

IWONA CHWASTOWSKA-SIWIECKA, JOANNA KALINIEWICZ,
JACEK KONDRATOWICZ, NATALIA SKIEPKO

WPLYW CZASU ZAMRAŻALNICZEGO PRZECHOWYWANIA I METODY ROZMRAŻANIA NA PROFIL KWASÓW TŁUSZCZOWYCH TŁUSZCZU ŚRÓDMIEŚNIOWEGO MIĘSA KRÓLICZEGO

Streszczenie

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu czasu zamrażalniczego przechowywania i metody rozmrażania na skład i profil kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego mięsa króliczego. Materiał doświadczalny stanowiło 50 mięśni udowych królików rasy kalifornijskiej, ubitych w wieku 110 dni. Zapakowane próżniowo próbki przechowywano zamrażalniczo (-28 ± 1 °C) przez 2 tygodnie oraz przez 3 miesiące, a następnie rozmrażano mikrofalowo lub w powietrzu atmosferycznym. W badanych mięśniach oznaczono profil kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej.

Stwierdzono, że w miarę wydłużenia czasu zamrażalniczego przechowywania (do 3 miesięcy) nastąpiło zwiększenie udziału kwasu palmitynowego i stearynowego w tłuszczu śródmięśniowym mięśni udowych rozmrożonych w powietrzu atmosferycznym oraz ich zmniejszenie w tłuszczu mięśni rozmrożonych mikrofalowo. Najniższym udziałem kwasów: oleinowego, linolowego i α -linolenowego charakteryzowały się próbki mięsa po 3-miesięcznym zamrażalniczym przechowywaniu, które rozmrażano w powietrzu atmosferycznym. Jednocześnie w grupie tej stwierdzono zwiększony udział kwasów nasyconych, a zmniejszony – kwasów mono- i polienowych. Przyczyniło się to do niekorzystnej modyfikacji profilu kwasów tłuszczowych, wyrażonej indeksami jakości zdrowotnej. Najkorzystniejszy stosunek kwasów PUFA $n-6/n-3$ w badanych mięśniach królików stwierdzono po 2 tygodniach zamrażalniczego przechowywania i rozmrażania w powietrzu.

Słowa kluczowe: mięso królicze, zamrażalnicze przechowywanie, metoda rozmrażania, profil kwasów tłuszczowych, indeksy jakości zdrowotnej

Dr inż. I. Chwastowska-Siwiecka, prof. dr hab. J. Kondratowicz, mgr inż. N. Skiepmo, Katedra Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych, dr inż. J. Kaliniewicz, Katedra Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa, Wydz. Biotechnologii Zwierząt, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn. Kontakt: iwona.chwastowska@uwm.edu.pl

Wprowadzenie

Rozwój produkcji mięsa króliczego przyczynił się do wzrostu zainteresowania jego jakością oraz wartością prozdrowotną. Zmiany zawartości tłuszczu w mięsie związane z systemami żywieniowymi zwierząt mają istotny wpływ na: poprawę stosunku kwasów SFA do UFA, kwasów szeregu PUFA *n-6* do *n-3*, uzupełnienie witamin A, E i niektórych składników mineralnych oraz na przeciwdziałanie procesom utleniania zachodzącym w mięsie podczas przechowywania [9, 19, 37]. Szybkość i kierunek utleniania lipidów mięsa zależy m.in. od ich składu chemicznego, zawartości wody, obecności naturalnych prooksydantów i antyoksydantów występujących w mięsie, procesów i operacji technologicznych oraz warunków przechowywania [10]. Prawie 90 % surowca króliczego przeznaczane jest na eksport w postaci chłodzonych i mrożonych tuszek, co może powodować zmiany jakości mięsa związane z nieprawidłowym doborem warunków mikroklimatycznych w łańcuchu chłodniczym [4]. Według Hęś i Korczaka [12] nawet nieznaczne napowietrzenie surowca jest przyczyną występowania w krótkim czasie po zakończeniu produkcji, a szczególnie po chłodniczym lub zamrażalniczym przechowywaniu, niepożądanych lub wręcz dyskwalifikujących produkt sensorycznych objawów oksydacyjnego rozkładu tłuszczu. Zmianom ulegają również zawarte w tłuszczach wartościowe składniki, takie jak witaminy i NNKT, które tracą właściwości biologiczne kwasów niezbędnych nienasyconych. Ze względu na możliwość występowania intensywnych zmian autooksydacyjnych kwasów PUFA i powstawania niekorzystnych produktów oksydacji, ważne są działania zmierzające do ich ochrony w czasie długotrwałego przechowywania mięsa.

W kształtowaniu jakości mięsa istotne jest zatem zapewnienie odpowiedniej metody zamrażania, optymalnych warunków zamrażalniczego przechowywania i sposobu rozmrażania [15]. Maksymalny czas przechowywania mrożonych surowców i przetworów mięsnych jest ograniczony głównie przez niekorzystne przemiany fizyczne, chemiczne i biochemiczne lipidów, a także lipoproteidów. W przypadku mięsa i przetworów głęboko mrożonych ($t \leq -18$ °C) najważniejszy z nich to proces oksydacji lipidów zachodzący dopiero po długotrwałym przechowywaniu [14, 31]. Szybkość jełczenia tkanki tłuszczowej mięsa ulega wprawdzie wyraźnemu zmniejszeniu w chwili zamrożenia mięsa, jednak nawet podczas zamrażalniczego przechowywania nie dochodzi do całkowitego zahamowania autooksydacji. Im większy jest udział tkanki tłuszczowej w mięsie i zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych w lipidach tej tkanki, tym szybciej zachodzą zmiany oksydacyjne, a czas przechowywania jest krótszy. Występujące w tkance mięśniowej związki hemowe katalizują reakcje utleniania i dlatego też są główną przyczyną jełczenia tłuszczu śródmięśniowego, który zbudowany jest z fosfolipidów zawierających w dużej części wolne kwasy tłuszczowe [3].

