

ジュール熱を利用したスケトウダラの高温加熱ゲルの品質

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
巻/号	5810
掲載ページ	p. 1945-1953
発行年月	1992年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ジュール熱を利用したスケトウダラの高温加熱ゲルの品質

柴 眞, 沼倉忠弘

(1992年4月20日受付)

Quality of High Temperature-Formed Gel from Salt-Ground Meat of Walleye Pollack by Joule's Heat

Makoto Shiba*¹ and Tadahiro Numakura*²

Salt-ground meat from walleye pollack was heated at a specific temperature in the ranges of 40 and 70°C for 120 min, by applying Joule's heat. The quality of the heated gel thus formed was evaluated by measuring the gel strength and the amount of cross-linked myosin heavy chain formed. The quality was compared with that of heated gel formed by thermobath heating at 40, 50, and 60°C. The changes in temperature of the salt-ground meat during the courses of both heating methods was also investigated. It was found that the gel strength of the former remained at a rather low value and that cross-linked myosin heavy chain was hardly produced, whereas the gel strength of the latter increased to a high value and cross-linking of myosin heavy chain developed markedly.

These results indicate that the gel formation of salt-ground meat strongly depends on the record of both the heating temperature and the period, regardless of the heating method.

著者らは先に、ジュール熱を利用して塩ずり身(肉糊)を加熱する装置を考案し、スケトウダラのすり身からかまぼこゲルを調製してその品質を検討した。¹⁾ ジュール加熱では、肉糊の品温は急速に上昇して高温に達するが先の実験では40秒から40分間かけて90°Cまで加熱し、得られた製品のゲル物性と筋原繊維(Mf)タンパク質の変化について調べた。²⁾ その結果、これらの条件下で得られるかまぼこゲルは、空気浴などによる間接加熱法によって高温で調製するいわゆる、坐り処理をしない直加熱タイプのかまぼこの性状に良く似ていることを明らかにした。

本研究ではジュール加熱装置を用いて肉糊の品温を急速に40~70°Cに上昇させた後、120分間その温度に保持しながら経時的にゲル物性とMfタンパク質の変化を検討した。また特にこれらの加熱条件下では、肉糊はいわゆる戻りの現象を呈することが知られているので、戻りに伴うMfタンパク質の変化も併せて検討した。

実験方法

加熱ゲルの調製 スケトウダラ (walleye pollack) *Theragra chalcogramma* の冷凍すり身 (日本水産 SA

級)を細切し、3% NaClを添加して、小型サイレントカッターを用い、氷冷しながら約20分間擂潰した。すり上り後の肉糊の品温は約8°CでpHは7.0であった。この肉糊を透湿性のセルローズチューブ(ユニオンカーバイト製ファイブラスケーシングφ、5.7×L、27cm)に充填し、バッチ式ジュール加熱装置で加熱し、肉糊の温度を40、50、60および70°Cまで35~60秒で上昇させた。次にその温度に60~120分間保持し、経時的にその一部を取り出し、以下の諸性状を調べた。一方同じ肉糊の一部を塩化ビニリデンチューブ(φ3×L18cm)に充填し、40、50および60°Cの空気浴中で120~180分間加熱し、経時的に性状変化を調べ、ジュール加熱の場合と比較した。

ジュール加熱装置 サイリスタを組み込んだ2連式定電流加熱装置を試作し、その構造の概略をFig. 1に示した。この装置の電源入力力は交流0~260V、9Aである。加熱部は加熱成形筒とすり身の膨張圧を吸収するためのバネを装着したチタン電極よりなっている。ケーシングに充填した肉糊を加熱成形筒に挿入・圧着し・通電すると肉糊全体にジュール熱が発生し、品温が急上昇する。また、肉糊の中心にサーミスタを挿入して品温の経時変

*¹ 全国蒲鉾水産加工業協同組合連合会蒲鉾研究所 (Kamaboko Research Institute, All-Japan Kamaboko Makers Association, Kandasakuma, Chiyoda, Tokyo 101, Japan).

*² 北海道大学水産学部水産食品製造実習工場 (Training Factory for Food Processing, Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Minato, Hakodate, Hokkaido 041, Japan).

