

PIOTR DOMARADZKI, MARIUSZ FLOREK, ZYGMUNT LITWIŃCZUK

KSZTAŁTOWANIE PROFILU SMAKOWO-ZAPACHOWEGO MIĘSA WOŁOWEGO W PROCESIE DOJRZEWANIA NA SUCHO

Streszczenie

Dojrzewanie to naturalny proces enzymatyczny zachodzący w tkance mięśniowej *post mortem*. Aktualnie praktykowane są dwie techniki dojrzewania mięsa: na mokro (w warunkach próżniowych) i na sucho (tradycyjne, bez pakowania, w powietrzu o określonej temperaturze i wilgotności). Dojrzewanie wołowiny na mokro jest i pozostanie dominującą metodą stosowaną w przemyśle mięsnym ze względu na możliwość zwiększania kruchości i ograniczania ubytków mięsa. Z kolei dojrzewanie na sucho pozwala uzyskać wołowinę o unikatowej smakowości. Celem niniejszego opracowania było omówienie stanu wiedzy, na podstawie przeglądu literatury, na temat charakterystyki profilu smakowo-zapachowego wołowiny dojrzewającej na sucho oraz przedstawienie potencjalnych prekursorów i kluczowych związków odpowiedzialnych za jej swoisty profil. Smakowość jest jedną z najważniejszych cech jakości mięsa wołowego, będącą kompleksowym wrażeniem odbieranym przez zmysły smaku i zapachu. Surowe mięso ma bardzo słaby aromat i smak, ale zawiera wiele prekursorów, które są generowane w procesie dojrzewania. To właśnie te związki (pochodzące zarówno z tkanki mięśniowej, jak i tkanki tłuszczowej) w trakcie obróbki cieplnej tworzą charakterystyczny profil smakowo-zapachowy wołowiny. Z badań dotyczących smakowości mięsa wołowego wynika, że surowiec poddawany dojrzewaniu na sucho jest pod względem tej cechy oceniany wyżej od dojrzewającego na mokro. Cechy smakowo-zapachowe takiej wołowiny opisywane są jako mocne, maślane, orzechowe, wołowe, pieczeniowe czy skarmelizowane. Dotychczas nie zidentyfikowano unikatowych związków smakowo-zapachowych, które różniłyby dojrzewanie na sucho od dojrzewania na mokro, ale wiele z tych substancji występuje w wołowinie dojrzewającej na sucho w większych ilościach. Aktywne smakowo i zapachowo związki obecne w wołowinie dojrzewającej tym sposobem obejmują spektrum substancji, a do najważniejszych należą związki: siarki, karbonylowe (aldehydy, ketony), heterocykliczne zawierające azot (pirazyny) oraz związki rozpuszczalne w wodzie (zwłaszcza wolne aminokwasy). Istotny jest też sposób obróbki termicznej mięsa. Proces prowadzony w niskiej temperaturze skutkuje tworzeniem produktów degradacji lipidów, podczas gdy szybkie ogrzewanie w wyższej temperaturze generuje więcej produktów reakcji Maillarda.

Słowa kluczowe: wołowina, smak, zapach, smakowość, związki lotne, prekursorzy smaku

Dr hab. inż. P. Domaradzki, prof. UP., prof. dr hab. inż. M. Florek, Instytut Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych, prof. dr hab. inż. Z. Litwińczuk, Instytut Hodowli Zwierząt i Ochrony Biodźnorodności, Wydz. Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin. Kontakt: mariusz.florek@up.lublin.pl

Wprowadzenie

Konsumenci oczekują kruchej (delikatnej), soczystej i smakowitej wołowiny kulinarnej o gwarantowanej powtarzalności doznań sensorycznych [22]. Za taki produkt klienci skłonni są zapłacić wyższą cenę, oczekując jednocześnie, że poniesione koszty zostaną zrekompensowane przez wysoką jakość mięsa [39, 47]. Jednym z najważniejszych zabiegów poubojowych stosowanych w celu poprawy właściwości sensorycznych wołowiny (przede wszystkim kruchości i smakowitości) jest proces poubojowego dojrzewania. Jest to jeden z najmniej skomplikowanych zabiegów prowadzących do podwyższenia jakości mięsa wołowego [17, 29]. Ponadto odpowiednio długi okres dojrzewania sprawia, że zazwyczaj obserwowane początkowe zróżnicowanie wyróżników jakościowych mięsa (zarówno pomiędzy rasami, jak i poszczególnymi osobnikami w obrębie tej samej rasy) ulega zmniejszeniu. Ostatecznie proces ten pozwala uzyskać produkt bardziej jednorodny, a co najistotniejsze – pożądaný przez konsumentów [18, 41].

W przemyśle mięsnym praktykowane są dwa sposoby dojrzewania wołowiny: na mokro (w warunkach próżniowych) i na sucho. Pierwsza z metod polega na próżniowym zapakowaniu elementów mięsa w worki z folii o dużej barierowości i przechowywaniu w temperaturze chłodniczej (0 - 4 °C). Technika ta opracowana w latach 60. XX w. jest szeroko stosowana w przemyśle mięsnym jako najbardziej praktyczna ze względu na wygodę podczas przechowywania i transportu oraz na bardzo małe (zwykle do 6 %) ubytki dojrzewalnicze [15, 58]. Dojrzewanie na sucho, mimo że jest praktykowane od kilku stuleci, stosuje się obecnie rzadziej, przede wszystkim z uwagi na brak odpowiedniej wiedzy oraz duży nakład pracy. Udział wołowiny kulinarnej poddanej tej technice w praktyce nie przekracza 10 % [50]. Dojrzewanie na sucho polega na przetrzymywaniu całych tusz lub niepakowanych elementów zasadniczych w ściśle monitorowanych warunkach chłodniczych o parametrach: temp. – 0 ÷ 4 °C, wilgotność względna – 75 ÷ 85 %, prędkość przepływu powietrza – 0,2 ÷ 2,5 m/s. Produkcja takiego surowca jest kosztowna ze względu na duże ubytki związane z utratą wody oraz konieczność usuwania przebarwionej i/lub odwodnionej powierzchniowej warstwy tkanki mięśniowej oraz tłuszczowej. Straty związane z ususzką mogą sięgać nawet 40 % [15, 37].

W przypadku dojrzewania mokrego, oprócz czasu chłodniczego przechowywania mięsa, najważniejszym parametrem jest temperatura. Wilgotność względna oraz prędkość przepływu powietrza praktycznie nie mają żadnego znaczenia [23, 58]. Czas dojrzewania na sucho jest zbliżony do dojrzewania na mokro i zwykle wynosi od 14 do 35 dni, ale niekiedy może ulec wydłużeniu do 60 [24], a nawet 240 dni [14]. Najważniejszym efektem poubojowego dojrzewania jest zmniejszenie twardości mięsa, tzn. zwiększenie jego kruchości. Z kolei nadrzędnym celem dojrzewania wołowiny na sucho jest uzyskanie unikatowego profilu smakowo-zapachowego z jednoczesnym

zwiększeniem jej kruchości [50]. Spośród wielu cech organoleptycznych wołowiny polscy konsumenci za najważniejsze uznają właśnie smak i zapach (40 %), następnie wygląd ogólny (30 %), a w dalszej kolejności kruchość (20 %) i soczystość (10 %). Podobną opinię wyrażają mieszkańcy Irlandii Północnej. Z kolei w opinii Australijczyków i Amerykanów najważniejszymi cechami jakościowymi wołowiny są kruchość, smakowitość i wygląd ogólny (po 30 %) i ostatecznie soczystość (10 %) [22]. W opinii niektórych badaczy [4, 28], jeżeli kruchość mięsa pozostaje na akceptowanym poziomie, wówczas smak staje się najważniejszym wyróżnikiem w ocenie sensorycznej wołowiny. Należy również podkreślić, że konsumenci mają własne, często różniące się preferencje w odniesieniu do cech organoleptycznych tego gatunku mięsa [28]. Te indywidualne preferencje znajdują odzwierciedlenie w decyzjach zakupowych [53].

Celem niniejszego opracowania było omówienie stanu wiedzy, na podstawie przeglądu literatury, na temat charakterystyki profilu smakowo-zapachowego wołowiny dojrzewającej na sucho oraz przedstawienie potencjalnych prekursorów i kluczowych związków odpowiedzialnych za ten swoisty profil.

Smakowitość mięsa

Smakowitość to kompleksowe wrażenie, na które składają się smak i zapach. Podstawowe smaki (słodki, gorzki, kwaśny, słony i umami) pochodzą od związków rozpuszczalnych w wodzie, z kolei zapachy są pochodną wielu substancji (zwłaszcza lipidowych) obecnych w produkcie żywnościowym lub powstających wskutek różnych reakcji [6]. Smakowitość mięsa obejmuje głównie smak i zapach, ale inne odczucia, takie jak wrażenie cierpkości, soczystości czy wrażenia odbierane na języku oraz wewnętrznej powierzchni jamy ustnej również mogą odgrywać pewną rolę w jej kształtowaniu [19].

Smak jest odczuciem pochodzącym od wyspecjalizowanych komórek receptora smaku umiejscowionych w jamie ustnej, głównie na języku. Wrażenia te są generowane przez związki nielotne lub rozpuszczalne w wodzie. Przyjmuje się, że receptory zlokalizowane w kubkach smakowych reagują na pięć podstawowych smaków. Z kolei ludzki węch potrafi odróżnić od kilkuset do nawet kilku tysięcy zapachów. Wrażenie zapachu wytwarzają lotne substancje chemiczne, które stymulują receptory w nabłonku nosa. Związki lotne mogą docierać do tych receptorów przez nos (w trakcie wąchania) lub poprzez nozdrza wewnętrzne w tylnej części nosa i gardła w trakcie przeżuwania pokarmu w jamie ustnej. Zapach odgrywa zatem główną rolę w definiowaniu charakterystycznego smaku żywności [6, 19, 44]. O wiele trudniej rozróżnić smak produktów mięsnych, gdy zostanie wyeliminowany wpływ zapachu. Reakcja na zapach jest ponad 10 000 razy silniejsza niż na smak [32]. Rzadziej dyskutowanym problemem, ale będącym integralną częścią ogólnego postrzegania smaku i zapachu, są wrażenia determi-

nowane przez duży nerw trójdzielny (tzw. piąty nerw czaszkowy), zawierający gałęzie oftalmiczne, szczękowe i zuchwowe. Ponieważ nerwy te docierają do błon śluzowych jamy ustnej i zatok, ich funkcje sensoryczne są integralną częścią percepcji smakowości. Przykładami substancji, które odczuwane są w wyniku stymulacji nerwu trójdzielnego to np. mentol dający uczucie „zimna”, kwas octowy odczuwany jako „ostry, gryzący” oraz etanol powodujący uczucie „ciepła” [26].