Końcowym, ważnym ogniwem w technologii zamrażalniczego utrwalania mięsa jest proces rozmrażania, którego celem jest przywrócenie cech jakościowych zbliżo-

nych do mięsa świeżego [22]. Przy braku odpowiednich komór bądź tuneli do rozmrażania w zakładach mięsnych zabieg ten prowadzi się w powietrzu atmosferycznym, o różnych parametrach. Najczęściej dąży się do stosowania szybkich metod rozmrażania, z jednoczesną możliwością kontroli parametrów procesu [2]. Jedną z technik może być wykorzystanie energii mikrofal oraz poznanie ich wpływu na zmiany właściwości tłuszczu, stopień jego oksydacji, zmiany kwasów tłuszczowych oraz cech smakowo-zapachowych [26].

Celem badań było określenie wpływu czasu zamrażalniczego przechowywania i metody rozmrażania na skład i profil kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego mięsa króliczego.

Materiał i metody badań

Materiał doświadczalny stanowiły króliki rasy kalifornijskiej (50 szt.), pochodzące z fermy hodowlanej w województwie warmińsko-mazurskim. Doświadczenie przeprowadzono w okresie letnim (od czerwca do września). Króliki utrzymywane były w zamkniętym pomieszczeniu w klatkach drewnianych, na głębokiej ściółce. Żywienie w okresie tuczu oraz warunki utrzymania były podobne dla wszystkich zwierząt. W okresie odchowu zastosowano żywienie do woli mieszanką pełnoporcjową granulowaną, zawierającą: 16,5 % białka ogólnego, 15,4 % włókna surowego oraz 3,1 % tłuszczu surowego, ze stałym dostępem do wody pitnej.

Ubój królików po zakończeniu tuczu, w wieku 110 dni, z reprezentacją płci 1 : 1 oraz obróbka poubojowa przeprowadzone zostały zgodnie z wymaganiami technicznymi i sanitarnymi, jakie obowiązują w przemyśle mięsnym [28, 29]. Bezpośrednio po uboju tuszki wychładzano w komorze chłodniczej o temp. 4 ± 1 °C, przez 24 h. W 45. minucie i 24. h *post mortem* w mięśniu lewego uda (*m. biceps femoris*) wykonywano pomiar pH za pomocą pH-metru 340i WTW z kombinowaną elektrodą szklaną Double Pore, firmy Hamilton. Po wychłodzeniu wykonywano podział technologiczny tuszek na elementy zasadnicze. Do dalszego etapu badań wybrano 50 sztuk mięśni udowych, które określono jako RFN, tj. o pH₁ od 6,1 - 6,9 [1, 23, 24] i pH₂₄ od 5,80 - 5,98 [13]. Próbkę 40 mięśni umieszczano pojedynczo w opakowaniach z folii PA/PE i pakowano próżniowo, a następnie zamrażano w zamrażarce komorowej o temp. -28 ± 1 °C, bez regulacji ruchu powietrza. Zamrożone próbki przechowywano w tej temperaturze przez 2 tygodnie oraz przez 3 miesiące. Pozostałe mięśnie udowe przekazano bezpośrednio do analiz w laboratorium Katedry Towaroznawstwa i Przetwórstwa Surowców Zwierzęcych UWM. Po 2-tygodniowym zamrażalniczym składowaniu próbki rozmrażano metodą mikrofalową (10 szt., grupa I) oraz w powietrzu atmosferycznym (10 szt., grupa II). Kolejne mięśnie rozmrażano po 3 miesiącach również mikrofalowo (10 szt., grupa III) oraz w powietrzu atmosferycznym (10 szt., grupa IV).

Rozmrażanie metodą mikrofalową polegało na umieszczeniu opakowanych mięśni w kuchence mikrofalowej firmy TEC i oddziaływaniu falami elektromagnetycznymi o mocy 260 W przez 30 min, a następnie 120 W również w ciągu 30 min. Rozmrażanie prowadzono naprzemiennie, stosując co 10 min zmianę mocy fal elektromagnetycznych z 260 na 120 W (w celu równomiernego nagrzewania całej masy mięsa), do momentu uzyskania temp. około $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ w centrum mięśni oraz około $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ w warstwie zewnętrznej. Łączny czas rozmrażania wynosił 60 min. Po dalszym 2-godzinnym okresie stabilizacji termicznej (w tym samym opakowaniu) rozmrożone mięśnie uzyskiwały końcową temp. około $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Proces rozmrażania w warunkach powietrza atmosferycznego polegał na umieszczeniu opakowanych mięśni udowych królików w komorze wychładzalniczej „Frost” o temp. $4 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, przy wilgotności względnej około 85 %, na 24 h, bez wymuszonego obiegu powietrza.

W celu przygotowania poszczególnych próbek do analiz laboratoryjnych, z powierzchni mięśni usuwano zewnętrzną tkankę tłuszczową i błony. Następnie próbki rozdrabniano w wilku laboratoryjnym (trzykrotne zmielenie), z zastosowaniem siatki o średnicy otworów 1,5 mm, a następnie dokładnie mieszano. Rozdrobnione próbki mięśni suszono, a tłuszcz ekstrahowano metodą Soxhleta według PN-ISO 1444:2000 [27]. Zawartość kwasów tłuszczowych w wyekstrahowanych lipidach mięśni udowych oznaczano metodą chromatografii gazowej, przy użyciu chromatografu Varian CP-3800, z detektorem FID płomieniowo-jonizacyjnym, w kolumnie kapilarnej CP-Sil 88, o długości ($50\text{ m} \times 0,25\text{ mm i.o.} \times 0,25\text{ }\mu\text{m film}$). Analizę prowadzono w następujących warunkach: temp. detektora $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, kolumny – $170\text{ }^{\circ}\text{C}$; dozowanie próbki – split/50 : 1, gaz nośny- hel. Wyniki oznaczeń rejestrowano za pomocą systemu komputerowego Star Chromatography Workstation. Identyfikację kwasów tłuszczowych przeprowadzono na podstawie względnego czasu ich retencji, wykorzystując wzorce firmy Supelco.

