

Jacek NIEDŹWIEDŹ, Halina OSTOJA, Marek CIERACH

e-mail: jacek.niedzwiedz@uwm.edu.pl

Katedra Technologii i Chemii Mięsa, Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn

## Instrumentalny pomiar parametrów tekstury i ocena organoleptyczna kruchości wołowego mięsa kulinarnego

### Wstęp

Teksturę mięsa wołowego można oceniać w dwojaki sposób, stosując metody instrumentalne oraz metody sensoryczne (zarówno analiza sensoryczna jak i konsumentencka ocena organoleptyczna). Instrumentalne metody pomiaru tekstury mięsa charakteryzują się wysokim poziomem obiektywizacji oraz usprawnienia prowadzonych pomiarów. W porównaniu do analizy sensorycznej pomiary dokonywane poprzez testy instrumentalne są szybsze i zapewniają lepszą powtarzalność wyników.

Na teksturę mięsa wpływa szereg czynników przyżyciowych i poubojowych takich jak: gatunek, rasa, płeć, wiek, cechy osobnicze, system utrzymania zwierząt [Cierach i in., 2009a,b], a także położenie anatomiczne – rodzaj mięśnia [Zamora, 1997; Jeremiah i in., 2003a,b,c; Stolarski i in., 2006; Niedźwiedz i in., 2011]. Wyróżniki tekstury mięsa zależą również od warunków prowadzenia uboju i wychładzania tusz, a także parametrów i czasu dojrzewania, co związane jest ze stworzeniem odpowiednich warunków do przebiegu zmian poubojowych [Hwang i in., 2004; Bratcher i in., 2005; White i in., 2006; Niedźwiedz i in., 2012]. Przebieg zmian poubojowych we wczesnej fazie *post mortem* wpływa na aktywność systemu kalpain, determinując zapoczątkowanie proteolizy. Proteoliza z kolei jest procesem odpowiadającym za kształtowanie kruchości mięsa [Koohmaraie, 1996; Kim i in., 2001]. Stopień postępowania zmian proteolitycznych w mięsie można monitorować poprzez oznaczanie indeksu fragmentacji miofibrilli (MFI). MFI jest wskaźnikiem mówiącym o zaawansowaniu degradacji miofibrilli i wykazuje korelację z ocenianą instrumentalnie kruchością mięsa [Culler i in., 1978; Geesink i in., 2001b; Lawrence i in., 2003].

W ocenie instrumentalnej tekstury mięsa najczęściej stosowanym parametrem, współzależnym z kruchością jest wartość maksymalnej siły cięcia otrzymana w wyniku przeprowadzenia testu cięcia Warner-Bratzler. Safari i in. [2001] zaobserwowali istotną ujemną korelację między wartością siły cięcia i ocenianą organoleptycznie kruchością. Kontrastując, Platter i in. [2003] w swoich badaniach nie odnotowali tego typu znaczącej korelacji. Prowadzona jest również analiza tekstury mięsa w oparciu o pomiar odkształceń występujących w trakcie ściskania próbki, co pozwala określić takie parametry mięsa jak: twardość, sprężystość, żuwalność, gumowatość [Ostojka i Cierach, 2001; Caine i in., 2003; Chang i in., 2010]. Twardość jest siłą niezbędną do osiągnięcia żądanej deformacji, sprężystość to szybkość powrotu ze stanu zdeformowanego do stanu wyjściowego, żuwalność to energia potrzebna do rozdrobnienia produktów o konsystencji stałej, a gumowatość jest energią potrzebną do uplastycznienia kawałka mięsa do stanu umożliwiającego jego przełknięcie [Chang i in., 2010].

Celem pracy było zbadanie wyróżników tekstury wołowego mięsa kulinarnego z tusz mieszańców rasy czarno-białej i *limousin*.

