水産缶詰･レトルト食品の栄養成分残存率に及ぼす製造条件の影響

宮部　好克※1・落合　瞳子

Effect of processing conditions on the residual ratio of nutritional components in canned and retort fish products

Yoshikatsu MIYABE and Toko OCHIAI

キーワード: 水産加工食品 (Processed fish product), 脂肪酸 (fatty acid), ミネラル(mineral), 直交表 (Orthogonal table), 分散分析 (Analysis of variance)

缶詰･レトルト食品は密封容器に充填した食材を加圧加熱殺菌して滅菌することから、長期間の常温保存が可能である。東日本大震災後、保存食･非常食の重要性に関心が寄せられるようになり、缶詰･びん詰･レトルト食品の消費が増加した。[1)] 加えて、日本全国における新型コロナウイルス感染症拡大に伴い、自宅療養時の食品不足に備え、体調不良時に簡便に食べられる保存食･非常食の備蓄が東京都などの自治体において勧められていることから [2–3)]、保存食･非常食の重要性が再認識されている。一方、加圧加熱殺菌された缶詰･レトルト食品は、そのまま、あるいは温めるだけで食べることができ、様々な種類の商品が発売されている。消費者の「簡便性志向」は長期的にみると右肩上がりに推移していることから [4)]、簡便に食べることができる調理食品の消費拡大が見込まれている。[5)] 缶詰･レトルト食品は「保存性」と「簡便性」を有していることから、上述の社会的需要を満たした加工食品として、さらなる商品開発が期待される。

2021 年 12 月に開催された東京栄養サミットにおいて、健康的な食事に貢献する栄養価の高い食品へのアクセスを改善する行動の重要性が確認された。[6)] このような社会情勢の中で、健康的な食事に貢献する栄養価の高い食品として魚類が挙げられる。魚類には高度不飽和脂肪酸 (EPA: エイコサペンタエン酸、DHA: ドコサヘキサエン酸) をはじめとする多様な機能性成分 [7)]、必須ミネラル (Na: ナトリウム、Mg: マグネシウム) などの栄養成分が含まれている。[8)] さらに、魚類に含まれる EPA･DHA を多く摂取する人ほど脳卒中と心臓病による死亡リスクが低くなるなど、健康機能に関する種々の研究結果があることから [9–12)]、魚類を食べることは我々の健康維持に役立つと期待できる。しかし、日本における食用魚介類の消費量は減少傾向にあり、その理由の一つとして「調理の手間」が挙げられている。[7)] そのため、消費者の魚類へのアクセスを改善するためには、魚類を簡便に食べられる水産加工品の開発が必要である。

水産缶詰･レトルト食品は「保存性」、「簡便性」、「健康性」を備えた食品である。水産缶詰･レトルト食品から種々の栄養成分を効率よく摂取するには、製造後に消費者が購入して消費するまでの保蔵期間を経ても、それらが十分に残存していることが重要である。しかし、水産缶詰･レトルト食品については、加工による魚肉の栄養成分量の変化に関する先行研究が少なかったことから [13)]、著者らは既報 [14)] において、水産缶詰･レトルト食品における魚肉の EPA･DHA に着目し、製造工程における種々の要因がそれらの残存率に及ぼす影響について、直交表を用いた実験計画法により検討した。その結果、マサバおよびアイナメを使用

※1 現在、青森県産業技術センター農産物加工研究所

した缶詰の製造では、魚肉のEPA・DHA残存率は使用する原料魚と殺菌時の加熱時間に影響を受けること、マイワシを使用したレトルト食品の製造では、魚肉のEPA・DHA残存率は使用する調味液に影響を受けることを明らかにした。これらの結果から著者らは、水産缶詰・レトルト食品において、魚肉におけるEPA・DHA以外の栄養成分の品質評価についても、直交表を用いた実験計画法を応用できる可能性を見出した。

そこで本研究では、青森県沖で漁獲されたマサバ、マイワシおよびアイナメを用いた水産缶詰・レトルト食品の製造において、製造工程における種々の要因が魚肉の脂肪酸(EPA、DHA)およびミネラル(Na、Mg)の残存率に及ぼす影響を把握することを目的として、直交表を用いた実験計画法に従って検討した。

試験方法

１．原料魚

マサバは2020年10月に青森県八戸市沖で水揚げされたもの、マイワシは同年6月に同県八戸市沖で水揚げされたもの、アイナメは同年6月に同県階上町沖で水揚げされたものを使用した。原料魚は入手後、直ちに−30℃で冷凍した後、0–1℃の水道水中に2–3秒間浸漬してグレーズ処理し、−30℃で保存した。

２．調味液の調製

水産缶詰・レトルト食品に充填する調味液として、既報[14]を参考に5%食塩水、味噌調味液、サラダ油を使用することとした。5%食塩水は、水100.0 gに対し、食塩(お塩、シジシージャパン、東京)5.0 gを添加して調製した。味噌調味液は、水100.0 gに対し、白味噌(特撰津軽味噌白、ワダカン、青森)10.0 g、食塩(同上)3.0 g、上白糖(上白糖、三井製糖、東京)3.0 g、グルタミン酸ナトリウム(L-グルタミン酸ナトリウム、ショクテン、宮城)0.3 gを添加して調製した。サラダ油は市販のもの(大豆油たっぷりサラダ油、J-オイルミルズ、東京)を使用した。

３．水産缶詰･レトルト食品の製造

既報[14]の水産缶詰の製造法と同様に原料魚を処理し、使用する魚肉を調製した。調製した魚肉84.0 gおよび調味液26.0 gを、透明パウチ(EACF-1420、カウパック、愛知)に充填して小型真空ガス包装機(FVCII-G、古川製作所、広島)で窒素充填包装、透明パウチ(同上)に充填して小型真空ガス包装機(同上)で真空包装、または平3号缶(MB1-HIRA3canK、シロ産業、大阪)に充填して真空巻締機(M-2、東洋製罐、東京)で減圧密封した後(以下、これらの包装条件をそれぞれ「窒素・透明パウチ」、「真空・透明パウチ」、「真空・缶詰」と称す)、高温高圧調理殺菌装置Flavor Aceシャワー式(RCS-40SPXTG-FAM、日阪製作所、東京)を使用して120℃で30分間殺菌を行った。本実験の要因となる水産缶詰・レトルト食品の包装条件、原料魚、調味液を各3水準とし(表1)、後述する直交表による実験計画に従って各水産缶詰・レトルト食品を製造した。製造した水産缶詰・レトルト食品を90日間、室温で暗所に保存した後、魚肉を取り出して調味液を除去し、殺菌後の魚肉として各種測定に供した。殺菌前の魚肉は、既報[14]の水産缶詰の製造と同様の方法で採取した後、各種測定に供するまで−30℃で冷凍保存した。