Surowe mięso wykazuje bardzo słaby aromat i smak (zbliżony do krwi), jednocześnie jest źródłem wielu prekursorów i substancji wzmacniających smakowość, pochodzących zarówno z tkanki mięśniowej, jak i z tkanki tłuszczowej. To właśnie te związki w trakcie obróbki cieplnej generują smak i zapach mięsa [44, 51]. Wyróżnia się dwie główne kategorie prekursorów smakowości: rozpuszczalne w wodzie i lipidy. Reakcje podczas obróbki termicznej, w trakcie których powstają związki lotne to m.in: 1) reakcje Maillarda, 2) utlenianie lipidów, 3) interakcje między produktami reakcji Maillarda i produktami utleniania lipidów oraz 4) termiczna degradacja tiaminy [40, 44]. Generalnie zapach indukowany jest przez niskocząsteczkowe związki lotne, a smak – przez substancje znacznie cięższe i rozpuszczalne w wodzie. Inną klasą nielotnych analitów są tzw. wzmacniacze smaku, np. kwas glutaminowy, glutaminian monosodowy, kwas inozynowy. Zwykle nie są to substancje smakowo- lub aromatyzujące, a ich rola polega na wzmacnianiu wrażenia sensorycznego pochodzącego od innych związków [19].

Główne prekursory substancji smakowych rozpuszczalnych w wodzie to wolne i ufosforylowane cukry, cukry wchodzące w skład nukleotydów, sole nieorganiczne, kwasy organiczne, wolne aminokwasy, peptydy, nukleotydy i inne składniki azotowe, np. tiamina [40, 44]. Związki te mogą uczestniczyć zarówno w reakcjach Maillarda, utleniania/degradacji, jak również wchodzić w interakcje w trakcie ogrzewania, generując lotne związki smakowo-zapachowe – finalnie kształtując smakowość mięsa poddanego obróbce termicznej [2]. Podczas ogrzewania zaobserwowano zmniejszenie ilości węglowodanów i aminokwasów, przy czym najbardziej znaczące straty wystąpiły w przypadku cysteiny i rybozy [44]. Przyjmuje się [32], że rozpuszczalne w wodzie składniki prekursorowe przyczyniają się do wykształcenia tzw. smaku mięsnego, natomiast tkanka tłuszczowa i tłuszcz śródmięśniowy odpowiadają nie tylko za smak ogrzewanego mięsa, ale także za uzyskanie w mięsie smaku danego gatunku zwierząt. Oznacza to, że różnice w cechach smakowości mięsa różnych gatunków zwierząt związane są przede wszystkim z frakcją lipidową, a nie z rozpuszczalnymi w wodzie związkami prekursorowymi [2, 44].

Do najważniejszych klas związków pochodzących z degradacji lipidów mięsa po jego obróbce termicznej należą: węglowodory, aldehydy, ketony, alkohole, kwasy karboksylowe i estry [44]. Większość związków aromatycznych identyfikowanych w mięsie po obróbce termicznej jest wynikiem reakcji Maillarda [3]. Prekursory utwo-

rzony z 1-deoksyosonów reagują z produktami reakcji Streckera, w wyniku czego powstają liczne związki aromatyczne. Termiczna degradacja tiaminy powoduje powstanie szeregu związków siarki, takich jak tiole, siarczki i disiarczki [21], które same wydzielają woń lub przyczyniają się do rozwoju aromatu gotowanego mięsa [25]. Zasadniczo progi wyczuwalności sensorycznej lotnych związków pochodzących z degradacji lipidów są wyższe niż związków heterocyklicznych pochodzących z reakcji Maillarda i zawierających siarkę oraz azot. Oznacza to, że ludzki zmysł powonienia potrzebuje większej koncentracji pochodnych lipidowych, aby zarejestrować obecność aromatu [13]. Wołowina kulinarna powinna zawierać odpowiednio dużo tłuszczu śródmięśniowego, stąd jego udział w kształtowaniu smakowości mięsa w trakcie obróbki termicznej jest znaczący. Powolna, prowadzona w niskiej temperaturze obróbka termiczna powoduje przede wszystkim tworzenie produktów degradacji lipidów, podczas gdy szybkie ogrzewanie w wysokiej temperaturze generuje więcej produktów reakcji Maillarda [26]. Złożoność smakowości oraz wpływ procesów ją kształtujących sprawiają, że w wołowinie zidentyfikowano wiele związków lotnych i aktywnych smakowo. Są to m.in. kwasy, alkohole, aldehydy, związki aromatyczne, estry, eter, furany, węglowodory, ketony, laktony, pirazyny, pirydyny, pirole, siarczki, tiazole i tiofeny [51]. Najważniejsze substancje występujące w wołowinie oraz ich związek z odpowiednimi rodzajami i nutami smakowo-zapachowymi przedstawiono w tab. 1 i 2.

Tabela 1. Najważniejsze związki lotne występujące w wołowinie związane z jej charakterystyczną smakowością

Table 1. Most important volatile compounds present in beef and associated with its characteristic palatability

Związek chemiczny smakowo/zapachowo czynny Chemical compound taste/aroma active	Próg wykrywalności Detection threshold [ppm]	Charakterystyczny smak/zapach Characteristic taste/aroma	Prawdopodobne pochodzenie (mechanizm powstawania w mięsie) / Possible origin (mechanism of formation in meat)
Aldehydy / Aldehydes:			
Butanal	0,009	stęchły, sfermentowany, drożdżowy musty, fermented, yeast	utlenianie lipidów
Pentanal	0,01	ostry, gryzący spicy, pungent	utlenianie lipidów
Heksanal / Hexanal	0,005	surowy, trawiasty, tłuszczowy crude, grassy, fatty	utlenianie kwasów tłuszczowych (KT) <i>n-6</i>
Heptanal	0,003	surowy, tłusty, oleisty crude, fatty, oily	utlenianie lipidów
Nonanal	0,001	mydlasty / soapy	utlenianie KT <i>n-9</i>

Metional / Methional	-	gotowanych ziemniaków boiled potatoes	degradacja Streckera metioniny
Aldehyd benzoesowy Benzaldehyde	0,35	gorzkich migdałów, palący bitter almonds, burning	degradacja Streckera tyrozyny lub termiczna degradacja 2,4-dekadienu
2-metylobutanal 2-methylbutanal	0,002	słodowy, owocowy, ostry, gryzący, słodki / malty, fruity, spicy, pungent, sweet	degradacja Streckera izoleucyny
3-metylobutanal 3-methylbutanal	0,0005	słodowy, mięsny, rybny malty, meat, fishy	degradacja Streckera leucyny
12-metylotridekanal 12-methyltridecanal	0,1	wołowy / bovine	hydroliza plazmalogenów (fosfolipidów eterowych)
(E)-2-nonenal	0,0002	łojowy, tłuszczowy sebaceous, fatty	utlenianie KT <i>n-6</i>
(E,E)-2,4-dekadienal Deca-2,4-dienal	0,00007	tłuszczowy, smażonych ziemniaków fatty, fried potatoes	utlenianie KT <i>n-6</i>
Ketony / Ketones:			
2-dekanon 2-decanone	-	stęchły, owocowy musty, fruity	utlenianie lipidów
2,3-butandion (diacetyl) 2,3-butanedione	0,007	słodki, maślany sweet, buttery	degradacja cukrów w reakcji Maillarda
3-hydrokso-2-butanon (acetoina) 3-hydroxy-2-butanone (acetoin)	8	maślany buttery	degradacja cukrów w reakcji Maillarda lub wytwarzany przez bakterie kwasu mlekowego
2,3-oktanodion 2,3-octanedione	-	niepożądany, zjełczały - „warm-over flavour” undesirable, rancid - „warm-over flavour”	utlenianie lipidów
Lotne kwasy tłuszczowe / Volatile fatty acids:			
Kwas butanowy Butanoic acid	2,4	zjełczały / rancid	hydroliza wiązania estrowego triacylogliceroli lub utlenianie kwasów tłuszczowych do krótkołańcuchowych KT
Kwas octowy Acetic acid	180	kwaśny, octowy sour, acetic	
Kwas heksanowy Hexanoic acid	3,0	zapach potu the smell of sweat	
Kwas oktanowy Octanoic acid	3,0	-	
Laktony / Lactones:			
Delta-nonalakton Delta-nonalactone	-	słodki, mleczny, z woskowymi nutami / sweet, milky, with waxy notes	utlenianie lipidów (laktonizacja hydroksykwasów tłuszczowych)