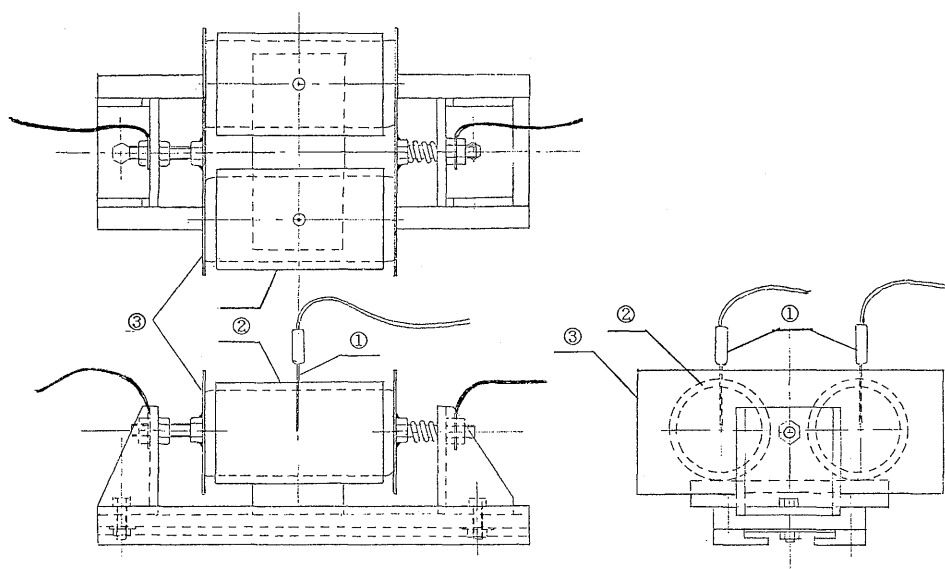


Fig. 1. An outline sketch of the Joule's heating control unit using Joule's heat.

① Thermistor, ② plastic case, and ③ electrode.

化を測定した。

加熱ゲルの SDS-尿素混合液に対する可溶化と可溶化率の測定³⁾ 細砕した加熱ゲル 0.4 g を精秤し, 7.5 ml の 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) 溶液を加えて攪拌し, 100°C で 2 分間の加熱後に室温で約 20 時間攪拌溶解させた。続いて上記の可溶化溶液を 20,000×g で 30 分間遠心分離して上澄液を得, これを 10 倍に希釈後その一定量に等容量の 15% トリクロロ酢酸を加えて, 室温に 30 分以上放置し, 遠心分離してタンパク質を沈殿させた。沈殿したタンパク質を風乾後, 1 N NaOH で可溶化し, ビュレット法⁴⁾ により比色定量した。そして塩ざり直後の肉糊から可溶化したタンパク質量を基準とした相対値 (%) を求めて可溶化率とした。

SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動法による加熱ゲル中の Mf タンパク質サブユニット組成の定量 加熱ゲルを SDS-尿素混液に可溶化した後, Weber と Osborn⁵⁾ の方法により 5% ポリアクリルアミドゲルを用いた SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE と略す) に供した。タンパク質の染色は Coomassie Brilliant Blue R を用いて行い, 脱色は 50% メタノール-7% 酢酸溶液を用いて約 7 時間, つづいて 7% 酢酸溶液でゲルの背景が透明化するまで行った。泳動ゲル上の筋原繊維タンパク質サブユニット成分の含量は, デンシトメーター (島津製作所 CS-910) を用いて 640 nm と 700 nm の吸光値の差として測定し, 各成分の染色強度の合計値に対する相対染色強度 (%) で表した。

なお, 前報³⁾ で述べたように, 泳動ゲル上の全染色強度が減少する場合は, これら泳動ゲル中に泳動できないような大きなサイズのみオシン HC 多量体が生成したためとみなして, その量を計算で求めた (この成分を以下 (HCn') と表わす)。また, 坐りゲルが SDS-尿素混合液に不溶化するような場合には, この成分は特に巨大化したのみオシン HC 多量体とみなした (この成分を (HCn'') と表わす)。これらの成分量をも加えて全染色強度を補正し, 泳動ゲル上の各成分含量 (%) を求めた。³⁾ なお, 泳動ゲル上の各バンドの泳動ゲルの歪みを補正するため, 泳動ゲルの長軸に対して三方向から染色強度を測定し, その平均値を求めた。

加熱ゲルの形成過程で起こる肉糊中の水溶性タンパク質画分の変化 加熱ゲルの一部をとり, 5 倍容量の 0.15 M KCl, 3.38 mM NaH₂PO₄, 15.5 mM Na₂HPO₄-phosphate-buffer (pH 7.5) を加え, AM-3 型ホモジナイザー ((株) 日本精機製作所製) を使用して細砕し, 10,000×g, 30分間遠心分離して上清を集めた。上清中の全窒素量を Kjeldhal 法で測定し, 同時にビュレット法⁴⁾ で水溶性タンパク質量を測定した。またその中のタンパク質サブユニット成分を SDS-PAGE 図によって検討した。

加熱ゲルのゲル物性の測定 調製した加熱ゲルから厚さ 25 mm の試験片を切り出し, フードチェッカー (サン科学製) を使用して直径 5 mm の球形プランジャーで破断強度 (g) と破断凹み (cm) を測定し, その積をゲル強度として算出した。

結果および考察

加熱による肉糊のゲル物性の変化 肉糊をジュール熱によって、40~70°C で加熱したときの破断強度、破断凹みおよびゲル強度の変化を検討し、Fig. 2 (A) に示した。また対照のために同じ肉糊を 40~60°C の間の一定温度の空気浴中で加熱する間のゲル物性の変化を検討し、Fig. 2 (B) に示した。ジュール熱を利用した場合 (A)、ゲルの物性はいずれも加熱初期に急激に増加した。例えば、40°C では初期の 30 分間に急激に増加し、その後 120 分後に至るまでほぼ一定値を保ったが、50°C 以上では、破断強度とゲル強度が一旦増加した後、やや減少する傾向にあった。大体において温度が高いほど初期に起こるゲル物性は速やかに増加し、破断強度とゲル強度が高い値に達することが示された。