### Materiał badawczy i metodyka

Materiał badawczy stanowił mięsień *longissimus thoracis et lumborum*, pochodzący z tusz buhajów ( $n = 13$ ), mieszańców rasy czarno-białej i *limousin*, o masie przedubojowej 516÷770 kg, w wieku 15÷28 miesięcy. Mięsień wycinano z tuszy 48 h *post mortem*, pakowano próżniowo i przechowywano w warunkach chłodniczych (temperatura 4±1°C). W ustalonych odstępach czasu po uboju 45 min, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h, 48 h 72 h, 168 h i 336 h mierzono wartość *pH*. W tych samych przedziałach czasowych pobierano próbki i zamrażano je w ciekłym azocie w celu zatrzymania przebiegu zmian poubojowych, a następnie oznaczono w nich indeks fragmentacji miofibrilli (MFI). Pomiar war-

tości maksymalnej siły cięcia i test TPA wykonywano 48 h 72 h, 168 h i 336 h *post mortem*.

Wartość *pH* mierzono bezpośrednio w mięśniu za pomocą *pH*-metru Hanna Instruments (HI 99161) wyposażonego w elektrodę sztyletową Hanna Instruments (FC232D). Przed pomiarem wykonywano kalibrację *pH*-metru względem buforów o wartości *pH* 4,01 i 7,01. Indeks fragmentacji miofibrilli oznaczono zgodnie z metodyką opisaną w pracach [Culler i in., 1978; Lawrence i in., 2003].

Zapakowane próżniowo próbki mięsa o masie około 300 g ogrzewano w wodzie w temp. 80°C przez 60 min. Po tym czasie próbki ochładzano do temp. 7°C. Następnie z poddanych obróbce cieplnej kawałków mięsa wycinano wzdłuż włókien prostopadłościennie o wymiarach 1 × 1 × 5 cm ( $n = 10$ ). Pomiar maksymalnej wartości siły cięcia wykonywano urządzeniem Instron 5965 wyposażonym w głowicę 1 kN oraz przystawkę Warner - Bratzler (sNo: s16429). Przy pomiarze zastosowano prędkość przesuwu noża równą 120 mm/min. Test TPA wykonano przy użyciu maszyny testującej TA - XT2i i programu komputerowego TEXTURE EXPERT EXCEED. Próbki mięsa o wymiarach 10 × 10 × 10 mm umieszczano między dwiema równoległymi płaszczyznami, od dołu płaskiej płytki, a od góry ruchomego tłoka. Tłok poruszał się ze stałą prędkością 5 mm/s, powodując dwukrotne ściśnięcie próbki mięsa do 50% pierwotnej wysokości, prostopadle do kierunku ułożenia włókien mięśniowych. Odstęp między jednym a drugim ściśnięciem wynosił 5 sekund. Określono następujące parametry tekstury: twardość (*N*), sprężystość, gumowatość, żuwalność.

Przeprowadzono także konsumentencką ocenę organoleptyczną kruchości i soczystości badanego mięsa poddanego obróbce cieplnej. Ocenę organoleptyczną wykonał 15-osobowy zespół posługujący się 9-punktową skalą ocen: 9 – ocena bardzo dobra, 1 – bardzo zła.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Obliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona (*R*) między parami wyróżników. W przypadku kruchości i soczystości nie było spełnione założenie o wielowymiarowej normalności rozkładu pary badanych zmiennych, dlatego też wyniki testów istotności współczynnika korelacji mają dla nich charakter przybliżony. Istotność różnic w czasie między poszczególnymi wartościami w obrębie jednego wyróżnika obliczono za pomocą testu Duncana przy poziomie istotności  $p < 0,05$ . Wszystkie analizy statystyczne prowadzono w oparciu o oprogramowanie komputerowe Statistica 10.0 (StatSoft Inc.).

### Omówienie i dyskusja wyników

Mięsień *longissimus thoracis et lumborum* odznaczał się prawidłowym tempem obniżania wartości *pH* w czasie 48 h *post mortem* od około 6,5 do około 5,5 (Tab. 1). Do określenia przemian proteolitycznych zachodzących w mięśniu *longissimus thoracis et lumborum* posłużył indeks fragmentacji miofibrilli (MFI). Badany mięsień 45 min *post mortem* charakteryzował się indeksem wynoszącym 21,6, który w niewielkim stopniu zmienił się po dwóch dobach chłodniczego przechowywania (26,9) (Tab. 1). Istotne zwiększenie fragmentacji miofibrilli odnotowano w próbkach mięśnia po 72 godzinach, wartość wskaźnika MFI zwiększyła się znacząco w porównaniu do wyjściowej wartości, i wynosiła 39,1. Dalsze, statystycznie istotne zwiększenie wartości MFI ( $p < 0,05$ ) odnotowano w próbkach badanego mięśnia po 168 i 336 h dojrzewania w temperaturze 4°C i wynosiły one odpowiednio 68,8 oraz 94,7.

