

Zdzisław DOMISZEWSKI

## WPŁYW TEMPERATURY OGRZEWANIA NA JAKOŚĆ LIPIDÓW PODCZAS CHŁODNICZEGO PRZECHOWYWANIA OGRZANEJ TKANKI MIĘSNEJ ŚLEDZIA BAŁTYCKIEGO (*CLUPEA HARENGUS MEMBRAN*)

## EFFECTS OF HEATING TEMPERATURE ON THE QUALITY OF LIPIDS DURING REFRIGERATED STORAGE OF HEATED MUSCLE TISSUE OF BALTIC HERRING (*CLUPEA HARENGUS MEMBRAN*)

Zakład Towaroznawstwa i Oceny Jakości, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie, ul. Papieża Pawła VI nr 3, 71-459 Szczecin

**Abstract.** The aim of this research was to investigate the effects of heating temperature (60, 100 i 160°C) on the lipid oxidation and fatty acid composition of lipids during cold storage of heated herring muscle tissue. Lipids were extracted using the Bligh and Dyer method and their peroxide value (PV), anisidine (AsV), concentration of dienes (CD) and Totox value were determined. Composition of fatty acids was also determined via gas chromatography. It was demonstrated that the temperature applied during heat treatment has a substantial effect on the rate of lipid oxidation during refrigerated storage of herring muscle tissue. Heating meat at 160°C results in an average 2–3 times faster increase of primary and secondary oxidation products during cold storage than heating it at 60 and 100°C. Storing fish after heat treatment can also cause an approximately 25% loss of n-3 long chain polyunsaturated fatty acids n-3 LC PUFA, especially when applied low-temperature heating.

**Słowa kluczowe:** chłodnicze przechowywanie, kwasy tłuszczowe, lipidy, obróbka cieplna, utlenienie.  
**Key words:** cold storage, fatty acids, heat treatment, lipid, oxidation.

### WSTĘP

Ogrzewanie i przechowywanie żywności towarzyszy człowiekowi nieprzerwanie od wielu lat. Jednym ze składników dań, które szczególnie narażone są na niekorzystne zmiany spowodowane zarówno oddziaływaniem temperatury, jak i przechowywaniem, są ryby w tym przede wszystkim ryby tłuste. Lipidy ryb tłustych, ze względu na wysoką zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych oraz małą zawartość naturalnych antyoksydantów, znacznie szybciej niż inne tłuszcze ulegają autooksydacji (Eymard i in. 2009). Skutkiem tego najczęściej jest pogorszenie cech sensorycznych, zmniejszenie wartości odżywczej oraz zmniejszenie bezpieczeństwa zdrowotnego tych środków spożywczych. Najcenniejszymi LC n-3 PUFA występującymi w znacznych ilościach w rybach tłustych są kwasy: eikozapentaenowy (EPA) oraz dokozaheksaenowy (DHA) (Drozdowski 1998). W Polsce ważnym źródłem LC n-3 PUFA są krajowe ryby tłuste w tym przede wszystkim śledź bałtycki.

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Zdzisław Domiszewski, Zakład Towaroznawstwa i Oceny Jakości, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Papieża Pawła VI nr 3, 71-459 Szczecin, [zdomiszewski@zut.edu.pl](mailto:zdomiszewski@zut.edu.pl)

Ryby spożywane są głównie po smażeniu, pieczeniu, gotowaniu, wędzeniu, a więc po poddaniu ich oddziaływaniu medium grzejnego (gorące powietrze, woda, olej) najczęściej o temperaturze 60–200°C. Przechowywanie ogrzanych produktów rybnych często spotykane jest zarówno w zakładach nastawionych na produkcję garmażeryjną, restauracjach, jak i w warunkach domowych. Chłodnicze przechowywanie jest najprostszym sposobem zabezpieczenia i uniknięcia strat żywności. Podczas przechowywania gotowane mięso jest bardziej podatne na utlenienie lipidów niż surowe, na co może mieć wpływ temperatura obróbki cieplnej. Chociaż w dostępnej literaturze są informacje na temat zmian lipidów podczas chłodniczego przechowywania gotowanego mięsa (Min i in. 2008, Özyurt i in. 2010), to jednak praktycznie wszystkie publikacje dotyczą tylko jednej temperatury medium grzejnego. Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu temperatury ogrzewania (60, 100 i 160°C) na poziom utlenienia lipidów oraz skład kwasów tłuszczowych podczas chłodniczego przechowywania ogrzewanej tkanki mięsnej śledzi.

## **MATERIAŁ I METODY**

### **Materiał**

Badania wykonano na śledziu bałtyckim (*Clupea harengus membras* L.), który pochodził z łowisk południowo-zachodniego Bałtyku. Śledzie odłowiono 10 kwietnia, a stopień rozwoju gonad oceniono na VI i VII w skali Maiera. Ryby po odłowieniu były natychmiast zalodowane w skrzyniach i dostarczone do laboratorium, po czym niezwłocznie użyte do badań. Partia śledzi zakupiona do badań ważyła 50 kg (2 skrzynki).

### **Przygotowanie surowca**

Ryby patroszono, odgławiano, a następnie płukano. Po odciknięciu wody, tuszki filetowano, a następnie filety wraz ze skórą rozdrabniano za pomocą elektrycznej maszynki wyposażonej w sito o średnicy oczek 2 mm. Uzyskaną w ten sposób rozdrobnioną tkankę mięsną podzielono na cztery części i poddawano dalszym badaniom.

### **Warunki obróbki cieplnej**

Rozdrobnioną tkankę w ilości 40 g umieszczono w szklanych naczyniach (średnica wewnętrzna 5,6 cm, grubość ścianek 2 mm, wysokość 2,9 cm), szczelnie owinięto folią aluminiową, a następnie ogrzewano w temperaturze 60, 100 oraz 160°C przez 30 minut w cieplarni ZALMEV SML 32/250. Podczas ogrzewania rejestrowano zmiany temperatury w centrum geometrycznym prób za pomocą termometru Hanna Instruments HI 93530. Po obróbce cieplnej wszystkie próby ostudzono. Część prób przeznaczono do badań, a resztę przechowywano w temperaturze 4°C przez 1, 4 i 10 dni.

