

Agnieszka Orkusz

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: agnieszka.orkusz@ue.wroc.pl

PAKOWANIE MIĘSA DROBIOWEGO W MODYFIKOWANEJ ATMOSFERZE

MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING OF POULTRY MEAT

DOI: 10.15611/nit.2015.2.04

Streszczenie: Celem pracy było dokonanie przeglądu współczesnego stanu wiedzy o oddziaływaniu modyfikowanej atmosfery na właściwości mięsa drobiowego przechowywanego w warunkach chłodniczych. Omówiono sposoby modyfikowania atmosfery podczas pakowania mięsa (pakowanie próżniowe oraz pakowanie w atmosferze gazów), rodzaje gazów najczęściej stosowanych do modyfikowania atmosfery oraz materiały opakowaniowe. Szczególną uwagę zwrócono na omówienie wpływu pakowania i przechowywania w modyfikowanej atmosferze na zagadnienia mikrobiologiczne, zmiany barwy i utlenianie lipidów mięsa drobiowego.

Słowa kluczowe: drób, mięso, przechowywanie, modyfikowana atmosfera, materiał opakowaniowy

Summary: The aim of this work was to present the current knowledge about the influence of modified atmosphere on the properties of refrigerated poultry meat. The methods of atmosphere modification in packaged meat (vacuum packaging, gas atmosphere packaging), types of gases most commonly used to modify atmosphere and packaging materials were discussed. Special attention was given to describe the influence of modified atmosphere packaging and storage on microbiology issues, colour changes and lipid oxidation of poultry meat.

Keywords: poultry, meat, storage, modified atmosphere, packaging material.

1. Wstęp

Szybkie pogarszanie się jakości surowego mięsa przechowywanego w stanie schłodzonym uzasadnia potrzebę ciągłego doskonalenia metod jego chłodniczego przechowywania. Pakowanie mięsa w modyfikowanej atmosferze znajduje współcześnie, w porównaniu z innymi metodami przechowywania mięsa drobiowego (np. w lodzie suchym lub łuskowym), niemal powszechne zastosowanie, ponieważ zapewnia lepszą jakość mięsa i umożliwia wydłużenie okresu trwałości [Markowska i in. 1997; Czerniawski 1998; Kijowski i in. 2001; Krala 2003].

Najprostszą metodą modyfikowania atmosfery jest pakowanie próżniowe, polegające na usunięciu powietrza z opakowania wytworzonego z materiału o możliwie najmniejszej przenikalności dla tlenu atmosferycznego i przechowywaniu mięsa w warunkach chłodniczych [Pikul 2003; 2001a]. Użyty materiał opakowaniowy musi ściśle przylegać do próżniowo pakowanego produktu. Nieprzestrzeganie tej zasady powoduje niekorzystne zmiany barwy mięsa [Krala i in. 1995; Krala 1999] i wzrost bakterii gnilnych. Pakowanie surowego mięsa drobiu w modyfikowanej atmosferze (MA) jest ograniczone ze względu na znaczny wyciek soku mięsnego wewnątrz opakowania, co pod względem marketingowym znacząco pogarsza wygląd zapakowanego mięsa. Ponadto wraz z wyciekami soków zubożona zostaje jego wartość odżywcza, m.in. w białko, zwiększa się zanieczyszczenie mikrobiologiczne oraz pogorszeniu ulegają właściwości technologiczne i kulinarne [Krala 1996; 1999; Pikul 2001c; Ostoja 2003]. Z tego też względu pakowanie próżniowe jest powszechnie stosowane do przedłużania trwałości nie tylko mięsa, lecz także przetworów z mięsa drobiowego [Cegielska-Radziejewska, Pikul 2000; Pexara i in. 2002; Northcutt i in. 2005].

Biorąc pod uwagę niedoskonałości próżniowego pakowania oraz w celu wydłużenia okresu przydatności do spożycia przechowywanego mięsa z zachowaniem pożądaných wyróżników, przede wszystkim świeżości, współcześnie niemal powszechnie stosuje się, w zależności od metody tworzenia atmosfery, pakowanie zwane pakowaniem w modyfikowanej (MA) i/lub kontrolowanej (KA) atmosferze.

Metody kształtowania atmosfery różnią się tym, że skład MA ustala się tylko raz w chwili rozpoczęcia przechowywania, natomiast skład KA jest stale kontrolowany i korygowany w trakcie przechowywania [Krala i in. 1995; Philips 1996; Kondratowicz i in. 2007].

