

Dr hab. inż. Mirosław SŁOWIŃSKI
Mgr inż. Małgorzata MAJEWSKA
Dr inż. Krzysztof DASIEWICZ
Wydział Technologii Żywności, SGGW w Warszawie

WYKORZYSTANIE KOMPUTEROWEJ ANALIZY OBRAZU DO OCENY ZAWARTOŚCI TŁUSZCZU W MIĘSIE KURCZĄT®

Celem artykułu jest prezentacja badań dotyczących zastosowania komputerowej analizy obrazu do oceny zawartości tłuszczu w mięsie z piersi i nóg kurcząt. Obserwowane statystycznie istotne korelacje pomiędzy udziałem pól białych w obrazie mięsa z nóg kurcząt a zawartością w nim tłuszczu wskazują na możliwość zastosowania tego pomiaru do szacowania zawartości tłuszczu w tym surowcu. Najlepsze efekty uzyskano wykorzystując do tego zdjęcia nierozdrobnionego mięsa wykonane aparatem o rozdzielczości 3,1 mln pikseli na tle zielonym lub czarnym, stosując oświetlenie halogenowe lub żarowe. Pomiar ten nie powinien być stosowany do oceny zawartości tego składnika w mięsie z piersi kurcząt.

WSTĘP

Obserwowane w ostatnich latach żądanie rynku wytwarzania przetworów mięsnych o bardzo wysokiej jakości zmusza producentów do poszukiwania metod pozwalających na jego realizację. Można to osiągnąć m.in. przez stabilizację jakości surowców i stosowanych dodatków, tworzenie nowoczesnych i optymalnych receptur, a także stosowanie właściwego procesu technologicznego. Jednym z czynników wpływających na jakość mięsa jest ilość i jakość zawartego w nim tłuszczu. W związku z tym, że jest on w grupie surowców mięsno-tłuszczowych jednym z tańszych składników, jego ilość rzutuje także na opłacalność produkcji przetworów mięsnych. W przypadku zbyt wysokiej, wyższej od dopuszczalnej odpowiednimi przepisami zawartości tego składnika w mięsie, istnieje konieczność deklarowania na etykiecie produktu jego dodatku. Wszystko to sprawia, że koniecznością staje się ocena ilości tłuszczu wprowadzanego do przetworu. Dokonać tego można kilkoma metodami: ekstrakcyjną (przy użyciu rozpuszczalników organicznych lub dwutlenku węgla w stanie nadkrytycznym), butyrometryczną, wykorzystującą promieniowanie rentgenowskie, metodami odbiciowymi NIR i innymi [4, 5]. Jednak są to metody niszczące, czasowe, pracochłonne. Dlatego duże zainteresowanie technologów budzą metody nie wymagające dużych nakładów pracy, a do tego dające szybko dokładne wyniki. Do metod takich należy komputerowa analiza obrazu (KAO), znajdująca zastosowanie w wielu dziedzinach życia, w tym także w technologii żywności. W technologii mięsa może być ona wykorzystywana do oceny jakości mięsa wieprzowego [2], wołowego [1], drobiowego [3, 7] oraz do przyżyciowej oceny wartości i użyteczności rzeźnej bydła [6]. Jednak przeprowadzone wcześniej badania na mięsie kurcząt wykazały, że dokładność oceny jego jakości zależy m.in. od barwy tła i rodzaju użytego oświetlenia [8].

Celem niniejszych badań była próba określenia optymalnych warunków wykonywania zdjęć (rodzaju oświetlenia, barwy tła i rozdzielczości aparatu fotograficznego) wykorzystywanych w komputerowej analizie obrazu do szacowania zawartości tłuszczu w nierozdrobnionym i rozdrobnionym mięsie z piersi i nóg kurcząt.

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Stanowisko pomiarowe stanowiła prostopadłościenna skrzynka o wymiarach 520x520x750 mm, wykonana ze sklej-

ki i pomalowana matową, białą farbą. W dolnej części skrzynki umieszczono drzwiczki, przez które wkładano do środka białą tackę z próbką mięsa w celu wykonania zdjęć aparatem cyfrowym. W centralnej części pokrywy wykonano otwór na obiektyw aparatu cyfrowego. Wokół niego w pokrywie równoległe do fotografowanego obiektu zainstalowano oświetlenie. Stanowiły je:

- cztery halogeny o mocy 35 W każdy,
- cztery lampy żarowe (matowe) o mocy 40 W każda,
- dwie lampy jarzeniowe o mocy 6 W i dwie o mocy 4 W (dające światło białe).

