マアジ塩漬肉を乾燥するときにかかる筋原線維タンパク質の変化

丹保 岳人, 山田 典彦, 北田 長義

(1991 年 10 月 14 日受付)

Change in Myofibrillar Protein of Cured Horse Mackerel Meat
Induced by Dehydration

Takehito Tambo,* Norihiko Yamada,* and Nagayoshi Kitada*

Minced meat from horse mackerel was soaked in 3 M NaCl solution for various periods at 4°C, in order to set the NaCl concentration of the meat in the range of 0.14-1.90 M. The cured meat was then dehydrated at 20, 30, and 40°C, and the changes in myofibrillar Ca-ATPase activity, salt concentration, and myosin heavy chain in the meat were investigated as a function of the dehydration time.

With the increase in salt concentration of the cured meat together with the rise in temperature applied to dehydration, myofibrillar Ca-ATPase was rapidly inactivated. On the other hand, myosin heavy chain in the cured meat only decreased with concomitant formation of its polymer when the cured meat containing 0.68-1.60 M NaCl was subjected to dehydration at 30°C. However, almost no change occurred during dehydration of such cured meat at 20 or 40°C.

The results propose a favourable process for manufacturing dried products from salted horse mackerel.

著者らは先に、スケトウダラの筋肉について、これを塩漬および乾燥するときには筋原線維 (Mf と略す) タンパク質における変化について研究し、それぞれの過程においてミオシン重鎖 (HC) の多量化反応が進行すること、また反応の進行は、塩漬においては魚肉中に浸透する NaCl の濃度やその塩と Mf タンパク質が接触する時間、また乾燥においては乾燥温度と時間などによって大きく影響される事実を報じた。¹⁻⁴⁾ スケトウダラとマアジの筋肉について、これらを塩漬するときにはミオシン HC に起こる多量化反応の進行は、魚肉中の NaCl 濃度と塩漬時間の積算値に強く依存することを明らかにした。⁵⁾

本研究においては、マアジの塩漬肉を乾燥するときにかかるミオシン HC の多量化反応について検討した。

実験方法

試料 マアジ *Trachurus japonica* の背肉 フィーレ より、約 1×1×3 cm³ 程度のブロック状の肉片 (以下本文中ではこれを単に魚肉と呼ぶ) を作り、以下の塩漬の実験に供した。

魚肉の塩漬方法 魚肉を直径 1.59 cm の透析チューブ

に詰め、3.0 M、1.7 M および 1.0 M の NaCl-20 mM Tris-maleate (pH 7.0) 溶液に対して 4°C で 24 時間まで種々の時間透析し、これを塩漬と見なした。¹⁾ 塩漬後、魚肉を透析チューブから取り出し、表面に付着している水分を濾紙を用いてできるだけ除去し、以下の実験に供した。

塩漬肉中の塩濃度の測定 塩漬肉を細切し、その 2 g を精秤して、10 倍量の蒸留水を加えてホモジナイズした。そして、その懸濁液の 10 g を透析チューブに入れ、90 ml の蒸留水に対して 4°C で一晩透析し、その透析外液の比電導度 (mS/cm) を電導度計 (HORIBA COMPACT CONDUCTIVITY METER C-173, 株式会社堀場製作所) により測定した。なお、種々の濃度の NaCl 溶液について比電導度を求め、両値の関係から作成した標準直線を用いて透析外液中の NaCl 濃度 (M) を求め、希釈倍率を乗じて塩漬肉中の塩濃度を求めた。

塩漬肉の乾燥方法 塩漬を行った魚肉をステンレス製の金網にのせ、通風式の乾燥機 (Hi-TALL DRY OVEN M-14, 大洋科学工業株式会社) 中に保持して、30 および 40°C で 24 時間後まで乾燥を行った。また低温 (20°C) で乾燥する場合には、低温除湿乾燥機 (TABAI PLAN-

* 味の素株式会社食品総合研究所 (Food Research & Development Laboratories, AJI-NOMOTO CO., INC., Suzuki, Kawasaki, Kawasaki, Kanagawa 210, Japan).

