfikowali, podobnie jak w niniejszej pracy, kwasy: p-kumarowy, kawowy,

**Tabela 15.** Ogólna zawartość związków fenolowych oraz aktywność przeciwutleniająca jarmużu zielonego świeżego oraz minimalnie przetworzonego przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 35 i F OTR 3000

**Table 15.** The total phenolic content and antioxidative activity of fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 35 and F OTR 3000

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Ogólna zawartość polifenoli Total phenolic content (mg/100 g)	Suma fenoli oznaczonych metodą HPLC Total phenolic content measured with HPLC (mg/100 g)	Aktywność przeciwutleniająca (metoda z kationorodnikiem ABTS <sup>-</sup> ) ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ ) Antioxidative activity (ABTS <sup>-</sup> method) ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ )
1	2	3	4	5
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		172,3 $\pm$ 2,3 <sup>cdéfg</sup>	182,9 $\pm$ 2,0 <sup>b</sup>	24,0 $\pm$ 1,5 <sup>abc</sup>
Powietrze* F OTR 35 ** Mikroperforacja MP-10 Air**	1 3 6	179,1 $\pm$ 1,4 <sup>ghi</sup> 187,8 $\pm$ 2,5 <sup>kl</sup> 176,6 $\pm$ 1,6 <sup>gh</sup>	181,9 $\pm$ 2,4 <sup>b</sup> 221,2 $\pm$ 3,9 <sup>bc</sup> 185,6 $\pm$ 3,9 <sup>ghij</sup>	24,0 $\pm$ 2,8 <sup>abc</sup> 26,9 $\pm$ 0,7 <sup>bc</sup> 24,5 $\pm$ 0,3 <sup>abc</sup>
F OTR 35 ** Mikroperforacja MP-10	9 12	183,8 $\pm$ 1,3 <sup>hij</sup> 166,6 $\pm$ 2,1 <sup>abcd</sup>	221,2 $\pm$ 3,1 <sup>ghij</sup> 213,7 $\pm$ 2,0 <sup>fg</sup>	25,8 $\pm$ 0,6 <sup>abc</sup> 25,3 $\pm$ 2,2 <sup>abc</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* F OTR 35** Mikroperforacja MP-10 F OTR 35** Mikroperforacja MP-10	1 3 6 9	170,83 $\pm$ 2,1 <sup>edef</sup> 194,0 $\pm$ 2,7 <sup>kl</sup> 185,1 $\pm$ 1,4 <sup>ij</sup> 165,2 $\pm$ 2,5 <sup>abc</sup>	170,2 $\pm$ 2,8 <sup>a</sup> 209,0 $\pm$ 3,2 <sup>ef</sup> 218,3 $\pm$ 2,9 <sup>efg</sup> 217,9 $\pm$ 3,1 <sup>fg</sup>	20,3 $\pm$ 2,2 <sup>a</sup> 24,0 $\pm$ 1,7 <sup>abc</sup> 29,6 $\pm$ 3,9 <sup>c</sup> 24,6 $\pm$ 1,0 <sup>abc</sup>
	12	178,6 $\pm$ 1,9 <sup>ghi</sup>	228,4 $\pm$ 2,8 <sup>ij</sup>	26,7 $\pm$ 0,6 <sup>bc</sup>

Tabela 15 cd. – Table 15 cont.

1	2	3	4	5
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	169,0 ±2,1 <sup>bcde</sup>	182,2 ±3,1 <sup>b</sup>	24,0 ±1,3 <sup>abc</sup>
F OTR35**	3	165,2 ±2,0 <sup>abc</sup>	229,3 ±3,1 <sup>j</sup>	25,8 ±3,2 <sup>abc</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	194,4 ±2,8 <sup>l</sup>	242,7 ±2,4 <sup>k</sup>	26,4 ±1,8 <sup>bc</sup>
F OTR35**	9	185,4 ±2,1 <sup>ij</sup>	259,9 ±2,9 <sup>l</sup>	27,8 ±2,1 <sup>bc</sup>
Microperforation MP-10	12	184,27 ±2,1 <sup>ij</sup>	274,0 ±2,6 <sup>l</sup>	28,7 ±1,7 <sup>bc</sup>
Powietrze*	1	177,4 ±3,0 <sup>gh</sup>	163,0 ±3,4 <sup>a</sup>	26,1 ±1,9 <sup>abc</sup>
F OTR 3000**	3	168,7 ±1,1 <sup>bcd</sup>	190,3 ±2,73,0 <sup>bc</sup>	24,8 ±0,3 <sup>abc</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	168,7 ±3,1 <sup>bcd</sup>	185,4 ±2,6 <sup>bc</sup>	25,5 ±0,1 <sup>abc</sup>
Air*	9	170,4 ±1,9 <sup>cdef</sup>	227,4 ±2,2 <sup>hij</sup>	26,1 ±2,5 <sup>abc</sup>
F OTR 3000**	12	162,4 ±1,2 <sup>ab</sup>	193,4 ±2,7 <sup>cd</sup>	23,3 ±1,8 <sup>ab</sup>
Without microperforation MP-0	1	172,4 ±2,7 <sup>cdefg</sup>	202,1 ±2,6 <sup>de</sup>	24,9 ±1,4 <sup>abc</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	3	170,2 ±1,8 <sup>cdef</sup>	170,0 ±3,2 <sup>a</sup>	26,2 ±2,2 <sup>abc</sup>
F OTR 3000**	6	178,8 ±2,4 <sup>ghi</sup>	219,7 ±2,7 <sup>ghi</sup>	27,8 ±1,3 <sup>abc</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	9	72,5 ±1,5 <sup>defg</sup>	229,9 ±3,3 <sup>j</sup>	29,7 ±3,0 <sup>c</sup>
F OTR 3000**	12	62,4 ±1,5 <sup>ab</sup>	213,5 ±3,0 <sup>fg</sup>	23,0 ±1,6 <sup>ab</sup>
Without microperforation MP-0	1	176,1 ±3,9 <sup>fg</sup>	194,7 ±2,5 <sup>cd</sup>	26,3 ±1,7 <sup>bc</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	3	185,4 ±2,9 <sup>ij</sup>	210,0 ±2,6 <sup>ef</sup>	27,2 ±0,8 <sup>bc</sup>
F OTR 3000 **	6	163,1 ±1,5 <sup>a</sup>	221,8 ±3,1 <sup>ghij</sup>	23,8 ±2,8 <sup>abc</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	9	166,7 ±2,2 <sup>abcd</sup>	268,3 ±3,7 <sup>ll</sup>	24,9 ±1,3 <sup>abc</sup>
F OTR 3000**	12	187,0 ±1,8 <sup>kl</sup>	277,3 ±4,1 <sup>l</sup>	26,8 ±0,5 <sup>abc</sup>
Without microperforation MP-0				

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 16.** Zawartości poszczególnych związków fenolowych (mg/100 g) w jarmużu zielonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 35 i F OTR 3000

**Table 16.** The content of phenolic compounds (mg/100 g) in fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in films F OTR 35 and F OTR 3000

Próba Sample	Czas przecho- wywania (dni) Storage period (days)	Kwercetyna Quercetin	Kemferol Kaemferol	Kwas p-kumarowy P-cumaric acid	Kwas kawowy Caffeic acid	Kwas ferulowy Ferulic acid	Kwas synapinowy Sinapic acid
1	2	3	4	5	6	7	8
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		55,7 ±0,5 <sup>d</sup>	67,7 ±0,8 <sup>g</sup>	16,6 ±0,2 <sup>ef</sup>	6,99 ±0,3 <sup>def</sup>	27,5 ±0,3 <sup>cd</sup>	8,41 ±0,2 <sup>a</sup>
Powietrze* F OTR 35** Mikroperforacja MP-10 Air*	1 3 6	51,9 ±0,3 <sup>bc</sup> 61,3 ±0,8 <sup>hijk</sup> 53,2 ±0,7 <sup>c</sup>	62,8 ±0,9 <sup>c</sup> 74,2 ±1,2 <sup>jk</sup> 69,8 ±0,9 <sup>h</sup>	18,3 ±0,5 <sup>hi</sup> 26,4 ±0,6 <sup>l</sup> 17,1 ±0,3 <sup>efg</sup>	6,25 ±0,1 <sup>bed</sup> 7,05 ±0,2 <sup>def</sup> 7,08 ±0,3 <sup>def</sup>	29,3 ±0,4 <sup>e</sup> 37,0 ±0,5 <sup>ij</sup> 29,5 ±0,6 <sup>e</sup>	13,4 ±0,4 <sup>de</sup> 15,3 ±0,5 <sup>g</sup> 8,82 ±0,5 <sup>a</sup>
F OTR 35** Mikroperforacja MP-10	9 12	59,8 ±1,0 <sup>ghi</sup> 58,2 ±0,6 <sup>ef</sup>	71,3 ±1,1 <sup>i</sup> 70,1 ±0,5 <sup>hi</sup>	27,1 ±0,3 <sup>l</sup> 28,8 ±0,1 <sup>l</sup>	9,27 ±0,2 <sup>jk</sup> 5,48 ±0,2 <sup>bc</sup>	36,4 ±0,3 <sup>hi</sup> 34,9 ±0,4 <sup>fg</sup>	17,2 ±0,2 <sup>h</sup> 15,9 ±0,2 <sup>g</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* F OTR 35** Mikroperforacja MP-10 F OTR 35** Mikroperforacja MP-10	1 3 6 9	50,6 ±0,6 <sup>ab</sup> 62,3 ±0,5 <sup>jk</sup> 65,7 ±0,7 <sup>lm</sup> 63,9 ±0,8 <sup>kl</sup>	62,7 ±0,8 <sup>c</sup> 71,0 ±1,1 <sup>hi</sup> 73,0 ±0,9 <sup>i</sup> 74,4 ±1,2 <sup>jk</sup>	15,1 ±0,1 <sup>ed</sup> 17,1 ±0,2 <sup>efg</sup> 18,3 ±0,3 <sup>hi</sup> 17,9 ±0,3 <sup>gh</sup>	4,59 ±0,2 <sup>a</sup> 6,43 ±0,4 <sup>cd</sup> 6,26 ±0,2 <sup>bcd</sup> 7,07 ±0,2 <sup>def</sup>	26,3 ±0,5 <sup>abc</sup> 34,0 ±0,5 <sup>f</sup> 36,9 ±0,4 <sup>ij</sup> 35,4 ±0,3 <sup>gh</sup>	10,9 ±0,2 <sup>b</sup> 18,7 ±0,5 <sup>hij</sup> 18,1 ±0,4 <sup>hi</sup> 19,2 ±0,3 <sup>jk</sup>
Mikroperforacja MP-10	12	62,2 ±1,0 <sup>ik</sup>	78,1 ±0,8 <sup>mm</sup>	19,3 ±0,1 <sup>i</sup>	10,9 ±0,1 <sup>l</sup>	36,1 ±0,5 <sup>ghi</sup>	21,8 ±0,3 <sup>m</sup>



Tabela 16 cd. – Table 16 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	60,3 ± 1,1 <sup>fghij</sup>	64,8 ± 0,8 <sup>def</sup>	14,2 ± 0,4 <sup>bed</sup>	5,38 ± 0,2 <sup>ab</sup>	24,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	12,6 ± 0,2 <sup>cd</sup>
F OTR 35**	3	66,0 ± 1,0 <sup>lmn</sup>	73,1 ± 0,7 <sup>i</sup>	23,3 ± 0,3 <sup>jk</sup>	8,77 ± 0,4 <sup>hij</sup>	36,8 ± 0,2 <sup>f</sup>	21,3 ± 0,5 <sup>lm</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	67,5 ± 0,5 <sup>mno</sup>	72,8 ± 1,0 <sup>f</sup>	26,5 ± 0,3 <sup>l</sup>	7,96 ± 0,2 <sup>fgh</sup>	42,2 ± 0,2 <sup>l</sup>	20,7 ± 0,2 <sup>lm</sup>
F OTR 35**	9	69,6 ± 0,6 <sup>op</sup>	79,7 ± 1,0 <sup>o</sup>	28,3 ± 0,4 <sup>l</sup>	10,0 ± 0,3 <sup>kl</sup>	48,1 ± 0,3 <sup>l</sup>	24,2 ± 0,3 <sup>no</sup>
Mikroperforacja MP-10	12	70,9 ± 0,4 <sup>p</sup>	79,3 ± 1,1 <sup>no</sup>	28,3 ± 0,3 <sup>l</sup>	12,3 ± 0,2 <sup>m</sup>	58,2 ± 0,4 <sup>n</sup>	25,0 ± 0,2 <sup>o</sup>
Powietrze*	1	49,1 ± 0,9 <sup>a</sup>	58,9 ± 0,9 <sup>a</sup>	13,5 ± 0,3 <sup>b</sup>	5,37 ± 0,3 <sup>ab</sup>	25,9 ± 0,6 <sup>ab</sup>	10,2 ± 0,4 <sup>b</sup>
F OTR 3000**	3	58,8 ± 0,9 <sup>ef</sup>	66,1 ± 0,8 <sup>f</sup>	14,1 ± 0,3 <sup>bc</sup>	6,44 ± 0,3 <sup>cd</sup>	29,7 ± 0,4 <sup>c</sup>	15,2 ± 0,3 <sup>bc</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	57,3 ± 0,7 <sup>de</sup>	63,9 ± 0,8 <sup>cd</sup>	15,2 ± 0,2 <sup>d</sup>	6,82 ± 0,2 <sup>de</sup>	28,7 ± 0,3 <sup>de</sup>	13,5 ± 0,4 <sup>de</sup>
Air*	9	64,0 ± 0,5 <sup>kl</sup>	76,5 ± 0,7 <sup>l</sup>	18,4 ± 0,1 <sup>hi</sup>	9,08 ± 0,3 <sup>ijk</sup>	39,2 ± 0,3 <sup>k</sup>	20,2 ± 0,3 <sup>kl</sup>
F OTR 3000**	12	61,8 ± 0,5 <sup>kl</sup>	70,8 ± 1,3 <sup>hi</sup>	13,4 ± 0,2 <sup>b</sup>	7,47 ± 0,2 <sup>efg</sup>	25,9 ± 0,3 <sup>ab</sup>	14,3 ± 0,2 <sup>ef</sup>
Without microperforation MP-0	1	59,5 ± 0,6 <sup>efgh</sup>	65,7 ± 0,9 <sup>ef</sup>	13,3 ± 0,2 <sup>b</sup>	8,35 ± 0,2 <sup>ghij</sup>	36,9 ± 0,5 <sup>ij</sup>	18,4 ± 0,2 <sup>ij</sup>
F OTR 3000**	3	52,6 ± 1,0 <sup>bc</sup>	60,9 ± 0,7 <sup>b</sup>	11,3 ± 0,4 <sup>a</sup>	6,15 ± 0,4 <sup>bed</sup>	26,9 ± 0,4 <sup>bc</sup>	12,2 ± 0,3 <sup>c</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	64,8 ± 0,8 <sup>l</sup>	70,5 ± 0,8 <sup>hi</sup>	18,1 ± 0,3 <sup>gh</sup>	7,69 ± 0,2 <sup>efg</sup>	38,7 ± 0,5 <sup>k</sup>	19,9 ± 0,1 <sup>kl</sup>
F OTR 3000**	9	66,6 ± 0,8 <sup>lmn</sup>	75,3 ± 1,1 <sup>kl</sup>	17,2 ± 0,2 <sup>efg</sup>	8,28 ± 0,2 <sup>ghi</sup>	42,1 ± 0,6 <sup>l</sup>	20,4 ± 0,4 <sup>l</sup>
Without microperforation MP-0	12	64,1 ± 0,5 <sup>kl</sup>	68,3 ± 1,2 <sup>bc</sup>	16,3 ± 0,1 <sup>c</sup>	8,25 ± 0,3 <sup>ghi</sup>	38,0 ± 0,5 <sup>jk</sup>	18,6 ± 0,2 <sup>ij</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	62,1 ± 0,6 <sup>ijk</sup>	64,3 ± 0,6 <sup>de</sup>	17,1 ± 0,2 <sup>efg</sup>	7,88 ± 0,4 <sup>fgh</sup>	28,5 ± 0,4	14,8 ± 0,4 <sup>fg</sup>
F OTR 3000**	3	59,2 ± 0,7 <sup>efg</sup>	70,4 ± 0,5 <sup>hi</sup>	17,7 ± 0,3 <sup>gh</sup>	11,5 ± 0,5 <sup>lmn</sup>	39,0 ± 0,4	12,2 ± 0,2 <sup>c</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	65,3 ± 0,8 <sup>lmn</sup>	74,9 ± 0,9 <sup>k</sup>	17,4 ± 0,4 <sup>fgh</sup>	11,8 ± 0,3 <sup>lm</sup>	37,2 ± 0,5	15,2 ± 0,2 <sup>bc</sup>
F OTR 3000**	9	69,1 ± 0,8 <sup>op</sup>	81,4 ± 0,7 <sup>o</sup>	24,3 ± 0,5 <sup>k</sup>	14,6 ± 0,5 <sup>n</sup>	55,2 ± 0,7	23,7 ± 0,5 <sup>n</sup>
Without microperforation MP-0	12	68,3 ± 0,6 <sup>no</sup>	82,8 ± 0,9 <sup>p</sup>	22,5 ± 0,4 <sup>l</sup>	16,4 ± 0,6 <sup>o</sup>	59,2 ± 1,0	28,1 ± 0,6 <sup>p</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 17.** Ogólna zawartość związków fenolowych oraz aktywność przeciwutleniająca jarmużu zielonego świeżego oraz minimalnie przetworzonego przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 3000

**Table 17.** The total phenolic content and antioxidative activity of fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 3000

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Ogólna zawartość polifenoli (mg/100 g) Total phenolic content (mg/100 g)	Suma fenoli oznaczonych metodą HPLC (mg/100 g) Total phenolic content determined HPLC method (mg/100 g)	Aktywność przeciwutleniająca (metoda z kationorodnikiem ABTS) ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ ) Antioxidative activity (ABTS method) ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ )	Aktywność przeciwutleniająca (metoda FRAP) ( $\mu\text{mol Fe}^{II+}/\text{g}$ ) Antioxidative activity (FRAP method) ( $\mu\text{mol Fe}^{II+}/\text{g}$ )
1	2	3	4	5	6
Surowiec Raw material Jarmuż zielony Green kale		262,6 $\pm$ 3,4 <sup>b</sup>	195,9 $\pm$ 3,4 <sup>fg</sup>	22,3 $\pm$ 1,2 <sup>c</sup>	16,7 $\pm$ 1,1 <sup>ab</sup>
Powietrze*	1	216,9 $\pm$ 1,7 <sup>bc</sup>	185,4 $\pm$ 3,4 <sup>de</sup>	17,0 $\pm$ 0,8 <sup>abc</sup>	19,6 $\pm$ 1,6 <sup>ab</sup>
F OTR 3000**	3	221,5 $\pm$ 2,9 <sup>c</sup>	150,3 $\pm$ 2,9 <sup>ab</sup>	16,2 $\pm$ 1,5 <sup>ab</sup>	16,1 $\pm$ 2,6 <sup>ab</sup>
Bez mikroperforacji MP-0 Air*	6	237,2 $\pm$ 2,2 <sup>bef</sup>	141,0 $\pm$ 3,1 <sup>a</sup>	18,2 $\pm$ 0,6 <sup>abcd</sup>	20,5 $\pm$ 2,7 <sup>b</sup>
F OTR 3000**	9	218,1 $\pm$ 2,5 <sup>bc</sup>	156,4 $\pm$ 3,2 <sup>b</sup>	19,9 $\pm$ 0,5 <sup>cde</sup>	16,4 $\pm$ 1,5 <sup>ab</sup>
Without mikroperforation MP-0	12	207,1 $\pm$ 1,4 <sup>a</sup>	176,0 $\pm$ 2,8 <sup>cd</sup>	16,6 $\pm$ 0,1 <sup>abc</sup>	15,1 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	264,0 $\pm$ 3,6 <sup>b</sup>	205,0 $\pm$ 2,6 <sup>gh</sup>	19,5 $\pm$ 1,0 <sup>bcde</sup>	17,6 $\pm$ 0,1 <sup>ab</sup>
F OTR 3000**	3	217,6 $\pm$ 2,5 <sup>bc</sup>	145,0 $\pm$ 3,0 <sup>a</sup>	15,0 $\pm$ 1,0 <sup>a</sup>	16,6 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	230,1 $\pm$ 1,8 <sup>de</sup>	175,1 $\pm$ 3,3 <sup>c</sup>	16,3 $\pm$ 2,4 <sup>ab</sup>	19,8 $\pm$ 1,8 <sup>ab</sup>
F OTR 3000**	9	245,4 $\pm$ 2,9 <sup>fg</sup>	184,3 $\pm$ 3,2 <sup>cde</sup>	18,7 $\pm$ 0,9 <sup>bcd</sup>	17,5 $\pm$ 1,4 <sup>ab</sup>
Without mikroperforation MP-0	12	234,8 $\pm$ 1,8 <sup>c</sup>	235,3 $\pm$ 3,0 <sup>k</sup>	21,0 $\pm$ 1,1 <sup>de</sup>	20,0 $\pm$ 1,9 <sup>ab</sup>

Tabela 17 cd. – Table 17 cont.

1	2	3	4	5	6
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	244,5 ±2,7 <sup>fg</sup>	189,1 ±2,9 <sup>ef</sup>	19,2 ±1,4 <sup>bcd</sup>	17,9 ±3,3 <sup>ab</sup>
F OTR 3000**	3	212,9 ±3,7 <sup>ab</sup>	155,3 ±3,0 <sup>b</sup>	16,8 ±0,9 <sup>abc</sup>	17,6 ±0,8 <sup>ab</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	247,6 ±1,6 <sup>g</sup>	211,9 ±3,5 <sup>hi</sup>	19,0 ±1,5 <sup>bcd</sup>	19,5 ±1,7 <sup>ab</sup>
F OTR 3000**	9	237,8 ±0,9 <sup>ef</sup>	221,4 ±4,1 <sup>ij</sup>	18,1 ±0,2 <sup>abcd</sup>	18,1 ±0,7 <sup>ab</sup>
Without microperforation MP-0	12	224,7 ±1,9 <sup>bcd</sup>	225,0 ±3,5 <sup>j</sup>	21,4 ±0,0 <sup>de</sup>	20,3 ±1,8 <sup>b</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 18.** Zawartości poszczególnych związków fenolowych (mg/100 g) w jamużu zielonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 3000

**Table 18.** The content of phenolic compounds (mg/100 g) in fresh and minimally processed kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 3000

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Kwercetyna Quercetin	Kemferol Kaemferol	Kwas p-kumarowy P-cumaric acid	Kwas kawowy Caffeic acid	Kwas ferulowy Ferulic acid	Kwas synapinowy Sinapic acid
1	2	3	4	5	6	7	8
Surowiec Jamuż zielony Raw material Green kale		59,2 ±0,8 <sup>f</sup>	77,2 ±0,9 <sup>h</sup>	9,16 ±0,2 <sup>ij</sup>	4,46 ±0,11 <sup>ef</sup>	37,6 ±0,9 <sup>bc</sup>	8,28 ±0,5 <sup>g</sup>

Tabela 18 cd. – Table 18 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
Powietrze*	1	51,9 ± 0,7 <sup>c</sup>	71,7 ± 9,9 <sup>g</sup>	8,10 ± 0,3 <sup>gh</sup>	4,01 ± 0,2 <sup>de</sup>	40,5 ± 0,9 <sup>de</sup>	9,19 ± 0,4 <sup>b</sup>
F OTR 3000**	3	46,1 ± 0,8 <sup>c</sup>	54,9 ± 0,5 <sup>bc</sup>	5,91 ± 0,6 <sup>cd</sup>	3,08 ± 0,2 <sup>bc</sup>	34,1 ± 0,5 <sup>a</sup>	6,22 ± 0,3 <sup>a</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	39,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	50,5 ± 1,2 <sup>a</sup>	4,53 ± 0,2 <sup>ab</sup>	2,99 ± 0,1 <sup>b</sup>	38,2 ± 0,6 <sup>cd</sup>	5,81 ± 0,5 <sup>a</sup>
Air*	9	42,9 ± 0,7 <sup>b</sup>	56,0 ± 1,1 <sup>c</sup>	5,70 ± 0,3 <sup>cd</sup>	3,55 ± 0,05 <sup>cd</sup>	39,6 ± 0,8 <sup>cd</sup>	8,65 ± 0,2 <sup>b</sup>
F OTR 3000**	12	50,5 ± 1,0 <sup>de</sup>	61,7 ± 0,5 <sup>d</sup>	7,33 ± 0,3 <sup>fg</sup>	3,97 ± 0,07 <sup>de</sup>	42,7 ± 0,7 <sup>ef</sup>	9,83 ± 0,2 <sup>cd</sup>
Without microperforation MP-0	1	60,1 ± 1,0 <sup>f</sup>	71,4 ± 0,5 <sup>fg</sup>	11,6 ± 0,3 <sup>k</sup>	4,22 ± 0,03 <sup>c</sup>	48,4 ± 0,5 <sup>h</sup>	9,28 ± 0,3 <sup>bc</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	3	40,7 ± 0,9 <sup>ab</sup>	53,2 ± 1,0 <sup>b</sup>	6,32 ± 0,2 <sup>de</sup>	2,38 ± 0,04 <sup>a</sup>	35,5 ± 0,7 <sup>ab</sup>	6,92 ± 0,2 <sup>a</sup>
F OTR 3000**	6	49,6 ± 0,7 <sup>de</sup>	61,7 ± 0,9 <sup>d</sup>	6,91 ± 0,1 <sup>ef</sup>	4,51 ± 0,2 <sup>ef</sup>	42,3 ± 1,0 <sup>ef</sup>	10,1 ± 0,4 <sup>cd</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	9	49,0 ± 0,9 <sup>d</sup>	64,9 ± 0,5 <sup>e</sup>	7,20 ± 0,2 <sup>efg</sup>	5,11 ± 0,3 <sup>g</sup>	45,7 ± 1,0 <sup>g</sup>	12,4 ± 0,3 <sup>fg</sup>
F OTR 3000**	12	68,1 ± 1,2 <sup>h</sup>	84,6 ± 0,7 <sup>i</sup>	12,0 ± 0,1 <sup>k</sup>	5,79 ± 0,2 <sup>h</sup>	51,4 ± 0,5 <sup>i</sup>	13,4 ± 0,3 <sup>g</sup>
Without microperforation MP-0	1	51,5 ± 1,0 <sup>de</sup>	68,8 ± 0,8 <sup>f</sup>	5,31 ± 0,2 <sup>bc</sup>	4,14 ± 0,3 <sup>c</sup>	48,4 ± 0,4 <sup>h</sup>	11,0 ± 0,2 <sup>de</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	3	41,8 ± 0,8 <sup>b</sup>	53,2 ± 0,7 <sup>b</sup>	3,95 ± 0,4 <sup>a</sup>	3,47 ± 0,1 <sup>bcd</sup>	44,7 ± 0,9 <sup>fg</sup>	8,23 ± 0,1 <sup>b</sup>
F OTR 3000**	6	60,2 ± 0,9 <sup>f</sup>	77,9 ± 1,0 <sup>h</sup>	9,31 ± 0,5 <sup>ij</sup>	3,19 ± 0,1 <sup>bc</sup>	49,7 ± 0,8 <sup>hi</sup>	11,6 ± 0,2 <sup>ef</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	9	64,2 ± 1,3 <sup>g</sup>	80,7 ± 0,8 <sup>i</sup>	8,44 ± 0,5 <sup>h</sup>	4,21 ± 0,4 <sup>e</sup>	52,5 ± 0,8 <sup>i</sup>	11,4 ± 0,3 <sup>ef</sup>
F OTR 3000**	12	67,5 ± 0,7 <sup>h</sup>	79,3 ± 1,2 <sup>hi</sup>	9,49 ± 0,2 <sup>j</sup>	4,83 ± 0,2 <sup>fg</sup>	51,1 ± 0,7 <sup>ij</sup>	12,9 ± 0,5 <sup>g</sup>
Without microperforation MP-0							