### **Metody analityczne**

Lipidy z surowej oraz ogrzanej tkanki mięsnej ekstrahowano metodą Bligha i Dyera (1959). Ekstrakcję wykonano w dwóch powtórzeniach. Zawartość lipidów oznaczano grawimetrycznie po odparowaniu rozpuszczalnika. Jakość lipidów rybnych oznaczono za pomocą: LN, LA, wskaźnika Totox, CD oraz składu kwasów tłuszczowych. LN lipidów

oznaczono metodą kolorymetryczną według Pietrzyk (1958). Powstały czerwony kompleks żelaza oznaczano spektrofotometrycznie. LN wyrażono w mEq O<sub>2</sub> na kg lipidów. LA oraz wskaźnik Totox oznaczono według ISO 6885 (1988). Totox obliczono według zależności Totox = 2LN + LA. Zawartość CD oznaczono według AOCS (2004). Estry metylowe kwasów tłuszczowych (EMKT) przygotowano metodą bezpośrednią, która polegała na hydrolizie zasadowej lipidów zawartych w mięsie ryb. Otrzymane EMKT rozdzielono metodą chromatografii gazowej, stosując chromatograf firmy Hewlett Packard GC 5890 series II, wyposażony w dozownik typu split/splitless i sprzężony z detektorem masowym G 1800A. Wyniki każdej analizy przedstawiono w procentach (jako % sumy kwasów). Udział procentowy poszczególnych KT w lipidach obliczono według wzoru  $\% \text{KT} = [Ax / (AT - AIS)] \times 100$ ; gdzie Ax – pole powierzchni oznaczanego KT, AT – suma wszystkich pól powierzchni analizowanych KT, AIS – pole powierzchni standardu wewnętrznego (C 23 : 0). Dokładne warunki przygotowania i rozdzielenia EMKT opisali we wcześniejszej pracy Domiszewski i Bienkiewicz (2010).

### Analiza statystyczna

Dane zamieszczone w tabelach są średnimi wartościami z trzech równoległych powtórzeń. Analizę statystyczną wyników wykonano na podstawie dwuczynnikowej analizy wariancji, utworzono grupy jednorodne za pomocą testu Duncana dla  $p \leq 0,05$ . W przypadku KT porównano udział procentowy: nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA), monoenowych kwasów tłuszczowych (MUFA), polienowych kwasów tłuszczowych (PUFA) oraz dwóch najważniejszych LC n-3 PUFA, tj. kwasu eikozapentaenowego (EPA) i dokzaheksaenowego (DHA). Dane opracowano statystycznie, korzystając z programu STATISTICA® version 9.0. (StatSoft, Inc. 2009).

### WYNIKI

Zawartość lipidów w surowej tkance mięsnej śledzi wynosiła 6,30 g na 100g, a SFA, MUFA oraz PUFA stanowiły odpowiednio: 24,32; 61,39 i 14,29% ogółu KT (tab. 1, 2). W lipidach tych LN wynosiła 13,89 mEq O<sub>2</sub> na kg lipidów, LA 16,37 a wskaźnik Totox 44,15 (tab. 3, 4, 5). Po 30 minutach ogrzewania tkanki w temperaturze 60, 100 i 160°C temperatura w centrum geometrycznym prób wynosiła odpowiednio 47,5, 68,6 oraz 99,8°C.

Tabela 1. Zawartość tłuszczu (g na 100 g) w surowej i ogrzewanej tkance mięsnej śledzia podczas chłodniczego przechowywania

Table 1. Lipid content (g per 100 g) of raw and heated muscle tissue of herring during refrigerated storage

	Czas przechowywania (dni) Storage time (days)			
	0	1	4	10
Surowa – Raw	6,30 <sup>aA</sup>	6,17 <sup>aA</sup>	6,74 <sup>bAB</sup>	–
60°C	6,27 <sup>aA</sup>	6,36 <sup>aA</sup>	6,89 <sup>bBC</sup>	6,35 <sup>aAB</sup>
100°C	6,52 <sup>aB</sup>	6,71 <sup>bB</sup>	6,91 <sup>cC</sup>	6,47 <sup>aB</sup>
160°C	6,55 <sup>aB</sup>	6,93 <sup>cC</sup>	6,57 <sup>aA</sup>	6,26 <sup>bA</sup>

a, b, c – dane oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

a, b, c – values represented by the same letters in row are not significantly different from each other with  $p \leq 0,05$ .

A, B, C – dane oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

A, B, C – values represented by the same letters in column are not significantly different from each other with  $p \leq 0,05$ .

Tabela 2. Skład kwasów tłuszczowych (%) w surowej i ogrzewanej tkance mięsnej śledzia podczas chłodniczego przechowywania  
 Table 2. Fatty acids composition (%) of raw and heated muscle tissue of herring during refrigerated storage

Kwas tłuszczowy Fatty acid	Czas przechowywania (dni) – Storage time (days)							
	0				1			
	surowa raw	temperatura ogrzewania (°C) heating temperature			surowa raw	temperatura ogrzewania (°C) heating temperature		
		60	100	160		60	100	160
C 14:0	7,58	7,54	8,06	6,77	8,00	7,94	7,76	7,44
C 15:0	0,73	0,67	0,72	0,62	0,69	0,7	0,68	0,61
C 16:0	13,6	12,8	13,4	11,8	13,0	13,0	12,3	13,1
C 17:0	0,10	0,09	0,1	0,08	0,07	0,10	0,08	0,07
C 16:1 (n-7)	3,84	4,00	4,11	3,76	4,07	4,08	3,91	3,73
C 17:0	0,24	0,23	0,25	0,21	0,21	0,22	0,22	0,21
C 17:1	0,29	0,26	0,28	0,23	0,26	0,27	0,25	0,22
C 18:0	1,77	1,57	1,74	1,66	1,62	1,57	1,62	1,81
C 18:1 (n-11)	0,34	0,33	0,36	0,29	0,3	0,32	0,29	0,29
C 18:1 (n-9)	10,9	10,4	11,0	10,1	10,4	10,4	10,1	10,8
C 18:1 (n-7)	1,74	1,68	1,66	1,46	1,48	1,64	1,41	1,61
C 18:2 (n-6)	1,43	1,42	1,47	1,34	1,41	1,47	1,33	1,23
C 20:0	0,29	0,28	0,29	0,31	0,22	0,27	0,28	0,3
C 20:1 (n-9)	16,2	17,3	16,6	18,3	17,1	17,1	17,9	18,1
C 18:3 (n-3)	0,3	0,35	0,31	0,30	0,28	0,32	0,35	0,47
C 18:4 (n-3)	0,77	0,89	0,88	0,8	0,81	0,92	0,82	0,65
C 20:2 (n-6)	0,27	0,27	0,29	0,26	0,26	0,24	0,25	0,23
C 22:1 (n-11)	27,2	28,4	27,0	31,3	27,9	27,2	30,1	30,5
C 20:3 (n-3)	0,25	0,27	0,19	0,29	0,16	0,23	0,24	0,24
C 20:4 (n-6)	0,35	0,37	0,35	0,34	0,32	0,36	0,33	0,29
C 20:4 (n-3)	0,27	0,30	0,30	0,28	0,28	0,31	0,29	0,24
C 20:5 (n-3)	2,98 <sup>b</sup>	3,00 <sup>b</sup>	2,98 <sup>b</sup>	2,63 <sup>a</sup>	3,10 <sup>c</sup>	3,21 <sup>c</sup>	2,7 <sup>c</sup>	2,34 <sup>a</sup>
C 24:1 (n-9)	0,91	0,95	0,97	1,09	0,87	0,87	1,1	0,44
C 22:5 (n-3)	0,40	0,50	0,51	0,43	0,44	0,51	0,44	0,34
C 22:6 (n-3)	7,28 <sup>c</sup>	6,20 <sup>b</sup>	6,25 <sup>b</sup>	5,43 <sup>a</sup>	6,67 <sup>c</sup>	6,76 <sup>c</sup>	5,28 <sup>b</sup>	4,76 <sup>a</sup>
SFA	24,3 <sup>c</sup>	23,2 <sup>b</sup>	24,6 <sup>c</sup>	21,4 <sup>a</sup>	23,9 <sup>b</sup>	23,8 <sup>b</sup>	23,0 <sup>a</sup>	23,5 <sup>ab</sup>
MUFA	61,4 <sup>a</sup>	63,2 <sup>b</sup>	61,9 <sup>a</sup>	66,5 <sup>c</sup>	62,4 <sup>b</sup>	61,9 <sup>a</sup>	65,0 <sup>c</sup>	65,7 <sup>c</sup>
PUFA	14,3 <sup>c</sup>	13,6 <sup>b</sup>	13,5 <sup>b</sup>	12,1 <sup>a</sup>	13,7 <sup>c</sup>	14,3 <sup>d</sup>	12,0 <sup>b</sup>	10,8 <sup>a</sup>
n-3 PUFA	12,3 <sup>c</sup>	11,5 <sup>b</sup>	11,4 <sup>b</sup>	10,2 <sup>a</sup>	11,7 <sup>c</sup>	12,3 <sup>c</sup>	10,1 <sup>b</sup>	9,04 <sup>a</sup>
n-6 PUFA	2,04 <sup>ab</sup>	2,06 <sup>b</sup>	2,10 <sup>b</sup>	1,94 <sup>a</sup>	1,98 <sup>c</sup>	2,07 <sup>d</sup>	1,91 <sup>b</sup>	1,75 <sup>a</sup>
n-6/n-3	0,17	0,18	0,18	0,19	0,17	0,17	0,19	0,19

