皮および骨を含む魚肉のエクストルージョン・クッキングによる組織化と加工過程におけるアミノ酸および脂肪酸組成の変化

北川 雅彦,^{1*} 飯田 訓之,¹ 信太 茂春,¹ 岸村 栄毅,² 佐伯 宏樹²

(2006年11月10日受付, 2007年7月9日受理)

¹北海道立釧路水産試験場, ²北海道大学大学院水産科学研究院

Fibrous texturization and amino acid/fatty acid changes with the extrusion cooking of fish meat containing skin and bone

MASAHICO KITAGAWA,^{1*} TOSHIYUKI IIDA,¹ SHIGEHARU NOBUTA,¹
HIDEKI KISHIMURA² AND HIROKI SAEKI²

¹Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station, Kushiro, Hokkaido 085-0027, ²Research Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

Chum salmon and skipjack tuna meats containing skin and bone were frozen and pulverized at below -130°C and the frozen powdery fish meats thus obtained were applied to extrusion cooking. The raw materials were mixed with defatted soy protein concentrate at the mixing weight ratio of 70 : 30, adjusted their moisture to 63%, and then applied to a twin-screw extruder. The extrudates showed a strong fibrous structure along with the direction of the extrusion, when the extruder was operated at 50 rpm of the screw speed and 170°C in the final barrel. There is no difference in the proximate composition between the raw materials and the extrudates. Although taurine, methionine and histidine decreased slightly during the extrusion cooking, no significant change was observed in other amino acid contents. In addition, the extrusion cooking has no effect on the fatty acid compositions of total lipid. These results indicate that fish meat containing skin and bone at the intrinsic level would be utilized for extrusion cooking without significant loss of nutrition.

キーワード：エクストルージョン・クッキング, カツオ, シロサケ, 組織化, 凍結粉碎肉

魚肉練り製品は、魚類筋肉タンパク質のもつ優れたゲル形成能を利用して製造される。このゲル形成能を長期に保存するために開発された加工食品素材が冷凍すり身である。しかし冷凍すり身は、魚体の頭部、内臓、表皮、骨の除去による落とし身への調理と水晒し工程が必須であるため、本来利用されるべき各種栄養成分の廃棄・流出を避けることができない。そこで栄養成分の有効利用を目的として、これら夾雑物を含んだまま凍結下で魚体を微粉碎して食品素材化する試みが行われた。¹⁾ これは、表皮（鱗を含む）骨を含む魚肉をフィレーやドレスの状態では -130°C 以下に保持し、強い衝撃と剪断を加えて10-100 μm の範囲まで微細化するものである。得られた魚体粉末（以下、凍結粉碎肉と称する）は、なめらかな舌触りでザラツキが感じられず、また脂質やカルシウムなどの含有量が、水晒し脱水肉と比較して顕著に多

いことが確認されている。

エクストルージョン・クッキングは、押出し成形装置（エクストルーダー）を用いて高温高圧下でタンパク質素材を加工する調理法であり、さまざまな繊維構造をもった加工製品（押出し成形品：以下、押出し物と称する）を連続的に製造することができる。すでに著者らは、スケトウダラの魚肉を原料としてエクストルージョン・クッキングを行い、強固な繊維構造を有する加工食品が製造できることを報告した。²⁾ 同技術は、高温高圧下で原料を溶融することから、練り製品とは異なった原理で組織化が行われていると判断できる。そこで本研究では、皮や骨などの非可食部を含む魚肉をエクストルージョン・クッキングに供し、原料としての適性を評価した。また、製造過程におけるアミノ酸と脂肪酸組成の変化を調べ、エクストルージョン・クッキングにおける栄養損失

