

ANNA SADOWSKA, FRANCISZEK ŚWIDERSKI, RITA RAKOWSKA,
ELIZA KOSTYRA, ANNA PIOTROWSKA

**PRZYDATNOŚĆ METODY ILOŚCIOWEJ ANALIZY OPISOWEJ
(QDA) I ANALIZY SKŁADOWYCH GŁÓWNYCH (PCA) NA
PRZYKŁADZIE OCENY SENSORYCZNEJ GRILLOWANYCH
STEKÓW WOŁOWYCH**

Streszczenie

Celem pracy było określenie możliwości szerszego wykorzystania ilościowej metody opisowej (QDA) i analizy składowych głównych (PCA) w ocenie jakości sensorycznej mięsa wołowego poddanego grillowaniu, poprzez określenie kompleksowej charakterystyki badanego produktu, a następnie ograniczenie liczby uwzględnionych atrybutów, ułatwiające interpretację wyników i wyznaczanie zależności istotnych dla jakości badanego produktu. Materiał doświadczalny stanowiło pięć mięśni wołowych: *musculus semitendinosus* (L_PO), *musculus semimembranosus* (Z_PO), *musculus longissimus dorsi thoracis* (A_NG), *musculus longissimus dorsi lumborum* (R_NG), *musculus gluteus medium* (K_PS), które poddano 7-, 14- i 21-dniowemu procesowi dojrzewania w opakowaniach próżniowych w temp. 2 ± 1 °C. Mięso po obróbce cieplnej (grillowaniu) poddano ocenie sensorycznej metodą ilościowej analizy opisowej (QDA), a następnie otrzymane wyniki opracowano statystycznie przy wykorzystaniu analizy składowych głównych (PCA). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że ocena sensoryczna mięśni wołowych, poddanych procesowi dojrzewania, przeprowadzona zgodnie z metodą QDA, dostarcza kompleksowej i szczegółowej wiedzy o profilu sensorycznym ocenianego produktu. Analiza składowych głównych jako zastosowane narzędzie statystyczne umożliwiła analizę dużej liczby ocenianych wyróżników jakościowych otrzymanych podczas oceny sensorycznej mięsa. Analiza ta pozwoliła wykryć prawidłowości niezauważalne w oryginalnym układzie otrzymanych wyników ocen sensorycznych. Na podstawie PCA stwierdzono, że wiele atrybutów sensorycznych jest ze sobą mocno powiązanych i do otrzymania pełnej charakterystyki jakości sensorycznej wystarczy uwzględnić jedynie niewielki podzbiór z dużej liczby ocenianych wyróżników, co może znacznie ułatwić interpretację wyników i wyznaczanie zależności istotnych dla jakości sensorycznej badanego produktu. Wykazano również, że zróżnicowanie jakości sensorycznej mięśni wołowych w największym stopniu dotyczyło cech tekstury i jakości ogólnej. Intensywność odczuwania poszczególnych atrybutów sensorycznych mięsa poddanego obróbce cieplnej była zróżnicowana.

Dr inż. A. Sadowska, prof. dr hab. F. Świdorski, mgr inż. R. Rakowska, dr inż. E. Kostyra, dr inż. A. Piotrowska, Katedra Żywności Funkcjonalnej, Ekologicznej i Towaroznawstwa, Wydz. Nauk o Żywnieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa. Kontakt: sadowska_a@interia.eu

wana w przypadku poszczególnych mięśni i zależała od czasu trwania ich dojrzewania. W mięśniu półścięgnistym w największym stopniu ukształtowały się pozytywne cechy sensoryczne pod wpływem 14-dniowego dojrzewania, zaś w mięśniu najdłuższym grzbietu okolicy lędźwi uzyskano najkorzystniejsze cechy tekstury i jakość ogólną po 21 dniach dojrzewania. W obrębie pozostałych badanych próbek nie stwierdzono istotnych ($p < 0,05$) różnic jakości sensorycznej po zastosowanym czasie dojrzewania.

Słowa kluczowe: mięso wołowe, jakość sensoryczna, ilościowa metoda opisowa (QDA), analiza składowych głównych (PCA)

Wprowadzenie

Do najbardziej złożonych, dynamicznie rozwijających się i często stosowanych metod analizy sensorycznej należy ilościowa analiza opisowa (ang. *Quantitative Descriptive Analysis* – QDA). Metodę tę, zwaną również metodą profilowania, stosuje się do jakościowo-ilościowego określania kompleksowej charakterystyki produktów spożywczych. Podstawowym jej założeniem jest stwierdzenie, że smakowitość, zapach lub tekstura nie są pojedynczymi cechami jakości produktu, lecz kompleksem wielu cech jednostkowych, które można rozróżnić, zidentyfikować i określić ich intensywność [6]. Charakterystyczne cechy jednostkowe analizowanych produktów są wybierane według specjalnej procedury wstępnej i ustalane są ich definicje. Analiza profilowa może być pełna, tzn. dotyczyć wyróżników postrzeganych za pośrednictwem wszystkich zmysłów (wzroku, węchu, zmysłów czucia i dotykowych, hemostatycznych i smaku) lub cząstkowa, obejmująca tylko cechy zapachowe i smakowe lub cechy tekstury. Ocenę ilościową każdej z cech przeprowadza się na skali liniowej (lub liczbowej) o odpowiednich określeniach brzegowych. Wyniki oceny zamienia się na wartości liczbowe, a następnie poddaje obróbce statystycznej, wykorzystując analizę wariancji (ANOVA) w celu stwierdzenia, które z cech istotnie różnicują badane próbki oraz czy powtórzenia ocen (oddzielne sesje) nie stanowią istotnego czynnika zmienności (co mogłoby wskazywać na inne warunki oceny lub odmienne przygotowanie próbek w obu sesjach – a więc niezachowanie procedury oceny) [1]. W analizie sensorycznej stosowana jest również analiza składowych głównych (PCA), która jest jednym z najczęściej wykorzystywanych narzędzi statystycznych podczas opracowywania wyników. PCA służy m.in. do znajdowania zależności w zbiorze danych, lepszej reprezentacji danych, klasyfikacji, szukania wzorców czy redukcji wymiarów. Bardzo często wielowymiarowe obserwacje zawierają (pod względem informacyjnym) nadmiarową liczbę atrybutów. Wartości obserwacji nie są równomiernie rozłożone wzdłuż wszystkich kierunków wielowymiarowego układu współrzędnych, ale wykazują koncentracje w pewnych podprzestrzeniach. Znalezienie tych podprzestrzeni (z reguły o dużo niższym wymiarze niż oryginalna przestrzeń) pozwala dostrzec prawidłowości niewidoczne lub niemożliwe do zauważenia w oryginalnym układzie danych. Transformacja PCA określa