Oświetlenie zostało rozmieszczone tak, aby zapewnić równomierne rozproszenie światła podczas wykonywanych zdjęć. Cały układ połączono szeregowo, co dało możliwość włączania poszczególnych rodzajów oświetlenia. Oświetlenie zasilano prądem zmiennym o napięciu 230 V. Moc poszczególnego rodzaju oświetlenia dobrano w taki sposób, aby natężenie światła odbitego od powierzchni biało-czerwonej w konstruowanym układzie zawierało się w granicach 18-19 lx. Odpowiada to natężeniu światła w jasny, bezchmurny dzień i zostało przyjęte jako optymalne w wykonanym doświadczeniu. Zdjęcia wykonano dwoma aparatami cyfrowymi: o niskiej rozdzielczości – 640000 pikseli na klatkę oraz o wysokiej rozdzielczości – 3100000 pikseli na klatkę.

Materiał do badań stanowiło mięso z piersi i nóg kurcząt, pozyskiwane w warunkach przemysłowych. Ptaki były dostarczane do ubojni transportem samochodowym w specjalnych pojemnikach transportowych. Ubój prowadzono na automatycznych liniach ubojowych. Badania przeprowadzono na 15 partiach obu rodzajów mięsa. Każdą partię surowca o masie około 1 kg umieszczano w białym pojemniku, w stanowisku pomiarowym, w celu wykonania serii zdjęć obydwoma typami aparatów cyfrowych. Zdjęcia wykonano we wszystkich kombinacjach stosowanego oświetlenia oraz barwy tła. Barwę tła dobrano tak, aby w jak najmniejszym stopniu wpływała na naturalną barwę mięsa. W pierwszej kolejności wykonano zdjęcia mięsa nierozdrobnionego. Następnie mięso z każdego pojemnika zostało rozdrobnione w wilku laboratoryjnym przy użyciu szarpaka. Po rozdrobnieniu wykonano taką samą serię zdjęć, jak w przypadku mięsa nierozdrobnionego.

W 15 seriach pomiarowych na mięsie z piersi i nóg wykonano łącznie 3240 zdjęć aparatem cyfrowym. Po wykonaniu

zdjęć z każdej serii mięsa pobierano każdorazowo reprezentatywną próbkę około 100 g, w której po uśrednieniu oznaczano zawartość tłuszczu metodą Soxhleta wg PN-ISO 1444: 2000.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej używając programu STATGRAPHICS 4.1. Przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji oraz obliczono współczynniki korelacji, dyskryminacji oraz równania regresji między udziałem pól białych a zawartością tłuszczu oznaczoną odwoławczą metodą Soxhleta.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Użyte do badań mięso kurcząt charakteryzowało się typową dla tego surowca zawartością tłuszczu, wynoszącą średnio: 0,98% w mięsie z piersi i 7,51% w mięsie z nóg.

Budowa bazy danych, określenie granic progowych składowych barwy mięsa i tłuszczu

W niniejszej pracy wykorzystano program komputerowy Carne 2.2. (napisany dla potrzeb niniejszego eksperymentu). Dało to możliwość stworzenia baz danych zawierających informacje o barwie mięsa i tłuszczu. Program definiował barwę surowca za pomocą trzech składowych barwy RGB (ang. red – czerwona, green – zielona, blue - niebieska). Wprowadzanie informacji do bazy danych realizowane było poprzez proces „nauki” systemu. Nauka polegała na wskazaniu odpowiednich obszarów na fotografiach cyfrowych odpowiadających tkance mięśniowej i tłuszczowej oraz „zapamiętywaniu” przez komputer ustalonych parametrów (kryteriów). Zbudowano 72 bazy danych. Każda baza zawierała informacje o barwie surowca w zależności od warunków (tło i oświetlenie), w jakich wykonywano zdjęcie cyfrowe, rozdzielczości aparatu cyfrowego, rodzaju mięsa i stopnia jego rozdrobnienia. Umożliwiło to w dalszej części pracy określenie optymalnych warunków pomiarowych do określenia w mięsie zawartości tłuszczu metodą KAO. Po „zakończonym nauce”, tj. „zamknięciu” wszystkich 72 baz danych, przeprowadzono komputerową analizę obrazu zdjęć, w czasie której program wydzielił i wyliczył udział pól białych (odpowiadających za zawartość tłuszczu), czerwonych (odpowiadających za zawartość mięsa chudego), a także pola nierozpoznane (obszar niezdefiniowany).

