

PIOTR DOMARADZKI, ZYGMUNT LITWIŃCZUK, MARIUSZ FLOREK,  
ANNA LITWIŃCZUK

## ZMIANY WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH I SENSORYCZNYCH MIĘSA WOŁOWEGO W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW JEGO DOJRZEWANIA

### Streszczenie

Pod względem wartości odżywczej wołowina jest bardzo cenionym gatunkiem mięsa. W celu uzyskania wysokiej wartości kulinarnej surowiec ten wymaga zabiegów, prowadzących przede wszystkim do wykształcenia pożądanych właściwości sensorycznych. Znaczącą poprawę cech jakościowych wołowina uzyskuje w trakcie odpowiednio długiego okresu dojrzewania, tj. naturalnego procesu zachodzącego po ustąpieniu fazy *rigor mortis* w każdym mięśniu tuszy. Proces dojrzewania wołowiny w warunkach chłodniczych stosowany jest od ponad stulecia. Współcześnie na skalę przemysłową stosuje się dojrzewanie suche lub mokre. Ma ono charakter zamierzony (celowy) lub prowadzone jest przypadkowo, jako jeden z elementów dystrybucji i sprzedaży mięsa. W pracy przedstawiono różne metody i warunki, w jakich prowadzone jest dojrzewanie wołowiny (w tym pakowanie) oraz ich wpływ na cechy jakościowe mięsa (wodochłonność, kruchość i smakowitość). Oprócz bezsprzecznie pozytywnych aspektów związanych z poubojowym dojrzewaniem mięsa przedstawiono również procesy mogące negatywnie wpływać na końcową jego jakość, wynikającą przede wszystkim z oksydacji składników tkanki mięśniowej (lipidów, barwników i białek). Odpowiednio prowadzony (najczęściej w warunkach próżniowych) proces poubojowego dojrzewania wołowiny pozwala na uzyskanie produktu o wysokiej jakości, tzn. odpowiedniej kruchości i smakowitości oraz bezpieczny pod względem zdrowotnym. Analiza dostępnej literatury pozwala na stwierdzenie, że kulinarne mięso wołowe osiąga pełnię swoich walorów sensorycznych w trzecim tygodniu dojrzewania w temp.  $2 \div 4$  °C.

**Słowa kluczowe:** wołowina, dojrzewanie, utlenianie, systemy pakowania

### Wprowadzenie

Bezpośrednio po uboju zwierzęcia tkanka mięśniowa nie jest pełnowartościowym surowcem zarówno pod względem cech kulinarnych dla konsumenta, jak i technolo-

---

*Dr inż. P. Domaradzki, dr hab. inż. M. Florek, prof. dr hab. A. Litwińczuk, Katedra Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych, prof. dr hab. Z. Litwińczuk, Katedra Hodowli i Ochrony Zasobów Genetycznych Bydła, Wydz. Biologii i Hodowli Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin. Kontakt: piotr.domaradzki@up.lublin.pl*

gicznych dla przetwórcy. Jest twarda, gumowata, niesoczysta i ciężkostrawna, a składniki odżywcze są słabo przyswajalne. Poprawa cech sensorycznych mięsa, zwłaszcza kruchości i smakowitości, następuje w trakcie procesu dojrzewania, tj. przechowywania (po ustąpieniu fazy *rigor mortis*) w temperaturze wyższej od punktu zamarzania. Zachodzące zmiany w strukturze morfologicznej oraz właściwościach fizycznych i chemicznych tkanki mięśniowej prowadzą do uzyskania mięsa kulinarnego [5, 61, 79].

Proces dojrzewania wołowiny w warunkach chłodniczych wykorzystuje się już od ponad 100 lat [61]. Ma on charakter zamierzony (celowy) lub prowadzony jest przypadkowo, jako jeden z elementów dystrybucji i sprzedaży mięsa [5].

W przemyśle mięsnym stosuje się obecnie dojrzewanie suche i mokre [40, 75]. Dojrzewanie suche (tradycyjne, bez pakowania), które wykorzystywano powszechnie do lat 60. ubiegłego wieku, prowadzi się w powietrzu atmosferycznym o temp.  $0 \div 4$  °C, wilgotności względnej  $75 \div 85$  % i prędkości jego przepływu  $0,5 \div 2,5$  m/s. Mięso w tuszach lub elementach może dojrzewać w takich warunkach nawet do 5 tygodni [70]. Dojrzewanie mokre (w opakowaniu) stosuje się do elementów wykrawanych z półtuszy „na ciepło” lub po wychłodzeniu, które następnie zamykane są próżniowo w opakowania barierowe i przechowywane w temp.  $0 \div 2$  °C. Ponad 90 % wołowiny kulinarnej na świecie poddaje się dojrzewaniu mokremu [19].

W literaturze brak jest jednoznacznych wyników potwierdzających istotny wpływ metody dojrzewania na wyróżniki sensoryczne mięsa. W badaniach Lastera i wsp. [40], w okresie 35-dniowego dojrzewania wołowiny metodą mokrą i suchą nie wykazano istotnych różnic pod względem ogólnej pożądalności oraz cech typowych dla wołowiny: smaku, kruchości i soczystości. Elementy kulinarne (rostbef, krzyżowa, antrykot) poddane suchemu dojrzewaniu zostały ocenione (w skali 10-punktowej) przez konsumentów w zakresie:  $6,1 \div 7,0$  pkt w przypadku pożądalności,  $6,3 \div 6,8$  pkt – smaku;  $5,9 \div 7,3$  pkt – kruchości oraz  $5,5 \div 6,6$  pkt – soczystości. W przypadku mięsa dojrzewającego na mokro właściwości te oceniono podobnie, odpowiednio:  $6,1 \div 7,0$  pkt;  $6,3 \div 6,9$  pkt;  $6,0 \div 7,5$  pkt oraz  $5,6 \div 6,8$  pkt. Co więcej, respondenci poproszeni o wskazanie steków, które byliby skłonni zakupić i ich ocenę (w skali 5-punktowej), zarówno w przypadku mięsa dojrzewającego na sucho, jak i na mokro, przyporządkowali noty równorzędne, tj. w zakresie  $2,3 \div 2,8$  pkt.

Sitz i wsp. [75] podają podobne wyniki odnoszące się do wołowiny klasy jakościowej *Choice*. Konsumenty ocenili w 8-punktowej skali właściwości sensoryczne steków dojrzewających na sucho oraz na mokro i przyznali za smakowitość odpowiednio: 5,77 i 5,91 pkt, za soczystość – 5,30 i 5,39 pkt, za kruchość – 5,59 i 5,68 pkt oraz za ogólną akceptację – 5,56 i 5,72 pkt. Nieznacznie bardziej zróżnicowane dane uzyskano natomiast w przypadku wołowiny zakwalifikowanej do klasy jakościowej *Prime*. Steki dojrzewające na mokro, w porównaniu z dojrzewającymi na sucho, zosta-

ły ocenione jako bardziej pożądane. Oceniono je średnio o 0,39 pkt wyżej za smak, kruchość oraz ogólną akceptację. Z kolei w badaniach Campbella i wsp. [8] przeszkolony zespół oceniających wykazał, że steki dojrzewające na sucho przez 14 i 21 dni charakteryzowały się bardziej pożądanym smakiem (średnio o 0,65 pkt), kruchością (o 0,4 pkt) oraz soczystością (o 0,4 pkt). W opinii Warrena i Kastnera [80] mięso dojrzewające w opakowaniu próżniowym ze względu na kwaśny posmak i silnie wyczuwalny aromat krwi oceniane jest niżej niż wołowina dojrzewająca tradycyjnie, która jest bardziej krucha i smakowita, z charakterystyczną nutą mięsa pieczonego. Zdaniem Dikemana i wsp. [16], nabywcy, w przeciwieństwie do wykwalifikowanego panelu oceniającego, nie są w stanie wychwycić bardzo subtelnych różnic pomiędzy wołowiną dojrzewającą w różnych warunkach. Przeciętni konsumenci nie potrafią przede wszystkim rozpoznać unikatowego profilu smakowego mięsa dojrzewającego tradycyjnie, określając go niejednokrotnie jako lekko „stęchły” [19, 75].

