

スケトウダラすり身の二段加熱ゲルの物性に及ぼす グルコン酸ナトリウムの影響

竹下 瑞恵, 大泉 徹, 赤羽 義章, 阿部 洋一
北上 誠一, 村上由里子, 竹縄 誠之

(1999年6月14日受付)

Effect of Na-gluconate on Characteristics of Two-step Heated Gel from Walleye Pollack Surimi*¹

Mizue Takeshita,*² Tooru Oozumi,*² Yoshiaki Akahane,*² Yo-ichi Abe,*³
Seiichi Kitagami,*⁴ Yuriko Murakami,*⁴ and Seishi Takenawa*⁵

The characteristics of the two-step heated gel from walleye pollack surimi added with sodium gluconate (Na-gluconate) were investigated in connection with the progress of cross-linking reaction of myosin heavy chain (HC). The salt-ground meats with 2.5% NaCl plus either 8% sorbitol or Na-gluconate were preheated at 25°C or 40°C for various periods and were subsequently heated at 90°C for 30 min. There was no difference in the breaking strength of both two-step heated gels thus prepared, while the breaking strain of the gel formed with Na-gluconate was lower than that formed with sorbitol. Accordingly, the two-step heated gel with Na-gluconate was characterized as relatively more hard but not elastic. The same trends were also observed in the two-step heated gels prepared upon addition of Na-gluconate and NaCl by various ratios to adjust the Na⁺ concentration to 0.43 mol/kg. Although the addition of Na-gluconate decreased the progression rate of the cross-linking reaction of HC in the gels during heating, the changes in the characteristics of the two-step heated gels did not depend on the progress of such reaction. The results suggested that the changes in noncovalent interactions between proteins in the gels caused by gluconate ions largely contributed to the gel characteristics.

キーワード：グルコン酸ナトリウム, スケトウダラ, すり身, 二段加熱ゲル, ゲル物性, ミオシン重鎖, 多量化反応

グルコン酸ナトリウム（以下グルコン酸 Na とする）は種々の食品の製造過程で、食塩の作用を代替することなどを目的として、平成 10 年 9 月 18 日付けで使用が許可された新しい食品添加物である。これまでに行われたモデル実験の結果から、グルコン酸 Na が魚肉の筋原繊維タンパク質（以下 Mf タンパク質とする）の変性を抑制することはすでに知られている。^{1,2)} さらに、最近になって著者らはグルコン酸 Na が変性抑制作用を示すだけでなく、NaCl と同様に Mf タンパク質を溶解することを明らかにした。³⁾ 魚肉中の Mf タンパク質の溶解と変性の調節は魚肉ねり製品のゲル物性の発現と強くかか

わっている。^{4,5)} グルコン酸 Na の添加によってねり製品の物性が変化することが推定される。しかしながら、魚肉すり身の加熱ゲルの物性に及ぼすグルコン酸 Na の影響については未だ明らかではない。

近年、沼倉ら⁶⁾はゲル化にともない肉糊中のミオシン重鎖が SDS や尿素あるいは 2-メルカプトエタノールで開裂しない強い結合を介して多量化することを明らかにした。また、種々の添加物がこのようなタンパク質間の相互反応に影響を及ぼし、結果として加熱ゲルの物性を変化させることも報告されている。⁷⁻¹²⁾

そこで、本研究では、グルコン酸 Na を添加したすり

*¹ 本研究の要旨は平成 11 年度日本水産学会春季大会（東京）において発表した。

*² 福井県立大学生物資源学部海洋生物資源学科（Department of Marine Bioscience, Faculty of Biotechnology, Fukui Prefectural University, Gakuen, Obama, Fukui 917-0003, Japan）。

*³ 阿部十良商店（Abe Jyuro Co., Ltd., Minami 4, Higashi 6-8, Abashiri, Hokkaido 093-0004, Japan）。

*⁴ 全国すり身協会技術研究所（National Surimi Manufacturers Association, Abashiri, Hokkaido 093-0057, Japan）。

*⁵ 藤沢薬品工業（Fujisawa Pharmaceutical Co., Ltd., Nihonbashi, Chuo, Tokyo 103-0012, Japan）。

身を材料として用い, それから調製した二段加熱ゲルの物性上の特徴をゲル化におけるミオシン重鎖の多量化反応の進行との関係で明らかにすることを目的とした。

実験方法

脱水肉および冷凍すり身の調製 北海道近海で漁獲されたスケトウダラ *Theragra chalcogramma* を原料として, 網走市内の冷凍すり身工場で脱水肉または冷凍すり身を調製し材料として用いた。脱水肉を用いた実験を行った理由はグルコン酸 Na やソルビトールなどの変性抑制剤を含まない二段加熱ゲルの物性を対照として検討するためである。すなわち, 脱水肉を用いた実験では 0.2% の重合リン酸塩と 0~8% のソルビトールまたはグルコン酸 Na を単独で, あるいは混合物として脱水肉に添加し, ゲル化試験の材料とした。また, 冷凍すり身は脱水肉に 0.2% の重合リン酸塩と 8% のソルビトールまたはグルコン酸 Na あるいは各 4% のソルビトールとグルコン酸 Na を添加して調製した。冷凍すり身は -20°C 以下で冷凍貯蔵して実験室に移送した後, 4 ヶ月以内に実験に供した。これらの冷凍すり身中の粗タンパク質量は 143.7 mg/g 湿重量で, pH は 6.9 から 7.1 の範囲にあり, グルコン酸 Na の添加がすり身の pH に影響を及ぼさないことをあらかじめ確認した。