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 19.** Ogólna zawartość związków fenolowych oraz aktywność przeciwutleniająca jarmużu czerwonego świeżego oraz minimalnie przetworzonego, przechowywanego przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 3000  
**Table 19.** Total phenolic content and antioxidant activity of fresh and minimally processed red kale stored for 12 days in modified atmosphere of various composition, packed using film F OTR 3000

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Ogólna zawartość polifenoli Total phenolic content (mg/100 g)	Suma fenoli oznaczonych metodą HPLC (mg/100 g) Total phenolic content measured with HPLC (mg/100 g)	Aktywność przeciwutleniająca (metoda z kationorodnikiem ABTS) ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ ) Antioxidative activity (ABTS method) ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ )	Aktywność przeciwutleniająca (metoda FRAP) ( $\mu\text{mol Fe}^{\text{II+}}/\text{g}$ ) Antioxidative activity (FRAP method) ( $\mu\text{mol Fe}^{\text{II+}}/\text{g}$ )
1	2	3	4	5	6
Surowiec Jarmuż czerwony Raw material Red kale		423,6 $\pm$ 3,9 <sup>h</sup>	291,1 $\pm$ 4,8 <sup>bc</sup>	32,8 $\pm$ 1,9 <sup>ef</sup>	33,8 $\pm$ 1,2 <sup>abcde</sup>
Powietrze* F OTR 3000** Bez mikroperforacji MP-0 Air* F OTR 3000** Without microperforation MP-0	1 3 6 9 12	372,5 $\pm$ 3,6 <sup>d</sup> 345,2 $\pm$ 1,0 <sup>bc</sup> 409,6 $\pm$ 2,0 <sup>g</sup> 441,7 $\pm$ 1,3 <sup>i</sup> 431,1 $\pm$ 2,5 <sup>h</sup>	318,0 $\pm$ 4,7 <sup>d</sup> 246,7 $\pm$ 4,3 <sup>a</sup> 295,4 $\pm$ 3,5 <sup>c</sup> 319,9 $\pm$ 3,7 <sup>d</sup> 321,5,1 $\pm$ 4,2 <sup>de</sup>	25,5 $\pm$ 0,6 <sup>ab</sup> 24,9 $\pm$ 1,6 <sup>a</sup> 26,4 $\pm$ 1,5 <sup>abc</sup> 28,0 $\pm$ 1,6 <sup>abcd</sup> 29,5 $\pm$ 1,9 <sup>bcdef</sup>	32,6 $\pm$ 0,1 <sup>abc</sup> 31,5 $\pm$ 1,1 <sup>ab</sup> 35,6 $\pm$ 2,3 <sup>bode</sup> 34,8 $\pm$ 0,7 <sup>bode</sup> 37,2 $\pm$ 1,2 <sup>ef</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* F OTR 3000** Bez mikroperforacji F OTR 3000** Without microperforation MP-0	1 3 6 9 12	337,0 $\pm$ 4,2 <sup>b</sup> 348,7 $\pm$ 3,7 <sup>c</sup> 412,5 $\pm$ 4,4 <sup>g</sup> 397,6 $\pm$ 1,5 <sup>c</sup> 397,2 $\pm$ 2,3 <sup>c</sup>	281,7 $\pm$ 4,0 <sup>b</sup> 248,7 $\pm$ 3,7 <sup>a</sup> 313,0 $\pm$ 4,0 <sup>d</sup> 333,8 $\pm$ 3,7 <sup>ef</sup> 312,0 $\pm$ 4,3 <sup>d</sup>	28,1 $\pm$ 0,2 <sup>abcd</sup> 25,0 $\pm$ 0,4 <sup>ab</sup> 28,4 $\pm$ 1,3 <sup>abcde</sup> 31,7 $\pm$ 1,1 <sup>def</sup> 31,4 $\pm$ 2,3 <sup>def</sup>	30,8 $\pm$ 1,2 <sup>a</sup> 32,2 $\pm$ 0,1 <sup>abc</sup> 35,2 $\pm$ 1,2 <sup>bde</sup> 36,1 $\pm$ 1,4 <sup>def</sup> 33,1 $\pm$ 0,5 <sup>abcd</sup>

Tabela 19 cd. – Table 19 cont.

1	2	3	4	5	6
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	313,5 ±3,9 <sup>a</sup>	293,2 ±4,4 <sup>bc</sup>	28,9 ±0,5 <sup>abode</sup>	34,5 ±1,5 <sup>bode</sup>
F OTR 3000**	3	337,6 ±4,7 <sup>b</sup>	251,5 ±4,9 <sup>a</sup>	25,4 ±0,4 <sup>bb</sup>	30,6 ±0,5 <sup>a</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	405,2 ±1,6 <sup>efg</sup>	324,9 ±4,7 <sup>de</sup>	30,1 ±1,5 <sup>atef</sup>	34,0 ±0,8 <sup>abcd</sup>
F OTR 3000**	9	400,5 ±3,0 <sup>ef</sup>	344,3 ±4,2 <sup>f</sup>	31,3 ±1,9 <sup>def</sup>	36,2 ±0,4 <sup>def</sup>
Without microperforation MP-0	12	407,0 ±1,0 <sup>efg</sup>	333,3 ±3,9 <sup>ef</sup>	33,7 ±0,1 <sup>f</sup>	39,2 ±0,6 <sup>f</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 20.** Zawartości poszczególnych związków fenolowych (mg/100 g) w jarmużu czerwonym świeżym i minimalnie przetworzonym, przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 3000

**Table 20.** The content of phenolic compounds (mg/100 g) in fresh and minimally processed red kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 3000

Proba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Kwercetyna Quercetin	Kemferol Kaemferol	Kwas kawowochinowy Caffeoyloquinic acid	Kwas kawowy Caffeic acid	Kwas ferulowy Ferulic acid	Kwas synapinowy Sinapic acid	Antocyjany Anthocyanins
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Surowiec Jarmuż czerwony Raw material Red kale		49,5 ±0,7 <sup>f</sup>	64,3 ±1,0 <sup>e</sup>	1,48 ±0,1 <sup>cde</sup>	5,34 ±0,1 <sup>fg</sup>	90,4 ±1,3 <sup>de</sup>	10,2 ±0,2 <sup>cd</sup>	69,9 ±1,4 <sup>bc</sup>

Tabela 20 cd. – Table 20 cont.

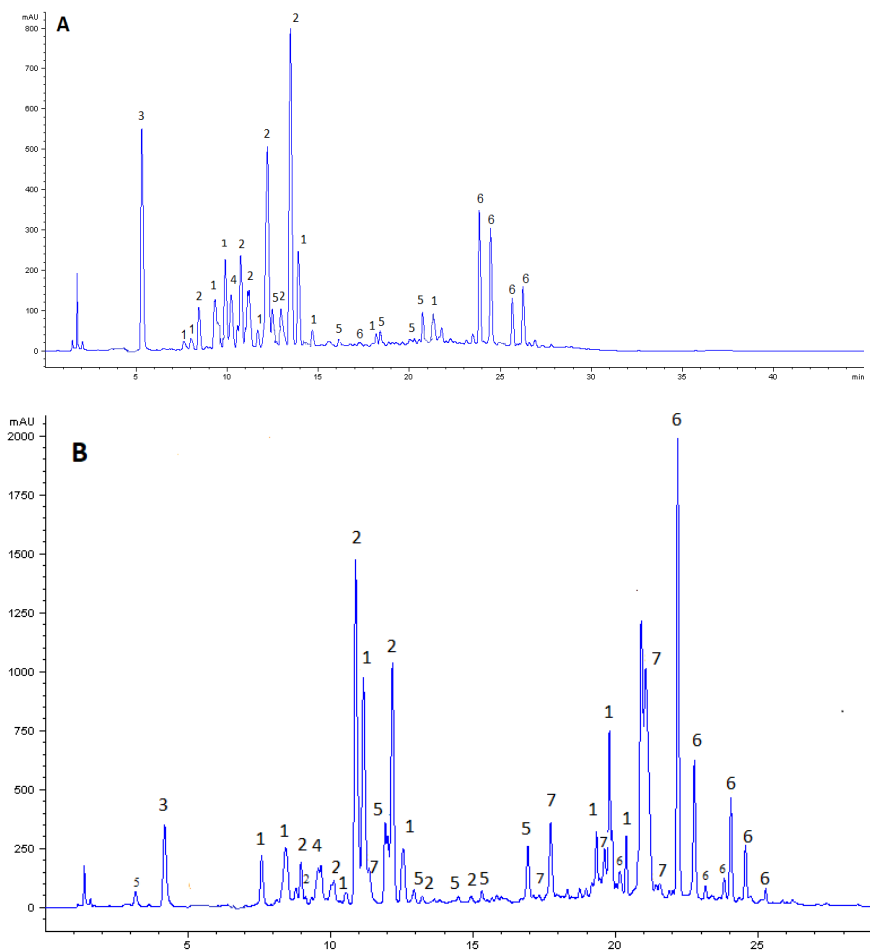
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Powietrze	1	55,3 ± 0,7 <sup>h</sup>	74,9 ± 0,9 <sup>f</sup>	1,91 ± 0,04 <sup>fgh</sup>	6,16 ± 0,03 <sup>gh</sup>	97,2 ± 1,5 <sup>f</sup>	11,5 ± 0,3 <sup>efg</sup>	70,9 ± 1,2 <sup>cd</sup>
F OTR 3000**	3	40,3 ± 0,6 <sup>c</sup>	54,9 ± 0,9 <sup>b</sup>	1,12 ± 0,2 <sup>ab</sup>	3,02 ± 0,03 <sup>a</sup>	72,5 ± 0,9 <sup>a</sup>	8,34 ± 0,5 <sup>ab</sup>	66,5 ± 1,2 <sup>b</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	44,6 ± 0,5 <sup>d</sup>	62,4 ± 0,5 <sup>c</sup>	1,43 ± 0,1 <sup>bcd</sup>	4,13 ± 0,2 <sup>abcd</sup>	93,6 ± 0,9 <sup>c</sup>	11,5 ± 0,3 <sup>efg</sup>	77,8 ± 1,0 <sup>b</sup>
Air*	9	51,9 ± 0,5 <sup>e</sup>	70,5 ± 1,0 <sup>de</sup>	2,23 ± 0,1 <sup>h</sup>	5,65 ± 0,1 <sup>fg</sup>	199,2 ± 0,8 <sup>ef</sup>	12,5 ± 0,3 <sup>g</sup>	77,0 ± 0,9 <sup>fgh</sup>
F OTR 3000**	12	52,5 ± 1,0 <sup>g</sup>	73,4 ± 0,5 <sup>f</sup>	2,08 ± 0,05 <sup>gh</sup>	5,01 ± 0,2 <sup>ef</sup>	102,6 ± 1,1 <sup>g</sup>	11,6 ± 0,5 <sup>fg</sup>	74,3 ± 0,8 <sup>cfg</sup>
Without microperforation MP-0	1	43,7 ± 0,9 <sup>d</sup>	62,3 ± 0,7 <sup>c</sup>	1,08 ± 0,02 <sup>a</sup>	3,89 ± 0,05 <sup>bc</sup>	91,2 ± 1,0 <sup>de</sup>	10,5 ± 0,4 <sup>de</sup>	69,0 ± 0,9 <sup>bc</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	3	36,8 ± 0,6 <sup>b</sup>	57,0 ± 0,8 <sup>b</sup>	1,43 ± 0,03 <sup>bcd</sup>	2,99 ± 0,04 <sup>a</sup>	85,1 ± 1,2 <sup>b</sup>	7,9 ± 0,2 <sup>a</sup>	57,5 ± 0,9 <sup>a</sup>
F OTR 3000**	6	49,5 ± 0,9 <sup>f</sup>	70,4 ± 0,9 <sup>e</sup>	1,72 ± 0,1 <sup>def</sup>	4,62 ± 0,3 <sup>de</sup>	100,3 ± 0,5 <sup>fg</sup>	11,4 ± 0,3 <sup>ef</sup>	75,1 ± 1,0 <sup>fgh</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	9	47,2 ± 0,8 <sup>c</sup>	78,9 ± 0,5 <sup>de</sup>	1,88 ± 0,2 <sup>fg</sup>	6,78 ± 0,1 <sup>hij</sup>	101,02 ± 0,8 <sup>g</sup>	16,7 ± 0,4 <sup>j</sup>	81,3 ± 0,9 <sup>i</sup>
F OTR 3000**	12	44,2 ± 0,7 <sup>g</sup>	70,3 ± 0,9 <sup>de</sup>	1,75 ± 0,1 <sup>defg</sup>	6,12 ± 0,4 <sup>gh</sup>	100,2 ± 0,9 <sup>fg</sup>	15,4 ± 0,5 <sup>i</sup>	74,1 ± 0,8 <sup>def</sup>
Without microperforation MP-0	1	41,5 ± 0,4 <sup>c</sup>	68,8 ± 1,0 <sup>d</sup>	1,18 ± 0,1 <sup>abc</sup>	4,47 ± 0,3 <sup>cde</sup>	89,3 ± 1,2 <sup>cd</sup>	10,0 ± 0,3 <sup>cd</sup>	77,9 ± 1,1 <sup>h</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	3	33,5 ± 0,5 <sup>a</sup>	49,8 ± 1,0 <sup>a</sup>	1,44 ± 0,2 <sup>bcd</sup>	3,72 ± 0,2 <sup>b</sup>	86,8 ± 1,4 <sup>bc</sup>	9,28 ± 0,4 <sup>bc</sup>	67,0 ± 1,2 <sup>b</sup>
F OTR 3000**	6	47,1 ± 0,6 <sup>c</sup>	77,9 ± 0,6 <sup>e</sup>	1,83 ± 0,05 <sup>fg</sup>	7,31 ± 0,2 <sup>j</sup>	103,0 ± 1,5 <sup>g</sup>	13,6 ± 0,5 <sup>h</sup>	74,2 ± 1,2 <sup>defg</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	9	53,4 ± 0,9 <sup>gh</sup>	78,2 ± 1,1 <sup>g</sup>	1,78 ± 0,05 <sup>efg</sup>	7,03 ± 0,4 <sup>ij</sup>	109,5 ± 0,9 <sup>h</sup>	16,9 ± 0,3 <sup>j</sup>	77,5 ± 0,5 <sup>gh</sup>
F OTR 3000**	12	52,1 ± 0,5 <sup>g</sup>	72,4 ± 0,7 <sup>ef</sup>	1,66 ± 0,1 <sup>def</sup>	6,58 ± 0,5 <sup>hi</sup>	111,7 ± 0,9 <sup>h</sup>	17,5 ± 0,4 <sup>j</sup>	71,3 ± 0,8 <sup>cde</sup>
Without microperforation MP-0								

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

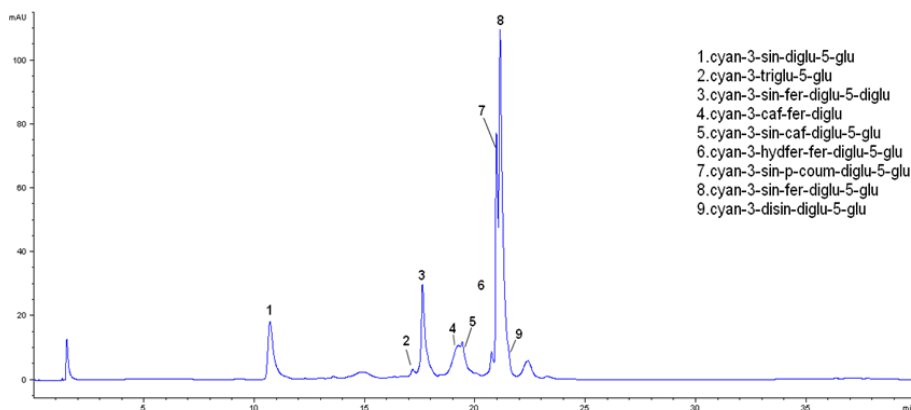


**Ryc. 14.** Przykładowy chromatogram rozdziłu związków fenolowych jarmużu zielonego (A) oraz czerwonego (B),  $\lambda = 320$  nm. 1 – kwercetyna, 2 – kemferol, 3 – kwas p-kumarowy, 4 – kwas kawowy, 5 – kwas synapinowy, 6 – kwas ferulowy, 7 – antocyjany.

**Fig. 14.** An exemplary chromatogram showing the separation of phenolic compounds in green kale (A) and red kale (B),  $\lambda = 320$  nm. 1 – quercetin, 2 – kaempferol, 3 – p-cumaric acid, 4 – caffeic acid, 5 – sinapic acid, 6 – ferulic acid, 7 – anthocyanins

ferulowy i synapinowy. Odmienny profil związków fenolowych jarmużu zielonego odmiany Winterbor podali Korus i Lisiewska (2011). W swoich badaniach wykazały, że dominującym związkiem był kwas ferulowy (62% ogółu związków fenolowych), natomiast flawonoidy: kemferol i kwercetyna stanowiły 19%, z dominacją kemferolu. Istotnie wyższą zawartość kemferolu w stosunku do kwercetyny, podobnie jak w niniejszej pracy, wykazali również Huber i in. (2009) oraz Schmidt i in. (2010).





**Ryc. 15.** Chromatogram rozdziálu antocyjanów jarmużu czerwonego ( $\lambda = 530$  nm)

**Fig. 15.** A chromatogram of the separation of anthocyanins in red kale ( $\lambda = 530$  nm)

Profil związków fenolowych w jarmużu czerwonym różnił się istotnie w porównaniu do jarmużu zielonego. Flawonoidy stanowiły 39% ogółu związków fenolowych, kwasy fenolowe 36% oraz występowały antocyjany stanowiące 24% ogółu związków fenolowych. Przykładowy chromatogram rozdziálu związków fenolowych jarmużu czerwonego przedstawiono na rycinach 13 i 14. Wśród flawonoidów, podobnie jak w przypadku jarmużu zielonego, większy udział stanowił kemferol (56%), wśród kwasów fenolowych dominującym związkiem był kwas ferulowy, wynosił 84% ogółu kwasów. Zawartość kwasu ferulowego (90,4 mg/100 g) była wyższa niż kemferolu (64,3 mg/100 g) oraz kwercetyny (49,5 mg/100 g) (tab. 19 i 20). Olsen i in. (2010) wśród związków fenolowych jarmużu czerwonego w największej ilości zidentyfikowali flawonoidy (51%), antocyjany stanowiły 31%, natomiast kwasy fenolowe 18% ogółu związków fenolowych.

Aktywność przeciwutleniająca jarmużu zielonego oznaczana metodą z kationo-rodnikiem ABTS<sup>+</sup> wynosiła od 22–24  $\mu\text{mol Trolox}/1$  g surowca, natomiast jarmużu czerwonego – 32,8  $\mu\text{mol Trolox}/1$  g surowca (tab. 15 i 19). W przypadku zastosowania do oznaczeń metody z odczynnikiem FRAP odpowiednio 16,7 i 33,8  $\mu\text{mol Fe}^{\text{II+}}/\text{g}$ . Wg Hagen i in. (2009) zdolność przeciwutleniająca jarmużu zielonego wynosiła 58,4  $\mu\text{mol/g}$ , natomiast Korus i Lisiewska (2011) w świeżym surowcu podały wartość wynoszącą 11,6  $\mu\text{mol/g}$ . Sikora i Bodziarczyk (2012) odnotowali aktywność przeciwutleniającą w świeżym zielonym jarmużu na poziomie 30,3  $\mu\text{mol/g}$ . Natomiast Korus (2011b) podała zdolność przeciwutleniającą w jarmużu zielonym w przedziale od 14,7 do 18,8  $\mu\text{mol/g}$ , a w czerwonym od 15,2 do 23,7  $\mu\text{mol/g}$ , w zależności od stopnia dojrzałości i roku uprawy.

### **Omówienie zawartość związków fenolowych oraz aktywności przeciwutleniającej w jarmużu minimalnie przetworzonym**

Próby jarmużu zielonego i czerwonego poddane procesowi minimalnego przetwarzania, analizowane po 1 dniu przechowywania charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością związków fenolowych, zbliżoną do surowca, istotnie wyższą lub niższą, zależnie od warunków pakowania (tab. 15–20). Istotny wpływ na zawartość związków fenolowych w jarmużu, zarówno rodzaju materiału opakowaniowego, jak i składu zastosowanej atmosfery odnotowano już po 1 dniu przechowywania. W przypadku jarmużu zielonego dla obu zastosowanych folii opakowaniowych (F OTR 35 i F OTR 3000) odnotowano korzystny wpływ przechowywania w atmosferze modyfikowanej w porównaniu do powietrza. Próby zapakowane w atmosferze modyfikowanej z zastosowaniem folii F OTR 35 mikroperforacją MP-10 po 12 dniach przechowywania charakteryzowały się zawartością związków fenolowych istotnie wyższą w porównaniu do surowca oraz w porównaniu do próby zapakowanej w powietrzu (tab. 15). W przypadku jarmużu zielonego zapakowanego z zastosowaniem folii F OTR 3000 próby przechowywane w powietrzu charakteryzowały się istotnie niższą zawartością związków fenolowych, w porównaniu do prób zapakowanych w atmosferze modyfikowanej (tab. 15 i 17).

W przypadku **jarmużu zielonego** dla wszystkich prób zapakowanych w atmosferze modyfikowanej, zarówno z 10-, jak i 80-procentową początkową zawartością tlenu odnotowano istotny wzrost zawartości związków fenolowych w czasie 12 dni przechowywania (tab. 15 i 17). Ponadto istotnie większy wzrost odnotowano w przypadku kwasów fenolowych w stosunku do flawonoidów. W próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej wzrost zawartości kwasów fenolowych po 12 dniach w stosunku do 1 dnia przechowywania wynosił od 6% do 116%, zależnie od składu atmosfery i rodzaju folii opakowaniowej (tab. 16 i 18). Największy wzrost zawartości kwasów, zarówno dla folii F OTR 35, jak i F OTR 3000 odnotowano w próbach zapakowanych w atmosferze wysokotlenowej, wynosił on odpowiednio 116% i 85%. Wzrost zawartości flawonoidów w czasie przechowywania wynosił 6–24%, zależnie od warunków pakowania (tab. 16 i 18). W przypadku flawonoidów, próby zapakowane z zastosowaniem atmosfery wysokotlenowej również charakteryzowały się większym wzrostem w stosunku do prób przechowywanych w atmosferze o niskim stężeniu tlenu. W próbach przechowywanych w powietrzu zmiany zawartości flawonoidów były zbliżone do zmian w próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej, natomiast w przypadku kwasów w próbach zapakowanych w powietrzu, ich wzrost w czasie 12 dni przechowywania był istotnie mniejszy (3–26%).