表1　要因と水準

記号	要因	水準1	水準2	水準3
A	包装条件	窒素･透明パウチ	真空･透明パウチ	真空･缶詰
B	原料魚	マサバ	マイワシ	アイナメ
C	調味液	5%食塩水	味噌調味液	サラダ油

４．直交表による実験計画

本研究では水産缶詰･レトルト食品の包装条件、原料魚、調味液が実験結果に影響を与える要因であると仮定した。これらの要因およびそれらの水準は、既報[14]で得られた結果をもとに、水産缶詰･レトルト食品における魚肉の各種成分残存率に影響を及ぼすと考えられるものを選択した。要因および誤差要因を表 2 のように $L_9(3^4)$ 型直交表[15]に割付けた。表 2 の誤差要因を除く各要因を割付けた列の水準数を、表 3 のように水準名に置換し、各行を試験区 (9 試験区) とした。各試験区の実験は完全無作為化法に従って 3 回反復した。各実験 (27 実験) に対し、Excel for Mac バージョン 16.47.1 (Microsoft、Redmond、Washington、USA) を用いて乱数を割当てた後、乱数の昇順で実験を行った。

表2　L9直交表への要因割付

No. ＼ 列	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1
本実験の要因	A	B	C	e

e: 誤差要因

表3　実験計画

No.	要因と水準		
	包装条件	原料魚	調味液
1	窒素･透明パウチ	マサバ	5%食塩水
2	窒素･透明パウチ	マイワシ	味噌調味液
3	窒素･透明パウチ	アイナメ	サラダ油
4	真空･透明パウチ	マサバ	味噌調味液
5	真空･透明パウチ	マイワシ	サラダ油
6	真空･透明パウチ	アイナメ	5%食塩水
7	真空･缶詰	マサバ	サラダ油
8	真空･缶詰	マイワシ	5%食塩水
9	真空･缶詰	アイナメ	味噌調味液

５．各種成分の測定

(１)　一般成分

殺菌前後の魚肉の一般成分として水分量および脂質量を測定した。水分量は常圧加熱乾燥法[16]により、脂質量は Folch 法[17]により測定した。

(２)　脂肪酸量

殺菌前後の魚肉の EPA 量および DHA 量は、Folch 法[17]で抽出した脂質に内部標準物質を加えて 2 mol/L 水酸化ナトリウム-メタノール (関東化学、東京) でケン化後、得られた脂肪酸を三ふっ化ほう素メタノール試薬 (富士フイルム和光純薬、大阪) でメチルエステル化してガスクロマトグラフ装置 (GC-2014、島津製作所、京都) に供して測定した。カラムは 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm の Omegawax 250 キャピラリーカラム (Supelco、Bellfote、Pennsylvania、USA) を用いた。注入口温度 250℃、FID 検出器温度 260℃で、キャリアーガスはヘリウムを用いた。カラム温度は初期温度 50℃で 2 分間保持した後、4℃/分で 220℃まで昇温して 15 分間保持させた。内部標準物質にはトリコサン酸 (ナカライテスク、京都) を用いた。EPA･DHA 標準品 (ナカライテスク、京都) を上記と同様に処理して測定し、得られた検量線を用いて内部標準法により各脂肪酸量を定量した。

(３)　ミネラル量

殺菌前後の魚肉の Na 量および Mg 量は、希酸抽出法[16]で抽出したミネラルを原子吸光分析装置 (PinAAcle 900F、パーキンエルマージャパン、千葉) に供して測定した。1,000 ppm Na･Mg 標準液 (富士フイルム和光純薬、大阪) を 1%塩酸で希釈して上記と同様に測定し、得られた検量線を用いて各ミネラ

ル量を定量した。

６．重量変化率および各種成分の残存率

魚肉の重量変化率および各種成分の残存率は次式により算出した。

重量変化率 (%) ＝ 殺菌後の魚肉重量 (g)／容器充填時の魚肉重量 (g) × 100

成分残存率 (%) ＝ 殺菌後の魚肉の成分量 (g)／殺菌前の魚肉の成分量 (g) × 100

７．統計解析

統計解析はExcel for Mac バージョン16.47.1 (同上) を用いた分散分析により行い、有意水準は$p < 0.05$、$p < 0.01$ および $p < 0.001$ とした。各要因における水準毎の測定値 (n = 9) は要因効果の推定法[18]に従い平均値 ±95%信頼区間として求めた。

結　果

１．重量変化率

魚類の缶詰･レトルト食品の製造工程における諸要因が殺菌前後の魚肉の重量変化率に及ぼす影響を検討した。その結果、表 4 に示すように、原料魚 ($p < 0.001$)、調味液 ($p < 0.05$) で有意差が認められ、寄与率はそれぞれ44%および13%であった。有意差が認められた原料魚および調味液について、それらが魚肉の重量変化率に及ぼす影響を図 1 に示す。原料魚がマサバ (B1: 85.8 ± 3.0%) の場合の重量変化率は、マイワシ (B2: 78.9 ± 3.0%) およびアイナメ (B3: 74.4 ± 3.0%) の場合に比べて高かった。調味液が味噌調味液 (C2: 82.8 ± 3.0%) の場合の重量変化率は、5%食塩水 (C1: 80.1 ± 3.0%) およびサラダ油 (C3: 76.2 ± 3.0%) の場合に比べて高かった。

表4　重量変化率の分散分析表 (n = 27)

	平方和	自由度	p値	判定	寄与率
A　包装条件	110	2	0.070		6
B　原料魚	597	2	< 0.001	***	44
C　調味液	202	2	0.012	*	13
誤差	361	20	0.101		37