Alkohole / Alcohols :			
Etanol / Ethanol	990	podobny do aldehydu octowego, grillowy (słaby) similar to acetaldehyde, grilled (faint)	utlenianie/degradacja lipidów, fermentacja węglowodanów
1-pentanol	4	łagodny, oleju opałowego, owocowy, balsamiczny mild, heating oil, fruity, balsamic	
1-heptanol	0,003	aromatyczny, drzewny, tłusty surowy, winny aromatic, woody, greasy raw, vine	
1-okten-3-ol 1-octene-3-ol	0,001	grzybowy / fungous	
Pirazyny / Pyrazines:			
Metylopirazyna Methylpyrazine	60	pieczeniowy, orzechowy roasted, nutty	degradacja aminokwasów
2,5- (i 2,6-) dimetylopi- razyna 2,5- (and 2,6-) dimet- hylpyrazine	1,7	kawowy, pieczeniowy coffee, roasted	degradacja Streckera aminokwasów ze związkami dikarbonyłowymi (z reakcji Maillarda) i kondensacja otrzymanych związków aminokarbonylowych
Związki siarki / Sulphur compounds:			
2-metylo-3-furantiol 2-methyl-3-furanthiol	-	pieczonego mięsa roasted meat	reakcja Maillarda pomiędzy cysteiną a rybozą lub związkami pokrewnymi, lub w wyniku degradacji tiaminy
Disiarczek bis-(2- metylo-3-furylu) Bis-(2-methyl-3-furyl) disulfide	-	pieczonego mięsa roasted meat	jak wyżej, a następnie reakcja oksydacji lub degradacji tiaminy
Siarczek dimetylu Dimethyl sulfide	0,001	szparagowy, gnilny asparagus, putrefactive	degradacja aminokwasów lub degradacja metionalu
Furany / Furans			
2-pentylofuran 2-pentyl furan	0,006	metaliczny, surowy, ziemisty, fasolowy metallic, crude, earthy, bean	utlenianie KT <i>n-6</i>
2-metylo-3- (metylotio)furan 2-methyl-3-(methylthio) furan	-	mięsny, słodki, siarkowy meat, sweet, sulphuric	jak (1), a następnie reakcja z metanotiolem pochodzącym z degradacji metioniny
4-hydrokso-5-metylo- 3(2H)-furanon 4-hydroxy-5-methyl- 3(2H)-furanone	-	mięsny / meat	degradacja pentoz w reakcji Maillarda lub w wyniku defosforylacji i dehydratacji fosforanu rybozy

Źródło / Source: opracowanie własne na podstawie [2, 6, 8, 20, 26] / Author's own study based on [2, 6, 8, 20, 26]

Tabela 2. Aktywne smakowo substancje rozpuszczalne w wodzie występujące w wołowinie

Table 2. Taste-active, water-soluble compounds present in beef

Związek chemiczny Chemical compound	Charakterystyczny smak Characteristic taste
Kwasy organiczne / Organic acids:	
Mlekowy, ortofosforowy i pirolidonokarboksylowy Lactic, orthophosphoric and pyrrolidone carboxylic	słodki / sweet
Bursztynowy, mlekowy, inozynowy, ortofosforowy, pirolidonokarboksylowy Succinic, lactic, inosinic, ortho-phosphoric, pyrrolidone carboxylic	kwaśny / sour
Cukry/cukry redukujące / Sugars/reducing sugars:	
Glukoza, fruktoza, ryboza / Glucose, fructose, ribose	słodki / sweet
L-aminokwasy / L-amino acids:	
Glicyna, alanina, lizyna, cysteina, metionina, glutamina Glycine, alanine, lysine, cysteine, methionine, glutamine	słodki / sweet
Kwas asparaginowy, histydyna, asparagina Aspartic acid, histidine, asparagine	kwaśny / sour
Arginina, leucyna, tryptofan / Arginine, leucine, tryptophan	gorzki / bitter
Peptydy / Peptides:	
Anseryna, karnozyna / Anserine, carnosine	gorzki / bitter
Inne związki azotowe / Other nitrogen compounds:	
Glutaminian sodu (MSG), monofosforan inozyny i guanozyny (IMP, GMP) / Monosodium glutamate (MSG), inosine and guanosine monophosphate (IMP, GMP)	pikantny, rosółowy, wołowy spicy, brothy, bovine
Hipoksantyna / Hypoxanthine	gorzki / bitter
Tiamina / Thiamine	przypominający mięso, pieczony resembling meat, roasted

Źródło / Source: opracowanie własne na podstawie [2, 6] / Author's own study based on [2, 6]

Smakowitość wołowiny dojrzewającej na sucho

Kluczowym efektem dojrzewania wołowiny na sucho jest wykształcenie związków smakowo-zapachowych, warunkujących jej niepowtarzalną smakowitość. Ze względu na specyfikę można ją określić jako „smakowitość wołowiny dojrzewającej na sucho”. W trakcie spożywania jej profil smakowy jest zwykle opisywany jako mocny, maślany, orzechowy i/lub ziemisty. Intensywniejszy orzechowy i wołowy smak mięsa poddanego dojrzewaniu na sucho warunkuje częściowa absorpcja soków mięsniowych przez tkankę mięśniową, jak również chemiczna degradacja składników

białkowych i tłuszczowych. Progresywna utrata wilgoci podczas dojrzewania wpływa również na koncentrację wielu związków prekursorowych odpowiedzialnych za smakowość wołowiny po obróbce termicznej [9, 15, 50, 58]. Z uwagi na cechy sensoryczne zachodzące procesy są korzystne, ale znaczne ubytki dojrzewalnicze skutkują zmniejszeniem wydajności produktu gotowego do sprzedaży. Strata ta musi zostać zrekompensowana końcową jego ceną. Przyjmuje się, że cena wołowiny dojrzewającej na sucho powinna być wyższa o ok. 20 % w porównaniu z jej odpowiednikiem pakowanym próżniowo [36, 55].

Wyniki analizy sensorycznej wołowiny dojrzewającej na sucho oraz na mokro nie są jednoznaczne, ale w wielu badaniach wskazywano na korzystniejszą smakowość wołowiny dojrzewającej na sucho (tab. 3). W smaku takiej wołowiny silniej zaznaczone są nuty, jak np. wołowa, pieczeniowa czy mięsa zrumienionego [9, 45, 58]. Ponadto wołowina dojrzewająca na sucho była wysoko punktowana za takie wyróżniki, jak smak umami, maślany, skarmelizowany oraz orzechowy [24, 45]. Steki dojrzewające na mokro wykazywały z kolei bardziej intensywne nuty smakowe kwaśne i metaliczne oraz silny smak surowiczy i krwi, przez co były niżej oceniane [57, 58]. Nie jest to jednak reguła i w niektórych badaniach albo nie stwierdzano wpływu metody dojrzewania na smakowość wołowiny [16, 34, 55], albo nawet korzystniej oceniano mięso poddane dojrzewaniu na mokro [46, 53, 54]. Jedną z przyczyn tych sprzecznych wyników może być brak kontroli lub/i zmienność warunków stosowanych podczas procesu dojrzewania mięsa na sucho (temperatury, wilgotności czy prędkości obiegu powietrza i czasu). Wynika z tego, że do tej pory nie opracowano jednoznacznych (optymalnych) warunków dojrzewania wołowiny na sucho, które zapewniałyby wysoką i powtarzalną jakość produktu końcowego [29]. Ponadto większość badań w zakresie percepcji sensorycznej smakowości, w których nie wykazano istotnych różnic w zależności od sposobu dojrzewania, została przeprowadzona przez konsumentów nieznających specyficznego profilu smakowo-zapachowego wołowiny dojrzewającej na sucho (tab. 3). W związku z tym preferują produkt bardziej im znany, czyli wołowinę dojrzewającą na mokro [15, 16, 38, 53].

Tabela 3. Najważniejsze wyniki oceny sensorycznej smakowości wołowiny dojrzewającej na sucho
 Table 3. The major findings of the sensory evaluation in respect to the palatability of dry-ageing beef

Rodzaj elementu Type of cut	Zawartość tłuszczu* Fat content [%]	Rodzaj obróbki termicznej/ temperatura wewnątrz kawałka Type of thermal treatment/ internal temperature	Zespół oceniający Assessment panel	Wpływ dojrzewania suchego na smakowość wołowiny Impact of dry ageing on beef palatability	Najważniejsze obserwacje w zakresie smakowości The most important observations in terms of palatability	Źródło Reference
Rostbef Strip loin	-	Pieczenie Roasting 70 °C (158 F)	Wykwalifikowany zespół oceniający Qualified assessment panel	tak yes	Bardziej intensywny posmak wołowiny (5,98 vs. 5,64 w 10- punktowej skali) zrumieniony i pieczony (6,01 vs. 4,74) w porównaniu z DM	[58]
Rostbef Short loin	-	Grillowanie Grilling 63 °C	Wykwalifikowany zespół oceniający Qualified assessment panel	tak yes	Wyższe noty za smak mięsa dojrzewającego na sucho (10,6 vs. 9,7 w 15-punktowej skali) zrumieniony i pieczony (10,6 vs. 10,4) w porównaniu z DM, zwłaszcza w 14. dniu DS poprzedzonego 7-dniowym DM	[9]
Rostbef Strip/short loins	3,5 - 5,0	Grillowanie Grilling 71 °C	Wykwalifikowany zespół oceniający Qualified assessment panel	tak yes	Większa intensywność smaku mięsa dojrzewającego na sucho (zwłaszcza w stekach z elementów odkostnionych) w porównaniu z DM (1,87 vs. 1,44 w 8-punktowej skali). Dojrzewanie należy prowadzić nie krócej niż 21 dni	[36]
Rostbef Short loin	-	Grillowanie Grilling 71 °C	Ocena konsumentcka Consumer rating	tak yes	Większa intensywność smakowości (6,18 vs. 5,75 w 10- punktowej skali) i ogólna akceptowalność (6,2 vs. 5,8) w porównaniu z DM	[29]
Rostbef Loin	4,75	Grillowanie Grilling 65 °C	Ocena konsumentcka Consumer rating	tak yes	Większa intensywność smakowości w porównaniu z DM	[6]