次に、空気浴中で加熱した場合 (B)、ゲルの物性はいずれも加熱初期に急激に増加すること、温度が高いほど速やかに増加することなどの点では、ジュール熱の場合と同じである。しかし、ゲル物性の増加はジュール熱の場合に比べてゆっくりと進行し、また温度の高い方が破断強度とゲル強度の最大値が逆に小さくなる傾向を示すことなどの点で相違した。なお、破断強度とゲル強度の最大値は、ジュール熱の場合より明らかに高かったが、これは後で示すように肉糊の温度履歴が相違することに起因すると思われる。空気浴を用いて加熱する際に起こるゲル物性の変化の詳細について、先に報じたが、⁶⁾ 本研究の結果もほぼそれに似る。

加熱による肉糊中のミオシン重鎖の多量化 Fig. 2 の場合と同じ条件下で加熱した肉糊中で起こる Mf タンパク質のサブユニット組成の変化を SDS-PAGE で検討

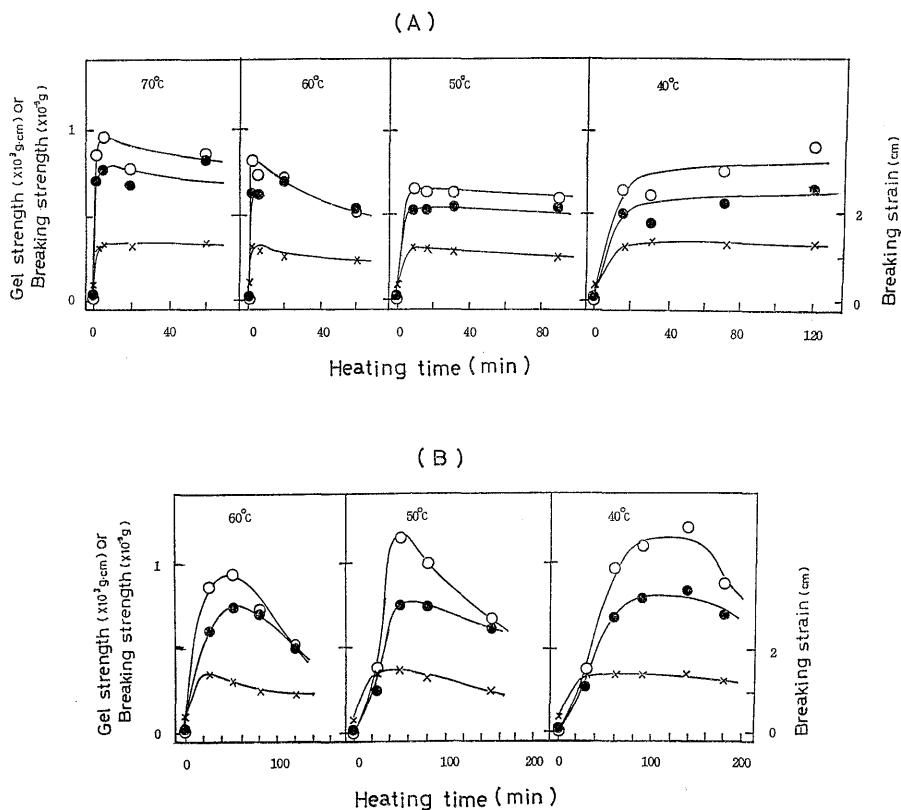


Fig. 2. Changes in gel strength, breaking strength, and breaking strain of salt-ground meat during heating.

Minced meat from walleye pollack was ground with 3% NaCl and heated at 40, 50, 60, and 70°C by applying Joule's heat for 60~120 min, or heated with an air thermobath at 40, 50, and 60°C.

During heating, gel strength (○), breaking strength (●), and breaking strain (×) were measured with a rheometer by using a φ 5 mm plunger.

(A) Heating by Joule's heat.

(B) Heating with an air thermobath.