Wyniki badań poddano analizie statystycznej za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji (układ ortogonalny) oraz testu Duncana, przy użyciu programu komputerowego Statistica, wersja 10.0 [32].

Wyniki i dyskusja

Skład oraz profil kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym wychłodzonych mięśni udowych królików przedstawiono w tab. 1. i 2. Spośród wyższych kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym dominujący był kwas palmitynowy C16 : 0 (29,66 %) (tab. 1). Szkucik i Ziomek [35] oznaczyli w tłuszczu śródmięśniowym wychłodzonych mięśni udowych królików rasy mięsnej – francuski baran więcej tego kwasu – 33,82 %. Kwas C16:0 należy do grupy kwasów nasyconych (SFA), a jego ilość jest wprost proporcjonalna do stopnia otluszczenia tuszki, które również wpływa na szybszy wzrost poziomu SFA oraz MUFA niż PUFA [21]. Ilość kwasu

oleinowego (C18:1 *n*-9) i linolowego (C18:2 *n*-6) w całkowitej puli kwasów tłuszczowych kształtowała się na wysokim poziomie i wynosiła odpowiednio: 23,59 i 23,80 %. Wykazano, że zawartość kwasu α -linolenowego, będącego prekursorem długołańcuchowych KT *n*-3, wynosiła 2,80 %.

Tabela 1. Zawartość kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym wychłodzonych mięśni udowych królików [% sumy kwasów].

Table 1. Content of fatty acids of intramuscular fat in chilled hind leg muscles of rabbits [% of total acids].

Wyszczególnienie Specification	Wychłodzone mięśnie udowe / Chilled hind leg muscles ($\bar{x} \pm s / SD$) (n = 10)
C12:0	0,50 \pm 0,24
C14:0	3,33 \pm 0,45
C14:1	0,15 \pm 0,04
C15:0	0,73 \pm 0,04
C16:0	29,66 \pm 0,98
C16:1	2,14 \pm 0,47
C17:0	0,87 \pm 0,01
C17:1	0,40 \pm 0,06
C18:0	9,45 \pm 0,41
C18:1	23,59 \pm 0,68
C18:2 <i>n</i> -6	23,80 \pm 1,05
C18:3 <i>n</i> -3	2,80 \pm 0,66
C 20:0	0,23 \pm 0,02
C 20:1	0,29 \pm 0,01
C 20:2 <i>n</i> -6	0,21 \pm 0,02
C 20:4 <i>n</i> -6	1,52 \pm 0,21
C 20:5 <i>n</i> -3 (EPA)	0,03 \pm 0,01
C 22:0	0,24 \pm 0,06
C 22:6 <i>n</i> -3 (DHA)	0,06 \pm 0,02

Jednocześnie zaobserwowano najniższy udział kwasów wielonienasyconych: eikozapentaenowego C20:5 (EPA) oraz dokozaheksaenowego - C22:6 (DHA), wynoszący 0,03 vs 0,06 % sumy kwasów. Podobne zawartości wymienionych kwasów tłuszczowych w mięśniach tylnych nóg oraz najdłuższych grzbietu królików nowozelandzkich białych żywionych standardową mieszanką granulowaną oznaczyli Kowalska i Bielański [17] oraz Kowalska [19]. Według innych autorów [6, 10, 18, 20], profil

kwasów tłuszczowych zawartych w tkankach królików zależy od: rasy, rodzaju tkanki, wieku, płci, składu dawki pokarmowej, aktywności fizycznej czy przedubojowej masy ciała. Bielański [1] podaje, że tłuszcz śródmięśniowy królików składa się w 47,3 % z kwasów tłuszczowych nasyconych, w 35,5 % z kwasów tłuszczowych jednonienasyconych, a w pozostałych 17,2 % z kwasów wielonienasyconych. Egzogenny kwas linoowy stanowi 14,6 % całkowitej zawartości kwasów tłuszczowych, natomiast stosunek kwasów nasyconych do wielonienasyconych wynosi 0,36 i jest odpowiedni pod względem żywieniowym. Kowalska i wsp. [20] stwierdzili, że tłuszcz śródmięśniowy w decydującym stopniu może determinować skład lipidowy mięsa, a zawarte w nim fosfolipidy wykazują predyspozycje do wiązania nasyconego kwasu tłuszczowego w pozycji węgla *sn-1* glicerolu, a kwasu nienasyconego w pozycji *sn-2*. Stąd istnieje znacznie większa możliwość wpływu na kwasy nienasycone PUFA lub MUFA niż na zawartość SFA.

Tabela 2. Profil kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym wychłodzonych mięśni udowych królików [%].

Table 2. Fatty acid profile of intramuscular fat in chilled hind leg muscles of rabbits [%].

Wyszczególnienie Specification	Wychłodzone mięśnie udowe Chilled hind leg muscles ($\bar{x} \pm s / SD$) (n = 10)
Nasycone/ Saturated (SFA)	45,01 ± 1,09
Nienasycone/ Unsaturated (UFA)	54,99 ± 1,09
Jednonienasycone/ Monounsaturated (MUFA)	26,57 ± 0,96
Wielonienasycone/ Polyunsaturated (PUFA)	28,42 ± 1,14
DFA (UFA+C18:0)	64,44 ± 0,70
OFA (SFA-C18:0)	35,56 ± 0,70
DFA/OFA	1,81 ± 0,05
UFA/SFA	1,22 ± 0,05
PUFA <i>n-6/n-3</i>	8,83 ± 1,30
Indeks konsumencki / Consumer index = (C18:3+ C20:5+ C22:6)	2,89 ± 0,68

Objaśnienia: Explanatory notes:

$\bar{x} \pm s / SD$ – wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation.