Wpływ zastosowanego oświetlenia, barwy tła i rozdzielczości aparatu na udział pól białych i nierozpoznawalnych w obrazie mięsa kurcząt

Dokonując analizy wpływu rodzaju oświetlenia, barwy tła i rozdzielczości aparatu fotograficznego na zdolność programu do identyfikowania pól białych, czerwonych i nierozpoznawalnych przez program komputerowy szczególną uwagę zwrócono na udział pól białych i nierozpoznawalnych. Wynikało to z faktu, że barwa biała jest związana z tłuszczem, a więc składnikiem którego ilość chciano ocenić na podstawie

zdjęć cyfrowych, natomiast udział pól nierozpoznawalnych świadczy między innymi o niedoskonałości systemu pomiarowego i o wielkości popełnianego błędu. Wartości średnie uzyskanych wyników zebrano w tabeli 1.

Tab. 1. Wpływ rodzaju oświetlenia, barwy tła i rozdzielczości aparatu fotograficznego na udział pól białych i nierozpoznawalnych w mięsie kurcząt (%).

Tło	Wyróżnik	Rodzaj oświetlenia					
		halogenowe		jarzeniowe		żarowe	
		WR*	NR*	WR*	NR*	WR*	NR*
Nierozdrobnione mięso z piersi							
czarne	Pola białe	20	11	13	19	3	7
	Pola nierozp.	7	1	2	1	4	1
niebieskie	Pola białe	10	6	16	11	4	11
	Pola nierozp.	4	1	1	1	2	1
zielone	Pola białe	11	8	12	8	4	12
	Pola nierozp.	8	1	3	1	5	1
Rozdrobnione mięso z piersi							
czarne	Pola białe	0	2	3	1	2	2
	Pola nierozp.	9	0	1	0	6	0
niebieskie	Pola białe	0	2	5	2	1	3
	Pola nierozp.	8	0	1	0	5	0
zielone	Pola białe	1	2	0	2	1	4
	Pola nierozp.	9	0	1	0	6	0
Nierozdrobnione mięso z nóg							
czarne	Pola białe	12	28	32	24	40	36
	Pola nierozp.	5	1	2	1	4	1
niebieskie	Pola białe	23	33	39	29	38	38
	Pola nierozp.	4	1	1	1	2	1
zielone	Pola białe	23	33	30	28	38	34
	Pola nierozp.	6	1	2	1	5	1
Rozdrobnione mięso z nóg							
czarne	Pola białe	7	9	13	11	17	9
	Pola nierozp.	10	1	2	1	7	1
niebieskie	Pola białe	7	8	15	15	14	8
	Pola nierozp.	7	1	1	1	4	1
zielone	Pola białe	6	10	12	15	15	6
	Pola nierozp.	11	1	2	1	7	1

*WR - wysoka rozdzielczość aparatu fotograficznego
NR - niska rozdzielczość aparatu fotograficznego

W przypadku nierozdrobnionego mięsa z piersi kurcząt przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że udział pól białych i nierozpoznawalnych był istotnie różnicowany przez zastosowany rodzaj oświetlenia i barwę tła. Analiza statystyczna wykazała także wpływ na udział pól nierozpoznawalnych rozdzielczości aparatu fotograficznego. Pod względem udziału w obrazie pól nierozpoznawalnych w barwie nierozdrobnionego mięsa z piersi kurcząt gorsze efekty uzyskano stosując aparat o wyższej rozdzielczości, oświetlenie halogenowe i tło czarne lub zielone oraz oświetlenie żarowe i tło zielone, a najlepsze stosując oświetlenie jarzeniowe i tło niebieskie.