し、ジュール熱で加熱した場合を Fig. 3 (A), また空気浴中で加熱した場合を Fig. 3 (B) に示した。ジュール熱の場合 (A), 塩ずり直後の肉糊中に見出される主要な成分はミオシン重鎖 (HC), アクチンとトロポミオシンを含む成分 (Ac), およびミオシン重鎖よりも分子サイズが大きく、その多量体とコネクチンを含むと推定される成分 (HC_n) であり、その組成含量はそれぞれ 47, 28 および 13% であった。この肉糊を加熱すると、急速に HC が減少し、それに伴って HC_n が増加し、また僅かではあるが HC と AC の間に移動度をもつ未同定の成分 (X_1) も増加する傾向が示された。ただし、含量の変化が最も大きかった 40°C の場合でも、HC は 47% から 35% に減少し、 HC_n は 18% から 31% に増加しただけであった。なお、Ac および Ac よりも移動度の大きい未同定の成分 (X_2) は変化せず、また分子サイズがより大きなミオシン重鎖の多量体成分 (HC_n' および HC_n'')⁹⁾ は全く生成されなかった。一方空気浴中の場合 (B) も、HC は加熱の初期に急速に減少し、それに伴って HC_n が増加するが、その後この成分は減少し HC_n' が急速に生成、蓄積した。そして温度が高くなるにつれて HC の減少、 HC_n および HC_n' の増加の割合が小さくなる傾向を示したが、これはジュール熱の場合と全く同じ傾向である。なお、Ac および X_2 成分はほとんど変化せず、 X_1 は極めて僅か増加するだけで、 HC_n'' は全く生成しなかった。最も含量変化の大きかったのは、ジュール熱の場合と同じく、 40°C で加熱した場合であるが、このとき HC は 46% から 11% まで減少し、 HC_n は

22% から 40% に増加し、 HC_n' は 0 から 20% まで増加した。HC の変化量を比較すると、ジュール熱の場合には 12% の減少であるが、空気浴の場合の減少量は 35% にも達し、著しい差異が認められた。これは同時に生成したミオシン重鎖の多量体 (HC_n+HC_n') の生成量で比較した場合も同じであり、この差異が形成された加熱ゲルの物性値に反映しているように推察される。⁹⁾ すなわちジュール熱によった場合のゲル強度は最大で $850\text{ g}\cdot\text{cm}$ 程度であるが、空気浴中で加熱した場合のそれは最高 $1200\text{ g}\cdot\text{cm}$ に達した。なお、湯浴中で加熱するときに肉糊中で起こる HC など Mf タンパク質サブユニット成分の変化の詳細については既に報告した。⁹⁾

加熱による肉糊の温度履歴とかまほこの品質との関係

Fig. 2 と同じ条件下で加熱する際に肉糊の品温変化を記録し、ジュール熱による場合を Fig. 4 (A) に、また空気浴による場合を Fig. 4 (B) に示した。ジュール熱の場合 (A), 肉糊の品温は僅か 35~60 秒間に所定値に達し、その後その値を保持するのに対し、空気浴の場合 (B), 肉糊の品温は加熱の初期に急速に、後期は緩慢に上昇して所定値に達するが、そこに達するまでに、 40°C のときは 140 分間、 60°C のときは 120 分間を要し、その間異なる温度域を通過している。言い換えれば、上記 2 種の加熱法では、肉糊の温度履歴はかなり相違し、空気浴を用いるいわば間接的な加熱法では、浴中の温度よりも低いいろいろな温度域でそれぞれ短時間ずつ加熱されるのに対し、ジュール熱を利用する場合は肉糊の温度が終始一定に保たれる。したがって、Fig. 2 と Fig. 3 に示