Ograniczone stosowanie dojrzewania suchego związane jest z wysokimi kosztami długiego okresu przechowywania mięsa w kontrolowanych warunkach, dużymi ubytkami masy i stratami związanymi z usuwaniem tzw. ususzki oraz z dużym ryzykiem zanieczyszczenia mikrobiologicznego surowca [76]. Dlatego opracowano innowacyjną metodę dojrzewania suchego, prowadzącą do zwiększenia wydajności gotowego produktu i ograniczenia rozwoju mikroflory, która polega na pakowaniu elementów w folie o dużej przepuszczalności wody [48]. W badaniach Lundesjö Ahnström i wsp. [48] ubytki masy spowodowane parowaniem wody w zależności od czasu suchego dojrzewania mięsa zawierały się w przedziale od 6,5 % w 14. dniu, do 10,2 % w 21. dniu. Natomiast straty związane z usuwaniem suchych i odbarwionych elementów wyniosły odpowiednio: 15,0 i 17,9 %. Podobnie Laster i wsp. [40] obserwowali większe ubytki spowodowane ususzką do 28. dnia dojrzewania, natomiast w 35. dniu – nieznaczne zmniejszenie strat. W przypadku rostbefu w 14. dniu dojrzewania było to: 5,2 %, w 21. – 11,8 %, w 28. – 15,9 %, a w 35. – 12,9 %, . W przypadku krzyżowej było to odpowiednio [%]: 17,9, 21,0, 23,6 i 19,0 %, natomiast w przypadku antrykotu – odpowiednio [%]: 16,8, 17,3, 24,2 i 22,8.

DeGeer i wsp. [14] podają, że konsumenci wołowiny dojrzewającej tradycyjnie skłonni są zapłacić wyższą cenę za produkt charakteryzujący się unikatowymi walorami smakowymi. Tradycyjne dojrzewanie mięsa prowadzone jest aktualnie tylko na specjalne zamówienie. Wołowina taka sprzedawana jest przez specjalistyczne sklepy internetowe albo dostępna jest w ekskluzywnych restauracjach, prowadzących ten typ dojrzewania na własne potrzeby [76].

### **Proces dojrzewania a wyróżniki fizykochemiczne mięsa**

W trakcie dojrzewania następuje częściowy rozpad białek, glikogenu i pozostałych składników tkanki mięśniowej, zostają ukształtowane pożądane właściwości tech-

nologiczne i kulinarne (przede wszystkim kruchość, smakowitość, soczystość, barwa, zdolność do wiązania wody dodanej, emulgowania tłuszczów, pęcznienia i żelowania) oraz odżywcze mięsa (np. zwiększenie przyswajalności składników odżywczych). Kruszenie mięsa (tenderyzacja) jest procesem długotrwałym, szczególnie w odniesieniu do wołowiny. Uzyskanie akceptowalnej przez konsumentów kruchości kulinarnego mięsa wołowego wymaga przechowywania w temperaturze chłodniczej przez co najmniej 10 ÷ 14 dni, cielęciny i baraniny – 4 ÷ 7 dni, wieprzowiny – 3 ÷ 5 dni, a mięsa drobiowego – 0,5 ÷ 1 dnia. Według Takahashiego [77] *m. semitendinosus* bydlą przechowywany w temp. 4 °C uzyskuje optymalną kruchość – charakteryzowaną przez siłę cięcia – w 28. dniu po uboju, świń – w 10. dniu, a kurcząt – w 2. Tenderyzacja mięsa przebiega w dwóch fazach – szybkiej i wolnej. W pierwszej obserwuje się osłabienie struktur miofibrili (linii Z, filamentów konektyny i nebuliny), w drugiej – strukturalne zmiany *endomysium* i *perimysium*. Wpływ dojrzewania na kruchość mięsa jest bardziej zauważalny w przypadku zwierząt starszych niż młodszych [19].

Skutkiem proteolizy tkanki łącznej w trakcie dojrzewania jest zwiększenie rozpuszczalności kolagenu śródmięśniowego [35, 64]. Wykazano, że w mięśni *semitendinosus* bydlą była ona dwukrotnie większa po 12 dniach dojrzewania chłodniczego w porównaniu z rozpuszczalnością w 5. dniu [64]. Powyższe zmiany zachodzące w tkance łącznej prowadzą do istotnej poprawy kruchości mięsa wołowego, ocenianej instrumentalnie. Zdaniem innych autorów [68], zachodząca w tkance łącznej proteoliza *post mortem* wpływa jedynie na wzrost kruchości mięsa surowego, natomiast po obróbce termicznej (> 60 °C) nie występują istotne różnice pod względem kruchości mięsa przed i po dojrzewaniu. Poubojowa proteoliza śródmięśniowej tkanki łącznej stanowi swoiste „tło” dla przemian związanych z tenderyzacją, bez większego wpływu na kruchość mięsa po obróbce termicznej. Wskazuje to na możliwość degradacji podczas obróbki kulinarnej mięsa tych samych struktur, które zmieniane są w trakcie dojrzewania. Ngapo i wsp. [60] potwierdzili jedynie istotny związek ( $r = 0,41$ ) kolagenu rozpuszczalnego (w temp. 77 °C) z ocenianą instrumentalnie kruchością surowej wołowiny, nie wykazali natomiast żadnych zależności w przypadku mięsa wołowego gotowanego lub grillowanego. Christensen i wsp. [10] uzyskali niskie współczynniki korelacji pomiędzy różnymi frakcjami kolagenu (ogólną, rozpuszczalną i nierozpuszczalną) a siłą cięcia w surowym i ogrzewanym *m. longissimus*, tj. w zakresie -0,081 ÷ 0,085. Autorzy uzasadniają brak istotnego związku, zwłaszcza w mięsie poddanym obróbce termicznej powyżej 60 °C, dominującym wpływem białek miofibrilarnych (nie zaś łącznotkankowych) w kształtowaniu kruchości mięsa. Dodatkowym czynnikiem mogła być także niewielka (0,35 %) zawartość kolagenu w *m. longissimus* w porównaniu z innymi mięśniami tuszy.

W procesie tenderyzacji zachodzą również znaczące zmiany wodochłonności (WHC, ang. *water-holding capacity*) tkanki mięśniowej. Mięso wykazuje największą

wodochłonność tuż po uboju i po uzyskaniu pełnej dojrzałości, natomiast w czasie stężenia pośmiertnego ulega ona zmniejszeniu. W wyniku przemian poubojowych następuje przegrupowanie wody z komórki do przestrzeni pozakomórkowej, stanowiąc potencjalne źródło wycieku [17, 38]. Zdolność wiązania i zatrzymywania wody podczas procesu dojrzewania jest uzależniona od przemian biochemicznych i strukturalnych tkanki mięśniowej, w tym zmiany ładunku elektrostatycznego, konfiguracji przestrzennej białek miofibrylarnych oraz rozkładu struktur cytoszkieletowych białek związanych z interakcją białek miofibryli podczas *rigor mortis*. W efekcie rozluźnienia struktur wewnątrz- i międzykomórkowych następuje zwiększenie i powstanie nowych przestrzeni dostępnych dla wody [38, 71], a tym samym zwiększa się wodochłonność mięsa. Farouk i wsp. [23] opisują to zjawisko jako tzw. efekt gąbki. W wyniku zmian białek strukturalnych następuje degradacja przestrzeni („kanałów”), przez które pierwotnie w stanie *rigor* woda mogła być usuwana na zewnątrz włókien mięśniowych, stanowiąc źródło wycieku. Rozkład struktur białkowych, a więc i wcześniej utworzonych „kanałów” prowadzi do powstawania swoistego „efektu gąbki”, w wyniku czego woda fizycznie zatrzymywana jest wewnątrz tkanki mięśniowej, a wielkość wycieku zmniejsza się. W temperaturze chłodniczej na skutek obecności substancji rozpuszczalnych w wodzie (w tym m.in. białek sarkoplazmatycznych, wolnych aminokwasów czy peptydów) oraz częściowego zżelowania protein, wzrasta lepkość soku mięśniowego, co dodatkowo wzmacnia „efekt gąbki”.

Wzrost WHC w trakcie chłodniczego dojrzewania mięsa nie przekłada się bezpośrednio na mniejsze straty związane z jego obróbką termiczną. Mięso wołowe dojrzewające dłużej niż 6 dni w porównaniu z niepoddanym temu zabiegowi wykazywało większy wyciek termiczny o 0,08 % w 6. dniu, 0,87 % – w 10. dniu, 2,28 % – w 14. dniu, 2,05 % – w 21. dniu oraz o 6,39 % – w 35. dniu chłodniczego przechowywania [29, 73]. Wielkość wycieku termicznego uzależniona była w większym stopniu od temperatury mięśni w fazie *pre-rigor* i długości sarkomerów niż czasu dojrzewania.