a, b – dane oznaczone tymi samymi literami w obrębie tego samego czynnika (dzień przechowywania) nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

a, b – data marked with the same letters within the same factor (day storage) do not differ significantly at  $p \leq 0.05$ .

Tabela 2 cd., Table 2 cont.

Kwas tłuszczowy Fatty acid	Czas przechowywania (dni) – Storage time (days)						
	surowa raw	4			10		
		temperatura ogrzewania (°C) heating temperature			temperatura ogrzewania (°C) heating temperature		
		60	100	160	60	100	160
C 18:1 (n-11)	0,29	0,27	0,29	0,30	0,25	0,29	0,27
C 18:1 (n-9)	10,86	11,6	10,3	10,6	10,1	10,5	10,3
C 18:1 (n-7)	1,58	1,72	1,55	1,53	1,58	1,47	1,53
C 18:2 (n-6)	1,35	1,25	1,22	1,41	1,16	1,22	1,19
C 20:0	0,24	0,26	0,33	0,31	0,26	0,28	0,27
C 20:1 (n-9)	17,39	17,76	18,33	18,01	18,16	18,38	18,27
C 18:3 (n-3)	0,48	0,78	0,28	0,32	0,28	0,38	0,33
C 18:4 (n-3)	0,73	0,62	0,67	0,84	0,63	0,69	0,66
C 20:2 (n-6)	0,24	0,22	0,24	0,26	0,21	0,25	0,23
C 22:1 (n-11)	27,94	28,0	32,1	27,4	31,3	31,5	31,4
C 20:3 (n-3)	0,17	0,18	0,28	0,2	0,31	0,3	0,3
C 20:4 (n-6)	0,31	0,29	0,28	0,31	0,28	0,32	0,3
C 20:4 (n-3)	0,25	0,21	0,25	0,26	0,2	0,26	0,23
C 20:5 (n-3)	2,81 <sup>c</sup>	2,38 <sup>a</sup>	2,31 <sup>a</sup>	2,60 <sup>b</sup>	2,25 <sup>a</sup>	2,33 <sup>a</sup>	2,29 <sup>a</sup>
C 24:1 (n-9)	0,85	0,81	0,21	0,80	0,95	1,07	1,01
C 22:5 (n-3)	0,38	0,30	0,36	0,38	0,29	0,38	0,34
C 22:6 (n-3)	5,98 <sup>c</sup>	4,94 <sup>b</sup>	4,66 <sup>a</sup>	4,83 <sup>ab</sup>	4,51 <sup>a</sup>	5,00 <sup>b</sup>	4,76 <sup>b</sup>
SFA	24,17 <sup>b</sup>	24,7 <sup>bc</sup>	22,8 <sup>a</sup>	25,3 <sup>c</sup>	23,5 <sup>b</sup>	21,8 <sup>a</sup>	22,6 <sup>ab</sup>
MUFA	63,12 <sup>c</sup>	64,2 <sup>b</sup>	66,7 <sup>c</sup>	63,3 <sup>b</sup>	66,4 <sup>a</sup>	67,1 <sup>a</sup>	66,7 <sup>a</sup>
PUFA	12,7 <sup>c</sup>	11,2 <sup>b</sup>	10,5 <sup>a</sup>	11,4 <sup>b</sup>	10,1 <sup>a</sup>	11,1 <sup>b</sup>	10,6 <sup>b</sup>
n-3 PUFA	10,8 <sup>c</sup>	9,42 <sup>b</sup>	8,81 <sup>a</sup>	9,41 <sup>b</sup>	8,47 <sup>a</sup>	9,35 <sup>c</sup>	8,91 <sup>b</sup>
n-6 PUFA	1,90 <sup>b</sup>	1,77 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>	1,99 <sup>b</sup>	1,65 <sup>a</sup>	1,79 <sup>b</sup>	1,72 <sup>b</sup>
n-6/n-3	0,18	0,19	0,20	0,21	0,19	0,19	0,19

a, b – dane oznaczone tymi samymi literami w obrębie tego samego czynnika (dzień przechowywania) nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

a, b – data marked with the same letters within the same factor (day storage) do not differ significantly at  $p \leq 0.05$ .