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

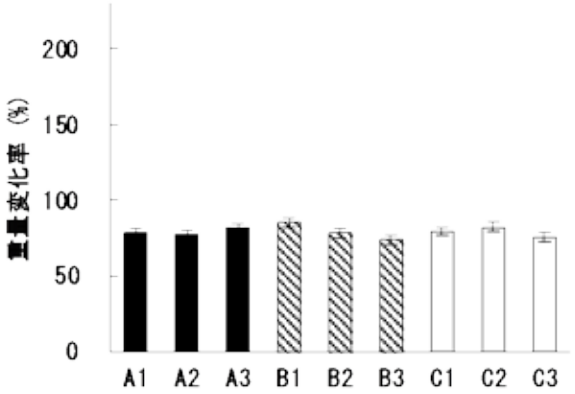


図1 重量変化率における要因効果図
■: 包装条件、▨: 魚種、□: 調味液
A1: 窒素･透明パウチ、A2: 真空･透明パウチ、A3: 真空･缶詰、B1: マサバ、B2: マイワシ、B3: アイナメ、C1: 5%食塩水、C2: 味噌調味液、C3: サラダ油
エラーバーは平均値 ± 95%信頼区間を示す (n = 27)。

２．一般成分 (水分、脂質)

魚類の缶詰･レトルト食品の製造工程における諸要因が殺菌前後の魚肉の水分残存率に及ぼす影響を検討した。その結果、表 5a に示すように、包装条件 ($p < 0.05$)、原料魚 ($p < 0.001$) および調味液 ($p < 0.001$) で有意差が認められ、寄与率はそれぞれ5%、39%および 29%であった。有意差が認められた包装条件、原料魚および調味液について、それらが魚肉の水分残存率に及ぼす影響を図 2a に示す。包装条件が窒素･透明パウチ (A1: 82.7 ± 3.8%) の場合の水分残存率は、真空･缶詰 (A3: 81.9 ± 3.8%) および真空･透明パウチ (A2: 76.4 ± 3.8%) の場合に比べて高かった。原料魚がマサバ (B1: 87.3 ± 3.8%) の場合の水分残存率は、マイワシ (B2: 82.1 ± 3.8%) およびアイナメ (B3: 71.6 ± 3.8%) の場合に比べて高かった。調味液が 5%食塩水 (C1: 85.2 ± 3.8%) の場合の水分残存率は、味噌調味液 (C2: 83.5 ± 3.8%) およびサラダ油 (C3: 72.2 ± 3.8%) の場合に比べて高かった。

魚類の缶詰･レトルト食品の製造工程における諸要因が殺菌前後の魚肉の脂質残存率に及ぼす影響を検討した。その結果、表 5b に示すように、包装条件 ($p < 0.05$)、原料魚 ($p < 0.001$)、誤差 ($p < 0.01$) で有意差が認められ、寄与率はそれぞれ 15%、38%および 40%であった。有意差が認められた包装条件および原料魚について、それらが魚肉の脂質残存率に及ぼす影響を図 2b に示す。包装条件が真空･缶詰 (A3: 106.0 ± 11.0%) の場合の脂質残存率は、窒素･透明パウチ (A1: 100.2 ± 11.0%) および真空･透明パウチ (A2: 81.6 ± 11.0%) の場合に比べて高かった。原料魚がマサバ (B1: 110.4 ± 11.0%) の場合の脂質残存率は、アイナメ (B3: 103.7 ± 11.0%) およびマイワシ (B2: 73.7 ± 11.0%) の場合に比べて高かった。

表5　一般成分残存率（水分、脂質）の分散分析表

a)　水分残存率（n=27）

	平方和	自由度	p値	判定	寄与率
A　包装条件	206	2	0.049	*	5
B　原料魚	1,157	2	< 0.001	***	39
C　調味液	894	2	< 0.001	***	29
誤差	587	20	0.332		27

b)　脂質残存率（n=27）

	平方和	自由度	p値	判定	寄与率
A　包装条件	2,928	2	0.010	*	15
B　原料魚	6,856	2	< 0.001	***	38
C　調味液	1,684	2	0.056		7
誤差	5,043	20	0.007	**	40

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

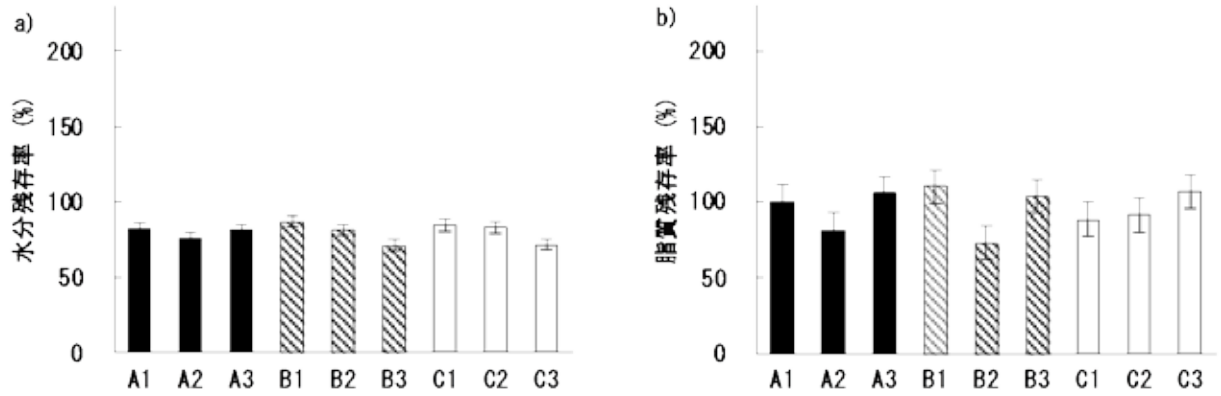


図2 一般成分残存率（水分、脂質）における要因効果図

a) 水分残存率、b) 脂質残存率

■: 包装条件、▨: 魚種、□: 調味液

A1: 窒素･透明パウチ、A2: 真空･透明パウチ、A3: 真空･缶詰、B1: マサバ、B2: マイワシ、B3: アイナメ、C1: 5%食塩水、C2: 味噌調味液、C3: サラダ油

エラーバーは平均値 ± 95%信頼区間を示す (n = 27)。

３．脂肪酸 (EPA、DHA)