### **Poprawa profilu smakowo-zapachowego**

W okresie poubojowego dojrzewania mięsa wzbogaceniu ulega jego profil smakowo-zapachowy. Prekursory smakowo-zapachowe podzielić można generalnie na dwie grupy: rozpuszczalne w wodzie i rozpuszczalne w tłuszczu. Do najważniejszych zalicza się cukry proste (zwłaszcza rybozę), fosforany, rybonukleotydy, wolne aminokwasy (głównie cysteinę), peptydy oraz inne związki azotowe (np. tiaminę), węglowodory alifatyczne, kwasy tłuszczowe (zwłaszcza nienasycone) oraz produkty ich oksydacji i degradacji [36, 58, 59]. W okresie chłodniczego przechowywania mięsa następuje kumulacja nukleotydów inozynowych – IMP, IDP i ITP (inozynomono-, di- i trifosforan), jak również inozyny i hipoksantyny, pochodzących z rozkładu nukleotydów adeninowych – AMP, ADP i ATP (adenozynomono-, di- i trifosforan). Związki te

wraz z rybozą oraz produktami ich rozpadu odznaczają się specyficznym profilem smakowym, a wchodząc w reakcje z innymi substancjami tworzą złożone kompleksy smakowo-zapachowe [37]. Spośród nukleotydów inozynowych, izomer 5'-IMP wykazuje najsilniejsze właściwości smakowo-zapachowe. Mięso osiąga najlepsze cechy sensoryczne, gdy poziom hipoksantyny wynosi  $1,5 \div 2,0 \mu\text{M/g}$  [28]. Smak umami, określany jako rosołowy, pikantny lub wołowy, jest efektem obecności związków potęgujących smak, takich jak: kwas glutaminianowy, guanozyno-5'-monofosforan (GMP) oraz IMP. Na początku procesu dojrzewania poubojowego zawartość kwasu glutaminowego zwiększa się ponad dwukrotnie, tzn. z  $9 \text{ mg/100 g}$  w 4. dniu do  $21 \text{ mg/100 g}$  w 7. dniu *post mortem* [3]. Wykazano, że w trakcie 21-dniowego dojrzewania próżniowego wołowiny poziom wolnej rybozy zwiększył się 6-krotnie, a cukrów redukujących – o 15 %. Obserwowano również wzrost udziału wolnych aminokwasów, zwłaszcza siarkowych (7-krotny – metioniny i 3-krotny – cysteiny), którym przypisuje się szczególną rolę w kształtowaniu aromatu i smaku mięsa [37]. Podczas dojrzewania wzrasta również udział węglowodorów o dużej masie cząsteczkowej, peptydów, związków benzenowych, pirazyn, węglowodorów alifatycznych (zwłaszcza rozgałęzionych alkanów, m.in. 2-oktenu, 3-oktenu, 2,2,5-trimetyloheksanu, pochodzących z utleniania lipidów) oraz wolnych kwasów tłuszczowych, szczególnie kwasu oleinowego [26, 36].

Pełnię walorów sensorycznych mięso uzyskuje w trakcie kulinarnych zabiegów termicznych, tj. gotowania, pieczenia, smażenia i duszenia. Uzyskana w trakcie obróbki termicznej smakowitość jest ściśle związana z właściwościami i ilością prekursorów występujących w surowej tkance mięśniowej. Smakowitość mięsa gotowanego związana jest głównie z przemianami białek oraz azotowych związków niebiałkowych, natomiast smakowitość mięsa pieczonego – z przemianami składników tłuszczowych w trakcie ogrzewania [36].

Zadowolający poziom związków o charakterze smakowo-zapachowym osiągnąć jest dopiero po  $10 \div 14$  dniach poubojowego dojrzewania mięsa [1, 19, 36]. Wołowina poddana obróbce termicznej przed upływem tego okresu nie wykształca typowego dla tego mięsa smaku i zapachu. W ocenie sensorycznej wykazuje posmak „metaliczny” i „mdły”. Wykazano jednak, że dojrzewanie może także negatywnie oddziaływać na cechy smakowo-zapachowe wołowiny poprzez osłabienie zróżnicowania smakowitości lub zwiększenie posmaku metalicznego mięsa [82]. Pogłębia się również posmak tłuszczowy oraz inne negatywne cechy, takie jak: „przypominający farbę”, „tekturowy”, „gorzki” i „kwaśny” [2, 6]. Wynika to m.in. ze zwiększonej ilości związków karbonylowych, pochodzących z oksydacji lipidów (zwłaszcza fosfolipidów bogatych w wielonienasycone kwasy tłuszczowe), które mogą brać udział w tworzeniu obcego posmaku. Lipidy uczestniczą zarówno w kształtowaniu pożądanego, jak i niepożądanego cech smakowo-zapachowych mięsa [72]. Łagodne reakcje oksydacji i degradacji



lipidów zachodzące w trakcie obróbki cieplnej mięsa generują pożądane związki smakowo-zapachowe. Zawansowane natomiast zmiany oksydacyjne frakcji lipidowej (spowodowane np. długotrwałym przechowywaniem mięsa) przyczyniają się do tworzenia obcego posmaku, określanego jako jełki [58, 72].

Gorriaz i wsp. [26] w trakcie 7-dniowego dojrzewania wykazali wzrost smakowości wołowiny grillowanej. Większość, tj. 93,6 % wykrytych związków lotnych pochodziła z utleniania lipidów tkanki mięśniowej. Były to przede wszystkim węglowodory alifatyczne (51,6 %) i acykliczne (6,4 %), aldehydy (16,1 %), alifatyczne (6,4 %) i alicykliczne (3,2 %) ketony, węglowodory aromatyczne (6,4 %) oraz alkohole (3,2 %). Zdaniem autorów korzystny wpływ dojrzewania na smakowość związany był ze wzrostem lotnych produktów degradacji kwasów tłuszczowych oraz zmniejszeniem udziału aldehydu octowego. W przypadku tego ostatniego wykazano dodatnią korelację z „posmakiem wątrobowym” (*livery flavour*) i ujemną z charakterystycznym zapachem mięsa. Ponadto heksan przyczyniał się do tworzenia smaku tłuszczowego, a 2-propanon – do posmaku wątrobowego i krwistego. Związkiem odpowiedzialnym za charakterystyczny smak wołowiny grillowanej był 2,2,4,4,6-pentametyloheptan. Ba i wsp. [1] wykazali również, że związkami w głównej mierze odpowiedzialnymi za kształtowanie profilu smakowo-zapachowego wołowiny obrabianej termicznie są produkty degradacji/utleniania lipidów. W badaniach wykazano, że *m. longissimus dorsi* (LD) odznaczał się bardziej korzystnymi cechami sensorycznymi w porównaniu z *m. semitendinosus* (ST) zarówno w 7., jak i w 28. dniu dojrzewania. Mięsień LD zawierał przede wszystkim więcej: 1) aldehydów pochodzących z degradacji Streckera aminokwasów, tj. aldehydu octowego (średnio o 0,025 µg/g) oraz 2-metylobutanalu (średnio o 0,075 µg/g), 2) aldehydów będących produktami oksydacji kwasu oleinowego (C18:1n-9), tj. heptanal (średnio o 0,165 µg/g), oktanal (średnio o 0,47 µg/g), nonanal (średnio o 0,38 µg/g), 3) aldehydów charakterystycznych dla przemian oksydacyjnych kwasu linolowego (C18:2n-6), tj. pentanal (średnio o 0,19 µg/g), (E)-2-heptenal (średnio o 0,07 µg/g), 4) związku zawierającego siarkę i wykazującego silny aromat zbliżony do cebulowo-czosnkowego, tj. metanotolu (średnio o 0,085 µg/g). W opinii autorów związki z grupy drugiej, będące jednymi z ważniejszych w kształtowaniu cech sensorycznych wołowiny gotowanej, zwykle korzystnie oddziałują na receptory smakowo-zapachowe. W literaturze przedmiotu są one definiowane jako: owocowe, słodkie tłuszczowe, surowe oraz olejowe. Większość zidentyfikowanych związków lotnych w 28. dniu dojrzewania próżniowego mięsa istotnie wzrosła w porównaniu z dniem 7. W przypadku mięśnia ST poziom podstawowych substancji odpowiedzialnych za pozytywne nuty smakowe, takich jak oktanal oraz nonanal uległ obniżeniu, odpowiednio o: 0,22 i 0,43 µg/g. Dodatkowo w trakcie chłodniczego przechowywania w mięśniu tym obserwowano wzrost stężenia benzaldehydu z 1,04 µg/g w 7. dniu do 1,94 µg/g – w 28. Pochodna oksydacji kwasu linolenowego (C18:3n-3)

odpowiedzialna jest m.in. za niekorzystne odczucia smakowo-zapachowe, zbliżone do cech gorzkich migdałów.

Juárez i wsp. [33] ocenili jakość sensoryczną 6 elementów kulinarnych wołowiny klasy jakościowej *Canada AA* w trakcie 42-dniowego dojrzewania i wykazali w większości przypadków wzrost kruchości mięsa do 21. dnia dojrzewania chłodniczego, a następnie jego zmniejszenie. W przypadku smakowitości rostbefu, ligawy oraz łopatki obserwowali jej zmniejszenie już po 14 dniach, a w przypadku zrazowej zewnętrznej i zrazowej wewnętrznej – po 21 dniach. W dalszym okresie chłodniczego przechowywania pojawiał się obcy nieswoisty dla mięsa smak (ang. *off-flavour*). Autorzy wykazali ponadto, że podwyższenie temperatury dojrzewania wołowiny z 1 do 5 °C negatywnie wpływało na smakowitość analizowanych elementów kulinarnych przy nieznacznej tylko poprawie ich kruchości.