TNOUS RAINBOW PR-1G, タバイエスベック社) を用いた。

魚肉中の Mf Ca-ATPase 活性の測定 加藤ら⁶⁾の方法に準じて, 乾燥した塩漬肉 2 g を精秤し, 10 ml の 0.1 M KCl-20 mM Tris-maleate (pH 7.5) を加え, 十分に冷却しながら 1 分ずつ 6 回ホモジナイズを繰り返し, 6,000 × g で 10 分間遠心分離して沈澱を集め, 0.1 M KCl-20 mM Tris-maleate (pH 7.5) を加えて攪拌後, 遠心分離をする操作を数回繰り返して洗浄した。得られた沈澱をガラス製ハンドホモジナイザーを用いて同上溶液に対して均質に懸濁させ, 定量的に Mf 懸濁液とし, この懸濁液のタンパク質濃度はビウレット法⁷⁾により比色定量した。Ca-ATPase (EC 3.6.1.3) は, 5 mM CaCl₂, 0.1 M KCl, 25 mM Tris-maleate (pH 7.0), 1 mM ATP および 0.2~0.3 mg/ml Mf の反応混液中で 25°C で反応させて, 生成した無機リン酸を比色定量⁸⁾して, 比活性 (μ mol Pi/min·mg) を求めた。

乾燥した塩漬肉の SDS-尿素混液に対する可溶化と可溶化率の測定 沼倉らの採用した方法⁹⁾に従って, 乾燥した塩漬肉 0.4 g を精秤して, 7.5 ml の 8 M-尿素-2%-SDS-2%メルカプトエタノール (pH 8.0) 溶液を加えて攪拌し, 100°C で 2 分間加熱後さらに室温で 20 時間以上攪拌して可溶化させた。なお, この溶液中のタンパク質は, 蒸留水で 10 倍に希釈した後に, その一定量に等

量の 15% トリクロロ酢酸溶液を加えて室温に 30 分以上放置し, 遠心分離 (10,000×g, 20 分間) して沈澱させた。沈澱したタンパク質を風乾後 1 N NaOH に溶解し, ビウレット法⁷⁾により比色定量した。試料中の脂質含量が多い場合には, ビウレット試薬を加えた後に等量の石油エーテルを加え, 遠心分離により脂質をエーテル層に移行させて除き, 比色定量を行った。また, 可溶化させた溶液を 10,000×g, 20 分間遠心分離して得た上清液中のタンパク質も, 上記と同様の方法により定量して可溶化率を求めた。

SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動法 (SDS-PAGE) SDS-尿素混液に可溶化させた Mf タンパク質は, Weber と Osborn の方法¹⁰⁾により 5% ポリアクリルアミドゲルまたは 6 M 尿素を含む 1.8% ポリアクリルアミドゲル⁹⁾を用いた SDS-PAGE に供した。染色は Coomassie Brilliant Blue R により行い, 脱色は 50% メタノール-7% 酢酸で 6~8 時間, 続いて 7% 酢酸でゲルの背景が透明になるまで行った。

Mf タンパク質のサブユニット成分の定量 SDS-PAGE により分離したタンパク質の各サブユニット成分は, 染色後 2 波長クロマトスキャナー (CS-910 型, 株式会社島津製作所) を用いて, 640 nm と 700 nm の吸光値の差として染色強度を測定した。なお, 各サブユニット成分の含量は, 供試した全てのタンパク質の示す染色

Fig. 1. Changes in weight of cured meat containing various concentration of NaCl during dehydration.

The meat of horse mackerel was soaked in 3 M NaCl solution for various time intervals and dehydrated by a through-flow dehydrator at 40 (a), 30 (b), and 20°C (c). During dehydration, the weight of meat was measured to discover the extent of dehydration. The weight of meat was expressed as a relative value (%), taking the weight before dehydration as 100%. Soaking time intervals of the meat were 0 (○), 1 (△), 4 (□), 8 (▽), and 24 (●) h. NaCl concentrations of meat before dehydration were 0.14 (○), 0.98 (△), 1.6 (□), 1.96 (▽), and 2.1 (●) M.

強度の合計値を基準とし、その移動度からミオシン HC、アクチンなど各成分の染色強度の相対値 (%) で表した。なお、対照とした試料に比べて泳動ゲル上の全染色強度の回収率、および SDS-尿素混液に対する可溶化率が低

下する場合にはこれらを補正して定量値を求めた。すなわち、前者の場合はポリアクリルアミドゲル中に泳動できないほどに高分子化したミオシン HC の多量体が生成、また後者の場合には SDS-尿素混液に溶解しないほ

Fig. 2. Changes in NaCl concentration of cured meat containing various concentrations of NaCl during dehydration.

The soaking in NaCl solution and dehydration of meat were conducted as in Fig. 1. The symbols are the same as in Fig. 1. NaCl concentrations of the meat before dehydration were also the same as in Fig. 1. (a) 40°C, (b) 30°C, and (c) 20°C.

