

BOGDAN JANICKI, MATEUSZ BUZAŁA

WPLYW KOLAGENU NA JAKOŚĆ TECHNOLOGICZNĄ MIĘSA

Streszczenie

Kolagen stanowi 20 - 30 % białek w organizmie ssaków oraz ptaków i jest podstawowym składnikiem śródmięśniowej tkanki łącznej. Głównym magazynem kolagenu w mięśniach jest omięsna zewnętrzna (*epimysium*) i wewnętrzna (*perimysium*) oraz śródmięsna (*endomysium*). Wśród ponad 20 typów genetycznych kolagenu w mięśniach szkieletowych znaczną część stanowi kolagen typu I i III. Morfologia, skład i ilość tkanki łącznej w mięśniach zależy w głównej mierze od ich typu oraz gatunku, rasy i wieku zwierzęcia. Różnice w metodach oznaczania kolagenu sprawiają, że zawartość tego białka w poszczególnych mięśniach może być zróżnicowana. Duża zawartość tego niepełnowartościowego białka w tkance łącznej mięśni ma znaczący wpływ na kruchość mięsa, obniżając jego jakość. Zwiększające się wraz z wiekiem zwierzęcia usieciowanie kolagenu w mięśniach o wysokiej aktywności za życia sprawia, że mięso staje się twarde. Mniejszą zawartość kolagenu stwierdzono w mięśniach o dłuższych sarkomerach oraz w mięsie ze zwierząt późno dojrzewających i wykastrowanych.

Słowa kluczowe: kolagen, kruchość, mięso

Wprowadzenie

Kolagen (gr. *colla* – klej, *gennaō* – rodzic) został opisany po raz pierwszy w XIX wieku [21, 52]. Stanowi on 20 - 30 % wszystkich białek organizmu ssaków i ptaków [14, 23, 32]. Kolagen jest głównym składnikiem śródmięśniowej tkanki łącznej, która stanowi 2 - 6 % całkowitej zawartości białek w mięsie [10]. Udział białek kolagenowych poniżej 5 % całkowitej masy białkowej to cecha typowa dla mięsa uznawanego za surowiec niskokolagenowy, który charakteryzuje się delikatną strukturą [22]. Kolagen uznawany jest za białko niepełnowartościowe ze względu na brak tryptofanu oraz małą zawartość aminokwasów siarkowych i aromatycznych, co wpływa na obniżenie wartości odżywczej mięsa [20, 22]. Pomimo że w tkance mięśniowej jest niewiele kolagenu, ma on istotny wpływ na jakość mięsa, w tym szczególnie na jego kruchość – cechę pożądaną przez konsumenta [20].

Prof. dr hab. B. Janicki, mgr inż. M. Buzala, Zakład Biochemii i Toksykologii Środowiska, Wydz. Hodowli i Biologii Zwierząt, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, ul. Mazowiecka 28, 85-084 Bydgoszcz

Celem pracy była charakterystyka kolagenu oraz omówienie jego wpływu na jakość technologiczną mięsa.

Biosynteza kolagenu

Biosynteza kolagenu rozpoczyna się w jądrze komórkowym fibroblastu [16, 21]. Aktywność transkrypcyjna dotycząca kolagenu zależy od typu komórek oraz może być kontrolowana przez liczne czynniki wzrostu i cytokiny [16]. Powstający łańcuch polipeptydowy, zawierający około 300 sekwencji Gly-X-Y, zakończony jest po obu stronach przez kuliste domeny terminale (C- i N-propeptydy), gdzie reszty oznaczone jako X i Y są często reprezentowane odpowiednio przez aminokwasy prolinę i hydroksyprolinę [40]. Największy udział stanowi glicyna (34 %), następnie prolina (12 %) i hydroksyprolina (10 %) [14, 24]. Charakterystyczną cechą tego białka jest także obecność hydroksylizyny oraz brak tryptofanu i niewielkie ilości aminokwasów siarkowych i aromatycznych [21].

