



„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”

Mariusz Rudy¹, Marian Gil¹, Renata Stanisławczyk¹, Jagoda Żurek¹, Grzegorz Zaguła², Maciej Kluz²

Zastosowanie plazmy niskotemperaturowej do utrwalania mięsa wieprzowego przechowywanego chłodniczo

The use of low-temperature plasma to preserve pork meat stored cooled

Adres: dr hab. inż. Mariusz Rudy, prof. UR

¹ Zakład Przetwórstwa i Towaroznawstwa Rolniczego, Instytut Technologii Żywności i Żywienia, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4/D9, 35-601 Rzeszów,
e-mail: mrudy@ur.edu.pl

² Katedra Bioenergetyki, Analizy Żywności i Mikrobiologii, Instytut Technologii Żywności i Żywienia, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4/D9, 35-601 Rzeszów,

Summary

Cold plasma is a relatively new antimicrobial process being developed for use in the food industry. The aim of the study was to investigate the effect of the application of low-temperature plasma on the physicochemical, technological and sensory properties, as well as the nutritional value and durability of pork (ham, shoulder and loin) refrigerated. The research material consisted of muscle samples: hams (semimembranosus - *m. semimembranosus*); scapulae (supraspinatus - *m. supraspinatus* and subcapsular - *m. infraspinatus*); pork loin (the longest back - *m. longissimus dorsi*) obtained from 20 pork half-carcasses from individual farmers in the south-eastern region of Poland, weighing ante-mortem from 110 to 120 kg. The use of low-temperature plasma did not extend the shelf life of pork for all analyzed muscles. Only for the loin the shear force values decreased after the application of plasma in each period of refrigerated storage.

Wstęp

Plazma uznawana jest za czwarty stan skupienia i stanowi mieszaninę obojętnych i zjonizowanych cząstek. Poprzez doprowadzenie odpowiednio dużej ilości energii każda substancja może zostać zamieniona w plazmę. W zależności od tego, w jakich zakresach ciśnień i temperatury występuje wyróżniamy plazmę wysoko- oraz niskotemperaturową (zimną), którą można otrzymać w warunkach ziemskich [Stryczewska 2011]. Natomiast plazmę niskotemperaturową można podzielić w zależności od ciśnienia na plazmę termiczną (równowagową) oraz nietermiczną (nierównowagową). Oba rodzaje plazmy znacznie różnią się właściwościami, jakie posiadają oraz możliwościami aplikacji.

Zimna plazma jest stosunkowo nowym procesem przeciwdrobnoustrojowym, opracowywanym dla zastosowania w przemyśle spożywczym [Niemira 2012, Niemira i in. 2014]. Dopracowywanie metod otrzymywania oraz sterowania parametrami zimnej plazmy przyczynia się do wzrostu dostępności tej technologii. Stanowi ona możliwość szybkiej dezynfekcji i sterylizacji materiałów związanych z przetwarzaniem żywności, w tym także opakowań. Wykorzystywana jest w medycynie, ochronie środowiska, ale w przemyśle spożywczym stanowi jedną z najbardziej obiecujących fizycznych metod utrwalania surowców bez podnoszenia ich temperatury i powodowania niekorzystnych zmian [Mrozowski 2007, Knoerzer i in. 2012, Rød i in. 2012]. Może być stosowana do utrwalania produktów mięsnych w tym surowego mięsa, gotowych do spożycia pokrojonych wędlin oraz przetworów wcześniej zapakowanych. Korzyścią sterylizacji produktów w opakowaniach jest znaczne zmniejszenie ryzyka wtórnego zakażenia produktu [Fernandez i in. 2012, Rød i in. 2012]. Zimna plazma to metoda, która umożliwia inaktywację bakterii zarówno w formie vegetatywnej, jak i przetrwalnikowej, a także mikroorganizmów, które tworzą oporne na czynniki chemiczne biofilmy. Jednak skuteczność w redukowaniu liczby bakterii w produktach mięsnych uzależniona jest od zawartości wody, stężenia soli oraz pH, dlatego tak istotne jest, aby do każdego produktu dobierać indywidualne parametry procesu [Bárdos i Baránková 2010, Tanarro i in. 2011].

Niewątpliwą zaletą utrwalania żywności za pomocą plazmy niskotemperaturowej jest wysoka skuteczność w usuwaniu drobnoustrojów bez konieczności podgrzewania surowca. Utrwalany produkt zostaje podgrzewany do temperatury nieprzekraczającej 60°C, przez co metoda ta nie powoduje pogorszenia się właściwości odżywczych i sensorycznych. Uznaje się, że działanie zimnej plazmy nie wywołuje istotnych zmian we właściwościach produktów, świeży smak i za-

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowywalnictwie żywności

pach pozostają nienaruszone [Fernández i in. 2012a]. Ponadto metoda nie wymaga użycia żadnych bakteriobójczych środków chemicznych oraz stosowania konserwantów, używany jest jedynie gaz, taki jak: powietrze, tlen, azot, argon czy hel oraz prąd elektryczny konieczny do wytworzenia plazmy. Wszystkie składniki plazmy biorące udział w niszczeniu patogenów są nietrwale, dlatego też nie istnieje żadne zagrożenie, że będą one obecne w gotowym produkcie. Kolejnym atutem zimnej plazmy jest ekologiczność związana, z tym, że plazmotrony nie emitują zanieczyszczeń oraz cała aparatura nie potrzebuje dużej mocy elektrycznej do zasilania. Znaczny postęp technologii i doskonalenie metod powoduje, że stosowanie omówionej techniki jest coraz mniej kosztowne i z pewnością zostanie wprowadzona na skalę przemysłową [Stryczewska 2011].