korelację, jaka zachodzi pomiędzy wieloma zmiennymi w zbiorze danych. Jeżeli dane są ze sobą skorelowane, to znajomość zaledwie części z nich wystarczy do określenia cech badanego produktu. Stąd taki zbiór danych może być reprezentowany przez mniejszą liczbę zmiennych. Jeżeli zmienne te nie są ze sobą wzajemnie skorelowane, to odtworzenie części z nich na podstawie pozostałych staje się niemożliwe. W praktyce często okazuje się, że wiele ocenianych atrybutów jest ze sobą dosyć mocno skorelowanych i do otrzymania pełnego obrazu opisywanego zjawiska czy zauważenia prawidłowości w danych wystarczy uwzględnić jedynie niewielki ich podzbiór. Wychwycenie takich prawidłowości przy analizowaniu wszystkich skorelowanych ze sobą atrybutów jest albo niemożliwe, albo trudne do uzyskania. Obliczenie składowych głównych dokonywane jest na wartościach i wektorach własnych tzw. macierzy kowariancji pierwotnego zbioru danych [5].

Mięso wołowe przeznaczone zarówno na cele kulinarne, jak i do przetwórstwa mięsnego powinno spełniać określone wymagania jakościowe w zakresie cech sensorycznych, m.in. charakteryzować się odpowiednią barwą, optymalnymi cechami smakowo-zapachowymi oraz odpowiednią teksturą, w tym kruchością. W celu ukształtowania smakowitości mięsa i poprawy jego kruchości konieczne jest przechowywanie mięsa po uboju zwierząt przez okres od kilkunastu godzin do kilku tygodni w temp. 2 - 5 °C. Taki proces zwany jest dojrzewaniem. Efektywność tego procesu może zależeć od gatunku zwierzęcia, z którego pochodzi dana część kulinarna oraz rodzaju mięśni w obrębie tuszy [12]. Podczas dojrzewania w mięsie tworzą się związki odpowiedzialne za intensyfikację jego smaku [13, 17]. Jednak postępowanie poubojowe może w znacznym stopniu, zarówno w sposób pozytywny, jak i negatywny, przyczynić się do zmian jakości mięsa. Wraz z wydłużającym się czasem dojrzewania mięsa tworzy się w nim aromat wątrobowy, krwisty, gorzki i kwaśny. Cechy te negatywnie oddziałują na pożądalność wołowiny poddanej obróbce cieplnej, gdyż mogą przyczyniać się do zmniejszenia odczuwania intensywności kluczowych cech mięsa wołowego, takich jak: smak wołowy, bulionowy i słodki [15]. Niezbędna jest zatem znajomość profilu sensorycznego różnych mięśni w czasie długotrwałego przechowywania, gdyż stanowi to ważny czynnik w ocenie jakości i przydatności kulinarnej poszczególnych mięśni wchodzących w skład elementów kulinarnych mięsa. Ocena sensoryczna mięśni wołowych poddanych procesowi dojrzewania przeprowadzona zgodnie z metodą QDA może dostarczyć kompleksowej i szczegółowej wiedzy o profilu sensorycznym produktu, natomiast zastosowanie analizy PCA może w znacznym stopniu wyjaśnić kierunek zmian powstałych wskutek zastosowania procesu dojrzewania poprzez utworzenie podzbiorów zmiennych, które są ze sobą skorelowane. Takie podejście pozwoli na ograniczenie liczby omawianych wyróżników, wskazując te, które w największym stopniu warunkują profil sensoryczny ocenianych mięśni.

Celem pracy było określenie przydatności ilościowej metody opisowej (QDA) i analizy składowych głównych (PCA) do oceny jakości sensorycznej żywności, na przykładzie mięsa wołowego poddanego grillowaniu, poprzez określenie kompleksowej charakterystyki badanego produktu, a następnie ograniczenie liczby uwzględnionych atrybutów ilościowych, ułatwiając interpretację wyników i wyznaczanie zależności kluczowych dla jakości badanego produktu.

Material i metody badań

Material do badań stanowiło pięć mięśni wołowych: *m. semitendinosus* (L_PO), *m. semimembranosus* (Z_PO), *m. longissimus dorsi thoracis* (A_NG), *m. longissimus dorsi lumborum* (R_NG), *m. gluteus medium* (K_PS) pozyskanych z elementów kulinarnych odpowiednio z: ligawy, zrazowej górnej, antrykotu, rostbefu i krzyżowej. Mięso do badań otrzymano ze zwierząt pochodzących z krzyżowania towarowego bydła mlecznego płci żeńskiej rasy holsztyńsko-fryzyjskiej z bydłem mięsnym płci męskiej rasy Limousine. Zwierzęta żywione były zgodnie z założeniami opasu półintensywnego w ściśle kontrolowanych warunkach. Wiek ubojowy zwierząt wynosił 18 miesięcy. Wyizolowane z elementów kulinarnych mięśnie pakowano próżniowo i poddawano procesowi dojrzewania w temp. 2 ± 1 °C przez 7, 14 i 21 dni.

