スケトウダラ肉糊の坐りに及ぼすでん粉添加の影響

山下民治, 谷本昌太, 関 伸夫

(1998年6月15日受付)

Effects of the Addition of Starch on Setting of Walleye Pollack Surimi Paste

Tamiharu Yamashita,*¹ Shota Tanimoto,*¹ and Nobuo Seki*²

Salted surimi pastes were prepared by griding walleye pollack surimi with 2.7% NaCl and 30% water-starch mixture. The salted surimi paste was set at 10°C for 0-48 h, followed by heating at 90°C for 30 min. During the setting an increase in breaking strength of the control paste without starch occurred accompanying with the formation of cross-linked myosin heavy chains. The addition of starch also increased the breaking strength with and without prior setting, whereas the setting effect on gel strength was apparently depressed by the addition of starch without the decrease in the cross-linking. The depression of setting response in the presence of starch, however, occurred more strongly under the conditions where the gel strengthening due to setting and addition of starch increased.

キーワード: 坐り, かまぼこ, でん粉, スケトウダラ, すり身, 物性, 多量体形成

魚肉の塩すり身を低温下で加温してから高温加熱を行ってゲル化させると、直接高温加熱を行ったゲルに比べて、弾力が著しく増大する場合がある。こうした坐りの効果については、これまで、多くの研究者によって検討されている。たとえば、坐りの強さや坐り易さは魚種によって異なり、¹⁾そして、その効果は、無機塩類²⁻⁵⁾やアルカリ金属塩、⁶⁾有機変性剤、⁷⁾pH^{8,9)}等によって影響される。また、水産物製品等に使用される副原料である大豆や小麦タンパク質、¹⁰⁾卵黄¹¹⁾が坐り効果やミオシン重鎖の多量体の形成を抑制することをさきに著者らは明らかにした。さらに、坐りに及ぼすでん粉の影響については、動的粘弾性測定や応力緩和試験によって検討され、でん粉は貯蔵弾性率や損失弾性率において坐りに拮抗的な影響を及ぼすと報告されている。¹²⁾一方、低温ゲル化反応¹³⁾と内因性トランスグルタミナーゼによるミオシン重鎖の架橋重合反応¹⁴⁻¹⁷⁾が、スケトウダラすり身肉糊の坐りに強く関与していることが知られているが、これらに及ぼすでん粉の影響については、まだ検討されていない。本研究では、肉糊の坐りに及ぼすでん粉の影響について、ゲル物性と筋原繊維タンパク質のサブユニット組成の変化から検討を行った。

実験方法

試料 肉糊の原料としてスケトウダラ *Theragra chalcogramma* 冷凍すり身（アークテックストーム社製，アメリカ，シアトル市，SA 級）を用いた。その水分量 77%，pH 7.0 であり，添加物としてショ糖 4%，ソルビトール 4% と重合リン酸塩 0.2% を含んでいた。でん粉はじゃがいもでん粉（北海道士幌町農業協同組合製）を用いた。

魚肉ゲルの調製 5°C で解凍した冷凍すり身に終濃度で 2.7% (W/W) の塩化ナトリウムを添加し，20 分間播漬して塩すり身とした。これに，でん粉と水の合計値が常に一定 (30%) になるように添加し，さらに 10 分間播漬して肉糊を調製した。肉糊をポリ塩化ビニリデンケーシング（直径 3 cm）に約 140 g ずつ詰め，結締した後，10°C で坐りを行い（以下，坐りゲルと呼ぶ），直ちに 90°C で 30 分間加熱した（以下，2 段加熱ゲルと呼ぶ）。なお，肉糊を坐らせないで直接 90°C で 30 分間加熱したものを，以下直接加熱ゲルと表記した。いずれのゲルについても流水中で冷却後，25°C に一晩放置してから各種の測定に供した。一方，坐りゲルについては，冷却しないで直ちに測定に供した。

*¹ 広島県立食品工業技術センター (Hiroshima Prefectural Food Technology Research Center, Hijiymahon, Minami, Hiroshima 732-0816, Japan).

*² 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan).