W przypadku minimalnie przetworzonego **jarmużu czerwonego** wpływ zastosowanych warunków pakowania był zbliżony do opisanego powyżej dla jarmużu zielonego. Istotnie większy wzrost zawartości w czasie 12 dni przechowywania

odnotowano dla kwasów fenolowych w porównaniu do flawonoidów (tab. 20). Próby zapakowane bez modyfikacji składu gazowego (w powietrzu) charakteryzowały się istotnie mniejszym wzrostem zawartości omawianych związków w porównaniu do prób zapakowanych w atmosferze modyfikowanej (tab. 19 i 20). Próby zapakowane w atmosferze wysokotlenowej charakteryzowały się istotnie większym wzrostem zawartości związków fenolowych w czasie 12 dni przechowywania w porównaniu do prób zapakowanych w atmosferze o początkowej zawartości tlenu wynoszącej 10% (tab. 19). Wzrost zawartości flawonoidów w próbach zapakowanych w atmosferze o składzie 10/10/80 oraz 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) wyniósł odpowiednio 8% i 13%, natomiast kwasów fenolowych odpowiednio 16% i 31% (tab. 20). Ponadto w próbach zapakowanych w powietrzu i atmosferze niskotlenowej odnotowano niewielki wzrost antocyjanów w czasie 12 dni przechowywania, natomiast w próbie zapakowanej w atmosferze wysokotlenowej, niewielki spadek (tab. 20). Jednakże zmiany te mogą wynikać ze zmienności samego surowca, różnego udziału łądyg intensywniej wybarwionych, lub liści nierównomiernie wybarwionych, w materiale roślinnym.

Zmiany zawartości związków fenolowych w surowcach poddanych przetwarzaniu, posiadających żywą tkankę mogą wynikać zarówno z procesów oksydacyjnych i działania polifenolooksydazy, jak i z syntezy tych związków w wyniku reakcji tkanki na stres wywołany przetwarzaniem i pakowaniem. Wzrost zawartości związków fenolowych jest związany z aktywacją syntezy liazy amoniakalnej fenyloalaniny (PAL) w momencie uszkodzenia tkanki surowców roślinnych (Haward i Griffin, 1993; Han i in. 2016). W większości analizowanych prób, niezależnie od warunków pakowania po 3 dniu przechowywania odnotowano spadek zawartości związków fenolowych, a następnie ich wzrost do 12 dnia przechowywania. Zmiany te dotyczyły obu zastosowanych składów atmosfery modyfikowanej, 10/10/80 oraz 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), oraz obu materiałów opakowaniowych F OTR 35 i FOTR 3000. Może to sugerować istotny wpływ zarówno zwiększonej zawartości ditlenku węgla, jak i zastosowanego stężenia tlenu w atmosferze modyfikowanej jako czynnika wywołującego stres tkanki poddanej wcześniej uszkodzeniu na skutek minimalnego przetwarzania. Ponadto stopień rozdrobnienia tkanki był niewielki, co nie powodowało intensyfikacji procesów enzymatycznych, mogących powodować istotne starty związków fenolowych. Wielu autorów sugeruje, że reakcja tkanki roślinnej w czasie przechowywania w atmosferze modyfikowanej w dużej mierze zależy zarówno od składu atmosfery, jak i stopnia rozdrobnienia tkanki (Zheng i in., 2007; Alarcon-Flores i in., 2014; Amanatidou i in., 2000). Simões i in. (2011), przechowując marchewkę (baby carrot) w atmosferze kontrolowanej, odnotowali istotny wzrost zawartości związków fenolowych zarówno przy zastosowaniu atmosfery powietrza, jak i następujących warunków pakowania: 5 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub> oraz 10 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>

(uzupełnionych azotem). Przy czym jako najlepsze warunki zarówno dla jakości marchwi, jak i wzrostu zawartości związków fenolowych autorzy wskazali warunki 5 kPa O<sub>2</sub> + 5 kPa CO<sub>2</sub> (uzupełnione azotem), w którym następował dwukrotny wzrost zawartości kwasu chlorogenowego w marchwi. Amanatidou i in. (2000) odnotowali syntezę związków fenolowych w rozdrobnionej marchwi w próbach zapakowanych w powietrzu, natomiast spośród zastosowanych składów atmosfery, zarówno niskotlenowej (1% O<sub>2</sub> + 10% CO<sub>2</sub>), jak i wysokotlenowych (90% O<sub>2</sub> + 10% CO<sub>2</sub>; 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>; 70% O<sub>2</sub> + 30% CO<sub>2</sub>; 50% O<sub>2</sub> + 30% CO<sub>2</sub>) większy wpływ na syntezę związków fenolowych miała atmosfera niskotlenowa. Z kolei Alasavar i in. (2005), badając wpływ pakowania w atmosferze modyfikowanej na zawartość związków fenolowych w marchwi pomarańczowej i purpurowej, odnotowali większą akumulację badanych związków w atmosferze wysokotlenowej (95% O<sub>2</sub> + 5% CO<sub>2</sub>) w porównaniu do niskotlenowej (5% O<sub>2</sub> + 5% CO<sub>2</sub>). Ponadto Klaiber i in. (2005) również zaobserwowali wysoką akumulację związków fenolowych po rozdrobieniu marchwi przechowywanej w powietrzu, natomiast przy poziomie CO<sub>2</sub> przekraczającym 30% lub bardzo niskim poziomie O<sub>2</sub> (około 1%) odnotowali mniejszą akumulację fenoli. Może to tłumaczyć mniej sprzyjające warunki syntezy związków fenolowych w niniejszej pracy w przypadku zastosowania atmosfery o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) w porównaniu do atmosfery wysokotlenowej, szczególnie w przypadku braku mikroperforacji materiału opakowaniowego. W takich warunkach w czasie przechowywania następowało obniżenie stężenia tlenu w opakowaniu do wartości zbliżonych do zera oraz znaczny wzrost zawartości ditlenku węgla. Simões i in. (2011) również odnotowali taką zależność dla marchewki (baby carrot) przechowywanej w najniższych stężeniach O<sub>2</sub> (2 kPa O<sub>2</sub>), przy najwyższych stężeniach CO<sub>2</sub> (15 kPa CO<sub>2</sub>), w tych warunkach odnotowali najmniejszy wzrost zawartości związków fenolowych. Inne badania również wskazują na kluczowe znaczenie atmosfery zastosowanej do przechowywania w biosyntezie *de novo* związków fenolowych (Babic i in. 1993; Izumi i in. 1996; Alasavar i in. 2005). Zheng i in. (2007) w przypadku chłodniczego przechowywania truskawek nie odnotowali różnic w poziomie związków fenolowych przy zastosowaniu atmosfery powietrza oraz atmosfery z wysoką zawartością tlenu: 60 i 100 kPa. Fernández-León i in. (2013) odnotowali skuteczniejszą retencję fenoli w brokułach podczas 21 dni przechowywania w atmosferze o składzie 10% O<sub>2</sub> i 5% CO<sub>2</sub> niż w atmosferze powietrza. Powyższe dane literaturowe wskazują na znaczną zależność wpływu atmosfery modyfikowanej na tkankę roślinną od rodzaju surowca, a także, jak wspomniano powyżej, od stopnia jego rozdrobnienia. Ponadto odmienna reakcja tkanki na skład otaczającej atmosfery może wynikać z profilu związków występujących w danym surowcu. W powyżej zacytowanych badaniach dotyczących marchwi główne związki fenolowe stanowiły kwasy, w większości hydroksycynamnowe, i to w przypadku tych związków odnotowano największy wzrost zawartości

w czasie przechowywania w atmosferze modyfikowanej. Podobnie Radziejewska-Kubzdela (2017) odnotowała wzrost zawartości kwasów hydroksycynamonowych w końcowym okresie przechowywania (9–12 dni) surówki coleslaw w atmosferze niskotlenowej oraz zachowanie zawartości kwasów fenolowych w atmosferze wysokotlenowej. Cisneros-Zevallos (2003) sugerował, że akumulacja związków bioaktywnych, takich jak polifenole, jest związana z występowaniem stresu abiotycznego po zbiorze. Autor przypuszczał, że wywołanie stresu abiotycznego poprzez przechowywanie chłodnicze oraz przechowywanie w atmosferze modyfikowanej może być sposobem na ukierunkowaną syntezę związków bioaktywnych o właściwościach prozdrowotnych.

Aktywność przeciwutleniająca jarmużu o małym stopniu przetworzenia nie wykazywała istotnej zmienności dla różnych zastosowanych materiałów opakowaniowych oraz pomiędzy poszczególnymi analizowanymi próbkami przechowywanymi w odmiennych warunkach atmosfery w czasie 12 dni przechowywania produktu (tab. 15, 17, 19). Istotne zmiany odnotowano dla próby jarmużu zielonego zapakowanego w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) przy zastosowaniu folii opakowaniowej F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10 (tab. 15). W tym przypadku istotny wzrost aktywności przeciwutleniającej, oznaczanej metodą z kationorodnikiem ABTS<sup>+</sup> w czasie 12 dni przechowywania wynosił 31%. Ponadto istotny wzrost aktywności przeciwutleniającej w czasie przechowywania odnotowano w jarmużu czerwonym zapakowanym w atmosferze o składzie 80/10/10 oraz 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) przy zastosowaniu folii opakowaniowej F OTR 3000 (tab. 19). Wzrost odnotowano zarówno w przypadku oznaczeń metodą z kationorodnikiem ABTS<sup>+</sup>, jak i metodą z odczynnikiem FRAP; wynosił on odpowiednio 16,6% oraz 13,6%. Dla pozostałych prób zmiany badanego wyróżnika nie były istotne statystycznie. Pomimo to odnotowano istotną statystycznie wysoką korelację pomiędzy całkowitą zawartością związków fenolowych oznaczanych metodą HPLC a aktywnością przeciwutleniającą (ABTS<sup>+</sup>) dla prób zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 35 (tab. 21). Wysoką korelację pomiędzy całkowitą zawartością związków fenolowych oznaczanych metodą HPLC a aktywnością przeciwutleniającą (ABTS<sup>+</sup>) odnotowano także dla prób jarmużu zielonego w doświadczeniu drugim, w którym zastosowano folię F OTR 3000 oraz dla jarmużu czerwonego, przy zastosowaniu do oznaczeń metody z odczynnikiem FRAP. W każdym z wymienionych przypadków odnotowano istotną statystycznie wysoką korelację pomiędzy aktywnością przeciwutleniającą a całkowitą zawartością zarówno flawonoidów, jak i kwasów fenolowych. Istotną korelacją, pomiędzy zawartością związków fenolowych a aktywnością przeciwutleniającą, odnotowali Yeoh i Ali (2017) w przypadku minimalnie przetworzonego ananasa przechowywanego w warunkach chłodniczych. Autorzy odnotowali także istotną korelację pomiędzy wzrostem aktywności PAL a wymienionymi

**Tabela 21.** Wartości korelacji ( $r^2$ ) pomiędzy aktywnością antyoksydacyjną oznaczaną metodami ABTS oraz FRAP a zawartością związków fenolowych w jarmużu o małym stopniu przetworzenia

**Table 21.** The correlations ( $r^2$ ) between the antioxidative activity determined with the ABTS and FRAP methods and the content of phenolic compounds in minimally processed kale

Próba Sample	Ogólna zawartość polifenoli Total phenolic content	Suma fenoli HPLC Total phenolic content HPLC	Suma flawonoidów Total flavonoids	Suma kwasów fenolowych Total phenolic acids	Antocyjany Anthocyanins
F OTR 35 Aktywność przeciwutleniająca Jarmuż zielony F OTR 35 Antioxidative activity ABTS Green kale	0,47	0,80	0,82	0,77	–
F OTR 3000 Aktywność przeciwutleniająca Jarmuż zielony F OTR 3000 Antioxidative activity ABTS Green kale	0,58	0,32	0,22	0,36	–
F OTR 35 Aktywność przeciwutleniająca Jarmuż zielony F OTR 35 Antioxidative activity FRAP Green kale	0,37	0,70	0,67	0,74	–
F OTR 3000 Aktywność przeciwutleniająca Jarmuż zielony F OTR 3000 Antioxidative activity FRAP Green kale	0,31	0,37	0,36	0,36	–
F OTR 3000 Aktywność przeciwutleniająca Jarmuż czerwony F OTR 3000 Antioxidative activity ABTS Red kale	0,58	0,49	0,49	0,46	0,31
F OTR 3000 Aktywność przeciwutleniająca Jarmuż czerwony F OTR 3000 Antioxidant activity FRAP Red kale	0,52	0,73	0,66	0,71	0,58

Liczby oznaczone na czerwono oznaczają korelacje istotne statystycznie.  
Statistically significant correlations are marked in red.

wyróżnikami. Podobne zależności zaobserwowali także Kenny i O'Beirne (2010) w przypadku minimalnie przetworzonej marchwi.

Podsumowując przeprowadzone badania, można stwierdzić, że w przypadku obu zastosowanych folii opakowaniowych odnotowano korzystny wpływ przechowywania prób jarmużu w atmosferze modyfikowanej na zawartość związków fenolowych w stosunku do prób przechowywanych w atmosferze powietrza. W większości prób odnotowano istotny wzrost zawartości związków fenolowych w czasie przechowywania, spowodowany najprawdopodobniej akumulacją badanych związków na skutek stresu związanego z minimalnym przetwarzaniem oraz pakowaniem w atmosferze modyfikowanej. W czasie 12 dni przechowywania prób jarmużu odnotowano istotnie wyższy wzrost zawartości kwasów fenolowych (6–116%) w porównaniu do flawonoidów (6–24%). Zastosowanie atmosfery wysokotlenowej (80% O<sub>2</sub>/10% CO<sub>2</sub>) do przechowywania jarmużu zielonego o małym stopniu przetworzenia spowodowało istotnie ( $p < 0,05$ ) wyższą akumulację związków fenolowych po 12 dniach przechowywania w porównaniu do atmosfery niskotlenowej oraz prób przechowywanych w powietrzu, niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego. Wykazano istotną statystycznie ( $p < 0,05$ ) wysoką korelację pomiędzy zawartością związków fenolowych oznaczanych metodą HPLC a aktywnością przeciwutleniającą produktu minimalnie przetworzonego w czasie przechowywania, zarówno dla jarmużu zielonego, jak i czerwonego. Dominujące związki fenolowe jarmużu zielonego stanowiły kemferol, kwercetyna oraz kwas ferulowy, natomiast w jarmużu czerwonym w znacznej ilości występowały ponadto antocyjany.

#### **4.3.2. Określenie wpływu warunków pakowania w atmosferze modyfikowanej na zawartość glukozyolanów w jarmużu o małym stopniu przetworzenia**

Oznaczanie zawartości glukozyolanów przeprowadzono dla jarmużu zapakowanego na tacki PP zamkniętych folią F OTR 3000 oraz F OTR 35 z mikroperforacją MP-10. Do pakowania prób wybrano atmosfery o następującym składzie 10/10/80 oraz 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz atmosferę powietrza.

Zawartość glukozyolanów ogółem w jarmużu stosowanym do badań wynosiła od ok. 70 mg/100 g do 120 mg/100 g w jarmużu zielonym odmiany Reflex oraz od 85 mg/100 g do 135 mg/100 g w jarmużu czerwonym odmiany Redbor (tab. 23, 25, 27). W przypadku jarmużu zielonego, zastosowanego do otrzymania produktu minimalnie przetworzonego, w doświadczeniu z użyciem folii opakowaniowej F OTR z mikroperforacją MP-10 zawartość glukozyolanów ogółem wynosiła 92 mg/100 g ś.m (tab. 23). Zawartość glukozyolanów w jarmużu zielonym

zbieranym około 2 miesiące później (zbiór w grudniu) i użytym do badań z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000 wynosiła 118,6 mg/100 g. Analizę zawartości glukozynolanów w jarmużu czerwonym wykonano w kolejnym roku wegetacyjnym (zbiór w listopadzie) i zawartość glukozynolanów w tym surowcu wynosiła 126,6 mg/100 g s.m (tab. 27).

W każdym badanym surowcu glukozynolany alifatyczne stanowiły większość całkowitej zawartości glukozynolanów i wynosiły odpowiednio 63% i 54% w przypadku jarmużu zielonego oraz 66% w przypadku jarmużu czerwonego (tab. 22–27). Według Ciskiej i in. (2000) zawartość glukozynolanów w jarmużu zielonym waha się od 65 mg/100 g do 151 mg/100 g w zależności od roku uprawy, natomiast w pracy Korus (2014) zawartość w świeżym zielonym jarmużu wyniosła 26,87  $\mu\text{mol/g}$ . Olsen i in. (2012) oznaczyli zawartość glukozynolanów w jarmużu zielonym na poziomie 164,7 mg/100 g s.m., a w czerwonym na poziomie 78,6 mg/100 g s.m., natomiast według Kushad i in. (1999) zawartość była równa około 19,6  $\mu\text{mol/g}$  suchej masy. Zawartość poszczególnych glukozynolanów w jarmużu jest zależna od szeregu czynników, zarówno od rodzaju surowca, jego odmiany, warunków uprawy czy nawożenia, jak i procesów technologicznych, którym poddaje się surowiec po zbiorze (Ciska i in., 2000). W badaniach Korus i in. (2014) zawartość glukozynolanów alifatycznych w świeżych liściach jarmużu stanowiła 62% całości glukozynolanów. Podobnie Cieślík i in. (2007) podali zawartość glukozynolanów alifatycznych i indolowych w jarmużu stanowiącą odpowiednio 84% i 16%. Natomiast Ciska i in. (2000) wskazały odwrotną proporcję zawartości glukozynolanów alifatycznych i indolowych w jarmużu, odpowiednio 27% i 73%.

W niniejszych badaniach dominującymi związkami były glukoiberyna i glukobrasycyna, stanowiły one odpowiednio 27–30% oraz 23–36% ogólnej zawartości glukozynolanów w surowcu (ryc. 16). Jarmuż czerwony charakteryzował się istotnie niższą zawartością glukobrasycyny w porównaniu do jarmużu zielonego. Ponadto glukoiberyna stanowiła od 44% do 49% glukozynolanów alifatycznych surowca, natomiast glukobrasycyna 68–84% glukozynolanów indolowych. W badanym surowcu znaczną ilość w ogólnej zawartości glukozynolanów stanowiły również glukorafanina i synigrina, odpowiednio od 13 do 16% i od 9–13% (tab. 22–27).

Proces minimalnego przetwarzania spowodował obniżenie zawartości glukozynolanów w jarmużu średnio o 7–10%, porównując z zawartością w badanych próbach po 1 dniu przechowywania, przy czym, spadek zawartości był istotnie ( $p < 0,05$ ) wyższy dla glukozynolanów alifatycznych (8–16%) w odniesieniu do glukozynolanów indolowych (2–7%). Dla większości poszczególnych glukozynolanów oraz w każdym przypadku dla sumy glukozynolanów odnotowano istotny wpływ zarówno zastosowanych warunków pakowania, jak i czasu przechowywania na ich zawartość. Średni spadek zawartości glukozynolanów w próbach jarmużu po 12 dniach



**Tabela 22.** Zawartość glukozyolanów alifatycznych (mg/100 g) w jarmużu zielonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10  
**Table 22.** The content of aliphatic glucosinolates (mg/100 g) in fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 35 with microperforation MP-10

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Glukozyinolany alifatyczne – Aliphatic glucosinolates					
		glukoiberyna glucoiberin	progoitryna progoitrin	synigryna sinigrin	glukorafanina glucoraphanin	glikonapina gluconapin	glukozyinolany alifatyczne ogółem total aliphatic glucosinolates
1	2						
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		28,5 ± 0,8 <sup>de</sup>	4,33 ± 0,7 <sup>c</sup>	9,70 ± 0,4 <sup>g</sup>	13,4 ± 0,15 <sup>b</sup>	2,08 ± 0,08 <sup>gh</sup>	58,0 ± 2,1 <sup>d</sup>
Powietrze* F OTR 35** Mikroperforacja MP-10 Air*	1 3 6	26,4 ± 0,9 <sup>de</sup> 27,8 ± 0,5 <sup>cde</sup> 28,9 ± 0,5 <sup>def</sup>	3,41 ± 0,21 <sup>babede</sup> 2,82 ± 0,12 <sup>abc</sup> 2,60 ± 0,23 <sup>ab</sup>	7,69 ± 0,21 <sup>ef</sup> 6,20 ± 0,14 <sup>abc</sup> 5,20 ± 0,20 <sup>ab</sup>	12,5 ± 0,8 <sup>b</sup> 16,1 ± 1,0 <sup>b</sup> 13,4 ± 0,5 <sup>c</sup>	1,64 ± 0,02 <sup>bcd</sup> 1,55 ± 0,05 <sup>bc</sup> 1,48 ± 0,02 <sup>ab</sup>	51,6 ± 2,1 <sup>bc</sup> 54,5 ± 1,8 <sup>cd</sup> 51,6 ± 1,4 <sup>bc</sup>
F OTR 35** Mikroperforacja MP-10	9 12	23,1 ± 1,1 <sup>f</sup> 20,8 ± 0,ab	3,11 ± 0,14 <sup>abcd</sup> 2,32 ± 0,32 <sup>a</sup>	6,39 ± 0,14 <sup>def</sup> 5,08 ± 0,11 <sup>a</sup>	12,0 ± 0,6 <sup>ab</sup> 10,9 ± 0,5 <sup>a</sup>	1,71 ± 0,02 <sup>cde</sup> 1,32 ± 0,03 <sup>a</sup>	50,3 ± 2,2 <sup>b</sup> 40,4 ± 1,5 <sup>a</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* F OTR 35** Mikroperforacja MP-10 F OTR 35** Mikroperforacja MP-10	1 3 6	27,5 ± 0,7 <sup>def</sup> 26,6 ± 0,5 <sup>cdef</sup> 27,2 ± 0,6 <sup>cdef</sup>	3,34 ± 0,09 <sup>abcd</sup> 3,12 ± 0,08 <sup>abcd</sup> 3,40 ± 0,13 <sup>abcde</sup>	7,06 ± 0,3 <sup>cdef</sup> 6,48 ± 0,05 <sup>cd</sup> 6,77 ± 0,10 <sup>cde</sup>	13,1 ± 0,2 <sup>b</sup> 12,7 ± 0,3 <sup>b</sup> 12,9 ± 0,3 <sup>b</sup>	2,02 ± 0,13 <sup>gh</sup> 1,97 ± 0,14 <sup>gh</sup> 2,15 ± 0,12 <sup>h</sup>	53,0 ± 1,5 <sup>bed</sup> 50,9 ± 1,1 <sup>bc</sup> 52,4 ± 1,3 <sup>bcd</sup>
Mikroperforacja MP-10	9 12	26,1 ± 1,2 <sup>cde</sup> 26,8 ± 0,8 <sup>cdef</sup>	3,27 ± 0,21 <sup>abcde</sup> 3,71 ± 0,03 <sup>bcd</sup>	6,83 ± 0,71 <sup>cde</sup> 6,89 ± 0,22 <sup>cde</sup>	12,9 ± 0,3 <sup>b</sup> 12,6 ± 0,2 <sup>b</sup>	1,89 ± 0,08 <sup>efg</sup> 1,83 ± 0,04 <sup>def</sup>	51,0 ± 2,5 <sup>bc</sup> 51,9 ± 1,3 <sup>bc</sup>

Tabela 22 cd. – Table 22 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	27,8 ±0,9 <sup>def</sup>	4,15 ±0,05 <sup>de</sup>	7,85 ±0,55 <sup>ef</sup>	13,1 ±0,3 <sup>b</sup>	2,05 ±0,08 <sup>gh</sup>	55,0 ±1,8 <sup>cd</sup>
F OTR 35**	3	25,5 ±0,3 <sup>cd</sup>	3,50 ±0,05 <sup>bcd</sup>	6,30 ±0,44 <sup>bcd</sup>	12,7 ±0,9 <sup>b</sup>	1,90 ±0,07 <sup>efg</sup>	49,9 ±1,8 <sup>bc</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	25,1 ±0,7 <sup>bc</sup>	3,43 ±0,10 <sup>abcde</sup>	6,97 ±0,71 <sup>cdef</sup>	12,5 ±0,7 <sup>b</sup>	2,10 ±0,02 <sup>gh</sup>	50,1 ±2,2 <sup>bc</sup>
F OTR 35**	9	26,1 ±0,9 <sup>cde</sup>	3,12 ±0,09 <sup>abcd</sup>	7,38 ±0,15 <sup>def</sup>	13,0 ±0,6 <sup>b</sup>	1,99 ±0,03 <sup>gh</sup>	51,5 ±1,6 <sup>bc</sup>
Mikroperforation MP-10	12	26,4 ±0,9 <sup>cdef</sup>	3,96 ±0,20 <sup>cde</sup>	8,04 ±0,12 <sup>f</sup>	12,9 ±0,4 <sup>b</sup>	2,16 ±0,02 <sup>h</sup>	54,5 ±1,6 <sup>cd</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ .

**Tabela 23.** Zawartość glukozynolanów indolowych (mg/100 g) w jarmużu zielonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10

**Table 23.** The content of indolic glucosinolates (mg/100 g) in fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 35 with microperforation MP-10

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Glukozynolany indolowe – Indolic glucosinolates				Całkowita zawartość glukozynolanów Total glucosinolates	
		4-hydroksyglukobrazylina 4-hydroxyglucobrassicin	glukobrazylina glucobrassicin	4-metoksyglukobrazylina 4-methoxyglucobrassicin	glukozynolany indolowe ogółem total indoles glucosinolates		
1	2	3	4	5	6	7	8
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		4,84 ±0,21 <sup>i</sup>	28,7 ±0,9 <sup>#</sup>	0,41 ±0,03 <sup>cdef</sup>	0,13 ±0,01 <sup>abc</sup>	34,1 ±1,2 <sup>f</sup>	92,1 ±3,2 <sup>d</sup>

Tabela 23 cd. – Table 23 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
Powietrze*	1	4,43 ± 0,10 <sup>efghi</sup>	26,4 ± 1,1 <sup>defg</sup>	0,18 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,11 ± 0,01 <sup>abc</sup>	31,2 ± 1,2 <sup>cdef</sup>	82,7 ± 3,3 <sup>bce</sup>
F OTR 35**	3	4,17 ± 0,07 <sup>cdefg</sup>	24,5 ± 0,6 <sup>abcd</sup>	0,47 ± 0,04 <sup>def</sup>	0,15 ± 0,03 <sup>abc</sup>	29,3 ± 0,7 <sup>abcd</sup>	83,7 ± 2,5 <sup>bcd</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	4,21 ± 0,11 <sup>deigh</sup>	23,2 ± 0,5 <sup>ab</sup>	0,54 ± 0,02 <sup>f</sup>	0,13 ± 0,02 <sup>abc</sup>	28,1 ± 0,6 <sup>abc</sup>	79,7 ± 2,1 <sup>bc</sup>
Air**	9	3,61 ± 0,32 <sup>abc</sup>	28,2 ± 0,7 <sup>fg</sup>	0,33 ± 0,03 <sup>abcd</sup>	0,13 ± 0,01 <sup>abc</sup>	32,3 ± 1,1 <sup>def</sup>	82,6 ± 3,2 <sup>bce</sup>
F OTR 35**	12	3,87 ± 0,24 <sup>bcd</sup>	25,3 ± 0,6 <sup>bcd</sup>	0,28 ± 0,01 <sup>abc</sup>	0,18 ± 0,03 <sup>abc</sup>	29,6 ± 0,9 <sup>abcd</sup>	70,0 ± 2,4 <sup>a</sup>
Microperforation MP-10							
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	4,90 ± 0,20 <sup>i</sup>	27,2 ± 0,7 <sup>fg</sup>	0,25 ± 0,11 <sup>abc</sup>	0,10 ± 0,04 <sup>ab</sup>	32,5 ± 1,0 <sup>ef</sup>	85,5 ± 2,5 <sup>bcd</sup>
F OTR 35**	3	5,23 ± 0,42 <sup>deigh</sup>	26,0 ± 0,9 <sup>cdef</sup>	0,28 ± 0,09 <sup>abc</sup>	0,15 ± 0,03 <sup>abc</sup>	30,1 ± 1,4 <sup>bcd</sup>	81,5 ± 2,5 <sup>bce</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	4,72 ± 0,31 <sup>ghi</sup>	22,2 ± 0,6 <sup>a</sup>	0,31 ± 0,08 <sup>abcd</sup>	0,12 ± 0,03 <sup>abc</sup>	27,4 ± 1,0 <sup>a</sup>	79,8 ± 2,3 <sup>bc</sup>
F OTR 35**	9	4,46 ± 0,10 <sup>fghi</sup>	23,7 ± 0,9 <sup>abc</sup>	0,22 ± 0,10 <sup>ab</sup>	0,12 ± 0,04 <sup>abc</sup>	28,5 ± 1,1 <sup>abc</sup>	79,5 ± 3,6 <sup>bce</sup>
Microperforation MP-10	12	3,10 ± 0,04 <sup>a</sup>	24,1 ± 0,8 <sup>abcd</sup>	0,34 ± 0,04 <sup>abcde</sup>	0,10 ± 0,04 <sup>abc</sup>	27,7 ± 0,9 <sup>ab</sup>	79,5 ± 2,2 <sup>bce</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	4,75 ± 0,10 <sup>hi</sup>	26,5 ± 0,9 <sup>defg</sup>	0,51 ± 0,08 <sup>ef</sup>	0,20 ± 0,08 <sup>c</sup>	31,9 ± 1,2 <sup>def</sup>	86,9 ± 2,9 <sup>cd</sup>
F OTR 35**	3	3,80 ± 0,07 <sup>bcd</sup>	23,8 ± 0,3 <sup>abc</sup>	0,41 ± 0,08 <sup>cdef</sup>	0,13 ± 0,02 <sup>abc</sup>	28,1 ± 0,5 <sup>abc</sup>	78,0 ± 2,2 <sup>ab</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	3,52 ± 0,02 <sup>ab</sup>	23,5 ± 0,7 <sup>abc</sup>	0,35 ± 0,04 <sup>abcde</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>a</sup>	27,5 ± 0,8 <sup>ab</sup>	77,6 ± 3,0 <sup>ab</sup>
F OTR 35**	9	4,38 ± 0,02 <sup>efghi</sup>	27,8 ± 1,1 <sup>fg</sup>	0,38 ± 0,03 <sup>bcd</sup>	0,17 ± 0,03 <sup>abc</sup>	32,7 ± 1,2 <sup>ef</sup>	84,3 ± 2,8 <sup>bce</sup>
Microperforation MP-10	12	4,10 ± 0,02 <sup>cdef</sup>	25,0 ± 0,5 <sup>efg</sup>	0,39 ± 0,02 <sup>bcd</sup>	0,19 ± 0,02 <sup>bc</sup>	31,7 ± 0,6 <sup>def</sup>	86,2 ± 2,2 <sup>bcd</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 24.** Zawartość glukozydów alifatycznych (mg/100 g) w jarmużu zielonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 3000  
**Table 24.** The content of aliphatic glucosinolates (mg/100 g) in fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 3000

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Glukozydowy alifatyczne – Aliphatic glucosinolates						glukozydowy alifatyczny ogółem total aliphatic glucosinolates
		glukoiberyna glucoiberin	progointryna progointrin	synigryna sinigrin	glukorafanina glucoraphanin	glikonapina gluconapin	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		31,1 ±0,6 <sup>g</sup>	4,12 ±0,2 <sup>g</sup>	10,6 ±0,1 <sup>i</sup>	15,1 ±0,12 <sup>f</sup>	3,10 ±0,03 <sup>i</sup>	64,0 ±1,1 <sup>h</sup>	
Powietrze F OTR 3000** Bez mikroperforacji MP-0 A.ir**	1	25,9 ±1,0 <sup>cd</sup>	3,13 ±0,16 <sup>de</sup>	8,11 ±0,1 <sup>cd</sup>	14,2 ±0,4 <sup>cdef</sup>	2,31 ±0,01 <sup>e</sup>	53,7 ±1,7 <sup>de</sup>	
	3	25,5 ±0,4 <sup>bc</sup>	2,91 ±0,11 <sup>cd</sup>	8,23 ±0,16 <sup>cde</sup>	13,9 ±1,0 <sup>bcdef</sup>	1,97 ±0,02 <sup>cd</sup>	52,5 ±1,7 <sup>bcde</sup>	
	6	25,2 ±0,5 <sup>abc</sup>	2,15 ±0,10 <sup>a</sup>	7,0 ±0,2 <sup>ab</sup>	12,5 ±0,8 <sup>ab</sup>	1,29 ±0,02 <sup>a</sup>	48,1 ±1,6 <sup>ab</sup>	
	9	24,6 ±0,9 <sup>abc</sup>	2,62 ±0,14 <sup>bc</sup>	6,85 ±0,33 <sup>ab</sup>	12,1 ±0,7 <sup>a</sup>	1,56 ±0,02 <sup>b</sup>	47,7 ±2,1 <sup>ab</sup>	
	12	23,8 ±0,7 <sup>abc</sup>	2,33 ±0,12 <sup>ab</sup>	6,16 ±0,47 <sup>a</sup>	12,3 ±0,5 <sup>ab</sup>	1,16 ±0,02 <sup>a</sup>	45,6 ±1,8 <sup>a</sup>	
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* F OTR 3000** Bez mikroperforacji MP-0	1	30,5 ±0,7 <sup>fg</sup>	3,94 ±0,09 <sup>g</sup>	9,72 ±0,24 <sup>ghi</sup>	14,3 ±0,2 <sup>cdef</sup>	2,78 ±0,12 <sup>h</sup>	61,2 ±1,4 <sup>gh</sup>	
	3	30,7 ±0,2 <sup>g</sup>	3,72 ±0,09 <sup>fg</sup>	9,14 ±0,05 <sup>cfg</sup>	14,8 ±0,22 <sup>ef</sup>	2,5 ±0,11 <sup>fg</sup>	60,9 ±0,7 <sup>gh</sup>	
	6	29,8 ±0,7 <sup>efg</sup>	3,96 ±0,09 <sup>g</sup>	8,91 ±0,14 <sup>defg</sup>	15,2 ±0,38 <sup>f</sup>	2,63 ±0,12 <sup>gh</sup>	60,5 ±1,4 <sup>gh</sup>	
	9	28,1 ±0,8 <sup>e</sup>	3,45 ±0,2 <sup>ef</sup>	8,16 ±0,67 <sup>cd</sup>	14,3 ±0,25 <sup>cdef</sup>	2,33 ±0,09 <sup>ef</sup>	56,4 ±2,0 <sup>def</sup>	
	12	27,9 ±1,1 <sup>de</sup>	3,72 ±0,06 <sup>fg</sup>	8,22 ±0,29 <sup>cde</sup>	14,6 ±0,4 <sup>def</sup>	2,19 ±0,05 <sup>e</sup>	56,6 ±1,9 <sup>def</sup>	

Tabela 24 cd. – Table 24 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	30,8 ±0,9g	3,88 ±0,05fg	10,1 ±0,5hi	14,5 ±0,9 <sup>def</sup>	2,78 ±0,06 <sup>h</sup>	62,1 ±2,4 <sup>gh</sup>
F OTR 3000**	3	28,4 ±0,4 <sup>ef</sup>	3,12 ±0,07 <sup>de</sup>	9,34 ±0,18 <sup>gh</sup>	13,7 ±0,9 <sup>abcdef</sup>	2,63 ±0,06 <sup>gh</sup>	57,2 ±1,6 <sup>efg</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	25,1 ±0,5 <sup>abc</sup>	2,94 ±0,15 <sup>cd</sup>	8,49 ±0,53 <sup>def</sup>	13,4 ±0,4 <sup>abcde</sup>	2,15 ±0,07 <sup>de</sup>	52,1 ±1,7 <sup>bcd</sup>
F OTR 3000**	9	23,6 ±0,7 <sup>ab</sup>	3,13 ±0,09 <sup>de</sup>	7,35 ±0,44 <sup>bc</sup>	13,1 ±0,6 <sup>abcd</sup>	1,89 ±0,05 <sup>c</sup>	49,1 ±1,9 <sup>abc</sup>
Without microperforation MP-0	12	23,1 ±0,5 <sup>a</sup>	2,63 ±0,17 <sup>bc</sup>	7,14 ±0,13 <sup>b</sup>	12,9 ±0,5 <sup>abc</sup>	1,99 ±0,02 <sup>cd</sup>	47,8 ±1,3 <sup>ab</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 25.** Zawartość glukozynolanów indolowych (mg/100 g) w jarmużu zielonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 3000

**Table 25.** The content of indolic glucosinolates (mg/100 g) in fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 3000

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Glukozynolany indolowe – Indolic glucosinolates				Calkowita zawartość glukozynolanów Total glucosinolates	
		4-hydroksyglukobrasycyna 4-hydroxyglucobrassicin	glukobrasycyna glucobrassicin	4-metoksyglukobrasycyna 4-methoxyglucobrassicin	neoglukobrasycyna neoglucobrassicin		
1	2	3	4	5	6	7	8
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		8,45 ±0,16 <sup>h</sup>	42,1 ±1,1 <sup>i</sup>	2,26 ±0,02 <sup>f</sup>	1,73 ±0,01 <sup>i</sup>	54,5 ±1,29 <sup>h</sup>	118,6 ±2,3 <sup>j</sup>

Tabela 25 cd. – Table 25 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
Powietrze*	1	7,12 ±0,11 <sup>def</sup>	38,2 ±1,1 <sup>defg</sup>	2,17 ±0,04 <sup>ef</sup>	1,60 ±0,02 <sup>h</sup>	49,1 ±1,3 <sup>efg</sup>	102,7 ±2,9 <sup>def</sup>
F OTR 3000**	3	6,92 ±0,09 <sup>cde</sup>	36,5 ±0,6 <sup>bde</sup>	1,91 ±0,03 <sup>d</sup>	1,48 ±0,02 <sup>g</sup>	46,8 ±0,7 <sup>bcd</sup>	99,3 ±2,4 <sup>cde</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	6,77 ±0,14 <sup>cd</sup>	35,1 ±0,3 <sup>abc</sup>	1,19 ±0,05 <sup>a</sup>	1,11 ±0,02 <sup>ab</sup>	44,2 ±0,5 <sup>abc</sup>	92,3 ±2,1 <sup>abc</sup>
Air*	9	6,50 ±0,33 <sup>bc</sup>	34,3 ±0,7 <sup>ab</sup>	1,48 ±0,05 <sup>b</sup>	1,35 ±0,01 <sup>f</sup>	43,4 ±1,1 <sup>ab</sup>	91,4 ±3,2 <sup>ab</sup>
F OTR 3000**	12	6,17 ±0,20 <sup>ab</sup>	33,7 ±0,6 <sup>a</sup>	1,62 ±0,07 <sup>bc</sup>	1,23 ±0,01 <sup>cd</sup>	42,7 ±0,9 <sup>a</sup>	88,5 ±2,7 <sup>a</sup>
Without microperforation MP-0							
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	8,12 ±0,28 <sup>h</sup>	40,4 ±0,8 <sup>ghi</sup>	2,26 ±0,1 <sup>ef</sup>	1,62 ±0,02 <sup>h</sup>	52,3 ±1,1 <sup>gh</sup>	113,5 ±2,5 <sup>hij</sup>
F OTR 3000**	3	7,68 ±0,4 <sup>g</sup>	39,7 ±0,9 <sup>ghi</sup>	2,09 ±0,09 <sup>ef</sup>	1,14 ±0,06 <sup>bc</sup>	50,6 ±1,5 <sup>fg</sup>	111,5 ±2,1 <sup>ghijk</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	7,18 ±0,3 <sup>def</sup>	38,5 ±0,6 <sup>efg</sup>	1,55 ±0,07 <sup>bc</sup>	1,24 ±0,03 <sup>cde</sup>	48,5 ±1,0 <sup>ef</sup>	109,0 ±2,4 <sup>ghij</sup>
F OTR 3000**	9	7,23 ±0,21 <sup>def</sup>	38,1 ±0,4 <sup>defg</sup>	1,67 ±0,08 <sup>c</sup>	1,31 ±0,07 <sup>def</sup>	48,3 ±0,8 <sup>def</sup>	104,7 ±2,8 <sup>defg</sup>
Without microperforation MP-0	12	7,35 ±0,06 <sup>ef</sup>	39,3 ±0,8 <sup>fgh</sup>	1,18 ±0,03 <sup>a</sup>	1,22 ±0,04 <sup>cd</sup>	49,1 ±0,9 <sup>efg</sup>	105,7 ±2,8 <sup>efgh</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	7,11 ±0,09 <sup>de</sup>	41,4 ±0,9 <sup>hi</sup>	2,15 ±0,02 <sup>ef</sup>	1,54 ±0,04 <sup>gh</sup>	52,2 ±1,1 <sup>gh</sup>	114,3 ±3,5 <sup>ij</sup>
F OTR 3000**	3	6,49 ±0,07 <sup>bc</sup>	37,1 ±0,2 <sup>cdef</sup>	2,01 ±0,08 <sup>de</sup>	1,59 ±0,02 <sup>h</sup>	47,2 ±0,4 <sup>cde</sup>	104,4 ±2,0 <sup>defg</sup>
Bez mikroperforacji	6	6,38 ±0,05 <sup>bc</sup>	35,8 ±0,7 <sup>abcd</sup>	1,52 ±0,09 <sup>bc</sup>	1,34 ±0,05 <sup>ef</sup>	45,0 ±0,9 <sup>abcd</sup>	97,1 ±2,5 <sup>bcd</sup>
F OTR 3000**	9	5,72 ±0,02 <sup>a</sup>	34,1 ±0,9 <sup>ab</sup>	1,59 ±0,03 <sup>bc</sup>	1,14 ±0,03 <sup>bc</sup>	42,6 ±1,0 <sup>a</sup>	91,6 ±2,9 <sup>abc</sup>
Without microperforation MP-0	12	5,61 ±0,05 <sup>a</sup>	34,4 ±0,8 <sup>ab</sup>	1,21 ±0,05 <sup>a</sup>	1,02 ±0,05 <sup>a</sup>	42,2 ±1,0 <sup>a</sup>	90,0 ±2,3 <sup>ab</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 26.** Zawartość glukozynolanów alifatycznych (mg/100 g) w jarmużu czerwonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 3000  
**Table 26.** The content of aliphatic glucosinolates (mg/100 g) in fresh and minimally processed red kale stored for 12 days different modified atmospheres, packed in film F OTR 3000

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Glukozynolany alifatyczne – Aliphatics glucosinolates					
		glukoiberyna glucoiberin	progoitryna progoitrin	synigrina sinigrin	glukorafanina glucoraphanin	glukonapina gluconapin	glukozynolany alifatyczne ogółem total aliphatics glucosinolates
1	2	3	4	5	6	7	8
Surowiec Jarmuż czerwony Raw material Red kale		37,3 ±2,1 <sup>jk</sup>	5,45 ±0,88 <sup>f</sup>	16,9 ±1,2 <sup>d</sup>	20,2 ±0,8 <sup>f</sup>	3,34 ±0,4 <sup>e</sup>	83,2 ±5,4 <sup>h</sup>
Powietrze* F OTR 35**	1	28,2 ±1,5 <sup>cde</sup>	3,97 ±0,73 <sup>edef</sup>	12,0 ±0,9 <sup>a</sup>	12,9 ±0,5 <sup>a</sup>	3,28 ±0,3 <sup>de</sup>	60,3 ±3,9 <sup>abc</sup>
Mikroperforacja MP-10 Air**	3	26,4 ±0,7 <sup>bc</sup>	2,99 ±0,30 <sup>abcd</sup>	11,3 ±0,2 <sup>a</sup>	13,2 ±0,3 <sup>a</sup>	3,14 ±0,05 <sup>cde</sup>	57,0 ±1,6 <sup>ab</sup>
F OTR 35**	6	27,3 ±0,8 <sup>cd</sup>	2,65 ±0,10 <sup>abc</sup>	10,8 ±0,2 <sup>a</sup>	13,8 ±0,7 <sup>a</sup>	3,22 ±0,04 <sup>cde</sup>	57,6 ±1,8 <sup>ab</sup>
Mikroperforacja MP-10	9	22,1 ±0,5 <sup>a</sup>	2,28 ±0,09 <sup>ab</sup>	11,4 ±0,1 <sup>a</sup>	12,9 ±0,5 <sup>a</sup>	2,56 ±0,02 <sup>bed</sup>	51,2 ±1,2 <sup>a</sup>
F OTR 35**	12	22,9 ±0,7 <sup>ab</sup>	2,15 ±0,07 <sup>a</sup>	10,1 ±0,4 <sup>a</sup>	13,3 ±0,5 <sup>a</sup>	2,49 ±0,03 <sup>bc</sup>	50,9 ±1,7 <sup>a</sup>
Mikroperforacja MP-10	1	39,17 ±1,1 <sup>k</sup>	4,57 ±0,65 <sup>ef</sup>	14,5 ±0,53 <sup>e</sup>	20,3 ±0,6 <sup>f</sup>	2,94 ±0,4 <sup>bede</sup>	78,6 ±3,3 <sup>gh</sup>
F OTR 35**	3	37,3 ±0,7 <sup>ijk</sup>	4,18 ±0,10 <sup>def</sup>	15,3 ±0,05 <sup>e</sup>	20,1 ±0,2 <sup>f</sup>	3,00 ±0,33 <sup>cde</sup>	80,0 ±1,4 <sup>fgh</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	35,1 ±1,0 <sup>ghij</sup>	4,32 ±0,09 <sup>def</sup>	15,7 ±0,26 <sup>e</sup>	18,5 ±0,6 <sup>def</sup>	3,11 ±0,21 <sup>cde</sup>	76,7 ±2,1 <sup>e fgh</sup>
F OTR 35**	9	36,1 ±0,9 <sup>hijk</sup>	4,20 ±0,07 <sup>def</sup>	14,7 ±0,38 <sup>e</sup>	18,2 ±0,3 <sup>cde</sup>	2,65 ±0,07 <sup>bede</sup>	75,9 ±1,7 <sup>defgh</sup>
Mikroperforacja MP-10	12	37,8 ±1,2 <sup>ijk</sup>	4,01 ±0,05 <sup>def</sup>	15,6 ±0,11 <sup>e</sup>	19,3 ±0,3 <sup>ef</sup>	2,75 ±0,09 <sup>bede</sup>	79,4 ±1,8 <sup>fgh</sup>

Tabela 26 cd. – Table 26 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	33,3 ± 1,1 <sup>efgh</sup>	4,22 ± 0,42 <sup>def</sup>	14,3 ± 1,5 <sup>b</sup>	17,3 ± 0,8 <sup>bcd</sup>	3,02 ± 0,08 <sup>cde</sup>	72,1 ± 3,9 <sup>defg</sup>
F OTR 3000**	3	34,1 ± 0,5 <sup>efgh</sup>	4,11 ± 0,06 <sup>def</sup>	14,2 ± 0,2 <sup>b</sup>	17,5 ± 1,0 <sup>bcde</sup>	2,62 ± 0,07 <sup>bcde</sup>	72,6 ± 1,8 <sup>defg</sup>
Bez mikroperforacji MP-0	6	32,7 ± 0,7 <sup>efgh</sup>	3,78 ± 0,17 <sup>bcde</sup>	14,0 ± 0,5 <sup>b</sup>	16,4 ± 0,5 <sup>bc</sup>	2,82 ± 0,04 <sup>bcde</sup>	69,7 ± 1,8 <sup>def</sup>
Without microperforation MP-0	9	30,9 ± 0,9 <sup>def</sup>	3,99 ± 0,05 <sup>def</sup>	12,9 ± 0,4 <sup>b</sup>	16,8 ± 0,5 <sup>bcd</sup>	2,16 ± 0,01 <sup>b</sup>	66,8 ± 1,9 <sup>bcd</sup>
	12	31,5 ± 0,5 <sup>efg</sup>	3,54 ± 0,02 <sup>abcde</sup>	13,4 ± 0,1 <sup>b</sup>	15,9 ± 0,6 <sup>b</sup>	1,39 ± 0,03 <sup>a</sup>	65,8 ± 1,3 <sup>bc</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

**Tabela 27.** Zawartość glukozynolanów indolowych (mg/100 g) w jarmużu czerwonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii F OTR 3000 i F OTR 35 z mikroperforacją MP-10

**Table 27.** The content of indolic glucosinolates (mg/100 g) in fresh and minimally processed red kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in films F OTR 3000 and F OTR 35 with microperforation MP-10

Próba Sample	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Glukozynolany indolowe – Indolic glucosinolates				Całkowita zawartość glukozynolanów Total glucosinolates
		4-hydroksyglukobrasycyna 4-hydroxyglucobrassicin	glukobrasycyna glucobrassicin	4-metoksyglukobrasycyna 4-methoxyglucobrassicin	neoglukobrasycyna neoglucobrassicin	
1	2	8,82 ± 0,7 <sup>c</sup>	29,6 ± 1,1 <sup>efg</sup>	2,88 ± 0,03 <sup>g</sup>	2,14 ± 0,03 <sup>g</sup>	126,6 ± 7,3 <sup>g</sup>
Surowiec Jarmuż czerwony Raw material Red kale						



Tabela 27 cd. – Table 27 cont.