Tab. 1. Wartość pH i MFI mięśnia *longissimus thoracis et lumborum* w czasie dojrzewania (wartości średnie  $\pm$  odchylenie standardowe)

Wy-różnik	Czas p.m. [h]					
	0,75	24	48	72	168	336
pH	6,51a $\pm$ 0,13	5,53b $\pm$ 0,10	5,47b $\pm$ 0,05	5,47b $\pm$ 0,05	5,48b $\pm$ 0,05	5,50b $\pm$ 0,04
MFI	21,6a $\pm$ 4,0	24,8a $\pm$ 6,8	26,9a $\pm$ 9,3	39,1b $\pm$ 11,9	68,8c $\pm$ 10,6	94,7d $\pm$ 6,9

a, b, c, d, – wartości średnie w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie przy  $p < 0,05$

Odnotowane zmiany indeksu fragmentacji miofibrili wskazują na wysoki stopień zaawansowania zmian proteolitycznych zachodzących w czasie dojrzewania.

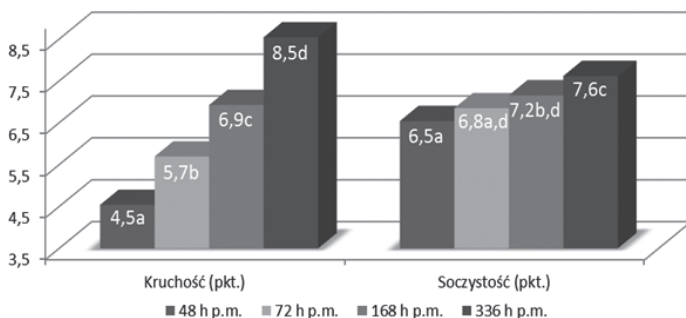
Analiza pomiarów wartości maksymalnej siły cięcia wykazała zmianę właściwości mechanicznych mięsa w czasie dojrzewania. Po dwóch dniach dojrzewania badany mięsień *longissimus thoracis et lumborum* charakteryzował się wysoką wartością siły cięcia, która wynosiła 81,6 N (Tab. 2). Dojrzewanie przyczyniło się do obniżenia tej wartości do 65,6 po 72 h, a po 168 h wynosiła ona 50,6 N. Wydłużenie okresu dojrzewania do 336 h przyczyniło się do obniżenia wartości siły cięcia o około 53% w porównaniu do wartości uzyskanych po 48 godzinach. Otrzymane rezultaty są zgodne z wcześniej omawianym indeksem fragmentacji miofibrili, próbki mięsa o mniejszej wartości siły cięcia charakteryzowały się wyższymi wartościami MFI.

Tab. 2. Wartość siły cięcia, twardość, sprężystość, gumowatość i żuwalność mięśnia *longissimus thoracis et lumborum* w czasie dojrzewania (wartości średnie  $\pm$  odchylenie standardowe)

Czas p.m., h	Siła cięcia, N	Twardość, N	Sprężystość	Gumowatość	Zuwalność
48	81,6a $\pm$ 4,1	57,8a $\pm$ 5,1	0,61a $\pm$ 0,06	33,7a $\pm$ 2,8	19,7a $\pm$ 1,6
72	65,6b $\pm$ 7,5	48,6b $\pm$ 7,7	0,59a $\pm$ 0,03	28,5bd $\pm$ 4,4	17,0bd $\pm$ 2,4
168	50,6c $\pm$ 7,1	49,7b $\pm$ 4,3	0,54b $\pm$ 0,04	26,3cd $\pm$ 2,5	15,6cd $\pm$ 1,7
336	38,8d $\pm$ 1,9	44,9b $\pm$ 3,6	0,55b $\pm$ 0,05	24,2c $\pm$ 1,6	14,0c $\pm$ 1,2

a, b, c, d – wartości średnie w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie przy  $p < 0,05$

Ocena organoleptyczna dojrzewającego mięsa obejmowała: kruchość i soczystość, (Rys. 1). Z otrzymanych danych wynika, że mięso po 336 h dojrzewania uzyskało wyższe noty za kruchość, natomiast w przypadku soczystości istotną jej poprawę odnotowano po 168 h dojrzewania w porównaniu do 48 h *post mortem* ( $p < 0,05$ ).