の有無について考察した。

材料および方法

原料およびエクストルージョン・クッキング原料の調製 シロサケとカツオの凍結粉碎肉（日本水産物製, それぞれ以下 SFM および BFM と称する), 濃縮大豆タンパク（ソルビー#600, 日清コスモフーズ株式会社, 以下 SPC と称する）を試験に供した。凍結粉碎肉製造の概略は次のとおりである: まず頭部, えら, 内臓, ヒレを除去した魚体（ドレス）を -50°C に凍結し, 解凍させることなくバンドソーで細割した後, 液体窒素で十分冷却してフェザーミル（ホソカワミクロン, FM-1 型）にて粗粉碎し, これをさらにファインビクトリミル（ホソカワミクロン, FVP-OR 型）を用いて微粉碎した。一連の粉碎処理は -130°C 以下で行った。得られた SFM および BFM には, 鱗を含む魚皮と骨が含まれており, 粉碎物の粒度分布は, いずれも $80\sim 100\ \mu\text{m}$ の粒子が主体（40%）であった。そして, 全体の約 20% を占める $200\sim 500\ \mu\text{m}$ の粒子は, 皮や筋と推測された。³⁾

原料の配合と検計項目 本研究に用いたエクストルージョン処理原料の組成および水分を Table 1 に示す。前報²⁾では魚肉と SPC の配合割合を 70 : 30 とし, 水分含量を 60% 程度に調整すると, 好ましい組織化物を得ることができたので, これに準じて原料配合を調整した。すなわち, SFM および BFM と SPC の混合重量比を 70 : 30 とし, 最終水分含量を約 60% になるよう加水しながらミキサー（愛工舎製作所, ACM-30LV 型）およびサレントカッター（花木製作所, FC-1 型）で混合してそれぞれ配合原料 A（Formula A）および B（Formula B）を調製した。得られたこれらの配合原料の水分含量は 63.1~63.5% であった。なお, これら配合原料における皮および筋（ $200\sim 500\ \mu\text{m}$ 粒子）の含有量は, 約 2.4% であった。

エクストルーダーの運転条件 2 軸型エクストルーダーは, 神戸製鋼所製の TCV-50L 型（スクリュエ直径 50 mm, スクリュ全長 1,200 mm）を用いた。スク

リュエ・プロファイルは前報²⁾と同様とした。

エクストルージョン・クッキングの条件は, 骨や皮を除去した魚肉を組織化した際の最適条件²⁾を採用した。すなわち, スクリュ回転数を 50 rpm, バレル 1, 2 および 3 における加熱温度を, それぞれ 150°C , 165°C および 170°C に設定し, ダイホルダー, ダイ 1 および 2 における加熱温度をそれぞれ 130°C , 120°C および 120°C , 原料供給量を約 13 kg/h とした。また, 得られた各種押し物は, 冷却後, 冷蔵庫（ 5°C ）に保管して後述の分析に供した。

本論文では, エクストルージョン・クッキングにより押し物に押し出し方向に沿った繊維構造を構築することを組織化, また押し出し方向に沿った繊維構造を有する押し物を組織化物と称する。

一般成分分析 エクストルージョン・クッキング原料および押し物について, 水分含量は常圧加熱乾燥法により 105°C で 24 時間加熱乾燥して測定した。タンパク質の定量はケルダール法を用いた。すなわち, 試料を QDS-20M 型クイックダイジェスター（三田村理研工業社製）にて濃硫酸存在下で分解した後, これを VS-KT-P 型自動式窒素/タンパク質迅速定量装置（三田村理研工業社製）に供して窒素量を定量し, この値に 6.25 を乗じて求めた。脂質量は Bligh と Dyer⁴⁾の方法によりクロロホルム-メタノールで抽出して定量した。灰分量は直接灰化法により試料を 550°C で 5 時間加熱乾燥して定量した。pH は試料に 9 倍量の蒸留水を加えてホモジナイズした後, その上清をガラス電極 pH メーター（HORIBA pH/ION METER F23 型）にて測定した。

色調測定 ND-1001DP 型測色色差計（日本電色工業株式会社）を用いて, 各試料 5 個について L^* , a^* , b^* （CIE1976）を測定した。測定結果は, 統計解析ソフトウェア EXCEL 統計 Ver. 4（株式会社エスミ）を用いて F 検定による等分散の有無について検定し, 等分散と見なせる場合については二標本 t 検定を, 見なせない場合には Welch の方法による t 検定を行い, 両測定値の差異を検討した。^{5,6)}