Powstały w jądrze komórkowym łańcuch polipeptydowy, w postaci mRNA, jest transportowany do cytoplazmy i ulega translacji na szorstkim retikulum endoplazmatycznym [16]. W błonach siateczki szorstkiej w wyniku hydroksylacji reszt prolinowych katalizowanych przez prolilozę 3- i 4-hydroksylazę powstaje odpowiednio 3- i 4-hydroksyprolina. We włóknach tworzących kolagen około połowę reszt prolinowych stanowi 4-hydroksyprolina. Jej obecność jest niezbędna do utworzenia wewnątrzcząsteczkowych wiązań wodorowych, a tym samym przyczynia się do stabilności termicznej domeny potrójnej helisy oraz integralności monomeru i włókien kolagenowych. Funkcja 3-hydroksyproliny nie została dotychczas dostatecznie poznana. Dodatkowo, w wyniku hydroksylacji reszt lizynowych przez lizynohydroksylazę powstaje hydroksylizyna. Reszty hydroksylizyny są zdolne do tworzenia stabilnych, międzycząsteczkowych wiązań poprzecznych pomiędzy włóknkami kolagenu, a dodatkowo stanowią miejsca do przyłączania cukrów. Te trzy enzymy biorące udział w procesie hydroksylacji wymagają obecności jonów żelaza(II), tlenu, 2-oksoglutaranu oraz kwasu askorbinowego jako kofaktorów. Następnie dochodzi do procesu glikozylacji hydroksylizyny. Po dostarczeniu do niektórych grup hydroksylowych hydroksylizyny cząsteczek galaktozy przez enzym hydroksylizylogalaktozylotransferazę powstają reszty glukozydowe. Następnie dostarczane są cząsteczki glukozy przez enzym galaktozylohydroksylizyloglukozylotransferazę, tworząc reszty galaktozydowe w cząsteczce α -łańcucha [16, 19].

Na obu końcach α -łańcucha znajdujące się N- i C-propeptydy pełnią istotną funkcję w zespoleniu trzech α -łańcuchów do cząsteczki prokolagenu. Tworzenie potrójnej helisy jest poprzedzone równoległym ułożeniem domen C-końca trzech α -łańcuchów, w wyniku czego następuje rozpoczęcie tworzenia potrójnej helisy przebiegającej w kierunku N-końca. W procesie tym dołączają się białka opiekuńcze z rodziny HSP₄₇

o masie cząsteczkowej $47 \cdot 10^3$ Da, które kontynuują wiązanie całego prokolagenu [6, 16]. W momencie utworzenia potrójnej helisy prokolagenu białka z rodziny Hsp₄₇ odłączają się i są transportowane do aparatu Golgiego [5, 6]. Dodatkowo, enzym izomeryzy diariarczkowej białek, uczestnicząc w tworzeniu wewnątrz- i zewnątrzłańcuchowych wiązań diariarczkowych, łączy trzy α -łańcuchy w cząsteczkę prokolagenu [16, 19]. Tworzenie potrójnej helisy kolagenu wymaga, aby każde wiązanie peptydowe cis przy reszcie prolinowej zostało przekształcone w formę trans przez enzym izomeryzę peptydylo-prolinową cis-trans. Zmiana konformacji wiązania peptydowego umożliwia specyficzne zgięcie łańcucha polipeptydowego, które jest pomocne w jego przejściu do miejsca przeznaczenia [5]. Powstała cząsteczka prokolagenu jest następnie pakowana w aparacie Golgiego do pęcherzyków wydzielniczych i uwalniana do przestrzeni pozakomórkowej [16].

Po wydzielaniu poprzez egzocytozę do przestrzeni pozakomórkowej prokolagenu, dwie specyficzne metaloproteiny (proteiny prokolagenu) zależne od jonów Zn^{2+} odczepiają z obu końców prokolagenu N- i C-propeptydy, w wyniku czego powstaje tropokolagen [16]. Po usunięciu propeptydów, tropokolagen staje się wysoce reaktywną cząsteczką, która bardzo łatwo ulega spontanicznej fibrylogenezie, w wyniku czego dochodzi do powstania włókien kolagenowych [40]. Proces fibrylogenezy kolagenu reguluje dekorina należąca do proteoglikanów. Wiąże się ona z kolagenem typu I, II i III poprzez jego rdzeń białkowy, prowadząc do powstania macierzy pozakomórkowej, a tym samym chroni go przed proteolizą [18, 32].