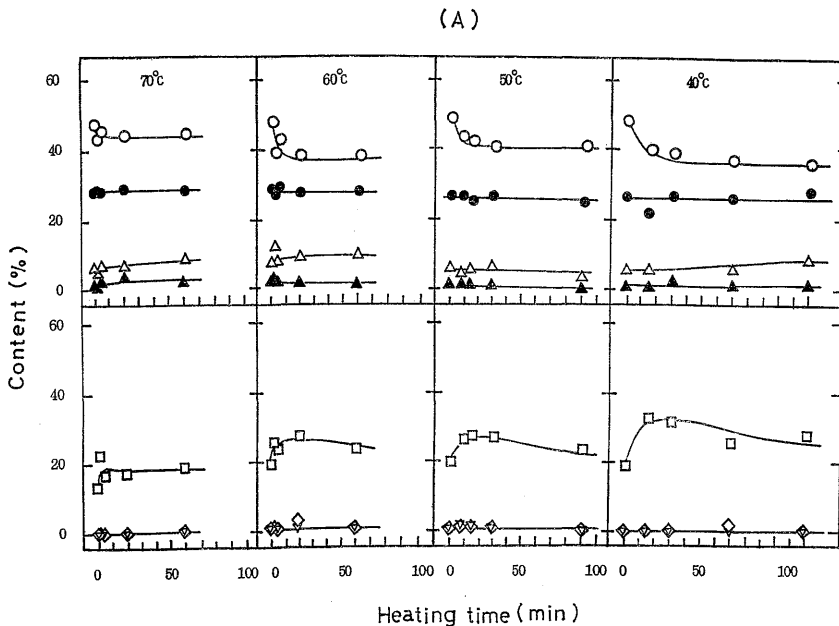


Fig. 3

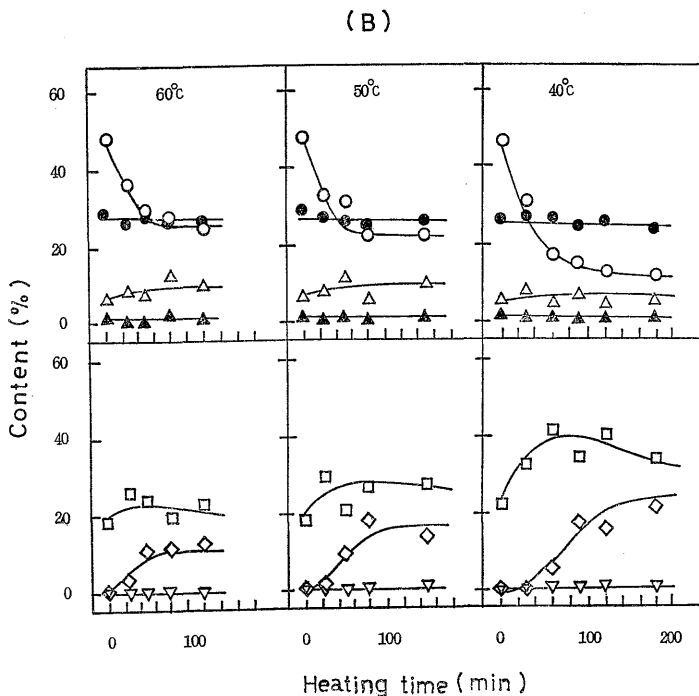


Fig. 3. Changes in myofibrillar protein subunits of salt-ground meat during heating, detected by SDS-PAGE.

The minced meat was ground with 3.0% NaCl and heated as in Fig. 1. During heating, part of the salt-ground meat was taken out, solubilized with 2% SDS-8 M urea-2% mercaptoethanol-20 mM Tris buffer (pH 8.0), and applied to SDS-polyacrylamide gel electrophoresis using the same method as previously reported.⁶⁾

The content of myofibrillar protein subunit on the gel rod was determined densitometrically, and expressed as relative intensity (%), taking the total intensities of protein applied to analysis as 100%.

(A) Heated by applying Joule's heat.

(B) Heated with an air thermobath.

HC (○), myosin heavy chain; A₂ (●), actin containing tropomyosin; X₁ (△), moving components between HC and AC; X₂ (▲), faster moving components relative to A₂; HC_n (□), cross-linked myosin heavy chains, slower moving relative to HC; HC_n' (◇), cross-linked myosin heavy chains with larger molecular size, too large to enter into 5% polyacrylamide gel; HC_n'' (▽), cross-linked myosin heavy chains with largest molecular size, insolubilized into SDS-urea medium.

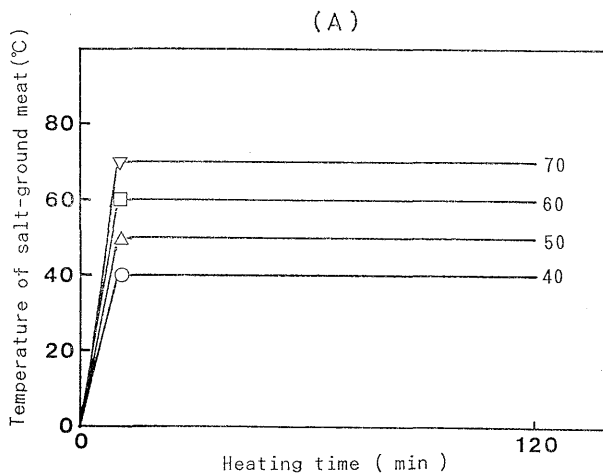


Fig. 4

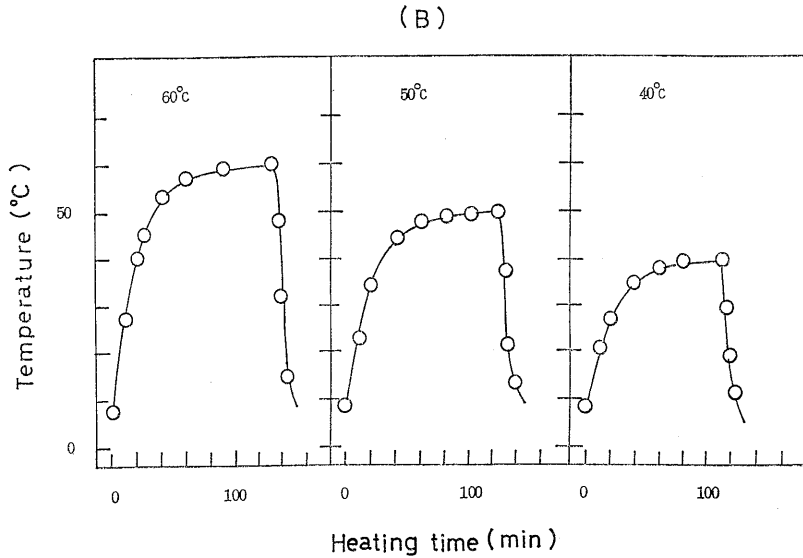


Fig. 4. Changes in internal temperature of salt-ground meat during heating.
 The minced meat was ground with 3% NaCl and heated as in Fig. 1. During heating, the internal temperature of the salt-ground meat was recorded automatically using a thermistor thermometer.
 (A) Heating by applying Joule's heat.
 (B) Heating with an air thermobath.