二段加熱ゲルの調製 脱水肉を冷凍することなく用いた実験では, ソルビトールまたはグルコン酸 Na を含む脱水肉に 2.5% NaCl を添加し, 小型サイレントカッター (柳屋製作所製) で約 7 分間らい潰して肉糊を調製した。このとき, すり上り後の肉糊の温度は 15~17°C の範囲にあった。この肉糊を折径 48 mm のポリ塩化ビニリデンチューブに充填し, 25°C または 40°C で 0~22 時間予備加熱した後, さらに 90°C で 30 分間加熱して二段加熱ゲルを調製した。

一方, 冷凍すり身を材料として用いた実験では, すり身が完全に解凍しないうちに細切し, NaCl またはグルコン酸 Na を所定の濃度になるように調節して添加し, スピードカッター (ナショナル MK-K75) を用いて, 約 2 分 30 秒間らい潰して肉糊を調製した。このときのすり上り後の肉糊の温度は 5°C 以下であった。肉糊をプラスチック製円筒容器 (直径 30 mm 厚さ 19 mm) に充填してキャップで密封し, 25°C または 40°C で 0~8 時間予備加熱した後, さらに 90°C で 30 分間加熱し, 二段加熱ゲルを調製した。

二段加熱ゲルの物性評価 脱水肉から調製した二段加熱ゲルを氷水中で冷却し, さらに室温に 1 から 2 時間放置して品温を室温付近とした後, 二段加熱ゲルから厚

さ 25 mm, 直径 30 mm の円柱状試験片を調製し, 直径 5 mm の球状プランジャー (進入速度 1 mm/s) を装着したレオメーター (不動工業製 NRM2002J) を使用して, 破断強度 (g) と破断凹み (mm) を測定した。一方, 冷凍すり身から調製した二段加熱ゲルでは同じく品温を室温とした後, 破断強度 (g) と破断凹み (mm) を直径 5 mm の円柱状プランジャー (進入速度 1 mm/s) を装着したレオメーター (レオナー RE-3305-2, 山電製) を使用して同様に測定した。このように測定した物性値とともに, 破断強度を破断凹みで除した値 (g/mm) をゲル剛性として算出し, ゲルの特性を評価する指標に用いた。なお, ゲル剛性は変位に対する外力の比を示し, 破断時における単位変形量当たりの力を意味することから, 各種条件で調製される加熱ゲルの食感と密接な関連を持つ特性の一つとして, 品質評価に有用であると考えられている。¹³⁾

SDS-尿素-メルカプトエタノール混液に対する二段加熱ゲルの可溶化と可溶化率の測定 沼倉らの方法⁶⁾に従って二段加熱ゲルの一定量を 2% SDS-8 M 尿素-2% 2-メルカプトエタノール-20 mM Tris-HCl (pH 8.0) 溶液 (以下 SDS-尿素混液とする) に溶解し, 溶液中のタンパク質量を測定して可溶化率を算出した。なお, 溶液中のタンパク質量の測定はビウレット法¹⁴⁾によって行った。

二段加熱ゲル中の筋原繊維タンパク質のサブユニット組成の分析 二段加熱ゲルから可溶化したタンパク質を SDS-PAGE^{*6} に供して, Mf タンパク質のサブユニット組成の変化を予備加熱時間との関連で検討した。なお, SDS-PAGE は 5% ポリアクリルアミドゲルを用いて Laemmli の方法¹⁵⁾ に準じて行った。また, タンパク質のサブユニット成分組成は, 泳動ゲル上のそれらの成分の染色強度をデンストメトリーにより測定して検討した。

結果および考察

二段加熱ゲルの物性変化 8% のソルビトールまたはグルコン酸 Na と 0.2% 重合リン酸塩を含む脱水肉に 2.5% NaCl を添加して調製した肉糊を 25°C または 40°C で予備加熱した後, 90°C で加熱して得た二段加熱ゲルの物性と予備加熱時間との関係を Fig. 1-A~F に示した。なお, 本実験では 8% ソルビトールまたはグルコン酸 Na の代わりに 8% の水を添加して調製した二段加熱ゲルを対照とした。25°C で予備加熱すると, いずれの加熱ゲルの場合も, 破断強度 (Fig. 1-A) と破断凹み (Fig. 1-B) が増大した。また, これらの加熱ゲ

*6 Sodium dodecylsulfate polyacrylamide gel electrophoresis.