Pakowanie w modyfikowanej i/lub kontrolowanej atmosferze polega na zastąpieniu w opakowaniu powietrza mieszaniną gazów, głównie: O_2 , CO_2 i N_2 [John i in. 2005; Patsias i in. 2006; Veberg i in. 2006; Acton i in. 2007].

2. Właściwości modyfikowanej atmosfery

Gazy stosowane we współczesnym opakownictwie żywności mają różne właściwości i pełnią zróżnicowane funkcje w zabezpieczeniu właściwości pakowanych produktów [Krala 1999]:

Tlen:

- umożliwia tworzenie i zachowanie atrakcyjnej barwy mięsa;
- sprzyja wzrostowi bakterii tlenowych (gnilnych);
- zapobiega wzrostowi mikroorganizmów beztlenowych;
- sprzyja zmianom oksydacyjnym (barwników hemowych i lipidów).

Ditlenek węgla:

- działa bakteriostatycznie i fungistycznie, tym silniej, im większe jest jego stężenie (głównie na bakterie gram ujemne);

- sprzyja wzrostowi mikroorganizmów beztlenowych;
- łatwo rozpuszcza się w wodzie zawartej w produkcie;
- zmniejsza pH produktu (o 0,2-0,4 jednostki);
- nie wchodzi w trwałe połączenia ze składnikami żywności;
- działa przeciwutleniająco przez zmniejszenie potencjału red-ox produktu;
- wysokie stężenie w atmosferze otaczającej mięso powoduje ciemnienie barwy powierzchni.

Azot:

- nie wywiera bezpośredniego wpływu na reakcje zachodzące w żywności;
- trudniej przenika przez folie opakowaniowe niż tlen i ditlenek węgla;
- gorzej rozpuszcza się w wodzie niż tlen i ditlenek węgla;
- zmniejsza różnicę ciśnień wewnątrz i na zewnątrz opakowania, a przez to również przenikanie tlenu do wnętrza opakowania.

Gazami o ważnym znaczeniu w przechowywaniu surowego mięsa drobiowego są ditlenek węgla i tlen [Hotchkiss 1989]. Podczas przechowywania mięsa w modyfikowanej atmosferze gazy te oddziałują głównie na barwę mięsa, trwałość mikrobiologiczną i utlenianie lipidów [Pikul 2001a]. Azot jest nieaktywnym składnikiem MA, określanym mianem „wypełniacza”, gdyż uzupełnia zawartość CO₂ i O₂ w MA do 100% objętości [Krala i in. 1995; Ostoja 2003]. Gazy te, używane w różnych kombinacjach i proporcjach, powinny być dostosowane do właściwości pakowanego produktu (pochodzenie gatunkowe, klasa jakościowa, rodzaj i rozdrobnienie mięśni) z uwzględnieniem przewidywanych warunków temperaturowych podczas przechowywania i dystrybucji mięsa oraz zamierzonego głównego celu ich użycia [Krala 1999; 2003; Zin, Miazga 2004]. Celem tym może być m.in.: a) maksymalne przedłużenie okresu trwałości, uzyskiwane przy stosowaniu dwuskładnikowej atmosfery: azot i ditlenek węgla i całkowicie pozbawionej tlenu lub atmosfery trójskładnikowej: azot, ditlenek węgla i tlen; b) zachowanie barwy powierzchni mięsa – skład atmosfery: 80% tlenu i 20% CO₂ [Krala 1999; 2003].

Stwierdzono, że im większe jest stężenie CO₂ w MA, tym mniejsza jest proliferacja mikroorganizmów [Phebus i in. 1991], co w liczącym się stopniu wydłuża okres przechowywania mięsa kurcząt i indyków [Hotchkiss 1989; Hotchkiss, Langston 1995; Fraqueza i in. 2004].