Tłuszcz śródmięśniowy wychłodzonych mięśni udowych królików charakteryzował się wyższym udziałem kwasów nienasyconych UFA (54,99 %), w tym kwasów jednonienasyconych (MUFA) i wielonienasyconych (PUFA) niż kwasów nasyconych

SFA (45,01 %) (tab. 2). Za istotne pod względem żywieniowym można uznać zmiany polegające na zmniejszeniu ilości kwasów SFA w mięśniach królików i zwiększenie sumy PUFA *n-3* oraz na zmniejszeniu proporcji kwasów PUFA *n-6/n-3* np. z 8,51 do 3,56. W przypadku uzyskania takich zmian mięso królicze klasyfikuje się do grupy mięs o walorach prozdrowotnych [5, 19]. Stwierdzony w omawianym doświadczeniu stosunek PUFA *n-6/n-3* wynosił 8,83 i był zbliżony do wyników Kowalskiej i Bielańskiego [17]. Jakość zdrowotną lipidów śródmięśniowych badanego mięsa królików określono poprzez wyliczenie indeksów: konsumenckiego, OFA, DFA, DFA/OFA, UFA/SFA oraz *n-6/n-3* [25, 36]. Wyniki analizy potwierdziły, że zawartość kwasów tłuszczowych DFA, o działaniu hipocholesterolemicznym, była prawie dwukrotnie większa (64,44 %) od zawartości kwasów tłuszczowych hipercholesterolemicznych OFA (35,56 %). Ponadto, analizowany tłuszcz śródmięśniowy mięśni udowych charakteryzował się korzystnym stosunkiem DFA/OFA (1,81 %) oraz UFA/SFA (1,22 %). Wartość sumy kwasu α -linolenowego, EPA i DHA, określana jako tzw. indeks konsumencki, wynosiła średnio 2,89 %. Wood i wsp. [36] podają, że zawartość wyżej wymienionych kwasów powinna stanowić do 3 % udziału w puli wszystkich kwasów tłuszczowych w mięsie. Migdał i wsp. [25] stwierdzili, że indeks konsumencki tłuszczu śródmięśniowego schabu i szynki świń oraz mięśni najdłuższych grzbietu byków, cieląt, jagniąt, a także smażonych mięśni piersiowych kurcząt i smażonych combrów królików kształtował się na poziomie od 0,71 do 3,33 %.

Spośród kwasów tłuszczowych zawartych w tłuszczu śródmięśniowym mięśni udowych królików przeważał kwas palmitynowy C16:0 (tab. 3). Największy jego udział (34,95 %) zaobserwowano w grupie próbek przechowywanych zamrażalniczo 3 miesiące i rozmrażanych w powietrzu atmosferycznym, co zostało potwierdzone statystycznie. Średnia, względna zawartość kwasu palmitynowego w pozostałych analizowanych grupach (I, II, III) wyniosła 31,43 %. W miarę upływu czasu zamrażalniczego przechowywania w grupie mięśni rozmrażanych mikrofalowo stwierdzono zmniejszenie względnej zawartości kwasu palmitynowego o 1,12 %. Wyższy udział kwasu palmitynowego wpłynął istotnie na łączną zawartość kwasów nasyconych (SFA) w grupie IV. Zaobserwowano również wpływ czasu zamrażalniczego przechowywania i metody rozmrażania ($p \leq 0,05$) na poziom kwasu stearynowego, którego najmniej oznaczono w grupie II (8,78 %) oraz w III (9,17 %). W obrębie kwasów nienasyconych (UFA) wysoko istotnie większą ilość kwasu oleinowego C18:1 stwierdzono w tłuszczu śródmięśniowym mięśni udowych grup I, II i III w porównaniu z grupą IV. Natomiast najczęściej było go w mięśniach grupy I – 24,54 %. Wraz z wydłużaniem czasu składowania mięśni rozmrażanych metodą mikrofalową nastąpiło zmniejszenie zawartości kwasu oleinowego o 1,07 %, a w grupie próbek rozmrażanych w powietrzu – o 3,28 %. W analizowanych mięśniach oznaczono również cenne kwasy należące do rodziny *n-3*,

Tabela 3. Zawartość kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym mięśni udowych królików w zależności od czasu zamrażalniczego przechowywania i metody rozmrażania [% sumy kwasów].

Tabela 3. Content of fatty acids in intramuscular fat of hind leg muscles of rabbits depending on deep-freeze storage time and thawing method [% of total acids].

Wyszczególnienie Specification	Czas zamrażalniczego przechowywania [miesiące] Time of deep-freeze storage[month]			
	0,5		3	
	Metoda rozmrażania / Thawing method ($\bar{x} \pm s / SD$)			
	mikrofalowa in microwave oven (I)	powietrzna atmospheric in air (II)	mikrofalowa in microwave oven (III)	powietrzna atmospheric in air (IV)
	(n = 10)	(n = 10)	(n = 10)	(n=10)
C12:0	0,42 ± 0,10	0,54 ± 0,18	0,58 ± 0,22	0,48 ± 0,67
C14:0	2,97 ± 0,34	3,33 ± 0,32	3,32 ± 0,54	3,79 ± 0,98
C14:1	0,11 ± 0,01	0,15 ± 0,12	0,14 ± 0,03	0,14 ± 0,11
C15:0	0,77 ± 0,09	0,78 ± 0,12	0,75 ± 0,06	0,76 ± 0,22
C16:0	31,80 ^b ± 0,80	31,81 ^B ± 0,45	30,68 ^B ± 0,95	34,95 ^{Aa} ± 0,93
C16:1	2,09 ± 0,14	2,82 ± 0,61	1,69 ± 0,83	1,97 ± 0,73
C17:0	0,88 ± 0,04	0,87 ± 0,12	0,91 ± 0,09	0,92 ± 0,14
C17:1	0,35 ± 0,03	0,38 ± 0,08	0,35 ± 0,04	0,41 ± 0,12
C18:0	10,54 ^{ac} ± 0,94	8,78 ^b ± 0,37	9,17 ^{bc} ± 0,69	11,04 ^a ± 0,73
C18:1	24,54 ^A ± 0,77	24,17 ^A ± 0,46	23,47 ^A ± 0,39	20,89 ^B ± 0,62
C18:2 n-6	20,67 ^b ± 0,79	21,75 ± 0,55	24,19 ^{Aa} ± 0,86	19,96 ^B ± 0,57
C18:3 n-3	1,86 ^B ± 0,27	2,49 ^A ± 0,30	2,46 ^A ± 0,42	1,60 ^B ± 0,29
C20:0	0,38 ± 0,03	0,30 ± 0,04	0,26 ^b ± 0,04	0,40 ^a ± 0,15
C20:1	0,28 ^b ± 0,02	0,28 ^b ± 0,04	0,31 ^a ± 0,02	0,28 ^b ± 0,01
C20:2 n-6	0,18 ^b ± 0,03	0,17 ^b ± 0,01	0,21 ^{Aa} ± 0,03	0,15 ^B ± 0,02
C20:4 n-6	1,61 ± 0,41	1,14 ± 0,14	1,25 ± 0,30	1,73 ± 0,64
C20:5 n-3 (EPA)	0,02 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
C22:0	0,49 ^a ± 0,16	0,20 ^b ± 0,09	0,19 ^b ± 0,05	0,47 ^a ± 0,29
C22:6 n-3 (DHA)	0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,03