Celem pracy było zbadanie wpływu zastosowania plazmy niskotemperaturowej na właściwości fizykochemiczne, technologiczne, sensoryczne oraz wartość odżywczą i trwałość mięsa wieprzowego (szynka, łopaska i schab) przechowywanego chłodniczo.

Material i metodyka badań

Material badawczy stanowiły próby mięśni: szynki (półbłoniasty - *m. semimembranosus*); łopatki (nadgrzebieniowy – *m. supraspinatus* i podgrzebieniowy – *m. infraspinatus*); schabu (najdłuższy grzbietu – *m. longissimus dorsi*) pozyskane z półtuszy wieprzowych, pochodzących od rolników indywidualnych z regionu południowo-wschodniej Polski o wadze przedubowej od 110 do 120 kg. Zwierzęta po transporcie przetrzymywano w magazynach żywca przez około 5 godzin. Uboju dokonano zgodnie z metodyką obowiązującą w przemyśle mięsnym. Przed ubojem zwierzęta poddawano oszaleciami elektrycznemu. Każdy mięsień dzielono na 6 części, z których 3 stanowiły próbki kontrolne a pozostałe zostały poddane działaniu plazmy niskotemperaturowej (zimna plazma o różnicy potencjałów 2eV wzbudzona lukowo w stanie próżniowym dla 1min. czasu stymulacji). Następnie próby zostały poddane przechowywaniu chłodniczemu (temperatura $3^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) przez okres 1, 7 i 10 dni. Po każdym okresie przechowywania chłodniczego na próbkach kontrolnych oraz po zastosowaniu plazmy wykonano:

1. Badanie składu chemicznego (zawartość: białka, tłuszczu, wody, składników mineralnych);

2. Pomiary pH, aktywności wody, siły cięcia, wycieku wymuszonego, wycieku termicznego, potencjału oksydacyjno-redukcyjnego, wskaźnika TBARS, parametrów barwy i tekstury;
3. Analizę sensoryczną (zapach: natężenie i pożądalność, soczystość, kruchość, smak: natężenie i pożądalność);
4. Analizę mikrobiologiczną – ogólną liczbę drobnoustrojów.

Kwasowość czynną (pH) mięsa chłodzonego oznaczono przy użyciu elektrody OSH 12-01 i pehametru CPC-411 (firmy ELMETRON, Zabrze, Polska) z dokładnością do 0,01. Urządzenie kalibrowano w oparciu o bufory o wartościach pH 4,00 i 7,00.

Instrumentalny pomiar barwy w systemie CIE $L^*a^*b^*$ wykonano na przekroju mięsa przy użyciu elektronicznego kolorymetru NR20XE (źródło światła D65, otwór głowicy pomiarowej 20 mm, kalibracja wzorcem bieli: $L^*-99,18$, $a^*-0,07$, $b^*-0,05$). W systemie tym L^* oznacza jasność, która jest wektorem przestrzennym, natomiast a^* i b^* są współrzędnymi trójchromatyczności, gdzie dodatnie wartości a^* odpowiadają barwie czerwonej, ujemne – barwie zielonej, dodatnie b^* - żółtej, ujemne b^* - niebieskiej.

W celu dokonania kolejnych oznaczeń cech fizyko-chemicznych, tj. wycieku termicznego i wymuszonego, próbki mięsa dwukrotnie mielono w wilku laboratoryjnym z zastosowaniem sit o średnicy oczek 4,0 mm. Otrzymaną masę mięsną dokładnie mieszano w celu ujednoczenia próby.

Wielkość wycieku cieplnego określono metodą Janickiego i Walczaka [Walczak 1959]. 20 g próbki rozdrobnionego mięsa, uformowane w kulkę, owinięto w gazę (bandaż), związano drucikiem i umieszczono w wodzie o temperaturze 85°C na 10 minut. Po wyjęciu z wody, usunięciu gazy i chłodzeniu przez 30 minut w temperaturze 4°C próbki mięsa ponownie zważono. Wyciek termiczny obliczono z różnicy mas przed obróbką i po wychłodzeniu wg wzoru:

$$Wc (\%) = \frac{MI - MII}{MI} \cdot 100\%$$

gdzie: Wc – wielkość wycieku cieplnego (%), MI – masa próbki przed obróbką cieplną (g), MII – masa próbki po obróbce cieplnej i po wychłodzeniu (g).

