

スケトウダラ肉糊の坐りに及ぼす糊化でん粉添加の影響

山下 民治,^{1*} 関 伸夫²

(2000年7月10日受理, 2001年3月30日受理)

¹広島県立食品工業技術センター, ²北海道大学大学院水産科学研究科

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

Tamiharu Yamashita,^{1*} Nobuo Seki²¹Hiroshima Prefectural Food Technology Research Center, Hiroshima 732-0816, ²Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hokkaido 041-8611, Japan

Salted surimi pastes were prepared by grinding walleye pollack surimi with 2.7% NaCl and a 30% water-pregelatinized starch mixture. The salted surimi paste was set at 10°C for 0-3 days, followed by heating at 90°C for 30 min. During the setting, the breaking strength of the control paste without pregelatinized starch increased, accompanying the formation of cross-linked myosin heavy chains. The addition of pregelatinized starch decreased the setting response and depressed myosin heavy chain cross-linking. Furthermore, the heat-induced gelation at 90°C was also depressed. Amylopectin was responsible for the inhibitory effect by pregelatinized starch on setting. Amylose, unlike amylopectin, increased the breaking strength of the surimi gel.

キーワード：坐り, かまぼこ, でん粉, 糊化でん粉, アミロペクチン, アミロース, ゲル形成

魚肉の塩すり身を低温で加温してから(坐り), 高温加熱してゲル化させると, 直接高温加熱したゲルに比べて, 弾力が著しく増大する場合がある。この坐りやすさは魚種によって異なり, スケトウダラやホキなどの冷水性の魚種では 10°C でも十分坐るが, テラピアのような熱帯魚やマグロ, カツオ, シログチのような温水性の魚は 25~45°C まで上げないと十分に坐らないと言われる。^{1,2)}そして, このような坐りの効果は, アクトミオシン網目構造形成時の凝集の均一分散化³⁾とトランスグルタミナーゼによるミオシンの架橋形成⁴⁻⁷⁾によって生ずると考えられている。一方, 水産ねり製品に使用される大豆や小麦タンパク質,⁸⁾卵黄,⁹⁾カゼイン¹⁰⁾等の添加物は, 坐りとその後の加熱ゲル形成に影響を与え, 最終的なかまぼこの足に影響を及ぼすことを著者らはさきに明らかにした。また, でん粉は坐り中の魚肉ミオシン重鎖の多量体の形成を抑制しないが, 坐りによるゲルの破断強度の増大効果を見かけ上抑制することを明らかにした。¹¹⁾さらに, でん粉による破断強度の増大は, その水分吸収による魚肉タンパク質の濃縮効果とでん粉粒の機械的強度の補強効果によって, 生ずると考えられてい

る。^{12,13)}一方, 糊化させたでん粉を添加しても, このような魚肉ゲルの破断強度の増大効果は見られず, むしろ, 破断強度を低下させると報告されている。¹⁴⁾しかし, このような相違が肉糊の坐りの過程で生じたのか, その後の加熱時に生じたのかについては明らかにされていない。そこで, 本研究ではこのことを明らかにするために, 糊化でん粉の肉糊の坐りに及ぼす影響について検討した。

実験方法

試料 ゲル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。このすり身は水分量 77%, pH 7.0 であり, ショ糖 4%, ソルビトール 4%と重合リン酸塩 0.2%を添加物として含んでいた。糊化とうもろこしでん粉としてマツノリン CM(松谷化学株式会社製), 糊化ワキシーとうもろこしでん粉としてマツノリン A(松谷化学株式会社製, アミロペクチン含量は約 100%), 糊化ハイアミロースとうもろこしでん粉として AH-F(株式会社ホーネンコーポレー

* Tel : +81-82-251-7431, Fax : +81-82-251-6087, E-mail : yamashit@syokuhin-kg.pref.hiroshima.jp