Objaśnienia:/ Explanatory notes:

$\bar{x} \pm s / SD$ – wartość średnia ± odchylenie standardowe / mean value ± standard deviation;

wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się w wierszach statystycznie istotnie: a, b, c – przy $p \leq 0,05$; A, B – przy $p \leq 0,01$ / mean values denoted by different letters in rows are statistically significantly different: a, b, c – at $p \leq 0.05$; A, B – at $p \leq 0.01$

tj. C20:5 (0,012 %), C22:6 (0,045 %) oraz kwas α -linolenowy C18:3, którego najniższy udział zaobserwowano w grupie I oraz IV i wynosił on odpowiednio: 1,86 i 1,60 %. Tłuszcz śródmięśniowy mięśni udowych królików cechował się znaczną zawartością kwasu α -linolenowego w grupie II (2,49 %) i III (2,46 %). Wśród wielonienasyconych kwasów tłuszczowych wyróżnia się również grupę *n-6*, do której zaliczane są kwasy: linolowy C18:2, arachidonowy C20:4 i eikozadienowy C20:2. Kwasy te w tłuszczu królików występują zdecydowanie w większej ilości w porównaniu z wołowiną, baraniną czy wieprzowiną, a także z tłuszczem brojlerów kurzych żywionych mieszankami przemysłowymi, dlatego też ze względu na ich obecność oraz wzajemne i korzystne proporcje tłuszczu królików ma wysoką wartość biologiczną [33, 34].

Względna zawartość kwasu (LA) była o 4,23 % mniejsza w grupie IV w stosunku do prób przechowywanych zamrażalniczo przez 3 miesiące i rozmrażanych mikrofalowo (tab. 3). Z pewnością wpłynęło to również na większą ogólną zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (Σ PUFA) w mięśniach udowych grupy III. Analizując wpływ metody rozmrażania mięśni królików odnotowano wysoko istotny ($p \leq 0,01$) wzrost kwasu eikozadienowego w grupie doświadczalnej III w porównaniu z grupą IV, po zakończeniu 3-miesięcznego okresu zamrażalniczego przechowywania. Natomiast udział kwasu arachidonowego był najwyższy w tłuszczu śródmięśniowym mięśni rozmrażanych w polu mikrofalowym – grupa I i w powietrzu atmosferycznym – grupa IV. Fapojuwo [8] podaje, że na skład kwasów tłuszczowych nieznacznie wpływa metoda obróbki produktów mięsnych. Wymieniony autor zaobserwował także, że stosunek zawartości KT nienasyconych *n-6/n-3* w mrożonych przetworach mięsnych był mniejszy po rozmrożeniu metodą konwencjonalną niż mikrofalową. Dolińska i Warchalewski [7] nie stwierdzili zmian ogólnej zawartości kwasów tłuszczowych, jak i nienasyconych (*n-3*) w mięsie śledzi, które ogrzewano mikrofalowo, w porównaniu z metodą tradycyjną.

Własne dane doświadczalne charakteryzujące profil kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym mięśni udowych królików, w zależności od czasu zamrażalniczego przechowywania i metody rozmrażania, przedstawiono w tab. 4. W miarę wydłużania czasu zamrażalniczego przechowywania (do 3 miesięcy), w grupie mięśni udowych rozmrażanych w powietrzu atmosferycznym nastąpił wysoko istotny ($p \leq 0,01$) wzrost zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA), w porównaniu z pozostałymi grupami doświadczalnymi. Najniższy udział SFA stwierdzono w próbach przechowywanych zamrażalniczo 3 miesiące i rozmrażanych z zastosowaniem pola elektromagnetycznego. Odwrotną tendencję zaobserwowano w przypadku nienasyconych kwasów tłuszczowych (UFA). Wraz z upływem czasu zamrażalniczego przechowywania do 3 miesięcy w grupie doświadczalnej rozmrażanej w powietrzu atmosferycznym zawartość UFA zmalała do 47,19 %, w stosunku do grup I, II i III, co zostało potwierdzone statystycznie ($p \leq 0,01$). Zawartość kwasów tłuszczowych jedno-

nienasyconych cechuje się identyczną zależnością jak w przypadku UFA, tzn. najniższy udział MUFA stwierdzono w grupie IV (23,69 %), a najwyższy – w II (27,80 %) i I (27,37 %). W przeprowadzonych badaniach oznaczono znaczną zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych PUFA w tłuszczu śródmięśniowym mięśni udowych przechowywanych zamrażalniczo 3 miesiące i rozmrażanych mikrofalowo. Wynosiła ona 28,18 % i była większa w porównaniu z grupami I, II i IV odpowiednio o [%]: 3,80, 2,59 i 4,68. Według Kowalskiej i wsp. [20] dodatek witaminy E do paszy korzystnie oddziałuje na zmniejszenie podatności lipidów mięsa na procesy utleniania w trakcie jego zamrażalniczego przechowywania. Natomiast znaczna ilość kwasów PUFA w tkance zwierząt, zarówno zapasowej, jak i mięśniowej, może nasilać proces peroksydacji lipidów w żywym organizmie, a także w przechowywanych produktach mięsnych. Produkty utleniania kwasów PUFA mogą powodować obniżenie walorów smakowo-zapachowych, jak również barwy i tekstury mięsa, a dodatkowo cechy te niekorzystnie narastają wraz z wydłużaniem okresu przechowywania.

