

TADEUSZ KOŁCZAK

JAKOŚĆ WOŁOWINY

Streszczenie

Głównym przeznaczeniem użytkowym wołowiny jest mięso kulinarne. W ocenie konsumenckiej jakość wołowiny w punkcie sprzedaży określają: barwa, ilość widocznego tłuszczu, konsystencja i zapach. O właściwościach kulinarnych wołowiny przeznaczonej do obróbki cieplnej decydują kruchość i smakowitość. Omówiono czynniki wpływające na wartość odżywczą wołowiny, jej barwę, kruchość i smakowitość. Na wymienione cechy jakościowe mają wpływ zarówno naturalne różnice między mięśniami, wynikające z ich funkcji fizjologicznej i budowy, jak również działania podejmowane przez producentów (hodowców, dostawców zwierząt) i technologów.

Słowa kluczowe: wołowina, wartość odżywcza, barwa, kruchość, smakowitość

Wprowadzenie

Jakość żywności określają: wartość odżywcza, bezpieczeństwo zdrowotne i akceptacja konsumencka. Pod względem użytkowym wołowina przeznaczana jest przede wszystkim na mięso kulinarne. W ocenie konsumenckiej jakość wołowiny w punkcie sprzedaży określa barwa, ilość widocznego tłuszczu (marmurkowatość), konsystencja i zapach [30]. O właściwościach kulinarnych wołowiny przeznaczonej do obróbki cieplnej decydują natomiast kruchość i smakowitość [56]. W przeciwieństwie do wieprzowiny, której głównym przeznaczeniem użytkowym są przetwory mięsne, zmienność wodochłonności wołowiny jest mała i nie odgrywa większej roli przy jej ocenie jako surowca kulinarnego i przerobowego.

Na wymienione cechy jakościowe wpływ mają zarówno naturalne różnice między mięśniami związane z ich funkcją fizjologiczną i budową, jak i czynności związane z chowem, transportem oraz przetwórstwem.

Obecne tendencje w dystrybucji kulinarnego mięsa wołowego zmierzają do przekazywania do obrotu elementów mięsnych (konfekcjonowanych lub nie) złożonych z tych samych anatomicznie mięśni szkieletowych. Znajomość czynników wpływają-

cych na właściwości jakościowe różnych mięśni szkieletowych tuszy bydłowej ma duże znaczenie z punktu widzenia doboru warunków i czasu składowania mięsa po uboju oraz wyboru optymalnych metod jego przygotowania (ogrzewania) kulinarnego.

Omówiono czynniki wpływające na wartość odżywczą wołowiny, jej barwę, kruchość i smakowość.

Wartość odżywcza

O wartości odżywczej wołowiny decydują zawartość i skład białka oraz tłuszczu śródmięśniowego. Zawartość białka w wołowinie kulinarnej kształtuje się na poziomie 18 - 23%, tłuszczu śródmięśniowego poniżej 5%. Udział węglowodanów i produktów ich rozkładu w wołowinie jest mniejszy niż 1%, a składników mineralnych około 1%. Mięso wołowe, zawiera więcej przyswajalnego żelaza niż mięso innych gatunków zwierząt rzeźnych.

Wartość biologiczną i odżywczą białka mięsa determinuje zawartość śródmięśniowej tkanki łącznej. Morfologia, skład i ilość śródmięśniowej tkanki łącznej zmieniają się w zależności od typu mięśnia, rasy i wieku zwierzęcia [65]. Duże różnice w cenie wołowych elementów kulinarnych, np. steków z polędwicy czy goleni, będące odzwierciedleniem konsumenckiej preferencji jakościowej, wynikają głównie z różnej zawartości śródmięśniowej tkanki łącznej.

Głównym składnikiem śródmięśniowej tkanki łącznej jest kolagen, który nie zawiera tryptofanu, a aminokwasy siarkowe występują w niewielkich ilościach. Unikalnym składnikiem aminokwasowym kolagenu jest hydroksyprolina, stanowi ona 13–14% masy kolagenu i nie występuje w innych białkach organizmu zwierząt. Na podstawie zawartości hydroksyproliny w hydrolizatach białkowych mięsa określa się zwykle zawartość kolagenu. Poziom kolagenu w mięśniach bydłowych waha się od 1 do 15% suchej masy [3]. Innym białkiem śródmięśniowej tkanki łącznej o niskiej wartości biologicznej jest elastyna, jej zawartość w mięśniach bydłowych wynosi od 0,6 do 3,7% suchej masy [7]. Niska wartość biologiczna wymienionych białek łącznotkankowych oraz obniżona ich strawność wpływają na mniejszą wartość odżywczą elementów kulinarnych wołowiny o wysokiej zawartości śródmięśniowej tkanki łącznej. Wartość odżywcza mięsa istotnie się obniża, gdy stosunek azotu tkanki łącznej do azotu ogólnego tkanki mięśniowej jest większy niż 1 [43].

Tłuszcz śródmięśniowy wołowiny złożony jest w przybliżeniu w 44% z kwasów tłuszczowych nasyconych (SFA), w 46% z kwasów tłuszczowych jednonienasyconych (MUFA) oraz w 10% z kwasów tłuszczowych wielonienasyconych (PUFA). Dominującymi w wołowinie SFA są kwasy 14:0, 16:0 i 18:0. Dominującym MUFA w wołowinie jest kwas oleinowy (18:1n-9). W wołowinie występują także izomery *cis* i *trans* kwasu 18:1. Kwasy linolowy (18:2) i linolenowy (18:3) są dominującymi w wołowinie PUFA. Stosunek PUFA:SFA w wołowinie jest stosunkowo niski i wynosi około 0,25.

Porównując skład kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego wołowiny w okresie ostatnich 50 lat [43, 82] można zauważyć, że zawartość SFA uległa zmniejszeniu, natomiast poziom PUFA zwiększył się prawie 2,5-krotnie. Zmiany w składzie kwasów tłuszczowych wołowiny można łączyć ze wzrostem mięsności bydła rzeźnego. W mięśniach bydła podwójnie umięśnionego, o niskiej zawartości tłuszczu śródmięśniowego (<1%), stosunek PUFA:SFA jest wysoki i waha się w zakresie 0,5–0,7 [67]. Wzrost zawartości PUFA w tłuszczu śródmięśniowym bydła wynika prawdopodobnie ze zmniejszenia się zawartości lipidu obojętnego i względnego wzrostu zawartości tłuszczu strukturalnego (fosfolipidowego) w ogólnym tłuszczu mięsa. Nie można wykluczyć, że obserwowane różnice w składzie kwasów tłuszczowych wołowiny wynikają z postępu w metodyce analitycznej, wyższej wykrywalności i ilościowej ocenie szczególnie długołańcuchowych PUFA.

Stosunek kwasów n-6:n-3 w PUFA wołowiny jest <3 [72]. Głównymi PUFA n-3 w wołowinie są kwasy α -linolenowy (18:3n-3) i długołańcuchowe eikozapentaenowy (20:5n-3) oraz dokozapentaenowy (22:5n-3) [82]. W wołowinie głównym izomerem sprzężonego kwasu linolowego (CLA) jest *cis*-9, *trans*-11, reprezentujący 72–90% ogólnego poziomu CLA.

FAO i WHO zalecają, aby stosunek PUFA : SFA w diecie człowieka wynosił 0,45, a stosunek kwasów n-6:n-3 był zbliżony do 5,0. Z danych porównawczych wynika, że zawartość SFA w tłuszczu wołowym jest za wysoka, a stosunek PUFAn-6:PUFAn-3 jest bardziej korzystny niż w zapotrzebowaniu dietetycznym człowieka.