Fig. 3. Changes in Mf Ca-ATPase activity of cured meat during dehydration.

The soaking in NaCl solution and dehydration of meat were conducted as in Fig. 1. During dehydration, a part of the meat was taken out and Mf suspension was prepared. Mf Ca-ATPase assay was conducted by the method of Katoh.⁹⁾ Soaking time intervals were 0 (●), 1 (○), and 4 (△) h. NaCl concentration of meat before dehydration were found to be 0.14, 0.98, and 1.6 M. (a) 40°C, (b) 30°C, and (c) 20°C.

どに高分子化したミオシン HC 多量体が生成したものを見なし,⁹⁾ その量を計算により求め、加算して合計値とした。なお対照試料は塩漬する前の魚肉を用いた。

結 果

乾燥に伴う塩漬肉の重量と魚肉中の塩濃度の変化 マアジの魚肉を 3.0 M NaCl (pH 7.0) 溶液に対して 4°C で異なる時間塩漬し、種々の塩濃度の塩漬肉を作った。そして、塩漬肉を 20~40°C で乾燥に供し、乾燥に伴う魚肉重量の減少と魚肉中の塩濃度の増加 (塩濃縮) を測定した。すなわち、肉中の塩濃度が 0.14~2.2 M の間の種々の濃度に達した魚肉を、40, 30 および 24 時間後まで乾燥し、魚肉重量を経時的に測定した結果を Fig. 1 に示した。

これによると、いずれの温度で乾燥を行う場合も乾燥に伴い約 10 時間後までは肉重量は急激に減少し、その後は緩やかに減少する傾向を示している。また、40°C (a) および 30°C (b) で乾燥を行う場合は、塩濃度の低い魚肉 (塩漬を行う前の NaCl として 0.14 M を含む魚肉と塩漬により約 0.8 M の NaCl を含む魚肉) の方が、それよりも高濃度の塩を含む魚肉よりもやや急速に肉重量が減少することを示している。さらに 40 および 30°C で乾燥する際の減少の速度はほぼ同じで、NaCl が 1 M 以下の魚肉では約 1/3、それ以上の塩濃度の魚肉では約 1/2 程度まで肉重量が減少している。そして、20°C (c) で乾燥を行う場合は、肉重量の減少が他の温度に比べてやや遅い傾向があるが、全体として 30 や 40°C の場合と似た傾向を示した。また、NaCl が 0.14 M 相当の魚肉のみは約 1/3 まで、またそれ以上の塩濃度の魚肉では約 1/2 程度に減少している。

一方、乾燥に伴う魚肉中の塩濃度の増加の経時変化を測定した結果を Fig. 2 に示した。これによると塩濃度が低い魚肉を乾燥した場合を除いて、魚肉中の初めの塩濃度に関係なく、いずれの温度で乾燥する場合も、魚肉中の塩濃度は肉重量の減少に対応するように約 10 時間後までは比較的急激に、それ以後は緩やかに増加する傾向を示した。また、結果として 24 時間後の塩濃度は、40°C (a)、および 30°C (b) で乾燥する場合、当初の塩濃度が約 1 M 以下の試料では約 3 倍に、それ以上の塩濃度の試料では約 2 倍に達している。20°C (c) で乾燥した場合もやはり肉重量の減少とよく対応しており、減少速度はやや遅い傾向があるが、30 や 40°C の場合と余り変わらない変化を示した。

乾燥に伴う塩漬肉中の Mf Ca-ATPase 活性の変化 塩漬によって種々の塩濃度になった魚肉を 40, 30 および 20°C で乾燥させ、その際に起こる魚肉中の Mf タンパク質の変性を Mf Ca-ATPase 活性を指標として検討

し、その結果を Fig. 3 に示した。すなわち Fig. 1 の実験の場合と同様に、乾燥中の魚肉の一部を経時的に取り出して定量的に Mf 懸濁液とし、Mf Ca-ATPase 活性を求めようと試みた。しかし、乾燥の進んだ魚肉試料からは定量的な Mf 懸濁液の調製が困難となる傾向があった。たとえば、塩濃度が約 1.8 M 以下の試料を乾燥する場合には 6~10 時間後までは均質な Mf 懸濁液が調製できたが、それ以上乾燥が進むと不可能となった。Fig. 3 によると、まず 30 および 20°C で乾燥する場合 (b), (c) は、塩濃度が 0.14~1.49 M の間のいずれの塩漬肉の場合も、乾燥により Mf Ca-ATPase 活性は一次反応に

Fig. 4. Changes in content of Mf protein subunit components of meat during dehydration at various temperatures.