Zawartość kwasów pożądaných, hipocholesterolemicznych (DFA) i niepożądanych, hipercholesterolemicznych (OFA), a także stosunek DFA/OFA oraz UFA/SFA utrzymywały się na zbliżonym poziomie w grupach I, II i III, co zostało potwierdzone statystycznie. Udział DFA w próbkach tłuszczu śródmięśniowego mięśni udowych królików przechowywanych zamrażalniczo 3 miesiące, a następnie rozmrożonych w powietrzu atmosferycznym, uległ istotnemu ($p \leq 0,01$) obniżeniu (58,23 %) w stosunku do pozostałych analizowanych grup. Natomiast zawartość kwasów OFA w grupie IV była największa ($p \leq 0,01$) w porównaniu z innymi grupami, a jego wartość kształtowała się na poziomie 41,77 %.

Zaobserwowano wysoko istotną ($p \leq 0,01$) różnicę w proporcji kwasów PUFA *n-6/n-3* próbek mięśni przechowywanych zamrażalniczo 2 tygodnie oraz rozmrażanych w powietrzu atmosferycznym, w porównaniu z próbkami mrożonymi 3 miesiące i rozmrażanymi tą samą metodą. W grupie II odnotowano korzystny stosunek PUFA *n-6/n-3*, a niepożądany – w IV (13,16 %). Dietetycy zalecają ograniczenie spożycia kwasów z rodziny *n-6* w celu poprawy proporcji *n-6* do *n-3*, która nie powinna być większa niż (4 - 5) : 1 [11, 16, 30, 36]. Czas przechowywania i zastosowane metody rozmrażania miały wysoko istotny wpływ na indeks konsumencki (tab. 4). Najbardziej pożądaną wartością charakteryzowały się mięśnie udowe grupy II i III, w których udział sumy kwasów (ALA, EPA i DPA) kształtował się na podobnym poziomie – 2,53 %. Niekorzystny indeks zaobserwowano w grupie mięśni udowych królików rozmrażanych w powietrzu atmosferycznym po 3 miesiącach zamrażalniczego przechowywania.

Tabele 4. Profil kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym mięśni udowych królików w zależności od czasu zamrażalniczego przechowywania i metody rozmrażania [%].

Table 4. Profile of fatty acids in intramuscular fat of hind leg muscles of rabbits depending on deep-freeze storage time and thawing method [%].

Wyszczególnienie Specification	Czas zamrażalniczego przechowywania [miesiące] Time of deep-freeze storage [month]			
	0,5		3	
	Metoda rozmrażania/ Thawing method ($\bar{x} \pm s / SD$)			
	mikrofalowa in microwave oven (I)	powietrzna atmospheric in air (II)	mikrofalowa in microwave oven (III)	powietrzna atmospheric in air (IV)
	(n = 10)	(n = 10)	(n = 10)	(n = 10)
Nasycone Saturated (SFA)	48,25 ^B ± 1,17	46,61 ^B ± 0,58	45,86 ^B ± 1,65	52,81 ^A ± 2,68
Nienasycone Unsaturated (UFA)	51,75 ^A ± 1,17	53,39 ^A ± 0,58	54,14 ^A ± 1,65	47,19 ^B ± 2,68
Jednonienasycone Monounsaturated (MUFA)	27,37 ^A ± 1,04	27,80 ^A ± 2,24	25,96 ± 1,14	23,69 ^B ± 2,20
Wielonienasycone Polyunsaturated (PUFA)	24,38 ^b ± 0,70	25,59 ± 2,31	28,18 ^{Aa} ± 2,48	23,50 ^B ± 2,80
DFA (UFA + C18:0).	62,29 ^A ± 1,38	62,17 ^A ± 0,25	63,31 ^A ± 2,47	58,23 ^B ± 2,97
OFA (SFA – C18:0)	37,71 ^B ± 1,28	37,83 ^B ± 0,25	36,69 ^B ± 2,47	41,77 ^A ± 2,97
DFA/OFA	1,65 ^a ± 0,10	1,64 ^a ± 0,01	1,73 ^A ± 0,19	1,39 ^{Bb} ± 0,18
UFA/SFA	1,07 ^{Ab} ± 0,05	1,15 ^A ± 0,03	1,18 ^{Aa} ± 0,08	0,89 ^B ± 0,10
PUFA n-6/n-3	11,70 ^a ± 1,58	9,11 ^{Bb} ± 2,01	10,14 ^a ± 1,46	13,16 ^A ± 1,87
Indeks konsumencki Consumer index = (C18:3+ C20:5+ C22:6)	1,92 ^B ± 0,27	2,53 ^A ± 0,32	2,53 ^A ± 0,43	1,66 ^B ± 0,28

Objaśnienia jak pod tab. 3. / Explanatory notes as in Tab. 3.

Wnioski

1. Wykazano, że w miarę wydłużania czasu zamrażalniczego przechowywania (do 3 miesięcy) mięśni udowych królików nastąpiło niekorzystne zwiększenie zawartości kwasu palmitynowego i stearynowego w lipidach mięśni rozmrażanych w powietrzu atmosferycznym.