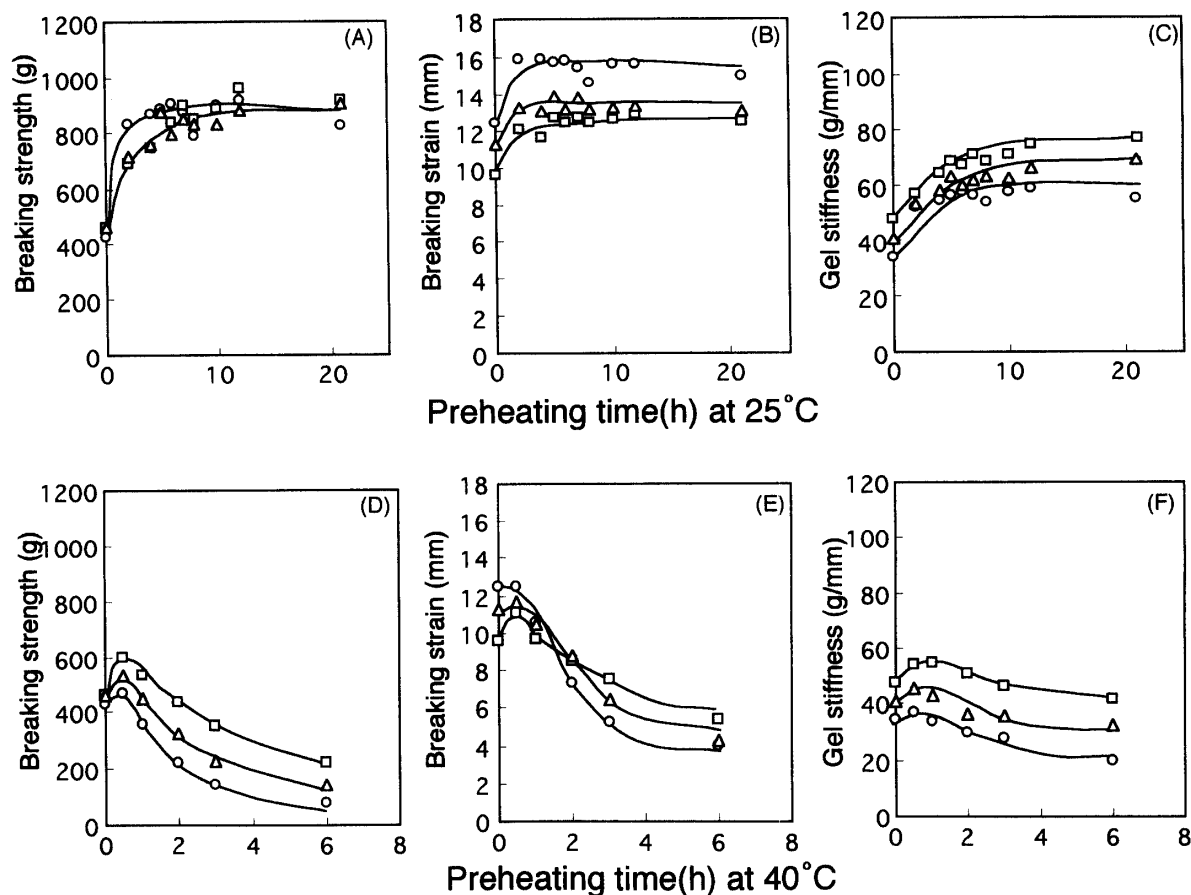


Fig. 1. Changes in breaking strength, breaking strain, and gel stiffness of two-step heated gels prepared from salt-ground meats with Na-gluconate or sorbitol as a function of preheating time.

The washed meat prepared from walleye pollack was ground with 2.5% NaCl plus 8% of water (○), Na-gluconate (□), or sorbitol (△). The salt-ground meats were stuffed into a polyvinylidene chloride tube (φ48 mm). The heating at 90°C for 30 min followed the preheating of the salt-ground meats at 25°C (A, B, C) or 40°C (D, E, F) by using a water bath. After cooling in ice water, the two-step heated gels were sliced at 25 mm thickness and assessed by measuring the breaking strength (g) and the breaking strain (mm) by using a reometer (Fdoh NRM2002J) equipped with a spherical plunger (φ5 mm). The gel stiffness was calculated as (breaking strength/breaking strain).