ション製, アミロース含量は約 70%) を用いた。

魚肉ゲルの調製 半解凍した冷凍すり身に終濃度 2.7% (W/W) の塩化ナトリウムを添加し, 20 分間播漬して塩ざり身を調製した。これに, 糊化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 (タンパク質濃度 130 mg/g) とした。これ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), さらに 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 分間加熱したものについては, 以下直接加熱ゲルと表記した。坐りゲルについては作成直後に, また, 直接加熱ゲルおよび 2 段加熱ゲルについては流水中で冷却し, 室温に 2 時間放置した後, 次に示した各種の測定に供した。

魚肉ゲルの物性測定 魚肉ゲルの破断強度, 凹みの大きさ, 軟らかさをレオメータ (不動工業株式会社製, NRM-2010J-CW 型) で測定した。試料の高さを 3 cm, プランジャー径 0.5 cm, 試料台上昇速度を 6 cm/min, 測定温度を 25°C に選んだ。ゼリー強度を破断強度×凹みの大きさ/2 の計算式から求めた。また, 破断試験で試料とプランジャーが接触したときの歪み-荷重曲線の傾きから軟らかさを求めた。¹⁵⁾

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¹⁶⁾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-8M 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, マグネチックスターラーで 20 時間室温で攪拌して可溶化した。可溶化した溶液 1 mL に 5% TCA 5 mL を加えて沈殿させたタンパク質をジエチルエーテル・エタノール混液で洗浄した後, ビューレット法¹⁷⁾によりタンパク質濃度 (A) を測定した。さらに, 上記の可溶化溶液を 14,000×g で 30 分間遠心分離して, その上澄みについて同様にタンパク質濃度 (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を $100 \times B/A$ の式から算出した。

SDS-ポリアクリルアミド電気泳動法 (SDS-PAGE) SDS-PAGE を Laemmli の方法¹⁸⁾により 7.5% アクリルアミドゲルを用いる方法, または Weber と Osborn の方法¹⁹⁾に準じて 1.8% アクリルアミドゲルを用いる方法で行った。染色を 0.12% Coomassie Brilliant Blue R250 によって行い, 脱色を 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

成分量について, デンシトメーター (アドバンテック東洋株式会社製, DM-303 型) によって, 565 nm における吸光値を測定し, 泳動ゲル上に認められた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及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²⁰⁾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糊化でん粉の影響 終濃度 0, 5, 10, 15% (W/W) の糊化とうもろこしでん粉を添加した肉糊を, 10°C で 0~3 日間坐らせた後, 90°C, 30 分間加熱した 2 段加熱ゲルの破断強度, 凹みの大きさ, ゼリー強度, 軟らかさを Fig. 1 に示した。坐りを行わない直接加熱ゲルの破断強度は糊化でん粉添加量が多くなるほど小さくなることから, 糊化でん粉が加熱ゲル形成を抑制するものと思われた。また, 坐り時間の経過とともにいずれの 2 段加熱ゲルの破断強度も増大した。しかし, その増大の割合は, 糊化でん粉の添加量の増大とともに小さくなり, 15% も添加するとほとんど変わらなくなった。次に, 直接加熱ゲルの凹みの大きさは, 糊化でん粉の添加量が多くなるほど小さくなった。また, 2 段加熱ゲルでは, 糊化でん粉添加量が多くなるにつれて, 凹みの大きさに対する坐りの効果が失われ, 10~15% 添加したときにはむしろ多少の低下が認められた。さらに, 糊化でん粉添加量が多くなるにつれて, 直接加熱ゲルのゼリー強度は減少し, 10~15% も添加すると坐りの効果はほとんど失われた。おそらく, 破断強度と凹みの大きさの低下によると察せられる。最後に, 直接加熱ゲルの軟らかさは, いずれの量の糊化でん粉を添加しても, 無添加のものに比べて小さくなった。また, これらの肉糊を坐らせると, 坐り時間の経過とともに軟らかさが減少して, 硬さが増した。その減少の割合は, 糊化でん粉添加量が多いほど小さくなり, 15% も添加するとほとんど変わらなくなった。