Rostbef (LTL)	3,0	Pieczenie Roasting 65 - 68 °C	Wykwalifikowany zespół oceniający Qualified assessment panel	tak yes	Wyższe noty za smak umami (8,6 vs. 8,2 w 15-punktowej skali), tłuszczowy (6,45 vs. 5,8) i mięsa smażonego w maśle (7,65 vs. 7,1) w porównaniu z DM. Korzystny wpływ wydłużonego okresu dojrzewania	[37]
Krzyżowa (GM)	-	Pieczenie Roasting 68 °C	Ocena konsumentcka Consumer rating	tak yes	Bardziej preferowane przez konsumentów w porównaniu z DM (58 % vs. 37,3 %)	[38]
Rostbef Strip loin	6,9 ± 1,5	Grillowanie Grilling 68 °C	Wykwalifikowany zespół oceniający Qualified assessment panel	tak yes	Wysoka ocena za: smak dojrzewającego na sucho mięsa (8,5 - 9,1 w 15-punktowej skali), smak wołowy (9,5 - 9,8), zrumieniony i pieczony (9,3 - 9,7). Brak istotnych różnic między wyróżnikami sensorycznymi w zależności od czasu (14 vs. 21 dni) dojrzewania	[1]
Rostbef Strip loin	9,0 - 13,9	Grillowanie Grilling 68 °C	Wykwalifikowany zespół oceniający Qualified assessment panel	tak yes	Wysoka ocena za: smak wołowy (10,7 w 15-punktowej skali), zrumieniony i pieczony (10,7 - 10,8). Brak istotnych różnic w wyróżnikach sensorycznych w zależności od czasu (21 vs. 28 dni) dojrzewania	[15]
Rostbef Strip loin	7,24 - 12,02	Grillowanie Grilling 74 °C	Ocena konsumentcka Consumer rating	tak yes	Spośród różnych zabiegów (system produkcji, rasa bydła, sposób żywienia, czas dojrzewania) i metod dojrzewania (DS, DM) produkty DS ocenione najwyżej pod względem ogólnej pożądalności smaku (4,92 - 6,65 w 10-punktowej skali) oraz intensywności takich nut jak: wołowa/ bulionowa (4,60 - 5,83), skarmelizowana/grillowa (5,12 - 5,92), maślana/tłuszczu wołowego (2,99 - 4,38), orzechowa (1,14 - 1,70) i słodka (0,64 - 1,40)	[45]
Rostbef Strip loin	-	Grillowanie Grilling 74 °C	Ocena konsumentcka Consumer rating	tak yes	Wołowina DS w zakresie smakowitości wyżej oceniona od DM, zarówno przez australijskich, jak i japońskich konsumentów	[57]

Rostbef (LT)	40,3	Grillowanie Grilling 60 °C	Zespół oceniający Assessment panel	tak yes	W zakresie cech sensorycznych zwłaszcza smakowości (5,26 w 8-punktowej skali) oraz intensywności smaku umami (5,44), optymalny okres DS dla wołowiny o bardzo wysokiej marmurkowatości wynosi 40 dni	[24]
Rostbef Strip loin Antrykot Rib	-	Pieczenie Roasting 60 °C	Wykwalifikowany zespół oceniający Ocena konsumentcka Qualified assessment panel Consumer rating	tak yes	DM wyższe noty za smakowość ogółem (6,28 vs. 6,18 w 8-punktowej skali). W zależności od klasy jakościowej noty za smakowość w następującej kolejności: Prime > Choice > Select; Steki z antrykotu korzystniej ocenione niż steki z rostbefu	[46]
Rostbef Strip loin	10,44 - 11,56	Grillowanie Grilling 70 °C	Ocena konsumentcka Consumer rating	nie no	W klasie Choice brak istotnych różnic w zakresie smakowości (DS = DM). W klasie Prime – DM wyższe oceny za smakowość (6,08 vs. 5,70 w 8-punktowej skali). Użyte w badaniach steki DM o dużo większej zawartości tłuszczu (16,16 vs. 11,56 %)	[53]
Antrykot/ Rostbef/ Krzyżowa Rib eye roll/ Strip loin/ Sirloin	-	Grillowanie Grilling 70 °C	Ocena konsumentcka Consumer rating	nie no	Wysokie oceny w zakresie smaku wołowego i smakowości ogółem. Brak istotnych różnic pomiędzy DS a DM (DS = DM) oraz okresami dojrzewania. Steki z rostbefu w klasie Choice wyżej ocenione niż ich odpowiedniki w klasie Select	[34]
Rostbef Porterhouse steak	-	Grillowanie Grilling 70 °C	Ocena konsumentcka Consumer rating	nie no	Wysokie oceny w zakresie smaku wołowego i smakowości ogółem. Brak istotnych różnic pomiędzy DS a DM (DS = DM) oraz okresami dojrzewania. Steki z rostbefu w klasie Choice wyżej ocenione niż w klasie Select. Najwyżej oceniono steki w 21. dniu dojrzewania	[54]

Rostbef T-bone steak Rostbef Top loin	-	Grillowanie Grilling 70 °C	Wykwalifikowany zespół oceniający Ocena konsumencka Qualified assessment panel Consumer rating	nie no	Niższe noty za smakowitość i ogólną akceptowalność w porównaniu z DM (DM > DS). W DS wyczuwalne nuty pleśniowe i zepsutego mięsa	[55]
Rostbef Strip loin	3,81 - 5,81	Pieczenie 62,8 lub 71,1 °C Roasting 62,8 or 71,1 °C	Wykwalifikowany zespół oceniający Qualified assessment panel	nie no	Brak istotnych różnic w intensywności smaku wołowego w zależności od metody dojrzewania (DS = DM) oraz klasy jakościowej steków. Steki dogrzane do temp. 62,8 °C większa intensywności smaku wołowego niż steki dogrzane do temp. 71,1 °C (5,67 vs. 5,54 w 8-punktowej skali)	[16]

Objaśnienia / Explanatory notes:

DS – dojrzewanie na sucho / dry-ageing; DM – dojrzewanie na mokro / wet-ageing; (*) – zawartość tłuszczu oznaczona w surowcu przed procesem dojrzewania / fat content as determined in raw cut before aging process; GM – *m. gluteus medius*; LTL – *m. longissimus thoracis et lumborum*; LT – *m. longissimus thoracis*

Smakowitość jest atrybutem trudnym do oceny sensorycznej, dlatego powinien ją przeprowadzać bardzo dobrze wyszkolony zespół oceniający (panel) lub eksperci. Zapewni to możliwość stwierdzenia obecności w mięsie, a zwłaszcza w wołowinie poddanej procesowi dojrzewania na sucho, zarówno pozytywnych, jak i negatywnych nut smakowitości [50].

Suchemu dojrzewaniu należy poddawać jedynie wołowinę najwyższej jakości. Powinna wykazywać pH końcowe ($\text{pH}_{48\text{h}}$) w zakresie $5,4 \div 5,7$ i zawierać odpowiednią ilość tłuszczu śródmięśniowego (marmurkowatość), zwiększającą prawdopodobieństwo pozytywnych doznań sensorycznych (głównie smakowitości i soczystości) gotowego produktu [14, 36]. W związku z tym np. w USA dojrzewaniu poddawane są najczęściej elementy zakwalifikowane do najwyższych klas jakościowych, tj. USDA Prime oraz USDA Choice (z co najmniej umiarkowaną marmurkowatością). Zawartość tłuszczu śródmięśniowego w takich elementach mieści się zwykle w przedziale $6 \div 11\%$, a niekiedy jest większa [36, 53]. O'Quinn i wsp. [45] wykazali, że wołowina o większej zawartości tłuszczu śródmięśniowego i jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA), a jednocześnie z mniejszą ilością kwasów tłuszczowych nasyconych (SFA), nieparzystych (OCFA), *n-3* i *trans* była bardziej preferowana przez konsumentów. Związane to było z pozytywnymi nutami smakowymi, takimi jak: wołowa, rosółowa, maślana, tłuszczu wołowego, grillowa, skarmelizowana, orzechowa i słodka.

Substancje odpowiedzialne za smakowitość wołowiny dojrzewającej na sucho

Związki lotne

W badaniach związków lotnych alternatywnie do metod analizy sensorycznej wykorzystuje się metody instrumentalne. Podstawowym narzędziem analizy składu frakcji lotnej mięsa jest chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas lub z detekcją za pomocą ludzkiego nosa (olfaktometrią, GC-O), a do podstawowych metod przygotowania próbek do analizy chromatograficznej związków lotnych należy technika mikroekstrakcji do fazy stacjonarnej (SPME) [2, 26, 27].

W mięsie po obróbce termicznej zidentyfikowano ponad 1000 różnych związków lotnych, ale tylko nieliczne z nich tworzą jego profil smakowo-zapachowy [44]. Re-sconi i wsp. [48] wykorzystali technikę olfaktometryczną i wykazali w grillowanej wołowinie 35 potencjalnie aktywnych zapachowo związków. Najwyższą aktywnością charakteryzowały się: 1-okten-3-on, (E)-2-oktenal + 2-furfurylotiol, trisiarczek dimetylu + 2,4,5-trimetylotiazol, metional i heksanal. Z kolei Kerscher i Grosch [25] w gotowanej wołowinie oznaczyli 34 związki aktywne zapachowo, przy czym 2-furfurylotiol, furaneol, 2-metylo-3-furantiol, 1-okten-3-on i (E)-2-nonenal były kluczowe. Belitz i wsp. [5] podają, że do najważniejszych związków zapachowo aktywnych w gotowanej wołowinie należą: oktanal, nonanal, (E,E)-2,4-dekadienal, metanotiol, metional,

2-furfurylotiol, 2-metylo-3-furantiol, 3-merkapto-2-pentanon i 4-hydrokso-2,5-dimetylo-3-(2H)-furanon. Przytoczone wyniki badań potwierdzają duże znaczenie związków siarki i karbonylowych w kształtowaniu aromatu i smaku wołowiny po obróbce cieplnej. Typowanie przez różnych autorów odmiennych związków odpowiedzialnych za kształtowanie smakowości wołowiny może mieć związek z różnorodnością metod stosowanych w przygotowaniu prób, metod ekstrakcji związków lotnych oraz z różnym sposobem oceny zapachu. Ponadto należy podkreślić, że smakowość mięsa jest determinowana przez wiele czynników zarówno przed-, jak i poubojowych, przy czym za najważniejsze uznaje się żywienie zwierząt oraz warunki/parametry obróbki termicznej surowca [2, 8, 26].

