

## 9145 超音波処理に伴う魚肉肉糊の脱塩化と熱ゲル化特性に関する研究

田口 武(東京水産大学)

【目的】 魚肉肉糊の熱ゲル化反応は、かまぼこなど水産ねり製品の製造にとって最も重要な工程となる。著者はさきに、魚肉肉糊に対し超音波処理すると、熱ゲル化反応を著しく促進することを認め、このことについてタンパク質変性様式の面から検討してきた。同処理はしかし、肉糊からつねに脱塩化を伴うので、脱塩化と熱ゲル化の関係を知ることが必要であると考えられた。本研究は、筋肉タンパク質の脱塩凝集性と熱ゲル化特性の関係を調べることにある。特に、筋肉タンパク質の脱塩凝集性は、アクトミオシンやミオシンが担っているので、熱ゲル化に対しどのように脱塩凝集性が関与するかについてアクトミオシンおよびミオシンの果す役割が重要な課題となってくる。また、肉糊に対しn-ブタノールを添加すると熱ゲル化が促進されるので、この点からもタンパク質の凝集特性の検討が加えられた。

【方法】 新鮮なトビウオ、キハダ、マイワシの背筋肉を材料として用いた。これらは、すべて死後硬直前あるいは硬直中の鮮魚であった。肉糊の調製は、つぎのとおりである。背肉普通筋の挽肉を0.3%NaHCO<sub>3</sub>-0.15%NaCl溶液で晒し、遠心脱水した後、食塩2.5%を加えて擂潰し、PH6.8~6.9、水分含量78~79%の肉糊を得た。アクトミオシンは、Weber-Edsall溶液を用いて常法によって調製した。得られたアクトミオシンのゲル形成性および塩濃度による凝集性を調べた。筋原繊維は、キハダ背筋肉の挽肉から調製した。超音波処理は、超音波工業：USH-20Z20S型、振動子：直径6.0mmを用いて、20KHZ、20Wの出力で行った。同処理は、ステンレスケースに肉詰めした肉糊の上面5cmから、10mM Phosphate (PH7.2~PH4.7) 中で照射した。所定の加熱時間後、これらをゲル強度測定に供した。

【結果】 トビウオ筋肉肉糊に対する超音波処理効果は、PH6.0およびPH5.7において、また30℃において顕著であった。肉糊の超音波処理は、つねに脱塩作用を示した。各種塩濃度におけるアクトミオシンのゲル強度は、低塩濃度側で高くなることを示したが、魚種間で可成り相異なる傾向があった。本実験では、トビウオ>スケトウダラ>マイワシの順であった。キハダ筋原繊維の加熱ゲル強度におよぼすn-ブタノールの添加効果は超音波処理によっても認められた。一方、アクトミオシンの脱塩凝集性は、n-ブタノールの添加によって影響した。n-ブタノールの添加は脱塩凝集性を高めた。脱塩凝集性におけるミオシン尾部の構造変化が熱ゲル化反応に重要な役割を果す可能性が示唆された。



## 9145 超音波処理に伴う魚肉肉糊の脱塩化と熱ゲル化特性に関する研究

田口 武(東京水産大学)

【研究目的】 魚肉肉糊の熱ゲル化反応は、かまぼこなど水産ねり製品の製造にとって最も重要な工程であって、肉タンパク質の変性様式と密接に関連している。著者はさきに、魚肉肉糊に対し超音波処理すると、熱ゲル化反応を著しく促進することを認め、<sup>1)</sup> このことについてタンパク質変性様式の面から検討してきた。同処理はしかし、肉糊からつねに脱塩化を伴うので、脱塩化と熱ゲル化との関係を知ることが必要なことと考えられた。本研究は、筋肉タンパク質の脱塩凝集性と熱ゲル化特性を調べることを目的としている。特に、筋肉タンパク質の脱塩凝集性は、アクトミオシンやミオシンが担っているので、脱塩凝集性と熱ゲル化とのかかわりにおいてアクトミオシンやミオシンの果す役割が重要な課題となってくる。また、肉糊に対しn-ブタノールを添加すると熱ゲル化が著しく促進されるので、この点からもタンパク質の凝集特性の検討がなされた。