Utworzona z trzech α -łańcuchów prawoskrętna superhelisa tropokolagenu o masie cząsteczkowej około $300 \cdot 10^3$ Da może tworzyć homo- lub heterotrimer [21]. Przykładowo, kolagen typu I występujący głównie w tkance łącznej tworzy heterotrimer zbudowany z dwóch łańcuchów $\alpha_1(I)$ i jednego łańcucha $\alpha_2(I)$ o średnicy włókien około 50 nm. Występujący w znacznej ilości w chrząstce kolagen typu II stanowi homotrimer zbudowany z trzech identycznych łańcuchów $\alpha_1(II)$ o średnicy poniżej 80 nm. Kolagen typu III zbudowany również z trzech takich samych łańcuchów $\alpha_1(III)$ tworzy włókna o średnicy od 30 - 130 nm. Łańcuchy różnych typów kolagenów nie mogą łączyć się ze sobą, gdyż są składnikami odmiennych białek [19, 38]. Dotychczas wyizolowano i zidentyfikowano ponad 20 różnych typów genetycznych kolagenu. Białka kolagenowe ze względu na strukturę przestrzenną dzielą się na włókienkowe (typ I, II, III, V, XI) oraz niewłókienkowe, do których należą między innymi: kolagen typu IV, VIII, X (tworzące błony podstawne), kolagen FACIT (*fibryl-associated collagen with interrupted triple helices*) typu IX, XII, XIV, XVI, XIX oraz kolagen mikrofibrylarny (VI) i tworzący włókna kotwiczące (VII) [38, 40].

Włókna kolagenu są początkowo stabilizowane tylko przez wiązania niekowalencyjne tj. oddziaływania hydrofobowe i elektrostatyczne oraz wiązania wodorowe. Dopiero w trakcie dojrzewania kolagenu są one stabilizowane kowalencyjnymi wiąza-

niami poprzecznymi [21, 40]. Tworzenie wiązań poprzecznych (sieciowanie) między cząsteczkami tropokolagenu następuje w wyniku działania enzymu lizylooksydazy zależnego od jonów miedzi. Enzym ten uczestniczy w reakcji deaminacji oksydacyjnej, przekształcając reszty lizyny do reszt allizyny, a reszty hydroksylizyny do reszt hydroksyalizyny tego białka. Reszty te mogą łączyć się z podjednostkami sąsiadujących reszt lizyny i hydroksylizyny, tworząc wiązania poprzeczne o charakterze międzycząsteczkowym, jak i wewnątrzcząsteczkowe wiązania poprzeczne w obrębie jednej cząsteczki kolagenu, zapewniając stabilizację włókien kolagenowych oraz wytrzymałość tkanek na rozciąganie [5, 32].

Lokalizacja kolagenu w mięśniach

Mięśnie szkieletowe otoczone są grubą, wytrzymałą i oporną na rozciąganie oraz rozpuszczanie tkanką łączną zewnętrzną noszącą nazwę omięsnej zewnętrznej (*epimysium*) [32, 54]. Poszczególne pęczki włókien mięśniowych, które zawierają wewnątrzmięśniowe złoża lipidów w postaci dużych komórek o średnicy 150 - 200 μm oraz naczynia krwionośne, są otoczone przez omięsną wewnętrzną (*perimysium*) [35, 45]. Małe pęczki (wiązki) włókien mięśniowych otoczone przez omięsną wewnętrzną pierwotną są skupione w większe pęczki wtórne otoczone przez grubszą omięsną wewnętrzną wtórną [46]. Omięsna wewnętrzna stanowi około 90 % śródmięśniowej tkanki łącznej, przez co odgrywa ważną rolę w teksturze mięsa [26, 32]. Grubość warstw omięsnej wewnętrznej zależy od rodzaju mięśni, gatunku i wieku zwierząt [25]. W mięśniu piersiowym brojlerów grubość omięsnej wewnętrznej wynosiła 28,49 μm , natomiast u kur rasy white leghorn w 6. tygodniu życia stanowiła 14,25 μm i wzrosła do 39,56 μm w 18. tygodniu życia [2]. Z kolei pojedyncze włókna mięśniowe są otoczone przez jeszcze cieńszą warstwę tkanki łącznej zwaną śródmięsną (*endomysium*) [45]. Rola śródmięsnej w teksturze mięsa jest mniej poznana [32].

Omięsne będące magazynem kolagenu w mięśniach, tworzą sieć włókien kolagenu i elastyny osadzonych w macierzy proteoglikanów [2, 32]. Te trzy struktury (*epi-, peri-, endomysium*) różniące się składem i strukturą tworzą śródmięśniową tkankę łączną, która odgrywa istotną rolę w kształtowaniu tekstury mięsa [12, 47]. Morfologia, skład i ilość śródmięśniowej tkanki łącznej zależy w głównej mierze od typu mięśnia, gatunku, rasy oraz wieku zwierzęcia [45]. Czynniki te mogą wpływać na różną zawartość kolagenu w tych samych mięśniach jednego gatunku zwierząt [57]. Rozrzut wyników całkowitej zawartości kolagenu przedstawianych w literaturze może wynikać także z niedoszacowania zawartości hydroksyproliny, kiedy próbki zostały przygotowane przez zamrożenie lub przeszacowania, gdy próbki zostały przygotowane inną metodą [51]. Ponadto używany jest różny mnożnik przy przeliczeniu aminokwasu hydroksyproliny na zawartość kolagenu [28, 34, 42] (tab. 1).