Yancey i wsp. [82] wykazali, że próżniowe dojrzewanie steków wołowych przez 35 dni w porównaniu do 7, 14, i 21 dni zmniejsza smakowitość wołowiny poprzez wzrost udziału smaku metalicznego, kwaśnego i zjełczałego. W trakcie pierwszych trzech pomiarów wyróżniki sensoryczne oceniane w skali 15-punktowej zawierały się w przedziałach: posmak metaliczny – 4,15 ÷ 4,17 pkt, posmak kwaśny – 2,54 ÷ 2,56 pkt, posmak zjełczały – 0,28 ÷ 0,33 pkt. W 35. dniu oceny tych cech wynosiły odpowiednio: 4,23; 2,64; i 0,37.

Generalnie, smakowitość mięsa wzrasta wraz z wydłużaniem okresu dojrzewania aż do uzyskania optimum, a następnie ulega obniżeniu [1, 2, 26, 32, 57, 83]. W efekcie, w trakcie długiego składowania chłodniczego skutkuje to wystąpieniem niepożądanego, zjełczałego smaku określanego mianem *off-flavour*. Najbardziej korzystny dla wołowiny wydaje się być 21-dniowy okres chłodniczego dojrzewania. Po tym czasie obserwuje się zwiększony udział związków odpowiedzialnych za niekorzystne zmiany smakowo-zapachowe.

Oprócz dojrzewania końcową smakowitość wołowiny kształtują również inne czynniki, zarówno hodowlane, jak i przetwórcze (wiek, rasa, płeć zwierząt, sposób żywienia, rodzaj mięśnia, metoda pakowania, zawartość tłuszczu, skład kwasów tłuszczowych, poziom żelaza i mioglobiny, pH, temperatura i dostępność tlenu w trakcie dojrzewania) [7, 26, 30, 44, 51, 82].

### Zmiany oksydacyjne

Kolejnymi zmianami odgrywającymi istotną rolę w kształtowaniu poubojowej jakości mięsa są procesy związane z utlenianiem jego składników. Przyżyciowo w tkance mięśniowej obecne są mechanizmy obronne (endogenne antyoksydanty o charakterze hydrofilowym i lipofilowym) kontrolujące procesy utleniania. Do antyoksydantów hydrofilowych zalicza się przede wszystkim enzymy (katalazę, peroksydazę glutationową, dysmutazę ponadtlenkową), dipeptydy (karnozynę i anserynę), kwas moczowy,



aminy, askorbiniany oraz selen i cynk. Składniki o charakterze nieenzymatycznym, takie jak:  $\alpha$ - tokoferol (witamina E), ubichinon, karotenoidy zaliczane są do antyoksydantów lipofilowych [50]. Substancje te wykazują działanie antyoksydacyjne również w mięśniach po śmierci zwierząt, ale wraz z postępującym procesem dojrzewania ich aktywność zmniejsza się [81]. Szereg reakcji biochemicznych zachodzących w procesie dojrzewania powoduje zaburzenie równowagi między czynnikami prooksydacyjnymi i antyoksydacyjnymi, co skutkuje nagromadzeniem się większej ilości reaktywnych form tlenu (ROS, ang. *reactive oxygen species*). Oprócz ROS w procesy utleniania składników mięsa zaangażowane są także różne reaktywne formy azotu (RNS, ang. *reactive nitrogen species*) powstające np. podczas przekształcania argininy do cytruliny w reakcjach katalizowanych przez syntazy tlenu azotu [4, 41, 55, 69].

Reakcje oksydacji lipidów, barwników hemowych i białek mięśniowych, poza mikrobiologicznym psuciem, uważane są za najważniejsze procesy wpływające na obniżenie jakości (właściwości funkcjonalnych, sensorycznych, tekstury i wartości odżywczej) mięsa w trakcie przechowywania [4, 47, 67]. W ich efekcie zmniejsza się rozpuszczalność białek, pogorszeniu ulegają smak i zapach, tworzą się wolne rodniki i inne produkty oksydacji, np. utlenione formy cholesterolu [78].

W kontekście procesów utleniania najczęściej omawiane są zmiany oksydacyjne lipidów i barwników mięśniowych. Na szybkość i kierunek utleniania tłuszczu w mięsie po uboju zwierząt wpływa wiele czynników, m.in. ilość, rodzaj i charakter lipidów, zawartość wody, obecność naturalnych pro- i antyoksydantów, rodzaj stosowanych zabiegów technologicznych oraz warunki i sposób przechowywania, np. czas, temperatura, dostępność światła i tlenu [27, 67]. Utlenianie lipidów w mięsie przechowywanym w stanie zamrożonym lub w warunkach chłodniczych jest zwykle powolne, jednak ze względu na rozpuszczalność wolnych rodników we frakcji lipidowej i ich stabilność w niskich temperaturach nie jest całkowicie zahamowane [64].

Produktami utleniania tłuszczów jest wiele związków odpowiedzialnych za powstawanie zjełczałego, niepożądanego smaku i zapachu. Należą do nich niskocząsteczkowe substancje lotne, przede wszystkim krótkołańcuchowe aldehydy oraz powstające z nich wskutek utleniania kwasy [27, 67]. Najbardziej podatne na utlenianie są wielonienasycone kwasy tłuszczowe, wchodzące głównie w skład fosfolipidów membran komórkowych. Produkty utleniania lipidów wchodzą ponadto w reakcję z innymi składnikami mięsa, powodując obniżenie jego wartości odżywczej, a niektóre z nich (4-hydroksynonenal, dialdehyd malonowy) to związki toksyczne dla człowieka [20, 55]. Stopień peroksydacji lipidów mięśniowych najpowszechniej określany jest na podstawie zawartości substancji reagujących z kwasem 2-tiobarbiturowym (tzw. wskaźnika TBARS). W badaniach Sierra i wsp. [74] wykazano istotny wpływ czasu dojrzewania na wzrost TBARS w pakowanym próżniowo mięśniem LD. W zależności od genotypu bydła wartość TBARS zawierała się w przedziale od 0,15 (w 3. dniu) do

0,39 mg MDA/kg w ostatnim, 21. dniu dojrzewania. Wskazuje się także, że mięso o większej zawartości kwasów wielonienasyconych (PUFA) w trakcie dojrzewania może również charakteryzować się wyższą wartością TBARS [74]. McKenna i wsp. [52] wykazali systematyczny wzrost wskaźnika TBARS w 19 mięśniach wołowych w czasie ich 5-dniowego przetrzymywania w warunkach sprzedaży detalicznej (niepakowanych próżniowo). W żadnym z analizowanych przypadków TBARS nie przekroczył wartości progowej 1 mg MDA/kg, związanej z pojawieniem się nieakceptowanego aromatu będącego efektem oksydacyjnego jęlczenia. Min i wsp. [56] do najważniejszych czynników wpływających na wzrost wartości TBARS surowego mięsa wołowego zaliczają ilość mioglobiny (zwłaszcza formy ferryłmioglobiny) i/lub hematyny, w mniejszym zakresie – żelazo niehemowe czy skład kwasów tłuszczowych.

Wolne rodniki pochodzące z utleniania lipidów mogą zainicjować utlenianie mioglobiny do metmioglobiny, powodując pogorszenie barwy mięsa [34]. Aldehydy pochodzące z oksydacji lipidów zwiększają ponadto utlenianie oksymioglobiny, wzmagają właściwości prooksydacyjne metmioglobiny oraz obniżają enzymatyczną zdolność redukcji metmioglobiny [49]. Procesy oksydacji lipidów i mioglobiny w mięsie są sprzężone, a obie reakcje mogą wzajemnie na siebie oddziaływać. Wskutek wyczerpania zasobów NADH w komórce, mioglobina (MbFe(II)) i oksymioglobina (MbFe(II)O<sub>2</sub>) ulegają utlenieniu do metmioglobiny (MbFe(III)), ta z kolei wchodząc w reakcje z H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tworzy wysoko reaktywne rodniki mioglobiny, tj. ferryłmioglobinę (MbFe(IV)=O) i perferryłmioglobinę (•MbFe(IV)=O), które wpływają na dynamikę procesów oksydacji lipidów [25]. Insausti i wsp. [31] podają, że mięso o większej zawartości barwników jest bardziej podatne na oksydację, a jego barwa jest mniej stabilna. Pastsart i wsp. [65] w mięśniach wołowych owiniętych w przepuszczalną dla powietrza folię obserwowali wzrost stopnia oksydacji mioglobiny. Średnie zmniejszenie wartości parametru a\* barwy między 0. a 10. dniem wyniosło 10,7, natomiast wzrost zawartości metmioglobiny (%MetMb) – 31,9 %. Wykazano ponadto, że zawartość MetMb była dodatnio skorelowana (r = 0,49) z wartością TBARS [65]. Ujemne, ale niskie wartości współczynnika korelacji wskaźnika TBARS z mioglobiną oraz parametrem a\* (odpowiednio r = -0,12 i r = -0,18) w mięsie wołowym stwierdzili z kolei McKenna i wsp. [52].