Wyciek wymuszony mięsa oznaczono metodą Grau'a i Hamma [Oeckel i in. 1999] poprzez umieszczenie zmielonej próbki (około 300 mg) na bibule Whatman nr 1. Bibulę wraz z próbką wkładano pomiędzy dwie szklane płytki i poddawano naciskowi 2 kg przez okres 5 minut. Po upływie założonego czasu

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowywalnictwie żywności

wyciskania obrysowano na bibule granicę powierzchni, zajmowanej przez próbkę mięsa oraz wycieku soku mięsnego, które następnie planimetrowano. Miarą wielkości wycieku wymuszonego soku mięsnego była różnica obu powierzchni, co stanowiło wynik interpretujący wodochłonność (cm^2) (większa wartość – mniejsza wodochłonność mięsa).

Silę cięcia mięsa surowego oznaczono przy użyciu szerometru Warnera-Bratzlera. Próbki mięsa surowego w kształcie walców, wyciętych korkoborem o średnicy 1,0 cm (wzdłuż włókien mięśniowych), przecinano ostrzem Warnera-Bratzlera z trójkątnym wycięciem i rejestrowano wartość siły potrzebnej do ich przecięcia (N/cm^2). Za ostateczny wynik pomiaru każdej próby przyjmowano średnią wartość z trzech kolejnych powtórzeń.

Celem określenia parametrów tekstury badanego mięsa, z każdej partii mięsa wycinano próbki w kształcie sześciianu o boku 20 mm. Instrumentalnie parametry tekstury badanych próbek mięsa oznaczono stosując profilową analizę tekstury (TPA – Texture Profile Analysis) wykonaną za pomocą teksturometru Texture Analyser – CT3 – 25 (Brookfield, Wisconsin, USA), z przystawką o kształcie walca o średnicy 38,1 mm i długości 20 mm. Wykonano test 2-krotnego ściskania próbek do 50% ich wysokości. Prędkość przesuwu walca podczas testu wynosiła 2 mm/s, natomiast przerwa między naciskami 2 s. Za pomocą programu Texture Pro CT (Brookfield, Wisconsin, USA) określono następujące parametry tekstury: twardość 1, twardość 2, sztywność do 5 mm, sztywność do 8 mm, adhezyjność, odbojność, kohezyjność, sprężystość, gumistość i żujność. Podczas seryjnych pomiarów wszystkie parametry tekstury liczone były automatycznie.

Potencjał oksydoredukcyjny (EH, mV) mierzono za pomocą elektrody zespolonej typu ERPt-13 i pH/konduktometru Elmetron CPC-501 waterproof. Potencjał elektrody wskaźnikowej odnoszono do potencjału półogniwa odniesienia EODN o schemacie Ag/AgCl , 3 M KCl zastosowanego w elektrodzie ERPt-13 dla temperatury w zakresie 10-20°C.

Ogólną liczbę drobnoustrojów oznaczono zgodnie z PN-EN ISO 4833:2004. Jest to metoda płytkowa polegająca na liczeniu liczby drobnoustrojów wyrosłych na pożywce PCA.

Ilość związków mineralnych wyrażonych jako popiół całkowity oznaczono zgodnie z wytycznymi zawartymi w PN-ISO 936:2000 na analizatorze termogravimetrycznym TGA701 firmy LECO.

Oznaczenia wsk. TBARS dokonano na podstawie wyznaczenia grupy substancji tworzących barwne kompleksy z kwasem 2- tiobarbiturowym, takich jak

między innymi, aldehyd malonowy. Oznaczenie polega na wytworzeniu w wysokiej temperaturze barwnych kompleksów obecnych w tłuszczu aldehydów z roztworem kwasu 2-tiobarbiturowego. Intensywność powstałego zabarwienia roztworu produktu mięsnego z kwasem 2-tiobarbiturowym mierzono spektrofotometrycznie przy długości fali 532 nm. Roztworem odniesienia była próba kontrolna [Pikul i in. 1989].

Aktywność wody (a_w) to stosunek częściowego ciśnienia pary wodnej nad badaną próbką do częściowego ciśnienia pary wodnej nad idealnie czystą wodą. Pomiar aktywności wody przeprowadzono na aparacie do pomiaru aktywności wody LabMaster - a_w (Novasina). Próbę o masie 5 g umieszczano w naczyniu pomiarowym i zamykano wieczkiem. Wieczko zdejmowano z pojemnika z próbą bezpośrednio przed umieszczeniem w komorze pomiarowej aparatu. Pomiar wykonywano w temperaturze 20°C. Po zakończeniu pomiaru z wyświetlacza urządzenia odczytywano wartość aktywności wody badanej próby.