Tabela 3. LN (mEq O<sub>2</sub> na kg lipidów) w surowej i ogrzewanej tkance mięsnej śledzia podczas chłodniczego przechowywaniaTable 3. PV (mEq O<sub>2</sub> na kg lipids) of raw and heated muscle tissue of herring during refrigerated storage

	Czas przechowywania (dni) Storage time (days)			
	0	1	4	10
	Surowa – Raw	13,89 <sup>bD</sup>	7,83 <sup>aC</sup>	13,90 <sup>bD</sup>
60°C	7,55 <sup>bC</sup>	6,04 <sup>aB</sup>	8,58 <sup>cC</sup>	10,06 <sup>dA</sup>
100°C	5,33 <sup>aB</sup>	5,80 <sup>bB</sup>	6,18 <sup>bB</sup>	10,75 <sup>cB</sup>
160°C	3,28 <sup>aA</sup>	3,89 <sup>bA</sup>	5,68 <sup>cA</sup>	13,05 <sup>dC</sup>

a, b, c, d – dane oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

a, b, c, d – values represented by the same letters in row are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

A, B, C, D – dane oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

A, B, C, D – values represented by the same letters in column are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

Tabela 4. LA w surowej i ogrzewanej tkance mięsnej śledzia podczas chłodniczego przechowywania  
Table 4. AsV of raw and heated muscle tissue of herring during refrigerated storage

	Czas przechowywania (dni) Storage time (days)			
	0	1	4	10
Surowa – Raw	16,37 <sup>bD</sup>	7,01 <sup>aC</sup>	17,84 <sup>cD</sup>	–
60°C	6,88 <sup>aC</sup>	8,69 <sup>bD</sup>	13,76 <sup>cC</sup>	13,61 <sup>dB</sup>
100°C	4,35 <sup>aA</sup>	6,07 <sup>bB</sup>	8,56 <sup>cA</sup>	11,61 <sup>dA</sup>
160°C	5,17 <sup>bB</sup>	4,75 <sup>aA</sup>	10,24 <sup>cB</sup>	17,58 <sup>dC</sup>

a, b, c, d – dane oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

a, b, c, d – values represented by the same letters in row are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

A, B, C, D – dane oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

A, B, C, D – values represented by the same letters in column are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

Tabela 5. Totox w surowej i ogrzewanej tkance mięsnej śledzia podczas chłodniczego przechowywania  
Table 5. Totox value of raw and heated muscle tissue of herring during refrigerated storage

	Czas przechowywania (dni) Storage time (days)			
	0	1	4	10
Surowa – Raw	44,15 <sup>bD</sup>	22,66 <sup>aD</sup>	45,72 <sup>bC</sup>	–
60°C	21,98 <sup>bC</sup>	20,77 <sup>aC</sup>	30,91 <sup>cB</sup>	33,74 <sup>dA</sup>
100°C	15,00 <sup>aB</sup>	17,67 <sup>bB</sup>	20,91 <sup>cA</sup>	33,11 <sup>dA</sup>
160°C	11,72 <sup>aA</sup>	12,53 <sup>bA</sup>	21,59 <sup>cA</sup>	43,68 <sup>dB</sup>

a, b, c, d – dane oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

a, b, c, d – values represented by the same letters in row are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

A, B, C, D – dane oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

A, B, C, D – values represented by the same letters in column are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

### Poziom utlenienia

Ogrzewanie tkanki mięsnej śledzi spowodowało istotny spadek zawartości nadtlenuków i dienów, który był tym większy im wyższą zastosowano temperaturę obróbki cieplnej. Po ogrzewaniu tkanki LN wynosiła od 3,28 do 7,55 mEq O<sub>2</sub> na kg lipidów a dienów 0,492–0,637% (tab. 3, 6).

Tabela 6. CD w surowej i ogrzewanej tkance mięsnej śledzia podczas chłodniczego przechowywania  
Table 6. Changes in CD of raw and heated muscle tissue of herring during refrigerated storage

	Czas przechowywania (dni) Storage time (days)			
	0	1	4	10
Surowa – Raw	0,752 <sup>bC</sup>	0,678 <sup>aD</sup>	0,684 <sup>aC</sup>	–
60°C	0,637 <sup>abB</sup>	0,620 <sup>aC</sup>	0,652 <sup>bB</sup>	0,876 <sup>cC</sup>
100°C	0,513 <sup>aA</sup>	0,569 <sup>bA</sup>	0,572 <sup>bA</sup>	0,702 <sup>cA</sup>
160°C	0,492 <sup>aA</sup>	0,593 <sup>bB</sup>	0,668 <sup>cBC</sup>	0,792 <sup>dB</sup>

a, b, c, d – dane oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

a, b, c, d – values represented by the same letters in row are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

A, B, C, D – dane oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

A, B, C, D – values represented by the same letters in column are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

Ogrzewanie przyczyniło się również do obniżenia LA lipidów. Najmniejszy spadek LA stwierdzono w próbie ogrzewanej w temperaturze 60°C, a największy w 100°C (tab. 4). Jednodniowe przechowywanie prób ogrzewanych w 60°C spowodowało istotny 20-procentowy spadek LN oraz nieistotny spadek CD (tab. 3, 6). Natomiast przechowywanie prób ogrzewanych w temperaturze 100 i 160°C przyczyniło się do wzrostu zarówno LN, jak i CD. Wyższy bo około 20-procentowy wzrost LN i CD stwierdzono w tkance mięsnej, która ogrzewana była w 160°C. W próbach, które były ogrzewane w temperaturze 100°C, wzrost LN i CD wyniósł około 10% (tab. 3, 6). Jednodniowe przechowywanie tkanki mięsnej śledzi spowodowało również wzrost LA w próbach, które były ogrzewane w 60 i 100°C – odpowiednio o 26 i 40%. Kontynuowanie przechowywania spowodowało dalszy wzrost utlenienia lipidów we wszystkich analizowanych próbach. Mimo że podczas przechowywania ogrzanej tkanki mięsnej zaobserwowano wzrost wszystkich wskaźników utlenienia lipidów, to jednak dynamika ta była różna (tab. 7).

Tabela 7. Zawartości wody (g na 100 g) w surowej i ogrzewanej tkance mięsnej śledzi podczas chłodniczego przechowywania

Table 7. Changes in water content (g per 100 g) of raw and heated muscle tissue of herring during refrigerated storage

	Czas przechowywania (dni) Storage time (days)			
	0	1	4	10
Surowa – Raw	75,35 <sup>aA</sup>	75,15 <sup>aA</sup>	74,83 <sup>aAB</sup>	
60°C	75,47 <sup>aA</sup>	75,23 <sup>aA</sup>	75,19 <sup>aB</sup>	75,32 <sup>bB</sup>
100°C	74,90 <sup>aA</sup>	74,82 <sup>aA</sup>	74,77 <sup>aA</sup>	75,01 <sup>aAB</sup>
160°C	74,83 <sup>aA</sup>	74,72 <sup>aA</sup>	74,16 <sup>aA</sup>	74,57 <sup>aA</sup>

a, b – dane oznaczone tymi samymi literami w wierszu nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

a, b – values represented by the same letters in row are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

A, B – dane oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy  $p \leq 0,05$ .

A, B – values represented by the same letters in column are not significantly different from each other with  $p \leq 0.05$ .