Do innych ważnych prooksydantów odznaczających się wysoką aktywnością katalityczną w produktach pochodzenia zwierzęcego należą niektóre metale, a zwłaszcza żelazo, zarówno hemowe (mioglobina, hemoglobina), jak i niehemowe. Żelazo hemowe może inicjować utlenianie lipidów zarówno w mięsie surowym, jak i ogrzewanym. Żelazo niehemowe odgrywa większą rolę w przyspieszaniu procesów utleniania lipidów w mięsie ogrzewanym [13, 27].

W ocenie jakości mięsa, poza oksydacją lipidów i barwników mięśniowych, coraz większą uwagę poświęca się zagadnieniom związanym z utlenianiem białek i enzy-

mów, zwłaszcza białek miofibrylarnych i sarkoplazmatycznych oraz kalpain. Oksydacja białek, podobnie jak tłuszczów, ma charakter rodnikowej reakcji łańcuchowej [78]. Dużą reaktywność wobec białka wykazują zwłaszcza  $\alpha,\beta$ -nienasycone aldehydy (np. 4-hydroksynonenal) pochodzące z utleniania tłuszczów [24].

Zmiany oksydacyjne zachodzące *post mortem* przyczyniają się do obniżenia właściwości funkcjonalnych białek mięśniowych. Reakcje oksydacji białek mogą przebiegać zarówno w ich szkielecie (rdzeniu), jak i w bocznych łańcuchach aminokwasów. Prowadzi to do zmian ich hydrofobowości, konformacji (zmiany w drugo- i trzeciorzędowej strukturze), rozpuszczalności (w wyniku agregacji i tworzenia kompleksów) oraz aktywności enzymatycznej. Oksydacyjne zmiany białek obniżają ich strawność, a z uwagi na straty aminokwasów egzogennych – również wartość odżywczą. Najbardziej podatne na utlenianie są tryptofan oraz aminokwasy zawierające siarkę (cysteina i metionina) [21, 46].

Zmiany oksydacyjne białek obejmują fragmentację łańcucha polipeptydowego, modyfikację bocznych łańcuchów aminokwasów, tworzenie między- i wewnątrzcząsteczkowych dwusiarczkowych wiązań sieciujących, tworzenie pochodnych karbonylowych oraz zmniejszenie udziału grup tiolowych (-SH). Związki karbonylowe, uważane za najbardziej charakterystyczne produkty oksydacji białek, pochodzą z utleniania reszt takich aminokwasów, jak: arginina, lizyna, prolina i treonina. Wiązania sieciujące (krzyżowe) bądź inne pochodne zawierające siarkę (np. kwas sulfenowy, kwas sulfinowy, sulfotlenek, pochodne disiarczkowe) tworzą natomiast utlenione reszty cysteiny i metioniny [21, 46]. Wykazano, że mięso wołowe ze względu na większą zawartość żelaza i mioglobiny, tj. związków mogących działać prooksydacyjnie, jest bardziej podatne na karbonylację białek niż mięso wieprzowe czy drobiowe (tab. 1). Na procesy utleniania zachodzące *post mortem* w tkance mięśniowej (szybkość i zakres) wpływa wiele czynników przyżyciowych związanych m.in. z rasą, płcią, sposobem żywienia, stanem immunologicznym zwierząt, ich temperamentem i umiejętnością radzenia sobie ze stresem, sposobem obchodzenia się ze zwierzętami, temperaturą otoczenia podczas transportu i uboju. Znaczący jest również wpływ czynników poubojowych związanych z prowadzonymi zabiegami technologicznymi, takimi jak: elektrostymulacja, temperatura przetrzymywania tusz, pH, czas, temperatura i dostępność tlenu podczas dojrzewania mięsa, stosowane antyoksydanty, rodzaj prowadzonej obróbki termicznej [4, 55].

### **Pakowanie próżniowe**

Ważnym elementem współczesnej dystrybucji mięsa jest wykorzystanie techniki pakowania próżniowego. Umożliwia ona ograniczenie dostępu tlenu do reaktywnych grup składników wołowiny, a tym samym ogranicza niekorzystne zmiany wywołane utlenianiem. Wykazano, że system pakowania próżniowego jest korzystniejszy w po-

równaniu z pakowaniem w modyfikowanej atmosferze (MAP), w tym również z dużą zawartością tlenu ( $\text{hO}_2$ , ang. *high oxygen*) [12, 39, 45, 81]. Stwierdzono, że steki wołowe pakowane próżniowo odznaczały się lepszą stabilnością barwy, zachowaniem witaminy E, kruchością, soczystością, a nawet w pewnym stopniu zapachem, w porównaniu z mięsem pakowanym w MAP i MAP  $\text{hO}_2$  [12, 39].

Główną zaletą stosowania technologii pakowania MAP z wysoką koncentracją tlenu ( $70 \div 80 \% \text{O}_2$ ) w sprzedaży detalicznej mięsa kulinarnego jest przede wszystkim wytworzenie i utrzymanie barwy jasnoczerwonej, pożądanej przez konsumentów, związanej z wykształceniem oksymyoglobiny. Jakkolwiek wprowadzenie do atmosfery dodatkowego  $\text{CO}_2$  ( $20 \div 30 \%$ ) przedłuża (wskutek hamowania rozwoju mikroflory) okres przechowywania mięsa, to i tak jest on znacznie krótszy niż w przypadku mięsa pakowanego próżniowo [43, 45, 53]. Wykazano, że jakość sensoryczna mięsa pakowanego w MAP  $\text{hO}_2$  była akceptowana tylko do 7. dnia dojrzewania poubojowego [45]. Pakowanie takie było zalecane dla wołowiny dojrzewającej krótko, tj. od 5 do 10 dni [43]. Podobną opinię sformułowali wcześniej Insausti i wsp. [31], którzy wykazali, że oceniana sensorycznie barwa mięsa pakowanego w systemie MAP  $\text{hO}_2$  była akceptowana tylko do 10. dnia chłodniczego przechowywania ze względu na wysokie stężenie metmyoglobiny odpowiedzialnej za brązowienie jego powierzchni. Wysokie stężenie tlenu w atmosferze przyspiesza w znacznym stopniu utlenianie składników mięsa, zwiększa sieciowanie białek oraz obniża stopień fragmentacji miofibrili. Powyższe niekorzystne zmiany łączone są z obniżeniem jakości (zwłaszcza sensorycznej) mięsa przechowywanego w MAP  $\text{hO}_2$  [12, 85]. Wzrost udziału tlenu w składzie gazowym atmosfery (w przedziale  $40 \div 80 \% \text{O}_2$ ) oraz wydłużanie chłodniczego czasu dojrzewania steków wołowych (do 12 dni) istotnie zwiększały oksydację lipidów i białek mięsniowych [86].

Clausen i wsp. [12], Lorenzo i Gómez [45] oraz Xiao i wsp. [81] twierdzą, że najskuteczniejszą metodą ograniczania zmian oksydacyjnych w okresie chłodniczego dojrzewania mięsa jest zastosowanie technologii pakowania próżniowego. Wykazano, że o ile w czasie kolejnych dni próżniowego dojrzewania mięsa wartość TBARS i stężenie grup karbonylowych wzrastają, to zmiany te są niezbyt zawansowane i z reguły nieistotne [12, 18, 45, 85].

Mankamentem metody pakowania próżniowego jest to, że po usunięciu z opakowania tlenu mioglobina w mięsie pozostaje w postaci purpurowej deoksymyoglobiny i brązowej metmyoglobiny, co ma niekorzystny wpływ na atrakcyjność wyglądu mięsa dla konsumenta. Podczas długiego chłodniczego dojrzewania mięso traci niekiedy zdolność do redukcji metmyoglobiny. W większości przypadków wołowina po wyjęciu z opakowania i ekspozycji na tlen uzyskuje jednak po pewnym czasie swoją pożądaną jasnoczerwoną barwę związaną z pojawieniem się jasnoczerwonej oksymyoglobiny

Tabela 1. Zawartość grup karbonylowych [nmol/mg białka] w mięsie różnych gatunków i kategorii zwierząt w zależności od systemu pakowania i czasu dojrzewania

Table 1. Protein carbonyl content [nmol/mg] in meat of different animal categories and species, depending on the packaging system and ageing time