Rys. 1. Wyniki oceny organoleptycznej wołowego mięśnia *longissimus thoracis et lumborum* (a, b, c, d – wartości na wykresie dla poszczególnych wyróżników oznaczone różnymi literami różnią się istotnie przy  $p < 0,05$ )

Na ilościowe określenie kilku parametrów tekstury jednym pomiarem pozwoliła profilowa analiza tekstury (TPA). Twardość mięsa zmniejszyła się w stopniu istotnym jedynie między 48 i 72 h dojrzewania. W dalszym etapie odnotowano zmniejszenie twardości mięsa, jednak zmiany te nie były istotne statystycznie. Maksymalna siła podczas ściskania próbek 48 h *post mortem* wynosiła 57,8 N, a po 336 h 44,9 N. Gumowatość i żuwalność mięsa zmniejszała się wraz z upływem czasu dojrzewania odpowiednio z wartości 33,7 i 19,7 (48 h *post mortem*) do wartości 24,2 i 14,0 (336 h *post mortem*). Wartości pozostałych parametrów tekstury uległy statystycznie istotnemu zmniejszeniu między 72 i 168 h dojrzewania. Analiza otrzymanych w badaniach wyników wykazała, że dojrzewanie w dużym stopniu wpłynęło na zmiany parametrów tekstury wyliczonych w teście po-

dwójnego ściskania, a tym samym na wytrzymałość mechaniczną mięsa wołowego.

Tab. 3. Współczynniki korelacji liniowej między badanymi wyróżnikami

Wyróżnik	pH	MFI	Siła cięcia N	Twardość N	Kruchość pkt.	Soczystość pkt.
pH	-					
MFI	0,11	-				
Siła cięcia, N	-0,36	-0,89	-			
Twardość, N	-0,34	-0,50	0,49	-		
Sprężystość	-0,27	-0,42	0,44	0,34	-0,38	-0,31
Kohezynność	-0,14	-0,46	0,48	0,24	-0,39	-0,32
Gumowatość	-0,27	-0,67	0,65	0,92	-0,63	-0,44
Żuwalność	-0,37	-0,65	0,68	0,89	-0,65	-0,48
Kruchość, pkt.	0,40	0,86	-0,96	-0,51	-	0,55
Soczystość, pkt.	0,07	0,56	-0,50	-0,38	0,55	-

Wartości współczynników korelacji zapisane kursywą są istotne statystycznie przy  $p < 0,05$

Najlepszą kruchością mięso charakteryzuje się bezpośrednio po uboju. Na skutek wystąpienia stężenia pośmiertnego kruchość ulega znacznemu pogorszeniu za co odpowiada skrócenie sarkomerów [Kohmarai i Geesink, 2006]. Tempo i zakres tenderyzacji mięsa są bardzo zmienne. Optymalną kruchość można osiągnąć po kilku godzinach w mięsie drobiowym, a po 10-15 dniach w mięsie wołowym [Ouali i in., 2006]. Zmieniające się podczas dojrzewania warunki przyczyniają się do wystąpienia zmian w strukturze miofibrili, co prowadzi do poprawy kruchości mięsa.