【研究方法】 試料 新鮮なトビウオ、キハダ、マイワシの背筋肉を材料として用いた。これらは、すべて死後硬直前あるいは死後硬直中の鮮魚であった。

肉糊の調製 背肉の普通筋を5 mm目チョッパーにて挽肉とし、これを0.3 % NaHCO<sub>3</sub>-0.15 % NaCl溶液で晒し処理した後、遠心(10,000 x g, 30 min)脱水した。得られた沈殿に対し食塩2.5 %を加えて搗潰し、必要に応じて0.2 N NaOH-2.5 % NaCl溶液でpH 6.8~6.9, 水分含量78~79 %に調製してこれを肉糊とした。得られた肉糊をステンレス製円筒容器(直径2.1 cm×高さ1.2cm)に充填し、超音波処理に供した。

アクトミオシンの調製 アクトミオシンの調製では、まず挽肉に対して3倍量のWeber-Edsall溶液(0.6 M KCl, 0.04 M NaHCO<sub>3</sub>, 0.01M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)で12時間抽出を行った。抽出物の粘性が高ければ、0.6 M KCl溶液を加えてナイロンガーゼでろ過した。ろ液に対して2倍量の冷蒸留水を加え、遠心分離して沈殿を集めた。沈殿物に対しては終濃度が0.6 M KClとなるようにして、攪拌溶解させ、遠心分離(15,000 x g, 20 min)して上清を得た。これに3倍量の冷蒸留水を加え、さきと同様にして遠心分離によって沈殿物を集め、0.1 M NaCl-10 mM リン酸緩衝液(pH 6.6)にて透析した後、所定の塩濃度(0.2, 0.4, 0.5, 0.6, および0.8M NaCl)の存在下で、アクトミオシンのゲル形成性を調べた。また、アクトミオシン

の低塩濃度凝集性におぼすn-ブタノールの影響は、遠心上清のタンパク質濃度を測定して、 $(n\text{-ブタノール存在下のアクトミオシン濃度} / \text{無添加アクトミオシンの濃度}) \times 100$ で表した。

筋原繊維の調製 キハダの筋肉5 mm目挽肉を10倍量の0.05 M NaCl (pH 6.8)で3回洗浄後、5倍量の0.05 M NaCl (pH 6.8)とともにホモジナイズし、ストロマをナイロン網で除去してから遠心分離した。得られた沈殿をさらに5倍量の0.05 M NaClで2回洗浄、同様に遠心分離して得られた沈殿を供試筋原繊維とした。

超音波処理 超音波処理は、超音波工業のUSH-20Z20S型を用い、振動子（直径6.0 mm）、20 KHzの超音波を20 Wの出力で、ステンレスケースに肉詰めした肉糊および筋原繊維上面のカバーをはずして10 mM phosphate buffer (pH 7.2~pH 4.7)100 mlのなかで、上面5 cmから照射した。特にことわらない限り、処理温度30 °C 10分、20分、40分間照射し、70 °C加熱後ジェリー強度測定に付した。また、超音波処理に伴い溶出される食塩の定量は、原子吸光法によった。

ジェリー強度の測定 ジェリー強度は、レオメーター（サン科学（株）製、R-UDJ型）直径5 mmの球状プランジャーにより、試料台上昇速度3 cm/min、チャート速度30 cm/minで破断力(g)および歪(cm)を測定し、両者の積(g・cm)で表わした。

筋原繊維およびアクトミオシンに対するn-ブタノールの添加 筋原繊維およびアクトミオシンに対するn-ブタノールの添加量は、含まれている水分量に基づいてモル濃度で表示した。

【研究結果と考察】 Fig.1は、各pH値のもとで25 °Cと30 °Cにおけるトビウオ筋肉肉糊の熱ゲル化におよぼす超音波処理効果を示している。それによると、超音波処理による70 °Cの加熱効果は、pH 6.0およびpH 5.7において、また30 °Cにおいて顕著であった。また、同条件（pH 6.0および30 °C）下で超音波処理すると加熱温度-ゲル強度曲線は、すべて超音波処理効果のあることを示した。

しかしこの場合、肉糊から可成りの脱塩化の起こることが予想されたので、3 %食塩添加肉糊、5 %食塩添加肉糊、および8 %食塩添加肉糊をそれぞれ調製し、超音波処理時間に伴いこれら肉糊から食塩の溶出量を調べた。得られた結果をFig.2に示す。肉糊表面から溶出される食塩濃度は、処理時間と共に増大し、その傾向は、塩濃度の高い肉糊ほど大きいことが認められた。このことは肉糊表面からの脱塩化のあることを示すものであり、脱塩化が熱ゲル化反応に影響を与えている可能性が考えられた。すなわち、肉糊ではアクトミオ