Gatunek mięsa Meat species	System pakowania System packaging	Dojrzewanie [dni] Ageing [days]								Mrożenie Freezing	Źródło Refer- ence
		0 - 1	4 - 5	7 - 8	9 - 10	14 - 15	21				
Wieprzowina Pork	70 % O <sub>2</sub> /30 % CO <sub>2</sub>	1,03	0,99	1,04	-	1,1	-	-	[47]		
	Próżniowo / Vacuum	1,03	0,97	1,07	-	1,05	-	-			
Mięso indycze Turkey meat	Mięso świeże – niepakowane Fresh meat – non-packaged	-	1,72	-	1,83	-	-	-	[9, 54]		
	Próżniowo / Vacuum packed	-	-	-	-	-	2,0	-			
Mięso kurcząt Chicken meat	Folia przepuszczalna dla O <sub>2</sub> O <sub>2</sub> permeable foil	0,46	0,62	0,81	-	-	-	-	[81]		
	Próżniowo / Vacuum packed	0,37	0,44	0,63	-	-	-	-			
Mięso zrebęce Foal meat	80 % O <sub>2</sub> /20 % CO <sub>2</sub>	2,27	2,51	3,06	4,60	4,73	-	-	[45]		
	Próżniowo / Vacuum	2,27	3,04	2,76	3,39	2,65	-	-			
Jagnięcina Lamb	Mięso świeże – niepakowane Fresh meat – non-packaged	-	0,74	1,13	-	-	-	-	[66]		
	80 % O <sub>2</sub> /20 % CO <sub>2</sub>	2,0	2,2	-	2,1	-	-	-			
Wołowina Beef	Próżniowo / Vacuum packed	2,0	2,0	-	-	2,1	-	-	[42]		
	Próżniowo 5d, następnie 80 % O <sub>2</sub> /20 % CO <sub>2</sub> / Vacuum packed 5d, followed by 80 % O <sub>2</sub> /20 % CO <sub>2</sub>	-	-	-	2,1	2,5	-	-			

(tzw. kwitnienie mięsa, ang. *blooming*). Nowoczesne rozwiązania próżniowego pakowania mięsa wołowego w podwójnej folii zapewniają uzyskanie w warunkach beztlenowych jasnoczerwonej barwy pożądanej przez konsumentów, a jednocześnie wydłużoną trwałość mikrobiologiczną. Taki sposób pakowania zapobiega ponadto typowemu wyciekowi, eliminuje zatem konieczność stosowania wkładek chłonących (*soaker pad*) [11].

Wydłużenie czasu próżniowego przechowywania (do 21 dni) mięśnia *longissimus thoracis* wpłynęło na wzrost wartości parametrów barwy  $a^*$  i  $b^*$ , tzn. mięso stawało się bardziej czerwone i żółte, odcień był bardziej różowy (wyższe  $H^{\circ}$ ), a nasycenie barwy intensywniejsze (wyższe  $C^*$ ) [62][62, 63]. Z kolei Insausti i wsp. [31] w pakowanym próżniowo mięsie różnych hiszpańskich ras bydła wykazali, że w ciągu pierwszych 5 dni wartości parametrów  $L^*a^*b^*C^*$  i  $H^{\circ}$  wyraźnie wzrastały, a następnie do 15. dnia dojrzewania utrzymywały się na tym samym poziomie. Oliete i wsp. [63] dowodzą, że wzrost wartości parametru  $L^*$  podczas chłodniczego dojrzewania mięsa jest konsekwencją rozpadu linii Z, co powoduje lepsze rozproszenie światła i wrażenie jaśniejszej barwy mięsa. Wzrost wartości wyróżnika  $a^*$  związany jest natomiast z brakiem aktywności mitochondrialnego łańcucha oddechowego, w następstwie czego na powierzchni mięsa wzrasta ilość tlenu podchodzącego ze świeżo utworzonej czerwonej oksymyoglobiny.

W warunkach *post mortem* obniżenie aktywności redukującej mięsa, jak również procesy utleniania, są nieuniknione. Uwzględniając, że dojrzewanie mięsa wołowego prowadzone jest przede wszystkim w warunkach próżniowych, należy przyjąć, że reakcje oksydacji są w znacznym stopniu ograniczone. Należy także zaznaczyć, że utlenianie składników mięsa następuje szczególnie szybko w surowcu rozdrobnionym i w czasie jego przechowywania po obróbce cieplnej [13, 55].

Mięso o większej zawartości antyoksydantów jest mniej podatne na niekorzystne zmiany spowodowane utlenianiem. W związku z powyższym podejmuje się liczne badania nad wzbogaceniem mięsa w naturalne antyoksydanty. W przypadku mięsa nierozdrobnionego (zasadniczo dojrzewanie wołowiny prowadzone jest tylko w takiej postaci) jedną z głównych strategii podnoszenia jego potencjału oksydoredukcyjnego jest podawanie zwierzętom z paszą związków o charakterze antyoksydacyjnym. Szczególnie dobre efekty zaobserwowano w przypadku suplementacji dawek pokarmowych witaminą E oraz  $\beta$ -karotenem. Wykazano również, że mięso pozyskane ze zwierząt wypasanych na pastwisku (ze względu na obecność w zielonce pastwiskowej naturalnych przeciwutleniaczy) charakteryzuje się wyższą stabilnością oksydacyjną niż surowiec pozyskany ze zwierząt utrzymywanych w intensywnych technologiach, tzn. żywionych dużą ilością pasz treściwych [4, 15, 22].



## Podsumowanie

Dojrzewanie jest naturalnym procesem zachodzącym *post mortem* we wszystkich mięśniach, niezależnie od tego czy znajdują się w tuszy lub w postaci całych nieosłoniętych elementów kulinarnych, czy też pakowane są próżniowo jako pojedyncze elementy. W trakcie dojrzewania zachodzi wiele złożonych procesów, których najistotniejszym rezultatem jest wzrost kruchości oraz wykształcenie pożądanego profilu smakowo-zapachowego mięsa. Warto podkreślić, że chociaż dojrzewanie ma decydujący wpływ na zmniejszenie twardości mięsa po uboju, to proces ten nie zapewnia jednakowej i równomiernej kruchości wszystkich mięśni, bowiem wiele innych czynników przed- i poubojowych decyduje o końcowej jakości surowca.

Do najważniejszych czynników negatywnie wpływających na końcową jakość mięsa (zwłaszcza na jego kruchość i smakowitość) zaliczyć należy reakcje oksydacji składników tkanki mięśniowej. Szczególnie podatna na te niekorzystne zmiany jest wołowina, ze względu na dużą zawartość substancji potencjalnie prooksydacyjnych (nienasycone lipidy, barwniki hemowe, pierwiastki katalizujące). Odpowiednio prowadzony (najczęściej w warunkach próżniowych) proces poubojowego dojrzewania wołowiny pozwala uzyskać produkt o wysokiej jakości, tzn. o odpowiedniej kruchości i smakowitości oraz bezpieczny pod względem zdrowotnym.

## Literatura

- [1] Ba H.V., Hwang I., Jeong D., Touseef A.: Principle of meat aroma flavors and future prospect. In.: Latest research into quality control. Ed. I. Akyar. InTech, Rijeka 2012, pp. 145-175.
- [2] Ba H.V., Park K., Dashma D., Hwang I.: Effect of muscle type and vacuum chiller ageing period on the chemical compositions, meat quality, sensory attributes and volatile compounds of Korean native cattle beef. *Anim. Sci. J.*, 2014, **85**, 164-173.
- [3] Bauer F.: Free glutamic acid in meat products. *Ernahrung*, 1983, **7**, 688.
- [4] Bekhit A.E.D., Hopkins D.L., Fahri F.T., Ponnampalam E.N.: Oxidative processes in muscle systems and fresh meat: Sources, markers, and remedies. *Compr. Rev. Food Sci. F.*, 2013, **12**, 565-597.
- [5] Brewer S., Novakofski J.: Consumer sensory evaluations of aging effects on beef quality. *J. Food Sci.*, 2008, **73** (1), 78-82.
- [6] Bruce H.L., Beilken S.L., Leppard P.: Textural descriptions of cooked steaks from bovine m. longissimus thoracis et lumborum from different production and aging regimes. *J. Food Sci.*, 2005, **70**, 309-316.
- [7] Calkins C.R., Hodgen J.M.: A fresh look at meat flavor. *Meat Sci.*, 2007, **77**, 63-80.
- [8] Campbell R.E., Hunt M.C., Levis P., Chambers IV E.: Dry-aging effects on palatability of beef *longissimus* muscle. *J. Food Sci.*, 2001, **66**, 196-199.
- [9] Chan J.T.Y., Omana D.A., Betti M.: Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat. *Food Chem.*, 2011, **127**, 109-117.
- [10] Christensen M., Erbjerg P., Failla S., Sañudo C., Richardson R.I., Nute G.R., Olleta J.L., Panea B., Albertí P., Juárez M., Hocquette J.F., Williams J.L.: Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. *Meat Sci.*, 2011, **87**, 61-65.