Strategia w chowie i żywieniu bydła rzeźnego powinna być ukierunkowana na zmniejszenie w tłuszczu wołowym SFA i/lub zwiększenie kwasów PUFA, szczególnie serii n-3. Również korzystne będzie zwiększenie zawartości CLA, głównie izomeru *cis*-9, *trans*-11. Możliwości genetyczne regulacji składu kwasów tłuszczowych tłuszczu wołowego są niewielkie. Natomiast można uzyskać istotne zmiany w składzie kwasów tłuszczowych wołowiny stosując w żywieniu bydła: 1) dodatek pasz bogatych w nienasycone kwasy tłuszczowe, 2) pasze bogate w prekursory serii n-3 PUFA (18:3n-3), 3) ochronę nienasyconych kwasów tłuszczowych paszy przed uwodornieniem w żwaczu [73]. Zwiększenie udziału PUFA w składzie tłuszczu śródmięśniowego może jednak prowadzić do zmniejszenia trwałości wołowiny w czasie jej składowania poubojowego i dystrybucji (szybsza autooksydacja tłuszczu, zmniejszona trwałość barwy) oraz pogorszenia jej smakowitości [74].

Barwa

Barwa mięsa wołowego jest uważana za najważniejszą cechę jakościową, bowiem jeśli nie będzie ona akceptowana przez nabywcę, wszystkie pozostałe cechy jakościowe mięsa oceniane wzrokowo tracą znaczenie [21]. Niekorzystne zmiany barwy mię-

sa w procesie dystrybucji przynoszą w skali globalnej duże straty finansowe, sięgające w USA ponad 100 milionów dolarów rocznie [81].

Świeża wołowina powinna mieć barwę jasnoczerwoną. Barwa mięsa zależy od stężenia i formy chemicznej podstawowego barwnika hemowego, którym jest mioglobina. Inne hemoproteidy, takie jak hemoglobina, czy cytochrom „c” odgrywają też pewną, acz niewielką, rolę w kształtowaniu barwy wołowiny [32]. Na poziom mioglobiny w mięśniach szkieletowych bydła mają wpływ rasa i wiek zwierząt oraz ich aktywność fizyczna w okresie przyżyciowym. Mięśnie krów rzeźnych zawierają więcej mioglobiny niż mięśnie jałówek, buhajków czy walców. Mięśnie walców zawierają więcej barwnika niż mięśnie cieląt. Mięśnie bydła chowanego na pastwisku mają więcej mioglobiny niż bydła chowanego alkierzowo, czy żywionego mieszankami paszowymi. Stale aktywny mięsień w okresie przyżyciowym (np. przepona) ma więcej mioglobiny niż mięsień mniej aktywny (np. najdłuższy grzbietu). Zawartość mioglobiny w mięśniach złożonych z czerwonych włókien mięśniowych jest większa niż w mięśniach złożonych z białych włókien mięśniowych. Poziom mioglobiny w mięśniach bydła wynosi: cielęta – 1–3 mg/g; młode bydło rzeźne – 6–10 mg/g, krowy rzeźne – 16–20 mg/g tkanki [8].

Mioglobina w świeżym mięsie występuje w trzech formach redoks, jako: dezoksymioglobina (DMb), oksymioglobina (OMb) i metmioglobina (MMb). Forma barwnika zależy od obecności ligandu połączonego z atomem żelaza hemu i wartościowości żelaza. Forma DMb jest barwnikiem purpurowo-czerwonym, występuje wówczas, gdy żelazo hemu nie zawiera ligandu przy szóstym wiązaniu koordynacyjnym i jest w postaci żelazawej (Fe^{2+}). W świeżym mięsie tylko bardzo niskie ciśnienie parcjalne tlenu ($<1,4$ mm Hg) pozwala zachować barwnik w postaci DMb [2]. W obecności tlenu DMb ulega spontanicznemu utlenowaniu do OMb. Tlen cząsteczkowy w OMb wiąże się z szóstym wiązaniem koordynacyjnym żelaza hemu, żelazo hemu jest w postaci żelazawej, dystalna histydyna-64 części globinowej barwnika wiąże się z podłączonym do hemu tlenem, co zmienia układ przestrzenny barwnika i jego stabilność, barwnik ma odcień jasno-różowo-czerwony. Gdy obie żelazawe pochodne mioglobiny zostaną utlenione do formy żelazowej (Fe^{3+}) barwnik ulega przemianie w formę MMb o brunatnej barwie. MMb jest najbardziej niepożądaną formą barwnika hemowego w mięśniach szkieletowych zwierząt.

W świeżym mięsie wzajemny stosunek wymienionych trzech form mioglobiny (DMb, OMb, MMb) i barwa mięsa zależą od ciśnienia parcjalnego tlenu i aktywności redukującej mięsa. Niezależnie od ciśnienia tlenu zachodzi stałe przekształcanie mioglobiny w formę MMb, a aktywność redukująca mięsa pozwala zredukować barwnik do formy OMb (w obecności tlenu) lub DMb (przy braku tlenu).

Ciśnienie parcjalne tlenu, szybkość jego wykorzystania w procesie oddychania wewnątrzkomórkowego oraz zdolność mięsa do redukcji MMb odgrywają podstawową rolę w kształtowaniu barwy mięsa i jej trwałości w czasie składowania i dystrybucji.

Zawartość tlenu w mięśniach w okresie poubojowym zależy od aktywności enzymów cyklu oddechowego i szybkości wykorzystania tlenu. Tlen jest bezpośrednio dostępny na powierzchni mięsa, dlatego też powierzchnia mięsa świeżego, gdy obecne są substancje redukujące i zachowana zdolność do redukcji MMb, ma jasnoczerwoną barwę wywodzącą się od OMb. W okresie poubojowym enzymy łańcucha oddechowego są przez długi czas aktywne i wykorzystują tlen. Szybkie opróżnianie tlenu zachodzi w warstwach głębokich mięsa, a ich typowa barwa ma odcień purpurowo-czerwony wywodzący się od DMb. Tlen może jednak dyfundować na pewną głębokość z warstw powierzchniowych. Ustala się równowaga między szybkością dyfuzji tlenu, jego wykorzystaniem i przemianą barwników hemowych mięsa [12].

Różne mięśnie tej samej tuszy i te same anatomicznie mięśnie różnych gatunków zwierząt charakteryzują się zmienną aktywnością enzymów oddechowych i różną zdolnością dyfuzji tlenu. Dlatego też barwa powierzchni mięsa i regionów podpowierzchniowych zmienia się podczas jego składowania z różną intensywnością. Wartość współczynnika dyfuzji tlenu w mięsie zmniejsza się w mniejszym stopniu z obniżaniem temperatury niż aktywność oddechowa [12]. Dlatego też barwa mięsa na jego przekroju pozostaje przez dłuższy czas jaśniejsza podczas przechowywania mięsa w niższych zakresach temperatury.

Utlenianie DMb i OMb do MMb zachodzi w warunkach niskiego ciśnienia parcjalnego tlenu i jest wzmagane przez wszystkie czynniki, które powodują denaturację globiny oraz w warunkach nie funkcjonowania mechanizmu redukującego MMb. Tworzenie się MMb jest maksymalne, gdy ciśnienie parcjalne tlenu wynosi około 4 mm Hg [2]. Czynniki denaturującymi część globinową mioglobiny są niskie pH, podwyższone stężenie soli, promieniowanie ultrafioletowe.

MMb jest redukowana przez układ redukujący mięśnia obejmujący: enzym (reduktaza MMb zależna od NADH i cytochromu b_5), związek pośredni (cytochrom b_5) oraz koenzym (NADH). Procesy redukcji MMb mogą zachodzić zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych. Mechanizmy redukcji MMb w warunkach tlenowych i beztlenowych są różne. Funkcją reduktazy zależnej od NADH i cytochromu b_5 jest przeniesienie dwóch elektronów z NADH na dwie cząsteczki cytochromu b_5 [77]. Zredukowany cytochrom b_5 przenosi elektrony na różnego typu akceptory, którym w mięsie jest również MMb, ulegając redukcji do żelazawej mioglobiny. W mięśniach reduktaza MMb umiejscowiona jest w błonach plazmatycznych mitochondrium, retikulum sarkoplazmatycznego, jąder komórkowych, aparatu Golgiego [5].