魚の缶詰･レトルト食品の製造工程における諸要因が殺菌前後の魚肉の EPA 残存率に及ぼす影響を検討した。その結果、表 6a に示すように、包装条件 ($p < 0.05$)、原料魚 ($p < 0.001$) および調味液 ($p < 0.05$) で有意差が認められ、寄与率はそれぞれ 12%、35%および 12%であった。有意差が認められた包装条件、原料魚および調味液について、それらが魚肉の EPA 残存率に及ぼす影響を図 3a に示す。包装条件が真空･缶詰 (A3: 90.2 ± 7.9%) の場合の EPA 残存率は、窒素･透明パウチ (A1: 84.7 ± 7.9%) および真空･透明パウチ (A2: 74.2 ± 7.9%) の場合に比べて高かった。原料魚がマサバ (B1: 97.0 ± 3.8%) の場合の EPA 残存率は、アイナメ (B3: 80.9 ± 7.9%) およびマイワシ (B2: 71.3 ± 7.9%) の場合に比べて高かった。調味液が味噌調味液 (C2: 89.7 ± 7.9%) の場合の EPA 残存率は、5%食塩水 (C1: 85.4 ± 7.9%) およびサラダ油 (C3: 74.0 ± 7.9%) の場合に比べて高かった。

次に、魚類の缶詰･レトルト食品の製造工程における諸要因が殺菌前後の魚肉の DHA 残存率に及ぼす影響を検討した。その結果、表 6b に示すように、原料魚 ($p < 0.01$) 及び誤差 ($p < 0.05$) で有意差が認め

られ、寄与率はそれぞれ 25%および 56%であった。有意差が認められた原料魚について、それが魚肉の DHA 残存率に及ぼす影響を図 3b に示す。原料魚がマサバ (B1: 104.4 ± 9.5%) の場合の DHA 残存率は、アイナメ (B3: 85.4 ± 9.5%) およびマイワシ (B2: 82.3 ± 9.5%) の場合に比べて高かった。

表6 脂肪酸残存率 (EPA、DHA) の分散分析表

a) EPA残存率 (n=27)

	平方和	自由度	p値	判定	寄与率
A 包装条件	1,192	2	0.023	*	12
B 原料魚	3,031	2	< 0.001	***	35
C 調味液	1,195	2	0.022	*	12
誤差	2,588	20	0.089		42

b) DHA残存率 (n=27)

	平方和	自由度	p値	判定	寄与率
A 包装条件	1,102	2	0.076		8
B 原料魚	2,590	2	0.005	**	25
C 調味液	1,308	2	0.050		11
誤差	3,746	20	0.049	*	56

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

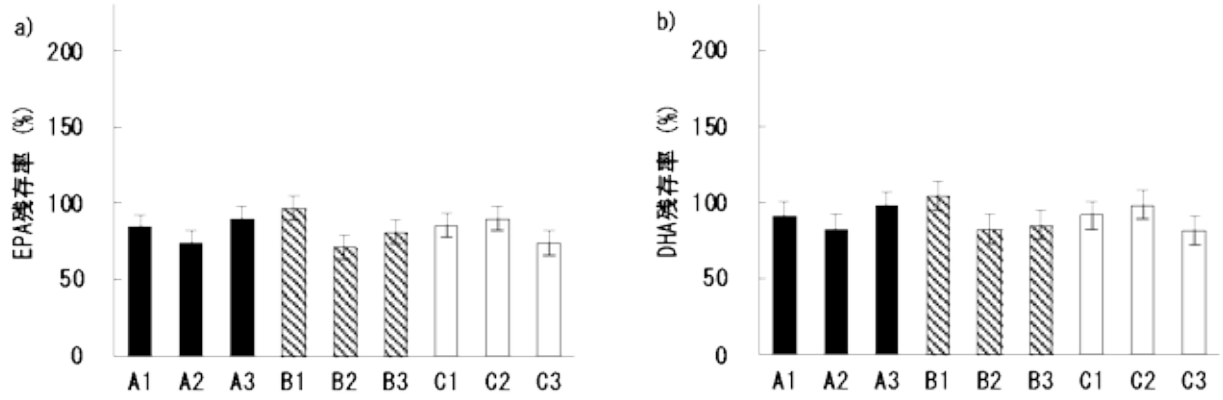


図3 脂肪酸残存率 (EPA、DHA) における要因効果図
a) EPA残存率、b) DHA残存率
■: 包装条件、▨: 魚種、□: 調味液
A1: 窒素・透明パウチ、A2: 真空・透明パウチ、A3: 真空・缶詰、B1: マサバ、B2: マイワシ、B3: アイナメ、C1: 5%食塩水、C2: 味噌調味液、C3: サラダ油
エラーバーは平均値 ± 95%信頼区間を示す (n = 27)。

4．ミネラル (Na、Mg)

魚の缶詰・レトルト食品の製造工程における諸要因が殺菌前後の魚肉の Na 残存率に及ぼす影響を検討した。その結果、表 7a に示すように、包装条件 ($p < 0.01$)、原料魚 ($p < 0.001$)、調味液 ($p < 0.001$) および誤差 ($p < 0.01$) で有意差が認められ、寄与率はそれぞれ 5%、13%および 68%であった。有意差が認められた包装条件、原料魚および調味液について、それらが魚肉の Na 残存率に及ぼす影響を図 4a に示す。包装条件が窒素・透明パウチ (A1: 173.6 ± 17.8%) の場合の Na 残存率は、真空・透明パウチ (A2: 142.5 ± 17.8%) および真空・缶詰 (A3: 135.1 ± 17.8%) の場合に比べて高かった。原料魚がマサバ (B1: 185.0 ± 17.8%) の場合の Na 残存率は、マイワシ (B2: 142.1 ± 17.8%) およびアイナメ (B3: 124.1 ± 17.8%) の場合に比べて高かった。調味液が 5%食塩水 (C1: 205.0 ± 17.8%) の場合の Na 残存率は、味噌調味液 (C2: 173.0 ± 17.8%) およびサラダ油 (C3: 73.3 ± 17.8%) の場合に比べて高かった。

次に、魚の缶詰・レトルト食品の製造工程における諸要因が殺菌前後の魚肉の Mg 残存率に及ぼす影響を検討した。その結果、表 7b に示すように、調味液 ($p < 0.05$) で有意差が認められ、寄与率は 28%であった。有意差が認められた調味液について、それが魚肉の Mg 残存率に及ぼす影響を図 4b に示す。調味液がサラダ油 (C3: 81.1 ± 5.9%) の場合の Mg 残存率は、味噌調味液 (C2: 72.7 ± 5.9%) および 5%食塩水 (C1: 67.7 ± 5.9%) の場合に比べて高かった。