Obróbkę cieplną – grillowanie prowadzono na dwustronnym grillu żeliwnym, rozgrzanym do temp.: 190 °C – pokrywa górna i 210 °C – pokrywa dolna po każdym ustalonym dniu dojrzewania. Do grillowania przygotowano steki o grubości $2,5 \pm 0,5$ cm. Obróbkę cieplną prowadzono do uzyskania temp. 65 ± 2 °C w centrum geometrycznym steków (temperaturę steków monitorowano za pomocą termopary elektronicznej), a następnie steki kondycjonowano w temp. 60 °C przez 6 min.

Ocenę sensoryczną próbek steków prowadzono według akredytowanej metody ilościowej analizy opisowej QDA (ang. *Quantitative Descriptive Analysis*) zgodnie z procedurą wykonawczą opisaną w normie ISO 13299:2010 [6]. Wybrano i zdefiniowano atrybuty jakościowe do oceny steków: zapach (przypalony, przypieczony, ostry, mięsny, wątrobiany, kwaśny, tłuszczowy, inny), barwę, konsystencję (miętkość, łatwość fragmentacji, soczystość, włóknistość), krwistość, wrażenie tłustości, smak (przypalony, przypieczony, gorzki, mięsny, wątrobiany, kwaśny, słony, słodki, inny) oraz ocenę ogólną. W badaniach wykorzystywano niestrukturowaną skalę liniową z oznaczonymi wartościami brzegowymi od 0 do 10 jednostek umownych (j.u.), gdzie 0 oznaczało brak natężenia danej cechy, 10 zaś oznaczało wysokie natężenie danej cechy. Podczas ocen wykorzystywano oprogramowanie komputerowe Analsens.

Oceny były wykonywane w Pracowni Analizy Sensorycznej, spełniającej wszystkie wymagania określone normą BS EN ISO 8589:2010+A1:2014 [3] dla laboratoriów sensorycznych (indywidualne stanowiska ocen, standardowe oświetlenie, kontrolowana temperatura i wilgotność względna powietrza). Charakterystykę sensoryczną próbek

przeprowadził 8-osobowy zespół oceniający (w dwóch niezależnych powtórzeniach), posiadający kwalifikacje oceniających – ekspertów wg normy PN-EN ISO 8586-03:2014 [11] oraz odpowiednie przygotowanie metodyczne (teoretyczne i praktyczne) w zakresie metod sensorycznych i duże doświadczenie w realizowaniu ocen metodą ilościowej analizy opisowej. Próbkę jednostkowe steków o przybliżonej masie 15 g umieszczane były w uprzednio przygotowanych i zakodowanych pojemniczkach z tworzywa sztucznego (150 ml) oraz przykrywane wieczkami. Jako neutralizator smaku pomiędzy próbkami zastosowano niesłodzoną herbatę (o temp. ok. 50 °C).

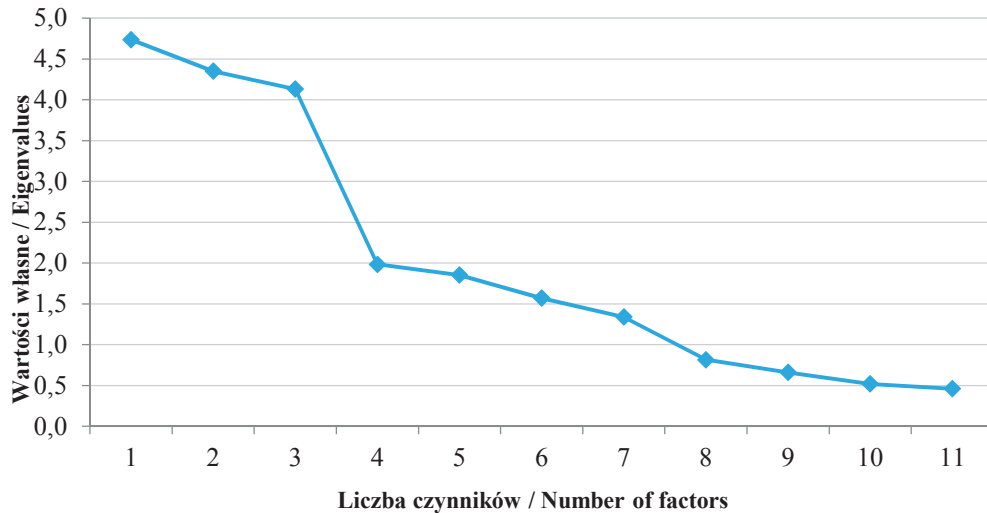
Składowe główne wykazujące korelacje z wyróżnikami analizy sensorycznej ocenianych próbek mięsa wyłoniono za pomocą analizy składowych głównych i klasyfikacji PCA (ang. *Principal Component Analysis*) z wykorzystaniem rotacji Varimax na podstawie macierzy korelacji. Określone za pomocą analizy PCA czynniki główne zastosowano do omówienia istotnych ($p < 0,05$) różnic jakości sensorycznej badanych mięśni poddanych procesowi dojrzewania, stosując test t-Studenta. Wyniki ocen sensorycznych poddano analizie, biorąc pod uwagę jako czynnik zmienności: sesje ocen, oceniających i badane próbki. Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą programu Statistica 10 (StatSoft).

Wyniki i dyskusja

Wybór czynników głównych odpowiedzialnych za zmienność jakości sensorycznej mięsa wołowego (analiza PCA)

Wyniki oceny jakości sensorycznej, dokonanej za pomocą metody QDA, poszczególnych mięśni wołowych po 7, 14 i 21 dniach dojrzewania poddano analizie składowych głównych (PCA) na podstawie macierzy korelacji, z wykresu osypiska (rys. 1) wyodrębniono 4 czynniki główne, odpowiadające w 61 % za zmienność jakości sensorycznej ocenianych próbek mięsa.