ルの破断強度の最大値にはほとんど差が認められなかったが、対照に比べてソルビトールまたはグルコン酸 Na を添加した加熱ゲルでは、その増加が緩慢であった。船津ら⁷⁾は先に肉糊のゲル物性に及ぼすソルビトールの影響を検討し、ソルビトールは破断強度を緩慢に増大させるとともにその最大値を高めることを明らかにしている。本実験の結果はソルビトールが破断強度を緩慢に増大させる点では船津らの結果⁷⁾と類似しているが、その最大値が変化しない点が異なっている。その理由は明らかではないが、用いたすり身の品質やゲルの調製法などの相違が影響を及ぼしているのかもしれない。破断凹みはいずれの場合も約3時間の予備加熱ではほぼ最大となり、その後は予備加熱時間を延長しても対照が最も高く、ソルビトールを添加したゲル、グルコン酸 Na を添加したゲルの順に低い値を示した。

一方、40°C で予備加熱した場合には、いずれの二段

加熱ゲルの破断強度も約30分間の予備加熱によってわずかに増加したが、それ以上予備加熱すると大きく低下した (Fig. 1-D)。ただし、グルコン酸 Na を添加したゲルでは、短時間の予備加熱による破断強度の増加の度合いが対照およびソルビトールを添加した場合よりも大きく、その後の低下の度合いも小さかった。また、破断凹みについても、同様の变化傾向が認められた (Fig. 1-E)。これらの結果から算出される二段加熱ゲルのゲル剛性は25°Cの予備加熱によって大きく増大し (Fig. 1-C)、40°Cでは僅かに低下する傾向を示した (Fig. 1-F)。しかし、グルコン酸 Na 添加ゲルのゲル剛性は、予備加熱温度と時間にかかわらず、対照とソルビトール添加ゲルよりも高い値を示した。

二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の関係 阿部ら¹⁰⁾は先に二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の間には用いたすり身の等級や予備加熱の温度や時間に関係な

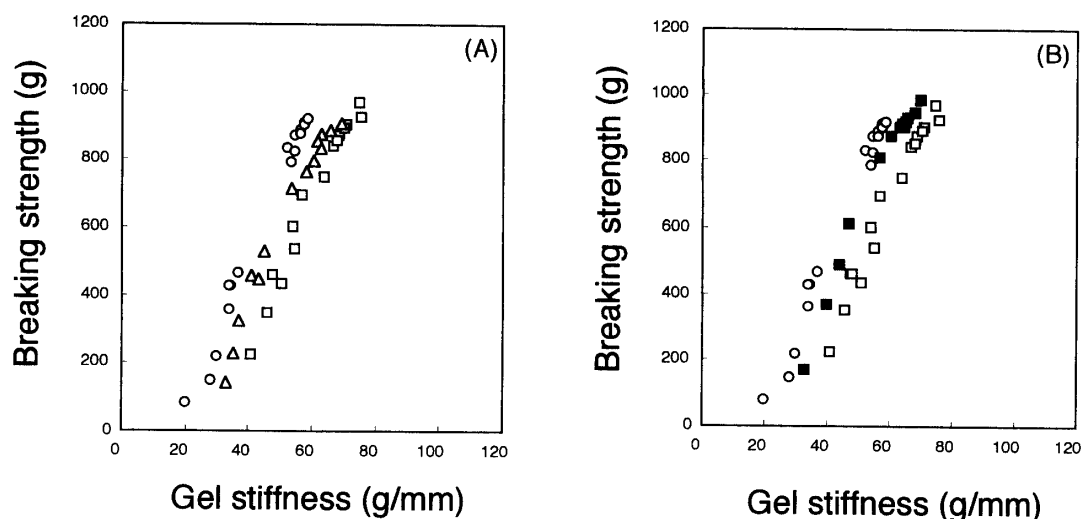


Fig. 2. Relationships between gel stiffness and breaking strength of two-step heated gels prepared from washed meat with Na-gluconate.

The data and the symbols shown in Fig. 1 were used to illustrate Fig. 2-A. The relationships between the gel stiffness and the breaking strength of the two-step heated gels prepared with 0% (○), 5% (■), or 8% (□) of Na-gluconate were also shown in Fig. 2-B. The protein concentration of the salt-ground meat was adjusted to the same by addition of water.

く、一定の相関関係が成立し、この関係から加熱ゲルのテクスチャーの特徴を評価できることを明らかにしている。そこで、次に Fig. 1 の結果から二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の値を引用し、それらの関係を Fig. 2-A に示した。これによると、いずれの二段加熱ゲルの場合も破断強度とゲル剛性の間には予備加熱温度や時間にかかわらず高い正の相関関係が成立することが認められた ($r=0.96\sim0.99$)。また、グルコン酸 Na を添加した二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の関係は、対照およびソルビトールを添加した加熱ゲルの場合のそれよりも図中の右側に位置していた。それゆえ、これら 3 種の二段加熱ゲルの物性は相互に異なり、ゲル剛性が同じでもグルコン酸 Na を添加したゲルは破断強度が小さいという特徴を有することが示された。この結果はグルコン酸 Na を添加したゲルのテクスチャーは弾力よりもむしろ硬さがやや優先していることを示している。

また、Fig. 2-B には、グルコン酸 Na の添加濃度を変化させて（タンパク質濃度は水を添加して同じになるように補正した）調製した二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の関係を示した。これによるとグルコン酸 Na の濃度が高いほど両値の関係は図中の右側に位置するようになり、ゲル物性の変化がグルコン酸 Na の濃度に依存していることが確かめられた。なお、これらの物性値から明らかとなったグルコン酸 Na を添加した二段加熱ゲルの特性はそれらの食感を官能的に評価した結果とよく対応していた。