シン型になっているので、肉糊の超音波処理効果においてアクトミオシンの脱塩凝集反応が重要な役割を果たしていると考えられた。これらの超音波処理効果が各pH値で左右されたことは、アクトミオシンの脱塩凝集性がpHによって影響を受けやすいことに符合しており、この点では矛盾していない。

Fig.3には、アクトミオシンの熱ゲル化におよぼす食塩濃度の影響を示している。その結果、アクトミオシンの加熱ゲル形成性は、低塩濃度域において高く、トビウオ>スケトウダラ>マイワシの順であった。これらの相違は、アクトミオシンの低塩濃度による凝集性が魚種間で相異なることによる可能性が考えられた。なぜなら、マカジキとマイワシのミオシンとF-アクチンからなるアクトミオシン系の凝集能を比較した実験では、ミオシン単独では両者の凝集性において大きな差異は見られないが、F-アクチンが存在すると、両者間に著しい差異の起こることが認められている。<sup>2)</sup>すなわち、マカジキ>>マイワシであった。また、この差異はF-アクチンによるものでなく、ミオシンによって引き起こされることが示されている。また、ミオシンの加熱ゲル形成性は、アクトミオシンの場合と同様に、低塩濃度域に高く、トビウオとマイワシの間には著しい差異がなかった（data not shown）。

魚肉肉糊に対する超音波処理効果は、すでにタンパク質変性の面から検討されてきたが、本研究においては同処理に伴い脱塩化が起こるので、アクトミオシンの低塩濃度凝集性と熱ゲル化の関係について検討が加えられた。著者はさきに、魚肉肉糊にn-ブタノールを添加すると、熱ゲル化反応を著しく促進することを認めている。<sup>3,4)</sup>n-ブタノール添加肉糊に対し超音波処理効果が得られれば、アクトミオシンの脱塩凝集性はn-ブタノールの添加によっても影響を受けるであろう。このような考えに基づいて、n-ブタノールの存在下で超音波処理効果を検討した。関連して、Fig.4には、マグロ筋原繊維の熱ゲル化におよぼすn-ブタノールの添加効果が示されている。それによると、n-ブタノールの添加効果は、0.2M~0.6Mの範囲で熱ゲル化促進作用が認められた。Fig.5は、n-ブタノール添加筋原繊維肉糊の熱ゲル化におよぼす超音波処理効果を示す。それによると、超音波処理効果は、n-ブタノールの添加量が0.2M, 0.4M, 0.5M, 0.6Mにおいてとくに顕著であることを示した。一方、n-ブタノール存在下におけるアクトミオシンの低塩濃度凝集性を、遠心上清画分のタンパク質濃度で調べた。その結果、Fig.6に示されるように、アクトミオシンの凝集性は、0.33Mおよび0.66Mのn-ブタノールの添加で大きく左右された。すなわち、n-ブタノールの添加は、アクトミオシンの凝集効果を高めることが示された。

以上のように、超音波処理によって肉糊には脱塩化が起こり、同時にアクトミオシンの凝集性に影響を与えたものと考えられた。また、n-ブタノールを添加した筋原繊維に対する超音波処理においても、超音波効果が0.2M~0.6Mのn-ブタノール存在下で観察されたこと、および0.33M, 0.66M n-ブタノールの添加は低塩濃度におけるアクトミオシンの凝集性に影響を与えたことから、熱ゲルにおけるアクトミオシンの凝集性の役割が示唆され

た。

【今後の課題】今後の課題としては、アクトミオシンおよびミオシンの凝集特性の面からn-ブタノールによるタンパク質の変性様式、さらにゲル形成様式について明らかにしていきたい。

## 文 献

- 1) Lo, J. R., Nagashima, Y., Tanaka, M., Taguchi, T., and Amano, K. 1991. Effect of ultrasonication on the thermal gelation of ordinary and dark meat pastes from yellowfin tuna. J. Food Sci. 38: 540.
- 2) Hirahara, H., Tanaka, M., Nagashima, Y., and Taguchi, T. 1991. Aggregation-intreaction between myosin and actin from striped marlin and sardine muscles. Nippon Suisan Gakkaishi. 56: 547.
- 3) Taguchi, T., Tanaka, M., and Suzuki, K. 1983. Effect of alcohols on "himodori" (thermally induced gel disintegration) in oval filefish meat paste. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49: 1149.
- 4) Lo, J. R., Endo, K., Nagashima, Y., Tanaka, M., and Taguchi, T. 1992. Effect of added butanol on the thermal gelation of tuna dark and ordinary muscle proteins. Nippon Suisan Gakkaishi. 58: 107.