Podczas całego okresu przechowywania najszybszy wzrost LN, CD oraz LA stwierdzono w próbach, które ogrzewane były w temperaturze 160°C. W przypadku LN wzrost był blisko 3-krotnie szybszy niż w próbie ogrzewanej w temperaturze 60°C oraz 2-krotnie szybszy niż w próbie ogrzewanej w 100°C. Dynamika powstawania wtórnych produktów utlenienia oznaczonych za pomocą LA była wolniejsza niż LN. Wzrost LA w próbie ogrzewanej w temperaturze 160°C był średnio dwukrotnie szybszy niż w próbach ogrzewanych w 60 i 100°C. Także w próbie ogrzewanej w 160°C także CD tworzyły się najszybciej, jednakże wzrost był tylko o około 8 i 60% szybszy niż w próbie ogrzewanej odpowiednio w 60°C oraz w 100°C. Mimo że w próbie surowej po pierwszym dniu przechowywania stwierdzono średnio 50-procentowy spadek zarówno LN i LA, to po czwartym dniu zawartość nadtlenków i wtórnych produktów utlenienia przewyższała nieznacznie wartości wyjściowe.

### Skład kwasów tłuszczowych

Podczas ogrzewania tkanki mięsnej śledzi największe zmiany KT zaobserwowano w grupie PUFA. Im wyższą zastosowano temperaturę ogrzewania tkanki, tym spadek udziału procentowego PUFA w lipidach był większy (tab. 2). Ogrzewanie tkanki w temperaturze 60°C

spowodowało 5-procentowy spadek udziału PUFA, natomiast w 160°C straty wynosiły już 15%. W przypadku LC n-3 PUFA ogrzewanie tkanki w temperaturze 60°C nie spowodowało strat najcenniejszych kwasów, tj. EPA i DHA. Ogrzewanie tkanki w 100 i 160°C spowodowało istotne około 10-procentowe straty EPA i 13-procentowe DHA. Generalnie obróbka cieplna tkanki mięsnej śledzi spowodowała wahania udziału procentowego SFA i MUFA, które nie przekraczały na ogół 10% (tab. 2).

Jednodniowe przechowywanie ogrzewanej tkanki w 100 i 160°C spowodowało średnio 10-procentowe straty EPA oraz PUFA, natomiast straty DHA były wyższe i wynosiły 15%. W przypadku próby surowej i ogrzewanej w 60°C jednodniowe przechowywanie nie spowodowało istotnych strat PUFA, EPA i DHA. Podczas dalszego przechowywania największe straty PUFA stwierdzono w próbach ogrzewanych w 60°C, kiedy to po czwartym dniu straty EPA, DHA oraz PUFA wyniosły około 20%, a po dziesiątym – 26%. Najmniejsze straty PUFA, które wynosiły średnio około 15% stwierdzono podczas przechowywania tkanki ogrzewanej w 160°C (tab. 2).

Zarówno udział procentowy SFA, jak i MUFA ulegały dużym wahaniom, które wynosiły nawet kilkanaście procent w stosunku do tkanki nieprzechowywanej (tab. 2).

### Zawartość tłuszczu i wody

Ogrzewanie tkanki mięsnej w 60°C nie spowodowało istotnej zmiany zawartości lipidów oraz wody (tab. 1, 8). Mimo że ogrzewanie prób w temperaturze 100 i 160°C spowodowało istotny wzrost zawartości lipidów, to jednak nie był on duży i wyniósł średnio 3–4%. Niezależnie od zastosowanej temperatury ogrzewania tkanki przechowywanie jej w 4°C generalnie spowodowało wahania zawartości lipidów, które nie przekraczały 8%. Mimo że w przypadku zawartości wody pomiędzy niektórymi próbami stwierdzono istotne różnice, to jednak nie były one duże i nigdy nie przekraczały 2% (tab. 8).

Tabela 8. Dynamika zmian produktów utlenienia lipidów w ogrzewanej tkance mięsnej śledzia podczas chłodniczego przechowywania

Table 8. The dynamics of changes in lipid oxidation products of heated muscle tissue of herring during refrigerated storage

Wskaźnik Value	Temp. ogrzewania (°C) Heating temp	Równanie Equation	r <sup>2</sup> r <sup>2</sup>
PV	160	$y = 0,99x + 2,76$	0,97*
	100	$y = 0,54x + 4,99$	0,93*
	60	$y = 0,33x + 6,81$	0,77*
AV	160	$y = 1,31x + 4,50$	0,98*
	100	$y = 0,69x + 4,99$	0,95*
	60	$y = 0,64x + 4,99$	0,68*
TOTOX	160	$y = 3,29x + 4,99$	0,99*
	100	$y = 1,76x + 4,99$	0,98*
	60	$y = 1,30x + 4,99$	0,82*
CD	160	$y = 0,027x + 4,99$	0,92*
	100	$y = 0,017x + 4,99$	0,90*
	60	$y = 0,025x + 4,99$	0,92*

\* istotny na poziomie  $\alpha = 0,05$ .

\* significant at  $\alpha = 0.05$ .



## DYSKUSJA

Zaobserwowany w niniejszych badaniach spadek LN lipidów tym większy im wyższą zastosowano temperaturę ogrzewania zgodny jest z teorią, że nadtlenki należą do związków bardzo niestabilnych, ulegających rozkładowi do wtórnych produktów utlenienia. Według Aidos i in. (2002), rozkład nadtlenu jest wyższy w podwyższonej temperaturze. W niniejszej pracy rozpadowi nadtlenu nie towarzyszyło zwiększenie LA, co mogło być wynikiem interakcji związków reagujących z p-anizydyną (aldehydów i ketonów) z innymi składnikami obecnymi w tkance mięsnej, głównie białkami (Pokorny i in. 2010). W związku z powyższym nie wszystkie aldehydy i ketony zostały oznaczone. Stosowanymi w pracy metodami LN, LA, CD nie zanotowano termooksydacji lipidów, co może świadczyć o przewadze układu anty- nad proooksydacyjnym w matrycy jaką była rozdrobniona i ogrzewana tkanka mięsna śledzi (Kołakowska i Bartosz 2010). Badania Kołakowskiej i in. (2001) przeprowadzone na śledziu i szprocie oraz Regulska-Iłow i Iłow (2002) przeprowadzone na śledziu wykazały również, że podczas stosowania m.in. takich obróbek cieplnych jak: gotowanie konwencjonalne, mikrofalowe, smażenie oraz grillowanie konwencjonalne i mikrofalowe następuje spadek poziomu utlenienia lipidów. Z kolei wzrost wskaźnika TBA po takich obróbkach cieplnych jak pieczenie czy grillowanie został zaobserwowany przez Tokur (2007) w pstrągu oraz Turhana i in. (2011) w sardeli.