魚肉ゲルの物性測定 魚肉ゲルの破断強度、凹みの大きさ、軟らかさを岡田式ゼリー強度試験器（株式会社中央理研製）で測定した。¹⁸⁾ 測定条件として、試料の高さ 3 cm, プランジャー径 0.5 cm, 加重速度 310 g/min, 測定温度 25°C を選んだ。ゼリー強度は、破断強度×凹みの大きさ/2 の計算式から求めた。圧出水分率は、試料を小型油圧式圧搾器（株式会社中央理研製）で 10 kg/cm², 20 秒間加压して圧出水分量を求め、これの全水分量に対する割合から求めた。¹⁸⁾

魚肉ゲルの SDS-尿素混合液に対する可溶化と可溶化率の測定 沼倉ら¹⁹⁾の方法に準じて、魚肉ゲル 0.4 g を 7.5 ml の SDS-尿素混合液 (2% SDS-8 M 尿素-2% 2-メルカプトエタノール, 20 mM Tris-maleate, pH 8.0) 中で、ウルトラデスパーサー KL-22 型（ヤマト科学株式会社製）によって細碎し、100°C で 2 分間加熱した後、室温にてマグネチックスターラーで 20 時間攪拌して可溶化した。可溶化した溶液 1 ml をとりビュレット法²⁰⁾によりタンパク質濃度(A)を測定した。さらに、同上の溶液を 14,000×g で 30 分間遠心分離して、その上澄中のタンパク質濃度(B)を測定した。タンパク質の SDS-尿素混合液に対する可溶化率は $100 \times B/A$ の式から算出した。

SDS-PAGE Laemmli²¹⁾の方法により、7.5% ポリアクリルアミドゲルを用いて行った。染色は 0.12% Coomassie brilliant blue R250 によって行い、脱色は 50% メタノール-7% 酢酸水溶液で 8 時間、次いで 7% 酢酸で背景が透明化するまで暗所で行った。

魚肉ゲル中の筋原繊維タンパク質成分の分析と定量 SDS-PAGE 上の各筋原繊維タンパク質のサブユニット成分量は、デンストメーター（アドバンテック東洋株式会社製, DM-303 型）を用いて、565 nm の吸光値を測定し、泳動ゲル上に認められる各成分の染色強度の合計値に対する相対染色強度 (%) として表した。定量した成分は、ミオシン重鎖 (HC), ミオシン重鎖の多量体 (HC)_n, アクチン (A) である。なお、泳動ゲル中に侵入できないような大きなサイズのミオシン重鎖の多量体およびより分子サイズが大きく SDS-尿素混合液に可溶化しない成分を沼倉らの方法²²⁾に従って補正した。

実験結果および考察

2 段加熱ゲルの物性に及ぼすでん粉の影響 終濃度で 0, 5, 10, 15% (W/W) のじゃがいもでん粉を添加した肉糊を、10°C で 0~2 日間坐りを行い、直ちに 90°C, 30 分間加熱して調製した 2 段加熱ゲルの破断強度、凹みの大きさ、ゼリー強度、軟らかさ、圧出水分率を測定し、結果を Fig. 1 に示した。直接加熱ゲルの破断強度は、でん粉添加量が 15% までは添加量が多くなるにつ

Fig. 1. Effect of potato starch on the textural properties of surimi gel.

Walleye pollack surimi was ground with 2.7% NaCl and a 30% water-potato starch mixture, and preheated at 10°C to induce setting, followed by heating at 90°C for 30 min. Textural properties of the gel thus formed by the two-step heating were measured on a rheometer equipped with a ϕ 0.5 cm plunger at 25°C. Expressible water of the gel was measured on a compressor at 10 kg/cm² for 20 seconds.

●, Without starch; ○, 5% potato starch added in a final concentration by weight; △, 10% potato starch added in a final concentration by weight; □, 15% potato starch added in a final concentration by weight.