以上の実験では、ゲル中のタンパク質濃度を一定とす

るため、グルコン酸 Na やソルビトールを添加しないゲルでは同量の水を添加して対照とした。従って加水による水分含量の変化が実験結果に影響を及ぼしていることも考えられる。そこで、次に加水によるタンパク質濃度の調整を行わずに、肉糊から調製した二段加熱ゲルの物性に及ぼすグルコン酸 Na の影響を検討し、得られた二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の関係を Fig. 3 に示した。その結果、Fig. 2-A と同様に、この場合もグルコン酸 Na の添加によって二段加熱ゲルは高いゲル剛性を示すことから、二段加熱ゲルの物性変化は、水分含量の相違によって引き起こされているものではないことが確認された。

肉糊中の総 Na^+ 濃度を一定に調節した二段加熱ゲルの物性 これまでの実験結果は、すり身に対する NaCl の添加濃度を 2.5% と一定にして得られたものである。それゆえ、グルコン酸 Na を加えた肉糊中のイオン強度はソルビトールを含むものよりも上昇している。従って、このようなイオン強度の上昇が二段加熱ゲルの物性に影響を及ぼしている可能性も考えられる。そこで、次に肉糊のイオン強度が同じになるように、グルコン酸 Na と NaCl の添加量の総計を調節して二段加熱ゲルを調製し、それらのゲル物性を検討した。すなわち、8% のソルビトールを含む冷凍すり身には 2.5% NaCl を、8% のグルコン酸 Na を含む冷凍すり身には 0.92% NaCl を、さらに各 4% のソルビトールとグルコン酸 Na を含む冷凍すり身には 1.8% NaCl を添加して、肉糊中のグルコン酸 Na と NaCl に由来する総 Na^+ 濃度が

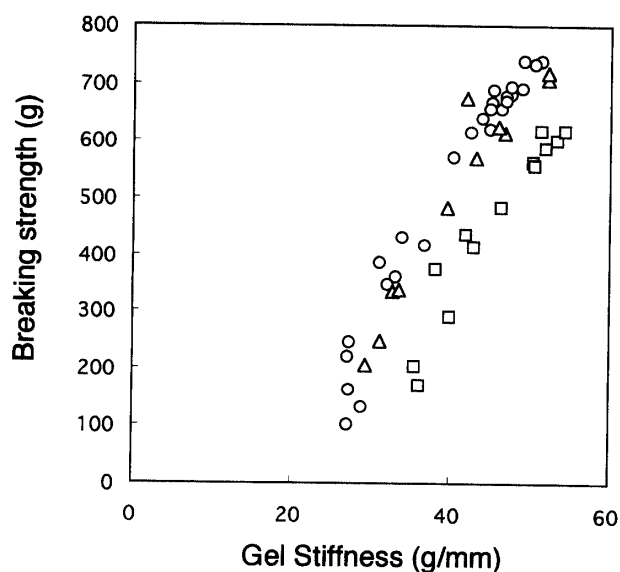


Fig. 3. Effect of Na-gluconate on the relationships between gel stiffness and breaking strength of two-step heated gels prepared from washed meat without adjustment of protein concentration.

The control gel was prepared from washed meat of walleye pollack in the same manner as in Fig. 1 except without adjustment of protein concentration to the same by addition of water. The relationship between the gel stiffness and the breaking strength of the control gel (○) thus prepared was compared with those of the gel with 8% Na-gluconate (□) or sorbitol (△).

いずれも 0.43 mol/kg になるように肉糊を調製した。さらに、これらと肉糊中の Na^+ 濃度が同じである 12% のグルコン酸 Na を単独で添加した肉糊も併せて調製した。なお、前報³⁾で述べたようにグルコン酸 Na と NaCl は溶液中での電離度が異なるため、本研究ではイオン強度（理論値）ではなく、NaCl とグルコン酸 Na の溶液中の Na^+ 濃度の測定値に基づいて、肉糊中の総 Na^+ 濃度を算出した。これらの肉糊を 25°C または 40°C で予備加熱した後、さらに 90°C で加熱して得られた二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性との関係を Fig. 4 に示した。これによると、無添加および 4% グルコン酸 Na を含む二段加熱ゲルの破断強度とゲル剛性の相関関係はほぼ近似していたが、8% グルコン酸 Na を添加した二段加熱ゲルの両値の関係はそれらよりも図中の右側に位置した。さらに、12% のグルコン酸 Na を添加した場合の両値の関係は 8% グルコン酸 Na を含む場合よりもさらに図中の右側に位置し、肉糊中の Na^+ 濃度が同じでもグルコン酸 Na の添加量が多いほど弾力よりも硬さがやや優先した独特の二段加熱ゲルが形成されることが示された。言い換えると、グルコン酸 Na の