Ocenę właściwości sensorycznych mięsa wieprzowego przeprowadzono zgodnie z metodyką podaną przez Barylko-Pikielną i Matuszewską [2009]. 100g próbki mięsa wieprzowego poddano obróbce termicznej w temperaturze 95°C do uzyskania wewnątrz temperatury 80°C ± 2°C. Temperaturę mierzono wewnątrz za pomocą termometru (Sous Vide Thermapen, MERA, Warszawa, Polska) wyposażonego w sondę igłową. W celu dokonania oceny sensorycznej, próbki poddane obróbce cieplnej schłodzono do temperatury 20°C ± 2°C i pokrojono na plastry o grubości 1,5 cm w poprzek włókien mięśniowych. Wszystkie oceniane próby znajdowały się w przykrytych naczynkach plastikowych, oznaczonych indywidualnymi kodami cyfrowymi. Próbki przeznaczone do oceny sensorycznej były pobierane w kolejności losowej. Osoby oceniające przeprowadziły ocenę sensoryczną w trzech powtórzeniach. Ocenę jakości sensorycznej mięsa przeprowadzał stały, przeszkolony 6-osobowy zespół laboratoryjny, sprawdzony pod względem wrażliwości i sprawności sensorycznej zgodnie z ISO, 8586-2: [2008] i ISO, 8587: [2006]. Zespół oceniający składał się z 6 osób (50% mężczyzn/kobiet w wieku od 26 do 46 lat). Osoby oceniające posiadały doświadczenie w ocenie mięsa i przetworów mięsnych. Zastosowano 5-punktową ocenę sensoryczną jakości cząstkowej, oceniając następujące wskaźniki jakościowe: intensywność zapachu (1 = bardzo negatywna, bardzo słabo wyczuwalna, 5 = bardzo mocna), intensywność smaku (1 = bardzo negatywna, bardzo słabo wyczuwalna, 5 = bardzo pożądana), pożądanie zapachu (1 = niepożądane, 5 = wysoce pożądanie), pożądanie smaku (1 = niepożądane, 5 = wysoce pożądanie), soczystość (1 = bardzo suche, 5 = bardzo soczyste) i kruchość (1 = bardzo twarde,

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowalnictwie żywności

5 = bardzo kruche). Ocena właściwości sensorycznych mięsa została przeprowadzona w laboratorium sensorycznym spełniającym wszystkie wymagania odpowiedniej normy [PN-EN ISO 8589, 2010]. Pomiędzy każdym badaniem próbek mięsa, oceniający stosowali 30-sekundową przerwę w celu przepłukania ust wodą mineralną.

Wszystkie oznaczenia i ocenę sensoryczną przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki pogrupowano i poddano obliczeniom statystycznym.

Wyniki badań i ich omówienie

W tabelach 1 - 3 zamieszczono wyniki badań dotyczące składu chemicznego mięsa wieprzowego po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy. Z danych tych wynika, że skład chemiczny poszczególnych mięśni nie zmienił się istotnie po zastosowaniu plazmy. Również po przechowaniu chłodniczym ilości podstawowych składników były na podobnym poziomie. Jedynie nieznacznie zwiększyła się zawartość wody we wszystkich analizowanych mięśniach po 10 dniach przechowywania chłodniczego.

W tabelach 4 - 6 zamieszczono wyniki badań właściwości fizykochemicznych, technologicznych i mikrobiologicznych mięsa wieprzowego po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy. Z danych tych wynika, że jedynie dla schabu wartości siły cięcia obniżyły się, po zastosowaniu plazmy w każdym okresie przechowywania chłodniczego. Również w przypadku schabu można zaobserwować zmniejszenie wycieku termicznego w próbkach kontrolnych i zwiększenie tej cechy, po zastosowaniu plazmy, wraz z wydłużeniem okresu przechowywania chłodniczego. Analizując parametry barwy mięsa należy stwierdzić, że poddanie mięśni szynki działaniu plazmy powoduje jej pociemnienie po 1 i 7 dniach przechowywania chłodniczego. Natomiast mięśnie łopatki poddane działaniu plazmy, uległy rozjaśnieniu w tych samych okresach przechowywania chłodniczego. Po zastosowaniu plazmy niskotemperaturowej stwierdzono wzrost ogólnej liczby drobnoustrojów w porównaniu do próby kontrolnej we wszystkich analizowanych mięśniach wieprzowych w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego (z wyjątkiem trzeciego okresu przechowywania chłodniczego dla schabu gdzie liczba ta była dwukrotnie niższa w porównaniu do próby kontrolnej).

Tabela 1. Skład chemiczny mięsa szynki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Białko (%)	\bar{x}	20,57	20,62	20,78	20,72	20,93	20,85
	SD	0,34	0,39	0,32	0,42	0,37	0,13
Tłuszcz (%)	\bar{x}	6,12	5,07	3,38	4,05	2,98	2,68
	SD	2,16	2,03	0,99	0,85	1,24	1,21
Woda (%)	\bar{x}	72,39	73,30	74,70	74,18	74,85	75,15
	SD	2,24	1,33	0,88	0,73	1,39	1,38
Skł. mineralne (%)	\bar{x}	1,08	1,39	1,69	1,52	1,34	1,68
	SD	0,13	0,15	0,16	0,27	0,10	0,15

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Tabela 2. Skład chemiczny mięsa łopatki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Białko (%)	\bar{x}	19,74	19,64	20,42	19,22	20,23	20,68
	SD	0,69	1,00	0,70	1,01	1,84	0,40
Tłuszcz (%)	\bar{x}	7,34	7,66	6,28	7,58	6,83	6,18
	SD	2,37	1,89	2,35	1,67	1,80	1,06
Woda (%)	\bar{x}	71,41	69,79	72,22	69,77	74,57	73,77
	SD	1,97	5,29	1,88	3,29	1,21	1,47
Skł. mineralne (%)	\bar{x}	1,08	1,34	1,56	1,50	1,58	1,36
	SD	0,19	0,19	0,16	0,17	0,35	0,17

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowalnictwie żywności

W tabelach od 7 do 9 zamieszczono wyniki badań parametrów tekstury mięsa wieprzowego po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy. Po zastosowaniu plazmy w mięśniach szynki stwierdzono zazwyczaj wyższe wartości twardości i sztywności w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego. Natomiast w mięśniach łopatki wartości tych cech ulegały zazwyczaj obniżeniu, po zastosowaniu plazmy, szczególnie po 1 i 7 dniach przechowywania chłodniczego. W przypadku tych cech oznaczonych dla schabu, nie zaobserwowano podobnej zależności. Jedynie gumistość i żujność wzrastały nieznacznie po zastosowaniu plazmy, w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego schabu.