2. Czas zamrażalniczego przechowywania i metoda rozmrażania miały wysoko istotny ($p \leq 0,01$) wpływ na zmiany udziału kwasu α -linolenowego. Przechowywanie zamrażalnicze do 3 miesięcy i rozmrożenie w powietrzu atmosferycznym wpłynęło na niepożądane obniżenie poziomu kwasów: oleinowego, linolowego i α -linolenowego w tłuszczu śródmięśniowym mięśni udowych królików.
3. Tłuszcz śródmięśniowy mięśni udowych królików przechowywanych zamrażalniczo przez 3 miesiące i rozmrażanych w polu mikrofalowym cechował się zdecydowanie korzystniejszym stosunkiem DFA/OFA, UFA/SFA, PUFA $n-6/n-3$ oraz większą zawartością kwasów DFA i OFA w porównaniu z próbkami rozmrażanymi w powietrzu atmosferycznym.
4. Zastosowane parametry rozmrażania mikrofalowego pozwoliły na zachowanie zadowalającego profilu kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego w mięśniach udowych królików.

Praca naukowa zrealizowana z wykorzystaniem aparatury laboratoryjnej zakupionej w projekcie finansowanym z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego i Ministerstwo Rozwoju Regionalnego w ramach programu operacyjnego „Rozwój Polski Wschodniej 2007-2013”.

Literatura

- [1] Bielański P.: Wpływ rasy i systemów utrzymania na cechy produkcyjne brojlerów króliczych. Roczn. Nauk. Zoot. IZ, Kraków, 2004, **18**, 5-86.
- [2] Chwastowska I., Kondratowicz J.: Właściwości technologiczne mięsa wieprzowego w zależności od czasu zamrażalniczego przechowywania i metody rozmrażania. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2005, **3 (44)** Supl., 11-20.
- [3] Chwastowska-Siwiecka I., Kondratowicz J.: Effect of deep-freeze storage time and thawing method on intramuscular lipid oxidation and sensory quality of pork loin. Pol. J. Vet. Sci., 2008, **11 (2)**, 113-117.
- [4] Chwastowska I., Baryczka I., Skiepczo N.: Wpływ metody pakowania i czasu chłodniczego przechowywania na właściwości fizykochemiczne i sensoryczne mięsa króliczego. Chłodnictwo, 2012, **7-8**, 56-60.
- [5] Cygan-Szczegielniak D., Stasiak K., Janicki B.: Wpływ diety na zawartość CLA, cholesterolu oraz kwasów tłuszczowych w mięsie królików. Med. Weter., 2010, **66 (4)**, 272-275.
- [6] Cygan-Szczegielniak D., Stasiak K., Janicki B.: Wpływ diety na wybrane parametry oceny poubojowej tuszek oraz jakość mięsa królików. Med. Weter., 2010, **66 (12)**, 839-842.
- [7] Dolińska R., Warchalewski J.R.: Przyszłościowe technologie żywności z udziałem mikrofal i ich wpływ na składniki żywności. Przem. Spoż., 2003, **11**, 2-7, 27.
- [8] Fapojuwo O.O.: The composition and stability of lipids in meat products and a spectrofluorimetric assay for malonaldehyde in biological tissues. Dissertation Abstracts International, 1982, B-42, **11**, 43.
- [9] Forrester-Anderson I.T., McNitt J., Way R., Way M.: Fatty acid content of pasture-reared fryer rabbit meat. J. Food. Compos. Anal., 2006, **19**, 715-719.
- [10] Gašperlin L., Polak T., Rajar A., Skvarèa M., Lender B.: Effect of genotype, age at slaughter and sex on chemical composition and sensory profile of rabbit meat. World Rabbit Sci., 2006, **14**, 157-166.