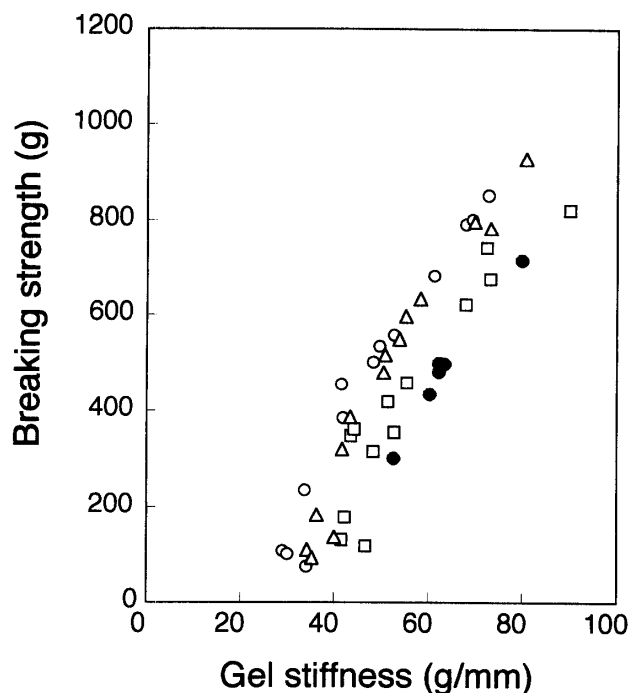


Fig. 4. Effect of Na-gluconate on the relationships between gel stiffness and breaking strength of two-step heated gels in the presence of the same concentration of Na^+ .

The frozen surimis containing 8% of sorbitol, 8% of Na-gluconate, or each 4% of Na-gluconate and sorbitol were ground upon addition of various concentrations of NaCl to adjust the Na^+ concentration to 0.43 mol/kg by using a speed cutter (National MK-K7) for 2.5 min at 4°C. The salt-ground meats were stuffed into a plastic vessel with a cover and heated in the same manner as in Fig. 1. After cooling in ice water, the breaking strength and the breaking strain of the two-step heated gels were measured by using a reometer (Yamaden RE3305) equipped with a cylindrical plunger ($\phi 5$ mm). The gel stiffness was calculated with the same manner as in Fig. 1.

- 8% sorbitol and 2.5% NaCl (○)
- 8% Na-gluconate and 0.92% NaCl (□)
- 4% sorbitol, 4% Na-gluconate and 1.8% NaCl (△)
- 12% Na-gluconate (●)

添加によって起こる二段加熱ゲルのゲル物性の変化は Na^+ 濃度の増加、すなわち、系中のイオン強度の増加のためではなく、グルコン酸 Na の特有の作用によってもたらされるものであることが明らかであり、NaCl とグルコン酸 Na の陰イオン種の相違がそれぞれにゲル物性に影響を及ぼしていることが示唆された。

ミオシン重鎖の多量化反応の進行に及ぼすグルコン酸 Na の影響 Fig. 4 の実験の中、25°C で予備加熱した二段加熱ゲルの一定量を SDS-尿素混液を用いて可溶化し

て SDS-PAGE に供し, Mf タンパク質のサブユニット組成の変化を予備加熱時間とのかかわりで検討した。まず, SDS-尿素混液による二段加熱ゲルの可溶化率を検討したが, 予備加熱時間にかかわらず, いずれの二段加熱ゲルもほぼ 100% の可溶化率を示した (結果は図示しない)。

次に, 可溶化した試料を SDS-PAGE に供し, これらのタンパク質サブユニット成分の変化をデンストメトリーにより定量的に解析した。その結果を Fig. 5-A~C に示した。これによると, いずれの試料の場合も予備加熱によってミオシン重鎖 (以下 HC と略す) が減少し, その多量体成分が生成したが, グルコン酸 Na の添加量が増加すると HC の減少と HC 多量体の生成がいずれも抑制される傾向が認められた (Fig. 5-A, B)。また, HC とアクチンの間に移動度をもついわゆる X_1 成分の生成はグルコン酸 Na の添加量が多いほど緩慢となり (Fig. 5-C), 12% グルコン酸 Na を含むゲルではほとんど生成しなかった。船津らは⁷⁾肉糊にソルビトールを添加すると予備加熱にともなう HC の多量化反応が抑制されることを報告しているが, Fig. 5 の結果はグルコン酸 Na はソルビトールよりもさらに強く HC の多量化反応を抑制することを示している。なお, 本研究では予備加熱ゲルのタンパク質サブユニット組成は検討していないが, スケトウダラ肉糊の場合には 90°C, 30 分間の加

熱中に HC の多量化反応などのタンパク質サブユニット組成の変化が進行しないことがすでに明らかにされているので,^{7,11,12)} Fig. 5-A~C に示した二段加熱ゲル中のタンパク質サブユニット組成の変化は予備加熱にともなうものであると推定することができる。