W celu wydłużenia przechowywalnego okresu trwałości chłodzonego mięsa drobiowego, charakteryzującego się większym zanieczyszczeniem mikrobiologicznym niż mięso dużych zwierząt rzeźnych, wymagane jest stosowanie większych stężeń CO₂ w MA – co najmniej 60% [Hotchkiss 1989; Krala i in. 1995; Saucier i in. 2000; Kijowski i in. 2001]. W wewnętrznej atmosferze opakowania o dużym stężeniu CO₂ barwa mięsa drobiu grzebiącego, ze względu na małą zawartość barwników hemowych, nie ulega istotnemu pogorszeniu [Saucier i in. 2000; Pikul 2001c; Dhananjayan i in. 2006]. Atmosfera o dużej zawartości CO₂ nie powoduje zmian oksydacyjnych i degradacyjnych lipidów [Krala i in. 1995; Pettersen i in. 2004; Fraqueza i in. 2004].

Udział tlenu w MA sprzyja wzrostowi bakterii tlenowych, wywołujących zauważalne objawy zepsucia mięsa (śluz, zapach gnilny) [Krała i in. 1995; Pikul 2001c]. Przechowywanie mięsa w MA pozbawionej tlenu sprzyja wzrostowi beztlenowych bakterii chorobotwórczych [Hotchkiss 1989; Saucier i in. 2000; Pikul 2001c].

Ograniczony dostęp tlenu do powierzchni mięsa drobiowego przechowywanego w MA może powodować zużycie tego gazu przez drobnoustroje, co spowoduje nieutlenowanie się mioglobiny do oksymoglobiny i nie wykształci się jasnoczerwona barwa, pożądana przez klientów [Krała 1999]. Modyfikowaną atmosferę o małej zawartości tlenu stosuje się do pakowania mięsa drobiowego w dużych opakowaniach zbiorczych. Barwa mięsa nie ulega wówczas większym zmianom [Pikul 2001b].

Do przechowywania surowego mięsa kurcząt w MA pożądana jest niewielka ilość tlenu, która sprzyja zachowaniu naturalnej barwy mięsa [Krała i in. 1995; Saucier i in. 2000; Kijowski i in. 2001]. Dodatek tlenu w ilości 5-10% do środowiska o dużej zawartości CO₂ zapobiega proliferacji bakterii fermentacji mlekowej oraz niekorzystnej zmianie barwy przechowywanego mięsa kurcząt. Wymieniona zawartość tlenu nie wywiera negatywnego wpływu na czystość mikrobiologiczną mięsa kurcząt [Hotchkiss 1989] i indyków [Saucier i in. 2000; Orkus i in. 2012]. MA zawierająca duże stężenie tlenu (70-80%) jest nieodpowiednia do pakowania mięsa drobiowego, ponieważ sprzyja utlenianiu lipidów [Veberg i in. 2006]. Patsias i in. [2006] podają, że decydującym czynnikiem utleniania się lipidów jest zawartość O₂ w atmosferze, w której pakowane są produkty. Im większa jego zawartość w atmosferze, tym szybciej przebiegają procesy związane z utlenianiem lipidów [Berruga i in. 2004; Seydim i in. 2006], a to:

- pogarsza barwę [Zin, Miazga 2004; Dhananjayan i in. 2006];
- wywołuje niepożądany zapach [Kijowski, Richardson 1997].

Wysokotlenowa MA (80% O₂, 20% CO₂), w porównaniu z atmosferą beztlenową, skraca chłodnicze przechowywanie mięsa drobiowego o 6-8 dni [Zin, Miazga 2004].

Do pakowania mięsa drobiowego stosowana jest MA z wykorzystaniem różnych kombinacji gazów:

- ditlenku węgla i azotu [Czerniawski 1998; Pexara i in. 2002; Pettersen i in. 2004; Patsias i in. 2006],
- ditlenku węgla, azotu i tlenu [Hotchkiss 1989; Krała 1999, 2003; Saucier i in. 2000; Kijowski i in. 2001; Orkus i in. 2011; 2012; Orkus 2013; 2014],
- ditlenku węgla i tlenu [Zin, Miazga 2004; Veberg i in. 2006; Orkus i in. 2013].

Za optymalny skład MA umożliwiający wydłużenie okresu przechowywania mięsa kurcząt i/lub indyków z zachowaniem pożądanego koloru uznano: 75% CO₂, 20% N₂ i 5% O₂ [Krała 1999; 2003; Kijowski i in. 2001; Orkus i in. 2011].