表7　ミネラル残存率（Na、Mg）の分散分析表

a)　Na残存率（n=27）

	平方和	自由度	p値	判定	寄与率
A　包装条件	7,487	2	0.011	*	5
B　原料魚	17,620	2	< 0.001	***	13
C　調味液	84,884	2	< 0.001	***	68
誤差	13,053	20	0.001	**	14

b)　Mg残存率（n=27）

	平方和	自由度	p値	判定	寄与率
A　包装条件	27	2	0.833		0
B　原料魚	116	2	0.463		0
C　調味液	830	2	0.011	*	28
誤差	1,447	20	0.729		72

*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

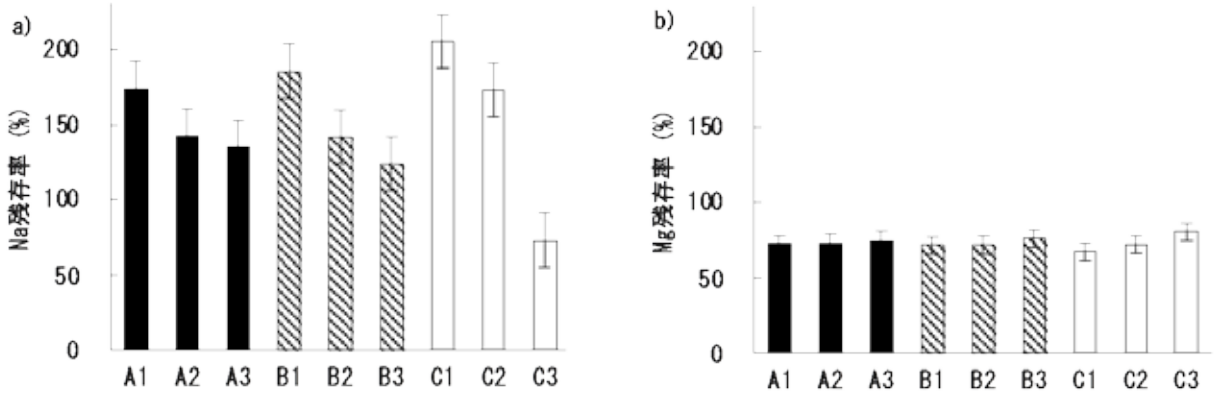


図4 ミネラル残存率（Na、Mg）における要因効果図

a) Na残存率、b) Mg残存率

■: 包装条件、▨: 魚種、□: 調味液

A1: 窒素･透明パウチ、A2: 真空･透明パウチ、A3: 真空･缶詰、B1: マサバ、B2: マイワシ、B3: アイナメ、C1: 5%食塩水、C2: 味噌調味液、C3: サラダ油

エラーバーは平均値 ± 95%信頼区間を示す (n = 27)。

考　察

本研究では、水産加工品の ω3 脂肪酸残存率に及ぼす製造条件の影響について検討した前報[14]を参考に、水産缶詰･レトルト食品の製造において、包装条件、原料魚、調味液が魚肉の各種成分の残存率に及ぼす影響について直交表を用いた実験計画法により検討した。これらの結果を総合的に考察することにより、魚肉の各種栄養成分を保持するための制御要因を明らかにすることを目標とした。

各種条件で製造した水産缶詰･レトルト食品における魚肉の重量変化率、一般成分 (水分、脂質)、脂肪酸 (EPA、DHA) およびミネラル (Na、Mg) を測定した。その結果、包装条件は水分、脂質、EPA、Na に、魚種は重量変化率、水分、脂質、EPA、DHA、Na に、調味液は重量変化率、水分、EPA、Na、Mg に影響を及ぼすことが判明した。

包装条件は DHA 残存率および Mg 残存率以外の栄養成分の残存率に影響を及ぼし、魚肉の水分残存率は窒素･透明パウチ ＞ 真空･缶詰 ＞ 真空･透明パウチの順で、脂質残存率および EPA 残存率は真空･缶詰 ＞ 窒素･透明パウチ ＞ 真空･透明パウチの順で、Na 残存率は窒素･透明パウチ ＞ 真空･透明パウチ ＞ 真空･缶詰の順で高かった。前報[14]において、マイワシの水産レトルト食品の検討により、包装条件 (真空･透明パウチ、真空･アルミパウチ) が魚肉の重量変化率に影響を及ぼすことを明らかとし、その理由として、パウチ容器は殺菌時に熱媒体による圧力の影響を缶詰よりも受けやすく、充填するパウチ容器の種類により魚肉にかかる圧力が異なり、魚肉から溶出する水分量や脂質量に違いが生じるためと考えられた。パウチ容器における真空包装の場合、使用するパウチ容器の柔軟性のため減圧空間を保持することができず、内外圧差に応じ、パウチ容器が内容物に密着する。[19] また、Durance ら[20]は性成熟したサケの缶詰･レトルト食品において、レトルト食品では殺菌後の魚肉組織が缶詰の場合よりも密になり、硬い食感

になると報告している。本研究では、真空･透明パウチの水分残存率および脂質残存率が、真空･缶詰および窒素･透明パウチのそれらよりも低かったことから、真空･透明パウチの場合、真空包装により透明パウチが魚肉に密着することで、殺菌時に魚肉が圧縮されて水分や脂質が溶出しやすくなると考えられる。また、魚肉の DHA 残存率については、有意差は認められなかったが、魚肉の DHA 残存率は真空･缶詰 (A3: 98.1 ± 9.5%) > 窒素･透明パウチ (A1: 91.2 ± 9.5%) > 真空･透明パウチ (A2: 82.5 ± 9.5%) の順で高く、EPA 残存率と同様の傾向を示した。本研究では、真空･透明パウチにおける魚肉の EPA･DHA 残存率が真空･缶詰と窒素･透明パウチのそれよりも低かったことから、真空･透明パウチの場合、前述の脂質残存率の場合と同様の理由により、殺菌時に魚肉が圧縮されることで、EPA･DHA が溶出しやすくなると考えられる。魚肉の Mg 残存率については、包装条件の影響を受けず、全ての水準において減少した。調理における食材への食塩 (NaCl) などの調味料の拡散速度は、一般的に Fick の法則に基づくモデルにより、温度が高いほど大きいと説明されている。[21] 畑江ら [22] は、ジャガイモ、ダイコン、コンニャクにおいて、保温温度を変えることにより温度降下速度を変えて NaCl が食材に拡散する速度を比較したところ、高温で保温し、保温時間が長い場合ほど食材内に含まれる NaCl が多くなると報告している。本研究では、水産缶詰･レトルト食品の製造において包装条件により Na 残存率に違いが生じる理由として、殺菌時の魚肉および調味液の昇温･保温･冷却における温度履歴が包装条件により異なり、調味液中の Na が魚肉内に拡散する速度に違いが生じるためと考えられる。一方、包装条件によらず魚肉の Mg 残存率が一様に減少した理由として、本研究で使用した原料魚の魚肉の Mg 量 (平均値 ± 標準偏差)が 28.0 ± 3.0 mg/100 g であり、Na 量 (220.0 ± 41.0 mg/100 g) に比べて低く、また使用した調味液中の Mg 量も微量であることから(データは示さず)、殺菌時に魚肉から水分と共に Mg が溶出し、同時に魚肉内の Mg が調味液中に拡散して一定値に収束するためと考えられる。