タンパク質サブユニット組成の変化とゲル剛性の関係
そこで, 次に, 25°C で予備加熱した二段加熱ゲル中の HC および HC 多量体の変化量と同ゲルのゲル剛性との関係を Fig. 6-A, B に示した。この結果によると, グルコン酸 Na の添加量にかかわらず, HC の減少 (Fig. 6-A) と HC 多量体の生成 (Fig. 6-B) にともなうゲル剛性が増加することが示された。しかし, HC の減少量や HC 多量体の生成量が同じでもグルコン酸 Na の添加量が多い加熱ゲルほどゲル剛性は高い値となる傾向を認めた。なお, 40°C で予備加熱した場合にも, グルコン酸 Na の添加は HC 多量体や X_1 成分の生成に影響を及ぼすことが確かめられたが, これらとゲル剛性の変化との間にも直接的な相関は認められなかった (その結果は図示しない)。

HC の多量化や X_1 成分の生成などの SDS-PAGE 上で認知できるタンパク質の変化は共有結合あるいはそれに匹敵する強度の結合の生成や開裂を反映している。加熱ゲルの物性には, これらの変化だけでなくタンパク質間の疎水結合や水素結合の生成なども影響を及ぼしてい

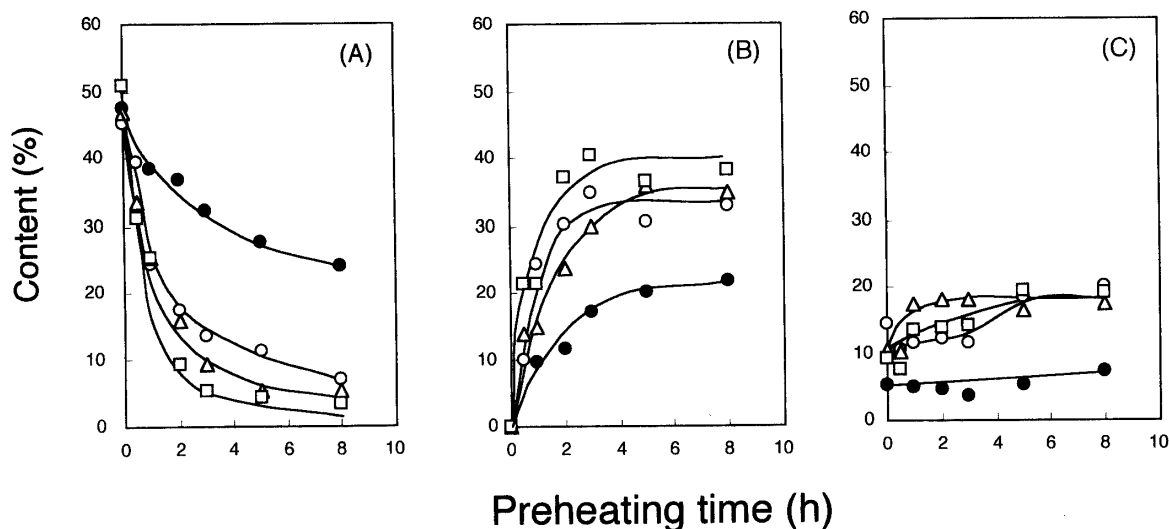


Fig. 5. Changes in content of myosin heavy chain, cross-linked myosin heavy chains, and an unidentified component of two-step heated gels prepared with Na-gluconate as a function of preheating time.

A portion of the two-step heated gels preheated through at 25°C was solubilized into 2% SDS-8 M urea-2% mercaptoethanol-20 mM Tris-HCl (pH 8.0). The solubilized protein was applied to SDS-PAGE with 5% polyacrylamide gel by the method of Laemmli.¹⁵⁾ The content of each component was measured by using a densitometer (Shimadzu CS-9300). The content of the cross-linked myosin heavy chains was shown as the sum of those as defined by Numakura *et al.*⁶⁾ The symbols used were the same as in Fig. 4.

(A): myosin heavy chain (HC), (B): cross-linked myosin heavy chains ($(HC)_n$), (C): components migrating between HC and actin ($HC > X_1 > A$)

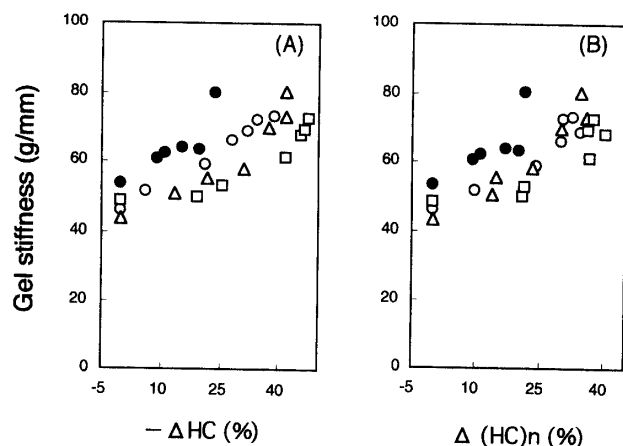


Fig. 6 Relationships between gel stiffness and extent of change in myosin heavy chain or cross-linked myosin heavy chains in two-step heated gels.