Pierwszy wyznaczony czynnik pozwolił określić największą część zmienności (zawartej informacji) w ocenach jakości sensorycznej badanych mięśni wołowych, drugi czynnik wyjaśniał największą część zmienności, która nie została wyjaśniona przez pierwszy czynnik itd. Dzięki temu czynniki zostały posortowane od najważniejszych do najmniej ważnych. Najbardziej odpowiednie są takie czynniki, gdy dana zmienna opisująca określoną cechę sensoryczną badanych próbek mięsa należy tylko do jednego czynnika, a unikane są sytuacje, w których jedna zmienna jakości sensorycznej należy w równym stopniu do co najmniej dwóch czynników. Dzięki temu łatwiej jest opisywać czynniki, które w największym stopniu są powiązane z wybranymi wyróżnikami jakości sensorycznej ocenianego produktu.



Rys 1. Wykres osypiska utworzony na podstawie uzyskanych wyników oceny sensorycznej mięsa wołowego

Fig. 1. Screen diagram formed based on results of sensory evaluation of beef meet

Do określenia zmiennych wchodzących w skład wyodrębnionych czynników wykorzystano algorytm „optymalnego” obrotu – varimax. W tab. 1. przedstawiono współrzędne czynnikowe zmiennych, będące jednocześnie współczynnikami korelacji, uzyskane między czynnikami głównymi i wszystkimi ocenianymi wyróżnikami sensorycznymi badanych próbek mięsa. Współczynniki korelacji, których wartość bezwzględna była równa 0,58 bądź wyższa (pogrubione wartości w tabeli) uznano za wartości poziomu, od którego zmienne wchodziły w skład czynników głównych.

Pierwsza główna składowa dotyczyła cech wynikających z przeprowadzonej obróbki cieplnej (grillowania) mięsa. Reprezentowana była przede wszystkim przez: zapach i smak przypieczony, barwę (zmienne te były dodatnio skorelowane z czynnikiem 1) oraz zapach i smak wątrobiany, soczystość, krwistość (które wykazywały ujemną korelację z czynnikiem 1).

Druga z głównych składowych odnosiła się do cech smaku i zapachu mięsa. Przenosiła przede wszystkim informacje zawarte w zapachu i smaku kwaśnym, zapachu tłuszczowym oraz smakach: przypalonym, gorzkim i słodkim (atributy te wykazywały dodatnią korelację z czynnikiem drugim).

Trzecia składowa główna uwzględniała ogólną jakość mięsa oraz cechy jego tekstury. W największym stopniu uzależniona była od oceny ogólnej, miękkości i łatwości fragmentacji (zmienne te wykazywały dodatnią korelację z czynnikiem 3) oraz włókności (która była ujemnie skorelowana z czynnikiem trzecim).

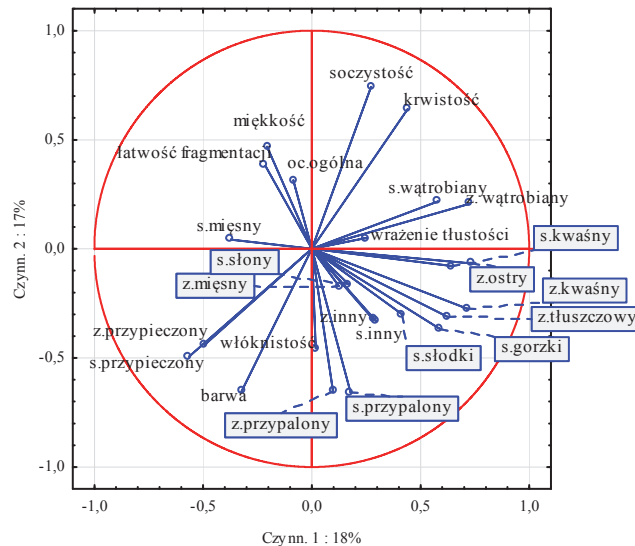
Tabela 1. Macierz ładunków analizy czynnikowej rotowanych metodą rotacji varimax

Table 1. Matrix of factor analysis loads rotated using varimax rotation method

Oceniane atrybuty jakości sensorycznej Evaluated sensory quality attributes	Zmienność wspólna Common volatility (h ²) [%]	Czynnik Factor 1	Czynnik Factor 2	Czynnik Factor 3	Czynnik Factor 4
Wyjaśniona wariancja [%]		18	17	17	9
Wartości własne		4,41	4,35	4,23	2,22
Zapach przypieczony	70	0,71	-0,06	0,12	0,43
Zapach przypalony	47	0,43	0,49	-0,19	0,06
Zapach ostry	62	-0,47	0,48	-0,23	0,34
Zapach mięsny	70	0,06	0,11	0,00	0,83
Zapach wątrobiany	69	-0,69	0,27	-0,23	0,28
Zapach kwaśny	72	-0,21	0,82	0,01	-0,07
Zapach tłuszczowy	64	-0,13	0,70	-0,01	0,36
Zapach inny	24	0,08	0,45	-0,05	0,17
Barwa	55	0,70	0,17	-0,17	-0,02
Miękkość	91	0,02	-0,05	0,95	0,05
Soczystość	71	-0,63	-0,09	0,55	0,10
Krwistość	62	-0,77	-0,07	0,13	-0,06
Włóknistość	71	0,12	-0,07	-0,83	0,04
Łatwość fragmentacji	89	0,09	0,00	0,94	0,08
Wrażenie tłustości	39	-0,11	0,25	0,30	0,48
Smak przypieczony	82	0,82	-0,02	0,19	0,32
Smak przypalony	56	0,41	0,62	-0,12	-0,06
Smak gorzki	55	-0,08	0,72	-0,06	0,18
Smak mięsny	64	0,32	-0,23	0,39	0,58
Smak wątrobiany	60	-0,61	0,12	-0,21	0,41
Smak kwaśny	55	-0,29	0,67	0,14	-0,03
Smak słony	27	0,11	0,42	0,24	-0,17
Smak słodki	54	0,04	0,69	0,16	-0,18
Smak inny	25	0,10	0,48	0,01	0,09
Ocena ogólna	86	0,06	0,13	0,90	0,15