Zastosowanie MA złożonej z ditlenku węgla (50%) i azotu (50%) przedłużało okres przechowywania filetów z mięśni piersiowych indyka o 2 tygodnie w porów-

naniu z przechowywaniem w powietrzu, ponieważ hamowaniu ulegała proliferacja bakterii psychrotrofowych, bakterii z rodzaju *Pseudomonas* i z rodziny *Enterobacteriaceae* [Fraqueza i in. 2004]. Wspomniani autorzy wykazali również, że zawartość aldehydu malonowego (AM) w mięśniach nieznacznie wzrastała podczas doświadczonego czasu przechowywania, tj. od wartości 0,3 do 0,5 mg AM/kg. Na koniec okresu przechowywania, tzn. w 25 dobie, ilość kwasów tłuszczowych C18:2, C18:3 i C20:4 nieznacznie się zmniejszyła w porównaniu ze stanem wyjściowym. Na podstawie wyników badań wnioskowano, że taki skład MA zabezpieczał przed utlenianiem lipidów mięsa.

Zastosowanie do pakowania mielonego mięsa indyczego atmosfery o składzie: 20% CO₂ i 80% N₂ nie powodowało zmiany barwy, natomiast mięso pakowane w atmosferze: 62% CO₂, 8% O₂ i 30% N₂ charakteryzowało się zmienioną barwą. Podczas przechowywania w atmosferze tlenowej stwierdzono zmniejszenie wartości parametrów L* (jasność) i a* (udział barwy czerwonej) barwy oraz zwiększenie wartości b* (udział barwy żółtej) parametru barwy mięsa. Liczba bakterii z rodzaju *Escherichia coli* była większa w próbach po 15 dobach przechowywania w MA pozbawionej tlenu niż w próbach przechowywanych w atmosferze zawierającej tlen [Saucier i in. 2000].

Dhananjayan i in. [2006] nie zaobserwowali zmiany barwy mielonego mięsa z mięśni piersiowych indyków podczas 12 dni przechowywania prób w MA pozbawionej tlenu, tj. w atmosferze o następującym składzie: 96% CO₂ i 4% N₂.

Barwa mięsa przechowywanego w wysokotlenowej atmosferze, tj. 88% O₂, 10% CO₂ i 2% N₂, ulegała stopniowemu pogorszeniu. Wartość parametru a* barwy zmniejszyła się z 6,15 (dla prób przechowywanych w obydwu rodzajach atmosfer) do 5,69 w mięsie przechowywanym w MA bez udziału tlenu oraz do 0,36 dla prób przechowywanych w atmosferze wysokotlenowej. Próby przechowywane w trójskładnikowej MA charakteryzowały się w trakcie przechowywania istotnym zwiększeniem parametru h_o (kąt tonu barwy). Natomiast wartość tego parametru dla mięsa przechowywanego w MA o składzie: 96% CO₂ i 4% N₂ nie zmieniła się w porównaniu z jego wartością początkową.

Veberg i in. [2006], badając mielone mięśnie udowe indyków przechowywane w MA o składzie 70% O₂ i 30% CO₂ oraz w próżni, wykazali, iż zawartość aldehydu malonowego po 12 dobach przechowywania prób w MA wynosiła 2,09 mg/kg AM, natomiast w próżni 0,32 mg/kg AM. Ocena sensoryczna zapachu badanego mięsa (w skali od 1 do 9) wykazała zdecydowanie gorszy zapach prób przechowywanych w MA (6,1 mg/kg AM) w porównaniu z przechowywaniem w próżni (2,3 mg/kg AM) i był on określony jako zjełczały. Barwa powierzchni prób mięsa indyków przechowywanych w MA, w porównaniu z próbami przechowywanymi w próżni, uległa znacznemu pogorszeniu, zaobserwowano bowiem zmniejszenie parametru a* barwy. W mięsie przechowywanym w próżni, jak i w MA, nie zmieniła się wartość parametru b* barwy, ale istotnie zwiększyła się wartość parametru L* barwy. Orkuszy i in. [2013] również stwierdzili, iż przechowywanie mięśni piersiowych gęsi w wy-

sokotlenowej modyfikowanej atmosferze (80% O₂ i 20% CO₂) zabezpiecza ich barwę przez 11 dni przechowywania, podczas gdy w próżni – przez 14 dni.