Tabela 4. Najważniejsze związki lotne identyfikowane w wołowinie dojrzewającej na sucho lub na mokro i poddanej obróbce cieplnej

Table 4. Most important volatile compounds identified in dry or wet aging and thermally treated beef

Związki lotne Volatile compounds	Dojrzewanie / Ageing					
	na sucho dry [ng/100 g]	na mokro wet [ng/100 g]	na sucho dry [% m/m] [% w/w]	na mokro wet [% m/m] [% w/w]	na sucho dry [% IS]	na mokro wet [% IS]
Aldehydy / Aldehydes:						
Butanal	543,00	972,26	-	-	-	-
2-metylobutanal 2-methylbutanal	60,47	53,81	-	-	3869	3659
3-metylobutanal 3-methylbutanal	60,65	44,77	-	-	1230	1641
Pentanal	7,11	7,99	5,56 ^y	3,26 ^x	-	-
Heksanal / Hexanal	42,88	58,15	6,88 ^y	3,76 ^x	1366 ^y	1293 ^x
Heptanal	1,46	1,98	1,00 ^x	2,77 ^y	345	167
Aldehyd benzoesowy Benzaldehyde	31,91	39,15	-	-	703	714
Nonanal	11,18	7,81	3,29	3,50	797	934
Oktanal / Octanal	3,02	2,91	1,67 ^x	4,60 ^y	183	224
Cyklobutanal / Cyclobutanal	32,54	38,12	-	-	-	-
Ketony / Ketones:						
2,3-butandion (diacetyl) 2,3-butanedione	1897,82 ^y	427,92 ^x	-	-	1067	1201
3-hydrokso-2-butanon (acetoina) 3-hydroxy-2-butanone (acetoin)	67,52 ^y	18,85 ^x	0,56	0,15	2183 ^y	473 ^x
7-okten-2-on / 7-octen-2-one	-	-	0,03 ^x	0,37 ^y	-	-
2,3-oktanodion / 2,3-octanedione	-	-	0,56	0,49	-	-
Związki siarki / Sulphur compounds:						
Siarczyk dimetylu Dimethyl sulfide	2,02 ^x	5,07 ^y	-	-	156	115
Dimetylosulfon Dimethyl sulfone	-	-	0,00 ^x	0,28 ^y	-	-

Furany / Furans:						
2-pentylofuran / 2-pentylfuran	0,67 ^y	0,41 ^x	-	-	55	38
Pirazyny / Pyrazines:						
2,5-dimetylopirazyna 2,5-dimethylpyrazine	0,42	2,00	-	-	292 ^y	181 ^x
Trimetylopirazyna Trimethylpyrazine	0,01	0,63	-	-	1019 ^y	570 ^x
2,6-dimetylopirazyna 2,6-dimethylpyrazine	-	-	-	-	1345 ^y	882 ^x
Alkany / Alkanes:						
Heptan / Heptane	38,94	33,91	18,82 ^y	13,70 ^x	-	-
Oktan / Octane	12,65	11,92	0,00	0,18	11 ^x	264 ^y
Alkohole / Alcohols:						
Etanol / Ethanol	-	-	-	-	80 ^x	2329 ^y
1-butanol	-	-	0,67 ^y	0,37 ^x	-	-
1-pentanol	-	-	1,44 ^y	0,09 ^x	292	321
1-okten-3-ol / 1-octene-3-ol	-	-	0,28	0,16	-	-
Heptanol	-	-	0,08	0,72	121 ^y	87 ^x
Kwasy karboksylowe / Carboxylic acids:						
Kwas octowy / Acetic acid	-	-	3,41 ^y	0,87 ^x	293 ^x	1150 ^y
Kwas heksanowy Hexanoic acid	-	-	1,45	1,28	213 ^x	314 ^y
Kwas oktanowy / Octanoic acid	-	-	0,09 ^x	2,31 ^y	78	76
Okres dojrzewania [dni] Ageing period [days]	17 (na mokro) + 30 (na sucho)	46	14	28	35	35
Rodzaj elementu / Type of cut	Rostbef Strip loin		Antrykot Ribeye		Rostbef Strip loin	
Sposób obróbki cieplnej Thermal treatment	Mięso mielone formowane w postaci kotletów; obróbka cieplna na patelni grillowej (rozgrzanej do temp. 246 °C z powłoką nieprzywierającą) do osiągnięcia w mięsie temp. 74 °C Thermal treatment on non-stick grill pan (heated to 246 °C) to reach internal meat target temp. of 74 °C		Pieczenie w piekarniku w temp. 175 °C, do osiągnięcia temp. wewnętrznej 70 °C Roasting in oven at temp. of 175 °C to reach internal target temp. of 70 °C		Steki o grubości 2,5 cm grillowane w temp. 220 °C przez 180 s 2.5 cm thick steaks grilled for 180 s at 220 °C	
Technika ekstrakcji Technique of extraction	HS-SPME; włókno CAR/PDMS CAR/PDMS fibre		CO ₂ w stanie nadkrytycznym CO ₂ in supercritical state		HS-SPME; włókno DVB/CAR/PDMS DVB/CAR/PDMS fibre	
Źródło / Reference	[45]		[31]		[57]	

Objaśnienia / Explanatory notes:

IS – standard wewnętrzny stanowił 4-metylopentanol / 4-methylpentanol as an internal standard; x, y – różnice między związkami lotnymi w obrębie danego oznaczenia istotne przy $p < 0,05$ / differences between volatile compounds within a single assay significant $p < 0.05$.

Analiza związków lotnych w wołowinie dojrzewającej na sucho była przedmiotem jedynie nielicznych badań naukowych (tab. 4). Większość z nich dotyczyła porównania profilu związków lotnych: wołowiny dojrzewającej na sucho z wołowiną dojrzewającą na mokro. Warner i Ha [57] wykazali, że bardziej korzystne wyniki konsumenckiej oceny smakowości steków dojrzewających na sucho były związane z różnicami w udziale niektórych związków lotnych analizowanych techniką GC-MS. Wołowina dojrzewająca na sucho zawierała znacznie więcej 3-hydroksy-2-butanonu, acetonu, pirazyn i heksanal, podczas gdy etanol i kwas octowy były dominujące w mięsie dojrzewającym na mokro. Etanol i kwas octowy są kluczowymi produktami fermentacji beztlenowej, natomiast 3-hydroksy-2-butanon, aceton i heksanal są produktami utleniania lipidów. Pirazyny z kolei są ważnymi produktami reakcji Maillarda indukowanymi ciepłnie, o silnych pieczeniowych i grillowych nutach zapachowych. Ponadto wołowina dojrzewająca na sucho w porównaniu z dojrzewającą na mokro charakteryzowała się wyższym pH (5,62 vs. 5,44 w 35. dniu *post mortem*), co mogło przyczynić się do zwiększonego wytwarzania produktów reakcji Maillarda w trakcie grillowania [57]. Wraz ze wzrostem pH mięsa zwiększa się ilość związków polimerowych, przy czym związki zawierające azot (np. pirazyny) pojawiają się jako pierwsze [42]. Właśnie z tą grupą związków badacze wiążą intensywniejszą smakowość wołowiny dojrzewającej na sucho. W grupie pirazyn odnotowano bowiem najwięcej istotnych różnic (na 13 zidentyfikowanych związków udział wszystkich był istotnie większy w stekach dojrzewających na sucho) [42]. Mniejsza zawartość wody w wołowinie dojrzewającej na sucho (zwłaszcza na jej powierzchni) najprawdopodobniej również sprzyja tworzeniu pirazyn w trakcie obróbki termicznej. Potwierdzeniem tych spostrzeżeń jest znacznie wyższa intensywność związków zapachowych, takich jak: 2-etylo-3,5-dimetylopirazyna, 3-etylo-2,5-dimetylopirazyna, 2,5-dimetylopirazyna, 2-metylopropanalu/aceton, (E)-2-nonenal oraz 1-oktanol w stekach grillowanych, które dojrzewały na sucho [57]. W wołowinie poddanej obróbce termicznej lotne związki pochodzące z lipidów są grupą dominującą ilościowo nawet po usunięciu tłuszczu podskórnego czy śródmięśniowego, ale w przypadku steków grillowanych w temperaturze powyżej 149 °C składnikami przeważającymi są lotne pochodne reakcji Maillarda [26]. Należy podkreślić, że związki heterocykliczne zawierające siarkę i azot (np. pirazyny i tiazole będące produktami reakcji Maillarda) charakteryzują się zdecydowanie niższym progiem wyczuwalności sensorycznej niż lotne związki pochodzące z przemian lipidów [13]. O'Quinn i wsp. [45], po przeanalizowaniu wpływu różnych metod dojrzewania na profil zapachowy wołowiny poddanej obróbce cieplnej, wykazali istotnie więcej 2,3-butanodionu (diacetylu) i 3-hydroksy-2-butanonu (acetoiny) oraz tendencję do większej zawartości 2-metylobutanalu i 3-metylobutanalu w surowcu dojrzewającym na sucho. W przypadku wołowiny dojrzewającej na mokro dominowały natomiast siarczki dimetylu, 2-propanon i 2-butanon (tab. 4). Spośród zidentyfiko-

wanych substancji lotnych 2,3-butanodion, 3-hydroksy-2-butanon i 3-metylobutanal były w największym stopniu skorelowane z pożądanymi nutami smakowości m.in. wołową/rosołową, maślaną, zrumienioną/grillowaną, orzechową i słodką oraz ogólną pożądalnością smaku (odpowiednio dla ww. związków, $r = 0,49 \div 0,72$, $r = 0,17 \div 0,57$ i $r = 0,23 \div 0,53$). Siarczek dimetylu i 2-propanon były z kolei związane z negatywnymi nutami smakowości, głównie kwaśną ($r = 0,54$ i $r = 0,56$), gorzką ($r = 0,47$ i $0,38$), a w przypadku pierwszego z wymienionych związków również z posmakiem krwi/metalicznym ($r = 0,47$) [45]. Autorzy wykazali, że jakkolwiek zawartość aldehydów takich, jak butanal, pentanal i oktanal nie różniła się istotnie w zależności od metody dojrzewania, to nuty smakowe określane jako kwaśne i gorzkie stawały się bardziej wyraźne wraz z większą zawartością butanal ($r = 0,51$ i $r = 0,44$). Większa ilość oktalanu była dodatnio skorelowana z aromatem dziczyzny ($r = 0,38$), wątrobowym ($r = 0,37$) i rybnym ($r = 0,47$), natomiast pentalanu – z ogólną pożądalnością smaku ($r = 0,33$) oraz pozytywnymi nutami smakowości, tj. maślaną ($r = 0,37$) oraz słodką ($r = 0,35$). Było to pewnym zaskoczeniem, gdyż we wcześniejszych badaniach [45] wskazywano na ujemny wpływ tego aldehydu na smakowość mięsa.