Objaśnienia: / Explanatory notes:

zapach przypalony / burnt odour; zapach przypieczony / roasted odour; zapach ostry / sharp odour; zapach mięsny / meaty odour; zapach wątrobiany / liver odour; zapach kwaśny / sour odour; zapach tłuszczowy / fatty odour; zapach inny / other odour; smak przypalony / burnt taste; smak przypieczony / roasted taste; smak gorzki / bitter taste; smak mięsny / meaty taste; smak wątrobiany / liver taste; smak kwaśny / sour taste; smak słony / salty taste; smak słodki / sweet taste; smak inny / other taste; miękkość / softness; łatwość fragmentacji / ease of fragmentation; soczystość / juiciness; włóknistość / fibrosity; barwa / colour; krwistość / ruddiness; wrażenie tłustości / greasy feel; ocena ogólna / overall rating



Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Rys. 2. Wykres konfiguracji punktów reprezentujących zmienne w układzie dwóch pierwszych osi czynnikowych (głównych składowych)

Fig. 2. Graph of configuration of points representing variables in system of first two factorial axes (principal components)

Czwarta składowa główna dotyczyła smaku i zapachu mięsnego. Cechy te wykazywały dodatnią korelację z omawianym czynnikiem.

Powiązania pomiędzy zmiennymi wejściowymi oraz głównymi składowymi przedstawiono w formie graficznej na rys. 2. Projekcja ta obrazuje rozkład wyróżników jakości sensorycznej na płaszczyźnie utworzonej z wybranych dwóch czynników, które w 35 % odpowiadały za zmienność próbek (czynnik 1 i 2), czyli przedstawiona projekcja jest obrazem korelacji ocenianych atrybutów sensorycznych opisanych w tab. 1. w przypadku dwóch pierwszych czynników. Współrzędnymi punktów na wykresie są odpowiadające im współczynniki (ładunki czynnikowe) zmiennych. Długość wektorów kierunkowych łączących punkty reprezentujące zmienne z początkiem układu współrzędnych jest równa zasobom informacyjnym tych zmiennych przenoszonym przez dwie pierwsze główne składowe. Im dana zmienna wejściowa leży bliżej brzegu tego koła, tym większa część informacji zawartych w danej zmiennej wejściowej jest przenoszona przez te główne składowe. Położenie punktów reprezentujących zmienne wejściowe względem osi czynnikowych (głównych składowych) pozwala na zakwalifikowanie zmiennych do odpowiednich kategorii. Im bliżej siebie leżą na wykresie punkty (wektory) reprezentujące zmienne wejściowe, tym silniejsza jest dodatnia korelacja pomiędzy odpowiadającymi im zmiennymi. Jeżeli wektory te są prostopadłe, to

zmienne są ze sobą nieskorelowane. Jeżeli natomiast wektory leżą na jednej linii, lecz po przeciwnych stronach środka układu współrzędnych, to zmienne są maksymalnie ujemnie skorelowane (współczynnik korelacji liniowej wynosi -1).

Wartość informacyjna wyników ocen sensorycznych badanych mięśni poddanych obróbce cieplnej po przeprowadzeniu analizy składowych głównych (PCA)

Zastosowana w niniejszej pracy analiza składowych głównych (PCA) pozwoliła wyodrębnić najważniejsze wyróżniki przeprowadzonej oceny sensorycznej, ograniczając tym samym liczbę ocenianych wyróżników sensorycznych z 25 do 4. W tab. 2. przedstawiono zróżnicowanie jakości sensorycznej w obrębie różnych mięśni wołowych poddanych dojrzewaniu przez 7, 14 i 21 dni.

Rozpatrując wartości pierwszej składowej głównej, odnoszące się do poszczególnych mięśni po każdym z zastosowanych okresów dojrzewania stwierdzono, że mięśnie po 7 i 14 dniach dojrzewania nie różniły się istotnie ($p < 0,05$) pod względem wartości czynnika 1. Natomiast po 3-tygodniowym dojrzewaniu mięśnie podzielono na dwie grupy jednorodne pod względem wartości tej składowej. Podstawą takiego podziału były istotne ($p < 0,05$) różnice wartości czynnika 1. mięśnia A_NG względem L_PO. W skład pierwszej grupy homogennej wchodziły mięśnie: A_NG, R_NG, Z_PO, K_PS, drugą zaś tworzyły mięśnie: R_NG, Z_PO, K_PS i L_PO. Mięsień A_NG wykazywał istotnie ($p < 0,05$) niższą wartość czynnika 1. względem mięśnia L_PO.

Wartości drugiej składowej głównej, reprezentowanej w największym stopniu przez noty zapachowe i smakowe mięsa, nie różniły się istotnie ($p < 0,05$) w obrębie badanych mięśni po 7, 14 i 21 dniach dojrzewania.