Skład gazów wprowadzanych do opakowania ulega zmianom w trakcie przechowywania produktu w wyniku przenikalności gazów przez materiał opakowaniowy i procesów zachodzących w produkcie oraz na skutek proliferacji mikroorganizmów. W celu uniknięcia nieprzewidzianych zmian atmosfery wewnątrz opakowania konieczne jest, aby objętość MA była większa w relacji do objętości zapakowanego produktu. Dla surowego mięsa, w tym również mięsa drobiowego, stosunek atmosfery do produktu powinien wynosić 3:1 [Pikul 2001b; Dhananjayan i in. 2006; Veberg i in. 2006].

3. Opakowania wykorzystywane do pakowania w modyfikowanej atmosferze

Opakowanie jest wysoce znaczącym czynnikiem wpływającym na jakość pakowanych produktów. Umożliwia ono i usprawnia transport oraz składowanie, a także zwiększa trwałość i atrakcyjność produktów [Kondratowicz, Kościelak 2005; Rak 2007].

Pakowanie mięsa, w tym mięsa drobiowego, w modyfikowanej atmosferze jest skuteczne tylko pod warunkiem utrzymania właściwego składu atmosfery w opakowaniu. Wymaga to jednak, by opakowanie było wykonane z materiału o ograniczonej przenikalności dla gazów, czyli powinno być ono o odpowiednio wysokiej barierowości, wyrażonej w cm³/m²·24h·0,1MPa w określonej temperaturze i wilgotności względnej powietrza. Barierowość opakowania w stosunku do gazów, zwłaszcza do tlenu, który uczestniczy w wielu reakcjach mających wpływ na długość okresu przechowywania mięsa, jest jednym z najistotniejszych wyróżników opakowania.

Barierowość materiału opakowaniowego określa się stopniem przenikalności dla tlenu – SPT oraz stopniem przenikalności dla pary wodnej [Krala 1999]. Przenikalność CO₂ jest 3-5 razy większa niż dla tlenu, a azotu 3-5 razy mniejsza niż dla tlenu.

Folie jednowarstwowe, jako materiały opakowaniowe, często nie zapewniają pożądanych właściwości fizykochemicznych, mikrobiologicznych i sensorycznych, wymaganych przez pakowany produkt. W związku z tym do pakowania w MA stosuje się folie wielowarstwowe, które w najprostszej postaci składają się z tzw. warstwy nośnej (zewnątrznej) i warstwy umożliwiającej zgrzewanie (wewnętrznej). Warstwa nośna chroni materiał opakowaniowy przed uszkodzeniami mechanicznymi i decyduje o przepuszczalności gazów (w tym również substancji kreujących zapach), jego sztywności i wytrzymałości. Warstwa wewnętrzna jest barierą dla pary wodnej oraz medium do zamknięcia opakowania [Cichoń 1996].

Warstwą zewnętrzną (niemal z reguły) są folie z poliamidu (PA) i poliestru (PET), warstwami wewnętrznymi zaś są folie z polietylenu (PE) i polipropylenu (PP). Poniżej przedstawiono właściwości folii PA i PE [Lisińska-Kuśnier, Ucherek 2004].

Folia poliamidowa:

- oporna na działanie bakterii, pleśni i tłuszczów,
- nietoksyczna,
- przezroczysta i bezwonna oraz higroskopijna,
- cechuje ją nieznaczna przenikalność dla gazów oraz duża dla pary wodnej,
- charakteryzuje się trudnością zgrzewania, dlatego często jest stosowana w postaci laminatów wielowarstwowych,
- nieoporna na kwasy mineralne i środki utleniające.

Folia polietylenowa:

- bezwonna,
- podatna na zgrzewanie,
- cechuje ją mała przenikalność dla pary wodnej,
- duża oporność na działanie kwasów, zasad i soli,
- charakteryzuje ją duża miękkość, elastyczność, oporność mechaniczna,
- duża przepuszczalność dla gazów (tłenu i dwutlenku węgla),
- nieoporna na działanie silnych utleniaczy i stężonych kwasów.

Ze względu na uzupełniające właściwości folii poliamidowych (PA) w porównaniu z foliami polietylenowymi (PE) łączy się je, tworząc laminaty PA/PE. Charakteryzują się one wysoką barierowością w odniesieniu do gazów i mikroorganizmów, dużą opornością na ścieranie i przebicie oraz podatnością na termoformowanie [Cichoń 1996].