Ledward [44] sądzi, że aktywność reduktazy MMb jest najważniejszym czynnikiem odpowiedzialnym za stabilizację barwy mięsa w okresie poubojowym. Mięśnie

tej samej tuszy bydlęcej różnią się pod względem aktywności reduktazy MMb [22, 54]. Również istotne różnice aktywności reduktazy MMb obserwuje się między tymi samymi mięśniami różnych gatunków zwierząt [5, 68]. Wyższa aktywność fizyczna zwierzęcia w okresie przyżyciowym zwiększa aktywność reduktazy MMb w mięśniach w okresie poubojowym [5].

Aktywność reduktazy MMb w mięśniach bydła jest najwyższa w zakresie temperatury 30 - 37°C [6, 20]. Procesy utleniania lipidów zmniejszają aktywność reduktazy MMb, natomiast wyższy poziom przeciwutleniaczy zwiększa jej aktywność w mięśniach [60]. Mięso przetrzymywane w świetle ma mniejszą zdolność redukcji MMb niż przetrzymywane w ciemności [83].

Jest ogólnie przyjęte, że aktywność układu redukującego MMb obniża się w czasie składowania poubojowego mięsa, większy spadek aktywności redukującej obserwuje się podczas składowania mięsa w wyższej temperaturze [5, 50, 83]. W kilku badaniach obserwowano jednak wzrost aktywności układu redukcyjnego MMb podczas chłodniczego przechowywania mięsa [6, 23]. Według Echevarne'a i wsp. [20] ubytek NADH podczas składowania mięsa jest głównym czynnikiem ograniczającym szybkość redukcji MMb w mięsie. Sugeruje się, że zwiększona aktywność układu redukującego MMb podczas dojrzewania chłodniczego mięsa może być wynikiem przemieszczania się reduktazy pochodzenia strukturalnego do sarkoplazmy [5]. Niektórzy autorzy [4] sądzą, że wzrost wolnych jonów Ca^{2+} i zwiększone uwalnianie cytochromu c do sarkoplazmy podczas składowania mięsa może być przyczyną wzrastającej aktywności reduktazy MMb w mięsie podczas jego dojrzewania. Również zastosowana metoda pomiaru aktywności reduktazy MMb może mieć istotny wpływ na uzyskane wyniki [5].

Według kilku badaczy rola aktywności redukującej mięsa w stabilizowaniu jego barwy jest ograniczona [20, 61, 69]. Według Rennerre i Labasa [69] zmniejszająca się zdolność redukcji MMb podczas składowania mięsa jest rezultatem zmniejszenia stężenia substratów i koenzymów, straty strukturalnej integralności i właściwości funkcjonalnych mitochondrium oraz obniżenia pH we wczesnym okresie poubojowym.

Mięśnie bydlęce różnią się stabilnością barwy podczas poubojowego składowania chłodniczego [54]. Z mięśni tuszy wołowej najbardziej stabilny pod względem barwy jest *m. longissimus dorsi*, mniej stabilny *m. semimembranosus*, mało stabilny *m. gluteus medius*, najmniej stabilny *m. psoas major*.

Oświetlenie stosowane do wzrokowej oceny barwy mięsa ma istotny wpływ na akceptację konsumencką mięsa. Celem zminimalizowania stopnia fotooksydacji zaleca się, aby oświetlenie jarzeniowe podczas ekspozycji mięsa wynosiło 1614 luksów. Należy unikać lamp oświetleniowych dających odcień różowy, niebieski lub zielony [51].

Obecnie istnieje wiele możliwości oceny instrumentalnej i analizy barwy mięsa. Dostępnych jest kilka typów kolorymetrów i spektrofotometrów. Aparaty oferują różne

opcje, które umożliwiają oceniającemu wybór: 1) systemu oceny (Hunter, CIE, XYZ), 2) rodzaju oświetlenia, 3) kąta pomiaru, 4) wielkości apertury. Zastosowano również komputerową analizę obrazu uzyskanego przy użyciu kamery cyfrowej do pomiaru barwy mięsa [48, 62]. W porównaniu z pomiarem barwy przy użyciu kolorymetru, komputerowa analiza obrazu zapisanego w formacie jpg pozwala ocenić: a) barwę mięsa na podstawie pojedynczego obrazu całej powierzchni mięsa, b) formy redoks mioglobiny na powierzchni mięsa, c) przetworzyć obraz na różne systemy pomiaru [62].

Kruchość

Kruchość mięsa jest najważniejszą cechą jakościową w doustnej ocenie konsumentekiej. Wrażenie kruchości w czasie spożywania mięsa odbierane jest jako:

- łatwość, z jaką mięso może być rozdrabniane w początkowym okresie nagryzania,
- łatwość, z jaką mięso może być rozdrabniane na cząstki w czasie żucia,
- odczucie pozostałości reszty po żuciu, głównie jej wielkość i charakter.

Każde z wyżej wymienionych odczuć sensorycznych może być oceniane oddzielnie, odzwierciedlają one bowiem inne właściwości mięsa.

Istnieje wiele metod instrumentalnego pomiaru kruchości. Wyniki uzyskiwane za ich pomocą powinny korelować z doustną oceną kruchości, nie są one jednak jednoznaczne. Wśród metod fizycznych stosowane są takie, których podstawą jest pomiar siły koniecznej do przecięcia, penetracji, oderwania, zmielenia, ściśnięcia lub rozerwania kawałka mięsa. Najczęściej kruchość instrumentalnie ocenia się na podstawie wielkości siły wymaganej do przecięcia kawałka mięsa prostopadle do przebiegu włókien mięśniowych, określając tzw. wartość szerometryczną. Jednak korelacja między kruchością ocenianą sensorycznie i wartością szerometryczną nie jest wysoka [65].

Kruchość mięsa jest uzależniona od struktury dwóch podstawowych składników białkowych mięśnia, białek śródmięśniowej tkanki łącznej i białek miofibryli. Ich oddziaływanie na kruchość zależy od rodzaju mięśnia, jego składu i struktury oraz metody i temperatury ogrzewania.

Ilość, skład i rozmieszczenie śródmięśniowej tkanki łącznej są najbardziej widocznymi i wymiernymi fenotypowymi różnicami między mięśniami tuszy zwierzęcej. Choć śródmięśniowa tkanka łączna stanowi stosunkowo niewielki składnik masy mięśniowej, jej wpływ na kruchość mięsa jest niewspółmiernie duży [13, 14, 29, 46, 52]. Skład i struktura śródmięśniowej tkanki łącznej oraz ich wpływ na teksturę i kruchość mięsa zostały omówione w kilku opracowaniach przeglądowych [3, 9, 53, 65]. Nawet niewielkie zmiany w jej strukturze i właściwościach oddziałują istotnie na końcowe cechy jakościowe mięsa. Wraz z fizjologicznym wiekiem bydła kruchość mięsa zmniejsza się, chociaż ilość śródmięśniowej tkanki łącznej w mięśniach maleje [36]. Różnice w kruchości mięsa bydła do wieku 40 miesięcy są znaczne, natomiast

zmiany kruchości mięsa bydła starszego niż 40 miesięcy są niewielkie. Z wiekiem bydła wzrasta mechaniczna stabilność oraz odporność termiczna śródmięśniowej tkanki łącznej; są one bezpośrednio odpowiedzialne za zmniejszającą się z wiekiem zwierząt kruchość mięsa [3, 53]. W produkcji bydła rzeźnego powinno dążyć się do zminimalizowania zmienności ilości i właściwości kolagenu śródmięśniowego oraz tekstury (w tym kruchości) tego samego anatomicznie mięśnia bydła tej samej rasy, o podobnej dojrzałości somatycznej [63, 76]. Wówczas o różnicach kruchości mięsa wołowego będą decydowały: postępowanie z tuszą w okresie poubojowym oraz zastosowana metoda obróbki termicznej mięsa.