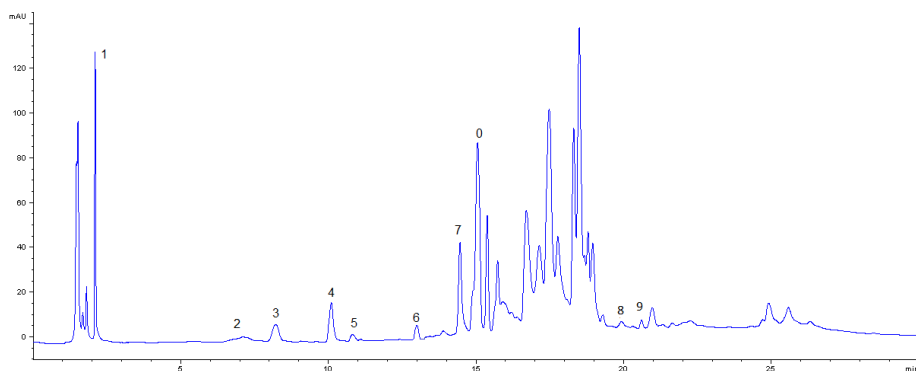
1	2	3	4	5	6	7	8
Powietrze*	1	7,88 ±0,57 <sup>de</sup>	28,7 ±1,1 <sup>cd</sup> efg	2,43 ±0,02 <sup>f</sup>	1,97 ±0,01 <sup>ef</sup>	41,0 ±1,7 <sup>efg</sup>	101,3 ±5,6 <sup>bc</sup>
F OTR 35**	3	6,15 ±0,13 <sup>abc</sup>	25,5 ±0,1 <sup>ab</sup>	2,05 ±0,04 <sup>cd</sup> ef	1,27 ±0,01 <sup>bcde</sup>	35,0 ±0,3 <sup>abc</sup>	92,0 ±1,8 <sup>ab</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	6,34 ±0,52 <sup>abc</sup>	26,7 ±0,5 <sup>abcd</sup>	1,70 ±0,02 <sup>ab</sup>	1,13 ±0,02 <sup>abc</sup>	35,9 ±1,0 <sup>abcd</sup>	93,5 ±2,9 <sup>ab</sup>
Air*	9	5,50 ±0,51 <sup>ab</sup>	24,2 ±0,9 <sup>a</sup>	1,82 ±0,02 <sup>bc</sup>	1,21 ±0,01 <sup>abcd</sup>	32,7 ±1,4 <sup>a</sup>	84,0 ±2,7 <sup>a</sup>
F OTR 35**	12	5,41 ±0,30 <sup>a</sup>	25,9 ±1,1 <sup>abc</sup>	1,49 ±0,02 <sup>a</sup>	1,09 ±0,01 <sup>ab</sup>	33,9 ±1,4 <sup>ab</sup>	84,8 ±3,1 <sup>a</sup>
Mikroperforacja MP-10	1	8,1 ±0,48 <sup>de</sup>	29,5 ±0,1 <sup>efg</sup>	2,78 ±0,02 <sup>g</sup>	2,54 ±0,01 <sup>ef</sup>	42,4 ±0,6 <sup>efg</sup>	124,3 ±3,8 <sup>g</sup>
F OTR 35**	3	7,91 ±0,39 <sup>de</sup>	29,7 ±1,3 <sup>fg</sup>	2,33 ±0,06 <sup>ef</sup>	1,14 ±0,04 <sup>abcd</sup>	41,1 ±1,8 <sup>efg</sup>	121,0 ±3,2 <sup>fg</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	7,65 ±0,34 <sup>cde</sup>	28,5 ±1,1 <sup>cd</sup> efg	2,01 ±0,21 <sup>cd</sup>	1,31 ±0,03 <sup>cde</sup>	39,5 ±1,7 <sup>cd</sup> ef	116,2 ±3,8 <sup>defg</sup>
F OTR 35**	9	6,76 ±0,27 <sup>abcd</sup>	28,1 ±1,0 <sup>bc</sup> def	2,19 ±0,13 <sup>def</sup>	1,25 ±0,08 <sup>bcde</sup>	38,3 ±1,5 <sup>bcde</sup>	114,2 ±3,2 <sup>cd</sup> efg
Mikroperforacja MP-10	12	6,98 ±0,51 <sup>bcd</sup>	29,2 ±0,9 <sup>defg</sup>	2,41 ±0,05 <sup>f</sup>	1,03 ±0,01 <sup>a</sup>	39,6 ±1,5 <sup>cd</sup> ef	119,1 ±3,2 <sup>efg</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	9,13 ±0,23 <sup>c</sup>	31,3 ±0,7 <sup>g</sup>	2,4 ±0,31 <sup>f</sup>	1,92 ±0,2 <sup>1f</sup>	44,8 ±1,5 <sup>g</sup>	116,9 ±5,3 <sup>defg</sup>
F OTR 3000**	3	8,57 ±0,16 <sup>c</sup>	28,3 ±0,9 <sup>bc</sup> def	2,09 ±0,10 <sup>cde</sup>	1,43 ±0,10 <sup>e</sup>	40,4 ±1,3 <sup>defg</sup>	113,0 ±3,1 <sup>cd</sup> efg
Bez mikroperforacji MP-0	6	8,01 ±0,09 <sup>de</sup>	27,9 ±1,2 <sup>bc</sup> def	2,15 ±0,07 <sup>def</sup>	1,33 ±0,11 <sup>de</sup>	39,4 ±1,5 <sup>cd</sup> ef	109,1 ±3,3 <sup>cd</sup> ef
F OTR 3000**	9	8,16 ±0,6 <sup>de</sup>	26,4 ±1,1 <sup>abcd</sup>	2,03 ±0,09 <sup>cde</sup>	1,18 ±0,02 <sup>abcd</sup>	37,8 ±1,8 <sup>bcde</sup>	104,5 ±3,7 <sup>bcd</sup>
Without mikroperforation MP-0	12	7,89 ±0,5 <sup>de</sup>	27,5 ±0,5 <sup>abcd</sup> ef	1,98 ±0,08 <sup>bcd</sup>	1,29 ±0,03 <sup>cde</sup>	38,0 ±1,1 <sup>bcde</sup>	103,8 ±2,4 <sup>bc</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .



**Ryc. 16.** Chromatogram rozdziłu glukozynolanów w jarmużu zielonym ( $\lambda = 229$  nm). 0 – glukotropaeolina, 1 – glucoiberyna, 2 – progoitryna, 3 – synigrina, 4 – glukorafanina, 5 – gluknapina, 6 – 4-hydroksyglukobrasycyna, 7 – glukobrasycyna, 8 – 4-metoksyglukobrasycyna, 9 – neoglukobrasycyna

**Fig. 16.** A chromatogram of the separation of glucosinolates in green kale ( $\lambda = 229$  nm). 0 – glucotropaeolin, 1 – glucoiberin, 2 – progoitritin, 3 – sinigrin, 4 – glucoraphanin, 5 – gluconapin, 6 – 4-hydroxyglucobrassicin, 7 – glucobrassicin, 8 – 4-methoxyglucobrassicin, 9 – neoglucobrassicin

przechowywania w odniesieniu do zawartości w surowcu wynosił, zależnie od warunków pakowania, od 6,4% do 26% w przypadku jarmużu zielonego (tab. 22–25) oraz od 6% do 33% w przypadku jarmużu czerwonego (tab. 26–27).

Przy zastosowaniu do pakowania folii opakowaniowej F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10 i składach atmosfery: 10/10/80, 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz atmosfery powietrza odnotowano istotny spadek ( $p < 0,05$ ) ogólnej zawartości glukozynolanów po 12 dniu przechowywania (w odniesieniu do 1 dnia), jedynie w próbie kontrolnej zapakowanej w atmosferze powietrza, spadek ten wynosił 22% (tab. 22 i 23). Natomiast w przypadku zastosowania atmosfery modyfikowanej o składzie 10/10/80 oraz 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) nie odnotowano istotnego spadku ogólnej zawartości glukozynolanów w jarmużu w czasie 12 dni przechowywanym. Podobne rezultaty uzyskali Paulsen i in. (2018), stosując przechowywanie brokołu w pasywnej atmosferze modyfikowanej przez 21 dni. Zgodnie z danymi literaturowymi efekt korzystnego wpływu atmosfery modyfikowanej na zachowanie glukozynolanów może wynikać z inaktywacji mirozynazy na skutek podniesionego stężenia ditlenku węgla w atmosferze (Dunford i Temelli, 1996, Jia i in., 2009; Xu i in., 2006). W badaniach Paulsen i in. (2018) nie odnotowano istotnego spadku ogólnej zawartości glukozynolanów, jednakże w przypadku poszczególnych glukozynolanów autorzy zaobserwowali zmienność w czasie przechowywania. Podobnie w niniejszej pracy, poszczególne glukozynolany wykazywały wahania zawartości

w czasie przechowywania w próbach zapakowanych w atmosferze modyfikowanej. W przypadku glukozynolanów alifatycznych istotne zmiany ( $p < 0.05$ ) w czasie przechowywania odnotowano jedynie dla glukonapiny, wzrost zawartości po 6 dniach przechowywania, a następnie istotny spadek do 12 dnia przechowywania (tab. 22). W przypadku glukozynolanów indolowych: 4-hydroksyglukobrasycyny oraz glukobrasycyny odnotowano istotne spadki ( $p < 0,05$ ) ich zawartości po 12 dniach przechowywania, natomiast dla 4-metoksyglukobrasycyny odnotowano istotny wzrost zawartości po 12 dniach przechowywania (tab. 23).

Paulsen i in. (2018) odnotowali brak istotnych zmian zawartości glukobrasycyny i neoglukobrasycyny, spadek zawartości glukorafaniny oraz 4-hydroksyglukobrasycyny oraz wzrost zawartości 4-metoksyglukobrasycyny w czasie przechowywania brokułu w pasywnej atmosferze modyfikowanej przez 21 dni w temperaturze 4°C. Hansen i in. (1995) odnotowali wzrost zawartości glukorafaniny i glukoiberyiny w brokułach przechowywanych przez 7 dni w powietrzu i kontrolowanej atmosferze (0,5% O<sub>2</sub> i 20% CO<sub>2</sub>). Schreiner i in. (2006) zaobserwowali spadek glukoiberyiny w młodych brokułach przechowywanych w atmosferze z 21-procentową zawartością CO<sub>2</sub> oraz początkowy jej spadek a następnie wzrost przy zastosowaniu stężenia ditlenku węgla wynoszącego 14%. Takie zmiany glukozynolanów mogą wynikać z jednej strony z ich hydrolizy prowadzącej do spadku zawartości, z drugiej jednak – stres spowodowany naruszeniem tkanki i przechowywaniem w podniesionym stężeniu ditlenku węgla może prowadzić do biosyntezy glukozynolanów (Xu i in., 2006; Jia i in., 2009). Biorąc pod uwagę te dwa mechanizmy zmian glukozynolanów, ogólna ich zawartość może zostać zachowana poprzez zajęcie równowagi pomiędzy tymi przeciwnymi procesami (Paulsen i in., 2018). Hipotezę o syntezie glukozynolanów na skutek stresu potwierdzają również Bennett i Vallsgrrove (1994), wskazując na możliwość obecności podwyższonego poziomu metabolitów pochodzących z rozkładu innych związków, które mogą być dostępne w procesie biosyntezy glukozynolanów *de novo*.

W drugim doświadczeniu zastosowano te same składy atmosfery, 10/10/80 i 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz atmosferę powietrza jako próbę kontrolną przy użyciu folii opakowaniowej zamykającej tackę z produktem F OTR 3000 bez mikroperforacji (tab. 24 i 25). Te warunki pakowania generowały wewnątrz opakowania odmienne od poprzednich zawartości tlenu i ditlenku węgla (wyniki etapu I). W przypadku atmosfery niskotlenowej, stężenie O<sub>2</sub> w czasie przechowywania malało (wartości zbliżone do 0% po 9 dniach przechowywania), natomiast stężenie ditlenku węgla utrzymywało się w zakresie pomiędzy 10–17%. W przypadku atmosfery o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) wysokie stężenie O<sub>2</sub> utrzymywało się przez cały czas przechowywania produktu (ok. 30% po 12 dniach) a stężenie CO<sub>2</sub> rosło w czasie przechowywania (maksymalne wartości ok. 25%). Te warunki skutkowały

odmiennymi zmianami zawartości glukozyolanów w czasie przechowywania jarmużu przez 12 dni. W przypadku folii opakowaniowej F OTR 3000 istotnie obniżenie ogólnej zawartości glukozyolanów odnotowano dla prób jarmużu zapakowanych w atmosferze wysokotlenowej oraz w powietrzu, wynosiły one po 12 dniach przechowywania produktu odpowiednio 21% i 14% (w odniesieniu do prób po 1 dniu). W przypadku prób zapakowanych w atmosferze wysokotlenowej największe istotne spadki zawartości odnotowano w przypadku glukozyolanów alifatycznych, szczególnie glukoiberyny i syngryny, wynosiły one odpowiednio 27% i 30% (tab. 24). Straty glukozyolanów indolowych odnotowano głównie w przypadku glukobrasycyny (16%) i 4-hydroksyglukobrasycyny (21%) (tab. 25). W przypadku powietrza większe straty odnotowano również dla glukozyolanów alifatycznych (15%) niż indolowych (13%). W omawianych warunkach pakowania brak istotnych zmian ogólnej zawartości glukozyolanów w czasie przechowywania jarmużu odnotowano jedynie w przypadku zastosowania do pakowania atmosfery o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>). Może to wskazywać na pozytywny wpływ obniżonego poziomu tlenu oraz stężenia ditlenku węgla na poziomie 10% na zachowanie glukozyolanów w jarmużu.

Natomiast zastosowanie atmosfery o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) mogło skutkować uszkodzeniami membran komórkowych, spowodowanymi zarówno poprzez działanie wysokiego stężenia tlenu, jak i stężenia ditlenku węgla na poziomie 15–25% (dane z etapu I) (Tucker i Laties, 1995). W przypadku atmosfery wysokotlenowej spadek zawartości w czasie przechowywania odnotowano w przypadku glukoiberyny, progoitryny, syngryny i glukonapiny oraz w przypadku wszystkich glukozyolanów indolowych. Xu i in. (2006) odnotowali spadek stężenia glukorafaniny w brokule przy zastosowaniu 20% CO<sub>2</sub> (przy 21% O<sub>2</sub>), w porównaniu do atmosfery o zawartości CO<sub>2</sub> 10% w czasie 20 dni przechowywania w temperaturze 5°C. Hansen i in. (1995) odnotowali większe straty glukoiberyny i glukorafaniny w brokule przechowywanym w kontrolowanej atmosferze o zawartości 20% CO<sub>2</sub> przy niskim stężeniu tlenu niż w przypadku przechowywania w powietrzu. Schreiner i in. (2006) zaobserwowali spadek zawartości glukozyolanów alifatycznych i indolowych w młodym brokule przechowywanym w atmosferze o zawartości CO<sub>2</sub> 21% (przy 1% O<sub>2</sub>), natomiast nie odnotowali wpływu na zawartość tych związków przy zastosowaniu przechowywania w atmosferze o składzie 14% CO<sub>2</sub> i 8% O<sub>2</sub>. Xu i in. (2006) zasugerowali, że wysokie stężenie CO<sub>2</sub> może powodować wzmożoną hydrolizę glukozyolanów. Niektórzy badacze sugerowali również, że warunki stresowe (np. wysokie stężenie tlenu lub ditlenku węgla) w związku z większym zapotrzebowaniem tkanki na energię mogą przyspieszać utlenianie substratów oddechowych. Łańcuch oddechowy nie jest zdolny do transportu większej liczby elektronów. W takich warunkach wytwarzana jest większa ilość reaktywnych form tlenu, przekraczając pojemność antyoksydacyjną tkanki.

Zakłada się, że wówczas uruchomiony zostaje alternatywny szlak transportu elektronów, co może dodatkowo generować tworzenie reaktywnych form tlenu powodujących uszkodzenie błony komórkowej (Tucker i Laties, 1995). Uszkodzenia błony komórkowej powodują powstanie warunków sprzyjających hydrolitycznemu rozpadowi glukozynolanów na drodze hydrolizy katalizowanej przez mirozynazę (Sørensen, 1990).

W trzecim doświadczeniu procesowi minimalnego przetwarzania poddano jarmuż czerwony, w przypadku którego zastosowano następujące warunki pakowania: atmosferę o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) i folię F OTR 35 poddaną mikroperforacji MP-10 oraz atmosferę o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) przy zastosowaniu folii F OTR 3000 bez mikroperforacji. Ponadto jako próbę kontrolną zastosowano atmosferę powietrza i folię OTR 35 poddaną mikroperforacji MP-10 (tab. 26 i 27).

W przypadku zastosowania atmosfery o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 nie odnotowano istotnych strat ogólnej zawartości glukozynolanów oraz ogółu glukozynolanów alifatycznych i indolowych w czasie 12 dni przechowywania jarmużu. Istotny spadek zawartości odnotowano w tej próbie jedynie w przypadku 4-hydroksyglukobrasycyny oraz 4-metoksyglukobrasycyny. Zastosowanie do pakowania jarmużu atmosfery o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz folii opakowaniowej F OTR 3000 spowodowało istotny spadek ogólnej zawartości glukozynolanów (11%) w czasie 12 dni przechowywania, przy czym większy spadek odnotowano dla glukozynolanów indolowych (15%) niż alifatycznych (9%). W ich przypadku istotnie niższą zawartość odnotowano tylko w przypadku progoitryny i glukonapiny (tab. 26), natomiast wśród glukozynolanów indolowych istotne spadki zawartości po 12 dniach przechowywania w odniesieniu do 1 dnia odnotowano dla glukobrasycyny, 4-metoksyglukobrasycyny oraz neoglukobrasycyny (tab. 27). Podobnie Radziejewska-Kubzdela i Olejnik (2016) w przypadku przechowywania w atmosferze modyfikowanej surówki coleslaw odnotowały najwyższy poziom glukozynolanów podczas zastosowania atmosfery o niskiej zawartości tlenu (10% CO<sub>2</sub>), natomiast użycie atmosfery wysokotlenowej (50% i 70% O<sub>2</sub>, 30% CO<sub>2</sub>) spowodowało istotny spadek zawartości glukozynolanów, zarówno alifatycznych, jak i indolowych. Autorki zasugerowały jako przyczynę istotnego spadku glukozynolanów zarówno bardzo wysoki poziom ditlenku węgla, jak i wysoki poziom tlenu. Jest to zgodne z interpretacją badań uzyskanych w niniejszej pracy. Jia i in. (2009) do pakowania brokułów zastosowali pasywną atmosferę modyfikowaną w workach polietylenowych litych oraz poddanych mikroperforacji (średnica otworów 750 μm oraz 8,8 mm), uzyskując w każdym przypadku spadek zawartości glukozynolanów, przy czym w przypadku braku mikroperforacji straty omawianych związków były najmniejsze.

Podsumowując przeprowadzone badania dotyczące wpływu warunków pakowania na zmiany zawartości glukozynolanów w jarmużu minimalnie przetworzonym, stwierdzono, że przechowywanie go w atmosferze niskotlenowej o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) zarówno z zastosowaniem folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10, jak i F OTR 3000 najkorzystniej wpływało na retencję glukozynolanów. W przypadku zastosowania niskiego stężenia tlenu oraz podniesionego stężenia ditlenku węgla na poziomie 10% do pakowania jarmużu nie odnotowano strat ogólnej zawartości glukozynolanów, niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego. Wysokie stężenie tlenu w atmosferze modyfikowanej oraz stężenie ditlenku węgla powyżej 10% skutkowało istotnym obniżeniem zawartości glukozynolanów w próbach jarmużu. Proces minimalnego przetwarzania spowodował straty glukozynolanów o 7–10%, przy czym zarówno w procesie minimalnego przetwarzania, jak i w czasie przechowywania zapakowanych prób jarmużu glukozynolowy indolowy, w tym glukobrasycyna, były bardziej stabilne niż glukozynolowy alifatyczny.

#### **4.3.3. Określenie wpływu warunków pakowania w atmosferze modyfikowanej na zawartość kwasu askorbinowego oraz karotenoidów w jarmużu o małym stopniu przetworzenia**

##### **Zmiany zawartości kwasu askorbinowego**

Warzywa kapustowate są bogatym źródłem witaminy C w diecie człowieka. Według Podsędek (2007) oraz Seung i Kader (2000) zawartość tej witaminy zależy od gatunku, odmiany oraz warunków uprawy. Z badań przeprowadzonych przez Hagen i in. (2009) wynika, że na ilość witaminy C w jarmużu wpływa również czas zbioru oraz przechowywania po zbiorze. Badania wykazały, że zawartość tej witaminy w przypadku roślin przechowywanych przez 6 tygodni w chłodni w temperaturze 1°C zmalała o 15%, natomiast w jarmużu zebranym z pola 6 tygodni później, zawartość witaminy C uległa zmniejszeniu o ponad 50%. Zawartość witaminy C w brokułach i kalafiorze oraz białej kapuście jest 2,5-krotnie niższa niż w jarmużu (Hegen i in., 2009). Warzywa te są jednak spożywane częściej niż jarmuż. W literaturze podawane są różne zawartości witaminy C w jarmużu. Pfendt i in. (2003) wskazują na zawartość witaminy C w jarmużu na poziomie 92,6 mg/100 g, natomiast Davey i in. (2000) – 186 mg/100 g surowca. Kurilich (1999) podaje szeroki zakres zawartości kwasu askorbinowego w jarmużu, mieszczący się w granicach od 22,6 mg/100 g do 119,8 mg/100 g surowca. Obróbka wstępna surowców spożywczych może mieć istotny wpływ na zawartość witaminy C w produkcie. Często stosowana obróbka w przypadku warzyw to blanszowanie. Według Korus i Lisieckiej (2011) jest to niezbędny zabieg pozwalający na zachowanie naturalnego smaku, zapachu oraz

inaktywację enzymów surowca. W badaniach Korus i Lisiewskiej (2011) straty witaminy C po blanszowaniu jarmużu wynosiły 34%. Pupponen-Pimia i in. (2003) wykazują straty tej witaminy w warzywach liściastych podczas blanszowania na poziomie od 20% do 70%.

W prezentowanych badaniach zawartość kwasu askorbinowego w jarmużu świeżym wynosiła 76,6 mg/100 g surowca (tab. 28). Zastosowanie kwasu askorbinowego do obróbki wstępnej przyczyniło się do istotnego ( $p < 0,05$ ) zwiększenia zawartości witaminy C po pierwszym dniu przechowywania prób zapakowanych w atmosferze powietrza (wzrost o ok. 25%) z użyciem obu folii opakowaniowych oraz w atmosferze o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (wzrost o 45%) przy zastosowaniu do pakowania folii F OTR 3000 (tab. 28). Wzrost zawartości kwasu askorbinowego odnotowany po 1 dniu przechowywania we wskazanych powyżej próbach, może wskazywać na istotny wpływ zastosowanych warunków pakowania na zmiany zawartości kwasu askorbinowego już na początku przechowywania produktu. Przy dalszym przechowywaniu produktu odnotowano istotny wpływ na zawartość kwasu askorbinowego w produkcie zarówno składu atmosfery zastosowanej do pakowania i czasu przechowywania w tej atmosferze, jak i rodzaju wykorzystanego materiału opakowaniowego. Istotnie wyższe zawartości kwasu askorbinowego ( $p < 0,05$ ) zaobserwowano dla prób zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 3000. W przypadku zapakowania jarmużu w powietrzu oraz atmosferze niskotlenowej nie odnotowano istotnego wpływu rodzaju materiału opakowaniowego na badany wyróżnik (tab. 28).

We wszystkich próbach, niezależnie od warunków pakowania, odnotowano istotny spadek ( $p < 0,05$ ) zawartości kwasu askorbinowego w czasie 12 dni przechowywania (tab. 28). W przypadku prób zapakowanych w atmosferze powietrza początkowa zawartość kwasu askorbinowego wynosiła 94,4–98,3 mg/100 g produktu, jednakże w czasie przechowywania spadek zawartości wynosił ok. 40%. W próbach zapakowanych w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) zaobserwowany istotny spadek zawartości kwasu askorbinowego po 12 dniach przechowywania wynosił 17% i 14,5%, odpowiednio przy zastosowaniu folii opakowaniowej F OTR 35 i F OTR 3000. Największy spadek zawartości kwasu askorbinowego (46%) odnotowano w próbce zapakowanej w atmosferze 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) w przypadku zastosowania folii F OTR 35, natomiast przy użyciu tej samej atmosfery i folii F OTR 3000 spadek wynosił 34%. Jednakże końcowa zawartość kwasu askorbinowego w tej próbce nie różniła się istotnie w porównaniu do prób zapakowanych w atmosferze niskotlenowej oraz w stosunku do zawartości w surowcu (tab. 28). Może to wskazywać na korzystny wpływ na zachowanie kwasu askorbinowego podczas przechowywania atmosfery o wysokiej zawartości zarówno tlenu, jak i ditlenku węgla, przy czym przepuszczalność folii opakowaniowej musi umożliwić utrzymanie tych warunków w opakowaniu przez cały okres przechowywania produktu.

**Tabela 28.** Zawartość kwasu askorbinowego w jarmużu świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie  
**Table 28.** The content of ascorbic acid in fresh and minimally processed kale stored for 12 days in different modified atmospheres

Skład atmosfery modyfikowanej Composition of modified atmosphere	Czas przechowywania (dni) Storage period (days)	Materiał opakowaniowy – Packaging material	
		F OTR 35 mikroperforacja MP-10 microperforation MP-10	F OTR 3000 bez mikroperforacji without microperforation
Surowiec Raw material		76,7 ±0,80 <sup>ijkl</sup>	
Powietrze Air	1	94,4 ±5,03 <sup>mn</sup>	98,3 ±4,30 <sup>n</sup>
	3	84,8 ±0,62 <sup>lm</sup>	76,4 ±3,27 <sup>ijkl</sup>
	6	82,6 ±4,88 <sup>kl</sup>	66,3 ±1,01 <sup>defgh</sup>
	9	75,3 ±3,16 <sup>ghijkl</sup>	87,3 ±4,02 <sup>lm</sup>
	12	56,2 ±1,43 <sup>bc</sup>	59,0 ±1,06 <sup>bcd</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	79,4 ±5,76 <sup>kl</sup>	76,3 ±1,32 <sup>hijkl</sup>
	3	70,2 ±4,29 <sup>fghij</sup>	73,5 ±0,96 <sup>fghijk</sup>
	6	73,6 ±4,01 <sup>fghijk</sup>	71,5 ±1,45 <sup>fghij</sup>
	9	72,7 ±5,86 <sup>fghijk</sup>	67,7 ±3,10 <sup>defghi</sup>
	12	65,8 ±5,15 <sup>cdefg</sup>	65,2 ±1,20 <sup>cdef</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	81,8 ±4,28 <sup>kl</sup>	111,5 ±3,08 <sup>o</sup>
	3	69,4 ±4,39 <sup>efghij</sup>	52,4 ±1,00 <sup>ab</sup>
	6	73,2 ±3,77 <sup>fghijk</sup>	66,2 ±0,25 <sup>cdefg</sup>
	9	60,0 ±3,76 <sup>bcde</sup>	66,1 ±0,09 <sup>cdefg</sup>
	12	44,0 ±2,97 <sup>a</sup>	73,2 ±4,86 <sup>fghijk</sup>

Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$   
The mean values marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ .

Day (2001), stosując atmosferę wysokotlenowa do pakowania sałaty, nie odnotował jej wpływu na degradację kwasu askorbinowego, natomiast według Burtona (1974) zastosowanie 100 kPa O<sub>2</sub> powodowało wzrost aktywności oksydazy kwasu askorbinowego 2, 3-krotnie w stosunku do przechowywania w powietrzu w przypadku ziemniaków. Większość badań dotyczących wpływu przechowywania w atmosferze modyfikowanej na zmiany zawartości kwasu askorbinowego w warzywach i owocach minimalnie przetworzonych dotyczy atmosfery o niskiej zawartości tlenu (2–10%) oraz podniesionej zawartości ditlenku węgla (5–10%). Według badań przeprowadzonych przez Fonsekę i in. (2005), podczas przechowywania jarmużu



w atmosferze niskotlenowej (ciśnienie tlenu 1, 2 i 3 kPa) przez 5 dni, zawartość kwasu askorbinowego była wyższa niż w próbach przechowywanych w powietrzu. Po pierwszym dniu przechowywania zawartość kwasu askorbinowego we wszystkich próbach wynosiła około 50 mg/100 g produktu. Po 5 dniach przechowywania zawartość w próbach przechowywanych w atmosferze niskotlenowej wynosiła około 40 mg/100 g, natomiast w próbach przechowywanych w powietrzu – ok. 20 mg/100 g surowca. Dalsze badania Fonseki i in. (2005) przeprowadzone w atmosferze o wysokiej zawartości ditlenku węgla (ciśnienie CO<sub>2</sub> 10, 15, 20 kPa) wykazały, że zawartość tego gazu nie miała wpływu na poziom degradacji kwasu askorbinowego. Tak jak w poprzednim przypadku, poziom kwasu askorbinowego w tych próbach po 5 dniach przechowywania był wyższy niż w próbach zapakowanych w atmosferze powietrza. Podobnie wyniki kształtowały się w próbach, które były przechowywane w atmosferze o niskim ciśnieniu tlenu i wysokim ciśnieniu ditlenku węgla (1 kPa O<sub>2</sub>+ 20 kPa CO<sub>2</sub>, 1 kPa O<sub>2</sub>+ 15 kPa CO<sub>2</sub>, 2 kPa O<sub>2</sub>+ 20 kPa CO<sub>2</sub>, 2 kPa O<sub>2</sub>+ 15 kPa CO<sub>2</sub>). Wykazano, że kwas askorbinowy ulegał szybszej degradacji w próbach zapakowanych w powietrzu.

Natomiast według Seung i Kader (2000) zawartość kwasu askorbinowego w plastrach kiwi przechowywanych w atmosferze o ciśnieniu tlenu 0,5; 2,0; 4,0 kPa w temperaturze 0°C uległa obniżeniu odpowiednio o 7%, 17% i 18% po 12 dniach przechowywania. W atmosferze powietrza oraz atmosferze o ciśnieniu ditlenku węgla 5, 10 i 20 kPa zawartość kwasu askorbinowego zmniejszyła się odpowiednio o 14%, 22% i 34%. Martinez-Sanchez i in. (2006), przechowując liście rukoli w atmosferze wysokotlenowej, uzyskali większe zachowanie kwasu askorbinowego w porównaniu do atmosfery niskotlenowej. Radziejewska-Kubzdela (2017) w przypadku zastosowania niskotlenowej atmosfery modyfikowanej (5% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub>) do pakowania surówki coleslaw odnotowała mniejsze straty kwasu askorbinowego w porównaniu do atmosfery wysokotlenowej (50% i 70% O<sub>2</sub> oraz 30% CO<sub>2</sub>), a także powietrza. Może to wskazywać na istotną rolę surowca w reakcjach tkanki na skład atmosfery zastosowanej do przechowywania. W przypadku jarmużu istotnym czynnikiem wpływającym na degradację kwasu askorbinowego był ponadto stopień uszkodzenia tkanki, biorąc pod uwagę wysokie pH surowca oraz wysoką aktywność oksydazy kwasu askorbinowego (Biegańska-Marecik i in., 2017).

Podsumowując uzyskane wyniki, stwierdzono, że 12-dniowe przechowywanie jarmużu w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) spowodowało straty kwasu askorbinowego na poziomie 16%, niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego. W przypadku przechowywania prób jarmużu w atmosferze wysokotlenowej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 3000, straty kwasu askorbinowego w jarmużu po 12 dniach przechowywania były istotnie większe i wynosiły około 34% w odniesieniu do

pierwszego dnia. Jednakże biorąc pod uwagę wyższą początkową zawartość kwasu askorbinowego w tej próbie, zawartość po 12 dniach przechowywania nie różniła się istotnie w stosunku do surowca. Zastosowanie atmosfery wysokotlenowej i folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji, skutkowało największymi stratami kwasu askorbinowego po 12 dniach przechowywania, zbliżonymi do strat w czasie przechowywania prób zapakowanych w powietrzu.

### Zmiany zawartości karotenoidów

Jarmuż jest doskonałym źródłem karotenoidów w diecie, zgodnie z danymi USDA charakteryzuje się najwyższym stężeniem luteiny i  $\beta$ -karotenu spośród wszystkich warzyw (Holden i in., 1999; Kurilich i in., 1999; USDA, 2002). Zawartość karotenoidów w warzywach jest różna i zależy od gatunku, odmiany, warunków uprawy oraz czasu wegetacji roślin. Z badań przeprowadzonych przez Lefsruda i in. (2007) wynika, że najwyższą zawartością karotenoidów charakteryzują się młode liście jarmużu mające od 1 do 3 tygodni – zawierały one od 10,3 mg do 11,6 mg/100 g  $\beta$ -karotenu oraz od 14,7 mg do 15,1 mg/100 g luteiny. W liściach starszych, mających ponad 4 tygodnie, zawartość  $\beta$ -karotenu spadła o około 54%, a luteiny o około 40%.

W badaniach przeprowadzonych w niniejszej pracy zawartość karotenoidów ogółem, w jarmużu świeżym zbieranym w dwóch kolejnych latach, wynosiła odpowiednio 16,7 mg oraz 23,00 mg/100 g surowca (tab. 29–31).

W pierwszej części badań, w której jarmuż zapakowano w worki foliowe WF OTR 3000 odnotowano istotny wzrost ( $p < 0,05$ ) zawartości karotenoidów ogółem w próbach zapakowanych w atmosferze powietrza oraz atmosferze o składzie 20/25/55 (%O<sub>2</sub>/% CO<sub>2</sub>/% N<sub>2</sub>) po 1 dniu przechowywania (tab. 29). Był on spowodowany głównie zwiększoną zawartością luteiny i  $\beta$ -karotenu. Jednakże w czasie 12 dni przechowywania odnotowano istotny spadek zawartości karotenoidów ogółem we wszystkich próbach, wynosił on od 12,3% do 52% w stosunku do zawartości po 1 dniu. Największe straty odnotowano w przypadku  $\beta$ -karotenu, wynosiły one 48–77%, i były istotnie większe niż w przypadku luteiny (38–44%) (tab. 29). W przypadku wiolaksantyny straty po 12 dniach przechowywania wynosiły od 17% do 31%, natomiast w przypadku neoksantyny spadek zawartości odnotowano tylko w przypadku jednej próby (22%) natomiast w przypadku prób zapakowanych w powietrzu i atmosferze o 2-procentowej początkowej zawartości tlenu odnotowano wzrost jej zawartości. Najmniejsze spadki zawartości karotenoidów odnotowano w próbie zapakowanej w atmosferze o składzie 20/5/75 (%O<sub>2</sub>/% CO<sub>2</sub>/% N<sub>2</sub>).

W drugiej części badań, w której jarmuż pakowano na tackach PP zamkniętych folią F OTR 35 i F OTR 3000 proces obróbki wstępnej również nie spowodował strat związków karotenoidowych (tab. 30). Odnotowano natomiast istotny spadek ( $p < 0,05$ ) zawartości związków w czasie 12 dni przechowywania produktu

**Tabela 29.** Zawartości karotenoidów (mg/100 g) w jarmużu zielonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem worków foliowych WF OTR 3000  
**Table 29.** The content of carotenoids (mg/100 g) in fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in plastic bags WF OTR 3000

Próba Sample	Czas przechowania (dni) Storage period (days)	Neoksantyna Neoxanthin	Wiolaksantyna Violaxanthin	Luteina Lutein	β-karoten β-carotene	Karotenoidy ogółem Total carotenoids
1	2	3	4	5	6	7
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		0,25 ±0,01 <sup>cde</sup>	0,32 ±0,003 <sup>cfg</sup>	9,79 ±0,10 <sup>de</sup>	6,38 ±0,04 <sup>def</sup>	16,7 ±0,15 <sup>d</sup>
Powietrze*	1	0,19 ±0,007 <sup>a</sup>	0,35 ±0,007 <sup>g</sup>	14,2 ±1,2 <sup>i</sup>	8,04 ±0,01 <sup>b</sup>	22,8 ±1,2 <sup>e</sup>
Worki foliowe WF OTR 3000**	6	0,31 ±0,01 <sup>g</sup>	0,34 ±0,02 <sup>fg</sup>	14,7 ±0,10 <sup>j</sup>	7,50 ±0,7 <sup>gh</sup>	22,9 ±0,3 <sup>e</sup>
Air* Plastic bags WF OTR 3000**	12	0,29 ±0,02 <sup>fg</sup>	0,24 ±0,01 <sup>b</sup>	8,01 ±0,91 <sup>bc</sup>	2,73 ±0,02 <sup>b</sup>	11,3 ±1,0 <sup>b</sup>
2/10/88 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* Worki foliowe WF OTR 3000**	1	0,27 ±0,003 <sup>def</sup>	0,30 ±0,01 <sup>de</sup>	10,8 ±0,01 <sup>cif</sup>	5,77 ±0,01 <sup>cde</sup>	17,1 ±0,01 <sup>d</sup>
Plastic bags WF OTR 3000**	6	0,22 ±0,01 <sup>abc</sup>	0,18 ±0,002 <sup>a</sup>	11,3 ±1,1 <sup>fg</sup>	4,90 ±0,60 <sup>cc</sup>	16,6 ±2,3 <sup>d</sup>
Plastic bags WF OTR 3000**	12	0,21 ±0,002 <sup>ab</sup>	0,22 ±0,005 <sup>b</sup>	6,74 ±0,40 <sup>ab</sup>	2,68 ±0,04 <sup>b</sup>	9,86 ±0,4 <sup>ab</sup>

Tabela 29 cd. – Table 29 cont.

1	2	3	4	5	6	7
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> ) Worki foliowe WF OTR 3000** Plastic bags WF OTR 3000**	1 6 12	0,27 ±0,02 <sup>def</sup> 0,26 ±0,02 <sup>def</sup> 0,26 ±0,02 <sup>def</sup>	0,31 ±0,001 <sup>def</sup> 0,23 ±0,001 <sup>b</sup> 0,24 ±0,03 <sup>b</sup>	9,83 ±0,35 <sup>def</sup> 7,70 ±0,01 <sup>bc</sup> 5,99 ±0,52 <sup>a</sup>	6,72 ±0,28 <sup>fg</sup> 5,71 ±0,91 <sup>cd</sup> 1,53 ±0,28 <sup>a</sup>	17,1 ±0,6 <sup>d</sup> 14,0 ±0,9 <sup>e</sup> 8,01 ±0,7 <sup>a</sup>
20/5/75 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* Worki foliowe WF OTR 3000** Plastic bags WF OTR 3000**	1 6 12	0,24 ±0,004 <sup>bcd</sup> 0,25 ±0,003 <sup>cde</sup> 0,27 ±0,002 <sup>def</sup>	0,29 ±0,003 <sup>de</sup> 0,25 ±0,001 <sup>bc</sup> 0,24 ±0,02 <sup>b</sup>	7,85 ±0,08 <sup>bc</sup> 11,9 ±0,10 <sup>sh</sup> 8,76 ±0,25 <sup>cd</sup>	5,46 ±0,04 <sup>c</sup> 5,32 ±0,01 <sup>c</sup> 2,82 ±0,01 <sup>b</sup>	13,8 ±0,1 <sup>c</sup> 17,8 ±0,1 <sup>d</sup> 12,1 ±0,3 <sup>bc</sup>
20/25/55 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* Worki foliowe WF OTR 3000** Plastic bags WF OTR 3000**	1 6 12	0,28 ±0,01 <sup>efg</sup> 0,28 ±0,002 <sup>efg</sup> 0,28 ±0,001 <sup>efg</sup>	0,35 ±0,005 <sup>g</sup> 0,18 ±0,001 <sup>a</sup> 0,28 ±0,001 <sup>cd</sup>	13,3 ±0,16 <sup>hi</sup> 10,5 ±0,07 <sup>efg</sup> 7,13 ±0,01 <sup>ab</sup>	7,94 ±0,11 <sup>b</sup> 6,63 ±0,25 <sup>efg</sup> 2,91 ±0,17 <sup>b</sup>	22,0 ±0,3 <sup>e</sup> 17,6 ±0,3 <sup>d</sup> 10,6 ±0,2 <sup>b</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ .

**Tabela 30.** Zawartości karotenoidów (mg/100 g) w jarmużu zielonym świeżym oraz minimalnie przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 35 z mikroperforacją MP-10  
**Table 30.** The content of carotenoids (mg/100 g) in fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed in film F OTR 35 with microperforation MP-10

Próba Sample	Czas przechowania (dni) Storage period (days)	Neoksantyna i wiołaksantyna Neoxanthin and violaxanthin	Luteina Lutein	β-karoten β-carotene	Karotenoidy ogółem Total carotenoids
1	2	3	4	5	6
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		7,83 ±0,10 <sup>a</sup>	10,9 ±0,31 <sup>a</sup>	4,11 ±0,43 <sup>e</sup>	22,8 ±0,35 <sup>abcd</sup>
Powietrze* F OTR 35** Mikroperforacja MP-10 Air**	1 3 6	9,00 ±0,17 <sup>ef</sup> 8,56 ±0,63 <sup>cde</sup> 8,34 ±0,07 <sup>abcd</sup>	12,5 ±0,50 <sup>ede</sup> 12,3 ±0,31 <sup>bde</sup> 12,2 ±0,10 <sup>bde</sup>	3,02 ±0,06 <sup>e</sup> 2,97 ±0,16 <sup>bc</sup> 2,85 ±0,09 <sup>abc</sup>	24,5 ±0,71 <sup>ef</sup> 23,9 ±0,81 <sup>cde</sup> 13,4 ±0,16 <sup>abcde</sup>
F OTR 35** Mikroperforacja MP-10	9 12	7,87 ±0,18 <sup>a</sup> 7,94 ±0,56 <sup>ab</sup>	11,9 ±0,42 <sup>bcd</sup> 11,6 ±0,89 <sup>ab</sup>	2,84 ±0,04 <sup>abc</sup> 2,59 ±0,04 <sup>a</sup>	22,6 ±0,61 <sup>abc</sup> 22,1 ±1,47 <sup>a</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )* F OTR 35** Mikroperforacja MP-10 F OTR 35** Mikroperforacja MP-10	1 3 6 9 12	9,56 ±0,34 <sup>g</sup> 9,13 ±0,24 <sup>fg</sup> 8,99 ±0,24 <sup>ef</sup> 8,72 ±0,37 <sup>def</sup> 8,60 ±0,23 <sup>cdef</sup>	12,9 ±0,04 <sup>e</sup> 12,5 ±0,31 <sup>de</sup> 12,3 ±0,11 <sup>bde</sup> 11,7 ±0,85 <sup>abc</sup> 12,0 ±0,54 <sup>bcd</sup>	4,12 ±0,18 <sup>e</sup> 3,55 ±0,21 <sup>d</sup> 3,06 ±0,20 <sup>e</sup> 3,10 ±0,19 <sup>e</sup> 2,75 ±0,09 <sup>abc</sup>	26,7 ±0,11 <sup>g</sup> 25,2 ±0,65 <sup>f</sup> 24,3 ±0,19 <sup>ef</sup> 23,5 ±1,35 <sup>bde</sup> 23,3 ±0,84 <sup>abcde</sup>

Tabela 30 cd. – Table 30 cont.

1	2	3	4	5	6
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	9,01 ±0,24 <sup>efg</sup>	12,4 ±0,12 <sup>bcd</sup>	3,84 ±0,19 <sup>de</sup>	25,3 ±0,24 <sup>f</sup>
F OTR 35**	3	8,68 ±0,64 <sup>def</sup>	12,3 ±0,50 <sup>bcd</sup>	3,11 ±0,21 <sup>c</sup>	24,0 ±1,04 <sup>def</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	8,49 ±0,50 <sup>bcd</sup>	12,4 ±0,70 <sup>bcd</sup>	3,05 ±0,09 <sup>c</sup>	23,9 ±0,22 <sup>def</sup>
F OTR 35**	9	8,82 ±0,18 <sup>def</sup>	12,5 ±0,57 <sup>de</sup>	2,73 ±0,14 <sup>abc</sup>	24,1 ±0,82 <sup>def</sup>
Mikroperforacja MP-10	12	8,06 ±0,60 <sup>abc</sup>	11,8 ±1,12 <sup>bcd</sup>	2,54 ±0,12 <sup>a</sup>	22,4 ±1,57 <sup>a</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$ .

**Tabela 31.** Zawartości karotenoidów (mg/100 g) w jarmużu zielonym przetworzonym przechowywanym przez 12 dni w atmosferze modyfikowanej o różnym składzie, zapakowanym z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 35 z mikroperforacją MP-10

**Table 31.** The content of carotenoids (mg/100 g) in fresh and minimally processed green kale stored for 12 days in different modified atmospheres, packed with in films F OTR 35 with microperforation MP-10

Próba Sample	Czas przechowania (dni) Storage period (days)	Neoksantyna i wiołaksantyna Neoxanthin and violaxanthin	Luteina Lutein	β-karoten β-carotene	Karotenoidy ogółem Total carotenoids
1	2	3	4	5	6
Surowiec Jarmuż zielony Raw material Green kale		7,83 ±0,10 <sup>a</sup>	10,9 ±0,31 <sup>a</sup>	4,11 ±0,43 <sup>c</sup>	22,8 ±0,35 <sup>abcd</sup>

Tabela 31 cd. – Table 31 cont.

1	2	3	4	5	6
Powietrze*	1	9,00 ±0,17 <sup>ef</sup>	12,5 ±0,50 <sup>cde</sup>	3,02 ±0,06 <sup>c</sup>	24,5 ±0,71 <sup>ef</sup>
F OTR 35**	3	8,56 ±0,63 <sup>cde</sup>	12,3 ±0,31 <sup>bcd</sup>	2,97 ±0,16 <sup>b</sup>	23,9 ±0,81 <sup>cde</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	8,34 ±0,07 <sup>abcd</sup>	12,2 ±0,10 <sup>bcd</sup>	2,85 ±0,09 <sup>abc</sup>	13,4 ±0,16 <sup>abcde</sup>
Air**	9	7,87 ±0,18 <sup>a</sup>	11,9 ±0,42 <sup>bed</sup>	2,84 ±0,04 <sup>abc</sup>	22,6 ±0,61 <sup>abc</sup>
Microperforation MP-10	12	7,94 ±0,56 <sup>ab</sup>	11,6 ±0,89 <sup>ab</sup>	2,59 ±0,04 <sup>a</sup>	22,1 ±1,47 <sup>a</sup>
10/10/80 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )*	1	9,56 ±0,34 <sup>g</sup>	12,9 ±0,04 <sup>e</sup>	4,12 ±0,18 <sup>g</sup>	26,7 ±0,11 <sup>g</sup>
F OTR 35**	3	9,13 ±0,24 <sup>fg</sup>	12,5 ±0,31 <sup>de</sup>	3,55 ±0,21 <sup>d</sup>	25,2 ±0,65 <sup>f</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	8,99 ±0,24 <sup>ef</sup>	12,3 ±0,11 <sup>bcd</sup>	3,06 ±0,20 <sup>e</sup>	24,3 ±0,19 <sup>ef</sup>
F OTR 35**	9	8,72 ±0,37 <sup>def</sup>	11,7 ±0,85 <sup>abc</sup>	3,10 ±0,19 <sup>e</sup>	23,5 ±1,35 <sup>bcd</sup>
Microperforation MP-10	12	8,60 ±0,23 <sup>cdef</sup>	12,0 ±0,54 <sup>bcd</sup>	2,75 ±0,09 <sup>abc</sup>	23,3 ±0,84 <sup>abcde</sup>
80/10/10 (%O <sub>2</sub> /%CO <sub>2</sub> /%N <sub>2</sub> )	1	9,01 ±0,24 <sup>efg</sup>	12,4 ±0,12 <sup>bcd</sup>	3,84 ±0,19 <sup>de</sup>	25,3 ±0,24 <sup>f</sup>
F OTR 35**	3	8,68 ±0,64 <sup>def</sup>	12,3 ±0,50 <sup>bcd</sup>	3,11 ±0,21 <sup>c</sup>	24,0 ±1,04 <sup>def</sup>
Mikroperforacja MP-10	6	8,49 ±0,50 <sup>bcd</sup>	12,4 ±0,70 <sup>bcd</sup>	3,05 ±0,09 <sup>c</sup>	23,9 ±0,22 <sup>def</sup>
F OTR 35**	9	8,82 ±0,18 <sup>def</sup>	12,5 ±0,57 <sup>de</sup>	2,73 ±0,14 <sup>abc</sup>	24,1 ±0,82 <sup>def</sup>
Microperforation MP-10	12	8,06 ±0,60 <sup>abc</sup>	11,8 ±1,12 <sup>bed</sup>	2,54 ±0,12 <sup>a</sup>	22,4 ±1,57 <sup>a</sup>

\* – skład atmosfery wewnątrz opakowania, \*\* – rodzaj materiału opakowaniowego.

Wartości w kolumnach oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie statystycznie przy  $p < 0,05$ .

\* – composition of modified atmosphere, \*\* – type of packaging material.

The mean values in columns marked with the same letter are not significantly different at  $p < 0,05$ .

w atmosferze modyfikowanej, przy czym straty karotenoidów były istotnie mniejsze niż w poprzednim eksperymencie opisanym powyżej (tab. 30–31). Zastosowanie różnych warunków pakowania: folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji MP-10 oraz F OTR 3000 bez mikroperforacji istotnie różnicowało retencję karotenoidów w próbach jarmużu, natomiast mniejsze znaczenia miał skład atmosfery zastosowanej do pakowania tego warzywa. Najmniejszy spadek zawartości karotenoidów odnotowano w próbach zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 35 poddanej mikroperforacji, wynosiły one od 10% w przypadku prób zapakowanych w atmosferze powietrza, do 13% w przypadku atmosfery o początkowej zawartości tlenu 10% (tab. 31). Próby zapakowane z zastosowaniem folii F OTR 3000 charakteryzowały się istotnie większym ubytkiem zawartości karotenoidów (tab. 30). W przypadku obu folii opakowaniowych (F OTR 35 i F OTR 3000) największe straty karotenoidów odnotowano w próbach przechowywanych w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/% CO<sub>2</sub>/% N<sub>2</sub>).

Degradacja karotenoidów w żywności zależy od dostępności tlenu i może być stymulowana przez szereg innych czynników, takich jak: światło, enzymy, obecność metali (Rodriguez-Amaya, 2001). W przeprowadzonych doświadczeniach z zastosowaniem obu folii opakowaniowych (F OTR 35 i F OTR 3000) (tab. 30–31) kompozycje gazów w atmosferze modyfikowanej nie miały istotnego wpływu na zachowanie karotenoidów po 12 dniach przechowywania, w porównaniu z próbami zapakowanymi w powietrzu. Nie odnotowano korelacji pomiędzy początkową zawartością tlenu w opakowaniu a stopniem zachowania karotenoidów. Li i Barth (1998) uzyskali podobne rezultaty w przypadku pakowania marchwi w atmosferze modyfikowanej, nie wykazując wpływu atmosfery o obniżonej zawartości tlenu na zachowanie karotenoidów w odniesieniu do przechowywania w powietrzu. Podobnie Alasalvar i in. (2005) nie odnotowali różnic w zmianach karotenoidów marchwi zapakowanej w powietrzu i atmosferze o 5-procentowej zawartości tlenu.

Radziejewska-Kubzdela (2017) również nie stwierdziła wpływu obniżonego poziomu tlenu w atmosferze na zachowanie karotenoidów w surówce coleslaw przechowywanej w różnych warunkach atmosfery modyfikowanej. Jednakże w tych badaniach większe straty karotenoidów autorka zaobserwowała w przypadku zastosowania atmosfery wysokotlenowej. Wyniki uzyskane w niniejszej pracy wykazały jedynie ograniczenie strat karotenoidów w próbach o zawartości tlenu zbliżonej lub wyższej niż w powietrzu.

Badania nad zmianami karotenoidów w minimalnie przetworzonym jarmużu zapakowanym i przechowywanym w atmosferze modyfikowanej wskazały na znacznie większą labilność β-karotenu w porównaniu do pozostałych karotenoidów. We wszystkich przeprowadzonych doświadczeniach jego straty były istotnie wyższe od luteiny, wiolaksantyny i neoksantyny. W przypadku zastosowania folii opakowaniowej F OTR 3000 spadek zawartości karotenoidów wynikał głównie z obniżenia



zawartości  $\beta$ -karotenu (około 60%) (tab. 30). Kobori i in. (2011) przeprowadzali doświadczenia na jarmużu pakowanym w atmosferze modyfikowanej uzyskiwanej w sposób pasywny. Jarmuż przechowywany był w temperaturze 1°C w ciemności oraz w temperaturze 11°C przy świetle oraz w ciemności. Autorzy odnotowali nieznaczny spadek neoksantyny i wiolaksantyny po 15 dniach przechowywania prób w ciemności w temperaturze 1°C. Natomiast zawartość luteiny i  $\beta$ -karotenu w tych warunkach przechowywania zmniejszyła się odpowiednio o 7%, 1% i 11,3%.