物性測定 各実験区の押し物から, $5\times 35\ \text{mm}$ の大きさに, 長辺が押し出し方向に平行とするブロックと, 押し出し方向に垂直とするブロックをそれぞれ 10 個ずつ切り出し, 前報²⁾と同様に押し出し方向に対して平行に破断する力（FL）と垂直に破断する力（FW）を, それぞれ測定した。測定結果の統計解析は, 色調測定と同様の方法を用いた。

押し出し物の繊維性の評価 前報²⁾において, 各種の繊維構造を持つ食品の FW と FL を測定した結果から, 測定試料が一定方向に明瞭な繊維性を有する構造であることを示す指標として $(FW-FL)/FL$ を提案した。この値は官能的に認識できる繊維構造の強さと一致してい

Table 1 Formula designs for fibrous texturization of extrudates from frozen powdery fish meat

Formula	Mixing ratio of materials			Moisture (%)
	SFM	BFM	SPC	
A	70	—	30	63.1
B	—	70	30	63.5

Frozen filleted or dressed chum salmon and skipjack tuna were pulverized with skin and bone at below -130°C to product frozen powdery fish meat. SFM, frozen powdery fish meat from chum salmon; BFM, frozen powdery fish meat from skipjack tuna; SPC, soy protein concentrate.

る。さらに、エクストルージョン・クッキングにおける押出し物において (FW-FL)/FL>1 となる関係があれば、明瞭な繊維構造が構築されていることを確認した。そこで本論文においても、同様の方法で押出し物の繊維性を評価した。

アミノ酸組成分析 試料 0.5 g をガラスアンプル管に精秤し、これに 6N 塩酸を 5 mL 加えて封管した後、110°C で 22 時間加熱して加水分解した。この加水分解物を蒸留水にて定容した後、その一部を 0.01N 塩酸で置換したものをセルロースアセテートフィルター (0.45 μ m) でろ過し、日立 L-8500 形アミノ酸自動分析計に供した。

脂肪酸組成分析 Prevot ら⁷⁾の方法に準じて全脂質の脂肪酸メチルエステルを調製した。すなわち、全脂質約 20 mg を共栓付ガラス円沈管に秤量し、これに 1 mL の *n*-ヘキサンを加えて溶解した後、0.2 mL の 2N 水酸化ナトリウム-メタノール溶液を加え、10 秒間振盪した。これを 50°C の湯浴で 20 秒間加温した後、放冷しながら 10 秒間さらに激しく振盪し、さらに 0.2 mL の 2N 塩酸-メタノール溶液を加えて振盪した後、遠心分離 (3000 rpm $\times$ 15 min) して上層 (*n*-ヘキサン) を重量既知のスピットグラスに分取した。次に、上層を回収したスピットグラスを 50°C の湯浴に入れ、窒素ガスを吹き付けながら *n*-ヘキサンを留去させ、脂肪酸メチルエステルを得た。この脂肪酸メチルエステルを *n*-ヘキサンにより 10% 濃度になるよう調製した後、その 0.8 μ L を島津ガスクロマトグラフ G-9AM (FID, CR-3A データ処理装置付) に供して脂肪酸組成を測定した。分析条件はガラスカラム (2 m $\times$ 3 mm i.d.), 充填剤: 10% DEGS (担体: Chromosorb W (AW-DMCS), 60/80 mesh) を用い、カラム温度 180°C, 注入口および検出器 (FID) 温度 230°C, 窒素: 30 mL/min, 水素: 50 mL/min, 空気: 500 mL/min で行った。