れて大きくなり、加熱ゲル形成に対してでん粉が大きく影響していることを示した。また、坐り時間の経過とともにいずれの試料も破断強度が増大した。しかし、その増大の割合は、でん粉添加量の増加とともに小さくなった。たとえば、坐り 0 日に対する坐り 2 日目の増大率は、でん粉添加量が 0, 5, 10, 15% では、それぞれ 283, 187, 141, 120% と、でん粉添加量が多くなるにつれて小さくなり、でん粉が坐りによる肉糊の破断強度の増大

を抑制しているように見えた。つぎに凹みの大きさは、直接加熱ゲルではでん粉の添加量が多くなるにつれて小さくなった。また、これらの肉糊を 10℃ で坐らせた場合、凹みの大きさが増大する割合はでん粉添加量が多くなるにつれて小さくなり、15% 添加したときにはむしろ低下し、凹みの大きさに対する坐りの効果は失われた。さらに、直接加熱ゲルのゼリー強度は、でん粉添加量が多くなるにつれて大きくなった。また、坐り時間の経過とともにいずれの試料もゼリー強度は増大した。しかし、その増大の割合は、でん粉添加量が多くなるほど小さくなり、でん粉が肉糊の坐りによるゼリー強度の増大を抑制しているように見えた。一方、直接加熱ゲルの軟らかさは、でん粉添加量が多くなるにつれて小さくなり、でん粉を添加することによって硬くなることを示した。また、坐り時間の経過とともにいずれの試料も軟らかさは減少した。その減少の割合は、でん粉添加量が多くなるにつれて小さくなり、この場合も坐りの効果は失われた。最後に、直接加熱ゲルの圧出水分率は、でん粉添加量が多くなるにつれて小さくなり、保水性が向上することが分かった。また、でん粉無添加の肉糊を 10℃ で坐らせた場合、圧出水分率は坐り時間が長くなるにつれてわずかに減少したが、でん粉を添加するといずれの添加量においても、坐り 2 日間はほとんど変化なく、坐りの影響は見られなかった。

以上のように、直接加熱ゲルでは、でん粉添加によって、破断強度やゼリー強度が増大し、凹みの大きさや軟らかさが低下したことから、硬さは増加するが、少し脆い感じのゲルになることが判った。しかし、保水性は大幅に増大することが同時に判明した。これに対して、同じ肉糊を 10℃ で坐らせてから 90℃ で 30 分間加熱して調製した 2 段加熱ゲルでは、破断強度や凹みの大きさおよびゼリー強度の増大の割合などから、でん粉添加は坐りの効果を妨げるように見えた。そこで、この原因を明らかにするために、まず、坐りを抑えた場合のでん粉添加の影響を調べた。

EDTA 添加肉糊の 2 段加熱ゲルの物性に及ぼすでん粉の影響 スケトウダラすり身肉糊の坐りによる破断強度の増大は、内因性トランスグルタミナーゼによるミオシン重鎖の多量体形成と密接な関係があることが知られている。¹⁴⁻¹⁷⁾ トランスグルタミナーゼの活性は Ca^{2+} 濃度に依存するので、¹⁴⁾ EDTA をスケトウダラ肉糊に添加して坐りを抑えて、¹⁷⁾ 2 段加熱ゲルの物性に及ぼすでん粉の影響を調べた。

5 mM の EDTA を添加したスケトウダラ肉糊を 10℃ で 0~2 日間坐らせて、90℃、30 分間加熱して形成されたゲルの破断強度を測定した。EDTA を添加した肉糊では Fig. 2 に示したように、坐りによる破断強度の増

Fig. 2. Effect of potato starch and EDTA on surimi gel strength.

The surimi paste containing various amounts of potato starch in the presence of 5 mM EDTA was incubated at 10℃ prior to cooking at 90℃ for 30 min.

●, Without starch; ○, 5% potato starch added; △, 10% potato starch added; □, 15% potato starch added.

大が起こらず、むしろ多少低下する傾向にあり、坐りの効果は完全に失われた。次に、この肉糊にでん粉を添加したところ、直接加熱ゲルの破断強度は、添加量が多いほど大きくなったが、坐り処理を行ってもほとんど変化しなかった。したがって、坐りに対する抑制効果には、肉糊に坐りが引き破断強度が増大していることが必要なが推測された。

ミオシン重鎖多量体形成に及ぼすでん粉の影響 上述の結果に基づき、でん粉の添加がミオシン重鎖の多量体形成を阻害して坐り効果を低下させるという可能性について検討した。

Fig. 1 と同じ条件で調製した 2 段加熱ゲルの SDS-尿素混合液に対する可溶化率を測定したところ、いずれについてもほぼ 100% であった。そこで、この可溶化液中の筋原繊維タンパク質のサブユニット成分を 7.5% ポリアクリルアミドを用いた SDS-PAGE 法により分析した。結果を Fig. 3 に示したが、いずれも、坐り時間の経過とともにミオシン重鎖の減少することと、その多量体が形成されることが観察された。しかし、それらの変化はでん粉添加量に関係なく同じ傾向であった。このよ

Fig. 3. SDS-PAGE patterns of surimi gel containing potato starch.