原料魚は Mg 残存率以外の栄養成分の残存率に影響を及ぼし、魚肉の重量変化率、水分残存率、Na 残存率はマサバ > マイワシ > アイナメの順で、脂質残存率、EPA 残存率、DHA 残存率はマサバ > アイナメ > マイワシの順で高かった。前報 [14] において、水産缶詰の検討により、原料魚 (マサバ、アイナメ) が魚肉の重量変化率および脂質残存率に影響を及ぼすことを明らかとし、その理由として、原料魚による筋原繊維タンパク質の熱安定性および皮下脂質層の厚さの違いにより、魚肉から溶出する水分や脂質の量に違いが生じるためと考えられた。一般的に、魚類では水分量と脂質量が逆相関的に変動することが知られており [23]、加熱調理において、脂質量の少ない魚種の魚肉では、脂質よりも水分が多く溶出し、脂質量の多い魚種の魚肉では、水分よりも脂質が多く溶出すると、青木ら [24] は報告している。本研究で用いた殺菌前の魚肉の水分量 (平均値 ± 標準偏差) はアイナメ (76.2 ± 4.2 g/100 g) > マサバ (61.9 ± 4.0 g/100 g) > マイワシ (58.2 ± 2.7 g/100 g) の順で多く、脂質量 (平均値 ± 標準偏差) はマイワシ (21.8 ± 2.6 g/100 g) > マサバ (11.2 ± 4.0 g/100 g) > アイナメ (2.9 ± 0.7 g/100 g) の順で多かった。本研究では、マサバの魚肉において、水分量はマイワシより、脂質量はアイナメより多いにも関わらず、重量変化率、水分残存率、脂質残存率のいずれにおいても、それらの減少が最も少なかった。一般的に、魚肉の水分量および脂質量は、普通肉、血合肉、皮で異なり、普通肉で水分量が多く、血合肉および皮で脂質量が多いとされ、マサバおよびマイワシについても同様であるが、マサバはマイワシよりも普通肉および血合肉における脂質量が多いと、山口ら [25] は報告している。本研究において、マサバにおける魚肉の重量変化率、水分残存率、脂質残存率が他の魚種のものよりも減少しなかったのは、マサバの魚肉における水分および脂質の分布が他の魚種と異なり、魚肉から溶出する水分や脂質の量に違いが生じるためと考えられた。本研究で

は、マサバにおける魚肉の EPA･DHA 残存率がアイナメとマイワシの場合よりも高かったことから、マサバの場合、前述の脂質残存率の場合と同様の理由により、魚肉から溶出する EPA･DHA の量に違いが生じるためと考えられた。魚肉の Mg 残存率については、原料魚の影響を受けず、全ての水準において減少することが明らかとなった。上柳 [26] は種々の魚種における生の魚肉への食塩の浸透について検討し、魚肉の水分量が多く、筋原繊維の太いものほど、魚肉へ食塩が浸透しやすいと報告している。本研究においては、5%食塩水で塩漬した魚肉を殺菌前の魚肉として使用し、その Na 量はアイナメ (257 ± 15 mg/100 g) > マイワシ (232 ± 22 mg/100 g) > マサバ (171 ± 22 mg/100 g) の順で多かった。各原料魚ついて、殺菌前の魚肉の Na 量は日本食品標準成分表 2015 年版 [8] による生の魚肉の Na 量 (アイナメ: 150 mg/100 g; マイワシ: 81 mg/100 g; マサバ: 110 mg/100 g) よりも多いことから、塩漬により魚肉内へ Na が浸透したことが確認でき、増加率はアイナメおよびマイワシで高く、マサバで低かった。殺菌後の魚肉の Na 量は、調味液が 5%食塩水の場合でアイナメ (564 ± 7 mg/100 g) > マイワシ (554 ± 7 mg/100 g) > マサバ (516 ± 64 mg/100 g) の順で、味噌調味液の場合でマイワシ (470 ± 12 mg/100 g) > アイナメ (465 ± 19 mg/100 g) > マサバ (380 ± 14 mg/100 g) の順で、サラダ油の場合でアイナメ (250 ± 14 mg/100 g) > マイワシ (233 ± 16 mg/100 g) > マサバ (163 ± 23 mg/100 g) の順で多かった。殺菌後の魚肉の Na 量は、調味液中に Na を含む 5%食塩水および味噌調味液の場合において、原料魚に関わらず一定の値に収束する傾向であったことから、塩漬により Na 量が最も増加しなかったマサバにおいて、殺菌時に調味液中の Na が魚肉内へ浸透する度合いが他の原料魚よりも大きかったため、Na 残存率が最も増加したと考えられた。一方、原料魚によらず魚肉の Mg 残存率が一様に減少した理由として、前述の項と同様の理由により、殺菌時に魚肉から水分と共に Mg が溶出した後、魚肉内の Mg が調味液中に拡散して一定値に収束するためと考えられる。