Tabela 1

Zawartość kolagenu ogólnego w mięśniach różnych gatunków zwierząt.
Content of total collagen in muscles of various animal species.

Gatunek / Species	Zawartość kolagenu ogólnego [%] Content of total collagen [%]	Źródło Source
Bydło / Cattle	1,0-15,0	[10, 45, 48]
Owca / Sheep	0,26-0,52	[27, 31, 55]
Koza / Goat	0,27-0,45	[29]
Sarna / Roe-deer	0,36	[8]
Daniel / Fallow-deer	0,26-0,31	[53]
Jeleń / Deer	1,5-2,0	[22]
Świnia / Pig	0,26-0,71	[35, 39, 56]
Kurczę brojler / Broiler chicken	0,60-1,15	[15]
Indyk / Turkey	0,14	[41]
Struś / Ostrich	0,14-1,90	[1, 41]
Przepiórka / Quail	0,17-0,19	[28]
Gęś / Goose	0,39-0,73	[4]
Królik / Rabbit	0,68-5,59	[42, 49]
Ryba / Fish	0,34-2,19	[11, 13]

Wśród różnych typów genetycznych kolagenu znaczną jego część w mięśniach stanowi typ I i III [25, 35]. Typ I stanowi 70 - 80 % całkowitego kolagenu w mięśniach szkieletowych, natomiast 10 - 20 % to kolagen typu III [39]. W omięsnej zewnętrznej jest obecny głównie kolagen typu I, w omięsnej wewnętrznej kolagen typu I i III, natomiast w śródmięsnej przeważa kolagen typu III, IV, V [3, 50]. Kolagen typu V znajdujący się w śródmięsnej ssaków stanowi niewielką część tej tkanki łącznej, natomiast znacznie większą zawartość stwierdzono w mięśniach ryb [45, 47]. W śródmięśniowej tkance łącznej karpia dominuje głównie kolagen typu I i V, natomiast nie stwierdzono kolagenu typu III [13]. Kolagen w omięsnej wewnętrznej mięśnia najdłuższego klatki piersiowej (*m. longissimus thoracis*) świń składa się w 25,4 % z kolagenu typu I i w 37,6 % z kolagenu typu III, natomiast w mięśniu piersiowym powierzchownym (*m. pectoralis profundus*) stwierdzono go odpowiednio: 45,7 i 54,5 % [35]. Natomiast w mięśniu najdłuższym grzbietu (*m. longissimus dorsi*) tryków kolagen typu III stanowił 24,18 %, a w przypadku skopów 20,43 % [30]. Z kolei w omięsnej wewnętrznej mięśni bydląt udział kolagenu stanowi od 0,43 do 4,6 %, natomiast w śródmięsnej tych samych mięśni waha się od 0,47 do 1,2 % suchej masy [46]. W skórze kurcząt stwier-

dzono około 3 % kolagenu. Spośród różnych typów kolagenu zawiera ona 75 % kolagen typu I i 15 % kolagen typu III [7].

Wpływ kolagenu na kruchość mięsa

Kruchość mięsa jest uzależniona od zawartości, składu oraz struktury śródmięśniowej tkanki łącznej, a także od stopnia poubojowej degradacji białek miofibryli i cytoszkieletowych włókien mięśniowych [20].

Podczas endogennej proteolizy białek mięśniowych w okresie poubojowego dojrzewania mięsa wzrasta jego kruchość [20]. Im metabolizm włókien mięśniowych jest szybszy za życia, tym szybsze zmiany obserwuje się w białkach odpowiedzialnych za kruszenie tkanki mięśniowej po uboju. W mięśniach zawierających włókna białe (szybko kurczące się) szybciej postępują procesy kruszenia niż we włóknach czerwonych (wolno kurczliwe), choć różnice są niewielkie [37, 43]. Najszybszy metabolizm mięśni, a tym samym polepszenie kruchości mięsa, stwierdza się u drobiu, potem świń, a najwolniejszy metabolizm mięśni i dojrzewanie mięsa obserwuje się u bydła. Wynika to z różnicy w budowie strukturalnej włókien mięśniowych, a także ze zróżnicowanej podatności na proteolizę [43]. Objawem proteolizy tkanki łącznej w okresie poubojowym jest zwiększająca się rozpuszczalność kolagenu, zmiany właściwości mechanicznych omięsnej wewnętrznej oraz zmiany w składzie proteoglikanów. Zmiany strukturalne tkanki łącznej zachodzą prawdopodobnie w wyniku aktywności enzymów katepsynowych uwalnianych z lizosomów [20]. Podwyższony przyrost masy mięśnia u hipertroficznym owiec rasy callpyge czy bydła rasy belgijskiej błękitno-białej może powodować zmniejszenie stopnia degradacji białek związanych ze spadkiem aktywności kalpain, który z kolei łączy się z podwyższonym poziomem kalpastatyny, wpływając na polepszenie kruchości mięsa [37, 43].