Obserwowany, podczas ogrzewania tkanki mięsnej śledzi w 100 i 160°C, spadek udziału procentowego PUFA w tym EPA i DHA mógł wynikać nie tyle z destrukcyjnego oddziaływania wysokiej temperatury na lipidy, ale głównie „wrażliwości” tych lipidów mających związek ze stanem biologicznym ryb. Lipidy w śledziu tarłowym są nawet 10-krotnie bardziej podatne na utlenienie niż lipidy z innych okresów połowu (Kołakowska i in. 1992). Stwierdzony w badanych rybach VI i VII stopień rozwoju gonad według w skali Maiera, niska zawartość tłuszczu, EPA i DHA oraz wysoka zawartość kwasów C 20 : 1 i C 22 : 1 wskazują, że użyty w badaniach śledź był w okresie tarła. Sezonowe zmiany w LC n-3 PUFA, podobne do zmian całkowitej zawartości lipidów w mięśniach, są wypadkową interakcji między cyklem rozwoju ryby (metabolizm lipidów) a pokarmem (dostępność, konkurencja i skład żywności) – (Kołakowska i in. 2006). Wyższy udział procentowy LC n-3 PUFA w lipidach ryb tłustych po obróbce cieplnej obserwowali m.in. de Castro i in. (2007) oraz Gladyshev i in. (2007). Nie wydaje się, aby lipidy z tkanki mięsnej śledzi były bardziej termolabilne niż lipidy z innych gatunków ryb. Ogrzewanie w 160°C i w analogicznych warunkach tkanki mięsnej śledzi odłowionych z tego samego akwenu, ale w styczniu, nie powodowało strat EPA i DHA (Domiszewski 2002).

Obserwowany wzrost poziomu utlenienia lipidów podczas przechowywania w temperaturze 4°C ogrzewanych prób mógł mieć związek z dostępnością nienasyconych kwasów tłuszczowych pochodzących z fosfolipidów zawartych w membranach mięśni (Pikul i in. 1984). Rozdrabnianie nie tylko uszkadza tkanki, co może mieć wpływ na dostępność fosfolipidów, ale również przyczynia się do zwiększenia powierzchni kontaktu z tlenem, a więc głównym czynnikiem odpowiedzialnym za proces utlenienia. Mieszanie z kolei prowadzi do włączenia dodatkowej ilości tlenu (Rodriguez-Estrada i in. 1997), co może przyczynić się również do zainicjowania i/lub rozwinięcia procesu utlenienia. Mimo że wzrost poziomu utlenienia lipidów podczas chłodniczego przechowywania gotowanego mięsa obserwowany był w literaturze

(Min i in. 2008, Özyurt i in. 2010), to jednak niniejsze badania wykazały, że na szybkość tego procesu wpływ ma temperatura zastosowana podczas ogrzewania. Wydaje się, że największy wpływ na różny wzrost poszczególnych wskaźników utlenienia podczas przechowywania ogrzewanych prób miał zróżnicowany potencjał oksydacyjny matrycy jaką była rozdrobniona tkanka mięsna. Najszybszy wzrost utlenienia w mięsie ogrzewanym w 160°C mógł wynikać z najmniejszej aktywności przeciwutleniającej tej próby. Wysoka temperatura podczas ogrzewania mogła doprowadzić m.in. do dużego spadku zawartości grup sulfhydrylowych (SH) w białkach. Aminokwasy, peptydy i białka są znanymi przeciwutleniaczami działającymi m.in. przez: konwersję rodników do stabilniejszych związków, chelatowanie metali czy regenerację przeciwutleniaczy pierwotnych (Wołosiak i Worobiej 2007). Aminokwasy siarkowe pełnią rolę przeciwutleniaczy pierwotnych ze względu na grupy –SH oddające labilny atom wodoru i dezaktywujące w ten sposób wolne rodniki. Badania przeprowadzone przez Synowieckiego i Shahidi (1991) wykazały, że wraz ze wzrostem temperatury ogrzewania następują większe straty grup –SH. Z kolei badania przeprowadzone przez Plust (2007) wykazały, że przechowywanie chłodnicze pstrągów w okresie przydatności do spożycia (14 dni) powodowało spadek całkowitej aktywności przeciwutleniającej, związany ze stratami przeciwutleniaczy rozpuszczalnych w NaCl i wodzie. Na potencjał antyoksydacyjny białek wpływ mają również dipeptydy takie jak karnozyna i anseryna, które wykazują właściwości przeciwutleniające (Decker i in. 1992). W związku z tym, że temperatura gotowania mięsa ma istotny wpływ na straty powyższych dipeptydów (Peiretti i in. 2012), to tym samym pośrednio wpływa na aktywność przeciwutleniającą.

Istotny wpływ na potencjał oksydacyjny poszczególnych prób miały zapewne również prooksydanty zawarte w mięsie, do których należy głównie mioglobina. Odgrywa ona istotną rolę w procesie utlenienia lipidów mięsa, w szczególności w obecności H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> lub LOOH kiedy może być konwertowana do ferryliomoglobiny, będąc w ten sposób głównym źródłem hematyny i wolnego żelaza jonowego. Związki te mogą nie tylko inicjować, ale również przyspieszać proces utlenienia lipidów (Min i Ahn 2005). W dodatku zniszczenie w wyniku mielenia oraz obróbki cieplnej membran mięśniowych ułatwia lipidom kontakt z jonami żelaza, które w stężeniu od 1 do 10 ppm wykazują silne działanie prooksydacyjne w gotowanych mięśniach ryb (Tichivangana i Morrissey 1985). Uważa się, że żelazo hemowe może inicjować utlenianie lipidów zarówno w mięsie surowym, jak i ogrzewanym, podczas gdy żelazo niehemowe odgrywa większą rolę w przyspieszaniu procesów utleniania lipidów w mięsie ogrzewanym (Hęś i Korczak 2007). Podwyższenie temperatury ogrzewania tylko z 60 do 80°C może przyczynić się do 30-procentowego zwiększenia zawartości żelaza niehemowego (Kristensen i Purslow 2001). Podczas chłodniczego przechowywania wzrost zawartości niehemowego żelaza obserwowany był m.in. w surowym i gotowanym mięsie makreli (Chaijan i in. 2005) oraz tilapi (Thiansilakul i in. 2010). Wzrost zawartości wolnego żelaza w wyniku ogrzewania i przechowywania mięsa zwierząt rzeźnych przyczynia się do spadku ich aktywności przeciwutleniającej, co z kolei ma istotny wpływ na wzrost TBARS (Ahn i Kim 1998). Wydaje się, że podczas chłodniczego przechowywania mięsa większe znaczenie w procesie utlenienia lipidów odgrywa stosunek „wysokiej zawartości żelaza do niskiej zawartości tłuszczu” niż na odwrót. Mimo że najwyższą wartość wskaźnika TBA po

10-dniowym chłodniczym przechowywaniu gotowanego mięsa stwierdzono w makreli, to jednak dynamika powstawania aldehydu malonowego w wołowinie i strusinie była średnio 5- i 3-krotnie szybsza niż w makreli. Te same badania wykazały, że zawartość żelaza hemowego była blisko 3–4-krotnie wyższa w wołowinie i strusinie niż w makreli (Tang i in. 2002).