結 果

押出し物の一般成分と外観 本実験で用いた原材料 (SFM, BFM, SPC), それらから調製した配合原料 A, B, さらにこれらをエクストルージョン・クッキングして得られた押出し物 (EX-A, EX-B) について、それぞれの一般成分を Table 2 に示す。配合原料 A, B の水分は、それぞれ 63.1% および 63.5% であったが、これらの値は、高温処理を経たにもかかわらずエクストルージョン・クッキングの前後でほとんど変化しなかった。さらに、配合原料と押出し物におけるタンパク質、脂質および灰分の各含量を比較してもエクストルージョン・クッキング前後のそれらの値に変化はみられなかった。一方、赤身魚肉を主成分とする BFM の pH は、SFM よりも低値であり、配合原料 A, B においてもこの差が

Table 2 Proximate composition and pH of fish meat extrudates obtained from formulas A and B

Materials/ Extrudates	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)	pH
SFM	77.7	16.9	3.6	1.8	6.59
BFM	73.1	21.6	3.2	2.1	5.80
SPC	5.8	68.5	0.3	6.1	6.86
Before extruding					
Formula A	63.1	26.7	2.1	2.8	6.78
Formula B	63.5	29.3	1.5	2.5	6.26
Extrudates					
EX-A	62.3	28.2	1.5	2.8	6.78
EX-B	62.4	29.8	1.1	2.6	6.30

Formulas A and B were shown in Table 1. SFM, frozen powdery meat of chum salmon; BFM, frozen powdery meat of skipjack tuna; SPC, soy protein concentrate. EX-A and EX-B, extrudates from formulas A and B, respectively. The extruding condition was as follows: the screw speed was 50 rpm and the temperature of the barrel-1, barrel-2, barrel-3, die holder, die-1, and die-2 were 150°C, 165°C, 170°C, 130°C, 120°C, and 120°C, respectively. Feed rate was about 13 kg/h.

Fig. 1 The extrudates obtained from frozen powdery fish meats. EX-A and EX-B were extrudates from formulas A and B as shown in Table 1, respectively. The extruding condition was shown in Table 2.

Fig. 2 Color L*, a*, and b* values of extrudates from frozen powdery fish meats. EX-A and EX-B were the extrudates from formulas A and B as described in Table 1, respectively. The error bars indicate the standard deviation ($n=5$). The double asterisks on the tops of columns are significantly different ($p < 0.01$) between EX-A and EX-B in each color value by the t test.

反映されていた。そして、エクストルージョン・クッキング工程を経ても、これらの pH は全く変化しなかった。

得られた押し出し物 EX-A および EX-B の外観を Fig. 1 に示す。いずれも前述したエクストルージョン・クッキング条件下で、ベルト状に安定して連続的に押し出された。外観を比較すると、SFM を原料とする EX-A は褐色に近いものであったが、BFM を原料とする EX-B はとび色であり、SFM を原料とする EX-A よりも褐色度合いが強く感じられた。次に、これら押し出し物の L*, a*, および b* を測定したところ (Fig. 2), 両者の間に有意な差異が認められた ($p < 0.01$)。EX-B では EX-A より L* が低く, a* および b* が高い値を示したことから, EX-B は 4EX-A よりも明るさが低く, 赤および黄方向

Table 3 Amino acid compositions of formulas and extrudates from frozen powdery fish meat

Materials/ Extrudates	Chum salmon		Skipjack tuna	
	Formula A	EX-A	Formula B	EX-B
Amino acids (mg/100 g)				
Leucine	2118	2033	2034	2087
Lysine	1897	1891	2009	1908
Valine	1396	1324	1273	1280
Phenylalanine	1293	1243	1340	1455
Isoleucine	1263	1228	1190	1197
Threonine	1178	1090	1115	1107
Histidine	627	625	1640	1206
Methionine	612	420	335	340
Glutamic acid	4514	4367	4298	4297
Aspartic acid	2533	2424	2779	2764
Arginine	1820	1805	1690	1662
Alanine	1470	1364	1310	1332
Glycine	1460	1424	1238	1240
Proline	1377	1321	1246	1127
Serine	1313	1251	1208	1197
Tyrosine	1010	978	635	735
1-Methy histidine	368	365	ND	ND
Cystine	317	341	302	288
β -alanine	142	119	ND	ND
Taurine	93	67	80	80
Total	26801	25681	25749	25302

ND, not detected; Formulas A and B were shown in Table 1, respectively. EX-A and EX-B were extrudates obtained from Formulas A and B, respectively.