Podczas przechowywania mięsa po stężeniu pośmiertnym w temperaturze wyższej od punktu zamarzania zachodzą w nim procesy określane mianem dojrzewania [17, 34]. W czasie dojrzewania mięsa wzrasta jego kruchość oraz wykształcają się pożądane cechy smakowitości. W okresie poubojowego dojrzewania mięsa zachodzą istotne zmiany zarówno w strukturze i właściwościach śródmięśniowej tkanki łącznej, jak i w strukturze oraz właściwościach włókien mięśniowych, będące efektem endogennej proteolizy.

Objawem proteolizy tkanki łącznej w okresie poubojowym są zwiększająca się rozpuszczalność kolagenu, zmiany właściwości mechanicznych omięsnej wewnętrznej (*perimysium*) i składzie proteoglikanów [35, 45, 57, 58, 59, 65]. Przyczyną zmian strukturalnych tkanki łącznej jest prawdopodobnie aktywność enzymów katepsynowych uwalnianych w okresie poubojowym z lizosomów [18, 70]. Według Boutona i Harrisa [10], Lewisa i wsp. [45] oraz Pursłowa [65] zmiany właściwości śródmięśniowej tkanki łącznej, jakie zachodzą podczas poubojowego dojrzewania mięsa, oddziałują na właściwości mechaniczne mięsa nieogrzanego, lecz nie mają bezpośredniego wpływu na twardość i kruchość mięsa po jego ogrzaniu do temperatury 60°C i wyższej.

Zmiany podczas dojrzewania mięsa w strukturze miofibryli obejmują rozpad linii granicznych Z sarkomerów, rozpad proteolityczny białek cytoszkietowych stabilizujących układ przestrzenny grubych i cienkich filamentów oraz rozkład niektórych białek regulacyjnych miofibryli [37, 38, 40, 41, 49, 71, 79]. Przyczyną zmian proteolitycznych białek cytoszkietowych i regulacyjnych miofibryli jest aktywność endogennej proteazy sarkoplazmatycznej zwanej kalpainami [25, 39, 41, 47]. Układ kalpainowy jest złożony z kilku form izomerowych proteaz cysteinowych – kalpain (EC 3.4.22.17) zależnych od stężenia jonów wapnia oraz ich specyficznego inhibitora kalpastatyny [26, 79]. W mięśniach szkieletowych zwierząt zidentyfikowano dotychczas 9 form izomerowych kalpaina. Najlepiej scharakteryzowanymi kalpainami są: kalpaina 1 (μ -kalpaina) aktywowana w obecności 50–100 μM Ca^{2+} i kalpaina 2 (m-kalpaina) aktywowana w obecności 1–2 mM Ca^{2+} . W warunkach nie funkcjonowania pompy wapniowej, co ma miejsce kiedy mięsień wchodzi w stan *rigor*, poziom Ca^{2+} w sarkopla-

zmie osiąga stężenie, które jest wystarczające do aktywacji obu kalpain. Wymienione kalpainsy 1 i 2 mają optimum aktywności w pH 7,0, wykazują jednak niewielką aktywność w pH < 6,0, które jest typowe dla końcowego pH mięsa wołowego po stężeniu pośmiertnym [33]. Obie wymienione kalpainsy są rozkładane w mięśniach w okresie poubojowym, a trwałość kalpainsy 2 jest większa niż kalpainsy 1 [64]. Przypuszcza się, że poubojowy rozkład proteolityczny białek cytoszkieletowych włókien mięśniowych związany jest głównie z aktywnością kalpainsy 1.

Kalpastatyna jest endogennym inhibitorem kalpain w włóknie mięśniowym [39]. Kalpastatyna, hamując aktywność kalpain, jest w znacznym stopniu odpowiedzialna za proces kruszenia mięsa podczas jego dojrzewania [47, 80]. Aktywność kalpastatyny jest inna w różnych mięśniach tej samej tuszy zwierzęcej i w znacznym stopniu odpowiada za różnice w szybkości degradacji białek cytoszkieletowych mięśnia w okresie poubojowym [55]. Aktywność kalpastatyny w 24 h po uboju pozwala ocenić jaka będzie szybkość procesu kruszenia mięśni w okresie dojrzewania chłodniczego i końcowa kruchość mięsa [64]. W kilku badaniach wykazano polimorfizm genowy kalpastatyny u zwierząt rzeźnych [15, 16, 64]. Różnice w układzie genowym odpowiedzialnym za aktywność kalpainsy 1 i kalpastatyny pozwalają przewidzieć jaka będzie szybkość procesu kruszenia mięsa podczas dojrzewania poubojowego. Znane są markery w genotypach kalpainsy 1 i kalpastatyny, które pozwalają zidentyfikować bydło mięsne, którego mięso będzie charakteryzować się wysoką kruchością [15]. Rasy bydła wywodzące się z *bos indicus*, których mięso charakteryzuje się mniejszą kruchością, wykazują wysoką aktywność kalpastatyny w mięśniach szkieletowych [80]. Selekcja bydła prowadzona w kierunku wysokiej aktywności kalpainsy 1 i/lub niskiej aktywności kalpastatyny w mięśniach szkieletowych może być jedną z metod hodowlanych produkcji bydła rzeźnego charakteryzującego się szybkim procesem dojrzewania poubojowego i wysoką kruchością mięsa.

Zależnie od temperatury, w jakiej są przetrzymywane tusze po uboju, szybkość poubojowego dojrzewania mięsa wołowego jest różna. Dojrzewanie (kruszenie) mięsa jest szybsze w wyższej temperaturze [78]. Również szybkość dojrzewania różnych mięśni tej samej tuszy jest inna. Czas dojrzewania mięśni o przewadze białych włókien mięśniowych jest krótszy niż mięśni o większej proporcji czerwonych włókien mięśniowych [1, 18, 66]. Mięsień *m. semitendinosus* osiąga optymalną kruchość w 12. dniu przechowywania tuszy wołowej w temp. 4°C [78], podczas gdy mięśnie *m. psoas major*, *m. infraspinatus* i *m. serratus ventralis* osiągają optymalną kruchość już w 6. dniu dojrzewania w tej temperaturze [37, 82].

Wielkość skurczu izotonicznego mięśni bydła, jaka ma miejsce w okresie rozwoju *rigor*, ma bardzo duży wpływ na końcową kruchość mięsa po okresie dojrzewania chłodniczego [34]. Mięśnie, które uległy skróceniu w okresie *rigor*, zwiększają swoją kruchość podczas dojrzewania chłodniczego. Po dojrzewaniu chłodniczym pozostają

znaczne różnice w kruchości mięsa uzależnione od rozmiaru skrócenia w okresie *rigor*. Minimalne skrócenie mięśni ma miejsce wówczas, kiedy mięśnie wchodzi w stan *rigor* w zakresie temp. 15–20°C.

Szybkość spadku pH w mięśniach zwierząt w okresie poubojowym jest zależna od ilości adrenaliny uwalnianej w okresie przedubojowym. Podwyższony poziom adrenaliny u świń w okresie uboju zwiększa aktywność kalpastatyny i hamuje aktywność kalpajny 1 oraz proces poubojowego kruszenia mięsa wieprzowego o cechach jakościowych charakterystycznych dla mięsa PSE [64, 75]. Przyczyny wymienionych zależności nie są znane. Wpływ przedubojowego stresu u bydła na aktywność enzymów odpowiedzialnych za proces poubojowego kruszenia mięsa wołowego nie został określony. Długotrwały stres i silne zmęczenie w okresie transportu oraz głodówka przedubojowa mogą być przyczyną ograniczonej poubojowej glikolizy w mięśniach bydła i wystąpienia cech jakościowych charakterystycznych dla mięsa DFD, które charakteryzuje się szybkim procesem poubojowego kruszenia i korzystną kruchością. Przyczyną może być wysokie pH, które sprzyja wyższej aktywności enzymów proteolitycznych (w tym kalpain) w mięśniach szkieletowych bydła [39].