Badane próbki mięsa wykazywały istotne zróżnicowanie ($p < 0,05$) pod względem trzeciej składowej głównej po każdym z zastosowanych czasów dojrzewania. Po tygodniowym czasie dojrzewania wartości czynnika 3. mięśnia L_PO były istotnie ($p < 0,05$) niższe względem mięśni: R_NG, K_PS i A_NG, natomiast nie różniły się od wartości mięśnia Z_PO. Jakość ogólna i cechy tekstury mięśnia Z_PO były istotnie ($p < 0,05$) różne względem mięśni K_PS, A_NG i R_NG (wartość czynnika 3. istotnie ($p < 0,05$) niższa w przypadku mięśnia Z_PO w stosunku do mięśni K_PS i A_NG). Mięśnie R_NG, K_PS i A_NG nie wykazywały istotnego ($p < 0,05$) zróżnicowania pod względem wartości omawianego czynnika. Na podstawie istotnych ($p < 0,05$) różnic między wartościami czynnika 3. badane mięśnie po 14 dniach dojrzewania podzielono na trzy jednorodne grupy. Do pierwszej grupy przydzielono mięsień cechujący się najniższą wartością trzeciej składowej głównej (L_PO). W drugiej grupie jednorodnej znalazł się mięsień Z_PO, który wyróżniał się istotnie ($p < 0,05$) wyższą wartością czynnika 3. względem mięśnia L_PO oraz istotnie ($p < 0,05$) niższą wartością tego czynnika w stosunku do mięśni K_PS, R_NG i A_NG, które przydzielono do trzeciej

grupy jednorodnej. Mięśnie te wykazywały istotnie ($p < 0,05$) najwyższą wartość omawianego czynnika względem wszystkich badanych próbek. Po 21 dniach dojrzewania, podobnie jak po tygodniowym okresie dojrzewania, najniższymi wartościami czynnika 3. cechowały się mięśnie L_PO i Z_PO względem pozostałych próbek. Mięśnie te utworzyły grupę jednorodną. W skład drugiej grupy jednorodnej wchodziły mięśnie K_PS i R_NG, trzecią zaś tworzyły mięśnie R_NG i A_NG. Mięśnie K_PS

Tabela 2. Jakość sensoryczna badanych mięśni – oceniane wyróżniki sensoryczne ujęte w 4 czynnikach głównych

Table 2. Sensory quality of muscles analyzed; evaluated sensory discriminants included in 4 main factors

Czas dojrzewania Aging time	Mięśnie Muscles	Czynnik 1 Factor 1	Czynnik 2 Factor 2	Czynnik 3 Factor 3	Czynnik 4 Factor 4
7 dni 7 days	L_PO	6,44 ^a ± 0,96	0,92 ^a ± 0,25	4,60 ^a ± 0,31	3,91 ^a ± 0,28
	Z_PO	6,51 ^a ± 0,65	1,02 ^a ± 0,30	4,85 ^{a,b} ± 0,81	4,19 ^a ± 0,43
	A_NG	6,34 ^a ± 0,52	0,97 ^a ± 0,32	6,50 ^c ± 0,65	4,08 ^a ± 0,54
	K_PS	6,27 ^a ± 0,73	0,99 ^a ± 0,31	5,98 ^c ± 0,52	3,91 ^a ± 0,38
	R_NG	6,31 ^a ± 0,72	0,97 ^a ± 0,27	5,91 ^c ± 0,95	4,19 ^a ± 0,43
14 dni 14 days	L_PO	6,47 ^a ± 0,82	1,09 ^a ± 0,25	5,43 ^b ± 0,42	4,26 ^a ± 0,22
	Z_PO	6,72 ^a ± 0,60	1,10 ^a ± 0,23	4,44 ^a ± 0,98	4,22 ^a ± 0,34
	A_NG	6,67 ^a ± 0,43	1,08 ^a ± 0,31	6,93 ^c ± 0,89	4,32 ^a ± 0,31
	K_PS	6,70 ^a ± 0,65	1,10 ^a ± 0,26	6,21 ^c ± 0,52	4,35 ^a ± 0,26
	R_NG	6,63 ^a ± 0,72	1,17 ^a ± 0,36	6,43 ^c ± 0,49	4,49 ^a ± 0,34
21 dni 21 days	L_PO	7,13 ^b ± 0,24	1,11 ^a ± 0,16	4,92 ^a ± 0,34	4,22 ^a ± 0,56
	Z_PO	6,78 ^{a,b} ± 0,55	1,15 ^a ± 0,27	4,99 ^a ± 0,65	4,29 ^a ± 0,70
	A_NG	6,76 ^a ± 0,31	1,04 ^a ± 0,21	6,96 ^c ± 0,49	4,45 ^a ± 0,55
	K_PS	6,97 ^{a,b} ± 0,38	1,16 ^a ± 0,34	5,99 ^b ± 0,72	4,40 ^a ± 0,53
	R_NG	6,76 ^{a,b} ± 0,37	1,11 ^a ± 0,27	6,54 ^{b,c} ± 0,96	4,48 ^a ± 0,57

Objaśnienia: / Explanatory notes:

L_PO – *musculus semitendinosus*, Z_PO – *musculus semimembranosus*, A_NG – *musculus longissimus dorsi thoracis*, R_NG – *musculus longissimus dorsi lumborum*, K_PS – *musculus gluteus medius*.

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values ± standard deviations; n = 4. Wartości średnie w kolumnach w obrębie każdego dnia dojrzewania, oznaczone różnymi indeksami literowymi, różnią się statystycznie istotnie ($p < 0,05$) / Mean values in columns within each of ageing day, denoted by different letter superscripts are statistically significantly different ($p < 0.05$).

i A_NG cechowały się istotnymi ($p < 0,05$) różnicami pod względem omawianego czynnika (mięsień A_NG cechował się istotnie ($p < 0,05$) wyższą wartością trzeciej składowej głównej w porównaniu z mięśniem K_PS). Nie wykazano również istotnych ($p < 0,05$) różnic wartości czwartej składowej głównej w obrębie badanych mięśni po każdym z zastosowanych okresów dojrzewania.