W tabelach od 10 do 12 zamieszczono wyniki badań właściwości sensorycznych mięsa wieprzowego po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy. Z danych tych wynika, że zastosowanie plazmy spowodowało pogorszenie soczystości wszystkich analizowanych mięśni w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego. Natomiast zastosowanie plazmy nie miało znaczącego wpływu na odbiór pozostałych właściwości sensorycznych analizowanych mięśni wieprzowych w poszczególnych okresach przechowywania chłodniczego.

Tabela 3. Skład chemiczny mięsa schabu po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Białko (%)	\bar{x}	20,04	20,44	20,73	20,80	20,80	20,85
	SD	1,34	0,46	0,35	0,32	0,23	0,27
Tłuszcz (%)	\bar{x}	4,41	3,91	3,48	2,53	2,55	2,52
	SD	1,34	1,77	1,40	0,87	0,99	0,07
Woda (%)	\bar{x}	71,89	74,41	74,58	75,32	75,50	75,38
	SD	5,45	1,50	1,17	0,87	0,68	0,76
Skl. mineralne (%)	\bar{x}	1,74	1,38	1,57	1,75	1,44	1,55
	SD	0,33	0,15	0,30	0,14	0,33	0,12

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Tabela 4. Właściwości fizykochemiczne, technologiczne i mikrobiologiczne mięsa szynki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
pH	\bar{x}	5.43	5.46	5.61	5.63	5.56	5.52
	SD	0.03	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03
Aktywność wody	\bar{x}	0.94	0.96	0.95	0.95	0.96	0.96
	SD	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Siła cięcia (N/cm ²)	\bar{x}	76.33	121.27	97.19	91.31	76.49	91.69
	SD	14.64	34.28	26.06	19.66	22.85	19.46
Wyciek termiczny (%)	\bar{x}	20.32	18.40	21.45	22.89	23.26	21.77
	SD	0.26	0.91	2.23	1.08	1.38	3.35
Wyciek wymuszony (cm ²)	\bar{x}	5.27	3.46	3.87	4.06	4.80	3.87
	SD	1.57	0.89	1.12	0.34	0.34	0.81
TBARS (mg MDA/kg)	\bar{x}	0.59	0.41	0.66	0.81	0.57	0.63
	SD	0.09	0.01	0.08	0.03	0.07	0.04
Pot. oksydoredukcyjny (mV)	\bar{x}	405.03	400.97	402.30	406.27	399.90	404.50
	SD	7.72	5.72	8.40	11.74	1.06	8.07
L*	\bar{x}	50.34	44.41	50.62	44.93	51.56	51.02
	SD	2.44	2.86	3.12	3.70	2.24	3.04
a*	\bar{x}	16.61	16.41	16.67	12.09	16.07	13.70
	SD	1.93	3.24	0.96	1.22	0.95	2.06
b*	\bar{x}	7.94	7.65	10.23	9.91	9.77	10.57
	SD	1.49	0.94	0.68	1.06	0.75	1.00
Ogólna liczba drobnoustrojów (JTK/g)	\bar{x}	2 121	2 576	1 363 636	1 666 667	5 000 000	232 727 273

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P – plazma

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowalnictwie żywności

Tabela 5. Właściwości fizykochemiczne, technologiczne i mikrobiologiczne mięsa łopatki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
pH	\bar{x}	5,47	5,49	5,68	5,65	5,61	5,61
	SD	0,02	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05
Aktywność wody	\bar{x}	0,96	0,96	0,95	0,95	0,96	0,96
	SD	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
Siła cięcia (N/cm ²)	\bar{x}	122,69	147,53	136,53	136,86	101,93	115,39
	SD	33,37	46,36	37,04	39,06	33,23	30,04
Wyciek termiczny (%)	\bar{x}	21,30	20,72	22,32	20,51	22,38	25,05
	SD	0,30	0,50	2,00	2,85	0,87	0,45
Wyciek wymuszony (cm ²)	\bar{x}	3,43	3,69	3,59	3,53	4,30	3,87
	SD	0,85	0,40	0,78	0,28	0,46	0,36
TBARS (mg MDA/kg)	\bar{x}	0,12	0,31	0,70	0,76	0,59	0,61
	SD	0,01	0,22	0,11	0,10	0,02	0,03
Pot. oksydoredukcyjny (mV)	\bar{x}	394,43	392,63	389,50	401,73	394,00	399,50
	SD	6,18	1,74	15,52	9,23	7,01	7,79
L*	\bar{x}	45,39	51,26	44,44	47,01	46,52	45,93
	SD	3,94	1,59	1,78	4,39	1,72	1,75
a*	\bar{x}	18,09	14,10	17,40	14,50	16,92	15,04
	SD	1,36	2,11	2,13	2,15	2,00	3,45
b*	\bar{x}	7,77	8,55	8,86	8,19	9,93	9,70
	SD	0,71	0,92	1,14	0,83	1,08	0,97
Ogólna liczba drobnoustrojów (JTK/g)	\bar{x}	3 636	12 576	1 363 636	2 878 788	1 363 636	1 463 636