Surimi gels were prepared by the method as shown in Fig. 1. The setting time and the amount of potato starch are indicated above each gel. HC, myosin heavy chain monomer; Ac, actin.

うに、でん粉の添加は、肉糊中のミオシン重鎖の多量体の形成を阻害しないことから、トランスグルタミナーゼに対する活性阻害が原因ではないことが分かった。

次に、でん粉による坐り効果の低下が坐り中に生じたのか、あるいは坐り後の加熱中に生じたのかを調べた。

坐りゲルの物性に及ぼすでん粉の影響 Fig. 1 と同じ条件で調製したでん粉添加肉糊を 10°C で 0~2 日間坐らせて、坐りゲルおよびこれから調製した 2 段加熱ゲルの破断強度を測定した (Fig. 4)。坐りゲルの破断強度は坐り 0 日目ではいずれも 10~20 g であったが、でん粉を 0, 5, 10, 15% 添加したものでは坐り 2 日目に、それぞれ 195, 250, 284, 322 g となり、でん粉添加量が多いほど破断強度は増大した。また、2 段加熱ゲルでも坐りの効果は認められたが、でん粉添加量の増大とともにその効果は減少した。このことから、でん粉による坐り効果の低下には、坐り後の加熱によるゲルの形成とでん粉の加熱糊化によるゲル強度の増大の少なくとも 2 つの反応が関与していることになる。

2 段加熱ゲルの物性に及ぼす水分量の影響 本実験での肉糊の組成は、水とでん粉の合計量が常に一定 (30%) になるように調製されているので、でん粉を多く添加するほど水分量が少なくなっている。でん粉添加量が 0, 5, 10, 15% の肉糊の水分量は、それぞれ 82.2, 78.2, 74.1, 70.0% である。肉糊中の魚肉すり身の量は一定にしているため、でん粉の糊化膨潤によっても魚肉タンパク質中の水分量は低下する。このために、でん粉添加量が多いほど見かけ上のタンパク質濃度が高まるので、坐

Fig. 4. Effect of potato starch on the breaking strength of surimi gel.

Solid line, two step heating gel; dashed line, setting gel; ●, without starch; ○, 5% potato starch added; △, 10% potato starch added; □, 15% potato starch added.

りが促進されゲル強度が高められる可能性がある。

次にこれを確かめるために、Fig. 1 の試料の肉糊の組成からでん粉を除いて水分含量の異なる肉糊を調製し、それから坐りゲルおよび 2 段加熱ゲルを作成した。坐りゲルおよび 2 段加熱ゲルのいずれについても、水分量の低下とともに破断強度が増大したが (Fig. 5)、後者に対する坐りの効果はでん粉を添加した場合ほど低下するようなことはなかった。

Figs. 1~5 の結果から、肉糊の坐りによる破断強度の増大が経時的に進行するのに対して、でん粉添加による破断強度の増大が 2 段加熱によって急速に引き起こされるために、坐りの効果がでん粉添加量の増加とともにあたかも減殺されたようにも思われる。そこで、破断強度の高い肉糊ほどでん粉添加による破断強度の増大効果は小さくなると思われるので、次にこれを確かめた。

肉糊のゲル強度とでん粉の弾力増大効果 スケトウダラ冷凍すり身を 5°C で解凍し、ついで、25°C で 15 時間加温変性させた。そして、この変性したすり身と未変性すり身を 3:0, 2:1, 1:2, 0:3 の割合に混合した。この混合した冷凍すり身 67.3%, でん粉 10%, 水 20%, 塩化ナトリウム 2.7% の組成の肉糊を、90°C, 30 分間加熱してゲルを調製し破断強度を測定した。対照の肉糊のみのゲル (以下、対照ゲルと呼ぶ) には、でん粉の代わ

Fig. 5. Effect of moisture content on the breaking strength of surimi gel.

Solid line, two step heating gel; dashed line, setting gel. Moisture content: ●, 80.7%; ○, 78.3%; △, 76.6%; □, 74.9%.