W niniejszej pracy oceniane wyróżniki sensoryczne podzielono na cztery grupy. W pierwszej grupie znalazły się wyróżniki opisujące cechy mięsa związane z jego wyciekaniem, w drugiej – wyróżniki smakowo-zapachowe, w trzeciej najważniejsze były cechy tekstury mięsa oraz jego jakość ogólna, zaś w czwartej – smak i zapach mięsny. Rozpatrując wyniki poszczególnych mięśni wykazano, że statystycznie istotne ($p < 0,05$) różnice były charakterystyczne tylko dla mięśnia półścięgnistego oraz najdłuższego grzbietu – okolicy łędźwi, wartości czynników głównych pozostałych mięśni nie wykazywały statystycznego zróżnicowania. Różnice statystycznie istotne mogły być związane ze specyficznymi właściwościami białych włókien mięśniowych, budujących cały mięsień. Mięso, które cechuje się większą liczbą komórek mięśniowych z przewagą szybko przekształcających się włókien białych (m. półścięgnisty), wykazuje szybsze tempo degradacji oraz wyższą podatność na zmiany zachodzące podczas dojrzewania [10], co może być przyczyną łatwiejszego rozwoju cech smakowo-zapachowych w tym mięśniu. Otrzymane wyniki mogą sugerować, że czas dojrzewania wpływa na zmiany intensywności odczuwania zapachów i smaków mięsa wołowego, jak również warunkuje jego cechy tekstury. Na podstawie wyników ujętych w czterech składowych głównych w przypadku wszystkich mięśni stwierdzono, że podczas założonego czasu dojrzewania zmianie uległ profil smakowo-zapachowy mięsa, czego wyrazem były wyższe noty przyznane wyróżnikom jakości sensorycznej ocenianych mięśni po przeprowadzeniu obróbki cieplnej – grillowania. Biorąc pod uwagę wartości czynnika pierwszego, zaobserwowano, że ulegały one zwiększeniu wraz z wydłużaniem czasu dojrzewania mięsa. Otrzymane różnice nie były statystycznie istotne ($p < 0,05$), jednak dość zauważalne. Zwiększenie wartości omawianej składowej pierwszej oznacza, że mięso wraz z wydłużającym się czasem dojrzewania było mniej soczyste, cechowało się bardziej intensywnym zapachem i smakiem przypieczonym oraz barwą o bardziej intensywnym szarym odcieniu. Mięso to było mniej krwiste, wykazywało mniej intensywny zapach i smak wątrobiany. Niższa soczystość badanych mięśni po dłuższym czasie dojrzewania mogła wynikać z osłabienia struktury mięśniowej wraz z dłuższym czasem dojrzewania, co mogło powodować większe straty płynów podczas prowadzenia obróbki cieplnej [9]. Druga składowa główna była dodatnio skorelowana z zapachem kwaśnym i tłuszczowym oraz smakiem przypalonym, gorzkim, kwaśnym i słodkim. Większość wymienionych w czynniku drugim zapachów czy smaków odbiera się negatywnie. Zwiększenie intensywności powyższych zapachów w czasie trwania dojrzewania mięsa było zgodne z wynikami badań

innych autorów [4, 7, 9, 14]. Wartości trzeciej składowej uległy zwiększeniu wskutek zastosowanego czasu dojrzewania, co oznacza że mięso wraz z wydłużeniem czasu przechowywania cechowało się większą miękkością oraz łatwością fragmentacji, wykazywało mniejszą włóknistość oraz wyższą jakość ogólną. Otrzymane wyniki są zgodne z danymi literaturowymi [2, 7, 9, 16]. Ostatnia wyodrębniona w niniejszej pracy składowa główna związana była z zapachem i smakiem mięsa wołowego. Wyniki tej składowej głównej uległy zwiększeniu wraz z wydłużeniem czasu trwania dojrzewania mięsa, co mogło wynikać z większej akumulacji związków smakowych (nukleotydów inozynowych, inozyny i hipoksantyny) w mięśniach po przeprowadzonym procesie dojrzewania [8].

W dostępnej literaturze brak jest danych dotyczących zastosowania analizy PCA w zakresie przedstawionym w niniejszej pracy, gdzie wykorzystano tę analizę jako narzędzie statystyczne pozwalające na dokładne i precyzyjne określenie zachodzących zmian jakości sensorycznej mięśni wołowych poddanych procesowi dojrzewania, a następnie obróbce cieplnej.

Wnioski

1. Ocena sensoryczna mięśni wołowych poddanych procesowi dojrzewania przeprowadzona zgodnie z metodą QDA dostarcza kompleksowej i szczegółowej wiedzy o profilu sensorycznym ocenianego produktu.
2. Analiza składowych głównych jest optymalnym narzędziem statystycznym ułatwiającym analizę dużej liczby ocenianych wyróżników jakościowych otrzymanych podczas oceny sensorycznej mięsa, pozwalającym wykryć prawidłowości niezauważalne w oryginalnym układzie zmiennych wejściowych (wyników ocen sensorycznych).
3. Analiza PCA pozwala dostrzec, które atrybuty sensoryczne są ze sobą istotnie powiązane i otrzymać pełną charakterystykę jakości sensorycznej z uwzględnieniem jedynie niewielkiego podzbioru z dużej liczby ocenianych wyróżników, co może znacznie ułatwić interpretację wyników ocen sensorycznych oraz wnioskowanie.
4. Wykazano, że zróżnicowanie jakości sensorycznej mięśni wołowych w największym stopniu dotyczy cech tekstury i jakości ogólnej.
5. Intensywność odczuwania poszczególnych atrybutów sensorycznych mięsa poddanego obróbce cieplnej była zróżnicowana w przypadku poszczególnych mięśni i zależała od czasu ich dojrzewania.
6. W mięśniu półścięgnistym w największym stopniu ukształtowały się pozytywne cechy sensoryczne pod wpływem 14-dniowego okresu dojrzewania, natomiast w mięśniu najdłuższym grzbietu okolicy lędźwi uzyskano najkorzystniejsze cechy tekstury i jakość ogólną po 21 dniach dojrzewania.