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Tabela 6. Właściwości fizykochemiczne, technologiczne i mikrobiologiczne mięsa schabu po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
pH	\bar{x}	5,44	5,45	5,55	5,60	5,54	5,52
	SD	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,06
Aktywność wody	\bar{x}	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96
	SD	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Siła cięcia (N/cm ²)	\bar{x}	107,87	73,99	90,44	86,30	98,72	87,82
	SD	15,79	15,24	20,51	12,71	7,60	24,38
Wyciek termiczny (%)	\bar{x}	22,35	18,88	20,90	20,79	18,67	21,01
	SD	0,33	1,90	1,59	3,39	1,25	2,43
Wyciek wymuszony (cm ²)	\bar{x}	3,87	4,21	4,31	3,35	4,13	4,02
	SD	0,65	0,90	0,51	0,70	0,73	0,40
TBARS (mg MDA/kg)	\bar{x}	0,39	0,30	0,83	0,72	0,58	0,61
	SD	0,12	0,11	0,18	0,14	0,09	0,04
Pot. oksydoredukcyjny (mV)	\bar{x}	410,37	411,70	421,80	408,33	405,13	410,63
	SD	0,75	2,99	3,73	1,96	6,30	9,46
L*	\bar{x}	51,20	52,56	57,68	51,04	54,33	51,60
	SD	2,44	1,61	1,81	3,86	1,71	4,43
a*	\bar{x}	11,82	10,99	13,34	13,33	13,27	11,32
	SD	1,08	1,22	1,99	1,71	1,38	3,68
b*	\bar{x}	6,87	6,69	8,44	8,94	8,71	10,17
	SD	0,48	0,94	1,10	0,94	0,59	0,88
Ogólna liczba drobnoustrojów (JTK/g)	\bar{x}	1 667	30 000	454 545	1 666 667	4 242 424	1 818 182

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowalnictwie żywności

Tabela 7. Parametry tekstury mięsa szynki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Twardość I (N)	\bar{x}	156,42	183,64	157,84	177,31	83,19	107,63
	SD	18,24	15,56	13,97	22,10	21,37	18,15
Twardość II (N)	\bar{x}	102,19	109,61	100,72	99,07	63,36	78,55
	SD	19,67	18,38	16,48	24,34	16,19	14,68
Sztwność 5 (N)	\bar{x}	49,34	56,59	21,87	29,59	6,16	9,66
	SD	7,41	7,55	4,56	2,92	1,25	1,80
Sztwność 8 (N)	\bar{x}	121,66	147,98	90,38	133,24	41,13	49,91
	SD	16,55	12,29	10,93	11,68	12,65	15,28
Adhezyjność (mJ)	\bar{x}	2,69	2,09	1,49	2,01	1,64	0,91
	SD	0,81	0,39	0,37	0,22	0,37	0,20
Kohezja	\bar{x}	0,18	0,13	0,18	0,15	0,33	0,31
	SD	0,05	0,05	0,07	0,08	0,11	0,04
Sprężystość (mm)	\bar{x}	4,38	3,17	2,98	2,68	4,03	3,97
	SD	0,45	0,22	0,60	0,52	0,42	0,60
Odbojność	\bar{x}	0,06	0,06	0,14	0,15	0,24	0,25
	SD	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Gumistość (N)	\bar{x}	25,73	23,12	27,45	21,94	32,14	32,24
	SD	3,79	4,73	1,81	4,18	5,06	3,97
Żujność (mJ)	\bar{x}	144,59	79,26	81,49	61,59	158,31	132,31
	SD	24,28	35,82	37,40	10,60	15,06	28,29

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Tabela 8. Parametry tekstury mięsa łopatki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Twardość I (N)	\bar{x}	220,56	201,53	196,50	123,12	104,03	147,74
	SD	34,38	49,22	46,66	10,74	12,96	11,90
Twardość II (N)	\bar{x}	122,94	133,45	120,55	72,69	73,89	118,39
	SD	23,63	17,45	12,76	13,09	17,43	15,91
Szytywność 5 (N)	\bar{x}	64,71	37,67	20,26	20,59	7,51	8,48
	SD	17,17	6,26	5,70	2,58	2,41	1,53
Szytywność 8 (N)	\bar{x}	163,29	149,37	123,61	70,25	48,04	64,28
	SD	18,52	28,64	12,45	11,72	11,30	16,35
Adhezyjność (mJ)	\bar{x}	2,99	1,09	1,67	1,32	1,96	1,92
	SD	0,08	0,04	0,06	0,07	0,09	0,08
Kohezja	\bar{x}	0,13	0,18	0,18	0,16	0,34	0,35
	SD	0,08	0,08	0,08	0,07	0,03	0,08
Sprężystość (mm)	\bar{x}	4,27	3,51	2,98	2,44	4,03	4,33
	SD	0,12	0,24	0,79	0,73	0,56	0,48
Odbojność	\bar{x}	0,05	0,09	0,15	0,14	0,25	0,27
	SD	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Gumistość (N)	\bar{x}	28,03	33,51	31,02	18,42	32,13	50,17
	SD	0,91	5,28	1,14	1,85	1,16	2,81
Żujność (mJ)	\bar{x}	137,96	129,56	96,71	52,99	136,92	218,11
	SD	12,37	7,44	2,06	5,25	6,85	23,71