Smakowitość

Smakowitość jest cechą sensoryczną mięsa, na którą składają się odczucia smakowe i zapachowe oraz inne wrażenia czuciowe (m.in. konsystencji, temperatury, kwasowości). Pozytywny lub negatywny stosunek do rozprowadzanego w jamie ustnej pokarmu jest wynikiem głównie odczucia zapachu, a w mniejszym stopniu odczucia smaku. Jeśli wpływ zapachu zostanie wyeliminowany wówczas o wiele trudniej rozróżnić smak różnego typu produktów mięsnych. Reakcja na zapach jest ponad 10 000 razy silniejsza niż na smak. Głównymi odczuciami w ocenie smaku pokarmu są: gorzkość, słodkość, kwasność i słoność. W odczuciu smaku można także wyróżnić wrażenie metaliczne lub alkaliczne. Japończycy wyróżniają jeszcze tzw. smak umami, odpowiadający smakowi glutaminianu jednosodowego.

Surowa tkanka mięśniowa jest głównie źródłem prekursorów smakowitości i tylko w niewielkim stopniu związków smakowo i zapachowo czynnych. Surowe mięso ma delikatny surowiczy smak podobny do smaku krwi, lekko słodki, lekko kwaśny, lekko słony i gorzki; zależny od stanu biochemicznego i pochodzenia gatunkowego mięsa. Podobnie zapach surowego mięsa jest słaby, podobny do zapachu przemysłowego kwasu mlekowego. Mięso starszych zwierząt ma zapach bardziej intensywny niż mięso zwierząt młodych. Istotny wpływ na smakowitość mięsa surowego wywiera tłuszcz śródmięśniowy. Niezależnie od bezpośredniego oddziaływania produktów utleniania tłuszczu na smakowitość mięsa, tkanka tłuszczowa może zawierać wiele silnych zapachowo i smakowo związków pochodzących z pasz stosowanych w żywieniu, in-

sektycydów, lub wchłanianych przez mięso podczas przechowywania (perfumowane detergenty, zapachy chłodniczy, pleśniowy, gnilny itp.).

Tłuszcz śródmięśniowy odgrywa pozytywną rolę w smakowości mięsa. Istnieje jednak optymalny poziom tłuszczu śródmięśniowego, inny dla różnych mięśni tej samej tuszy i gatunku zwierzęcia, poniżej i powyżej którego tłuszcz nie wpływa korzystnie na smakowość mięsa. Większą rolę w powstawaniu lotnych związków zapachowych podczas ogrzewania mięsa odgrywają fosfolipidy niż lipidy obojętne [31]. Przykładowo, mięso dziczyzny ma o wiele silniejszy aromat niż mięso zwierząt gospodarskich, przyczyną tkwiącą w dużym udziale fosfolipidów w tłuszczu ogólnym mięsa oraz w składzie spożywanych pasz. Różnice w smakowości mięsa różnych gatunków zwierząt są uzależnione również od składu proteoglikanów i glikoproteidów tkanki łącznej mięsa oraz składu kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego [11].

Mięśnie różnią się smakowością. Najbardziej kruchy mięsień bydła (*m. psoas*) charakteryzuje się słabą smakowością. Smakowość przepony jest szczególnie intensywna. Mięsień *m. longissimus dorsi* ma silniejszy smak niż *m. semitendinosus*. Ogólnie mięśnie o większej aktywności w okresie przyżyciowym wykazują silniejszy aromat niż mięśnie mniej aktywne [2]. Z wiekiem zwierzęcia wzrasta natężenie smakowości mięsa. Cielęcina charakteryzuje się słabym natężeniem smaku i zapachu. Natężenie smaku wołowiny wzrasta do wieku 18 miesięcy i utrzymuje się na podobnym poziomie w mięsie bydła starszego. Mięso o wyższym pH wydaje się być mniej słone i mniej smaczne niż mięso o niskim pH. Przyczyną nie są różnice zawartości soli, a prawdopodobnie różnice dotyczące ilości wody niezwiązanej.

Podczas poubojowego dojrzewania mięsa jego smakowość wzrasta, a profil smakowo-zapachowy ulega wzbogaceniu. Podczas dojrzewania mięsa, w wyniku rozkładu nukleotydów adeninowych (AMP, ADP, AMP), akumulują się nukleotydy inozynowe (IMP, IDP, ITP) oraz inozyna i hypoksantyna. Nukleotydy inozynowe, ryboza oraz produkty ich rozpadu mają specyficzny profil smakowy. Wiązując się z innymi substancjami tworzą złożone kompleksy smakowo-zapachowe. Wśród kilku izomerów nukleotydów inozynowych najsilniejsze oddziaływanie smakowo-zapachowe wykazują izomery 5'-IMP. Najlepsze cechy sensoryczne osiąga mięso, gdy poziom hypoksantyny jest $>1,5 \mu\text{M/g}$ [43]. Poziom ten jest osiągany w mięśniach podczas składowania tusz wołowych w temp. 2–4°C w 10.–13. dniu po uboju. Podczas dojrzewania mięsa wzrasta również udział węglowodorów o wysokiej masie cząsteczkowej, związków benzenowych i pirazyn oraz ilość wolnych kwasów tłuszczowych, szczególnie kwasu oleinowego [31]. Z punktu widzenia smakowości mięsa pożądane jest, aby poziom substratów energetycznych w mięśniach (ATP, fosfokreatyny, glikogenu) w chwili uboju zwierzęcia był wysoki.

Wyniki dotyczące wpływu żywienia na smakowość wołowiny są niejednoznaczne. Ogólnie przyjmuje się, że smakowość mięsa bydła żywionego mieszankami

paszowymi jest podobna do smakowitości mięsa bydła chowanego na pastwisku [43]. Według Scollana i wsp. [74] smakowitość mięsa bydła z żywienia pastwiskowego jest jednak wyżej oceniana niż bydła z chowu alkierzowego. Zmiany w składzie kwasów tłuszczowych wołowiny wywołane żywieniem mogą również oddziaływać na jej smakowitość [42].

Od bardzo dawna wiadomo, że pożądany sensorycznie zapach i smak mięsa rozwija się podczas ogrzewania. Mięso może być gotowane, duszone, pieczone, grillowane, smażone itd., dając produkty o różnym smaku i zapachu. Prawdopodobnie ten sam zestaw prekursorów obecnych w mięsie jest odpowiedzialny za rozwój charakterystycznych cech smakowitości po różnych metodach obróbki cieplnej. Smakowitość mięsa gotowanego związana jest głównie z przemianami białek oraz związków azotowych niebiałkowych. Zidentyfikowano 16 związków nadających charakterystyczny zapach gotowanej wołowinie [28]. Smakowitość mięsa pieczonego związana jest głównie z przemianami cieplnymi składników tłuszczowych mięsa.