- [11] Claus J.R., Du C.: Nitrite-embedded packaging film effects on fresh and frozen beef color development and stability as influenced by meat age and muscle type. *Meat Sci.*, 2013, **95**, 526-535.
- [12] Clausen I., Jakobsen M., Ertbjerg P., Madsen N.T.: Modified atmosphere packaging affects lipid oxidation, myofibrillar fragmentation index and eating quality of beef. *Packag. Technol. Sci.*, 2009, **22**, 85-96.
- [13] Dai Y., Lua Y., Wua W., Lu X., Han Z., Liua Y., Li X., Dai R.: Changes in oxidation, color and texture deteriorations during refrigerated storage of ohmically and water bath-cooked pork meat. *Innov. Food Sci. Emerg.*, 2014, **26**, 341-346.
- [14] DeGeer S.L., Hunt M.C., Bratcher L.C., Crozier-Dodson B.A., Johnson D.E., Stika J.F.: Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. *Meat Sci.*, 2009, **83**, 768-774.
- [15] Descalzo A.M., Sancho A.M.: A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina. *Meat Sci.*, 2008, **79**, 423-436.
- [16] Dikeman M.E., Obuz E., Gök V., Akkaya L., Stroda S.: Effects of dry, vacuum, and special bag aging; USDA quality grade; and end-point temperature on yields and eating quality of beef *Longissimus lumborum* steaks. *Meat Sci.*, 2013, **94**, 228-233.
- [17] Dolatowski Z.J., Twarda J., Dudek M.: Zmiany uwodnienia mięsa podczas dojrzewania. *Ann. UMCS, Sect. E*, 2004, **5 (94)**, 1595-1606.
- [18] Domaradzki P., Skąlecki P., Florek M., Litwińczuk A.: Wpływ przechowywania zamrażalniczego na właściwości fizykochemiczne mięsa wołowego pakowanego próżniowo. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2011, **4 (77)**, 117-126.
- [19] Epley R.J.: Aging beef. Minnesota Extension Service. University of Minnesota, St. Paul, MN, 1992, pp. 1-2.
- [20] Esterbauer H.: Cytotoxicity and genotoxicity of lipid-oxidation products. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1993, **57 (5 Suppl.)**, 779S-785S.
- [21] Estévez M.: Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Sci.*, 2011, **89**, 259-279.
- [22] Falowo A.B., Fayemi P.O., Muchenje V.: Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Res. Int.*, 2014, **64**, 171-181.
- [23] Farouk M.M., Mustafa N.M., Wu G., Krsinic G.: The "sponge effect" hypothesis: An alternative explanation of the improvement in the waterholding capacity of meat with ageing. *Meat Sci.*, 2012, **90**, 670-677.
- [24] Faustman C., Liebler D.C., McClure T.D., Sun Q.R.:  $\alpha$ ,  $\beta$ -Unsaturated aldehydes accelerate oxymyoglobin oxidation. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**, 3140-3144.
- [25] Frederiksen A.M., Lund M.N., Andersen M.L., Skibsted L.H.: Oxidation of porcine myosin by hypervalent myoglobin: The role of thiol groups. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, **56**, 3297-3304.
- [26] Gorraiz C., Beriain M.J., Chasco J., Insausti K.: Effect of aging time on volatile compounds, odor, and flavor of cooked beef from Pirenaica and Friesian bulls and heifers. *J. Food Sci.*, 2002, **67**, 916-922.
- [27] Hęś M., Korczak J.: Wpływ różnych czynników na szybkość utleniania się lipidów mięsa. *Nauka Przyr. Technol.*, 2007, **1 (1)**, 1-11.
- [28] Howard A., Lee C.A., Webster H.L.: C.S.I.R.O. Div. Food Pres. Tech., 1960, **21**, 3.
- [29] Hughes J.M., Oiseth S.K., Purslow P.P., Warner R.D.: A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Sci.*, 2014, **98**, 520-532.
- [30] Insausti K., Beriain M.J., Gorraiz C., Purroy A.: Volatile compounds of raw beef from 5 local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *J. Food Sci.*, 2002, **67 (4)**, 1580-1589.
- [31] Insausti K., Beriain M.J., Purroy A., Alberti P., Lizaso L., Hernandez B.: Colour stability of beef from different Spanish native cattle breeds stored under vacuum and modified atmosphere. *Meat Sci.*, 1999, **53**, 241-249.
- [32] Jeremiah L.E., Gibson L.L.: The effects of postmortem product handling and aging time on beef palatability. *Food Res. Int.*, 2003, **36**, 929-941.
- [33] Juárez M., Larsen I.L., Gibson L.L., Robertson W.M., Dugan M.E.R., Aldai N., Aalhus J.L.: Extended ageing time and temperature effects on quality of sub-primal cuts of boxed beef. *Can. J. Anim. Sci.*, 2010, **90 (3)**, 361-370.

- [34] Karwowska M., Dolatowski Z.J.: The effect of natural antioxidant on the oxidative processes in beef. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 2007, **6** (1), 17-25.
- [35] Kołczak T., Krzysztoforski K., Palka K.: Effect of *post-mortem* ageing, method of heating and re-heating on collagen solubility, shear force and texture parameters of bovine muscles. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2008, **58** (1), 27-32.
- [36] Kołczak T.: Jakość wołowiny. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **1** (56), 5-22.
- [37] Koutsidis G., Elmore J.S., Oruna-Concha M.J., Campo M.M., Wood J.D., Mottram D.S.: Water-soluble precursors of beef flavour. Part II: Effect of *post-mortem* conditioning. *Meat Sci.*, 2008, **79**, 270-277.
- [38] Kristensen L., Purslow P.P.: The effect of ageing on the water-holding capacity of pork: Role of cytoskeletal proteins. *Meat Sci.*, 2001, **58**, 17-23.
- [39] Lagerstedt A., Lundström K., Lindahl G.: Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef *m. longissimus dorsi* steaks after different ageing times. *Meat Sci.*, 2011, **87**, 101-106.
- [40] Laster M.A., Smith R.D., Nicholson K.L., Nicholson J.D.W., Miller R.K., Griffin D.B., Harris K.B., Savell J.W.: Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer sensory at-tribute evaluations of steaks from ribeyes, strip loins, and top sirloins from two quality grade groups. *Meat Sci.*, 2008, **80**, 795-804.
- [41] Li Y., Liu R., Zhang W., Fu Q., Liu N., Zhou G.: Effect of nitric oxide on  $\mu$ -calpain activation, protein proteolysis, and protein oxidation of pork during *post-mortem* aging. *J. Agric. Food Chem.*, 2014, **62**, 5972-5977.
- [42] Lindahl G., Lagerstedt A., Ertbjerg P., Sampels S., Lundström K.: Ageing of large cuts of beef loin in vacuum or high oxygen modified atmosphere-effect on shear force, calpain activity, desmin degradation and protein oxidation. *Meat Sci.*, 2010, **85**, 160-166.
- [43] Lindahl G.: Colour stability of steaks from large beef cuts aged under vacuum or high oxygen modified atmosphere. *Meat Sci.*, 2011, **87**, 428-435.
- [44] Litwińczuk Z., Barłowska J., Florek M., Tabała K.: Slaughter value of heifers, cows and young bulls from commercial beef production in the central-eastern region of Poland. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, 2006, **24** (2 Suppl.), 187-194.
- [45] Lorenzo J.M., Gómez M.: Shelf life of fresh foal meat under MAP, over wrap and vacuum packaging conditions. *Meat Sci.*, 2012, **92**, 610-618.
- [46] Lund M.N., Heinonen M., Baron C.P., Estévez M.: Protein oxidation in muscle foods: A review. *Mol. Nutr. Food Res.*, 2011, **55**, 83-95.
- [47] Lund M.N., Lametsch R., Hviid M.S., Jensen O.N., Skibste L.H.: High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine *longissimus dorsi* during chill storage. *Meat Sci.* 2007, **77**, 295-303.
- [48] Lundesjö Ahnström M., Seyfert M., Hunt M.C., Johnson D.E.: Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. *Meat Sci.*, 2006, **73**, 674-679.
- [49] Lynch M.P., Faustman C.: Effect of aldehyde lipid oxidation products on myoglobin. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, **48**, 600-604.
- [50] Martínez J., Nieto G., Ros G.: Total antioxidant capacity of meat and meat products consumed in a reference 'Spanish standard diet'. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2014, **49**, 2610-2618.
- [51] Maughan C., Tansawat R., Cornforth D., Ward R., Martini S.: Development of a beef flavor lexicon and its application to compare the flavor profile and consumer acceptance of rib steaks from grass- or grain-fed cattle. *Meat Sci.*, 2012, **90**, 116-21.
- [52] McKenna D.R., Mies P.D., Baird B.E., Pfeiffer K.D., Ellebracht J.W., Savell J.W.: Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Sci.*, 2005, **70**, 665-682.
- [53] McMillin K.W.: Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Sci.*, 2008, **80**, 43-65.
- [54] Mercier Y., Gatellier Ph., Viau M., Remignon H., Renner M.: Effect of dietary fat and vitamin E on colour stability and lipid and protein oxidation in turkey meat during storage. *Meat Sci.*, 1998, **48**, 301-318.