Udział pól białych na zdjęciach rozdrobnionego mięsa z piersi kurcząt kształtował się na podobnym poziomie, niezależnie od rodzaju oświetlenia, barwy tła i rozdzielczości aparatu fotograficznego. Analizując udział pól nierozpoznawalnych w obrazie rozdrobnionego mięsa z piersi kurcząt, tak jak w przypadku nierozdrobnionego mięsa z piersi gorsze efekty uzyskano stosując aparat o wyższej rozdzielczości. Stosując aparat o niższej rozdzielczości średni udział pól nierozpoznawalnych równy był zeru, we wszystkich kombinacjach oświetlenia i tła.

Podobnie, jak w przypadku mięsa z piersi, także w mięsie z nóg kurcząt przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że udział pól białych i nierozpoznawalnych był różnicowany przez zastosowany rodzaj oświetlenia i barwę tła.

Pod względem udziału pól nierozpoznawalnych w obrazie nierozdrobnionego mięsa z nóg kurcząt najwyższe wartości zaobserwowano przy oświetleniu halogenowym, a najniższe przy oświetleniu jarzeniowym. Tendencja była niezależna

od barwy użytego tła. Wartość najniższą odnotowano przy oświetleniu jarzeniowym i tle niebieskim, a najwyższą przy oświetleniu halogenowym i tle zielonym. W przypadku aparatu o niższej rozdzielczości udział pól nierozpoznawalnych kształtował się na takim samym poziomie przy każdym rodzaju oświetlenia i barwy tła.

Określając udział pól nierozpoznawalnych w obrazie rozdrobnionego mięsa z nóg kurcząt, gorsze efekty, a więc wyższy ich udział, stwierdzono stosując aparat o wyższej rozdzielczości. Najwyższy udział pól nierozpoznawalnych dla tego aparatu zaobserwowano przy oświetleniu halogenowym, a najniższy przy oświetleniu jarzeniowym. W przypadku aparatu o niższej rozdzielczości udział pól nierozpoznawalnych kształtował się na takim samym poziomie, jak w przypadku nierozdrobnionego mięsa z nóg.

Tab. 2. Współczynniki korelacji i równania regresji liniowej między wartością tłuszczu wyznaczoną odwoławczą metodą Soxhletha (y) w mięsie z kurcząt a udziałem pól białych (x) wyznaczonych metodą komputerowej analizy obrazu przeprowadzonej w badanych warunkach (tła i oświetlenia)

Barwa tła	KAO		Metoda Soxhletha	
	Rodzaj oświetlenia	Rozdzielczość aparatu	Mięso z piersi	Mięso z ng
Mięso nierozdrobnione				
czarne	halogenowe	WR	0,47	-0,83* $y=8,59-8,89x$
		NR	0,05	-0,46
	jarzeniowe	WR	-0,27	-0,66* $y=8,83-4,18x$
		NR	-0,22	-0,10
	żarowe	WR	0,27	-0,81* $y=9,50-4,93x$
		NR	0,18	-0,33
niebieskie	halogenowe	WR	0,10	-0,55* $y=8,67-5,13x$
		NR	0,19	-0,23
	jarzeniowe	WR	0,16	-0,57* $y=9,67-5,56x$
		NR	-0,60* $y=1,42-3,98x$	-0,15
	żarowe	WR	0,04	-0,23
		NR	0,50	-0,43
zielone	halogenowe	WR	0,50	-0,86* $y=8,80-5,72x$
		NR	0,30	-0,46
	jarzeniowe	WR	0,04	-0,44
		NR	0,27	-0,12
	żarowe	WR	0,39	-0,84* $y=9,24-4,50x$
		NR	0,13	-0,44
Mięso rozdrobnione				
czarne	halogenowe	WR	-0,44	-0,56* $y=9,26-26,45x$
		NR	-0,36	0,23
	jarzeniowe	WR	-0,29	0,43
		NR	-0,28	0,27
	żarowe	WR	-0,29	0,21
		NR	0,02	0,11
niebieskie	halogenowe	WR	0,05	-0,07
		NR	0,19	0,32
	jarzeniowe	WR	-0,02	0,45
		NR	-0,30	-0,06
	żarowe	WR	0,42	0,21
		NR	0,8	-0,11
zielone	halogenowe	WR	0,16	0,23
		NR	0,24	0,41
	jarzeniowe	WR	0,28	0,24
		NR	0,29	-0,14
	żarowe	WR	0,56* $y=0,65+26,74x$	0,50
		NR	0,39	0,33