W celu zwiększenia barierowości laminatów stosuje się m.in.: kopolimery etylenu z alkoholem winylowym, polichlorek winylidenu, żywice poliamidowe i poliamidy amorficzne [Czerniawski, Michniewicz 1998]. Laminaty PA/PE są szeroko wykorzystywane do pakowania mięsa i jego przetworów w MA [Martinez i in. 2005; John i in. 2005; Orkusz i in. 2011; 2012; 2013].

W celu zabezpieczenia przed gromadzeniem się pary wodnej wewnątrz opakowania oraz umożliwienia dobrej widoczności zapakowanego produktu stosuje się warstwę anti-fog, określaną również jako warstwa antyroszeniowa [Dietrich 2004; Orkusz 2014].

Do pakowania mięsa w próżni oraz w MA przydatne są folie o przenikalności dla tlenu w zakresie $10-100 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0,1 \text{ MPa}$ [Pikul 2001b; Kondratowicz i in. 2007; Orkusz i in. 2011; 2012; 2013; Orkusz 2013; 2014].

4. Podsumowanie

Współcześnie coraz częściej konsumenci kupują wyroby wygodne, które nie wymagają pracochłonnych czynności przed ich obróbką kulinarną. Dlatego też duża popularność zdobyły na rynku elementy kulinarne w postaci filetów z drobiowych mięśni piersiowych i udowych (bez skóry i kości).

Odkostnione i pozbawione skóry porcje mięsa łatwo ulegają mikrobiologicznemu zanieczyszczeniu, gdyż odsłonięte wilgotne powierzchnie elementów kulinarnych

nych, zawierające składniki odżywcze (m.in. białko), sprzyjają bardzo szybkiemu namnażaniu się mikroorganizmów. Oprócz niekorzystnych zmian powodowanych przez drobnoustroje utleniają się barwniki hemowe i lipidy, w wyniku odparowania wody wysycha powierzchnia mięsa, zmniejsza się wodochłonność tkanki mięśniowej i zwiększa się wyciek soku mięsnego. Niekorzystne zmiany w mięsie powodują pogorszenie wartości odżywczej i walorów sensorycznych, zmniejszając tym samym atrakcyjność oferowanego produktu.

W związku z powyższym pracownicy nauki i przemysłu mięsnego poszukują i opracowują skuteczne metody ograniczania i/lub eliminowania niepożądanych zmian w mięsie.

Jedną spośród obecnie preferowanych metod, mogących znaleźć zastosowanie w praktyce, jest pakowanie mięsa w modyfikowanej atmosferze. Jest ono bowiem skuteczne pod warunkiem zastosowania i utrzymania właściwego składu atmosfery wewnątrz opakowania, co wiąże się z użyciem materiału opakowaniowego o odpowiednio wysokiej barierowości w odniesieniu do gazów i pary wodnej. Zastosowanie technologii pakowania w modyfikowanej atmosferze i odpowiednich materiałów opakowaniowych, zapewniających konsumencką atrakcyjność produktów i ułatwiających ich przygotowanie do spożycia oraz gwarantujących zachowanie wysokiej jakości w stosunkowo długim przedziale czasu przechowywania, powoduje, że mięso drobiowe w detalicznym obrocie handlowym jest oferowane w coraz szerszym wyborze.

Literatura

- Acton J.C., Stephens C., Shaver V.A., Dawson P.L., 2007, *Packaging of fresh meat and meat products*. XVIII Europ. Symposium on the Quality of Poultry Meat, Prague, 2-5, September, s. 142-146.
- Berruga M.I., Vergara H., Linares M.B., 2004, *Quality of rabbit meat under modified atmospheres*, 50th Int. Con. of Meat Sci. and Techn., Helsinki, Finland, 8-13 August, s. 354-357.
- Cegielska-Radziejewska R., Pikul J., 2000, *Quality and stability of sliced poultry sausages packed under vacuum and stored in refrigerated conditions*, Food Sci. Technol., Scien. Papers of Agricultural University of Poznań, 4, s. 63-72.
- Cichoń Z., 1996, *Nowoczesne opakownictwo żywności*, Ossolineum, Wrocław.
- Czerniawski B., 1998, *Pakowanie mięsa i przetworów mięsnych próżniowe oraz w mieszaninie gazów*, Mięso i Wędliny, 6, s. 26-30.
- Czerniawski B., Michniewicz J., 1998, *Opakowania żywności*, Wyd. Agro Food Techn., Czeladź.
- Dhananjayan R., Han I.Y., Acton J.C., Dawson P.L., 2006, *Growth depth effects of bacteria in ground turkey meat patties subjected to high carbon dioxide or high oxygen atmospheres*, Poultry Science, 85, s. 1821-1828.
- Dietrich A., 2004, *Die Qual der richtigen Wahl*, Fleischwirtschaft, 3, s. 41-44.
- Fraqueza M.J., Bessa R.J.B., Pereira M.S., Ferreira M.C., Barreto A.S., 2004, *Effect of Ar/CO₂ modified atmosphere packaging on turkey meat characteristics*, 50th Int. Con. of Meat Sci. and Techn., Helsinki, Finland, 8-13 August, s. 610-614.