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowalnictwie żywności

Tabela 9. Parametry tekstury mięsa schabu po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Twardość I (N)	\bar{x}	188,82	191,88	180,48	146,58	85,75	119,47
	SD	52,15	38,31	34,79	40,53	23,72	53,54
Twardość II (N)	\bar{x}	105,77	114,47	107,05	96,70	59,88	80,62
	SD	31,91	19,96	9,46	25,53	17,82	18,61
Sztwność 5 (N)	\bar{x}	78,92	77,57	50,05	27,61	10,34	16,00
	SD	15,61	11,16	19,66	2,91	1,01	1,09
Sztwność 8 (N)	\bar{x}	157,25	160,15	138,36	103,81	43,78	76,08
	SD	22,57	24,47	19,59	16,86	11,58	9,76
Adhezyjność (mJ)	\bar{x}	1,43	1,10	2,01	1,89	1,41	1,67
	SD	0,07	0,06	0,08	0,02	0,07	0,01
Kohezja	\bar{x}	0,07	0,10	0,10	0,16	0,28	0,22
	SD	0,02	0,03	0,06	0,06	0,09	0,07
Sprężystość (mm)	\bar{x}	2,83	2,95	2,09	2,85	3,97	3,76
	SD	0,43	0,01	0,12	0,11	0,14	0,11
Odbojność	\bar{x}	0,04	0,06	0,07	0,12	0,20	0,18
	SD	0,01	0,01	0,01	0,04	0,06	0,06
Gumistość (N)	\bar{x}	13,73	19,65	15,96	21,81	23,46	25,71
	SD	1,79	1,53	1,90	1,93	1,84	1,46
Żujność (mJ)	\bar{x}	41,66	60,78	37,31	64,11	93,44	99,10
	SD	3,20	6,43	2,17	5,97	7,26	5,20

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Tabela 10. Właściwości sensoryczne mięsa szynki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Zapach – natężenie (pkt)	\bar{x}	3,17	3,11	3,56	3,67	3,33	3,25
	SD	0,50	0,60	0,39	0,56	0,50	0,69
Zapach – pożądalność (pkt)	\bar{x}	3,50	3,28	3,50	3,72	3,56	3,58
	SD	0,43	0,44	0,25	0,44	0,53	0,38
Soczystość (pkt)	\bar{x}	3,33	3,28	3,83	3,61	3,44	3,17
	SD	0,50	0,67	0,25	0,22	0,77	0,68
Kruchość (pkt)	\bar{x}	3,44	3,33	3,72	3,61	3,50	3,75
	SD	0,63	0,50	0,26	0,22	0,71	0,42
Smak – natężenie (pkt)	\bar{x}	3,39	3,39	3,56	3,67	3,50	3,92
	SD	0,49	0,49	0,39	0,50	0,50	0,38
Smak – pożądalność (pkt)	\bar{x}	3,44	3,39	3,56	3,56	3,56	3,50
	SD	0,73	0,33	0,46	0,58	0,58	0,77

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Tabela 11. Właściwości sensoryczne mięsa łopatki po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Zapach – natężenie (pkt)	\bar{x}	2,92	3,06	3,39	3,33	3,39	3,06
	SD	0,58	0,30	0,22	0,61	0,55	0,63
Zapach – pożądalność (pkt)	\bar{x}	2,92	3,11	3,28	3,33	3,50	3,44
	SD	0,74	0,33	0,36	0,43	0,43	0,46
Soczystość (pkt)	\bar{x}	3,42	3,17	3,17	3,00	3,61	3,06
	SD	0,58	0,25	0,75	0,79	0,55	0,88
Kruchość (pkt)	\bar{x}	3,50	3,17	3,17	3,11	3,50	3,50
	SD	0,45	0,50	0,56	0,89	0,61	0,75
Smak – natężenie (pkt)	\bar{x}	3,25	3,06	3,11	2,89	3,44	3,28
	SD	0,27	0,46	0,70	0,93	0,46	0,62
Smak – pożądalność (pkt)	\bar{x}	3,17	3,17	3,17	3,00	3,17	3,17
	SD	0,26	0,56	0,66	1,00	0,50	0,75

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Zarządzanie i innowacje w produkcji oraz przechowalnictwie żywności

Tabela 12. Właściwości sensoryczne mięsa schabu po przechowywaniu chłodniczym i zastosowaniu plazmy