Zawartość tkanki łącznej w mięsie może być związana również z dietą zwierzęcia [51]. Żywienie mieszankami, szczególnie krótko przed ubojem, może przyspieszyć wzrost zwierzęcia, prowadząc do pojawienia się mniej usieciowanego kolagenu, a tym samym polepszenia kruchości mięsa poprzez zwiększenie jego rozpuszczalności [34, 43]. Ponadto stwierdzono, że mięso uzyskane z młodego bydła (< 16 miesięcy) karmionego paszą z dużym udziałem ziarna charakteryzowało się około 50 % większą zawartością kolagenu rozpuszczalnego niż karmione kiszoną z kukurydzy [51]. Wzrost wiązań krzyżowych, jak i zawartości kolagenu przyczynia się do zwiększenia twardości mięsa, a tym samym do zmniejszenia jego kruchości. Usieciowanie tkanki łącznej zwiększa się wraz z wiekiem zwierząt, a zawartość kolagenu zależy od aktywności mięśni za życia. Mięśnie pochodzące z młodych zwierząt, o niskiej aktywności w okresie życia, zawierają małe ilości kolagenu [10, 20, 43]. Mięśnie piersiowe kurcząt brojlerów żywionych zróżnicowanymi mieszankami paszowymi zawierały o 0,35 - 0,50 % mniej kolagenu w stosunku do mięśni udowych [17]. W badaniach prowadzo-

nych na indorach ciężkich trzech różnych grup genetycznych w 22. tygodniu odchowu stwierdzono, że ilość kolagenu w mięśniach udowych była 1,8 razy większa niż w mięśniach piersiowych [44]. Z reguły większą kruchością odznacza się mięso pochodzące od osobników żeńskich, ponieważ zawiera mniej kolagenu w porównaniu z męskimi [43]. Mięśnie piersiowe (0,68 - 0,80 %) i udowe (0,92 - 1,15 %) samców kurcząt brojlerów zawierały więcej kolagenu niż mięśnie piersiowe (0,60 - 0,65 %) i udowe (0,70 - 0,85 %) samic [15]. Mięso drobiowe ze względu na bardzo krótki okres tuczu zawiera niewielką ilość usieciowanego kolagenu, przez co ma delikatniejszą strukturę [36].

Na różnice zawartości kolagenu w mięsie może mieć również wpływ rasa zwierząt. Najmniej całkowitego i nierozpuszczalnego kolagenu zawierało mięso z bydła rasy blonde d'aquitaine, następnie limousin, old brown swiss i holsztyńskiej, które zawierały więcej całkowitego kolagenu. Rasy wcześniej dojrzewające mają tendencję do odkładania większej ilości kolagenu z większą częścią kolagenu nierozpuszczalnego. Mięso z bydła rasy old brown swiss wykazywało najmniejszą rozpuszczalność kolagenu (33,91 %), co jest związane z różnicą w dojrzałości między rasami. Większą rozpuszczalność kolagenu stwierdzono w mięsie bydła limousin (41,87 %) i blonde d'aquitaine (44,14 %), ponieważ są to rasy późno dojrzewające z dużym tempem wzrostu w okresie opasu [34].

Dodatkowo na zawartość kolagenu w mięsie oraz jego kruchość może mieć wpływ kastracja zwierząt. Większą zawartość kolagenu w mięśniach miały samce niewykastrowane w porównaniu z osobnikami wykastrowanymi [9, 30]. Ponadto opóźnienie wieku kastracji bydła prowadzi do wzrostu zawartości kolagenu w mięśniach [33]. Wolce rasy piemontese wykastrowane w wieku 5 miesięcy zawierały mniej hydroksyproliny w mięśniach niż osobniki wykastrowane w wieku 13 miesięcy. Na zawartość tego aminokwasu w mięśniach niewątpliwie wpływ może mieć działanie testosteronu, który może wpływać na syntezę kolagenu i jego rozpuszczalność [9].