- Hotchkiss J.H., 1989, *Modified atmosphere packaging of poultry and related products*, [w:] A.L. Brody (ed.), *Controlled/modified Atmosphere/Vacuum Packaging of Foods*, Food & Nutrition Press, INC., USA, s. 39-58.
- Hotchkiss J.H., Langston S.W., 1995, *MAP of cooked meat and poultry products*, [w:] J.M. Farber, K.L. Dodds (eds.), *Principles of Modified-atmosphere and Sousvide Product Packaging*, Technomic Publishing Co., Lancaster, s. 137-152.
- John L., Cornforth D., Carpenter C.E., Sorheim O., Pettee B.C., Whittier D.R., 2005, *Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum*, *Meat Science*, 69, s. 441-449.
- Kijowski J., Cegielska-Radziejewska R., Krala L., 2001, *Shelf-life of meat and its further-processed products stored under modified atmosphere packaging (MAP) – a review*, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 10/51, 4, s. 3-12.
- Kijowski J., Richardson I.R., 1997, *Przetwórcze wykorzystanie mięsa drobiowego*, *Mięso i Wędliny*, 5, s. 56-62.
- Kondratowicz J., Kościelak E., 2005, *Nowe tendencje w systemach pakowania żywności przechowywanej w niskich temperaturach, część 2*, *Chłodnictwo*, XL, 8, s. 54-59.
- Kondratowicz J., Kuło Z., Burczyk E., 2007, *Trwałość mięsa indyków w warunkach chłodniczych*, *Chłodnictwo*, XLII, 3, s. 46-50.
- Krala L., 1996, *Kontrolowana i modyfikowana atmosfera przedłuża trwałość chłodzonego drobiu. Stan badań i wnioski praktyczne*, *Chłodnictwo*, XXXI, 2, s. 35-40.
- Krala L., 1999, *Oddziaływanie atmosfery kontrolowanej i modyfikowanej na właściwości chłodzonego mięsa kurcząt*, *Zeszyty Naukowe Politechn. Łódz.*, 814, z. 255, s. 1-144.
- Krala L., 2003, *Pakowanie mięsa i przetworów w modyfikowanej atmosferze*, [w:] *Wszystko o opakowaniach i systemach pakowania*, *Ogólnopolski Informator Masarski*, lipiec, s. 11-12, 14-15, 17-18, 20-21.
- Krala L., Mokrosińska K., Michałowski S., 1995, *Niektóre aspekty chłodniczego przechowywania żywności w kontrolowanej i modyfikowanej atmosferze*, *Zeszyty Naukowe Politechn. Łódz.*, 54, s. 57-75.
- Lisińska-Kuśnierz M., Ucherek M., 2004, *Podstawy opakownictwa towarów*, Wyd. AE Kraków.
- Markowska A., Gackowska L., Siwek B., 1997, *Badania nad podniesieniem jakości i trwałości wyrobów garnażeryjnych pakowanych w atmosferze modyfikowanej*, [w:] *Bezpieczeństwo mikrobiologiczne produkcji żywności*, Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa, s. 145.
- Martinez L., Djenane D., Cilla I., Beltran J.A., Roncales P., 2005, *Effect of different concentrations of carbon dioxide and low concentration of carbon monoxide on the shelf – life of fresh pork sausages packed in modified atmosphere*, *Meat Science*, 71, s. 563-570.
- Northcutt J.K., Friesen R.K., Kartika S., Acton J.C., 2005, *Temperature and packaging film effects on colour stability of sliced turkey bologna during lighted display*, XVIIth Europ. Symp. on the Quality of Poultry Meat, Doorweth, The Netherlands, 23-26 May, s. 174-178.
- Orkus A., 2013, *Wpływ barierowości opakowania surowych mięśni udowych indyków pakowanych w modyfikowanej atmosferze na ich cechy sensoryczne po obróbce termicznej*, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Nauki Inżynierskie i Technologie*, 2 (9), s. 85-93.
- Orkus A., 2014, *Wpływ barierowości opakowania kulinarnych mięśni udowych indyków pakowanych w modyfikowanej atmosferze na ich cechy sensoryczne*, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Nauki Inżynierskie i Technologie*, 2 (13), s. 68-76.
- Orkus A., Wołoszyn J., Okruszek A., 2011, *Characteristics of the thigh muscles colour from turkey packaged under modified atmosphere in different film types*, *Archiv für Geflügelkunde*, 75, 3, s. 196-203.
- Orkus A., Wołoszyn J., Okruszek A., 2012, *Influence of packaging materials on microbiological quality and odour of turkey thigh muscles packaged under modified atmosphere*, *Archiv für Geflügelkunde*, 76, 3, s. 208-213.