Indeks fragmentacji miofibrili jako wskaźnik kruchości wykorzystano wielu badaczy [Geesink i in., 2001a; Kim i in., 2001; Lawrence i in., 2003; Bowker i in., 2007]. Kim i in. [2001] odnotowali, że wartość siły cięcia mięśnia *longissimus* obniżała się, a wartości MFI zwiększały się w miarę wydłużania czasu dojrzewania aż do 14 dnia *post mortem*, jednakże istotne różnice w wartości siły cięcia zaobserwowano tylko między 7 i 14 dniem. Geesink i in. [2001b] podają, że indeks fragmentacji miofibrili istotnie koreluje z wartością siły cięcia ( $R = -0,596$ ) i degradacją troponiny T ( $R = 0,625$ ). W niniejszej pracy także odnotowano wysoce istotną korelację między wartością maksymalnej siły cięcia i wartością MFI ( $R = -0,89$ ) (Tab. 3). Hopkins i in. [2000] wykazali, że MFI jest przydatnym wskaźnikiem mówiącym o zaawansowaniu zmian proteolitycznych w obrębie pasma I oraz o rozrywaniu wiązań między miofibrilami. Hopkins i in. [2000], prowadząc badania na jagnięcym mięśni *longissimus*, nie odnotowali istotnego wpływu dojrzewania trwającego 3 dni na wartości MFI. Generalnie, stopień fragmentacji miofibrili zależy od degradacji białek miofibrilarnych, a otrzymanie większych wartości MFI po 14-dniowym okresie dojrzewania świadczy o uzyskaniu lepszej kruchości mięsa. Potwierdziły to również wyniki zaprezentowane w niniejszej pracy.

Tekstura jest z definicji parametrem oceny sensorycznej, który tylko człowiek może określić [Ruiz de Huidobro i in., 2005]. Caine i in. [2003] oraz Ruiz de Huidobro i in. [2005] zaobserwowali, że parametry testu TPA wykazują istotną korelację z oceną organoleptyczną oraz wynikami pomiarów wartości siły cięcia, określonymi testem Warner - Bratzler. W niniejszej pracy zaobserwowano także wysoce istotną korelację między parametrami testu TPA i indeksem fragmentacji miofibrili. Najwyższą korelację między parametrami testu TPA i MFI odnotowano dla gumowatości ( $R = -0,67$ ). Oceniana organoleptycznie kruchość a także soczystość były istotnie skorelowane z wartościami indeksu fragmentacji miofibrili (odpowiednio  $R = 0,86$  i  $R = 0,56$ ) (Tab.3.). Ruiz de Huidobro, i in. [2003] wykazali również, że parametry tekstury mięsa wołowego takie jak: twardość, sprężystość i żuwalność ulegają zmniejszeniu wraz z wydłużaniem czasu dojrzewania. Palka [2003] prowadząc porównanie parametrów tekstury mięsa surowego i poddanego obróbce cieplnej, zaobserwowała, że wartości tych parametrów są mniejsze w mięsie surowym po 12-dniowym okresie dojrzewania aniżeli po 5-dniowym. Jednakże w przypadku mięsa poddanego obróbce cieplnej nie odnotowała znaczących różnic w wartościach parametrów tekstury między 5 i 12 dniem dojrzewania.

Florek i in. [2007], oceniając wpływ czasu dojrzewania na kruchość mięsa wołowego wykazali znaczną jej poprawę w odniesieniu do mięśnia *semitendinosus* po 7 dniach, a dla mięśnia *longissimus thoracis et lumborum* po 14 dniach dojrzewania. Miller i in. [2001] sugerują, że konsumenci postrzegają wołowinę z wartością siły cięcia poniżej 4,3 kg jako kruchą i powyżej 4,9 kg jako twardą. Chcąc zaklasyfikować badany w niniejszej pracy mięsień, zgodnie z wyżej wymienionymi zasadami, należałoby go uznać za kruchy po 14 dniach dojrzewania.

### Podsumowanie

Zmiany wartości indeksu fragmentacji miofibryli wykazują wyraźny wpływ czasu dojrzewania w warunkach chłodniczych na przemiany proteolityczne.

Dojrzewanie w warunkach chłodniczych (14 dni) powoduje obniżenie wartości maksymalnej siły cięcia o około 53%, a w ocenie organoleptycznej, mięso uzyskuje wyższe noty za kruchość.

Parametry tekstury takie jak: twardość, gumowatość, żuwalność, sprężystość ulegają znacznym zmianom w czasie 14-dniowego dojrzewania; wartości tych parametrów były odpowiednio o około 33%, 29%, 29%, 10% i 10% niższe w porównaniu do wartości po 48 godzinach post mortem.

Obserwuje się wysoce istotną korelację między wartością maksymalnej siły cięcia i wartością MFI, a także między ocenianą organoleptycznie kruchością i soczystością, a wartością indeksu fragmentacji miofibryli. Potwierdza to skuteczność zastosowania indeksu fragmentacji miofibryli jako wskaźnika zaawansowania zmian proteolitycznych w mięsie, a w rezultacie kruchości mięsa.