Wpływ tkanki łącznej na kruchość może być również związany z długością sarkomerów. Włókna mięśniowe o długich sarkomerach (powyżej 2 μm) są bardziej kruche, gdyż oddziaływanie tkanki łącznej jest niewielkie [43]. Przykładem mogą być mięśnie lędźwiowe większe (*m. psoas major*) bydła, które przy największej długości sarkomerów (3,42 μm) miały największą kruchość. Ponadto mięśnie te zawierały najmniej kolagenu całkowitego i nierozpuszczalnego [51]. W związku z tym stosowanie różnych zabiegów technologicznych po uboju może poprawić kruchość mięsa poprzez zmianę długości sarkomerów [43].

Podsumowanie

Kolagen będący głównym składnikiem śródmięśniowej tkanki łącznej istotnie wpływa na jakość mięsa. Duża zawartość tego białka w tkance mięśniowej przyczynia

się do obniżenia strawności, a tym samym wpływa na mniejszą kruchość oraz niższą wartość odżywczą mięsa. Ponadto kolagen jest białkiem niepełnowartościowym ze względu na brak tryptofanu oraz małą zawartość aminokwasów siarkowych i aromatycznych. Największa ilość tego białka występuje z reguły w mięsie wołowym oraz w mięśniach najbardziej aktywnych za życia zwierząt.

Literatura

- [1] Adamczak L., Mulawka A., Florowski T.: Wpływ rodzaju mięśnia na jakość kulinarną mięsa strusiego. *Rocz. Inst. Przem. Mięś. i Tł.*, 2007, **XLV** (1), 61-66.
- [2] An J.Y., Zheng J.X., Li J.Y., Zeng D., Qu L.J., Xu G.Y., Yang N.: Effect of myofiber characteristics and thickness of perimysium and endomysium on meat tenderness of chickens. *Poult. Sci.*, 2010, **89**, 1750-1754.
- [3] Avery N.C., Sims T.J., Warkup C., Bailey A.J.: Collagen cross-linking in porcine *m. longissimus lumborum*: absence of a relationship with variation in texture at pork weight. *Meat Sci.*, 1996, **42**, 355-369.
- [4] Belkot Z., Pyz-Lukasik R.: Wpływ wieku gęsi na cechy chemiczne i organoleptyczne tłuszczu. *Med. Wet.*, 2011, **67** (12), 843-846.
- [5] Canty E.G., Kadler K.E.: Collagen fibril biosynthesis in tendon: a review and recent insights. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 2001, **133**, 979-985.
- [6] Cechowska-Pasko M.: Białka opiekuńcze siateczki śródplazmatycznej. *Postępy Biochemii*, 2009, **55** (4), 416-424.
- [7] Cliche S., Amiot J., Avezard C., Gariépy C.: Extraction and characterization of collagen with or without telopeptides from chicken skin. *Poult. Sci.*, 2003, **82**, 503-509.
- [8] Daszkiewicz T., Kubiak D., Winarski R., Koba-Kowalczyk M.: The effect of gender on the quality of roe deer (*Capreolus capreolus* L.) meat. *Small Rumin. Res.*, 2012, **103**, 2, 169-175.
- [9] Destefanis G., Brugiapaglia A., Barge M.T., Lazzaroni C.: Effect of castration on meat quality in Piemontese cattle. *Meat Sci.*, 2003, **64**, 215-218.
- [10] Domaradzki P., Skąlecki P., Florek M., Litwińczuk Z.: Związek kolagenu z wybranymi parametrami technologicznymi mięsa cielęcego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2010, **4** (71), 50-62.
- [11] Eckhoff K.M., Aidos I., Hemre G.I., Lie O.: Collagen content in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and subsequent changes in solubility during storage on ice. *Food Chem.*, 1998, **62** (2), 197-200.
- [12] Fang S.H., Nishimura T., Takahashi K.: Relationship between development of intramuscular connective tissue and toughness of pork during growth of pigs. *J. Anim. Sci.*, 1999, **77**, 120-130.
- [13] Fauconneau B., Alami-Durante H., Laroche M., Marcel J., Vallot D.: Growth and meat quality relations in carp. *Aquaculture*, 1995, **129**, 265-297.
- [14] Friess W.: Collagen-biomaterial for drug delivery. *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 1998, **45** (2), 113-136.
- [15] Gawęcki W., Gornowicz E.: Ocena podstawowego składu chemicznego mięśni kurcząt brojlerów pochodzących z różnych hodowli zagranicznych. *Gosp. Mięś.*, 2000, **7**, 42-44.
- [16] Gelse K., Poschl E., Aigner T.: Collagens - structure, function, and biosynthesis. *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 2003, **55**, 1531-1546.
- [17] Gornowicz E.: Ocena podstawowego składu chemicznego mięśni kurcząt brojlerów. *Gosp. Mięś.*, 2001, **4**, 42-43.
- [18] Kalamajski S., Oldberg A.: The role of small leucine-rich proteoglycans in collagen fibrillogenesis. *Matrix Biol.*, 2010, **29**, 248-253.