Porównując analizy zawartości jarmużu przeprowadzone w dwóch kolejnych latach z wykorzystaniem surowca pochodzącego z tego samego źródła i miejsca uprawy, stwierdzono różny udział poszczególnych karotenoidów w ogólnej ich zawartości. W pierwszym roku badań dominującym związkem była luteina (59% ogółu karotenoidów),  $\beta$ -karoten stanowił 38%, a neoksantyna i wiolaksantyna łącznie 3,4% (tab. 29). W drugim roku badań udział poszczególnych karotenoidów wynosił 47%, 35% oraz 18%, odpowiednio dla luteiny, sumy neoksantyny i wiolaksantyny oraz  $\beta$ -karotenu (tab. 30–31). Różnice w ogólnej zawartości mogą wynikać ponadto z różnego terminu zbioru surowca do badań. W pierwszym roku zbioru dokonano w grudniu (zawartość karotenoidów 16,7 mg/100 g), w drugim roku w październiku (23 mg/100 g). W literaturze podawane są różne zawartości karotenoidów w jarmużu. Holden i in. (1999) podali zawartość  $\beta$ -karotenu w jarmużu na poziomie 9,23 mg/100 g produktu, a luteiny i zeaksantyny na poziomie 39,55 mg/100 g produktu. W badaniach Sikory i in. (2008) zawartość karotenoidów w jarmużu wyniosła 2,7 mg/100 g produktu. Według Müllera (1997) zawartość  $\beta$ -karotenu w jarmużu wynosiła 7,28 mg/100 g, a luteiny 18,63 mg/100 g. De Sà i in. (2004) podali zawartość  $\beta$ -karotenu i luteiny odpowiednio w zakresie od 2,84 mg do 4,38 mg oraz od 3,04 do 5,26 mg/100 g surowca. Według badań przeprowadzonych przez Kurilich i in. (1999) zawartość  $\beta$ -karotenu wynosiła od 3,65 mg do 6,08 mg/100 g. Kopsell i in. (2003) badali zawartość karotenoidów w trzech odmianach jarmużu: Winterbor, Redbor oraz Toscano. Zawartość  $\beta$ -karotenu w tych odmianach wyniosła od 8,5 mg do 15 mg/100 g, natomiast luteiny od 10,1 mg do 12 mg/100 g produktu.

Podsumowując przeprowadzone badania, stwierdzono brak istotnego wpływu składu atmosfery zastosowanej do przechowywania na zachowanie zawartości karotenoidów w jarmużu, istotny wpływ miał natomiast rodzaj zastosowanego materiału opakowaniowego. We wszystkich analizowanych próbach odnotowano istotne straty karotenoidów w czasie przechowywania, wynoszące 10–52%, przy czym największe zaobserwowano dla wariantu pakowania z zastosowaniem worków foliowych WF OTR 3000. Zastosowanie materiału opakowaniowego F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 powodowało istotnie wyższą retencję karotenoidów w próbach jarmużu, niezależnie od zastosowanej atmosfery przechowywania, straty w tym przypadku wynosiły 10–13%. Dominującym związkiem wśród karotenoidów jarmużu była luteina,

kolejno  $\beta$ -karoten oraz wiolaksantyna i neoksantyna. Najmniejszą stabilnością wśród karotenoidów w czasie przechowywania produktu o małym stopniu przetworzenia charakteryzował się  $\beta$ -karoten.

#### **4.3.4. Analiza związków lotnych w jarmużu pakowanym i przechowywanym w atmosferze modyfikowanej**

W analizie chromatograficznej (GC-MS) związków zapachowych w opakowaniach z jarmużem wykazano obecność jedynie dwóch związków z grupy związków siarkowych: disiarczku dimetylu i izotiocyjanianu allilu. Disiarczek dimetylu był obecny w dwóch próbach zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 3000: próbie pakowanej w powietrzu oraz w atmosferze o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (tab. 32). W obu tych próbach odnotowano jego obecność po 9 i 12 dniu przechowywania, gdy zmiany zapachu były w nich bardzo wyczuwalne i powodowały obniżenie noty sensorycznej przyznanych za ten wyróżnik. Izotiocyjanian allilu pojawił się tylko w jednej próbie: zapakowanej w atmosferze o składzie: 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) z zastosowaniem folii F OTR 3000 po 9 i 12 dniach przechowywania (zamieszczono dane z dnia 12, tab. 32). Próba ta charakteryzowała się bardzo dobrą jakością sensoryczną przez cały okres przechowywania. Zmiany zapachu odnotowywane w tej próbie oceniane były pozytywnie i nie skutkowały obniżaniem noty sensorycznej tego wyróżnika jakości.

W tabeli 32 zamieszczono wyniki dla prób zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 3000 oraz dla jednej z analizowanych prób zapakowanych z wykorzystaniem folii F OTR 35 z mikroperforacją MP-10. W próbach zapakowanych z mikroperforacją materiału opakowaniowego nie odnotowano różnic w obecności związków zapachowych pomiędzy próbkami przechowywanymi w różnych warunkach atmosfery, dlatego w zestawieniu nie ujęto pozostałych prób. Mikroperforacja materiału opakowaniowego powodowała znacznie mniejsze nagromadzenie wewnątrz związków zapachowych.

We wszystkich próbach zapakowanych z zastosowaniem folii F OTR 3000 po 1 dniu przechowywania obecne były głównie związki terpenowe (limonen,  $\alpha$ -pinen, 3-carenen, cariofyllen) o bardzo wysokim progu wyczuwalności sensorycznej. Natomiast po 12 dniach przechowywania, oprócz wymienionych związków terpenowych, znajdowały się tam estry, które prawdopodobnie, wraz z etanolem i octanem etylu, warunkowały negatywne zmiany zapachu prób. Etanol i octan etylu obecne były w próbach zapakowanych w atmosferze powietrza i atmosferze 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (folia F OTR 3000), w których nastąpiło obniżenie jakości związane głównie ze zmianami zapachu, będące wynikiem wytworzenia warunków beztlenowych wewnątrz opakowania (wyniki etapu I) i prawdopodobnie zajścia procesu oddychania



Tabela 32 cd. – Table 32 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7. Kwas propanowy, ester etylowy Propanoic acid, ethyl ester	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Kwas propanowy, ester 2-metylowy-etylowy Propanoic acid 2-methyl-ethyl ester	-	+	-	+	-	+	+	-
9. Kwas butanowy, ester etylowy Butanoic acid, ethyl ester	-	+	-	-	-	+	-	-
10. Kwas butanowy, 2-metyl-ester etylowy Butanoic acid, 2-methyl ethyl ester	-	+	-	+	-	+	-	-
11. Kwas pentanowy, ester etylowy Pentanoic acid ethyl ester	-	+	-	-	-	+	-	-
12. Kwas heksanowy, ester etylowy Hexanoic acid ethyl ester	-	+	-	-	-	+	-	-
13. Kwas oktanowy, ester 4-metylowy-etylowy Octanoic acid 4-methyl-ethyl ester	-	+	-	-	-	-	+	-
14. $\alpha$ -Pinen – $\alpha$ -pinene	+	-	+	+	+	-	-	-
15. 3-karen – 3-carene	-	+	+	+	+	+	-	-
16. Limonen – Limonene	+	+	+	+	+	+	-	-
17. Cariofylen – Caryophyllene	+	-	-	-	-	-	-	-
18. Nonadekanol – Nonadecanol	+	-	-	-	-	-	-	-
19. Pentanol – Pentanol	-	-	-	+	-	-	-	+
20. Toluen – Toluene	+	-	+	+	+	-	+	-

beztlenowego. W próbach zapakowanych w atmosferze powietrza i atmosferze 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (folia F OTR 3000) po 12 dniach przechowywania obecna była także największa ilość estrów. W próbie zapakowanej w atmosferze 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) (folia F OTR 3000) po 12 dniach przechowywania oprócz związków terpenowych znajdowały się trzy związki z grupy estrów (kwas etanolowy, bis-ester; kwas propanowy, ester 2-metylo-etylowy; kwas butanowy, 2-metyl-ester etylowy), nie odnotowano etanolu i octanu etylu, zaobserwowano natomiast obecność pentanolu (alkoholu amyłowego) (tab. 32).

W próbach zapakowanych z zastosowaniem folii opakowaniowej F OTR 35 z mikroperforacją MP-10 po 1 dniu przechowywania odnotowano obecność dwóch związków z grupy estrów (kwas oktanowy – ester 4-metylowy-etylowy; kwas propanowy – ester 2-metylowy-etylowy) oraz – jak w większości prób – toluenu. Po 12 dniach przechowywania tych prób nie zaobserwowano obecności żadnych związków z omawianej grupy. Zastosowanie mikroperforacji materiału opakowaniowego ograniczało nagromadzenie związków zapachowych w opakowaniu. Zapach tych prób w ocenie sensorycznej uzyskał wysokie noty. Prawdopodobnie wynikało to głównie z braku zapachu obcego lub nieprzyjemnego (tab. 32).

Według danych literaturowych, w jarmużu i innych warzywach kapustowatych zidentyfikowano obecność większej ilości związków zapachowych, m.in. związków siarkowych (siarczku dimetylu, tiosiarczku dimetylu, tioocyjanianu metylu, izotioocyjanianu 2-metyl-butylu), terpenów i estrów (Blazevic i Mastelic, 2009; Lonchamp i in. 2009; Taveira i in. 2009; Fernandes i in. 2010). Jednakże według Fernandes i in. (2010) najwięcej siarkowych związków lotnych znajdowało się w świeżym jarmużu, natomiast w jarmużu uszkodzonym mechanicznie autorzy zidentyfikowali obecność tylko 1 związku siarkowego (izotioocyjanianu allilu). Według ww. autorów po uszkodzeniu mechanicznym badanych warzyw wzrastała ilość związków z grupy estrów, terpenów, a także alkoholi. Podobnie wnioski odnotowano w niniejszej pracy.

## 5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na podsumowanie i sformułowanie następujących wniosków i stwierdzeń:

1. Zastosowanie atmosfery wysokotlenowej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz materiału opakowaniowego złożonego z polipropylenowej tacki zamkniętej folią o przepuszczalności tlenu 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm do przechowywania jarmużu poddanego obróbce wstępnej polegającej na myciu pod bieżącą wodą oraz płukaniu w roztworze kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l) pozwoliło na uzyskanie produktu o wysokiej jakości sensorycznej w czasie 12 dni przechowywania w temperaturze chłodniczej.
2. W przypadku atmosfery niskotlenowej o 10-procentowej zawartości tlenu w celu uzyskania dobrej jakości produktu, zachowującego trwałość przez 12 dni, konieczne było zwiększenie przepuszczalności materiału opakowaniowego poprzez zastosowanie mikroperforacji o o wielkości 333 otwory o średnicy 70 μm/m<sup>2</sup>.
3. Zastosowanie wysokotlenowej atmosfery modyfikowanej o zawartości tlenu 80% oraz zawartości ditlenku węgla 10%, przy użyciu folii opakowaniowej o przepuszczalności tlenu 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm skutkowało istotnym zahamowaniem aktywności fizjologicznej produktu w czasie 12 dni przechowywania.
4. Obróbka wstępna jarmużu polegająca na traktowaniu roztworem kwasów askorbinowego (5 g/l) i cytrynowego (5 g/l) oraz zapakowanie prób w atmosferze powietrza nie poprawiły stanu mikrobiologicznego produktu w czasie 12-dniowego przechowywania, ograniczenie liczby mikroorganizmów uzyskano, stosując obróbkę wstępną polegającą na traktowaniu prób wodą chlorowaną przy zapakowaniu w tych samych warunkach.
5. Pakowanie w atmosferze modyfikowanej wpłynęło na poprawę ogólnego stanu mikrobiologicznego produktu, w stosunku do prób pakowanych w atmosferze powietrza. Połączenie pakowania w atmosferze modyfikowanej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) z obróbką wstępną roztworem kwasów lub wodą chlorowaną spowodowało istotną ( $p < 0,05$ ) poprawę stanu mikrobiologicznego jarmużu w czasie 12 dni przechowywania.

6. Pakowanie w atmosferze modyfikowanej jarmużu traktowanego roztworem kwasów spowodowało redukcję poziomu bakterii psychrofilnych, pleśni psychrofilnych, bakterii z rodzaju *Pseudomonas* i bakterii z grupy *coli* typu ogólnego. Kombinacja pakowania w atmosferze modyfikowanej z obróbką wstępną wodą chlorowaną zmniejszyło liczbę drożdży mezofilnych i pleśni psychrofilnych.
7. Najlepszą jakością mikrobiologiczną, w trakcie 12 dni przechowywania w warunkach chłodniczych, charakteryzował się jarmuż poddany obróbce wstępnej polegającej na traktowaniu surowca roztworem mieszaniny kwasów askorbinowego i cytrynowego, zapakowany w atmosferze wysokotlenowej (80% O<sub>2</sub>/10% CO<sub>2</sub>/90% N<sub>2</sub>) przy zastosowaniu opakowania złożonego z tacki polipropylenowej zamkniętej folią o przepuszczalności tlenu 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm.
8. Przechowywanie prób jarmużu w atmosferze modyfikowanej skutkowało istotnym wzrostem zawartości związków fenolowych w porównaniu do prób przechowywanych w atmosferze powietrza. Wzrost zawartości związków fenolowych w czasie przechowywania spowodowany był najprawdopodobniej reakcją tkanki roślinnej na warunki stresu wywołanego zabiegami obróbki wstępnej oraz składem zastosowanej atmosfery.
9. Wzrost zawartości kwasów fenolowych w czasie przechowywania minimalnie przetworzonego jarmużu wynosił 6–116%, natomiast flawonoidów 6–24%. Dominujące związki fenolowe jarmużu zielonego stanowiły kemferol, kwercetyna oraz kwas ferulowy, natomiast w jarmużu czerwonym w znacznej ilości występowały również antocyjany.
10. Zastosowanie atmosfery o wysokiej zawartości tlenu (80% O<sub>2</sub>) do przechowywania jarmużu zielonego o małym stopniu przetworzenia spowodowało istotnie ( $p < 0,05$ ) wyższy wzrost zawartości związków fenolowych po 12 dniach przechowywania w porównaniu do atmosfery niskotlenowej (10% O<sub>2</sub>) oraz prób przechowywanych w powietrzu, niezależnie od zastosowanego materiału opakowaniowego.
11. Wykazano statystycznie istotną ( $p < 0,05$ ), wysoką korelację pomiędzy zawartością związków fenolowych oznaczanych metodą HPLC a aktywnością przeciwutleniającą produktu minimalnie przetworzonego w czasie przechowywania, zarówno dla jarmużu zielonego, jak i czerwonego.
12. Zastosowanie technologii minimalnego przetwarzania jarmużu oraz 12 dniowego przechowywania w warunkach chłodniczych spowodowało straty glukozyolanów wynoszące do 33%, zależnie od zastosowanych warunków pakowania. Glukozyolany indolowe były bardziej stabilne w czasie przechowywania niż glukozyolany alifatyczne.

13. Przechowywanie jarmużu w atmosferze niskotlenowej o składzie 10/10/80 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>), zarówno z zastosowaniem folii opakowaniowej o przepuszczalności tlenu 35 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm, poddanej mikroperforacji, jak i 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm bez mikroperforacji najkorzystniej wpływało na retencję glukozyzolanów. W jarmużu przechowywanym w takich warunkach nie odnotowano strat glukozyzolanów.
14. Straty karotenoidów w czasie przechowywania jarmużu o małym stopniu przetworzenia wynosiły 10–52%. Nie odnotowano istotnej zależności między składem atmosfery modyfikowanej a zachowaniem zawartości karotenoidów, istotny wpływ miał natomiast rodzaj materiału opakowaniowego. Zastosowanie materiału opakowaniowego o niskiej przepuszczalności tlenu, poddanego mikroperforacji o wielkości 333 otwory o średnicy 70 μm/m<sup>2</sup>, powodowało najwyższą retencję karotenoidów w próbach jarmużu, straty w tym przypadku wynosiły 10–13%. Najmniejszą stabilnością wśród karotenoidów w czasie przechowywania produktu o małym stopniu przetworzenia charakteryzował się β-karoten.
15. Przechowywanie jarmużu minimalnie przetworzonego w atmosferze modyfikowanej przez 12 dni spowodowało straty kwasu askorbinowego na poziomie 16–34%.
16. W analizie GC-MS związków zapachowych w opakowaniach z jarmużem wykazano obecność dwóch siarkowych związków lotnych: disiarczku dimetylu i izotiocyjanianu allilu. Obecność izotiocyjanianu allilu odnotowano w próbce zapakowanej w atmosferze o wysokiej zawartości tlenu zamkniętej folią o przepuszczalności tlenu 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm. Zapach tej próby w ocenie sensorycznej oceniono pozytywnie. Disiarczek dimetylu znajdował się w próbach przechowywanych w powietrzu oraz w atmosferze o niskiej zawartości tlenu zapakowanych z zastosowaniem tej samej folii opakowaniowej i związany był z wystąpieniem niekorzystnych zmian zapachu w ocenie sensorycznej.

### **Wniosek końcowy**

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najlepsze warunki pakowania i przechowywania jarmużu o małym stopniu przetworzenia uzyskuje się poprzez zastosowanie atmosfery wysokotlenowej o składzie 80/10/10 (%O<sub>2</sub>/%CO<sub>2</sub>/%N<sub>2</sub>) oraz materiału opakowaniowego o przepuszczalności tlenu 3000 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/24 h·atm. Wymienione warunki pakowania, wraz z obróbką jarmużu roztworem kwasów askorbinowego i cytrynowego, pozwoliły na obniżenie aktywności fizjologicznej, uzyskanie wysokiej jakości sensorycznej oraz ograniczenie skażenia mikrobiologicznej produktu w czasie 12 dni przechowywania. Ponadto umożliwiły utrzymanie w produkcie wysokiej zawartości związków fenolowych.



## 6. LITERATURA

- Abadias, M., Usall, J., Anguera, M., Solsona, C., Vinas, I. (2008). Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments. *Int. J. Food Microbiol.*, 123, 121–128.
- Agar, I. T., Massantini, R., Hess-Pirce, B., Kader, A. A. (1999). Postharvest CO<sub>2</sub> and ethylene production on quality maintenance of fresh-cut kiwifruit slices. *J. Food Sci.*, 64(3), 433–440.
- Alarcón-Flores, M. I., Romero-González, R., Vidal, J. L. M., González, F. J. E., Frenich, A. G. (2014). Monitoring of phytochemicals in fresh and fresh-cut vegetables: A comparison. *Food Chem.*, 142, 392–399.
- Alasalvar, C., Al-Farsi, M., Quantick, P. C., Shahidi, F., Wiktorowicz, R. (2005). Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. *Food Chem.*, 89(1), 69–76.
- Allende, A., Tomas-Barberan, F. A., Gil, M. I. (2006). Minimal processing for healthy traditional food. *Trends Food Sci. Technol.*, 17, 513–519.
- Allende, A., Jacxesens, L., Devlieghere, F., Debevere, J., Artés, F. (2002). Effect of super-atmospheric oxygen packaging on sensorial quality, spoilage, and *Listeria monocytogenes* and *Aeromonas caviae* growth in fresh processed mixed salads. *J. Food Prot.*, 65, 1565–1573.
- Allende, A., Luo, Y., McEvoy, J. L., Artes, F., Wang, C. Y. (2004). Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves stored under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions. *Postharvest Biol. Tech.*, 33, 51–59.
- Alzamora, S., E., Tapia, M., S., López-Malo, A. (2000). Minimally processed fruits and vegetables: fundamental aspect and applications. Aspen Pub. Co. INC. Maryland, 277–286.
- Alzamora, S.M., Tapia, M.S., Lopez-Malo, A. (2002). Minimally processed fruit and vegetables. Fundamental aspects and applications. Gaithersburg, Maryland: An Aspen Publication.

- Amanatidou, A., Slump, R. A., Gorris, L. G. M., Smid, J. (2000). High oxygen and high carbon dioxide modified atmospheres for shelf-life extension of minimally processed carrots. *J. Food Sci.*, 65(1), 61–66.
- Amanatidou, A., Smid, E. J., Gorris, L. G. M. (1999). Effect of elevated oxygen and carbon dioxide on the surface growth of vegetable-associated microorganisms. *J. Appl. Microbiol.*, 86, 429–438.
- Angós, I., Vírveda, P., Fernández, T. (2008). Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.*, 48, 422–430.
- Artés, F., Allende, A. (2005). Processing lines and alternative preservation techniques to prolong shelf-life of minimally processed leafy vegetables. *Eur. J. Hort. Sci.*, 70, 231–245.
- Artés, F., Gómez, P., Aguayo, E., Escalona, V., Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biol. Technol.* 51, 287–296.
- Ayaz, A. F., Glew, R. H., Millson, M., Huang, H. S., Chuang, L. T., Sanz, C., Hayirhoglu-Ayaz S. (2006). Nutrient contents of kale (*Brassica oleraceae* L. var. *acephala* DC.). *Food Chem.*, 96, 572–579.
- Babic, I., Amiot, M. J., Nguyen-the, C., Aubert, S. (1993). Changes in phenolics content in fresh ready-to-use shredded carrots during storage. *J. Food Sci.*, 58, 351–356.
- Bandurska, H. (2007). Procesy oddechow roślin. W: M. Kozłowska (red.), *Fizjologia roślin: od teorii do nauk stosowanych* (s. 334–351). Poznań: Państw. Wyd. Roln. Leśn.
- Barry-Ryan, C., O’Beirne, D. (2000). Effects of peeling methods on the quality of ready-to-use carrot slices. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 35(2), 243–254.
- Baryłko-Pikielna, N., Matuszewska, I. (2009). *Sensoryczne badania żywności: podstawy, metody, zastosowania*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe PTTŻ.
- Bennett, R.N., Wallsgrove, R. M. (1994). Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytol.*, 127(4), 617–633.
- Benzie, I. F., Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of „antioxidant power”: the FRAP assay. *Anal. Biochem.*, 15, 239(1), 70–76.
- Biegańska-Marecik, R., Radziejewska-Kubzdela, E., Marecik, R. (2017). Characterization of phenolics, glucosinolates and antioxidant activity of beverages based on apple juice with addition of frozen and freeze-dried curly kale leaves (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* L.). *Food Chem.*, 230, 271–280.
- Blazevic, I., Mastelic, J. (2009). Glucosinolate degradation products and other bound and free volatiles in the leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). *Food Chem.*, 113, 96–102.
- Borek, C., (2005). Antioxidants and the prevention of hormonally regulated cancer. *Practicing medicine. J. Mens Health and Gend (Practicing medicine)*, 2(3), 37–42.

- Brecht, J. K., Chau, K. V., Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., Silva, F. M., Nunes, M. C. N., Bender, R. J. (2003). Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. *Postharvest Biol. Technol.*, 27, 87–101.
- Burton, W. G. (1974). Some biophysical principles underlying the controlled atmosphere storage of plant material. *Ann. Appl. Biol.*, 78, 149–168.
- Carrasco, E., Pérez-Rodríguez, F., Valero, A., García-Gimeno, R. M., Zurera, G. (2008). Growth of *Listeria monocytogenes* on shredded ready-to-eat iceberg lettuce. *Food Control*, 19, 487–494.
- Chung, M. J., Lee, S. H., Sung, N. J. (2002). Inhibitory effect of whole strawberries, garlic juice or kale juice on endogenous formation of N-nitrosodimethylamine in humans. *Cancer Lett.*, 182.
- Cieslik, E., Leszczynska, T., Filipiak-Florkiewicz, A., Sikora, E., Pisulewski, P. M. (2007). Effects of some technological processes on glucosinolate contents in cruciferous vegetables. *Food Chem.*, 105, 976–981.
- Ciska, E., Martyniak-Przybyszewska, B., Kozłowska, H. (2000). Content of glucosinolates in cruciferous vegetables grown at the same site for two years under different climatic conditions. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 2862–2867.
- Cisneros-Zevallos, L. (2003). The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. *J. Food Sci.*, 68, 1560–1565.
- Cliffe-Byrnes, V., O’Beirne, D. (2005). Effects of chlorine treatment and packaging on the quality and shelf-life of modified atmosphere (MA) packaged coleslaw mix. *Food Control*, 16 (8 SPEC. ISS.), 707–716.
- Conesa, A., Artel-Hernandez, F., Geysen, S., Nicolai, B., Artes, F. (2007a). High oxygen combined with high carbon dioxide improves microbial and sensory quality of fresh-cut peppers. *Postharvest Biol. Technol.*, 43, 230–237.
- Conesa, A., Verlinden, B., Artes-Hernandez, F., Nicolai, B., Artes, F. (2007b). Respiration rates of fresh-cut bell peppers under supertatmospheric and low oxygen with or without high carbon dioxide. *Postharvest Biol. Technol.*, 45, 81–88.
- Czapski, J. (1996). Warzywa i owoce mało przetworzone (1). *Przem. Ferm. Ow. Warz.*, 8, 30–31.
- Czapski, J., Radziejewska, E. (2001). Metody przedłużania trwałości warzyw i owoców mało przetworzonych. *Przem. Spoż.*, 16–19.
- Czerniawski B., Michniewicz, J. (1998). *Opakowania żywności*. Czeladź: Agro Food Technology.
- Davey, M. W., Inzen, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnoff, N. (2000). Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agric.*, 80, 825–860.