King i wsp. [31] analizowali profil związków lotnych w pieczonej wołowinie poddanej dojrzewaniu na mokro lub na sucho i zidentyfikowali 107 związków. Największą grupę stanowiły węglowodory (w tym 24 związki stanowiły 33,02 % w ogólnym profilu), alkohole (21 związków – 6,64 %) oraz aldehydy (19 związków – 34,09 %). W grupie węglowodorów dominował heptan, a jego istotnie wyższy udział wykazano w wołowinie dojrzewającej na sucho (18,82 % vs. 13,70 %). W mięsie stwierdzono także wyższy udział estrów (5,05 % vs. 3,36 %) i związków niesklasyfikowanych (2,21 % vs. 1,18 %). Wołowina dojrzewająca na mokro zawierała natomiast więcej kwasów organicznych (6,44 % vs. 9,22 %) [31]. Duży udział heptanu i aldehydu (heksalanu) w mięsie dojrzewającym na sucho (tab. 4) i ich ekspozycja na tlen, w rezultacie doprowadziły do większej autooksydacji lub/i termicznej degradacji nienasyconych kwasów tłuszczowych, odpowiednio w przypadku ww. związków kwasu oleinowego (najobficiej występującego w mięsie wołowym) oraz kwasu linolowego.

Węglowodory należą do jednej z najliczniejszych klas związków zidentyfikowanych w profilu zapachowym mięsa. Powstają one na drodze termicznej degradacji lipidów w wyniku termicznej homolizy lub autooksydacji długołańcuchowych kwasów tłuszczowych. Węglowodory alifatyczne charakteryzują się względnie wysokimi wartościami progowymi wyczuwalności zapachu, stąd też zazwyczaj uważa się je za nieistotne w kształtowaniu profilu smakowo-zapachowego mięsa [56].

Prekursory smaku rozpuszczalne w wodzie

Związki lotne odgrywają decydującą rolę w kształtowaniu smakowości mięsa po obróbce termicznej. Należy jednak zaznaczyć, że nielotne, rozpuszczalne w wodzie

substancje również w istotny sposób przyczyniają się do profilowania smakowości w sposób bezpośredni jako substancje smakotwórcze (tab. 2) lub pośredni – uczestnicząc w różnych reakcjach chemicznych (głównie Maillarda) i tworząc lotne związki aromatyczne [29, 33]. Identyfikacja w surowym mięsie rozpuszczalnych w wodzie prekursorów smakowości nabiera więc szczególnego znaczenia. Kim i wsp. [29] wykazali, że zawartość 7 spośród 32 oznaczonych metabolitów (tzw. pozytywnych prekursorów smaku, czyli tryptofanu, fenyloalaniny, waliny, tyrozyny, glutaminianu, izoleucyny i leucyny) była istotnie większa w wołowinie dojrzewającej na sucho niż na mokro. Było to związane z większym ubytkiem wody w wołowinie dojrzewającej na sucho oraz najprawdopodobniej z różnicami w zaawansowaniu hydrolizy białka, gdyż nie wszystkie oznaczone w mięsie metabolity uległy zagęszczeniu związanemu z odparowaniem wody. Koutsidis i wsp. [33] stwierdzili w wołowinie dojrzewającej na mokro pomiędzy 3. i 21. dniem chłodniczego przechowywania zwiększoną zawartość 20 z 22 oznaczonych aminokwasów. Metabolitami, których dotyczyły największe zmiany były: seryna, treonina, leucyna, izoleucyna, metionina, walina i tryptofan. Aminokwasy występujące w większych ilościach w wołowinie dojrzewającej na sucho są silnie związane ze smakiem mięsa. Zależność ta dotyczy zarówno substancji aktywnych smakowo, jak i ich prekursorów powstających w reakcjach Maillarda lub w degradacji Streckera, prowadzących to wytworzenia takich substancji, jak aldehydy Streckera (np. 2- i 3-metylobutanal) oraz wiele innych związków aromatycznych (np. pirazyny) [29]. W badaniach, które prowadzili Kim i wsp. [29], jedynym związkiem, którego zawartość była istotnie większa w wołowinie dojrzewającej na mokro był monofosforan inozyny (IMP, 0,81 vs. 0,49 $\mu\text{mol/g}$ mięsa), będący ważnym składnikiem smaku umami. Pomimo tych różnic konsumenci wyżej ocenili steki dojrzewające na sucho pod względem sensorycznym. Mottram i Nobrega [43] także wykazali, że takie produkty degradacji IMP, jak ryboza i rybozo-5-fosforan generują więcej substancji smakowych niż sam IMP. Iida i wsp. [24] oceniali (pomiędzy 4. i 60. dniem *post mortem*) wpływ czasu dojrzewania na sucho wołowiny o dużej marmurkowatości na jej jakość sensoryczną i stwierdzili, że najkorzystniejszy był 40-dniowy okres. Wołowina po tym czasie została najwyżej oceniona za smakowość oraz za intensywność smaku umami. Stwierdzono ponadto, że zawartość IMP w mięsie w kolejnych dniach dojrzewania wykazywała tendencję malejącą (z 2 $\mu\text{mol/g}$ w 4. dniu *post mortem* poprzez 1,8 $\mu\text{mol/g}$ w 11. dniu do 0,5 $\mu\text{mol/g}$ w 40. dniu *post mortem*), natomiast zaobserwowano istotny wzrost zawartości wolnych aminokwasów (z 15,9 do 29,6 $\mu\text{mol/g}$), w tym również bardzo ważnego składnika umami – kwasu glutaminowego (z 0,7 do 2,1 $\mu\text{mol/g}$).

Chen i wsp. [11] wskazują na znaczącą rolę 2,5-diketopiperazyn (cyklicznych dipeptydów) wśród związków potencjalnie biorących udział w kształtowaniu smakowości wołowiny dojrzewającej na sucho. Spośród 10 zidentyfikowanych przez nich związków z tej grupy największy potencjał wykazywał *cis*-cyclo (L-Leu-L-Pro), wy-

stępujący w relatywnie dużej ilości (20,6 ppm) w długo ogrzewanej (duszonej) wołowinie. W zależności od zawartości uwalniał on aromaty, m.in. akrylanu etylu, ananasa (przy 10 ppm) oraz zielonej fasoli i surowej wołowiny (przy 100 ppm).

Produkty degradacji lipidów

Lipidy mięśniowe odgrywają ważną rolę w kształtowaniu smakowości wołowiny. Mogą pełnić funkcję rozpuszczalnika lotnych substancji wytworzonych podczas przetwarzania. Z kolei produkty termicznego utleniania lipidów tworzą wyraźne nuty smakowe w reakcjach z metabolitami z tkanki mięśniowej [8]. Lipidy mogą uczestniczyć w kształtowaniu pożądanych cech smakowo-zapachowych mięsa, a także przyczynić się do powstawania ich niepożądanych odchyłeń [52]. Dominującą reakcją dla tej grupy związków, występującą w trakcie dojrzewania mięsa, jest autooksydacja, natomiast w trakcie jego obróbki termicznej zarówno oksydacja, jak i termiczna degradacja. Fosfolipidy (bogate w nienasycone kwasy tłuszczowe) są bardziej podatne na te przemiany niż lipidy obojętne (triacyloglicerole) [26, 52]. Utlenianie lipidów jest jedną z głównych przyczyn obniżania jakości mięsa podczas przechowywania i przetwarzania, ale proces ten jest także niezbędny do wykształcenia typowego aromatu mięsa [27]. Reakcje związane z autooksydacją lipidów oraz ich utlenianiem w trakcie obróbki termicznej mięsa przebiegają zasadniczo tymi samymi szlakami. Subtelne różnice w ich mechanizmach wpływają na różne profile substancji lotnych. Przyjmuje się, że autooksydacja lipidów w trakcie przechowywania mięsa przyczynia się do pojawiania się niepożądanych cech smakowo-zapachowych, natomiast degradacja lipidów (najczęściej oksydacja) w trakcie obróbki cieplnej wołowiny przyczynia się do generowania pożądanej smakowości [42]. Wodoronadtlenki, jako pierwotne produkty utleniania lipidów, są bezwonne i pozbawione smaku, ale ich degradacja prowadzi do powstawania szeregu produktów wtórnych, takich jak: aldehydy, węglowodory, alkohole, ketony, kwasy, estry, furany, laktony i związki epoksydowe czy polimery. Te ostatnie klasy związków są smakowo i zapachowo aktywne (zwłaszcza aldehydy), a odznaczając się niskimi wartościami progowymi, przyczyniają się do ujawniania smaku zjełczałego w mięsie surowym. We wstępnie obgotowanym lub ponownie podgrzanym mięsie (np. po chłodniczym przechowywaniu) związki te generują pojawianie się nieprzyjemnego smaku i zapachu określanego w literaturze mianem „*warmed-over flavour* (WOF)” [42].

Oktanal, nonanal i 2-undekanal to główne lotne produkty utleniania kwasu oleinowego, natomiast heksanal, 2-nonenal i 2,4-dekadienal – kwasu linolowego. Kwas oleinowy i linolowy to nienasycone kwasy tłuszczowe występujące w wołowinie w największej ilości. Niektóre z lotnych pochodnych degradacji lipidów, np. heksanal, 2,4-dekadienal, kwas nonanowy, kwas dekanowy czy (E)-2-dekanal w małych ilościach pozytywnie wpływają na smakowość wołowiny, natomiast przy wyższej za-

wartości są przyczyną niepożądanych cech smakowo-zapachowych [8]. Należy podkreślić, że utlenianie lipidów rozpoczyna się już w surowej wołowinie i jest kontynuowane w trakcie gotowania. W mięsie zawierającym nawet niewielką ilość tłuszczu śródmięśniowego jest on źródłem dużej liczby substancji lotnych, z których wiele występuje w relatywnie dużych ilościach [40]. Reasumując, można stwierdzić, że umiarkowane utlenianie lipidów mięśniowych przyczynia się do wytworzenia pożądanego profilu smakowo-zapachowego, natomiast zawansowane zmiany są przyczyną niepożądanego, zjelczalonego posmaku.