W wyniku przeprowadzonej obróbki cieplnej na aktywność przeciwutleniającą tkanki mogą mieć również wpływ produkty reakcji Maillarda (MRP). Związki te powstają w mięsie w temperaturze około 90°C, a ich zawartość rośnie wraz ze wzrostem temperatury i czasu ogrzewania. W związku z tym, że MRP mają silne właściwości przeciwutleniające, mogą tym samym w efektywny sposób chronić lipidy przed utlenieniem (Amarowicz 2009). Mimo że w niniejszych badaniach w mięsie ogrzewanym w 160°C potencjalnie mogło utworzyć się najwięcej MRP, to jednak prawdopodobnie siła czynników proksydacyjnych przekroczyła zdolność antyoksydacyjną matrycy, jaką była ogrzewana tkanka mięsna w 160°C (Kołakowska i Bartosz 2010). Także badania Özyurta i in. (2010) przeprowadzone na doradzie wykazały, że podczas zamrażalniczego przechowywania proces utlenienia przebiegał najszybciej w rybach poddanych ogrzewaniu w wyższej temperaturze. Dużą rolę w procesie utlenienia lipidów odgrywać mogą enzymy w szczególności lipooksygenaza, która katalizuje reakcje utleniania wolnych lub zestryfikowanych nienasyconych kwasów tłuszczowych (Baraniak i Szymanowska 2006). Mimo że podczas ogrzewania tkanki mięsnej w 60°C prawdopodobnie nie wszystkie enzymy odpowiedzialne za utlenienie zostały inaktywowane w całości (Wang i in. 1991), to jednak w próbach tych proces utlenienia zachodził najwolniej. To pokazuje, że podczas przechowywania wcześniej ogrzewanej tkanki mięsnej śledzia w temp. 60°C większą rolę mogą odgrywać czynniki nieenzymatycznego utleniania lipidów.

Obserwowane straty LC n-3 PUFA podczas przechowywania ogrzewanej tkanki mięsnej śledzia prawdopodobnie były związane z postępującym procesem utlenienia (Kołakowska 2010). To przypuszczenie potwierdzają badania Jittrepotcha i in. (2006) przeprowadzone na gotowanej i przechowywanej w warunkach chłodniczych sardynce. Dodanie azotynu i askorbinianu do mięsa sardynek spowodowało średnio o połowę mniejsze straty EPA i DHA, spowalniając jednocześnie proces utlenienia lipidów podczas przechowywania ryb. Co istotne w niniejszych badaniach, za wyjątkiem próby ogrzewanej w temperaturze 60°C straty n-3 PUFA nie pogłębiały się już podczas dalszego przechowywania mimo postępującego procesu utlenienia. Sugeruje to, że za straty n-3 PUFA może być odpowiedzialna lipooksygenaza (Stodolnik i Samson 2001).

Zawartość wody w przechowywanych próbach praktycznie nie uległa zmianie, ponieważ próby zarówno podczas ogrzewania, jak i przechowywania, owinięte były szczelnie folią aluminiową, a do badań pobierano całe próby wraz z powstałym wyciekami. W związku z powyższym obserwowane wahania zawartości tłuszczu spowodowane były prawdopodobnie interakcjami. Interakcje lipidy–białko występują naturalnie w tkankach, oraz tworzą się w produktach podczas przetwarzania i przechowywania (Sikorski i Pan 1994). W dodatku obróbka cieplna powodować może zarówno zwiększenie, jak i zmniejszenie, ekstrahowalności lipidów (Jittrepotch i in. 2006).

## PODSUMOWANIE

Istotny wpływ na szybkość utlenienia lipidów podczas przechowywania w 4°C ogrzewanej tkanki mięsnej śledzi ma zastosowana temperatura podczas obróbki cieplnej. Ogrzewanie mięsa w 160°C powoduje średnio 2–3-krotnie szybszy wzrost LN i LA lipidów podczas przechowywania niż ogrzewanie w 60 i 100°C. Wyższa temperatura ogrzewania prawdopodobnie przyczynia się do zmniejszenia aktywności przeciwutleniającej tkanki mięsnej, co ma decydujący wpływ na szybkość utlenienia lipidów. Przechowywanie ryb po obróbce cieplnej wiąże się ze stratami n-3 PUFA, zwłaszcza gdy zastosowano niską temperaturę ogrzewania.

## PIŚMIENNICTWO

- Aidos I., Lourenco S., Van der Padt A., Luten J.B., Boom R.M.** 2002. Stability of crude herring oil produced from fresh byproducts: influence of temperature during storage. *J. Food Sci.* 67 (9), 3314–3320.
- AOCS** 2004. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society (Fifth Edition).
- Amarowicz R.** 2009. Antioxidant activity of Maillard reaction products. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 111 (2), 109–111.
- Ahn D.U., Kim S.M.** 1998. Prooxidant effects of ferrous iron, hemoglobin, and ferritin in oil emulsion and cooked meat homogenates are different from those in raw-meat homogenates. *Poultry Sci.* 77 (2), 348–355.
- Baraniak B., Szymanowska U.** 2006. Lipooksygenaza w żywności pochodzenia roślinnego *Żywn. Technol. Jakość.* 47 (2), 29–45.
- Bligh E.G., Dyer W.J.** 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37 (8), 911–917.
- Chaijan M., Benjakul S., Visessanguan W., Faustman C.** 2005. Changes of pigments and colour in sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) muscle during iced storage *Food Chem.* 93 (4), 607–617.
- Decker E.A., Crum A.D., Calvert J.T.** 1992. Differences in the antioxidant mechanism of carnosine in the presence of copper and iron. *J. Agric. Food Chem.* 40 (5), 756–759.
- de Castro F.A., Sant A. Campos F.M.** 2007. Fatty acid composition of three freshwater fishes under different storage and cooking processes. *Food Chem.* 103 (4), 1080–1090.
- Domiszewski Z.** 2002. Wpływ obróbek cieplnych na ryby jako źródło n-3 polienowych kwasów tłuszczowych. Praca doktorska. Akademia Rolnicza w Szczecinie.
- Domiszewski Z., Bienkiewicz G.** 2010. Porównanie metod przygotowania estrów metylowych kwasów tłuszczowych wg AOAC oraz metodą bezpośrednią przy oznaczaniu składu kwasów tłuszczowych tkanki mięsnej ryb. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin.* 281 (16), 19–30.
- Drozdowski B.** 1998. Lipidy [w: Chemiczne i funkcjonalne składniki żywności]. Red Z. Sikorski. WNT. Warszawa, 167–232.
- Eymard S., Baron C.P., Jacobsen C.** 2009. Oxidation of lipid and protein in horse mackerel (*Trachurus trachurus*) mince and washed minces during processing and storage. *Food Chem.* 114 (1), 57–65.
- Gladyshev M.I., Sushchik N.N., Gubanenko G.A., Demirchieva S.M., Kalachova G.S.** 2007. Effect of boiling and frying on the content of essential polyunsaturated fatty acids in muscle tissue of four fish species. *Food Chem.* 101 (4), 1694–1700.
- Hęś M., Korczak J.** 2007. Wpływ różnych czynników na szybkość utleniania się lipidów mięsa. *Nauka Przynr. Technol.* 1 (1), 3.