に近づく結果となった。

押し出し物の物性 Fig. 1 に示した押し出し物は、いずれも押し出し方向に沿って裂けやすい特性を有していた。そこで押し出し物の物性測定をおこない、その結果を Fig. 3 に示す。これによると EX-A と EX-B のいずれにおいても、FW は常に FL より大きな値を示し、両者の間には有意な差が認められた ($p < 0.01$)。そして、各試料について (FW-FL)/FL を検討したところ、いずれの押し出し物とも 2.0 を上回る結果となった。

エクストルージョン・クッキングによる魚肉アミノ酸組成の変化 魚肉タンパク質の栄養価におよぼすエクストルージョン・クッキングの影響を検討した。Table 3 に混合原料とそれらから得た押し出し物の全アミノ酸組成を示す。これによると、いずれの試料においてもグルタミン酸が最も含まれており、次いでアスパラギン酸、ロイシン、リジン、アルギニンの順で含有量が高かった。そして、必須アミノ酸含量はヒスチジンがカツオでシロサケの約 2 倍多く含まれ、逆にメチオニンがカツオでシロサケの約 1/2 であることを除けば、両魚種ともほぼ類似した値を示していた。一方、シロサケ筋肉を主成

Table 4 Fatty acid compositions of total lipid extracted from formulas and extrudates from frozen powdery fish meat

Materials/ Extrudates	Chum salmon		Skipjack tuna	
	Formula A	EX-A	Formula B	EX-B
Fatty acids (area%)				
12 : 0	0.3	0.2	0.1	0.1
14 : 0	5.6	5.1	4.7	4.4
15 : 0	0.6	0.5	1.4	1.4
16 : 0	11.2	11.2	27.1	26.2
18 : 0	4.3	4.4	6.3	6.5
20 : 0	0.4	0.4	0.3	0.2
22 : 0	tr	tr	tr	tr
16 : 1	8.3	7.8	8.7	8.4
18 : 1	22.4	22.7	23.0	21.8
24 : 1	1.0	0.9	0.6	0.7
18 : 2	2.8	3.5	4.4	4.2
18 : 3+20 : 1	11.9	11.1	2.6	2.4
20 : 2	1.4	1.3	0.9	0.9
20 : 4+22 : 1	9.5	8.0	2.5	2.4
20 : 5	7.0	7.0	4.6	5.8
22 : 2	0.9	0.8	0.2	0.3
22 : 5	3.5	3.2	0.5	0.5
22 : 6	8.7	11.9	12.1	13.8
Σ sat	22.6	21.8	39.9	38.8
Σ unsat	77.4	78.2	60.1	61.2
Σ sat/ Σ unsat	0.29	0.28	0.66	0.63

tr, trace (<0.05%); Formulas A and B were shown in Table 1, respectively. EX-A and EX-B were extrudates obtained from Formulas A and B, respectively.

分とする配合原料 A と EX-A では、アンセリンの加水分解物である β -アラニンと 1-メチルヒスチジンが認められたが、配合原料 B と EX-B ではこれらのアミノ酸は検出されなかった。

全脂質の脂肪酸組成 Table 4 に各配合およびそれらから得られた押出し物について、全脂質の脂肪酸組成測定結果を示す。まず SFM を配合した配合原料 A では 18 : 1 が最も多い成分であり、次いで 16 : 0, 16 : 1, 20 : 5 および 22 : 6 が比較的多い成分であった。この傾向は EX-A でも同様であったが、22 : 6 が 11.9% と配合原料 A のそれより 3.2% 高い値を示した。BFM を配合した配合原料 B およびその押出し物である EX-B では、16 : 0 が最も多く含有されており、他の主要構成成分は 18 : 1, 22 : 6, 16 : 1, 18 : 2, 18 : 0, 20 : 5 であった。

考 察

本研究では魚肉にしばしば含まれる夾雑物（鱗、骨、皮）が魚肉の組織化物形成とその品質に及ぼす影響を検討し、さらにエクストルージョン・クッキングにおける

Fig. 3 Fracture strength of fish meat extrudates. EX-A and EX-B are the extrudates obtained from formulas A and B shown in Table 1, respectively. The error bars indicate the standard deviation ($n = 10$). The double asterisks on the tops of columns are significantly different ($p < 0.01$) between FW and FL in each extrudate by the t test. FW, widthwise fracture strength; FL, lengthwise fracture strength.