- [19] Kolacna L., Bakesova J., Varga F., Kostakova E., Planka L., Necas A., Lukas D., Amler E., Pelouch V.: Biochemical and biophysical aspects of collagen nanostructure in the extracellular matrix. *Physiol. Res. (Suppl. 1)*, 2007, **56**, 51-60.
- [20] Kołczak T.: Jakość wołowiny. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **1 (56)**, 5-22.
- [21] Krasnowska G.: Charakterystyka i wykorzystanie białek kolagenowych. *Med. Wet.*, 2005, **61 (3)**, 271-274.
- [22] Kwiatkowska A., Żmijewski T., Cierach M.: Utility value of carcass of European deer (*Cervus elaphus*) and its meat evaluation. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2009, **59 (2)**, 151-156.
- [23] Lee C.H., Singla A., Lee Y.: Biomedical applications of collagen. *Int. J. Pharm.*, 2001, **221 (1-2)**, 1-22.
- [24] Leitinger B., Hohenester E.: Mammalian collagen receptors. *Matrix Biol.*, 2007, **26**, 146-155.
- [25] Lepetit J.: A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. *Meat Sci.*, 2007, **76**, 147-159.
- [26] Lepetit J.: Collagen contribution to meat toughness: theoretical aspects. *Meat Sci.*, 2008, **80**, 960-967.
- [27] Maiorano G., Ciarlariello A., Cianciullo D., Roychoudhury S., Manchisi A.: Effect of suckling management on productive performance, carcass traits and meat quality of Comisana lambs. *Meat Sci.*, 2009, **83**, 577-583.
- [28] Maiorano G., Elminowska-Wenda G., Mika A., Rutkowski A., Bednarczyk M.: Effects of selection for yolk cholesterol on growth and meat quality in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Ital. J. Anim. Sci.*, 2009, **8**, 457-466.
- [29] Maiorano G., Filetti F., Salvatori G., Gambacorta M., Bellitti A., Oriani G.: Growth, slaughter and intra-muscular collagen characteristics in Garganica kids. *Small Rumin. Res.*, 2001, **39**, 289-294.
- [30] Maiorano G., McCormick R.J., Field R.A., Snowden G.: Intramuscular collagen characteristics of ram, wether, and zeranol-implanted ram lambs. *J. Anim. Sci.*, 1993, **71**, 1817-1822.
- [31] Martinez-Cerezo S., Sanudo C., Panea B., Medel I., Delfa R., Sierra I., Beltran J.A., Cepero R., Olleta J.L.: Breed, slaughter weight and ageing time effects on physico-chemical characteristics of lamb meat. *Meat Sci.*, 2005, **69**, 325-333.
- [32] McCormick R.J.: Extracellular modifications to muscle collagen: implications for meat quality. *Poult. Sci.*, 1999, **78**, 785-791.
- [33] Micol D., Oury M.P., Picard B., Hocquette J.F., Briand M., Dumont R., Egal D., Jailler R., Dubroeuq H., Agabriel J.: Effect of age at castration on animal performance, muscle characteristics and meat quality traits in 26-month-old Charolais steers. *Livest. Sci.*, 2009, **120**, 116-126.
- [34] Monson F., Sanudo C., Sierra I.: Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Sci.*, 2004, **68**, 595-602.
- [35] Nakamura Y.N., Iwamoto H., Ono Y., Shiba N., Nishimura S., Tabata S.: Relationship among collagen amount, distribution and architecture in the *m. longissimus thoracis* and *m. pectoralis profundus* from pigs. *Meat Sci.*, 2003, **64**, 43-50.
- [36] Nowak M., Trziszka T.: Zachowania konsumentów na rynku mięsa drobiowego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2010, **1 (68)**, 114-120.
- [37] Nowak M.: Rola kalpalin w procesie kruszenia mięsa. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2005, **1 (42)**, 5-17.
- [38] Olsen D., Yang Ch., Bodo M., Chang R., Leigh S., Baez J., Carmichael D., Perala M., Hamalainen E.R., Jarvinen M., Polarek J.: Recombinant collagen and gelatin for drug delivery. *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 2003, **55 (12)**, 1547-1567.
- [39] Oshima I., Iwamoto H., Nakamura Y.N., Takayama K., Ono Y., Murakami T., Shiba N., Tabata S., Nishimura S.: Comparative study of the histochemical properties, collagen content and architecture