以上の結果から, 肉糊に糊化でん粉を添加すると, 得られる直接加熱ゲルの破断強度や凹みの大きさ, ゼリー強度, 軟らかさは低下し, 弾力の補強効果が抑制されることが判明した。また, 2 段加熱ゲルの破断強度や凹みの大きさ, ゼリー強度の増大の割合などから, 糊化でん粉は坐りの効果をも妨げるように思われた。

そこで, 糊化でん粉による坐りの抑制が坐りの過程で生じたのか, あるいは坐り後の加熱の過程で生じたのかを調べた。

坐りゲルの物性に及ぼす糊化でん粉添加の影響 Fig.

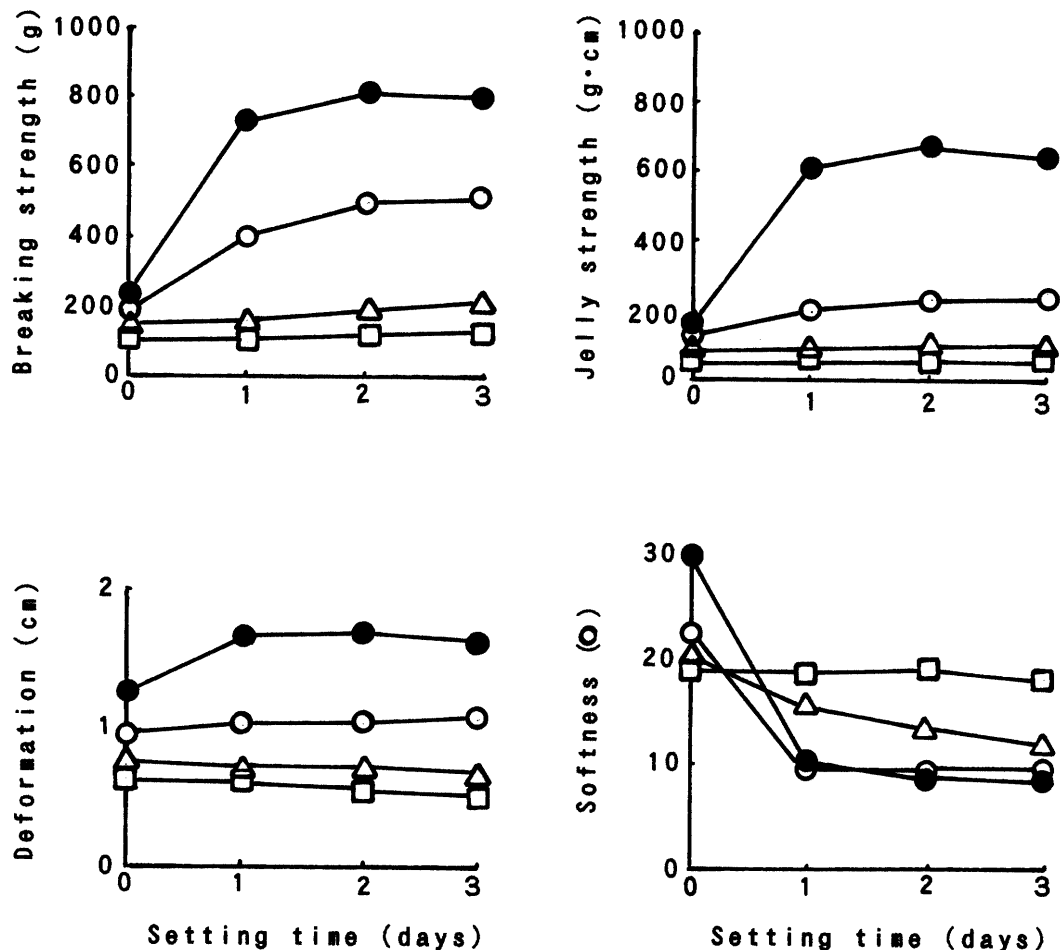


Fig. 1. Effect of pregelatinized corn starch on the textural properties of surimi gel. Walleye pollack surimi was ground with 2.7% NaCl and either 30% water or a mixture of water and pregelatinized corn starch, and preheated at 10°C to induce setting, followed by heating at 90°C for 30 min. Textural properties of the gel thus formed by the two-step heating were measured with a rheometer equipped with a ϕ 0.5 cm plunger at 25°C. ●, 30% water or Without starch; ○, 25% water-5% pregelatinized corn starch; △, 20% water-10% pregelatinized corn starch; □, 15% water-15% pregelatinized corn starch.

1と同じ条件で調製した肉糊を10°Cで0~3日間坐らせたときの、坐りゲルおよび2段加熱ゲルの破断強度をFig. 2に示した。2段加熱ゲルの破断強度は坐りゲルのそれに比べて常に高く、いずれのゲルの破断強度も坐り時間の経過とともに増大した。しかし、その増大の割合は糊化でん粉添加量が多くなるにつれて小さくなった。