- [55] Min B, Ahn D.U.: Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products: A review. *Food Sci. Biotechnol.*, 2005, **14**, 152-163.
- [56] Min B., Nam K.C., Cordray J., Ahn D.U.: Endogenous factors affecting oxidative stability of beef loin, pork loin, and chicken breast and thigh meats. *J. Food Sci.*, 2008, **73**, 439-446.
- [57] Monsón F., Sañudo C., Sierra I.: Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Sci.*, 2005, **71**, 471-479.
- [58] Mottram D.S.: Flavor formation in meat and meat products: A review. *Food Chem.*, 1998, **62**, 415-424.
- [59] Myers A.J., Scramlin S.M., Dilger A.C., Souza C.M., McKeith F.K., Killefer J.: Contribution of lean, fat, muscle color and degree of doneness to pork and beef species flavor. *Meat Sci.*, 2009, **82**, 59-63.
- [60] Ngapo T.M., Berge P., Culioli J., Dransfield E., De Smet S., Claeys E.: Perimysial collagen cross-linking and meat tenderness in Belgian Blue double-muscling cattle. *Meat Sci.*, 2002, **61**, 91-102.
- [61] Novakofski J., Brewer M.S.: The paradox of toughening during the aging of tender steaks. *J. Food Sci.*, 2006, **71**, 473-479.
- [62] Oliete B., Carballo J.A., Varela A., Moreno T., Monserrat L., Sanchez L.: Effect of weaning status and storage time under vacuum upon physical characteristics of meat of the Rubia Gallega breed. *Meat Sci.*, 2006, **73**, 102-108.
- [63] Oliete B., Moreno T., Carballo J.A., Varela A., Monserrat L., Sánchez L.: Influence of ageing time on the quality of yearling calf meat under vacuum. *Eur. Food Res. Technol.*, 2005, **220**, 489-493.
- [64] Palka K.: The influence of *post-mortem* ageing and roasting on the microstructure, texture and collagen solubility of bovine semitendinosus muscle. *Meat Sci.*, 2003, **64**, 191-198.
- [65] Pastsart U., De Boever M., Claeys E., De Smet S.: Effect of muscle and *post-mortem* rate of pH and temperature fall on antioxidant enzyme activities in beef. *Meat Sci.*, 2013, **93**, 681-686.
- [66] Petron M.J., Raes K., Claeys E., Lourenço M., Fremaut D., De Smet S.: Effect of grazing pastures of different botanical composition on antioxidant enzyme activities and oxidative stability of lamb meat. *Meat Sci.*, 2007, **75**, 737-745.
- [67] Popova T., Marinova P., Vasileva V., Gorinov Y., Lidji K.: Oxidative changes in lipids and proteins in beef during storage. *Arch. Zoot.*, 2009, **12 (3)**, 30-38.
- [68] Purslow P.P., Archile-Contreras A.C., Cha M.C.: Meat science and muscle biology symposium: Manipulating meat tenderness by increasing the turnover of intramuscular connective tissue. *J. Anim. Sci.*, 2012, **90**, 950-959.
- [69] Santé-Lhoutellier V., Engel E., Aubry L., Gatellier P.: Effect of animal (lamb) diet and meat storage on myofibrillar protein oxidation and in vitro digestibility. *Meat Sci.*, 2008, **79**, 777-783.
- [70] Savell J.W.: Dry-aging of beef. Center for Research and Knowledge Management, National Cattleman's Beef Association, Centennial, CO, 2008, pp. 1-12.
- [71] Schäfer A., Rosenvold K., Purslow P.P., Andersen H.J., Henckel P.: Physiological and structural events *post mortem* of importance for drip loss in pork. *Meat Sci.*, 2002, **61**, 355-366.
- [72] Shahidi F.: Lipid-derived flavours in meat products. In: *Meat Processing: Improving Quality*. Eds. J. Kerry, J. Kerry, D. Ledward. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge 2002, pp. 105-121.
- [73] Shanks B.C., Wulf D.M., Maddock R.J.: Technical note: The effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef longissimus steaks across several postmortem aging periods. *J. Anim. Sci.*, 2002, **80**, 2122-2125.
- [74] Sierra V., Guerrero L., Fernández-Suárez V., Martínez A., Castro P., Osoro K., Rodríguez-Colunga M.J., Coto-Montes A., Oliván M.: Eating quality of beef from biotypes included in the PGI "Ternera Asturiana" showing distinct physicochemical characteristics and tenderization pattern. *Meat Sci.*, 2010, **86**, 343-351.
- [75] Sitz B.M., Calkins C.R., Feuz D.M., Umberger W.J., Eskridge K.M.: Consumer sensory acceptance and value wet-aged and dry-aged beef steaks. *J. Anim. Sci.*, 2006, **84**, 1221-1226.
- [76] Stenström H., Li X., Hunt M.C., Lundström K.: Consumer preference and effect of correct or misleading information after ageing beef longissimus muscle using vacuum, dry ageing, or a dry ageing bag. *Meat Sci.*, 2014, **96**, 661-666.

- [77] Takahashi K.: Structural weakening of skeletal muscle tissue during post-mortem ageing of meat: The non-enzymatic mechanism of meat tenderization. *Meat Sci.*, 1996, **43** (S), 67-80.
- [78] Ventanas S., Estévez M., Tejeda J.F., Ruiz J.: Protein and lipid oxidation in *Longissimus dorsi* and dry cured loin from Iberian pigs as affected by crossbreeding and diet. *Meat Sci.*, 2006, **72**, 647-655.
- [79] Wajda S.: Możliwości wzrostu produkcji i poprawy jakości wołowiny. *Gosp. Mięś.*, 2006, **12**, 26-29.
- [80] Warren K.E., Kastner C.L.: A comparison of dry-aged and vacuum-aged beef strip loins. *J. Muscle Foods*, 1992, **3**, 151-157.
- [81] Xiao S., Zhang W.G., Lee E.J., Ma C.W., Ahn D.U.: Effects of diet, packaging, and irradiation on protein oxidation, lipid oxidation, and color of raw broiler thigh meat during refrigerated storage. *Poult. Sci.*, 2011, **90**, 1348-1357.
- [82] Yancey E.J., Dikeman M.E., Hachmeister K.A., Chambers IV E.C., Milliken G.A.: Flavor characterization of top blade, top sirloin, and tenderloin steaks as affected by pH, maturity, and marbling. *J. Anim. Sci.*, 2005, **831**, 2618-2623.
- [83] Yancey E.J., Grobbel J.P., Dikeman M.E., Smith J.S., Hachmeister K.A., Chambers IV E.C.: Effects of total iron, myoglobin, hemoglobin, and lipid oxidation of uncooked muscles on livery flavor development and volatiles of cooked beef steaks. *Meat Sci.*, 2006, **73** (4), 680-686.
- [84] Yim D., Jo C., Kim H., Cha J., Kim H.C., Nam K.: Combined effect of irradiation and ageing condition on physicochemical and microbial quality of Hanwoo eye of round. *Korean J. Food Sci. An.*, 2015, **35** (3), 406-412.
- [85] Zakrys P.I., Hogan S.A., O'Sullivan M.G., Allen P., Kerry J.P.: Effects of oxygen concentration on the sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere. *Meat Sci.*, 2008, **79**, 648-655.
- [86] Zakrys-Waliwander P.I., O'Sullivan M.G., Allen P., O'Neill E.E., Kerry J.P.: Investigation of the effects of commercial carcass suspension (24 and 48 h) on meat quality in high oxygen modified atmosphere packed beef steaks during chill storage. *Food Res. Int.*, 2010, **43**, 277-284.

#### CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF BEEF MEAT DEPENDING ON ITS AGEING CONDITIONS

##### S u m m a r y

In terms of nutritional value beef is a very valued variety of meat. In order to obtain a high culinary value, this raw material requires treatments to develop desirable sensory properties of meat. The quality characteristics of beef are substantially improved during a reasonably long period of ageing, which is a natural process that takes place in each muscle of the carcass after a *rigor mortis* phase. Beef has been aged in cold storage conditions for over a century. Dry or wet ageing are currently used on an industrial scale. They are carried out either intentionally (with a target set) or incidentally as one of the elements of meat distribution and sales. The paper presents various methods and conditions of beef ageing (including packaging) and their effect on the quality properties of meat (water-holding capacity, tenderness, and palatability). In addition to the unquestionably positive aspects of post-slaughter ageing of beef, those processes are also shown, which may negatively affect the final meat quality, mainly because of the oxidation of muscle tissue components (lipids, pigments, and proteins). When conducted properly (usually under the vacuum conditions), the post-mortem ageing process of beef meat makes it possible to obtain a product of high quality, i.e. properly tender and palatable as well as safe in terms of health. The analysis of the reference literature available shows that the culinary beef meat achieves its full sensory values in the third week of ageing at 2 ÷ 4 °C.

**Key words:** beef, ageing, oxidation, packaging systems ☒