Białka sarkoplazmy i miofibryli nie biorą bezpośredniego udziału w nadawaniu cech smakowitości. Prekursorami smakowymi i zapachowymi mięsa są związki rozpuszczalne w wodzie i tłuszczu. Należą do nich peptydy, aminokwasy, cukry redukujące i kwasy tłuszczowe. Podczas ogrzewania zachodzi piroliza peptydów i aminokwasów, degradacja cukrów, utlenianie i dekarboksylacja lipidów, degradacja rybonukleotydów oraz interakcje pomiędzy aminokwasami, składnikami węglowodanowymi, kwasami tłuszczowymi, siarkowodorem i amoniakiem. Lotne związki z aminokwasów powstają podczas procesów degradacji Streckera, w których zachodzą procesy dezaminacji i dekarboksylacji, akumulują się aldehydy zawierające o jeden atom węgla mniej niż wyjściowe aminokwasy. W reakcjach Maillarda grupy aminowe aminokwasów reagują z grupami karbonyłowymi dając szereg produktów pochodnych. Z węglowodanów mięsa mogą powstawać lotne związki zapachowe, takie jak furfural, hydroksymetylofurfural. Lotne związki karbonylowe uwalniają się podczas ogrzewania tłuszczu. Na podstawie chromatogramów lotnych związków karbonylowych można określić czy pochodzą one z ogrzewanej wieprzowiny czy wołowiny. Istnieją różnice w chromatogramach lotnych związków karbonylowych pozwalające zidentyfikować ogrzewane mięso dwóch ras bydła [24]. Związkiem nadającym charakterystyczną smakowitość ogrzewanemu mięsu bydła rasy fryzyjskiej jest 2,2,4,6,6-pentametyloheptan [27]. Występują istotne różnice w składzie lotnych związków zapachowych uwalnianych podczas ogrzewania różnych mięśni tej samej tuszy wołowej [82]. W składzie lotnych związków zapachowych wołowiny zidentyfikowano około 750 składników [28]. Nie wszystkie są odpowiedzialne za aromat mięsa ogrzewanego. Ustalono tzw. jednostki aromatyczne, które określają w jakim stężeniu dany związek wpływa na aromat mięsa. Już niedługo można będzie zestawiać skład związków chemicznych pozwalający nadać pożądaną smakowitość produktom mięsno-podobnym lub mięsno-zamiennikowym,

zgodnie z gatunkowym rodzajem mięsa, dojrzałością somatyczną zwierzęcia, pochodzeniem anatomicznym i stopniem dojrzewania poubojowego mięsa oraz metodą jego przygotowania (ogrzewania) kulinarnego.

Podsumowanie

O wartości odżywczej wołowiny decydują zawartość i skład białka oraz tłuszczu śródmięśniowego. Wartość biologiczną i odżywczą białka mięsa determinuje również poziom i skład śródmięśniowej tkanki łącznej. Tłuszcz śródmięśniowy wołowiny złożony jest w przybliżeniu w 44% z kwasów tłuszczowych nasyconych (SFA), w 46% z kwasów tłuszczowych jednonienasyconych (MUFA) oraz w 10% z kwasów tłuszczowych wielonienasyconych (PUFA). Strategia w chowie i żywieniu bydła rzeźnego powinna być ukierunkowana na zmniejszenie w tłuszczu wołowym SFA i/lub zwiększenie kwasów PUFA, szczególnie serii n-3. Również korzystne będzie zwiększenie zawartości sprzężonego kwasu linolowego (CLA).

Świeża wołowina powinna mieć barwę jasnoczerwoną. Barwa mięsa zależy od stężenia i formy chemicznej podstawowego barwnika mięśniowego, którym jest mioglobina. Mioglobina w świeżym mięsie występuje w trzech formach redoks jako: deoksymioglobina, oksymioglobina i metmioglobina. Wzajemny stosunek wymienionych form mioglobiny i barwa mięsa zależą od ciśnienia parcjalnego tlenu i aktywności redukującej mięsa. Dostępność tlenu, szybkość jego wykorzystania oraz zdolność do redukcji metmioglobiny odgrywają podstawową rolę w kształtowaniu barwy mięsa i jej trwałości w czasie składowania i dystrybucji.

Kruchość mięsa jest uzależniona od zawartości, składu i struktury śródmięśniowej tkanki łącznej oraz stopnia poubojowej degradacji białek miofibryli i cytoszkieletowych włókien mięśniowych. W produkcji bydła rzeźnego powinno dążyć się do minimalizowania zmienności ilości i właściwości kolagenu śródmięśniowego oraz tekstury (w tym kruchości) tego samego anatomicznie mięśnia, bydła tej samej rasy o podobnej dojrzałości somatycznej. W okresie poubojowego dojrzewania kruchość mięsa wzrasta. Wzrost kruchości jest efektem endogennej proteolizy białek mięśniowych. Przyczyną zmian proteolitycznych białek jest aktywność endogennych proteaz sarkoplazmatycznych zwanych kalpainami. Układ kalpainowy jest złożony z kilku form izomerowych kalpain zależnych od stężenia jonów wapnia oraz ich specyficznego inhibitora kalpastatyny. Aktywność wymienionych enzymów jest warunkowana genetycznie oraz zależy od czynników środowiskowych związanych z traktowaniem zwierząt przed ubojem oraz tusz w okresie poubojowym. Znane są markery w genotypach kalpain i kalpastatyny pozwalające zidentyfikować bydło mięsne, którego mięso będzie charakteryzować się wysoką kruchością.

Smakowitość jest cechą sensoryczną mięsa, na którą składają się odczucia smakowe i zapachowe. Przy ocenie sensorycznej smakowitości należy uwzględnić per-

cepcję smakowo-zapachową panelu oceniającego. Surowa tkanka mięśniowa jest źródłem prekursorów smakowości i tylko w niewielkim stopniu związków smakowo i zapachowo czynnych. Ten sam zestaw prekursorów obecnych w mięsie jest odpowiedzialny za rozwój charakterystycznych cech smakowości po różnych metodach obróbki cieplnej. Smakowość mięsa gotowanego wiązana jest głównie z przemianami białek oraz związków azotowych niebiałkowych. Smakowość mięsa pieczonego i smażonego wiązana jest z przemianami cieplnymi głównie składników tłuszczowych mięsa. W składzie lotnych związków zapachowych ogrzewanej wołowiny zidentyfikowano około 750 składników. Nie wszystkie są odpowiedzialne za aromat mięsa ogrzewanego. Ustalono tzw. jednostki aromatyczne, które informują, w jakim stężeniu dany związek kształtuje aromat mięsa. Występują istotne różnice w składzie lotnych związków zapachowych ogrzewanego mięsa różnych ras bydła, a także różnych mięśni tej samej tuszy wołowej.

Artykuł został opublikowany w Pracach Komisji Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAU, 2007, 8, 85-102. Na przedruk w naszym kwartalniku zgodę wyraziła Polska Akademia Umiejętności.

Literatura

- [1] Abbot M.T., Pearson A.M., Price J.F., Hooper G.R.: Ultrastructural changes during autolysis of red and white porcine muscle. *J. Food Sci.*, 1977, **42**, 1185-1188.
- [2] Aberle E.D., Forrest J.C., Gerrard D.E., Mills E.W., Hedrick H.B., Judge M.D., Merkel R.A.: Principles of Meat Science. Kendall/Hunt Publishing Company, 2001.
- [3] Bailey A.J., Light N.D.: Connective tissue in meat and meat products. Elsevier Applied Science, London 1989.
- [4] Baker M.A., Lawen A.: Plasma membrane NADH-oxidoreductase system. A critical review of the structural and functional data. *Antioxidants & Redox Signaling*, 2000, **2**, 197-212.
- [5] Bekhit A.E.D., Faustman C.: Metmyoglobin reducing activity. *Meat Sci.*, 2005, **71**, 407-439.
- [6] Bekhit A.E.D., Geesink G.H., Morton J.D., Bickerstaffe R.: Metmyoglobin reducing activity and color stability of ovine *Longissimus* muscle. *Meat Sci.*, 2001, **57**, 427-435.
- [7] Bendall J.R.: The elastin content of various muscles of beef animals. *J. Sci. Food Agr.*, 1967, **18**, 553-558.
- [8] Bodwell C.E., McClain P.E.: Chemistry of Animal Tissues. Proteins. In: Price J.F., Schweigert B.S. (Eds.): *The Science of Meat and Meat Products*. W.H. Freeman and Company, USA, 1971, pp. 78-132.
- [9] Borg T.K., Caulfield J.B.: Morphology of connective tissue in skeletal muscle. *Tissue Cell.*, 1980, **12**, 197-207.
- [10] Bouton P.E., Harris P.V.: The effect of some post-slaughter treatments on the mechanical properties of bovine and ovine muscle. *J. Food Sci.*, 1972, **37**, 539-543.
- [11] Bratzler L.J.: Palatability factors and evaluation. In: Price J.F., Schweigert B.S. (Eds.): *The Science of Meat and Meat Products*. W.H. Freeman and Company, USA, 1971, pp. 328-347.