- ISO 6885** 1988. Animal and vegetable fats and oils - Determination of anisidine value. International Organization for Standardization. Geneva.
- Jittrepotch N., Ushio H., Ohshima T.** 2006. Effects of EDTA and a combined use of nitrite and ascorbate on lipid oxidation in cooked Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) during refrigerated storage. *Food Chem.* 99 (1), 70–82.
- Kołąkowska A.** 2010. Fish lipids [w: Chemical, Biological, and Functional Aspects of Food Lipids]. Red. Z.E. Sikorski and A. Kołąkowska. CRC Press, 273–312.
- Kołąkowska A., Bartosz G.** 2010. Antioxidants [w: Chemical, Biological, and Functional Aspects of Food Lipids]. Red. Z.E. Sikorski and A. Kołąkowska. CRC Press, 163–184.
- Kołąkowska A., Czerniejewska-Surma B., Gajowiecki L., Lachowicz K., Zienkiewicz L.** 1992. Effect of fishing season on the shelf life of ice Baltic herring [w: Quality assessment in the fish industry]. Eds H.H. Huss. Elsevier Sci. Publisher, 89–95.
- Kołąkowska A., Domiszewski Z., Bienkiewicz G.** 2006. Effects of biological and technological factors on the utility of fish as a source of n-3 PUFA [w: Omega 3 Fatty Acid Research]. Eds M.C. Teale. Nova Sci. Publishers, 83–107.
- Kołąkowska A., Domiszewski Z., Bienkiewicz G., Szczygielski M.** 2001. Effects of thermal treatment of Baltic Herring and Sprat on n-3 PUFA and lipid oxidation. Materiały z Nordic lipid symposium, Bergen 5–8 czerwca 2001. Bergen, 32.
- Kristensen L., Purslow P.P.** 2001. The effect of processing temperature and addition of mono and di-valent salts on the heme- nonheme-iron ratio in meat *Food Chem.* 73 (4), 433–439.
- Min B., Ahn D.U.** 2005. Mechanism of lipid oxidation in meat and meat products a review. *Food Sci. Biotechnol.* 14 (1), 152–163.
- Min B., Nam K.C., Cordray J., Ahn D.U.** 2008. Endogenous Factors Affecting Oxidative Stability of Beef Loin, Pork Loin, and Chicken Breast and Thigh Meats. *J. Food Sci.* 73 (6), 439–446.
- Özyurt G., Özkütük A.S., Polat A.** 2010. Capability of the rosemary (*Rosmarinus officinalis*) extract on the oxidative stability of cooked sea bream (*Sparus aurata*) during frozen storage. *J. Consumer Protection and Food Safety.* 6 (2), 167–174.
- Peiretti P.G., Medana C., Visentin S., Bello F.D., Meineri G.** 2012. Effect of cooking method on carnosine and its homologues, pentosidine and thiobarbituric acid-reactive substance contents in beef and turkey meat. *Food Chem.* 132 (1), 80–85.
- Pietrzyk C.** 1958. Spectrophotometric determination of lipid peroxides by thiocyanate technique. *Rocz. Państw. Zakł. Hig.* 9 (2), 75–84.
- Pikul J., Leszczyński D.E., Kummerow F.A.** 1984. Relative role of phospholipids, triacylglycerols and cholesterol esters on malonaldehyde formation in fat extracted from chicken meat. *J. Food Sci.* 49 (3), 704–708.
- Plust D.** 2007. Pojemność przeciwutleniająca wybranych surowców pochodzenia zwierzęcego. Praca doktorska. Akademia Rolnicza w Szczecinie.
- Pokorny J., Kołąkowska A., Bienkiewicz G.** 2010. Lipid-protein and lipid-saccharide interactions [w: Chemical and Functional Properties of Food Lipids]. Red. Z.E. Sikorski i A. Kołąkowska. CRC Press, 455–472.
- Regulska-Iłow B., Iłow R.** 2002. Comparison of the effects of microwave cooking and conventional cooking methods on the composition of fatty acids and fat quality indicators in herring. *Nahrung/Food.* 46 (6), 383–388.
- Rodriguez-Estrada M.T., Penazzi G., Coboni M.F., Bertacco G., Lercker G.** 1997. Effect of different cooking methods on some lipids and protein components of hamburgers. *Meat Sci.* 45 (3), 365–375.
- StatSoft, Inc.** 2009. Statistica® (data analysis software system), version 9.0. www.statsoft.com
- Sikorski Z.E., Pan B.S.** 1994. The Effect of Heat-Induced Changes in Nitrogenous on the Properties of Seafoods [w: Seafood Proteins]. Red. Z.E. Sikorski, B.S. Pan i F. Shahidi. New York, Chapman Hall, 84–98.

- Stodolnik L., Samson E.** 2001. Lipoxygenase activity of selected tissues and organs of Baltic herring. *Acta Ichthyd. Piscat.* 30 (2), 47–58.
- Synowiecki J., Shahidi F.** 1991. Heat-induced changes in sulfhydryl-groups of harp seal muscle proteins. *J. Agric. Food Chem.* 39 (11), 2006–2009.
- Tang S., Kerry J. P., Sheehan D., Buckley D.J., Morrissey P.A.** 2002. Antioxidative effect of added tea catechins on susceptibility of cooked red meat, poultry and fish patties to lipid oxidation. *Food Res. Int.* 34 (8), 651–657.
- Thiansilakul Y., Benjakul S., Richards M.** 2010. Changes in heme proteins and lipids associated with off-odour of seabass (*Lates calcarifer*) and red tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*) during iced storage. *Food Chem.* 121 (4), 1109–1119.
- Tichivangana J.Z., Morrissey P.A.** 1985. Metmyoglobin and inorganic metals as prooxidants in raw and cooked muscle systems. *Meat Sci.* 15 (2), 107–116.
- Tokur B.** 2007. The effect of different cooking methods on proximate composition and lipid quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Int. J. Food Sci. Technol.* 42 (7), 874–879.
- Turhan S., Ustun S.N., Temiz H.** 2011. Lipid Quality of Anchovy (*Engraulis Encrasicolus*) Fillets Affected by Different Cooking Methods. *Int. J. Food Propert.* 14 (6), 1358-1365.
- Wang Y.J., Miller L.A., Addis P.B.** 1991. Effect of heat inactivation of lipoxygenase on lipid oxidation in lake herring (*Coregonus artedii*). *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68 (10), 752–755.
- Wołosiak R., Worobiej E.** 2007. Naturalne przeciwutleniacze występujące w żywności [w: *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*]. Red. W.W. Grajek. WNT, Warszawa, 229–235.