The meat without soaking was dehydrated at 40 (a), 30 (b), and 20°C (c) in the same manner as Fig. 1. The solubilization of meat into SDS-urea-mercaptoethanol medium, the SDS-polyacrylamide gel electrophoresis, and the determination of the content of each component were conducted by the same method as reported previously.

- (Δ): Cross-linked myosin heavy chain, too large to enter into gel rod (HCn').
- (○): Cross-linked myosin heavy chain (HCn).
- (●): Myosin heavy chain (HC).
- (▲): Fast moving component relative to myosin heavy chain (X₁).

従って失活するが、肉中の塩濃度が高くなる程、また乾燥温度が高くなる程、失活速度が大きくなる傾向が示されている。40°C で乾燥する場合 (a) は、塩濃度が 0.14 および 0.78 M の魚肉では、乾燥の極めて初期の間は、これ以下の温度の場合と同様に一次反応に従って失活したが、それ以後は急速に失活する傾向を示した。この原因はまだ不明であるが、塩濃縮と高い温度の両方の影響で Mf タンパク質の凝集変性が急激に起こったためと思われる。

乾燥に伴う塩漬肉中の Mf タンパク質サブユニット成分の経時変化 異なる塩濃度の魚肉を 20~40°C の各温度で乾燥し、経時的に試料を取り出し、その 0.4 g を SDS-尿素混液に溶解し、SDS-PAGE に供して Mf タンパク質サブユニット成分の定量を行った。その結果を Fig. 4~8 に示した。その結果、全ての乾燥条件下において魚肉中のアクチンおよびトロポミオシンに相当する成分には変化が認められなかったもので、以下全ての図上から割愛した。初めに、塩漬を行っていない魚肉 (NaCl として 0.14 M 相当を含む) を 20, 30, および 40°C で乾

燥した結果を Fig. 4, (a), (b) および (c) に示したが、まず、マアジの筋肉中には、全供試タンパク質の約 30% に相当するミオシン HC の他に、移動度がミオシン HC より小さく HC 多量体に相当する成分 (HCn) が約 10%, さらに移動度が HC より大きい未同定の成分 (X₁) が約 10% 含まれている。既報²⁻⁴⁾ のスケトウダラ筋肉と比べると、ミオシン HC が数 % 少なく X₁ 成分がそれに応じて多かったが、その理由は明かでない。次にこれらの魚肉を乾燥すると、乾燥温度が 20~40°C のいずれの場合も、上記 3 成分には大きな変化が起こらないことが示された。

Fig. 5 には、塩漬を 1 時間行い塩濃度が 0.78 M になった魚肉を乾燥した場合の結果を示した。これによると、まず塩漬中には、魚肉のミオシン HC, (HCn) 相当の成分、および X₁ 成分の量はほとんど変化しなかったが、これを乾燥すると、これらの成分に変化が起こることが示されている。まず 20°C (c) で乾燥するときの変化は、見かけ上 40°C (a) で乾燥したときの変化とよく似ており、ミオシン HC がわずかに減少して X₁ 成分が

Fig. 5. Changes in content of Mf protein subunit components of 1 h soaked meat during dehydration at various temperatures.

The meat was soaked in NaCl solution for 1 h, giving it an NaCl concentration of 0.78 M as in Fig. 1, and was dehydrated at 40 (a), 30 (b), and 20°C (c). The other methods and symbols used were the same as in Fig. 4.

Fig. 6. Changes in content of Mf protein subunit components of 4 h soaked meat during dehydration at various temperatures.

The meat was soaked in NaCl solution for 4 h, giving it an NaCl concentration of 1.60 M as in Fig. 1, and was dehydrated at 40 (a), 30 (b), and 20°C (c). The other methods and symbols were the same manner as in Fig. 4.