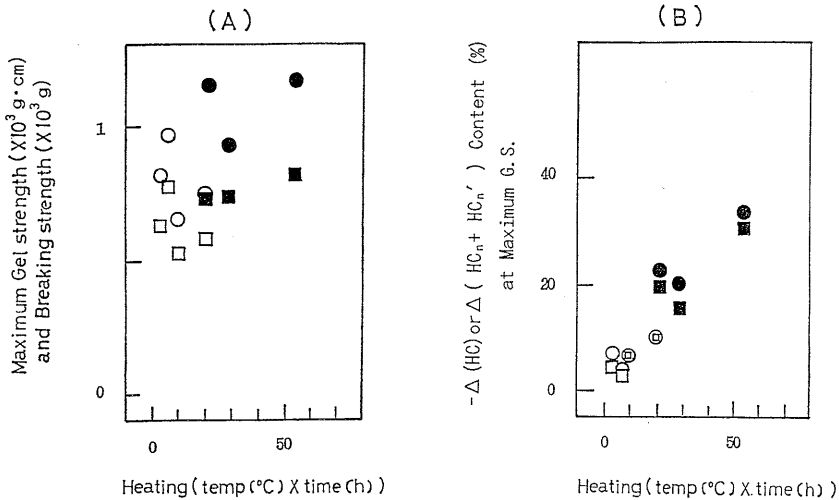


Fig. 5. Temperature-time dependencies of the increase in gel strength and the decrease of myosin heavy chain of salt-ground meat.

The maximum gel strength (maximum G.S.) of heated gel formed at various temperatures and the decrease of myosin heavy chain $[-\Delta(\text{HC})]$ together with the formation of cross-linked myosin heavy chains $[\Delta(\text{HC}_n + \text{HC}_n')]$ were estimated from the data shown in Figs. 2 and 3. The integral value (temp. \times time) of the internal temperature of salt-ground meat and the period of heating were estimated from the data shown in Fig. 4.

(A) Maximum G.S. versus (temp. \times time).

(B) $-\Delta(\text{HC})$ or $\Delta(\text{HC}_n + \text{HC}_n')$ versus (temp. \times time).

○, Maximum G.S. by joule's heat; □, maximum breaking strength by joule's heat; ●, maximum G.S. by an air thermobath; ■, maximum breaking strength by an air thermobath.

Table 1. Change in 0.15 M KCl-soluble protein in high temperature formed gel

	Total protein*1 content (mg/10 g wet wt) (A)	0.15 M KCl*2 soluble-N (mg/10 g)	0.15 M KCl*1 soluble protein (mg/10 g)	Net increase in soluble protein (mg/10 g) (B)	(B)/(A) (%)	Gel strength (g·cm)	
						Heating	Followed by 90°C, 20 min
Frozen surimi							
Air bath heating							
1717							
0 h		8.4	51.0(52.5)*3	0 (0)*3		0	
25°C, 4 h		8.4	51.0(52.5)	0 (0)		300	700
25°C, 10 h		8.5	51.0(53.1)	0 (0.6)		450	750
60°C, 0.5 h		8.4	51.0(52.5)	0 (0)		800	563
60°C, 2.5 h		15.2	96.0(94.8)	45.0(42.8)	2.6(3.7)*3	250	166
Joule's heating							
0 h		8.1	49.7(50.6)*3	0 (0)*3		0	470
25°C, 5 h		8.1	49.7(50.6)	0 (0)		220	810
25°C, 12 h		8.1	49.7(50.6)	0 (0)		250	950
60°C, 15 min		8.1	49.7(50.6)	0 (0)		500	460
60°C, 4 h		15.2	94.8(94.4)	45.1(43.8)	2.6(2.6)*3	0	0

*1 Values determined by the biuret method. *2 Those determined by the Kjeldahl method. *3 Those calculated in parenthesis the KCl-soluble nitrogen by assuming the nitrogen content of protein to be 16%.

The preparation of heated gel and measurement of gel strength were conducted as in Fig. 2. The frozen surimi was homogenized with 5 volumes of 0.15 M KCl (pH 7.5) and an aliquot of the homogenate was submitted to determination of protein content by the biuret method. The salt-ground meat and heated gel were homogenized with 5 volumes (v/w) of 0.15 M KCl (pH 7.5) and centrifuged at 10,000 × g for 30 min, and the supernatant was submitted to determination of 0.15 M KCl-soluble nitrogen by the Kjeldahl method while the protein content was measured by the biuret method or calculated by regarding all of the KCl-soluble nitrogen as protein nitrogen.