- Orkuszk A., Wołoszyn J., Haraf G., Okruszek A., 2013, *Effect of protective atmosphere on color of goose meat*, Poultry Science, 92, s. 2188-2194.
- Ostoja H., 2003, *Opakowania i systemy pakowania stosowane w przemyśle mięsnym*, [w:] *Wszystko o opakowaniach i systemach pakowania*, Ogólnopolski Informator Masarski lipiec, s. 3-4, 6-8, 10.
- Patsias A., Chouliara I., Badeka A., Savvaidis I.N., Kontominas M.G., 2006, *Shelf-life of chilled pre-cooked chicken produkt stored in air and under modified atmospheres: microbiological, chemical, sensory attributes*, Food Microbiology, 23, s. 423-429.
- Pettersen M.K., Nissen H., Eie T., Nilsson A., 2004, *Effect of packaging materials and storage conditions on bacterial growth, off-odour, pH and colour in chicken breast fillets*. Packag. Technol. Sci., 17, s. 165-174.
- Pexara E.S., Metaxopoulos J., Drosinos E.H., 2002, *Evaluation of shelf life of cured, cooked, sliced turkey fillets and cooked pork sausages – “piroski” – stored under vacuum and modified atmospheres at +4 and +10° C*, Meat Science, 62, s. 33-43.
- Phebus R.K., Draughon F.A., Mount J.R., 1991, *Survival of Campylobacter jejuni in modified atmosphere packaged turkey roll*, Journal of Food Protection, 54, 3, s. 194-199.
- Phillips C.A., 1996, *Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce*, Inter. Journal of Food Sci. and Technology, 31, s. 463-479.
- Pikul J., 2001a, *Pakowanie i przechowywanie schłodzonego mięsa w modyfikowanej atmosferze*, Chłodnictwo, XXXVI, 10, s. 30-36.
- Pikul J., 2001b, *Rola modyfikowanej oraz kontrolowanej atmosfery w przechowywaniu schłodzonego mięsa*, Chłodnictwo, XXXVI, 8-9, s. 78-84.
- Pikul J., 2001c, *Przedłużanie okresu trwałości schłodzonego mięsa oraz produktów z mięsa drobiu przez pakowanie w modyfikowanej atmosferze*, Chłodnictwo, XXXVI, 11, s. 39-45.
- Rak L., 2007, *Opakowania mięsa i przetworów – wyzwania dla producentów*, Gospodarka Mięсна, 8, s. 28-29, 31-32.
- Saucier L., Gendron C., Garipey C., 2000, *Shelf life of ground poultry meat stored under modified atmosphere*, Poultry Science, 79, 12, s. 1851-1856.
- Seydim A.C., Acton J.C., Hall M.A., Dawson P.L., 2006, *Effects of packaging atmospheres on shell life quality of ground ostrich meat*, Meat Science, 73, s. 503-510.
- Veberg A., Sorheim O., Moan J., Iani V., Juzenas P., Nilsen A.N., Wold J.P., 2006, *Measurement of lipid oxidation and porphyrins in high oxygen modified atmosphere and vacuum-packed minced turkey and pork meat by fluorescence spectra and images*, Meat Science, 73, s. 511-520.
- Zin M., Miazga R., 2004, *Najnowszy system pakowania mięsa*, Gospodarka Mięсна, 7, s. 34-36.