調味液は脂質残存率および DHA 残存率以外の栄養成分の残存率に影響を及ぼし、魚肉の重量変化率および EPA 残存率は味噌調味液 > 5%食塩水 > サラダ油の順で、水分残存率および Na 残存率は 5%食塩水 > 味噌調味液 > サラダ油の順で、Mg 残存率はサラダ油 > 味噌調味液 > 5%食塩水の順で高かった。既報 [14] において、水産缶詰 (マサバ、アイナメ) の検討により、調味液 (5%食塩水、味噌調味液) が魚肉の脂質残存率に影響を及ぼすことを明らかとし、その理由として、味噌調味液に使用した白味噌に含まれる脂質が魚肉の脂質残存率に影響していると考えられた。しかし、本研究では、調味液は魚肉の脂質残存率に影響を及ぼさず、重量変化率および水分残存率に影響を及ぼした。星野は [27] 馬肉において、各種調味液 (水、醤油、砂糖、サラダ油) で煮ることによる筋肉の組織学的変化について検討し、水で煮た場合には、筋肉内の自由水が脱水すると共に、筋肉外部から筋線維周囲に水が侵入して空隙が形成されるが、サラダ油で煮た場合には、筋肉外部から内部にサラダ油が侵入するが、筋線維周囲に空隙はほとんど形成されないと報告している。さらに星野 [28] はサバにおいて前述の馬肉と同様に筋肉の組織学的変化について検討しており、水で煮た場合の組織学的変化は馬肉の場合と同様であるが、サラダ油で似た場合の組織学変化は全く異なり、筋繊維の崩壊が激しいと報告している。また、星野は同報告で、サバにおいて、5%食塩水で煮た場合の組織学的変化についても検討しており、水で煮た場合よりも筋繊維の崩壊が激しいと報告している。本研究では、サラダ油の重量変化率、水分残存率が 5%食塩水と味噌調味液の場合よりも低かった理由として、サラダ油の場合、殺菌時に魚肉の筋繊維の崩壊の程度が他の場合よりも激しいため魚肉内の自由水が他の場合よりも脱水され、さらに魚肉外部から水の侵入がないことから、他の場合よりも水分の減少に伴う重量変化が著しいためと考えられる。本研究では、各原料魚の魚肉における

各調味液の脂質残存率 (平均値 ± 標準偏差) は、マサバおよびアイナメの場合、サラダ油 (マサバ: 130.8 ± 2.8%; アイナメ: 130.2 ± 12.2%) > 味噌調味液 (マサバ: 103.2 ± 14.2%; アイナメ: 99.2 ± 12.4%) > 5%食塩水 (マサバ: 97.1 ± 22.2%; アイナメ: 81.7 ± 10.6%) の順で高かったが、マイワシの場合、5%食塩水 (88.0 ± 16.0%) > 味噌調味液 (73.3 ± 3.7%) > サラダ油 (59.9 ± 8.3%) の順で高く、他の魚種の場合と逆の傾向であった。一方、各原料魚の魚肉における各調味液の重量変化率および水分残存率は、前述の脂質残存率の場合と同様の傾向は観察されなかった。本研究において、調味液が魚肉の脂質残存率に影響を及ぼさなかったのは、調味液と原料魚の間に交互作用があるためと考えられた。交互作用の原因としては、原料魚による、魚肉中の脂質の分布の違いや[25]、表皮・真皮・皮下脂肪層の構造の違いによるもの[26, 28–29]と考えられる。魚肉の DHA 残存率については、有意差は認められなかったが、味噌調味液 > 5%食塩水 > サラダ油の順で高く、EPA 残存率と同様の傾向を示した。既報[14]において、マイワシの水産レトルト食品の検討により、調味液 (5%食塩水、サラダ油) が魚肉の EPA・DHA 残存率に影響を及ぼすことを明らかとし、その理由として、殺菌時におけるマイワシの魚肉の EPA・DHA は、調味液中の脂肪酸と置換されるのではなく、ドリップとして魚肉から溶出して減少すると考えられた。本研究では、各原料魚の魚肉における各調味液の EPA 残存率 (平均値 ± 標準偏差) は、マサバおよびアイナメの場合、味噌調味液 (マサバ: 99.9 ± 7.4%; アイナメ: 88.4 ± 4.6%) > サラダ油 (マサバ: 96.4 ± 8.6%; アイナメ: 78.5 ± 2.5%) > 5%食塩水 (マサバ: 94.6 ± 13.6%; アイナメ: 75.7 ± 4.7%) の順で高かったが、マイワシの場合、5%食塩水 (85.9 ± 6.4%) > 味噌調味液 (80.9 ± 22.1%) > サラダ油 (47.0 ± 9.8%) の順で高く、他の魚種の場合と異なる傾向であった。各原料魚の魚肉における各調味液の DHA 残存率についても、EPA 残存率の場合と同様の傾向であった (データは示さず)。一方、各原料魚における脂質中の EPA・DHA の割合が調味液の影響を受け、5%食塩水および味噌調味液の場合、脂質中の EPA・DHA の割合が減少しなかったのに対し、サラダ油の場合、アイナメ > マサバ > マイワシの順に減少率が高かった (データは示さず)。本研究において、5%食塩水および味噌調味液の場合は、各原料魚における魚肉の EPA・DHA の減少は少なかったが、サラダ油の場合は、マイワシにおいてのみ魚肉の EPA・DHA が顕著に減少した。その理由として、前述の脂質残存率における交互作用が生じた理由と同様に、マイワシの場合は、魚肉中の脂質の分布の違いや、表皮・真皮・皮下脂肪層の構造の違いにより、他の原料魚に比べ、サラダ油中で魚肉から EPA・DHA が溶出しやすいと考えられる。魚肉内への食塩の拡散・浸透は、食塩の添加量が多いほど、浸透速度が速く、浸透量も多い。[30] 本研究において、調味液に含まれる食塩は、5%食塩水 > 味噌調味液の順で多く、サラダ油には含まれていないことから、Na 残存率は 5%食塩水、味噌調味液の順で増加し、サラダ油では減少したと考えられる。一方、魚肉に含まれる Mg は、魚肉を素焼きした場合よりも、水で煮た場合に著しく損失すると、鈴木ら[31]は報告している。本研究において、5%食塩水、味噌調味液の Mg 残存率がサラダ油よりも減少した理由として、サラダ油の場合、殺菌時に魚肉から水分と共に Mg が溶出するのに対し、5%食塩水および味噌調味液の場合、殺菌時に魚肉から水分と共に Mg が溶出した後、魚肉内の Mg がさらに調味液中に拡散するためと考えられる。

要　約

1．本研究は直交表を用いた実験計画法により、水産缶詰･レトルト食品の製造工程において、種々の要因が脂肪酸 (EPA、DHA) およびミネラル (Na、Mg) に及ぼす影響を解析した。