それに呼応するように増加する傾向を示し, (HCn) に相当する成分はまったく増加しなかった。しかし, 30°C (b) で乾燥した場合には, ミオシン HC が明らかに減少し, それに伴い (HCn) 成分が増加し乾燥 24 時間後には供試タンパク質量の約 30% 程度に達した。また X_1 成分も緩やかに増加する傾向にあった。

次に, 塩漬を 4 時間行い塩濃度が 1.6 M となった魚肉を乾燥した場合の結果を Fig. 6 に示した。これによると, 魚肉中のミオシン HC は塩漬中にわずかに減少して HCn 成分と X_1 成分が増加しているが, これを 20°C (c) で乾燥を行った場合には上記各成分に変化はほとんど認められなかった。40°C (a) の場合も, ミオシン HC と HCn の生成がわずかに起こるものの, 全体としての変化は非常に小さいものであった。一方, 30°C (b) で乾燥した場合には, 乾燥初期にミオシン HC が急激に減少し, それに伴い HCn が約 30% 程度にまで増加したが, その後減少する傾向を示し, それに伴いさらに分子サイズが大きいミオシン HC 多量体 (HCn') 成分がわずかに増加する事実を示した。

Fig. 7. Changes in content of Mf protein subunit components of 8 h soaked meat during dehydration at various temperatures.

The meat was soaked in NaCl solution for 8 h, giving it an NaCl concentration of 1.90 M as in Fig. 1, and was dehydrated at 40°C (a), 30°C (b), and 20°C (c). Others were the same as in Fig. 4.

さらに 8 時間塩漬を行い塩濃度が約 1.9 M になった魚肉を乾燥させた場合の結果を Fig. 7 に示した。これによると塩漬により魚肉中のミオシン HC はさらに減少して約 20% 程度になり, それに対応して HCn の含量が多くなっていた。この魚肉を 20°C (c) で乾燥した場合は上記の各成分に変化は起こらなかった。また, 30°C (b) および 40°C (a) で乾燥した場合は, とともに HC が乾燥初期にわずかに減少するが, この中で特に 30°C の場合には, HCn 成分が乾燥の初期に増加し, その後減少するに伴い HCn' 成分と X_1 成分が増加する傾向がみられた。しかし, 塩濃度が 1.6 M の魚肉を乾燥させた場合に見られたほど HCn 成分の大きな増加は起こらず, また HCn' と同時に X_1 成分も生成する点が異なっていた。一方, 40°C では HCn' 成分や, HCn 成分の増加はわずかで, X_1 成分の増加がやや大きい点で塩濃度が 1.6 M の魚肉を乾燥させた場合と良く似ていた。

さらに塩漬を 24 時間行い塩濃度が約 2.1 M に達した魚肉を乾燥した場合を Fig. 8 に示した。これによると, 塩漬を 24 時間行う間に魚肉中の HC が減少して HCn

Fig. 8. Changes in content of Mf protein subunit components of 24 h soaked meat during dehydration at various temperatures.

The meat was soaked in NaCl solution for 24 h, giving it an NaCl concentration of 1.90 M as in Fig. 1, and was dehydrated at 40 (a), 30 (b), and 20°C (c). The other methods and symbols used were the same as in Fig. 4.

成分と X_1 成分が増加している ので、これを 20 から 40°C の間のいかなる温度で乾燥を行っても 各成分にはそれ以上の大きな変化が起こらなかった。

考 察

本研究では、マアジの筋肉について、その塩干品の品質に大きく影響する Mf タンパク質の性状変化に対する塩漬と乾燥温度の影響について検討した。初めに魚肉の重量変化を指標として塩漬肉の乾燥速度に対する乾燥温度の影響について検討したが、いずれの温度の場合でも、乾燥は初期には比較的急速でその後緩やかに進行する傾向を示し、また同じ温度下において塩漬を行っていない魚肉や塩濃度の低い魚肉ではやや速い傾向を示した。しかし、24 時間後における魚肉の乾燥度合(率)には温度の違いによる相違はほとんど見られなかった。このとき同時に乾燥中の魚肉中の塩濃度を測定したが、これは魚肉重量の変化に比例して魚肉中の塩の濃縮が起きていることを示す結果であった。

次に、乾燥に伴う塩漬肉中の Mf タンパク質の性状変化に対する乾燥温度の影響を検討した。先に伊藤ら²⁻⁴⁾がスケトウダラについて行った研究では、30°C 以下と 40°C 以上で乾燥する場合とではその間に起こる Mf タンパク質の性状変化には明らかに差異が認められている。一方マアジの塩漬肉を乾燥する場合は、30°C で乾燥を行った場合だけにスケトウダラの場合と同様なミオシン HC の多量化反応が起こること、また塩濃度が 0.78 と 1.60 M の塩漬肉を乾燥に供試した場合のみ反応が起こることが認められた。しかし反応自体は非常に遅く、かつ大きな分子サイズのミオシン HC 多量体が生成しにくい傾向がみられた。さらに、乾燥肉の SDS-尿素混液への溶解性がほとんど低下しない点でスケトウダラの場合と明らかに異なり、ミオシン HC の多量化反応が進行しにくい事実を裏づけている。40°C で乾燥を行うときには魚肉中のミオシン HC の多量化反応はほとんど進行せず、 X_1 成分の生成が 30°C の場合よりもやや多くみられ、Mf Ca-ATPase はこの温度においては急激に失活したが、これらは伊藤らの報じた³⁾スケトウダラの場合と同様である。しかし、20°C で乾燥を行うときにはミオシン HC の変化はほとんど起こらず、Mf Ca-ATPase の失活も極めて遅いのが特徴であった。