各種栄養成分の変化を明らかにした。まず、最大加熱温度 170°C で得られた押出し物 EX-A および EX-B について、それらの水分量、タンパク質量、脂質量、灰分量および pH を検討したところ、これらの値はエクストルージョン・クッキングにより高温処理されたにもかかわらず、各配合原料のそれらの値とほぼ同様であった (Table 2)。この理由は、エクストルージョン・クッキングが閉鎖構造をもつ装置内部で連続的におこなわれ、また、押出し物が室温まで冷却後に回収されたことによると考えられる。各押出し物の外観は色調測定の結果から、EX-B は EX-A より暗く、褐色の度合いが強いと判断した (Fig. 2) が、この結果は肉眼による色調の観察結果と一致するものであった。EX-B において褐色の度合いが強くなった原因としては、原料としたカツオ普通肉に含まれる色素や、一尾当たりの血合肉がシロサケよりも多量に含まれていることによるとと思われる。また、図には示さないが、これら押出し物の表面および断面には、表皮や骨に由来する夾雑物は観察されず、それらの一部を咀嚼しても舌触りはなめらかであった。既に述べたように本研究で用いた原料では、押出し物が連続的に製造できるので、これらの夾雑物は押出し物の品質には影響を及ぼさないと判断した。

押出し物 EX-A と EX-B が押出し方向に沿った繊維構造を有する組織化物であることは、(FW-FL)/FL の値が 2.0 を上回り (Fig. 3)、前報²⁾で報告した市販のストリング・チーズやかに脚かまぼこでの値と近似していることや、²⁾ 押出し物を手で裂くことによって観察された「押出し方向に裂けやすい」という特性から明らかである。なお、凍結粉碎肉の加熱ゲル物性は、ジュール加熱、⁸⁾ マイクロ波・遠赤外線、⁹⁾ 超高压処理¹⁰⁾などを利用

すると改善できることが知られている。しかし, これらの方法で得られたゲルは構造が均質であり, 「特定方向に裂けやすい」という性質は報告されていない。⁸⁻¹⁰⁾したがって, エクストルージョン・クッキングの活用は, 凍結粉碎肉の新しい利用形態の開発に貢献できる。

五十部, 野口¹¹⁾は醸造用脱脂大豆粉を加熱温度 150°C で繰り返してエクストルージョン・クッキングしても, アミノ酸の損失がほとんどないことを報告している。本研究で得たいずれの魚肉押出し物の場合も, エクストルージョン・クッキングによるアミノ酸分解や重合で生じる未知成分は観察されなかった (Table 3)。また, エクストルージョン・クッキングによって起きる構成アミノ酸の変化を検討したところ, メチオニンおよび β -アラニン (シロサケ), ヒスチジン (カツオ) およびタウリン (両魚種) で 10% を越える減少がそれぞれ観察された。しかし, どちらの魚種においても, 上記 4 種類のアミノ酸以外では顕著な変化は観察されず, その結果, エクストルージョン・クッキングによる全アミノ酸総量の減少量率はシロサケで 4.2%, カツオで 1.7% とほとんど変化しないか変化量がわずかであった。それゆえ, 魚肉のエクストルージョン・クッキング過程におけるアミノ酸の損失は, 栄養価にほとんど影響を及ぼさないと推測した。