次に、加熱による破断強度の増大効果を、2段加熱ゲルの破断強度と坐りゲルの破断強度の差として表し、Fig. 3に示した。糊化でん粉の添加量が多くなるにつれて、加熱による破断強度の増大効果は坐り時間の経過とともに小さくなり、10~15%も添加するとかえって減少した。これらのことから、糊化でん粉は、坐りだけではなく、その後の加熱による破断強度の増大効果をも低下させることが分かった。しかし、糊化でん粉による破断強度の増大効果の抑制は、坐りあるいはその後の加熱のどちらに大きく影響するかは明らかでない。

そこで、この点を明らかにするために、ミオシン重鎖多量体形成に及ぼす糊化でん粉の影響を調べた。

EDTA添加肉糊の2段加熱ゲルの物性に及ぼす糊化でん粉の影響 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。⁴⁻⁷⁾ 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、⁴⁾ EDTAをスケトウダラ肉糊に添加して坐りを抑えて、⁷⁾ 2段加熱ゲルの物性に及ぼす糊化でん粉の影響を調べた。

5 mM EDTAを添加した肉糊を10°Cで0~3日間坐らせて、90°C、30分間加熱した2段加熱ゲルの破断強度をFig. 4に示した。EDTAを添加すると、坐りによる破断強度はむしろ多少低下する傾向にあり、坐りの効果が完全に失われたものと思われる。次に、この肉糊に糊化でん粉を添加したところ、直接加熱ゲルの破断強度

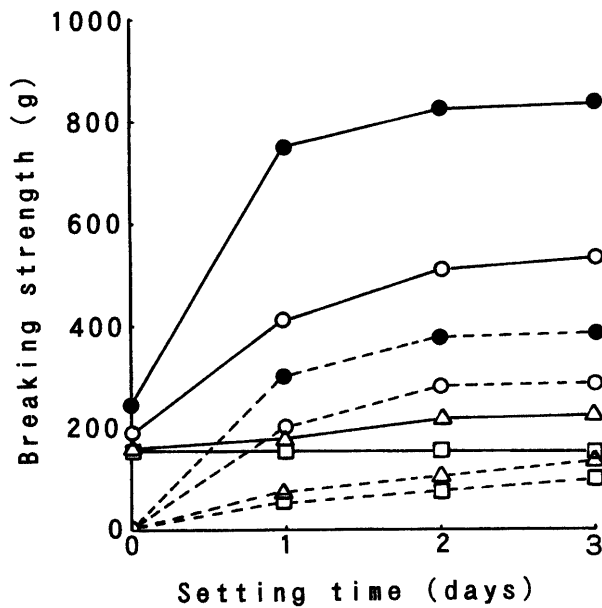


Fig. 2. Effect of pregelatinized corn starch on the breaking strength of surimi gel. Walleye pollack surimi paste containing pregelatinized corn starch was prepared as described in Fig. 1, and preheated at 10°C to induce setting (setting gel, dashed line), followed by heating at 90°C for 30 min (two step heating gel, solid line). Symbols are the same as in Fig. 1.