- Day, B. P. F. (1996). High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. *Postharvest News Inf.*, 7, 31–34.
- Day, B. P. F. (2000). Novel MAP for freshly prepared fruit and vegetable products. *Postharvest News Inf.*, 11, 27–31.
- Day, B. P. F. (2001). Modified atmosphere packaging of fresh fruit and vegetables – an overview. *Acta Hort.*, 553, 585–590.
- De Sá, M. C., Rodriguez-Amaya, D. B. (2004). Optimization of HPLC quantification of carotenoids in cooked green vegetables – comparison of analytical and calculated data. *J. Food Compos. Anal.*, 17, 37–51.
- De Sá, M. C., Rodriguez-Amaya, D. B. (2003). Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. *Food Chem.*, 83(4), 595–600.
- Domański, R. (2002). *Fizjologia roślin z elementami biochemii*. Poznań: Wydawnictwo AR.
- Dunford, N. T., Temelli, F. (1996). Effect of supercritical CO<sub>2</sub> on myrosinase activity and glucosinolate degradation in Canola. *J. Agric. Food Chem.*, 44(8), 2372–2376.
- Escalona, V. H., Hinojosa, A., Char, C., Villena, P., Bustamante, A., Saenz, C. (2015). Use of alternative sanitizers on minimally processed watercress harvested in two different seasons. *J. Food Process. Pres.*, 39(6), 1287–1298.
- Fernandes, F., Pereira, M. D., Guedes de Pinho, P., Valentão, P., Pereira, J.A., Bento, A., Andrade, P. B. (2010). Headspace solid-phase microextraction and gas chromatography/ion trap-mass spectrometry applied to a living system: *Pieris brassicae* fed with kale. *Food Chem.* 119(4), 1681–1693.
- Fernández-León, M. F., Fernández-León, A. M., Lozano, M., Ayuso, M. C., González-Gómez, D. (2013). Altered commercial controlled atmosphere storage conditions for ‘Parthenon’ broccoli plants (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Influence on the outer quality parameters and on the health-promoting compounds. *LWT – Food Sci. Technol.*, 50, 665–672.
- Fiol, M., Weckmüller, A., Neugart, S., Schreiner, M., Rohn, S., Krumbein, A., Kroh, L. W. (2013). Thermal-induced changes of kale’s antioxidant activity analyzed by HPLC-UV/Vis-online-TEAC detection. *Food Chem.*, 138(2–3), 857–865.
- Fonseca, S.C., Oliveira, F. A. R., Brecht, J. K., Chau, K. V. (2005). Influence of low oxygen and high carbon dioxide on shredded Galega kale quality for development of modified atmosphere packages. *Postharvest Biol Technol.*, 35, 279–292.
- Fonseca, S.C., Oliveira, F.A. R., Brecht, J. K., (2002). Modeling respiration rate of fresh fruit and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *J. Food Eng.*, 52, 99–119.
- Gawlik-Dziki, U. (2004). Fenolokwasy jako bioaktywne składniki żywności. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość*, 4 (41), 29–40.
- Giménez, M., Olarte, C., Sanz, S., Lomas, C., Echávarri, J. F., Ayala, F. (2003). Influence of Packaging Films on the Sensory and Microbiological Evolution of Minimally Processed Borage (*Borrigo officinalis*). *Food Science*. Vol. 68(3), 1051–1058.

- Gómez, P. A., Artés, F. (2004). Controlled atmospheres enhance postharvest green celery quality. *Postharvest Biol. Technol.*, 34(2), 203–209.
- González-Buesa, J., Ferrer-Mairal, A., Oria, R., Salvador, L. (2009). A mathematical model for packaging with microperforated films of fresh-cut fruits and vegetables. *J. Food Eng.*, 95, 158–165.
- Górecka, D. (2007). Nowe kierunki produkcji żywności funkcjonalnej i instrumenty jej promocji, *Przemysł Spożywczy*, 6(61), 20.
- Gorny, J. R., Hess-Pierce, B., Cifuentes, R. A., Kader, A. A., (2002). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biol. Technol.*, 24, 271–278.
- Grzesiuk, S., Górecki, R. (1994). *Fizjologia plonów – wprowadzenie do przechowywalnictwa*. Olsztyn: Wyd. Akademii Rolniczo-Technicznej.
- Gumul D., Korus J., Achremowicz B., (2005). Wpływ procesów przetwórczych na aktywność przeciwutleniającą surowców pochodzenia roślinnego, *Żywn. Nauka Technol.*. Jakość, 4(45), 41–48.
- Hagen, S. F., Borge, G. I. A., Solhaug, K. A., Bengtsson, G. B. (2009). Effect of cold storage and harvest date on bioactive compounds in curly kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Postharvest Biol. Technol.*, 51, 36–42.
- Han, C., Ji, Y., Li, M., Li, X., Jin, P., Zheng, Y. (2016). Influence of wounding intensity and storage temperature on quality and antioxidant activity of fresh-cut Welsh onions. *Sci. Hortic.*, 212, 203–209.
- Hansen, M., Møller, P., Sørensen, H., Cantwell, M. (1995). Glucosinolates in broccoli stored under controlled atmosphere. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 120, 1069–1074.
- Hertog, M. L. A. T. M., Peppelenbos, H. W., Evelo, R. G., Tjiskens, L. M. M., (1998). A dynamic and generic model of gas exchange of respiring produce: the effect of oxygen, carbon dioxide and temperature. *Postharvest Biol. Technol.*, 14, 335–349.
- Holden, J. M., Eldridge, A., Beecher, G. R., Buzzard, I. M., Bhagwat, S., Davis, C. S. (1999). Carotenoid content of US foods: An update of the database. *J. Food Compos. Anal.*, 12, 169–196.
- Howard, R., Griffin, L. (1993). Lignin Formation and Surface Discoloration of Minimally Processed Carrot Sticks. *J. Food Sci.*, 58(5), 1065–1067.
- Huang, Z., Wang, B., Eaves, D., Shikany, J., Pace, R. (2009). Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by African Americans in the southeast United States, *Food Chem.*, 103, 1395–1402.
- Huber, L. S., Hoffman-Ribani, R., Rodriguez-Amaya, D. B. (2009). Quantitative variation in Brazilian vegetable sources of flavonols and flavones. *Food Chem.*, 113, 1278–1282.
- Ismail, A., Marjan, Z., Foong, C. (2004). Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem.*, 87, 581–586.

- Izumi, H., Watada, A. E., Nathane, P. K., Douglas, W. (1996). Controlled atmosphere of carrot slices, sticks and shred. *Postharvest Biol. Technol.*, 9, 165–172.
- Jacobsson, A., Nielsen, T., Sjöholm, I., Wendin, K. (2004). Influence of packaging material and storage condition on the sensory quality of broccoli. *Food Qual. Prefer.*, 15(4), 301–310.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Debevere, J. (1999). Validation of a systematic approach to design equilibrium modified atmosphere packages for fresh-cut produce. *Academic Press*, 7(32), 425–432.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Van der Steen, C., Debevere, J. (2001). Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on microbial growth and sensorial qualities of fresh – cut produce. *Int. J. Food Microbiol.*, 71, 197–210.
- Jacxsens, L., Devlieghere, F., Debevere, J., (2002). Temperature dependence of shelf-life as affected by microbial proliferation and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh products. *Postharvest Biol. Technol.*, 26, 59–73.
- Jia, C., Xu, C., Wie, J., Yuan, J., Yuan, G., Wang, B., Wang, Q., (2009). Effect of modified atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets. *Food Chem.*, 114, 28–37.
- Kader, A. A., Ben-Yehoshua, S. (2000). Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.*, 20, 1–3.
- Kaur, C., Kapoor, H. (2001). Antioxidants in fruit and vegetables – the millennium's health. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 36, 73–725.
- Kaur, C., Kapoor, H. (2002). Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian Vegetables. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 37, 153–161.
- Kawashima, L. M., Valente Soares, L. M. (2003). Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil. *J. Food Compos. Anal.*, 16, 605–611.
- Kenny, O., O'Beirne, D. (2010). Antioxidant phytochemicals in fresh-cut carrot disks as affected by peeling method. *Postharvest Biol. Technol.*, 58, 247–253.
- King, K. (2006). Packaging and storage of herbs and spices. *Handbook Of Herbs And Spices*, 3, 86–102.
- Klaiber, R. G., Baur, S., Koblo, A., Carle, R. (2005). Influence of washing treatment and storage atmosphere on phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic acid content of minimally processed carrots sticks. *J. Agr. Food Chem.*, 53, 1065–1072.
- Kobori, C. N., Huber, L. S., Sarantópoulos, C. I., Rodriguez-Amaya, D. B. (2011). Behavior of flavonols and carotenoids of minimally processed kale leaves during storage in passive modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.*, 76(2), 31–37.
- Kopsell, D. E., Kopsell, D. E. (2003). Kale Carotenoids Remain Stable while Flavor Compounds Respond to Changes in Sulfur Fertility. *Agric. Food Chem.*, 51, 5319–5325.

- Korus, A., Lisiewska, Z. (2011). Effect of preliminary processing, method of drying and storage temperature on the level of antioxidants in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. *Food Chem.*, 129, 149–154.
- Korus, A. (2011a). Level of Vitamin C, Polyphenols, and Antioxidant and Enzymatic Activity in Three Varieties of Kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) at Different Stages of Maturity, *Int. J. Food Prop.*, 14, 1069–1080.
- Korus, A. (2011b). Effect of preliminary processing, method of drying and storage temperature on the level of antioxidants in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. *LWT-Food Sci. Technol.*, 44 (8), 1711–1716.
- Korus, A., Słupski, J., Gębczynski, P., Banas, A. (2014). Effect of pre-liminary processing and method of preservation on the content of glucosinolates in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) leaves. *LWT-Food Sci. Technol.*, 59, 1003–1008.
- Kurilich, A., Tsau, G., Brown, A., Howard, L., Klein, B., Jeffery, E., Kushad, M., Wallig, M., Juvik, J. (1999). Carotene, tocopherol, and ascorbate contents in subspecies of *Brassica oleracea*. *J. Agric. Food Chem.*, 47(4), 1576–1581.
- Kushad, M. M., Cloyd, R., Babadoost, M. (2004). Distribution of glucosinolates in ornamental cabbage and kale cultivars. *Sci. Horticult.*, 101.
- Kushad, M. M., Brown, A. F., Kurilich, A. C., Juvik, Klein, B. P., Walling, M. A., Jeffery E. H. (1999). Variation of glucosinolates in vegetable crops of *Brassica oleracea*, *J. Agric. Food Chem.*, 47, 1541–1548.
- Lamikanra, O. (2002). *Fresh-cut Fruits and Vegetables: Science Technology and Market*. Boca Raton: CRC Press.
- Lee, S. K., Park, I. S., Lee, D. S. (1996). Modified atmosphere packaging of mixed prepared vegetable salad dish. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 31, 7–13.
- Lee-Kim, Y. C., Kim, S., Yoon, S., Kwon, S., Park, G. S., Choi, I. (2003). Kale juice improved coronary artery disease risk factors in mildly hyperlipidemic male subjects. XIIIth International Symposium on Atherosclerosis, September–October 2003.
- Lefsrud, M., Kopsell, D., Wenzel, A., Sheehan, J. (2007). Changes in kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) carotenoid and chlorophyll pigment concentrations during leaf ontogeny. *Sci. Hortic.*, 112, 136–141.
- Leguani, P., Leoni, E. (2004). Effect of processing and storage conditions on the microbiological quality of minimally processed vegetables. *Int. J. Food Sci Technol.*, 39, 1061–1068.
- Leistner, L., Gorris, L. G. M. (1995). Food preservation by hurdle technology. *Trends Food Sci. Technol.*, 6(2), 41–46.
- Li, P., Barth, M. M. (1998). Impact of edible coatings on nutritional and physiological changes in lightly processed carrots. *Postharvest Biol. Technol.*, 14, 51–60.
- Limbo, S., Peirgiovanni, L. (2006). Shelf life of minimally processed potatoes part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharvest Biol. Technol.*, 39, 254–264.

- Lin, L. Z., Harnly, J. M. (2009). Identification of the phenolic components of collard greens, kale, and Chinese broccoli. *J. Agric. Food Chem.*, 57(16), 7401–7408.
- Lonchamp, J., Barry-Ryan, C., Devereux, M. (2009). Identification of volatile quality markers of ready-to-use lettuce and cabbage. *Food Res. Int.*, 42, 1077–1086.
- López-Gálvez, F., Allende, A., Truchado, P., Martínez-Sánchez, A., Tudela, J. A., Selma, M. V., Gil, M. I. (2010). Suitability of aqueous chlorine dioxide versus sodium hypochlorite as an effective sanitizer for preserving quality of fresh-cut lettuce while avoiding by-product formation. *Postharvest Biol. Technol.*, 55(1), 53–60.
- Lucarini, M., Canali, R., Cappelloni, M., Di Lullo, G., Lombardi-Boccia, G. (1999). In vitro calcium availability from consumed in composite dishes. *Food Chem.*, 64, 519–523.
- Manolopoulou, E., Varzakas, T. H. (2013). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the quality of „ready-to-eat” shredded cabbage. *Int. J. Agric. Food Res.*, 2, 30–43.
- Martin-Diana, A. B., Rico, D., Barry-Ryan, C., Frias, J. M., Henehan, G. T. M., Barat, J. M. (2007). Efficacy of steamer jet-injection as alternative to chlorine in fresh-cut lettuce. *Postharvest Biol. Technol.*, 45, 97–107.
- Martínez-Sánchez, A., Marín, A., Llorach, R., Ferreres, F., Gil, M. I. (2006). Controlled atmosphere preserve quality and antioxidant constituents in wild rocket (*Diplo-taxis tenuifolia* L.). *Postharvest Biol. Technol.*, 40, 26–33.
- Montanez, J. C., Rodriguez, F. A. S., Mahajan, P. V., Frias, J. M. (2010). Modeling the effect of gas composition on the gas exchange rate in perforation-mediated modified atmosphere packaging. *J Food Eng.*, 96, 348–355.
- Müller H. (1997). Determination of the carotenoid content in selected vegetables and fruit by HPLC and photodiode array detection. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 204, 88–94.
- Nguyen-the, C., Carlin, F. (1994). The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 34(4), 371–401.
- Nieuwenhuijsen, M. J., Toledano, M. B., Eaton, N. E., Fawell, J., Elliott, P. (2000). Chlorination disinfection by products in water and their association with adverse reproductive outcomes: A review. *Occup. Environ. Med.*, 57(2), 73–85.
- Olsen, H., Aaby, K., Borge, G. (2009). Characterization and quantification of flavonoids and hydroxycinnamic acids in curly kale (*Brassica oleracea* L. Convar. *acephala* var. *sabellica*) by HPLC-DAD-ESI-MS<sup>n</sup>. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 2816–2825.
- Olsen, H., Aaby, K., Borge, G. (2010). Characterization, Quantification, and Yearly Variation of the Naturally Occurring Polyphenols in a Common Red Variety of Curly Kale (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* var. *sabellica* cv. ‘Redbor’). *J. Agric. Food Chem.*, 58, 11346–11354.



- Olsen, H., Grimmer, S., Aaby, K., Saha, S., Borge, G. (2012). Antiproliferative Effects of Fresh and Thermal Processed Green and Red Cultivars of Curly Kale *Brassica oleracea* L. convar. *acephala* var. *sabellica*, J. Agric. Food Chem., 60, 7375–7383.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2008). Physiological and microbiological changes in fresh-cut pears stored in high oxygen packages compared with low oxygen active and passive modified atmosphere packaging. Postharvest Biol. Technol., 48, 295–301.
- Ozdemir, I., Monnet, F., Gouble, B. (2005). Simple determination the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> permeance of microperforated pouches for modified atmosphere packaging of respiring foods. Postharvest Biol. Technol., 36, 209–213.
- Paulsena, E., Barriosa, S., Baenasc, N., Morenoc, D.A., Heinzenb, H., Lemaa, P., (2018). Effect of temperature on glucosinolate content and shelf life of ready-to-eat broccoli florets packaged in passive modified atmosphere. Postharvest Biol Technol., 138, 125–133.
- Peri, C., Pompei, G. (1972). An assay of different phenolic fractions in wines. Am. J. Enol. Viticult., 22, 55–57.
- Pesis, E., Aharoni, D., Aharon, Z., Ben-Arie, R., Aharoni, N., Fuchs, Y. (2000). Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. Postharvest Biol. Technol. 19, 93–101.
- Pfendt, L. B, Vukašinović, V. L, Blagojević, N. Z, Radojević, P. M. (2003). Second order derivative spectrophotometric method for determination of vitamin C content in fruits, vegetables and fruitjuices. Eur. Food Res. Technol., 217, 269–272.
- PN-90/A75101/02. (1990). Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczenie zawartości ekstraktu ogólnego. Eqv ISO 2172 – 1987 (E) i 2173 – 1978 (E), pkt. 2,3. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-90/A-75101/06 eqv ISO C3B 4230 – 83. (2000). Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych. Oznaczenie kwasowości czynnej (pH). Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN ISO 9167-1:1991. (1999). Nasiona rzepaku – Oznaczanie zawartości glukozynolanów – Metoda z zastosowaniem wysokociśnieniowej chromatografii cieczowej. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- Podśędek A. (2007). Karotenoidy. W: W. Grajek (red.), Przeciwnutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne (s. 171–177). Warszawa: Wyd. Naukowo-Techniczne.
- van Poppel G., Verhoeven, D. T., Verhagen, H., Goldbohm, R. A. (1999). Brassica vegetables and cancer prevention. Epidemiology and mechanisms. Adv. Exp. Med. Biol., 472, 159–168.

- Pretel, M. T., Souty, M., Romojaro, F. (2000). Use of passive and active modified atmosphere packaging to prolong the postharvest life of three varieties of apricot (*Prunus armenica* L). *Eur. Food Res. Technol.*, 2121, 191–198.
- Purvis, A. C. (1997). The role of adaptive enzymes in carbohydrate oxidation by stressed and senescing plant tissues. *Hort. Sci.*, 32, 1165–1168.
- Puupponen-Pimia, R., Hakkinen, S. T., Aarni, M., Suortti, T., Lampi, A-M., Eurola, M., Piironen, V., Nuutila, A. M., Oksman-Caldentey, K-M. (2003). Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *J. Sci. Food and Agric.*, 83, 1389–1402.
- Radziejewska, E., Czapski, J. (2001). Metody przedłużania trwałości warzyw i owoców mało przetworzonych. *Przem. Spoż.*, 1, 16–19.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R. (2009). Pakowanie mało przetworzonych owoców i warzyw w atmosferze modyfikowanej, *Przem. Spoż.*, 6, 30–33.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Czapski, J., Czaczyk, K. (2007a). The effect packaging conditions on the quality of minimally processed celeriac flakes. *Food Control.*, 1, 1191–1197.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Czaczyk, K. (2015). Effect of Pretreatment and Modified Atmosphere Packaging on Quality of dry Coleslaw mix. *Packag. Technol. Sci.*, 28(12),1011–1026.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Czaczyk, K. (2017). The effect of organic acid pretreatment and modified atmosphere on shelf life of dry coleslaw mix. *J. Food Proces. Pres.*, 41(4), 1–11.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Czapski, J., Czaczyk, K. (2007b). The effect of pretreatment of shredded celeriac using solutions of enzymatic browning inhibitors on the quality of minimally processed product. *J. Food Qual.*, 30(5), 594–608.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Olejnik, A. (2016). Effects of pretreatment and modified atmosphere packaging on glucosinolate levels in coleslaw mix. *LWT-Food Sci. Technol.*, 70,192–198.
- Ragaert, P., Devlieghere, F., Debevere, J. (2007). Role of microbiological and physiological spoilage mechanisms during storage of minimally processed vegetables. *Postharvest Biol. Technol.*, 44,185–194.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26 (9–10), 1231–1237.
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2001). A guide to carotenoid analysis in foods, Washington DC: ILSI Human Nutrition Institute. One Thomas Circle, NW, 64.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, 20, 438–447.

- Rolle, R., Chism, G. W. (1987). Psychological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Qual.*, 10, 157–177.
- Rosa, C, Sapata, M, Guerra, M. M. (2007). Chemical and sensory characteristics and microbiological safety of fresh Finley chopped parsley packed in modified atmosphere. *Food Control.*, 18, 1008–1012.
- Rosa, E. A. S., Heaney, R. K., Portas, C. A. M., Fenwick, G. R. (1996). Changes in Glucosinolate Concentrations in Brassica Crops (*Boleracea* and *Bnapus*) Throughout Growing Seasons. *J. Sci. Food Agric.*, 71(2), 237–244.
- Sanchez-Moreno, C., J. A., Larrauri, Saura-Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J. Sci. Food Agric.*, 76, 270–276.
- Sandhya, S. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. *LWT-Food Sci. Technol.*, 43(3), 381–392.
- Schmidt, S., Zietz, M., Schreiner, M., Rohn, S., Kroh, L. W., Krumbein, A. (2010). Identification of complex, naturally occurring flavonoid glycosides in kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) by high-performance liquid chromatography diode-array detection/electrospray ionization multi-stage mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 24(14), 2009–2022.
- Schreiner, M. C., Peters, P. J., Krumbein, A. B. (2006). Glucosinolates in mixed packaged mini broccoli and mini cauliflower under modified atmosphere. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 2218–2222.
- Schuenzel, K. M., Harrison, M. A. (2002). Microbial antagonists of foodborne pathogens on fresh, minimally processed vegetables. *J. Food Prot.*, 65(12), 1909–1915.
- Seung, K. L., Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.*, 20, 207–220.
- Sikora, E., Bodziarczyk, I. (2012). Composition and Antioxidant Activity of Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) Raw and Cooked, *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 11(3), 239–248.
- Sikora, E., Cieřlik, E., Leszczyńska, T., Filipiak-Florkiewicz, A., Pisulewski, P. M. (2008). The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. *Food Chem.*, 107, 55–59.
- Simões, A. D., Allende, A., Tudela, J. A., Puschmann, R., Gil, M. I. (2011). Optimum controlled atmospheres minimise respiration rate and quality losses while increase phenolic compounds of baby carrots. *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 44(1), 277–283.
- Siwulski, M. (1993). *Warzywa kapustne*. W: E. M. Gapiński (red.), *Warzywa mało znane* (s. 91–94). Poznań: PWRiL.
- Soliva-Fortuny, R. C., Grigelmo-Miguel, N., Odriozola-Serrano, I., Gorinstein, S., Martín-Belloso, O. (2001). Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected by modified atmosphere packaging. *J. Agric. Food Chem.*, 49(8), 3685–3690.

- Sørensen, H. (1990). Glucosinolates: structure-properties-function. W: F. Shahidi (red.), Canola and rapeseed. Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology (s. 149–172). Boston: Springer.
- Stoewsand G. S., (1995). Bioactive organosulfur Phytochemicals in *Brassica oleracea* Vegetables – a review. Food. Chem. Toxic., 33, 537–543
- Szwejsda, J., Czapski, J. (2007). Warzywa minimalnie przetworzone a skażenie mikrobiologiczne. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny, 5, 21–23.
- Taveira, M., Fernandes, F., Guedes de Pinho, P., Andrade, P., Pereira, J., Valentao, P. (2009). Evolution of *Brassica rapa* var. *rapa* L. volatile composition by HS-SPME and GS/IT-MS. Microchem. J., 93, 140–146.
- Tsao, R., Yang, R. (2003). Optimization of a new mobile phase to know the complex and real polyphenolic composition: towards a total phenolic index using high-performance liquid chromatography, J. Chromatogr. A, 1018, 29–40.
- Tucker, M. L., Laties, G. G. (1995). The dual role of oxygen in avocado fruit respiration: kinetic analysis and computer modeling of diffusion – affected respiratory oxygen isotherms. Plant Cell Environ., 8, 117–127.
- Tung, K.H., Wilkens, L.R., Wu, A.H., McDuffie, K. (2005). Association of dietary vitamin A, carotenoids, and other antioxidants with the risk of ovarian cancer. Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev., 14(3), 669–673
- U.S. Department of Agriculture. (2002). National nutrient database for standard reference, release 15. NDB No: 11457. Washington, D.C: Dept. Agric.
- Vallejo, F., Tomas-Barberan, F. A., Garcia-Viguera, C. (2002). Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain. J. Sci. Food Agric., 82, 1293–1297.
- Van der Steen, C., Jacxsens, L., Devlieghere, F., Debevere, J. (2002). Combining high oxygen atmosphere with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries. Postharvest Biol. Technol., 2, 49–58.
- Voorrips, L. E., Goldbohm, R. A., van Poppel, G., Sturmans, F., Hermus, R. J. J., van den Brandt, P. A. (2000). Vegetable and fruit consumption and risks of colon and rectal cancer in a prospective cohort study the netherlands cohort study on diet and cancer. Am. J. Epidemiol., 152(11), 1081–1092.
- Watada, A. E., Nathanee, P. K., Donna, A. M. (1996). Factor affecting quality of fresh-cut horticultural products. Postharvest Biol. Technol., 9, 115–126.
- Westerman, S., De Kok, L. J., Stulen, I. (2000). Interaction between metabolism of atmospheric H<sub>2</sub>S in the shoot and sulfate uptake by the roots of curly kale (*Brassica oleracea* L.). Physiol. Plant., 109, 443–449.
- Wilska-Jeszka J. (2007a). Barwniki. W: Z. Sikorski (red.), Chemia żywności, t. 1 (s. 142–171). Warszawa: Wyd. Naukowo-Techniczne.

- Wilska-Jeszka J. (2007b). Polifenole, glukozytolany i inne związki prozdrowotne i antyżywniowe. W: Z. Sikorski (red.), *Chemia żywności*, t. 1 (s. 203–2016), Warszawa: Wyd. Naukowo-Techniczne.
- Wszelaki, A. L., Mitcham, E. J. (2000). Effect of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. *Postharvest Biol. Technol.*, 20, 125–133.
- Xiao, Z., Luo, Y., Lester, G. E., Kou, L., Yang, T., Wang, Q. (2014). Postharvest quality and shelf life of radish microgreens as impacted by storage temperature, packaging film, and chlorine wash treatment. *LWT-Food Sci. Technol.*, 55(2), 551–558.
- Xu, C., Guo, D., Yuan, J., Yuan, G., Wang, Q. (2006). Changes in glucoraphanin content and quinone reductase activity in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) florets during cooling and controlled atmosphere storage. *Postharvest Biol. Technol.*, 42, 176–184.
- Yeoh, W. K., Ali, A. (2017). Ultrasound treatment on phenolic metabolism and antioxidant capacity of fresh-cut pineapple during cold storage. *Food Chem.*, 216, 247–253.
- Zheng, Y., Wang, S. Y., Wang, C. Y., Zheng, W. (2007). Changes in strawberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity in response to high oxygen treatments. *LWT-Food Sci. Technol.*, 40(1), 49–57.
- Zheng, Y., Yang, Z., Chen, X. (2008). Effect of high oxygen atmospheres on fruit decay and quality in Chinese bayberries, strawberries and blueberries. *Food Control.*, 19(5), 470–474.