横川¹²⁾や岸部¹³⁾によると, 魚肉中の脂肪酸組成は通常の加熱調理 (直接加熱や焙焼) によって変化し, 特に 20:5 と 22:6 が損失した。これに対して, 鈴木¹⁴⁾は, プナサケ魚肉のエクストルージョン・クッキング (最終バレル加熱温度 160°C) では脂肪酸組成が変化しないことを報告している。本研究においても, 魚肉押出し物の脂肪酸組成や, 飽和脂肪酸総量と不飽和脂肪酸総量およびそれら総量の比を検討した (Table 4) が, 原料との間に顕著な差異を認めなかったため, エクストルージョン・クッキングは, 魚肉全脂質の脂肪酸組成には大きな変化を与えないと推測した。これはエクストルージョン・クッキングが外気と遮断された密閉装置内で行われること, 魚肉の組織化温度が 170°C 程度と比較的低温であること, さらに処理時間が 5 分程度と短時間で加熱後に冷却されながら押し出されたことなどが原因と思われる。

結 論

本論文の結果, 凍結粉碎肉とエクストルーダーを用い

ることによって未低利用部位である魚の皮や骨を有効に食材化できることが明らかとなり, さらに同処理による原料栄養価の損失が極めて少ないことが判明した。さらに, エクストルージョン・クッキングが魚肉の栄養成分にほとんど影響を及ぼさない加工方法であることが確認できた。

文 献

- 1) 豊田恭平, 宮川 寿, 木村郁夫, 藤田孝夫. 魚肉の微細化技術. 「魚肉の栄養成分とその利用」(竹内昌昭編) 恒星社厚生閣, 東京. 1990; 79-87.
- 2) 北川雅彦, 飯田訓之, 佐伯宏樹. 2 軸型エクストルーダーを用いたスケトウダラすり身の組織化. 日水誌 2007; **73**: 905-915.
- 3) 藤田孝夫. 組織化技術開発における量産システム及び装置開発. 昭和 59 年度魚介類有効栄養成分利用技術研究成果の概要. 水産庁研究部研究課, 東京. 1985; 356-374.
- 4) Bligh EG, Dyer WJ. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 1959; **37**: 911-917.
- 5) 市原清志. 「バイオサイエンスの統計学」南江堂, 東京. 1990; 72-100.
- 6) 菅 民郎. 「EXCEL 統計のための統計分析の本」株式会社エスミ, 東京. 2006; 144-173.
- 7) Prevot, AF, Mordret, FX. Utilisation des colonnes capillaires de verre pour l'analyse des corp gras par chromatographie en phase gazeuse. *Rev. Fse. Corps. Gras.* 1976; **23**: 409-423.
- 8) 柴 真, 石内幸典, 衣巻豊輔. 組織化技術開発における量産システム及び装置開発. 昭和 62 年度魚介類有効栄養成分利用技術研究成果の概要, 水産庁研究部研究課, 東京. 1988; 1010-1019.
- 9) 藤田孝夫. 組織化技術開発における量産システム及び装置開発. 昭和 60 年度魚介類有効栄養成分利用技術研究成果の概要, 水産庁研究部研究課, 東京. 1986; 603-619.
- 10) 藤田孝夫, 豊田恭平, 宮川 寿, 木村郁夫. 組織化技術開発における量産システム及び装置開発. 昭和 63 年度魚介類有効栄養成分利用技術研究成果の概要, 水産庁研究部研究課, 東京. 1989; 439-462.
- 11) 五十部誠一郎, 野口明徳. 二軸エクストルーダーによる食品素材の製造. 日食工誌 1987; **34**: 456-461.
- 12) 横川洋子. イワシの調理における脂質劣化の動向. 調理科学 1989; **22**: 223-227.
- 13) 岸部公子, 白井千織, 中澤輝郎. イワシ中のエイコサペンタエン酸およびドコサヘキサエン酸含量に対する加工及び調理の影響. 調理科学 1986; **19**: 52-56.
- 14) Suzuki H, Chung B, Isobe S, Hayakawa S, Wada S. Changes in ω -3 polyunsaturated fatty acids in the chum salmon muscle during spawning migration and extrusion cooking. *J. Food. Sci.* 1988; **53**: 1659-1661.