* – korelacja istotna statystycznie przy $\alpha = 0,05$
 **WR – wysoka rozdzielczość aparatu fotograficznego
 NR – niska rozdzielczość aparatu fotograficznego

Przeprowadzone badania wykazały, że stopień rozdrobnienia mięsa miał istotny wpływ na udział pól białych. Brak rozdrobnienia surowca powodował wykrywanie przez układ większego udziału pól białych niż w przypadku surowca rozdrobnionego.

Próba określenia optymalnych warunków pomiarowych KAO do szacowania zawartości tłuszczu w mięsie kurcząt

W celu określenia optymalnych warunków pomiarowych wykorzystywanych do szacowania zawartości tłuszczu w mięsie kurcząt przy użyciu KAO przeprowadzono analizę korelacji pomiędzy zawartością tłuszczu wyznaczoną odwoławczą metodą Soxhletha a udziałem pól białych wyznaczonych metodą KAO. Uzyskane wartości współczynników korelacji zebrano w tabeli 2. Wyliczone równania regresji dotyczą tylko przedziałów zmienności ilości pól białych i zawartości tłuszczu stwierdzonych w niniejszych badaniach.

Przeprowadzona analiza statystyczna dla większości wariantów nie wykazała w przypadku mięsa z piersi istotnych korelacji pomiędzy udziałem pól białych określonych metodą KAO a zawartością tłuszczu oznaczoną odwoławczą metodą Soxhletha. Zależność taką stwierdzono w przypadku zdjęć wykonanych aparatem o niższej rozdzielczości przy oświetleniu jarzeniowym i tle niebieskim. Natomiast w przypadku mięsa rozdrobnionego zależność taką stwierdzono na zdjęciach wykonanych aparatem o wyższej rozdzielczości przy oświetleniu żarowym i zielonym tle. Jednak w obu przypadkach wyliczone współczynniki determinacji R^2 kształtowały się na niskim poziomie (odpowiednio 36,0 i 31,4), a więc inne czynniki niż zawartość tłuszczu w znacznym stopniu determinowały zmienność udziału pól białych.

Przeprowadzona analiza statystyczna dla mięsa z nóg wykazała, niezależnie od rodzaju oświetlenia, istotne korelacje między udziałem pól białych wyznaczonych metodą KAO a zawartością tłuszczu wyznaczoną odwoławczą metodą Soxhleta. Korelację tę stwierdzono w przypadku zdjęć wykonanych aparatem o wyższej rozdzielczości dla nierozdrobnionego mięsa z nóg. Wysokie współczynniki korelacji i determinacji wyliczono dla zdjęć nierozdrobnionego mięsa z nóg kurcząt wykonanych na czarnym tle aparatem o wyższej rozdzielczości przy oświetleniu halogenowym ($R^2 = 68,9$) i żarowym ($R^2 = 65,6$). Podobne wartości współczynników determinacji dla tego surowca stwierdzono w przypadku zdjęć wykonanych na tle zielonym przy oświetleniu halogenowym ($R^2 = 74,0$) i żarowym ($R^2 = 70,6$).

W przypadku rozdrobnionego mięsa z nóg kurcząt zależność taką stwierdzono na zdjęciach wykonanych aparatem o wyższej rozdzielczości przy oświetleniu halogenowym i czarnym tle. Jednak relatywnie niska wartość współczynnika determinacji ($R^2 = 31,4$) wskazuje, że zawartość tłuszczu w znacznym stopniu była determinowana przez inne czynniki niż udział pól białych.