Badania zrealizowano w ramach projektu: Optymalizacja produkcji wołowiny w Polsce, zgodnie ze strategią „od widelca do zagrody” nr PO IG 01.03.01-00-204/09, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007 - 2013.

Literatura

- [1] Baryłko-Pikielna N., Matuszewska I.: Sensoryczne badania żywności. Podstawy. Metody. Zastosowania. Wyd. II. Wyd. Nauk. PTTŻ, Kraków 2014, ss. 181-199.
- [2] Boleman C.T., McKenna D.R., Ramsey W.S., Peel R.K., Savell J.W.: Influence of feeding vitamin D₃ and aging on the tenderness of four lamb muscles. *Meat Sci.*, 2004, **2** (67), 185-190.
- [3] BS-EN ISO 8589:2010+A1:2014. Sensory analysis. General guidance for the design of test rooms.
- [4] Campo M.M., Sanudo C., Panea B., Alberti P., Santolaria P.: Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat Sci.*, 1999, **51** (4), 383-390.
- [5] Gramacki J., Gramacki A.: Statystyczne odkrywanie zależności w danych. *Przeł. Telekom.*, 2008, **6**, 711-713.
- [6] ISO 13299:2010. Sensory analysis. Methodology. General guidance for establishing a sensory profile.
- [7] Jiang T., Busboom J.R., Nelson M.L., O'Fallon J., Ringkob T.P., Rogers-Klette K.R., Joos D., Piper K.: The influence of forage diets and aging on beef palatability. *Meat Sci.*, 2010, **3** (86), 642-650.
- [8] Kołczak T.: Jakość wołowiny. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **1** (56), 5-22.
- [9] Monsón F., Sañudo C., Sierra I.: Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Sci.*, 2005, **3** (71), 471-479.
- [10] Ouali A.: Meat tenderization: Possible causes and mechanisms. A review. *J. Muscle Foods*, 1990, **1** (2), 129-165.
- [11] PN-EN ISO 8586-03:2014. Analiza sensoryczna. Ogólne wytyczne wyboru, szkolenia i monitorowania wybranych oceniających i ekspertów oceny sensorycznej.
- [12] Rosochacki S.J.: Proteoliza w mięśniach po uboju zwierząt. *Przeł. Hod.*, 1999, **9**, 26-29.
- [13] Sentandreu M., Coulis G., Ouali A.: Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends Food Sci. Technol.*, 2002, **12** (13), 398-419.
- [14] Spanier A.M., Flores M., McMillin K.W., Bidner T.D.: The effect of *post-mortem* aging on meat flavour quality in Brangus beef. Correlation of treatments, sensory, instrumental and chemical descriptors. *Food Chem.*, 1997, **4** (59), 531-538.
- [15] Stetzer A.J., Cadwallader K., Singh T.K., McKeith F.K., Brewer M.S.: Effect of enhancement and ageing on flavor and volatile compounds in various beef muscles. *Meat Sci.*, 2008, **1** (79), 13-19.
- [16] Stolowski G.D., Baird B.E., Miller R.K., Savell J.W., Sams A.R., Taylor J.F., Sanders J.O., Smith S.B.: Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. *Meat Sci.*, 2006, **3** (73), 475-483.
- [17] Takahashi K.: Mechanism of meat tenderization during postmortem aging: calcium theory. *Proc. of the 45th Interanrional Congress of Meat Science and Technology. Yokohama 1999*, pp. 230-235.

USEFULNESS OF QUANTITATIVE DESCRIPTIVE ANALYSIS (QDA) AND PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS (PCA) EXEMPLIFIED BY SENSORY EVALUATION OF GRILLED BEEF STEAKS

S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the potential of using, more extensively, a quantitative descriptive method (QDA) and a principal components analysis (PCA) to evaluate the sensory quality of grilled beef by identifying the complex profile of the product under evaluation and, then, by limiting the quantity of attributes included, which facilitated the interpretation of results and the determination of the relationships that were important for the quality of the product analyzed. The research material consisted of five muscles: *musculus semitendinosus* (L_PO), *musculus semimembranosus* (Z_PO), *musculus longissimus dorsi thoracis* (A_NG), *musculus longissimus dorsi lumborum* (R_NG), and *musculus gluteus medius* (K_PS); those muscles were subjected to an ageing process for 7, 14, and 21 days in vacuum packs, at a temperature of $2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. The meat after the heat treatment (grilling) was sensory assessed using a quantitative descriptive analysis (QDA) and, next, the results obtained were statistically analysed using a principal components analysis (PCA). Based on the analyses performed, it was found that the QDA-based sensory evaluation of the beef muscles subjected to the ageing process provided a comprehensive and detailed knowledge of the sensory profile of the product evaluated. The principal component analysis, used as a statistical tool, enabled the analysis of a large number of quality parameters under assessment obtained during the sensory evaluation of meat. With that analysis, it was possible to detect the regularities that were imperceptible in the original layout of the obtained results of sensory evaluations. On the basis of PCA, it was found that many sensory attributes were quite strongly correlated with each other and in order to obtain a complete characterisation of the sensory quality, it was enough to include just a small subset from a group of numerous parameters under evaluation; this could essentially facilitate the interpretation of results and the determination of relationships important for the sensory quality of the product being assessed. It was also proved that the variation in the sensory quality of beef muscles referred to the features of texture and overall quality. The intensity of how individual sensory attributes of heat-treated meat were felt varied in the case of individual muscles and depended on the duration of their ageing. As regards the *musculus semitendinosus*, its positive sensory characteristics were formed, to the greatest extent, during a 14-day ageing period, while in the *musculus longissimus dorsi lumborum*, the best features of its texture and overall quality were reported after a 21 day ageing period. Regarding the remaining samples analyzed, no significant ($p < 0.05$) differences were found in their sensory quality after the applied period of ageing.

Key words: beef, sensory quality, quantitative descriptive method (QDA), principal component analysis (PCA) ☒