- of the skeletal muscles of wild boar crossbred pigs and commercial hybrid pigs. *Meat Sci.*, 2009, **81**, 382-390.
- [40] Ottani V., Martini D., Franchi M., Ruggeri A., Raspanti M.: Hierarchical structures in fibrillar collagens. *Micron*, 2002, **33**, 587-596.
- [41] Paleari M.A., Camisasca S., Beretta G., Renon P., Corsico P., Bertolo G., Crivelli G.: Ostrich meat: physico-chemical characteristics and comparison with turkey and bovine meat. *Meat Sci.*, 1998, **48**, 205-210.
- [42] Pascual M., Pla M.: Changes in collagen, texture and sensory properties of meat when selecting rabbits for growth rate. *Meat Sci.*, 2008, **78**, 375-380.
- [43] Pospiech E., Iwańska E., Grześ B.: Kruchość mięsa kulinarnego i możliwości jej poubojowego kształtowania. *Rocz. Inst. Przem. Mięś. i Tł.*, 2003, **XL**, 61-66.
- [44] Puchajda H., Faruga A., Kłosowska D., Batura J., Elminowska-Wenda G.: Charakterystyka jakości mięsa indorów rzeźnych trzech różnych grup genetycznych. *Rocz. Nauk. Zoot.*, 2000, **8**, 166-170.
- [45] Purslow P.P.: Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Sci.*, 2005, **70**, 435-447.
- [46] Purslow P.P.: Muscle fascia and force transmission. *J. Bodywork Mov. Ther.*, 2010, **14**, 411-417.
- [47] Purslow P.P.: The structure and functional significance of variations in the connective tissue within muscle. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 2002, **133**, 947-966.
- [48] Sami A.S., Augustini C., Schwarz F.J.: Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. *Meat Sci.*, 2004, **67**, 195-201.
- [49] Szkucik K., Libelt K.: Wartość odżywcza mięsa królików. *Med. Wet.*, 2006, **62 (1)**, 108-110.
- [50] Tornberg E.: Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Sci.*, 1996, **43**, 175-191.
- [51] Torrescano G., Sanchez-Escalante A., Gimenez B., Roncales P., Beltran J.A.: Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Sci.*, 2003, **64**, 85-91.
- [52] Van der Rest M., Garrone R.: Collagen family of proteins. *FASEB J.*, 1991, **5**, 2814-2823.
- [53] Volpelli L.A., Valusso R., Morgante M., Pittia P., Piasentier E.: Meat quality in male fallow deer (*Dama dama*): effects of age and supplementary feeding. *Meat Sci.*, 2003, **65**, 555-562.
- [54] Weston A.R., Rogers R.W., Althen T.G.: Review: the role of collagen in meat tenderness. *The Prof. Anim. Sci.*, 2002, **18**, 107-111.
- [55] Węglarzy K., Skrzyżala I., Pellar A.: Meat rusing of sheeps in organic farm conditions. *J. Res. Appl. Agric. Eng.*, 2011, **56 (4)**, 193-197.
- [56] Wheeler T.L., Shackelford S.D., Koohmaraie M.: Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content and tenderness among major pork muscles. *J. Anim. Sci.*, 2000, **78**, 958-965.
- [57] Zając M., Midura A., Palka K., Węsierska E., Krzysztoforski K.: Skład chemiczny, rozpuszczalność kolagenu śródmięśniowego i tekstura wybranych mięśni wołowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2011, **4 (77)**, 103-116.

EFFECT OF COLLAGEN ON TECHNOLOGICAL QUALITY OF MEAT

Summary

Collagen constitutes 20 - 30 % of proteins in the organism of mammals and birds, and it is a major component of the intramuscular connective tissue. In the muscles, collagen is mainly stored in epimysium, perimysium, and endomysium. There are more than 20 genetic types of collagen in the skeletal muscles and, among them, collagen type I and type III are a significant portion. The morphology, composition, and quantity of the connective tissue in the muscles depend predominantly on their type, as well as on the

species, breed, and age of the animal. Owing to differences in the methods of determining collagen, the content of this protein can differ in individual muscles. A high content of this incomplete protein in the connective tissue of the muscles has a significant impact on the tenderness of meat and decreases its quality. The cross-linking of collagen in the muscles that are highly active in live animals increases with age of animals and causes the meat to become hard. A lower content of collagen was found in the muscles with longer sarcomeres and in the meat from late maturing and castrated animals.

Key words: collagen, tenderness, meat ✕