したように、空気浴中で加熱したゲルの物性値は、ジュール熱で同じ温度に加熱したゲルのそれよりも高く、またミオシン重鎖がより強く多量化するのは、おそらく肉糊の加熱中の温度履歴の相違に起因しており、さらにそのゲル形成能の適温が 40°C 以下の低温域にあること

を推測させる。

Fig. 4 (A, B) の結果から、肉糊に加えられた熱量を肉糊の温度とその加熱時間との積算値として求め、ゲル物性 (破断強度とゲル強度) との関係を図 5 (A) に、またミオシン重鎖の多量化との関係を Fig. 5 (B) に示し

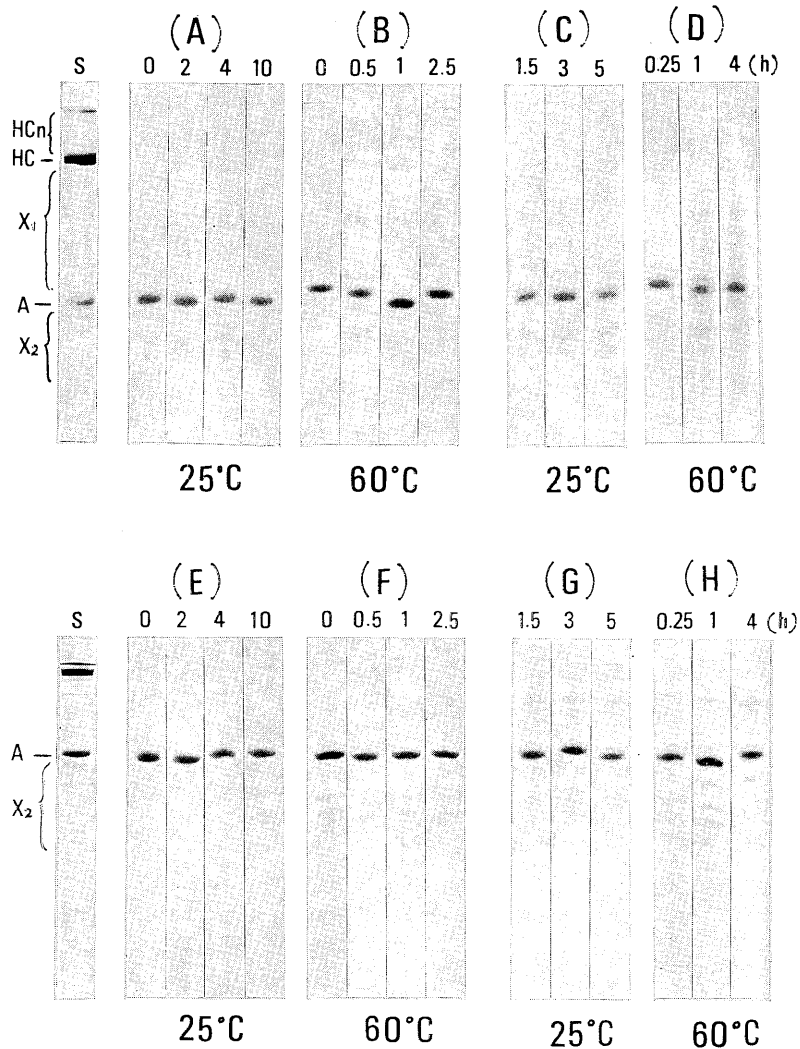


Fig. 6. SDS-polyacrylamide gel electrophoregram of 0.15 M KCl soluble protein from high temperature-formed gel.

The SDS-PAGE was performed as in Fig. 3 by using 5 or 10% polyacrylamide gel. The 0.15 M KCl soluble protein was obtained from salt-ground meat and heated gels formed under various conditions as in Table 1.

(S) Salt-ground meat.

(A) Air bath heating: 25°C for 0~10 h.

(B) Air bath heating: 60°C for 0~2.5 h.

(C) Air bath heating: 25°C for 1.5~5 h, followed by 90°C for 20 min.

(D) Air bath heating: 60°C for 0.25~4 h, followed by 90°C for 20 min.

(E) Joule's heating: 25°C for 0~10 h.

(F) Joule's heating: 60°C for 0~2.5 h.

(G) Joule's heating: 25°C for 1.5~5 h, followed by 90°C for 20 min.

(H) Joule's heating: 60°C for 0.25~4 h, followed by 90°C for 20 min.