Wyszczególnienie	Miara statystyczna	Termin przechowywania chłodniczego (dni)					
		1		7		10	
		K	P	K	P	K	P
Zapach – natężenie (pkt)	\bar{x}	3,33	3,17	3,44	3,39	3,17	3,11
	SD	0,35	0,25	0,46	0,33	0,56	0,33
Zapach – pożądalność (pkt)	\bar{x}	3,61	3,22	3,39	3,44	3,61	3,72
	SD	0,42	0,36	0,49	0,39	0,33	0,44
Soczystość (pkt)	\bar{x}	3,44	3,22	3,89	3,72	3,83	3,39
	SD	0,77	0,83	0,60	0,36	0,25	0,49
Kruchość (pkt)	\bar{x}	3,50	3,33	3,94	3,94	3,89	3,94
	SD	0,79	0,90	0,58	0,39	0,49	0,46
Smak – natężenie (pkt)	\bar{x}	3,50	3,28	3,89	3,72	3,61	3,72
	SD	0,61	0,79	0,49	0,44	0,42	0,51
Smak – pożądalność (pkt)	\bar{x}	3,61	3,28	3,83	3,78	3,56	3,61
	SD	0,78	0,75	0,56	0,36	0,63	0,55

Źródło: Badania własne

Objaśnienia: K – kontrolna; P - plazma

Wnioski

Zastosowanie plazmy niskotemperaturowej nie spowodowało przedłużenia trwałości mięsa wieprzowego dla wszystkich analizowanych mięśni. Jedynie dla schabu wartości siły cięcia obniżyły się, po zastosowaniu plazmy w każdym okresie przechowywania chłodniczego. Analizując parametry barwy mięsa należy stwierdzić, że poddanie mięśni szynki działaniu plazmy powoduje jej pociemnienie po 1 i 7 dniach przechowywania chłodniczego. Natomiast mięśnie łopatki poddane działaniu plazmy, uległy rozjaśnieniu w tych samych okresach przechowywania chłodniczego.

Literatura

1. Bárdos L., Baránková H. 2010. Cold atmospheric plasma Sources, processes, and applications. Thin Solid Films. 518. 6705-6713.
2. Baryłko-Pikielna, N., Matuszewska, I. 2009. Sensory Testing of Food. Basics—Methods—Application (in Polish). Wrocław: Publishing: Polish Society of Food Technologists, Poland.

3. Fernández A., Shearer N., Wilson D.R., Thompson A. 2012a. Effect of microbial loading on the efficiency of cold atmospheric gas plasma inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *International Journal of Food Microbiology*. 152. 175-180.
4. ISO 8586-2. 2008. Sensory Analysis. General Guidance for the Selection, Training and Monitoring of Assessors.
5. ISO 8587. 2006. Sensory Analysis. Methodology, International Organization for Standardization (ISO).
6. Knoerzer K., Murphy A.B, Fresewinkel M., Sanguansri P., Coventry J.2012. Evaluation of methods for determining food surface temperature in the presence of low-pressure cool plasma. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 15. 23-30.
7. Mrozowski T. 2007. Sterylizacja. *Świat Farmacji*. 16. 42-45.
8. Niemira B. A. 2012. Dekontaminacja zimnej plazmy żywności. *Annual Review of Food Science and Technology*. 3.
9. Niemira B.A., Boyd G., Sites J. 2014. Cold Plasma Rapid Decontamination of Food Contact Surfaces Contaminated with *Salmonella* Biofilms. *Journal of Food Science*. 79 (5).
10. Oeckel M. J. Van., Wamants N., Boucqueé Ch. V. 1999. Comparison of different methods for measuring water holding capacity and juiciness of pork versus online screening methods. *Meat Sci.*, 51, 313-320.
11. Pikul J., Leszczyński D. E., Kummerow F. A. 1989. Evaluation of tree modified TBA methods for measuring lipid oxidation in chicken meat. *J. Agric. Food Chem.* 37: 1309 — 1313.
12. PN-EN ISO 4833.2004. Mikrobiologia żywności i pasz - Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów -- Metoda płytkowa w temperaturze 30 stopni C.
13. PN-EN ISO 8589. 2010. General Guidelines for the Design of a Sensory Analysis Laboratory.
14. PN-ISO 936.2000. Mięso i przetwory mięsne - Oznaczenie popiołu całkowitego.
15. RØD S.K, Hansen F., Leipold F., KnØchel S. 2012. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiology*. 30. 233-238.
16. Stryczewska H.D. 2011. Zastosowanie zimnej plazmy. Wytwarzanie, modelowanie, zastosowanie. *Elektryka*. 1 (217). 41-61.
17. Tanarro I., Herrero V.J., Carrasco E., Jiménez-Redondo M. 2011. Cold plasma chemistry and diagnostics. *Vacuum*. 85. 1120-1124.
18. Walczak Z. 1959. Laboratoryjna metoda oznaczania zawartości galarety w konserwach mięsnych. *Roczniki Nauk Rolniczych* 74-B-4, 619.

- Publikacja opracowana w ramach operacji pn. „*Badania i opracowanie technologii produkcji mięsa wieprzowego w kierunku wydłużenia trwałości przechowalniczej, a także zachowania właściwości odżywczych, prozdrowotnych oraz przetwórczo-użytkowych tego surowca i jego produktów*” przez Uniwersytet Rzeszowski, współfinansowana jest ze środków Unii Europejskiej w ramach PROW 2014-2020.

- Instytucja Zarządzająca PROW 2014-2020 – Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.