2．包装条件 (窒素･透明パウチ、真空･透明パウチ、真空･缶詰)、原料魚 (マサバ、マイワシ、アイナメ)、調味液 (5%食塩水、味噌調味液、サラダ油) の 3 項目を要因に設定して解析した。その結果、包装条件は水分、脂質、EPA、Na、に、魚種は水分、脂質、EPA、DHA、Na に、調味液は水分、EPA、Na、Mg に影響を及ぼすことが判明した。

3．本研究から、水産缶詰･レトルト食品の製造工程において魚肉の栄養成分を保持するには、包装条件、原料魚、調味液が重要な制御要因であることが明らかになった。

引用文献

1) 日本缶詰協会. 東日本大震災後の缶びん詰･レトルト食品の消費行動調査. 日本缶詰協会. 東京. 2011.
2) 東京都福祉保健局. 療養に備えて準備をしておきましょう. https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/iryo/kansen/corona_portal/shien/ryouyounisonaete.html. 2022/9/22.
3) 神奈川県健康医療局. 新型コロナ感染に備えた備蓄 (薬・食品・日用品・検査キット). https://www.pref.kanagawa.jp/docs/ga4/covid19/ms/stockpile.html. 2022/9/22.
4) 日本政策金融公庫. 消費者動向調査 (令和 4 年 1 月調査). 日本政策金融公庫. 東京. 2022; pp. 3–5.
5) 農林水産省. 令和 3 年度食料･農業･農村白書. 農林水産省. 東京. 2022; p. 68.
6) 外務省. 東京栄養宣言 (グローバルな成長のための栄養に関する東京コンパクト). 外務省. 東京. 2021; pp. 1–4.
7) 水産庁. 令和 3 年度水産白書. 水産庁. 東京. 2022; pp. 42–45.
8) 文部科学省科学技術･学術審議会資源調査分科会. 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂). 全国官報販売組合. 東京. 2015; pp. 120–151.
9) Miyagawa, N., Miura, K., Okuda, N., Kadowaki, T., Takashima, N., Nagasawa, S., Nakamura, Y., Matsumura, Y.,Hozawa, A., Fujiyoshi, A., Hisamatsu, T., Yoshita, K., Sekikawa, A., Ohkubo, T., Abbott, D. R., Okamura, T., Okayama, A. and Ueshima, H. Long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids intake and cardiovascular disease mortality risk in Japanese: a 24-year follow-up of NIPPON DATA80. Atherosclerosis; **232**: 384–389.
10) Bucher, C. H., Hengstler, P., Schindler, C. and Meier, G. N-3 polyunsaturated fatty acids in coronary heart disease: a meta-analysis of randomized controlled trials. Am. J. Med.; **112**: 298–304.
11) Iso, H., Kobayashi, M., Ishihara, J., Sasaki, S., Okada, K.、 Kita, Y., Kokubo, Y. and Tsugane, S. Intake of fish and n3 fatty acids and risk of coronary heart disease among Japanese: the Japan Public Health Center-Based(JPHC)Study Cohort I, Circulation; **113**: 195–202.
12) Yamagishi, K., Iso, H., Date, C., Fukui, M., Wakai, K., Kikuchi、 S., Inaba, Y., Tanabe, N. and Tamakoshi, A. Fish, omega-3 polyunsaturated fatty acids, and mortality from cardiovascular diseases in a nationwide community-based cohort of Japanese men and women. J. Am. Coll. Cardiol.; **52**: 988–996.
13) Domiszewski, Z. Effect of sterilization on true retention rate of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid

content in mackerel (*Scomber scombrus*), herring (*Clupea harengus*), and sprat (*Sprattus sprattus*) canned products、J. Food Process. Preserv.; **45**: e15461.

14) 宮部好克, 落合瞳子, 熊谷祐也, 岸村栄毅. 水産加工食品の ω3 脂肪酸残存率に及ぼす製造条件の影響. 日本調理科学会誌; **55**: 19–29.

15) 田口玄一. 品質工学のための実験計画法 VI. 精密機械; **51**: 1695–1700.

16) 文部科学省科学技術・学術政策局政策課資源室. 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) 分析マニュアル・解説. 建帛社. 2016; pp. 11‐12、pp. 66–67.

17) Folch, J., Lees, M. and Sloanestanley, H. G. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. J. Biol. Chem.; **226**: 497–509.

18) 田口玄一. 第 3 版　実験計画法　上. 丸善. 東京. 1976; pp. 154–155.

19) 渡辺渉, 小林晃, 竹村邦夫, 久末寿昭. 真空包装に関する研究. 日本食品工業学会誌; **12**: 125–128.

20) Durance, D. T. and Collins, S. L. Quality enhancement of sexually mature chum salmon Oncorhynchus keta in retort pouches. J. Food Sci.; **56**: 1282-1286.

21) 橋場浩子. 調理における食材中の NaCl の二元収着拡散. 日本調理科学会誌; **51**: 307–314.

22) 畑江敬子, 奥本牧子. 食品の保温温度が食塩の拡散に及ぼす影響. 日本調理科学会誌; **45**: 133–140.

23) Kent, M. Hand-held instrument for fat/water determination in whole fish. Food Control; **1**: 47–53.

24) 青木隆子, 菅原龍幸. 魚類の栄養成分に対する調理方法の影響. 日本食生活学会誌; **10**: 81–100.

25) 山口邦子, 中村孝, 豊水正道. 丸のままの魚の皮における選択的脂質酸化. 日本水産学会誌; **50**: 869–874.

26) 上柳當美子. 魚肉における食塩の浸透について. 家政学雑誌; **35**: 371–378.

27) 星野忠彦. 食品の食品組織学的研究 (IV). 調理科学; **5**: 150–157.

28) 星野忠彦. 食品の食品組織学的研究 (VII). 調理科学; **11**: 239–247.

29) 山田充阿弥. マイワシ肉の脂質含量とその存在状態. 東海区水産研究所研究報告; **104**: 103–109.

30) 田中宗彦. 食品加工・貯蔵における塩の機能と役割. 日本海水学会誌; **52**: 352–358.

31) 鈴木和枝, 篠原久恵, 坂本真弓, 鈴木一正. 食品中のマグネシウムに与える調理操作の影響. 聖徳栄養短期大学紀要; **21**: 43－53.