すでによく知られているが、マアジのような赤身魚肉の加工においては肉中の pH の低下が障害の一つとなっている。本研究においては、塩漬および乾燥中に起こる魚肉中の pH の変動について検討していないが、pH の低下が本実験の結果に影響している可能性がありうる。

すなわち供試したマアジの鮮度が少なからず関与している可能性がある。しかしマアジの塩干品の製造時においても、上記した特定の条件下では、スケトウダラの場合と同様に、ミオシン HC の多量化反応が起こることが事実として示され、その品質に大きく影響を及ぼしていると思われた。それゆえ魚肉中の pH の変動および鮮度の劣化などが、塩漬と乾燥の過程で起こる魚肉タンパク質の性状変化に及ぼす影響について、今後さらに検討する必要がある。

なお、本実験条件下で作られた塩干品の品質を官能的に評価してみると、0.78~1.60 M NaCl を含む魚肉を 30°C で乾燥した製品は肉質に透明感があり、弾力性に富んでいて、引き延ばしたときかなりの抵抗性を示し、粘り強い物性を示した。しかし、40°C で乾燥した製品は肉質に透明感が乏しく、特に長時間乾燥したものは白濁した感じで、弾力性のない、もろい感じとなった。20°C で乾燥した場合には、透明感はあるものの、肉質は 30°C の場合に比べて、むしろもろい物性であった。従ってマアジを原料とした塩干品の品質にも、ミオシン HC の多量化反応が影響を及ぼしていることは確実と思われる。スケトウダラを原料とした場合と比べて、より制約された条件(塩濃度と乾燥温度)下においてのみ、その反応が起こるのが特徴であることが示された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、御指導を賜った北海道大学水産学部教授新井健一博士に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 伊藤 剛, 北田長義, 山田典彦, 関 伸夫, 新井健一: スケトウダラ筋肉の塩漬中に起こる筋原線維タンパク質の生化学的変化. 日水誌, **56**, 687-693 (1990).
- 2) 伊藤 剛, 北田長義, 山田典彦, 関 伸夫, 新井健一: スケトウダラ塩漬肉を乾燥させる際に起こる筋原線維タンパク質の生化学的変化. 日水誌, **56**, 999-1006 (1990).
- 3) 伊藤 剛, 北田長義, 山田典彦, 関 伸夫, 新井健一: 乾燥によるスケトウダラ塩漬肉中の筋原線維タンパク質の変化と乾燥温度の影響. 日水誌, **56**, 1647-1653 (1990).
- 4) 伊藤 剛, 北田長義, 山田典彦, 関 伸夫, 新井健一: スケトウダラ塩漬肉の加熱乾燥および加熱中に起こる筋原線維タンパク質の変化. 日水誌, **56**, 2053-2060 (1990).
- 5) 丹保岳人, 山田典彦, 北田長義: 塩漬によって起こる魚肉の筋原線維タンパク質の変化. 日水誌, **58**, 677-683 (1992).
- 6) 加藤 登, 内山均, 塚本志郎, 新井健一: 魚類筋原線維 ATPase の生化学的研究. 日水誌, **43**, 857-867 (1977).
- 7) A. G. Gornall, C. T. Bardawill, and M. M. David: Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.*, **177**, 751-766 (1949).
- 8) C. H. Fiske and Y. Subbarow: The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.*, **66**, 375-400 (1925).
- 9) 沼倉忠弘, 溝口 竜, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 関 伸夫, 新井健一: 加熱により変質したスケトウダラ身肉の坐りゲル形成能とミオシン重鎖の交差結合能. 日水誌, **55**, 1083-1091 (1989).
- 10) K. Weber and M. Osborn: The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfatepolyacrylamide gel electrophoresis. *J. Biol. Chem.*, **244**, 4406-4412 (1969).