Stożenie oksydacji lipidów mięśniowych określany jest najczęściej na podstawie wartości testu TBARS, wyrażającego zawartość [mg] dialdehydu malonowego (MDA) w 1 kg mięsa lub zawartości heksanal – najważniejszego lotnego związku wytwarzanego podczas utleniania kwasów tłuszczowych z grupy *n-6*. Wykazano, że zawartość heksanal w mięsie po obróbce termicznej jest wprost proporcjonalna do wartości TBARS [8] i odwrotnie proporcjonalna do akceptowalności smaku [8]. Stwierdzono, że udział heksanal w wołowinie dojrzewającej na sucho i poddanej następnie obróbce termicznej był istotnie wyższy niż w wołowinie dojrzewającej na mokro (tab. 4) [31, 57]. W przypadku wskaźnika TBARS, niezależnie od przyjętej metody dojrzewania, wykazano wzrost jego wartości wraz z upływem czasu poubojowego przechowywania mięsa (tab. 5).

Tabela 5. Wartość TBARS [mg dialdehydu malonowego/kg mięsa] w wołowinie w zależności od sposobu i czasu dojrzewania

Table 5. TBARS value [mg malondialdehyde/kg meat] in beef depending on method and time of ageing

Rodzaj elementu Cut type	Okres dojrzewania Ageing period [dni / days]	Dojrzewanie na sucho Dry ageing	Dojrzewanie na mokro Wet ageing	Źródło Reference
Rostbef Strip loin	7	-	0,28	[57]
	21	-	0,50	
	35	0,82	0,88	
	56	1,32	1,04	
Rostbef Strip loin	21	1,1	-	[15]
	28	1,2	-	
Krzyżowa Sirloin	28	1,57	-	[35]
<i>Musculus longissimus lumborum</i>	2	-	0,10	[12]
	4	-	0,41	
	21	-	0,24	
	42	-	0,33	
	63	-	0,49	

Pomimo tego, że wyższe wartości TBARS stwierdzono w mięsie dojrzewającym na sucho, to wyniki uzyskane w 21., 35. czy nawet w 56. dniu *post mortem* nie prze-

kraczały przyjętej dla mięsa wartości granicznej 2 mg MDA/kg (tab. 5), przy której pojawiają się symptomy pogorszenia jego smakowości [10]. DeGeer i wsp. [15] oraz Lee i wsp. [35] podają, że relatywnie wysokie wartości TBARS (1,1 ÷ 1,57 mg MDA/kg) w przypadku wołowiny dojrzewającej na sucho nie mają negatywnego wpływu na oceniane sensorycznie cechy jakościowe produktu. Co więcej, taki stopień utlenienia lipidów korzystnie oddziałuje na profil smakowo-zapachowy mięsa. Warto również podkreślić, że aldehydy (m.in. heksanal, MDA), jako główne produkty utleniania lipidów w wyższej temperaturze lub/i przy dłuższym czasie obróbki termicznej, łatwo reagują z grupami aminowymi lizyny, cysteiny i glutationu [59], dając początek innym lotnym i nielotnym produktom. Tym samym ich zawartość w gotowym produkcie ulega zmniejszeniu [49].

Podsumowanie

Duża liczba związków tworzących smak i zapach mięsa, jak również czynników wpływających na ich powstawanie sprawiają, że smakowość wołowiny jest złożonym atrybutem jakości sensorycznej. Charakterystyczny smak mięsa wołowego po obróbce termicznej jest wynikiem synergii i/lub interakcji rozpuszczalnych w wodzie substancji smakowych i lotnych związków aromatycznych. Podczas dojrzewania wołowiny na sucho nie powstają unikatowe związki prekursorowe i aromatyczne, ale zawartość wielu z nich jest większa niż w mięsie dojrzewającym na mokro. Odzwierciedleniem tego są wyniki analizy sensorycznej, które wskazują najczęściej na korzystniejszą smakowość wołowiny dojrzewającej na sucho. Jej smak i zapach opisywany jest jako niepowtarzalny, o silnie zaznaczonych nutach: maślanej, orzechowej, wołowej, pieczeniowej czy zrumienionego mięsa.

Wydaje się, że w kształtowaniu profilu smakowo-zapachowego wołowiny dojrzewającej na sucho i poddanej obróbce cieplnej, największe znaczenie mają związki siarki, karbonylowe (aldehydy, ketony) oraz związki heterocykliczne zawierające azot (pirazyny). Istotne są również substancje rozpuszczalne w wodzie, zwłaszcza wolne aminokwasy.

Pracę zrealizowano jako projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022, nr projektu 029/RID/2018/19, kwota finansowania 11 927 330,00 zł.

Literatura

- [1] Ahnström M.L., Seyfert M., Hunt M.C., Johnson D.E.: Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. *Meat Sci.*, 2006, 73, 674-679.

- [2] Ba H.V., Hwang I.H., Dawoon J., Amna T.: Principle of meat aroma flavors and future prospect. In: Latest Research into Quality Control. Ed. I. Akyar. In Tech, Rijeka 2012, pp. 145-176.
- [3] Bailey M.E., Suzuki J., Fernando L.N., Swartz H.A., Purchas R.W.: Influence of finishing diets on lamb flavor. In: Lipids in food flavors. Eds. C.-T. Ho, T.G. Hartman. American Chemical Society, Washington 1994, pp. 170-185.
- [4] Behrends J.M., Goodson K.J., Koohmaraie M., Shackelford S.D., Wheeler T.L., Morgan W.W., Reagan J.O., Gwartney B.L., Wise J.W., Savell J.W.: Beef customer satisfaction: Factors affecting consumer evaluations of calcium chloride-injected top sirloin steaks when given instructions for preparation. *J. Anim. Sci.*, 2005, 83, 2869-2875.
- [5] Belitz H.D., Grosch W., Schieberle P.: Food Chemistry. Springer-Verlag, Berlin 2009, pp. 605-608.
- [6] Berger J., Kim Y.H.B., Legako J.F., Martini S., Lee J., Ebner P.E., Zuelly S.M.S.: Dry-aging improves meat quality attributes of grass-fed beef loins. *Meat Sci.*, 2018, 145, 285-291.
- [7] Brewer M.S.: The Chemistry of Beef Flavor. Executive Summary. National Cattlemen's Beef Association, Centennial, CO, 2006.
- [8] Calkins C.R., Hodgen J.M.: A fresh look at meat flavor. *Meat Sci.*, 2007, 77, 63-80.
- [9] Campbell R.E., Hunt M.C., Levis P., Chambers E.: Dry-aging effects on palatability of beef *longissimus* muscle. *J. Food Sci.*, 2001, 66, 196-199.
- [10] Campo M.M., Nute G.R., Hughes S.I., Enser M., Wood J.D., Richardson R.I.: Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Sci.*, 2006, 72, 303-311.
- [11] Chen M.Z., Dewis M.L., Kraut K., Merritt D., Reiber L., Trinnaman L., Da Costa N.C.: 2,5-diketopiperazines (cyclic dipeptides) in beef: Identification, synthesis, and sensory evaluation. *J. Food Sci.*, 2009, 74, C100-C105.
- [12] Colle M.J., Richard R.P., Killinger K.M., Bohlscheid J.C., Gray A.R., Loucks W.I., Day R.N., Cochran A.S., Nasados J.A., Doumit M.E.: Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the *gluteus medius* and *longissimus lumborum*. *Meat Sci.*, 2015, 110, 32-39.
- [13] Czerny M., Christlbauer M., Christlbauer M., Fischer A., Granvogl M., Hammer M., Hartl C., Hernandez N.M., Schieberle P.: Re-investigation on odour thresholds of key food aroma compounds and development of an aroma language based on odour qualities of defined aqueous odorant solutions. *Eur. Food Res. Technol.*, 2008, 228, 265-273.
- [14] Dashdorj D., Tripathi V.K., Cho S., Kim Y., Hwang I.: Dry aging of beef: Review. *J. Anim. Sci. Technol.*, 2016, 58, 20.
- [15] DeGeer S.L., Hunt M.C., Bratcher C.L., Crozier-Dodson B.A., Johnson D.E., Stika J.F.: Effects of dry aging of bone-in and boneless strip loins using two aging processes for two aging times. *Meat Sci.*, 2009, 83, 768-774.
- [16] Dikeman M.E., Obuz E., Gök V., Akkaya L., Stroda S.: Effects of dry, vacuum, and special bag aging; USDA quality grade; and end-point temperature on yields and eating quality of beef *longissimus lumborum* steaks. *Meat Sci.*, 2013, 94, 228-233.
- [17] Domaradzki P., Litwińczuk Z., Florek M., Litwińczuk A.: Zmiany właściwości fizykochemicznych i sensorycznych mięsa wołowego w zależności od warunków jego dojrzewania. *Żywność. Nauka Technologia. Jakość*, 2016, 3 (106), 35-53.
- [18] Domaradzki P., Litwińczuk Z., Florek M., Żółkiewski P.: Wpływ okresu dojrzewania na właściwości fizykochemiczne mięśnia *longissimus lumborum* buhajków pięciu ras. *Med. Weter.*, 2017, 73 (12), 802-810.
- [19] Farmer L.J.: The role of nutrients in meat flavour formation. *Proc. Nutr. Soci.*, 1994, 53, 327-333.
- [20] Flores M.: Understanding the implications of current health trends on the aroma of wet and dry cured meat products. *Meat Sci.*, 2018, 144, 53-61.