りに同量の水を添加した。結果を Fig. 6 に示したが、破断強度は対照ゲル、でん粉添加ゲルともに変性した冷凍すり身の混合割合が大きいほど小さくなった。次に、でん粉添加による破断強度の増大効果を、対照ゲルとでん粉添加ゲルの破断強度の差として表し、同じく Fig. 6 に示した。対照ゲルの破断強度が大きいほど、でん粉による破断強度の増大効果が小さくなった。志水²³⁾も同様な結果を得ているが、この結果から、でん粉添加によって生じる坐り効果の低下は、肉糊自体に坐りが起こり破断強度が高くならなければ起きないことが示唆された。

以上のことから、でん粉を添加した肉糊の2段階加熱ゲルの破断強度の増大が抑制され、坐り効果が低下したのは、肉糊中のミオシン重鎖の多量体の形成を阻害するという直接的阻害が原因ではなく、肉糊に坐りが起きて破断強度が増大し、さらに坐り後の加熱時に、でん粉が糊化することによって生じるゲルの増強効果が著しいために生じた結果であると推察した。

でん粉による加熱ゲルの弾力増大効果は、魚肉タンパク質分子の網目構造中に分散したでん粉粒子の吸水によるタンパク質の濃縮と糊化膨潤によるマトリックス内の圧力増加によって生じると考えられている。^{24,25)} 一方、Seguro ら²⁶⁾ および Lee ら²⁷⁾ は、トランスグルタミナーゼが強く作用したときには ϵ -(γ -glutamyl)lysine 架橋が

Fig. 6. Effect of potato starch on the breaking strength of the gel from heat-denatured surimi.

Frozen surimi from wallye pollack was thawed, heated at 25°C for 15 h. The intact frozen surimi and the heat-treated surimi were mixed at varied weigh ratios as shown below. The mixed surimi was ground with 2.7% NaCl, 20% water, and 10% potato starch, and heated at 90°C for 30 min.

○, without potato starch; △, with 10% potato starch; □, subtracted the value without potato starch from the value with 10% potato starch.

- (1) Heated-treated surimi: intact surimi (3:0)
- (2) Heated-treated surimi: intact surimi (2:1)
- (3) Heated-treated surimi: intact surimi (1:2)
- (4) Heated-treated surimi: intact surimi (0:3)

多く形成され、硬くて脆いゲルになると報告している。したがって、丹羽ら²⁸⁾が指摘しているように、タンパク質の網目構造の弾性率は均一な分散のときが最も高いことから、本研究の場合には、坐りの効果が強く、でん粉によるゲルの補強が強く起きたために、タンパク質分子の網目構造が均一な分散から強い凝集と架橋によって不均一化し、粗密を生じることになり、結果的にゲルの強度が低下すると推測される。本研究で認めたでん粉添加による坐り効果の低下は、Grove ら¹²⁾が述べているように、でん粉によるゲルの増強反応と坐り反応が拮抗しておきるのではなく、両反応の重複による見かけの坐り抑制であると考えられる。今後この点について、さらに検討を行う予定である。

文 献

- 1) 志水 寛, 町田 律, 竹並誠一: 魚肉肉糊のゲル形成特性に見られる魚種特異性. 日水誌, 47, 95-104 (1981).
- 2) 右田正男, 岡田 稔: 魚肉の坐りについて—I, 坐りに対する無機塩類の影響. 日水誌, 18, 117-123 (1952).