た。(A) から、ジュール熱によって形成されるゲルでは、ゲル物性が最大値に達するまでに要した熱量は少ないのに対し、空気浴中の加熱によって形成されるゲルでは、加えられた熱量がより多いことが分かる。続いて、肉糊の加熱中に起こったミオシン重鎖の減少と多量体の生成を比べると、(B) に示すように、ジュール熱によって形成されたゲル中ではミオシン重鎖の多量化が余り起こらないのに対し、空気浴中で形成された加熱ゲル中ではそれが強く起こっているというように両者の間に大きな相違があり、これはそれぞれの温度履歴の相違に対応しているように思われた。このようなことからジュール熱によって形成させたゲルでは、坐りの寄与が低く、ミオシン重鎖の多量化が余り起こらないのは、肉糊が受ける温度履歴に大きく依存すると推察される。

加熱による肉糊中の水溶性タンパク質量の変化 肉糊を 60°C 前後で加熱すると、ゲル強度は一旦増加した後減少するという現象⁷⁾は、肉糊の“戻り”と呼ばれ従来からその原因としてプロテオリシスの関与が疑われてきた。⁷⁾ ジュール熱による加熱法のもう一つの特徴は肉糊の精密な温度制御が可能なことであり、その加熱中に起こるタンパク質成分の変化に及ぼす温度の影響を検討するのに好都合である。そこでジュール熱および空気浴によって肉糊を加熱し、そのゲル強度が最大に達したとき、およびゲル強度が一旦増加してから減少したときのゲルを、0.15 M KCl, リン酸緩衝液と共に細砕した。遠心分離した上清中の水溶性のタンパク質と窒素量を測定し、結果を Table 1 に示した。これによると、冷凍すり身に含まれる全窒素量の約 3% が、塩ざり直後の肉糊から可溶化するが、この主成分がタンパク質であることはビューレット法で比色定量することによって確認された。次に肉糊を空気浴で 25°C, 10 時間加熱するとゲル強度は最大値に達するが、この加熱中に肉糊から可溶化する窒素の量は全く増加しなかった。また 60°C で 0.5~2.5 時間加熱するとゲル強度は増加した後大きく減少し、典型的な戻りの現象を呈した。このとき可溶性窒素の量は増加したが、その程度は冷凍すり身中の全窒素量の 5.0% ほどにすぎなかった。なお、5 および 10% ポリアクリルアミドゲルを用いた SDS-PAGE 図を解析した結果を Fig. 6 に示すが、これによると、可溶化する成分はアクチン、トロポミオシン、トロポニンおよびミオシン軽鎖であり、ミオシン重鎖など筋原繊維タンパク質成分の開裂による新たな成分の生成は認められなかった。また、ジュール熱によって加熱するときも、ほとんど同じ傾向で、加熱中のゲル強度の大きな低下を説明できるほど大きなプロテオリシスが起きているとは思えなかった。

以上の結果は戻りの現象を解釈するには、ゲル化におけるミオシン重鎖の多量化反応との関わりを詳細に調べる必要があることを示している。先に著者らはこの点について検討し、いわゆる戻りの現象は、ミオシン重鎖の多量化反応が余り進行しない高温下で形成される加熱ゲルにおいてのみ認められることから、高温加熱に伴う加熱ゲルの構造の崩壊による可能性が大きいと推論している。⁶⁾

要 約

ジュール熱を利用してスケトウダラ肉糊の品温を短時間 (35~60 秒間) の中に 40~70°C に上昇させた後、その温度に 120 分間保持した。そこで形成されるゲル (J ゲル) の品質をゲル強度とミオシン重鎖 (HC) の変化から評価し、40~60°C の空気浴で加熱して形成させたゲル (A ゲル) の品質と比べた。それによると、J ゲルでは HC の多量化反応が起こりにくく、ゲル強度も余り高くないが、40°C で加熱したものが 50~70°C の場合よりやや高かった。一方、A ゲルでは、いずれもゲル強度が高く、HC の多量化も強く起こったが、その程度は 40°C で加熱した方が 50~60°C より大きかった。肉糊の温度履歴を比べると、ジュール熱によってゲル強度が最大に達するまでに加えられた熱量 (温度×時間) は、空気浴中の加熱によって加えられた熱量よりもかなり少なかった。これらの事実は、肉糊のゲル強度の増加と HC の多量化の反応は加熱中の温度履歴に大きく依存していることを示している。

謝 辞

本研究を行うに当たり、ご指導を賜った北海道大学新井健一教授に深く感謝する。

文 献

- 1) 柴 眞: ジュール熱を利用したかまぼこの加熱製造装置とゲル物性. 日水誌, **58**, 895-901 (1992).
- 2) 柴 眞, 沼倉忠弘: ジュール熱を利用してスケトウダラすり身から製造した加熱ゲルの品質. 日水誌, **58**, 903-907 (1992).
- 3) 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).
- 4) A. G. Gornall, C. J. Bardawill, and M. M. David: Determination of serum protein by means of biuret reaction. *J. Biol. Chem.*, **177**, 751-766 (1949).
- 5) K. Weber and M. Osborn: The reliability of molecular weight determination by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Biol. Chem.*, **244**, 4406-4412 (1969).
- 6) 沼倉忠弘, 木村郁夫, 豊田恭平, 藤田孝夫: スケトウダラ肉糊の坐りに伴うゲル強度とミオシン重鎖の変化の温度依存性. 日水誌, **56**, 2035-2043 (1990).
- 7) 牧之段保夫: 魚肉わり製品—研究と技術. (志水 寛編) 水産学シリーズ 50, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 36-48 (1984).