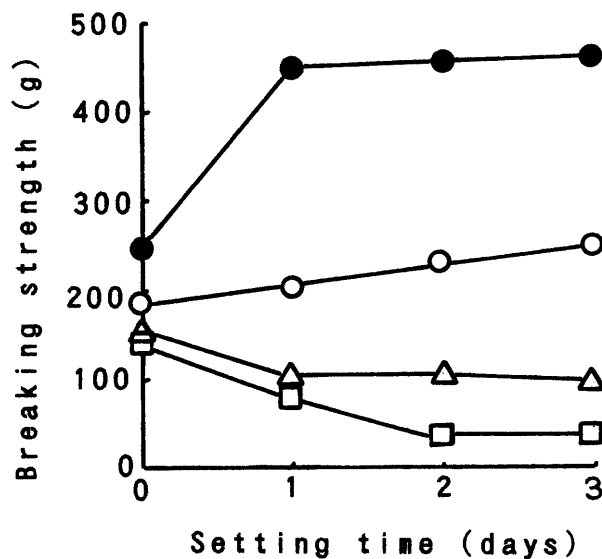


Fig. 3. Effect of pregelatinized corn starch on heat-induced gelation at 90°C. The difference of breaking strength of two step heated-gel and that of setting gel was calculated and plotted on the ordinate. The data were quoted from Fig. 2. Symbols are the same as in Fig. 1.

は、添加量が多いほど小さくなったが、2 段加熱ゲルの破断強度もほぼ同じ傾向を示した。この結果から、糊化でん粉の添加はトランスグルタミナーゼによるミオシン

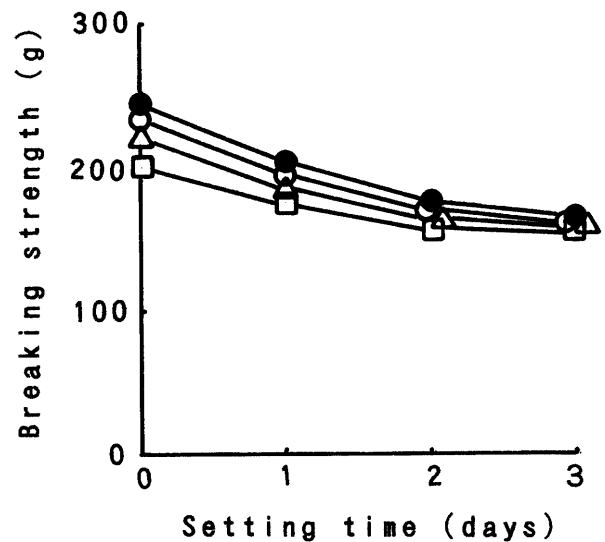


Fig. 4. Effect of pregelatinized corn starch and EDTA on surimi gel strength. The surimi paste containing various amounts of pregelatinized corn starch in the presence of 5 mM EDTA was incubated at 10°C prior to cooking at 90°C for 30 min. Symbols are the same as in Fig. 1.

重鎖の多量体形成を阻害する可能性があるように思われるので、次にこれについて調べた。

ミオシン重鎖多量体形成に及ぼす糊化でん粉の影響
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。その結果を Fig. 5 に示したが、いずれの試料についても、坐り時間の経過とともにミオシン重鎖の減少とその多量体の形成が観察された。しかし、糊化でん粉の添加量が多くなるにつれて、ミオシン重鎖の減少の抑制とともに、その多量体の形成が抑制されることが認められた。すなわち、その添加によって、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形成が抑制されるものと思われる。