### LITERATURA

- Bowker B.C., Liu M.N., Solomon M.B., Eastbridge J.S., Fehrenholz T.M., Vinyard B. 2007. Effects of hydrodynamic pressure processing and blade tenderization on intramuscular collagen and tenderness-related protein characteristics of top rounds from Brahman cattle. *Journal of Muscle Foods*, **18**, nr 1, 35-55. DOI: /10.1111/j.1745-4573.2006.00064.x
- Bratcher C.L., Johnson D.D., Littell R.C., Gwartney B.L. 2005. The effects of quality grade, aging, and location within muscle on Warner-Bratzler shear force in beef muscles of locomotion. *Meat Science*, **70**, 279-284. DOI: 10.1016/j.meatsci.2005.01.013
- Caine W.R., Aalhus J.L., Best D.R., Dugan M.E.R., Jeremiah L.E. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Science*, **64**, nr 4, 333-339. DOI: 10.1016/S0309-1740(02)00110-9
- Chang H.J., Wang Q., Zhou G.H., Xu X.L., Li C.B. 2010. Influence of weak organic acids and sodium chloride marination on characteristics of connective tissue collagen and textural properties of beef semitendinosus muscle. *Journal of Texture Studies*, **41**, nr 3, 279-301. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2010.00226.x
- Cierach M., Borzyszkowski M., Niedźwiedz J. 2009a. Wołowina kulinarna czynniki przyżyciowe a jakoś. *Przem. Spoż.*, nr 8, 58-63
- Cierach M., Niedźwiedz J., Borzyszkowski M. 2009b. Wołowina kulinarna czynniki poubojowe a jakoś. *Przem. Spoż.* nr 9, 34-37
- Culler R.D., Parrish F.C., Smith G.C., Cross H.R. 1978. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. *Journal of Food Science*, **43**, 1177-1180. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1978.tb15263.x
- Florek M., Litwinczuk A., Skalecki P., Ryszkowska-Siwko M. 2007. Changes of physicochemical properties of bullocks and heifers meat during 14 days of ageing under vacuum. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, **57**, 281-287
- Geesink G.H., Marek M.H.D., Morton J.D., Bickerstaffe R. 2001a. Electrical stimulation – when more is less. *Meat Science*, **57**, nr 2, 145-151. DOI: 10.1016/S0309-1740(00)00086-3
- Geesink G.H., Taylor R.G., Bekheit A.E.D., Bickerstaffe R. 2001b. Evidence against the non-enzymatic calcium theory of tenderization. *Meat Science*, **59**, nr 4, 417-422. DOI: 10.1016/S0309-1740(01)00097-3
- Hopkins D.L., Littlefield P.J., Thompson J.M. 2000. A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. *Meat Science*, **56**, nr 1, 19-22. DOI: 10.1016/S0309-1740(00)00012-7
- Hwang I.H., Park B.Y., Cho S.H., Lee J.M. 2004. Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner-Bratzler shear force in beef longissimus and semitendinosus. *Meat Science*, **68**, nr 3, 497-505. DOI: 10.1016/j.meatsci.2004.04.002
- Jeremiah L.E., Dugan M.E.R., Aalhus J.L., Gibson L.L. 2003a. Assessment of the relationship between chemical components and palatability of major beef muscles and muscle groups. *Meat Science*, **65**, nr 3, 1013-1019. DOI: 10.1016/S0309-1740(02)00309-1
- Jeremiah L.E., Dugan M.E.R., Aalhus J.L., Gibson L.L. 2003b. Assessment of the chemical and cooking properties of the major beef muscles and muscle groups. *Meat Science*, **65**, nr 3, 985-992. DOI: 10.1016/S0309-1740(02)00308-X
- Jeremiah L.E., Dugan M.E.R., Aalhus J.L., Gibson L.L. 2003c. Assessment of palatability attributes of the major beef muscles. *Meat Science*, **65**, nr 3, 949-958. DOI: 10.1016/S0309-1740(02)00307-8
- Kim B.C., Rhee M.S., Ryu Y.C., Imm J.Y., Koh K.C. 2001. Early postmortem processing conditions on meat quality of Hanwoo (Korean Native Cattle) beef during storage. *Asian - Australasian Journal of Animal Sciences*, **14**, 1763-1768.