- 3) 万 建栄, 関 伸夫: スケトウダラの坐りにおけるミオシンの酵素架橋重合に及ぼす塩の影響. 日水誌, **58**, 2181-2187 (1992).
- 4) J. Wan, I. Kimura, M. Sakata, and N. Seki: Effect of calcium ion concentration on the gelling properties and transglutaminase activity of walleye pollack surimi paste. *Fisheries Sci.*, **60**, 107-113 (1994).
- 5) 松川雅仁, 平田史生, 木村省二, 新井健一: スケトウダラ坐り—加熱ゲルのゲル物性に及ぼすピロリン酸塩の効果. 日水誌, **62**, 94-103 (1996).
- 6) 右田正男, 岡田 稔: 魚肉の坐りについて—II, 坐りに対するアルカリ金属塩の影響. 日水誌, **18**, 159-170 (1952).
- 7) 右田正男, 岡田 稔: 魚肉の坐りについて—III, 坐りに対する有機変性剤の影響. 日水誌, **19**, 589-595 (1953).
- 8) 右田正男, 岡田 稔: 魚肉の坐りについて—IV, pH の影響. 日水誌, **20**, 213-223 (1954).
- 9) 松津保浩, 新井健一: スケトウダラ肉糊の坐りによるゲル形成とミオシン重鎖の変化に及ぼす pH の影響. 日水誌, **57**, 1973-1980 (1991).
- 10) 山下民治, 関 伸夫: スケトウダラ肉糊の坐りに及ぼす大豆および小麦タンパク質添加の影響. 日水誌, **62**, 806-812 (1996).
- 11) 山下民治, 関 伸夫: スケトウダラかまぼこゲルの物性に及ぼす鶏卵成分の影響. 日水誌, **61**, 580-587 (1995).
- 12) L. MA, A. Grove, and G. V. Barbosa-canovas: Viscoelastic characterization of surimi gel: Effects of setting and starch. *J. Food Sci.*, **61**, 881-889 (1996).
- 13) 丹羽栄二: 坐り, 「魚肉ねり製品—研究と技術」(志水寛編), 恒星社厚生閣, 東京, 1984, pp.25-35
- 14) 関 伸夫, 宇野秀樹, 李 南赫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 新井健一: スケトウダラ筋肉およびすり身中のトランスグルタミナーゼ活性とミオシンB との反応. 日水誌, **56**, 125-132 (1990).
- 15) I. Kimura, M. Sugimoto, K. Toyota, N. Seki, K. Arai, and T. Fujita: A study on the cross-linking reaction of myosin in kamaboko suwari gels. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 1389-1396 (1991).
- 16) G. G. Kamath, T. C. Lanier, E. A. Foegeding, and D. D. Hamann: Nondisulfide covalent cross-linking of myosin heavy chain in setting of alaska pollock and atlantic croaker surimi. *J. Food Biochem.*, **16**, 151-172 (1992).
- 17) N. Seki, H. Nozawa, and S. Ni: Effect of transglutaminase on the gelation of heat-denatured surimi. *Fisheries Sci.*, **64**, 959-963 (1998).
- 18) 岡田 稔: 水産ねり製品の品質, 特に弾力に関する研究. 東海水研報, **36**, 21-126 (1963).
- 19) 沼倉忠弘, 関 伸夫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 高間浩蔵, 新井健一: 坐りによる肉糊のゲル形成とミオシンの交差結合反応. 日水誌, **51**, 1559-1565 (1985).
- 20) A. G. Gornall, C. T. Bardawill, and M. M. David: Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.*, **177**, 751-765 (1949).
- 21) U. K. Laemmli: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T₄. *Nature*, **227**, 680-685 (1970).
- 22) 沼倉忠弘, 関 伸夫, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫, 高間浩蔵, 新井健一: 加熱による変質スケトウダラすり身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**, 1083-1090 (1989).
- 23) 志水 寛: かまぼこの足についてVIII (澱粉による足の補強)(その2). 日水誌, **20**, 898-901 (1955).
- 24) 山下民治, 米田達雄: かまぼこの物性に及ぼすデンプンの種類および加熱条件の影響. 日食工誌, **36**, 214-221 (1989).
- 25) 山澤正勝: デンプン粒の膨潤性とかまぼこに対する弾力補強効果の関係. 日水誌, **57**, 971-975 (1991).
- 26) K. Seguro, Y. Kumazawa, T. Ohtsuka, H. Ide, N. Nio, M. Motoki, and K. Kubota: ϵ -(γ -glutamyl)lysine: Hydrolysis by γ -glutamyltransferase of different origins, when free or protein bound. *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 1977-1981 (1995).
- 27) H. G. Lee, T. C. Lanier, D. D. Hamann, and J. A. Knopp: Transglutaminase effects on low temperature gelation of fish protein sols. *J. Food Sci.*, **62**, 20-24 (1997).
- 28) 丹羽栄二, 中山照雄, 浜田 巖: かまぼこ中のたん白の網状構造におよぼす坐りの効果. 日水誌, **49**, 245-249 (1983).