- [12] Brooks J.: The oxidation of haemoglobin to methaemoglobin by oxygen. II. The relation between the rate of oxidation and the partial pressure of oxygen. Proc. Royal Society, London, Series.B, 1935, **118**, 560-577.
- [13] Brooks J.C., Savell J.: Perimysium thickness as an indicator of beef tenderness. Meat Sci., 2004, **67**, 329-334.
- [14] Carpenter Z.L., Kauffman R.G., Bray R.W., Briskey E.J., Weckel K.G.: Factors influencing quality in pork. A. Histological observations. J. Food Sci., 1963, **28**, 467-471.
- [15] Casas E., White S.N., Wheeler T.L., Shackelford S.D., Koohmaraie M., Riley D.G., Chase C.C., Johnson D.D., Smith T.P.L.: Effects of calpastatin and μ -calpain markers in beef cattle on tenderness traits. J. Animal Sci., 2006, **84**, 520-525.
- [16] Ciobanu D.C., Bastiaansen J., Malek M., Helm J., Wollard J., Plastow G.S.: Evidence for new alleles in calpastatin gene are associated with meat quality traits in pigs. J. Animal Sci., 2004, **82**, 2829-2839.
- [17] Dransfield E.: Optimisation of tenderization, ageing and tenderness. Meat Sci., 1994, **36**, 105-121.
- [18] Dutson T.R., Lawrie R.A.: Release of lysosomal enzymes during post-mortem conditioning and their relationship to tenderness. J. Food Technol., 1974, **9**, 43-50.
- [19] Dutson T.R., Pearson A.M., Merkel R.A.: Ultrastructural *post-mortem* changes in normal and low quality porcine muscle fibers. J. Food Sci., 1974, **39**, 32-37.
- [20] Echevarne C., Renner M., Labas R.: Metmyoglobin reductase activity in bovine muscles. Meat Sci., 1990, **27**, 161-172.
- [21] Faustman C., Cassens R.G.: The biochemical basis for meat discoloration in fresh meat: a review. J. Muscle Foods, 1990, **1**, 217-243.
- [22] Faustman C., Cassens R.G.: The effect of cattle breed and muscle type on discoloration and various biochemical parameters in fresh beef. J. Animal Sci., 1991, **69**, 184-193.
- [23] Feldhusen F., Warnatz A., Erdmann R., Wenzel S.: Influence of storage time on parameters of color stability of beef. Meat Sci., 1995, **40**, 235-243.
- [24] Gasser U., Grosch W.: Identification of volatile flavour compounds with high aroma values from cooked beef. Z.Lebensm.Unters.Forsch., 1988, **186**, 489-494.
- [25] Geesink G.H., Koohmaraie M.: Postmortem proteolysis and calpain/calpastatin activity in callipyge and normal lamb biceps femoris during extended postmortem storage. J. Animal Sci., 1999, **77**, 1490-1501.
- [26] Goll D.E., Thompson V.F., Li H.Q., Wei W., Cong J.Y.: The calpain system. Physiol. Rev., 2003, **83**, 731-801.
- [27] Gorraiz C., Beriain M.J., Chasco J., Insausti K.: Effect of ageing time on volatile compounds, odor and flavour of cooked beef from Pireneica and Friesian bulls and heifers. J. Food Sci., 2002, **67**, 916-922.
- [28] Grosch W.: Evaluation of the key odorant of foods by dilution experiments, aroma models and omission. Chem. Senses., 2001, **26**, 533-545.
- [29] Hammond J.: Growth and the development of mutton qualiteis in the sheep. Biological monographs and manuals. London, Oliver and Boyd, 1932, vol. X.
- [30] Hood D.E.: Factors affecting the rate of metmyoglobin accumulation in pre-packed beef. Meat Sci., 1980, **4**, 247-265.
- [31] Hornstein I.: Chemistry of Meat Flavor. In: Price J.F., Schweigert B.S. (Eds.): The Science of Meat and Meat Products. W.H. Freeman and Company, USA, 1971, pp. 348-366.
- [32] Hunt M.C., Hendrick B.: Chemical, physical and sensory characteristics of bovine muscle from four quality groups. J. Food Sci., 1977, **42**, 716-720.
- [33] Kendall T.L., Koohmaraie M., Arbona J.R., Williams S.E., Young L.L.: Effect of pH and ionic strength on bovine m-calpain and calpastatin activity. J. Animal Sci., 1993, **71**, 96-104.

- [34] Kołczak T.: Wpływ czynników poubojowych na kruchość wołowiny. *Gosp. Mięś.*, 2000, **5**, 28-31.
- [35] Kołczak T., Palka K., Pospiech E.: Changes in collagen solubility of raw and roasted bovine *psaos major* and *minor* and *semitendinosus* muscles during cold storage. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2003, **12/53**, 57-61.
- [36] Kołczak T., Palka K., Zarzycki A.: Wpływ kolagenu śródmięśniowego na kruchość i inne cechy sensoryczne mięśni bydła. *Acta Agr. et Silv., ser. zootech.*, 1992, **30**, 76-85.
- [37] Kołczak T., Pospiech E., Palka K., Łącki J.: Changes of myofibrillar and centrifugal drip proteins and shear force of *psaos major* and *minor* and *semitendinosus* muscles from calves, heifers and cows during post-mortem ageing. *Meat Sci.*, 2003, **64**, 69-75.
- [38] Kołczak T., Pospiech E., Palka K., Łącki J.: Changes in structure of *psaos major* and *minor* and *semitendinosus* muscles of calves, heifers and cows during post-mortem ageing. *Meat Sci.*, 2003, **64**, 77-83.
- [39] Koochmarai M.: Effect of pH, temperature, and inhibitors on autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle μ -calpain. *J. Animal Sci.*, 1992, **70**, 3071-3080.
- [40] Koochmarai M., Schollmeyer J.E., Dutson T.R.: Effect of low-calcium requiring calcium activated factor on myofibrils under varying pH and temperature conditions. *J. Food Sci.*, 1986, **51**, 28-32.
- [41] 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.
- [42] Larick D.K., Turner B.E.: Flavour characteristics of forage and grain-fed beef as influenced by phospholipid and fatty acid compositional differences. *J. Food Sci.*, 1990, **55**, 312-318.
- [43] Lawrie R.A.: *Meat Science*. Pergamon Press, Oxford, 1985.
- [44] Ledward D.A.: Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. *Meat Sci.*, 1985, **15**, 149-171.
- [45] Lewis G.J., Purslow P.P., Rice A.E.: The effect of conditioning on the strength of perimysial connective tissue dissected from cooked meat. *Meat Sci.*, 1991, **30**, 1-12.
- [46] Light N.D., Champion A.E., Voyle C., Bailey A.J.: The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture of six bovine muscles. *Meat Sci.*, 1985, **30**, 1-12.
- [47] Lonergan S.M., Huff-Lonergan E., Wiegand B.R., Kriese-Anderson L.A.: *Post mortem* proteolysis and tenderization of top loin steaks from brangus cattle. *J. Muscle Foods*, 2001, **12**, 121-136.
- [48] Lu J., Tan J., Shatadal P., Gerrard Gerard.E.: Evaluation of pork color by using computer vision. *Meat Sci.*, 2000, **56**, 57-60.
- [49] Maddock K.R., Huff-Lonergan E., Rowe L.J., Lonergan S.M.: Effect of pH and ionic strength on μ - and m-calpain inhibition by calpastatin. *J. Animal Sci.*, 2005, **83**, 1370-1376.
- [50] Madhavi D.L., Carpenter C.E.: Aging and processing affect color, metmyoglobin reductase and oxygen consumption of beef muscles. *J. Food Sci.*, 1993, **58**, 939-942.
- [51] Mancini R.A., Hunt M.C.: Current research in meat color. *Meat Sci.*, 2005, **71**, 100-121.
- [52] Marsh B.B.: The basis of tenderness in muscle foods. The basis of quality in muscle foods. *J. Food Sci.*, 1977, **42**, 295-297.
- [53] McCornick R.J.: The flexibility of the collagen compartment of muscle. *Meat Sci.*, 1994, **36**, 79-91.
- [54] 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.
- [55] Melody J.L., Lonergan S.M., Rowe L.J., Huiatt T.W., Mayes M.S., Huff-Lonergan E.: Early *post mortem* biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. *J. Animal Sci.*, 2004, **82**, 1195-1205.
- [56] Miller M.F., Carr M.A., Ramsey C.B., Crockett K.L., Hoover L.C.: Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *J. Animal Sci.*, 2001, **79**, 3062-3068.