次に、糊化でん粉のどのような成分が肉糊の坐りを抑制したのかについて調べた。

よく知られているように、でん粉はアミロースとアミロペクチンの 2 成分から成り立つ。²¹⁾ 糊化でん粉を 10% 添加したものに高い坐り抑制効果が認められたが (Fig. 1)、このでん粉はアミロース、25%; アミロペクチン、75% を含むものである。²²⁾ そこで、アミロースとアミロペクチンの各々を肉糊に添加し、10°C で 0~3 日間坐らせた 2 段加熱ゲルの破断強度を Fig. 6 に示した。糊化ハイアミロースとうもろこしでん粉は添加量に

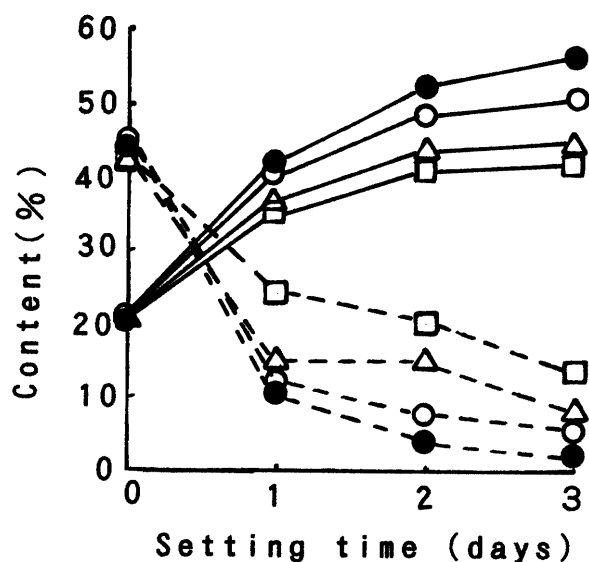


Fig. 5. Effect of pregelatinized corn starch on the changes in myosin heavy chain during the setting of surimi paste. Walleye pollack surimi pastes with varied amounts of pregelatinized corn starch were pre-incubated at 10°C and then cooked at 90°C for 30 min. Protein components were analyzed and estimated by SDS-PAGE and quantitative densitometry. Dashed line, myosin heavy chain monomer; solid line, components larger than myosin heavy chain including its polymers. Symbols are the same as in Fig. 1.

応じて、坐り時間の経過とともに破断強度を増大させ、坐りを抑制しなかっただけでなく、直接加熱ゲルの破断強度を増大させた。これに対して、糊化ワキシーとうもろこしでん粉は坐りによる破断強度の増大が小さく、むしろ坐りを抑制し、この傾向は添加量が増大するにつれて著しくなった。これらの結果から、糊化でん粉の坐り抑制効果には、アミロペクチンが大きく関与していることが分かった。おそらく、アミロペクチンの坐り抑制の原因の一つとして、その巨大分子の分岐構造が関与するのであろう。

以上の結果から、肉糊に添加された糊化でん粉は、坐りにおけるミオシン重鎖の多量体の形成を抑制し、坐りゲルと加熱ゲルの両方の破断強度の増加を阻害して、坐り効果を低下させることが分かった。そして、その低下に、糊化でん粉中のアミロペクチンが主に関与していることが明らかになった。さらに、糊化したアミロペクチンが内因性トランスグルタミナーゼによるミオシン重鎖多量体の形成を抑制する機構については、巨大分子の分岐構造が関わるものと思われるが、その詳細は不明である。