The data shown in Figs. 4 and 5 were used to illustrate this figure. The gel stiffness of the two-step heated gel preheated at 25°C was plotted against the amount of the decrease in myosin heavy chain ($-\Delta HC$) (A) or of the increase in cross-linked myosin heavy chains ($(HC)_n$) (B). The symbols used were the same as in Fig. 4.

ると考えられている。^{7,12,16,17} グルコン酸 Na の添加は、HC の多量化と X_1 成分の生成を明らかに抑制するが、これらの変化の進行度はグルコン酸 Na の添加によって起こる二段加熱ゲルのゲル剛性の変化と対応しなかった。それゆえ、グルコン酸 Na は肉糊のゲル化におけるタンパク質間の疎水性結合や水素結合などの非共有結合の生成にも影響を及ぼし、その結果として、ゲル剛性の高い加熱ゲルが形成されると推定することが妥当であろう。

本研究の結果は、グルコン酸 Na を添加した二段加熱ゲルの物性上の特徴とその調節法について新しい知見を提供している。それらは、ねり製品をはじめとした魚肉加工品の製造にグルコン酸 Na を利用する上で示唆するところが多いように思われる。

謝 辞

本研究の遂行に際し、有益なご助言をいただき、さらに論文をご校閲いただいた酪農学園大学大学院新井健一教授に深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 大泉 徹, 奈良泰信, 新井健一: サバ筋原繊維の熱変性に対するカルボン酸, ソルビトール, およびグルタミン酸ナトリウムの保護効果. 日本誌, **50**, 875-882 (1984).
- 2) 松本行司, 新井健一: コイ筋原繊維タンパク質の冷凍変性に対するカルボン酸類と糖類の協同効果. 日本誌, **53**, 2187-2193 (1987).
- 3) 竹下瑞恵, 大泉 徹, 赤羽義章, 竹縄誠之: コイ筋原繊維の熱変性と溶解に及ぼすグルコン酸ナトリウムの影響. 日本誌, **65**, 886-891 (1999).
- 4) 岡田 稔: タンパク質の溶解 (播潰), ねり製品の足とその増強, 製造の理論と実際, 「魚肉ねり製品」(岡田 稔, 衣巻豊輔, 横関源延編), 恒星社厚生閣, 東京, 1981, pp. 197-201.
- 5) 新井健一, 山本常治: 冷凍貯蔵中に起こる魚肉タンパク質の変性とその防止, 冷凍すり身製造の化学的原理, 「冷凍すり身」, 日本食品経済社, 東京, 1986, pp. 103-127.
- 6) 沼倉忠広, 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, **51**, 1559-1565 (1985).
- 7) 松津保浩, 細川 一, 南部正一, 新井健一: スケトウダラ肉糊のゲル形成能とミオシン重鎖の多量化に及ぼすソルビトールの影響. 日本誌, **59**, 1599-1607 (1993).
- 8) 松川雅仁, 桜田克彦, 新井健一: スケトウダラ塩すり肉のゲル化とミオシン重鎖の多量化に及ぼすピロリン酸塩の影響. 日本誌, **58**, 735-742 (1992).
- 9) 阿部洋一: トランスグルタミナーゼを含む製剤を添加したスケトウダラかまぼこの品質. 日本誌, **60**, 381-387 (1994).
- 10) 阿部洋一, 安永廣作, 北上誠一, 村上由里子, 太田隆夫, 三堀友雄, 新井健一: TGase または牛血漿粉末を添加して調製したカマボコゲルの特徴. 日本誌, **62**, 446-452 (1996).
- 11) 安永廣作, 阿部洋一, 山澤正勝, 新井健一: 加熱に伴うスケトウダラ肉糊中のミオシン重鎖の変化と TGase 製剤の影響. 日本誌, **62**, 659-668 (1996).
- 12) 安永廣作, 阿部洋一, 山澤正勝, 新井健一: 加熱に伴うスケトウダラ肉糊中のミオシン重鎖の変化と牛血漿粉末の影響. 日本誌, **63**, 739-747 (1997).
- 13) 阿部洋一: トランスグルタミナーゼ製剤および牛血漿粉末を添加した練り製品の品質に関する研究. 博士論文, 東京水産大学, 東京, 1998, pp. 10-11.
- 14) A. G. Gornall, C. J. Bardawill, and M. M. David: Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.*, **177**, 751-765, (1949).
- 15) U. K. Laemmli: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, **227**, 680-685 (1970).
- 16) E. Niwa, Y. Matsubara, and I. Hamada: Hydrogen and other polar bondings in fish flesh gel and setting gel. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **48**, 667-670 (1982).
- 17) E. Niwa, T. Nakayama, and I. Hamada: The third evidence for the participation of hydrophobic interaction in fish flesh gel formation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **49**, 1763 (1983).