- [57] Nishimura T., Hattori A., Takahashi K.: Ultrastructure of the intramuscular connective tissue in bovine skeletal muscle. *Acta Anatomica*, 1994, **151**, 250-227.
- [58] Nishimura T., Hattori A., Takahashi K.: Structural weakening of intramuscular connective tissue during conditioning of beef. *Meat Sci.*, 1995, **39**, 127-133.
- [59] Nishimura T., Hattori A., Takahashi K.: Relationship between degradation of proteoglycans in basement membrane and intramuscular connective tissue of bovine semitendinosus muscle. *Acta Anatomica*, 1996, **155**, 257-265.
- [60] O'Grady M.N., Monahan F.J., Mooney M.T.: Oxymyoglobin in bovine muscle systems as affected by oxidizing lipids, vitamin E and metmyoglobin reductase activity. *J. Muscle Foods*, 2001, **12**, 19-35.
- [61] O'Keefe M., Hood D.E.: Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef from muscles of differing colour stability. *Meat Sci.*, 1982, **7**, 209-228.
- [62] O'Sullivan A., Byrne D.V., Martens H., Gidskehaug G.H., Andersen H.J., Martens M.: Evaluation of pork colour. Prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis. *Meat Sci.*, 2003, **65**, 909-918.
- [63] Ouali A., Demeyer D., Raichon C.: An introduction to the workshop. *Biochemie*, 1992, **74**, 213-215.
- [64] Parr T., Sensky P., Kemp C., Bardsley R., Buttery P.: The molecular control and genetics of meat quality tenderization across species. *Animal Sci.*, 2006, **1 (suppl.)**, 202-203.
- [65] Purslow P.P.: Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Sci.*, 2005, **70**, 435-447.
- [66] Purslow P.P., Ertbjerg P., Baron C.P., Christensen M., Lawson M.A.: Patterns of variation in enzyme activity and cytoskeletal proteolysis in muscle. *Proc. 47th Int. Congr. Meat Sci. Technol.*, Kraków, 2001, pp. 38-43.
- [67] Raes K., Haak L., Balcaen A., Claeys E., Demeyer D., De Smet S.: The effect of feeding linseed at similar linoleic acid levels on the fatty acid composition of double-muscled Belgian Blue young bulls. *Meat Sci.*, 2004, **66**, 307-315.
- [68] Reddy I.M., Carpenter C.E.: Determination of metmyoglobin reductase activity in bovine skeletal muscles. *J. Food Sci.*, 1991, **56**, 1161-1164.
- [69] Renner M., Labas R.: Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. *Meat Sci.*, 1987, **19**, 151-165.
- [70] Roncales P., Geesink G.H., van Laack R.L.J.M., Jaile I., Beltran J.A., Barnier V.M.H., Smulders F.J.M.: Meat tenderization: enzymatic mechanisms. In: Ouali A., Demeyer D.I., Smulders F.J.M. (Eds.). *Expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality*. ECCEAMST series, 1995, pp. 311-330.
- [71] Schmidt J.M., Zhang L., Lee H.S., Stromer M.H., Robson R.M.: Interaction of titin with actin: sensitive modulation of filament crosslinking activity. *Arch. Biochem. Biophys.*, 1999, **366**, 139-150.
- [72] Scollan N.D., Wood J.D.: Enhancing the nutritional value of beef and its relationships with meat quality. *Animal Sci.*, 2006, **1, suppl.**, 83- 85.
- [73] Scollan N.D., Choi N.J., Kurt E., Fisher A.V., Enser M., Wood J.D.: Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *Br. J. Nutr.*, 2001, **85**, 115-124.
- [74] Scollan N.D., Hocquette J.F., Nuernberg K., Dannenberger D., Richardson I., Moloney A.P.: Innovations in beef production systems that enhance the nutritional value of beef and its relationship with meat quality. *Meat Sci.*, 2006, **74**, 17-33.
- [75] Sensky P.L., Parr T., Bardsley R.G., Buttery P.J.: The relationship between plasma epinephrine concentration and the activity of the calpain enzyme system in porcine longissimus muscle. *J. Animal Sci.*, 1996, **74**, 380-387.
- [76] Sentandreu M.A., Coulis G., Ouali A.: Role of muscle andopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends in Food Science and Technology*, 2002, **13**, 400-421.

- [77] Shirabe K., Yubisui T., Borgese N., Tang C.-Y., Hultquist D., Takeshita M.: Enzymatic instability of NADH-cytochrome b₅ reductase as a case of hereditary methemoglobinemia type I (Red Cell Type). *J. Biol. Chem.*, 1992, **267**, 20416-20421.
- [78] 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.
- [79] Taylor R.G., Geesing G.H., Thompson V.F., Koohmaraie M., Goll D.E.: Is Z-disk degradation responsible for post-mortem tenderization? *J. Animal Sci.*, 1995, **73**, 1351-1358.
- [80] Whipple G., Koohmaraie M., Dikeman M.E., Crouse J.D., Hunt M.C., Klemm R.D.: Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in bos taurus and bos indicus cattle. *J. Animal Sci.*, 1990, **68**, 2716-2724.
- [81] Williams S.N., Frye T.M., Frigg M., Schefer D.M., Scheller K.K., Liu Q.: Vitamin E. *Meat Focus International*, 1992, **3 (2)**, 22-23.
- [82] Zając M.: Porównanie jakości wybranych mięśni bydłęcych. Praca doktorska, AR Kraków, 2007.
- [83] Zu L.G., Brewer M.S.: Metmyoglobin reducing capacity of fresh normal, PSE and DFD pork during retail display. *J. Food Sci.*, 1998, **63**, 390-393.

BEEF QUALITY

S u m m a r y

Beef meat is mainly used as a culinary meat. At a meat outlet, consumers judge the quality of beef by its colour, visible fat content, consistency, and odour. The culinary features of beef meat to be thermally treated are determined by its tenderness and palatability. The factors influencing nutritional value of beef, its colour, tenderness, and palatability are discussed. The factors as pointed out here are impacted by both the natural differences between the muscles, resulting from their physiological function and structure, and the actions taken by producers (breeders, suppliers of animals) and technologists.

Key words: beef, nutritional value, colour, tenderness, palatability 