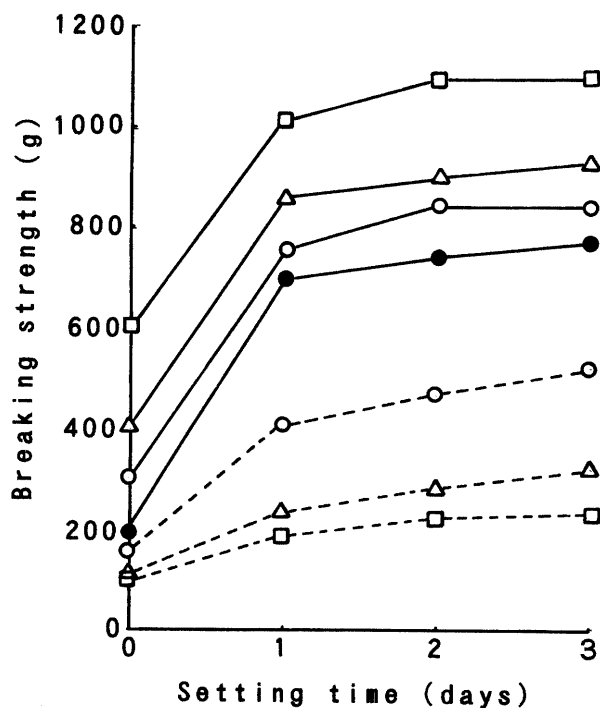


Fig. 6. Effect of pregelatinized amylose and amylopectin on the breaking strength of surimi gel. The surimi paste containing various amounts of pregelatinized amylose and amylopectin were incubated at 10°C prior to cooking at 90°C for 30 min. Dashed line, amylopectin; solid line, amylose. ●, Without starch; ○, 2.5% added; △, 5% added; □, 7.5% added.

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性. 日水誌 1981; **47**: 95-104.
- 2) 加藤 登, 橋本昭彦, 野崎 恒, 新井健一. スケトウダラ, シログチおよびティラピアの肉糊の坐り速度に及ぼす温度の影響. 日水誌 1984; **50**: 2103-2108.
- 3) 丹羽栄二. 坐り. 「魚肉ねり製品」(志水 寛編) 朝恒星社厚生閣, 東京, 1984: 25-35.
- 4) 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 1990; **56**: 125-132.
- 5) Kimura I, Sugimoto M, Toyota K, Seki N, Arai K, Fujita T. A study on the cross-linking reaction of myosin in kamaboko suwari gels. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; **57**: 1389-1396.
- 6) Kamath GG, Lanier TC, Foegeding EA, Hamann DD. Nondisulfide covalent cross-linking of myosin heavy chain in setting of alaska pollock and atlantic croaker surimi. *J. Food Biochem.* 1992; **16**: 151-172.
- 7) Seki N, Nozawa H, Ni S. Effect of transglutaminase on the gelation of heat-denatured surimi. *Fisheries Sci.* 1998; **64**: 959-963.
- 8) 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 1996; **62**: 806-812.
- 9) 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. 日本誌 1995; **61**: 580-587.
- 10) Yamashita T, Araki H, Seki N. Effect of casein on gelling properties of surimi paste. *Fisheries Sci.* 1996; **62**: 421-426.
 - 11) 山下民治, 谷本昌太, 関 伸夫. スケトウダラ肉糊の坐りに及ぼすでん粉添加の影響. 日本誌 1999; **65**: 872-877.
 - 12) 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 1989; **36**: 214-221.
 - 13) 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. 日本誌 1991; **57**: 971-975.
 - 14) Niwa E, Ogawa N, Kanoh S. Depression of elasticity of kamaboko induced by pregelatinized starch. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; **57**: 157-162.
 - 15) 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 1963; **36**: 22-126.
 - 16) 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. 日本誌 1985; **51**: 1559-1565.
 - 17) Gornall AG, Bardawill CT, David MM. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.* 1949; **177**: 751-765.
 - 18) Laemmli UK. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T₄. *Nature* 1970; **227**: 680-685.
 - 19) Weber K, Osborn M. The reliability of molecular weight determination by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Biol. Chem.* 1962; **244**: 4406-4412.
 - 20) 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. 日本誌 1989; **55**: 1083-1090.
 - 21) 二国二郎. デンプンの化学. 「デンプンハンドブック」(二国二郎編) 朝倉書店, 東京, 1961; 5-57.
 - 22) 滝 基次. ペーパークロマトグラフィーによる各種澱粉のアミロースの定量について. 農化 1959; **33**: 445-448.