- [21] Grosch W.: Evaluation of the key odorants of foods by dilution experiments, aroma models and omission. *Chem. Senses*, 2001, 26, 533-545.
- [22] Hocquette J.-F., van Wezemael L., Chriki S., Legrand I., Verbeke W., Farmer L., Scollan N.D., Polkinghorne R., Rodbotten R., Allen P., Pethick D.W.: Modelling of beef sensory quality for a better prediction of palatability. *Meat Sci.*, 2014, 97, 316-322.
- [23] Hulánková R., Kameník J., Saláková A., Závodský D., Borilova G.: The effect of dry aging on instrumental, chemical and microbiological parameters of organic beef loin muscle. *LWT – Food Sci. Technol.*, 2018, 89, 559-565.
- [24] Iida F., Miyazaki Y., Tsuyuki R., Kato K., Egusa A., Ogoshi H., Nishimura T.: Changes in taste compounds, breaking properties, and sensory attributes during dry aging of beef from Japanese black cattle. *Meat Sci.*, 2016, 112, 46-51.
- [25] Kersch R., Grosch W.: Quantification of 2-methyl-3-furanthiol, 2-furfurylthiol, 3-mercapto-2-pentanone, and 2-mercapto-3-pentanone in heated meat. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, 46, 1954-1958.
- [26] Kerth C.R., Miller R.K.: Beef flavor: A review from chemistry to consumer. *J. Sci. Food Agric.*, 2015, 95, 2783-2798.
- [27] Khan M.I., Jo C., Tariq M.R.: Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors – A systematic review. *Meat Sci.*, 2015, 110, 278-284.
- [28] Killinger K.M., Calkins C.R., Umberger W.J., Feuz D.M., Eskridge K.M.: A comparison of consumer sensory acceptance and value of domestic beef steaks and steaks from a branded, Argentine beef program. *J. Anim. Sci.*, 2004, 82, 3302-3307.
- [29] Kim Y.H.B., Kemp R., Samuelsson L.M.: Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Sci.*, 2016, 111, 168-176.
- [30] Kim Y.H.B., Ma D., Setyabrata D., Farouk M.M., Lonergan S.M., Huff-Lonergan E., Hunt M.C.: Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Sci.*, 2018, 144, 74-90.
- [31] King M.F., Matthews M.A., Rule D.C., Field R.A.: Effect of beef packaging method on volatile compounds developed by oven roasting or microwave cooking. *J. Agric. Food Chem.*, 1995, 43, 773-778.
- [32] Kołczak T.: Jakość wołowiny. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, 1 (56), 5-22.
- [33] Koutsidis G., Elmore J.S., Oruna-Concha M.J., Campo M.M., Wood J.D., Mottram D.S.: Water-soluble precursors of beef flavour. Part II: Effect of *post-mortem* conditioning. *Meat Sci.*, 2008, 79, 270-277.
- [34] Laster M.A., Smith R.D., Nicholson K.L., Nicholson J.D.W., Miller R.K., Griffin D.B., Harris K.B., Savell J.W.: Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer sensory attribute evaluations of steaks from ribeyes, strip loins, and top sirloins from two quality grade groups. *Meat Sci.*, 2008, 80, 795-804.
- [35] Lee H.J., Choe J., Yoon J.W., Kim S., Oh H., Yoon Y., Jo C.: Determination of salable shelf-life for wrap-packaged dry-aged beef during cold storage. *Korean J. Food Sci. An.*, 2018, 38 (2), 251-258.
- [36] Lepper-Bililic A.N., Berg E.P., Buchanan D.S., Berg P.T.: Effects of *post mortem* aging time and type of aging on palatability of low marbled beef loins. *Meat Sci.*, 2016, 112, 63-68.
- [37] Li X., Babol J., Bredie W.L.P., Nielsen B., Tománková J., Lundström K.: A comparative study of beef quality after ageing *longissimus* muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing or vacuum package ageing. *Meat Sci.*, 2014, 97, 433-442.
- [38] Li X., Babol J., Wallby A., Lundström K.: Meat quality, microbiological status and consumer preference of beef *gluteus medius* aged in a dry ageing bag or vacuum. *Meat Sci.*, 2013, 95, 229-234.
- [39] Lyford C., Thompson J., Polkinghorne R., Miller M., Nishimura T., Neath K., Allen P., Belasco E.: Is willingness to pay (WTP) for beef quality grades affected by consumer demographics and meat consumption preferences? *Australas. Agribus. Rev.*, 2010, 18, 1-17.

- [40] MacLeod G.: The flavor of beef. In: Flavor of Meat and Meat Products and Seafoods. Ed. F. Shahidi. Blackie Academic and Professional, London 1998, pp. 27-60.
- [41] Monsón F., Sañudo C., Sierra I.: Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Sci.*, 2004, 68, 595-602.
- [42] Mottram D.S., Madruga M.S.: Important sulfur containing aroma volatiles in meat. In: Sulfur Compounds in Foods. Eds. C.J. Mussinan, M.E. Keelan. American Chemical Society, Washington, DC, 1994, pp. 180-187.
- [43] Mottram D.S., Nobrega I.C.C.: Formation of sulfur aroma compounds in reaction mixtures containing cysteine and three different forms of ribose. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, 50, 4080-4086.
- [44] Mottram D.S.: Flavor formation in meat and meat products. *Food Chem.*, 1998, 62, 415-424.
- [45] O'Quinn T.G., Woerner D.R., Engle T.E., Chapman P.L., Legako J.F., Brooks J.C., Belk K.E., Tatum J.D.: Identifying consumer preferences for specific beef flavor characteristics in relation to cattle production and *post mortem* processing parameters. *Meat Sci.*, 2016, 112, 90-102.
- [46] Parrish F.C., Boles J.A., Rust R.E., Olson D.G.: Dry and wet aging effects on palatability attributes of beef loin and rib steaks from three quality grades. *J. Food Sci.*, 1991, 56, 601-603.
- [47] Polkinghorne R.J., Thompson J.M.: Meat standards and grading: A world view. *Meat Sci.*, 2010, 86, 227-235.
- [48] Resconi V.C., del Mar Campo M., Montossi F., Ferreira V., Sañudo C., Escudero A.: Gas chromatographic-olfactometric aroma profile and quantitative analysis of volatile carbonyls of grilled beef from different finishing feed systems. *J. Food Sci.*, 2012, 77, S240-S246.
- [49] Roldan M., Antequera T., Armenteros M., Ruiz J.: Effect of different temperature-time combinations on lipid and protein oxidation of sous-vide cooked lamb loins. *Food Chem.*, 2014, 149, 129-136.
- [50] Savell J.: Dry-aging of beef. Executive Summary. Center for Research and Knowledge Management. National Cattlemen's Beef Association, Centennial, CO, 2008.
- [51] Shahidi F.: Flavor of meat and meat products - an overview. In: Flavor of Meat and Meat Products. Ed. F. Shahidi. Blackie Academic and Professional, Glasgow 1994, pp. 1-3.
- [52] Shahidi F.: Lipid-derived flavours in meat products. In: Meat Processing – Improving Quality. Eds. J. Kerry, D. Ledward. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2002, pp. 105-121.
- [53] Sitz B.M., Calkins C.R., Feuz D.M., Umberger W.J., Eskridge K.M.: Consumer sensory acceptance and value of wet-aged and dry-aged beef steaks. *J. Anim. Sci.*, 2006, 84, 1221-1226.
- [54] Smith A.M., Harris K.B., Griffin D.B., Miller R.K., Kerth C.R., Savell J.W.: Retail yields and palatability evaluations of individual muscles from wet-aged and dry-aged beef ribeyes and top sirloin butts that were merchandised innovatively. *Meat Sci.*, 2014, 97, 21-26.
- [55] Smith R., Nicholson K., Nicholson J., Harris K., Miller R., Griffin D., Savell J.: Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. *Meat Sci.*, 2008, 79, 631-639.
- [56] Song S., Zhang X., Hayat K., Liu P., Jia C., Xia S., Xiao Z., Tian H., Niu Y.: Formation of the beef flavour precursors and their correlation with chemical parameters during the controlled thermal oxidation of tallow. *Food Chem.*, 2011, 124, 203-209.
- [57] Warner R., Ha M.: Dry aged beef – Evaluation of wet age step on quality and yield. Meat and Livestock Australia Ltd, North Sydney, NSW, 2017.
- [58] Warren K.E., Kastner C.L.: A comparison of dry-aged and vacuum-aged beef strip loins. *J. Muscle Foods*, 1992, 3, 151-157.
- [59] Zamora R., Gallardo E., Hidalgo F.J.: Model studies on the degradation of phenylalanine initiated by lipid hydroperoxides and their secondary and tertiary oxidation products. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, 56, 7970-7975.

SHAPING FLAVOUR PROFILE OF BEEF MEAT DURING DRY AGEING PROCESS**S u m m a r y**

Ageing is a natural enzymatic process that takes place *post-mortem* in muscle tissue. Currently, two methods of meat ageing are usually utilized: wet ageing (under vacuum conditions) and dry ageing (customarily, without packaging, in air at a given temperature and humidity). The wet ageing of beef is and will remain a prevailing method applied in meat industry for, with this method, the tenderness of meat can be increased and its shrinkage reduced. In turn, with the dry ageing, it is possible to produce beef meat of a unique palatability. The objective of this review was to discuss, on the basis of the available reference literature, the state of the art as regards the characteristics of flavour profile of the dry-ageing beef and to present potential precursors and key compounds responsible for its specific flavour profile. Palatability is one of the most important determinants of the beef quality; it is a comprehensive impression perceived by the taste and smell senses. Raw meat shows a very weak aroma and taste, however it contains many precursors and substances formed during the ageing process. Those compounds (originating from both the muscle and the adipose tissues) are the ones to form a characteristic flavour profile of beef during heat treatment. Based on the research studies on the palatability of beef, it has been concluded that the palatability of dry aging raw meat is more advantageous than that of the wet aging raw meat. The palatability features of this type of beef are described as strong, buttery, nutty, beefy, roasted or caramelised. So far no unique flavour compounds have been identified on the basis of which a distinction between the dry and the wet ageing techniques could be made, though in the case of many of those compounds their amounts in dry-ageing beef are higher. The taste- and aroma-active compounds present in dry-ageing beef cover the entire spectrum of substances; among them the following are the most important: sulphur compounds, carbonyl compounds (aldehydes, ketones), nitrogen-containing heterocycles (pyrazines) and water-soluble compounds (especially free amino acids). Also a heat treatment method of meat is important. A process carried out at a low temperature results in forming lipid degradation products, while a quick heating at a higher temperature generates a higher amount of Maillard reaction products.

Key words: beef, taste, aroma, palatability, volatile compounds, taste precursors ☒