- [11] Gigaud V., Combes S.: The effect of decreasing the omega 6/omega 3 ratio in feed on fatty acid content of rabbit meat to meet human dietary recommendations. 9th World Rabbit Congress on Meat Quality and Safety, Verona, Italy 2008, June 10 – 13, pp. 1353-1358.
- [12] Hęś M., Korczak J.: Wpływ różnych czynników na szybkość utleniania się lipidów mięsa. *Nauka Przyr. Technol.*, 2007, 1, 1, #3.
- [13] Hulot F., Ouhayoun J.: Muscular pH and related traits in rabbits. A review. *World Rabbit Sci.*, 1999, 7, 15-36.
- [14] Kondratowicz J., Matusevičius P.: Use of low temperatures for food preservation. *Veterinarija ir Zootechnika*, 2002, 17, 88-92.
- [15] Kondratowicz J., Chwastowska I.: Technological quality of pork deep-frozen directly post-slaughter or after 24 h chilling, measured during 12-months of storage. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, 2006, 24 (3), 131-140.
- [16] Kowalska D., Bielański P.: Wpływ dodatku oleju rzepakowego i przeciwutleniacza w dawkach pokarmowych na jakość mięsa króliczego. *Rocz. Nauk. PTZ*, 2007, 3 (4), 317-323.
- [17] Kowalska D., Bielański P.: Efektywność odłożenia wielonienasyconych kwasów tłuszczowych pochodzących z paszy w tkance mięśni króliczych. *Rocz. Nauk. PTZ*, 2008, 4 (3), 175-181.
- [18] Kowalska D.: Effect of dietary supplementation with rapeseed and fish oil mixture and antioxidant on rabbit meat quality. 9th World Rabbit Congress on Meat Quality and Safety, Verona, Italy 2008, June 10-13, pp. 1371-1376.
- [19] Kowalska D.: Wzbogacanie mięsa królików w nienasycone kwasy tłuszczowe i witaminy oraz przeciwdziałanie procesom utleniania. *Rocz. Nauk. Zoot.*, 2011, 38 (2), 227-243.
- [20] Kowalska D., Bielański P., Chełmińska A.: Wpływ dodatku do paszy oleju lnianego i rybnego na profil kwasów tłuszczowych i utlenianie tłuszczu śródmięśniowego królików. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2011, 2 (75), 148-159.
- [21] Lazzaroni L., Biagini D., Lussiana C.: Fatty acids composition of meat and perirental fat in rabbits from two different rearing systems. *Meat Sci.*, 2009, 83, 135-139.
- [22] Lechowicz J., Walkiewicz A., Jankowski Ł.: Wpływ rozmrażania mięsa mikrofalami na zawartość kwasu askorbinowego w wyrębach podstawowych świń rasy wbp. *Mat. IX Konferencji Naukowo-Promocyjnej "Lepsza Żywność" UWM, Olsztyn 2002, czerwiec 27, Biul. Nauk*, 2002, 16, 63-64.
- [23] Ludwig M., van Treel N., Fehlhaber K.: Schlachtausbeute und Fleischqualität von Mastkaninchen in Abhängigkeit vom Alter. *Fleischwirtschaft*, 2003, 6, 101-103.
- [24] Maj D., Bieniek J., Łapa P.: Jakość mięsa królików rasy białej nowozelandzkiej i kalifornijskiej oraz ich mieszańców. *Med. Weter.*, 2008, 64 (3), 351-353.
- [25] Migdał W., Pustkowiak H., Živković B., Cilev G., Młynek J., Walczycka M., Wojtysiak D., Migdał Ł., Pieszka M., Orzechowska B., Połtowicz K., Michniak Ł.: The intramuscular fat of animals of slaughter. *Modern trends in meat production. Editors Polish Society of Food Technologists. Wyd. Nauk. PTTŻ, Kraków 2010, październik 7-8, ss. 9-19.*
- [26] Mitrus M.: Zastosowanie mikrofal w technologii żywności. *Post. Nauk. Rol.*, 2000, 4, 99-113.
- [27] PN-ISO 1444:2000. Mięso i przetwory mięsne. Oznaczenie zawartości tłuszczu wolnego.
- [28] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 lutego 2005 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań weterynaryjnych przy produkcji i dla produktów z mięsa króliczego i z mięsa zwierząt łownych utrzymywanych na fermach, umieszczanych na rynku. *Dz. U.* 2005 r. Nr 33, poz. 297 i 298.
- [29] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 6 listopada 2001 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków weterynaryjnych wymaganych przy uboju zwierząt rzeźnych oraz rozbiórce i składowaniu mięsa. *Dz. U.* 2001 r. Nr 133, poz. 1505.
- [30] Sárraga C., Guàrdia M.D., Diaz I., Guerrero L., García Requeiro J.A., Arnau J.: Nutritional and sensory quality of porcine raw meat, cooked ham and dry-cured shoulder as affected by dietary enrichment with docosahexaenoic acid (DHA) and α -tocopheryl acetate. *Meat Sci.*, 2007, 76, 377-384.
- [31] Stiebing A., Hegerding L.: Viele sensorische Veränderungen. *Fleischwirtschaft*, 2004, 84 (6), 34-38.
- [32] StatSoft, Inc. 2011. STATISTICA (data analysis software system), version 10.0 www.statsoft.com.

- [33] Szkucik K., Pisarski R., Paszkiewicz W., Pijarska I.: Jakość tuszek, skład chemiczny i cechy sensoryczne mięsa kurcząt brojlerów żywionych mieszanką o zmniejszonej wartości energetycznej. *Med. Weter.*, 2009, **65** (3), 184-187.
- [34] Szkucik K., Pyz-Łukasik R.: Jakość zdrowotna mięsa królików. *Med. Weter.*, 2009, **65** (10), 665-669.
- [35] Szkucik K., Ziomek M.: Zmienność profilu kwasów tłuszczowych w zależności od rodzaju tłuszczu i rasy królików. *Med. Weter.*, 2010, **66** (7), 495-498.
- [36] Wood J.D., Richardson R.I., Nute G.R., Fisher A.V., Campo M.M., Kasapidou E., Sheard P.R., Enser M.: Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.*, 2004, **66** (1), 21-32.
- [37] Zsédely E., Tóth T., Eiben Cs., Virág Gy., Fábrián J., Schmidt J.: Effect of dietary vegetable oil (sunflower, linseed) and vitamin E supplementation on the fatty acid composition, oxidative stability and quality of rabbit meat. 9th World Rabbit Congress on Meat Quality and Safety, Verona, Italy 2008, June 10-13, pp.1473-1477.

EFFECT OF DEEP-FREEZE STORAGE TIME AND THAWING METHOD ON PROFILE OF FATTY ACIDS IN INTRAMUSCULAR FAT OF RABBIT MEAT

S u m m a r y

The objective of the research study performed was to determine the effect of deep-freeze storage time and thawing method on the composition and profile of fatty acids in intramuscular fat of rabbit meat. The research material comprised 50 thigh muscles of the Californian rabbits slaughtered at the age of 110 days. The vacuum packed samples were stored under deep-freeze (-28 ± 1 °C) conditions for 2 weeks and for 3 months, and, next, they were thawed in a microwave oven or in air. In the muscles investigated, the profile of fatty acids was determined using a gas chromatography method.

It was found that the prolongation of deep-freezing storage time (up to 3 months) caused the percent content of palmitic and stearic acids to increase in the intramuscular fat of thigh muscles thawed in air and the content of those compounds to decrease in the fat of muscles thawed in the microwave oven. The meat samples after 3-month deep-frozen storage and thawed in air were characterized by the lowest percent content of oleic, linoleic, and α -linolenic acids. At the same time, it was found that the content of saturated fatty acids in that group increased and the content of mono- and polyenic acids decreased. This contributed to the negative modification in the fatty acid profile expressed by health quality indices. The most advantageous ratio of *n-6/n-3* PUFA acids in the rabbit meat analyzed was found in the meat after 2 week deep-frozen storage and thawed in air.

Key words: rabbit meat, deep-freezing storage, thawing method, fatty acid profile, health quality indices