- Koohmaraie M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, **43**, 193-201. DOI: 10.1016/0309-1740(96)00065-4
- Koohmaraie M., Geesink G.H. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, **74**, nr 1, 34-43. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.04.025
- Lawrence T.E., Dikeman M.E., Hunt M.C., Kastner C.L., Johnson D.E. 2003. Staged injection marination with calcium lactate, phosphate and salt may improve beef water-binding ability and palatability traits. *Meat Science*, **65**, nr 3, 967-972. DOI: 10.1016/S0309-1740(02)00312-1
- Miller M.F., Carr M.A., Ramsey C.B., Crockett K.L., Hoover L.C. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *Journal of Animal Science*, **79**, 3062-3068
- Niedźwiedz J., Ostoja H., Cierach M. 2012. Texture of longissimus thoracis et lumborum muscles from beef cattle crossbreeds subjected to wet aging. *Acta Agrophysica*, **19**, 3, 631-640
- Niedźwiedz J., Żmijewski T., Ostoja H., Cierach M. 2011. Porównanie wartości maksymalnej siły cięcia wybranych mięśni z tylnej ćwierćtuszy wołowej. *Inż. Ap. Chem.*, **50**, nr 3, 57-58
- Ostojka H., Cierach M. 2001. Kształtowanie tekstury mięsa wołowego. *Inżynieria Rolnicza*, **10**(30), 261-268
- Ouali A., Herrera-Mendez C. H., Coulis G., Becila S., Boudjellal A., Aubry L., Sentandreu M. A. 2006. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, **74**, nr 1, 44-58. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.05.010
- Palka K. 2003. The influence of post-mortem ageing and roasting on the microstructure, texture and collagen solubility of bovine semitendinosus muscle. *Meat Science*, **64**, nr 2, 191-198. DOI: 10.1016/S0309-1740(02)00179-1
- Platter W.J., Tatum J.D., Belk K.E., Chapman P.L., Scanga J.A., Smith G.C. 2003. Relationships of consumer sensory ratings, marbling score, and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks. *Journal of Animal Science*, **81**, 2741-2750
- Ruiz de Huidobro F., Miguel E., Blazquez B., Onega E. 2005. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, **69**, nr 3, 527-536. DOI: 10.1016/j.meatsci.2004.09.008
- Ruiz de Huidobro F., Miguel E., Onega E., Blazquez B. 2003. Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. *Meat Science*, **65**, nr 4, 1439-1446. DOI: 10.1016/S0309-1740(03)00068-8
- Safari, E., Fogarty N.M., Ferrier G.R., Hopkins D.L., & Gilmour, A.R. (2001). Diverse lamb genotypes. 3. Eating quality and the relationship between its objective measurement and sensory assessment. *Meat Science*, **57**, nr 2, 153-159. DOI: 10.1016/S0309-1740(00)00087-5
- Stolowski G.D., Baird B.E., Miller R.K., Savell J.W., Sams A.R., Taylor J.F., Sanders J.O., Smith S.B. 2006. Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. *Meat Science*, **73**, nr 3, 475-483. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.01.006
- White A., O'Sullivan A., Troy D.J., O'Neill E.E. 2006. Effects of electrical stimulation, chilling temperature and hot-boning on the tenderness of bovine muscles. *Meat Science*, **73**, nr 2, 196-203. DOI: 10.1016/j.meatsci.2005.11.020
- Zamora F. 1997. *Variabilité biologique de l'attendrissement de la viande bovine – Prédiction en fonction du facteur animal et du facteur type de muscle*. Doctoral Thesis (Thèse docteur d'Université: Spécialité Sciences des Aliments (Biochimie). Université d'Auvergne.
- Pracopowstała w ramach Projektu WND-POIG.01.03.01-00-204/09: Optymalizacja produkcji wołowiny w Polsce zgodnie ze strategią „od widelca do zagrody”, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013 (Umowa nr UDA-PO-IG.01.03.01-00-204/09-07).**