Wyliczone, w przypadku mięsa z nóg, istotne statystycznie współczynniki korelacji między udziałem pól białych a zawartością tłuszczu przyjmowały wartości ujemne, a więc wraz ze wzrostem ilości pól białych obserwowano obniżenie udziału tłuszczu. Może to wynikać z faktu, że wyliczony przy użyciu komputerowej analizy obrazu udział pól białych mówi nie tylko o udziale tłuszczu, ale i tkanki łącznej, a w tym przypadku omięsnej. Na mięśniach udowych jest jej dużo, co powoduje fałszowanie wyników. Tłuszcz mięśni udowych natomiast często przyjmuje barwę różową, a przez to nie jest identyfikowany jako pola białe. Przyjmując, że ilość omięsnej w przybliżeniu jest wielkością stałą dla kurcząt w danym wieku i podobnych warunkach odchowu, to wraz ze wzrostem ilości tłuszczu, którego barwa upodabnia się do tkanki mięśniowej, będzie malała identyfikowana przez program komputerowy ilość pól białych i nastąpi zależność odwrotnie proporcjonalna.

WNIOSKI

1. Najważniejszym czynnikiem różnicującym udział pól białych i nierozpoznawalnych na zdjęciach mięsa z piersi i nóg kurcząt był rodzaj zastosowanego oświetlenia (żarowe, halogenowe i jarzeniowe). Również rozdrobnienie mięsa miało wpływ na udział pól białych rejestrowanych przez program komputerowy, powodując obniżenie ich udziału.
2. Obserwowane statystycznie istotne korelacje pomiędzy udziałem pól białych określonych na zdjęciach nierozdrobnionego mięsa z nóg wykonanych aparatem o wyższej rozdzielczości, stosując oświetlenie halogenowe lub żarowe na tle zielonym lub czarnym, a zawartością w nim tłuszczu wskazują na możliwość zastosowania tego pomiaru do szacowania zawartości tłuszczu w mięsie z nóg kurcząt.
3. W związku z niskimi wartościami współczynników determinacji komputerowa analiza obrazu nie powinna być stosowana do oceny zawartości tłuszczu w mięsie z piersi kurcząt.

LITERATURA

- [1] Dasiewicz K., Słowiński M., Sakowski T., Oprządek J., Wiśniuch A., Dymnicki E., Słoniewski K.: The attempt of Video Image Analysis use for estimation of meat quality of beef breeds bulls, *Electr. J. of Polish Ag. Un. Series Food Science and Technology*, 2003, v. 6, is. 2.
- [2] Florowski T.: Próba zastosowania komputerowej analizy obrazu do oceny jakości mięsa wieprzowego, *Żywność Nauka Technologia Jakość* 2003, 4 (37), 63-72 Suplement.
- [3] Florowski T., Słowiński M., Dasiewicz K.: Colour measurements as a method for the estimation of certain chicken meat quality indicators, *Electr. J. of Polish Ag. Un. Series Food Science and Technology*, 2002, v. 5, is. 2.
- [4] Kłossowska B. M.: Dostosowanie chemicznych metod kontroli jakości do wymagań europejskich, *Gospodarka Mięсна*, 1999, 51, (5), s. 34-41.
- [5] Kopeć W.: Szybkie metody analizy składu chemicznego mięsa i przetworów mięsnych, *Gospodarka Mięсна*, 1998, 50, (9), s. 70-73.
- [6] Sakowski T., Dasiewicz K., Słowiński M., Słoniewski K.: Obiektywizacja oceny użyteczności rzeźnej bydła i cech fizyko-chemicznych mięsa wołowego za pomocą komputerowej analizy obrazu, *Przegląd Hodowlany*, 2000, 68, (8), 37-39.
- [7] Słowiński M.: Badania nad zastosowaniem szybkich pośrednich metod do oceny jakości tuszek i mięsa drobiowego, *Wydawnictwo SGGW Warszawa*, 2005.
- [8] Słowiński M., Majewska M., Cegiełka A.: Determination of parameters of video image analysis for the evaluation of chicken meat quality, *Animal Science*, 2006, Vol. 1, Supl., 28-29.

USE OF DIGITAL IMAGE ANALYSIS PARAMETERS FOR THE ESTIMATION OF FAT CONTENT IN CHICKEN MEAT

SUMMARY

The studies aimed at determining whether digital image analysis can be used to estimate the fat content in chicken breast and leg muscles. The statistically significant correlations observed between the fat content and the share of white fields on photographs of chicken legs indicate that this measurement can be used for the estimation of the fat content in this raw material. The best results were obtained while taking photographs of unground meat against green or black backgrounds with halogen or white light. These measurements should not be used to estimate the fat content in chicken breast muscles.