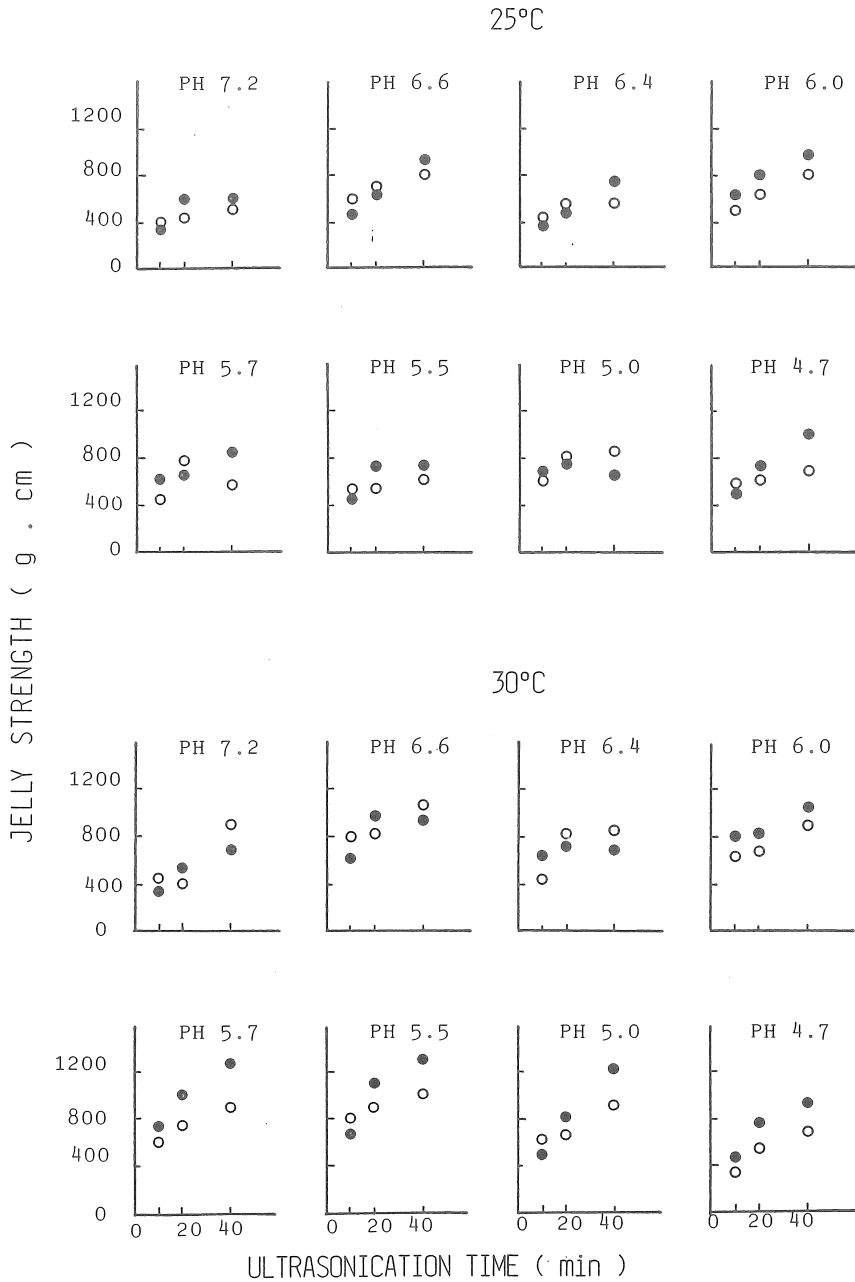


Fig. 1 Effect of ultrasonication on the thermal gelation of flying fish paste under various pHs. After ultrasonication, each paste was heated at 70°C for 10 min.

●: With ultrasonication  
○: Without ultrasonication

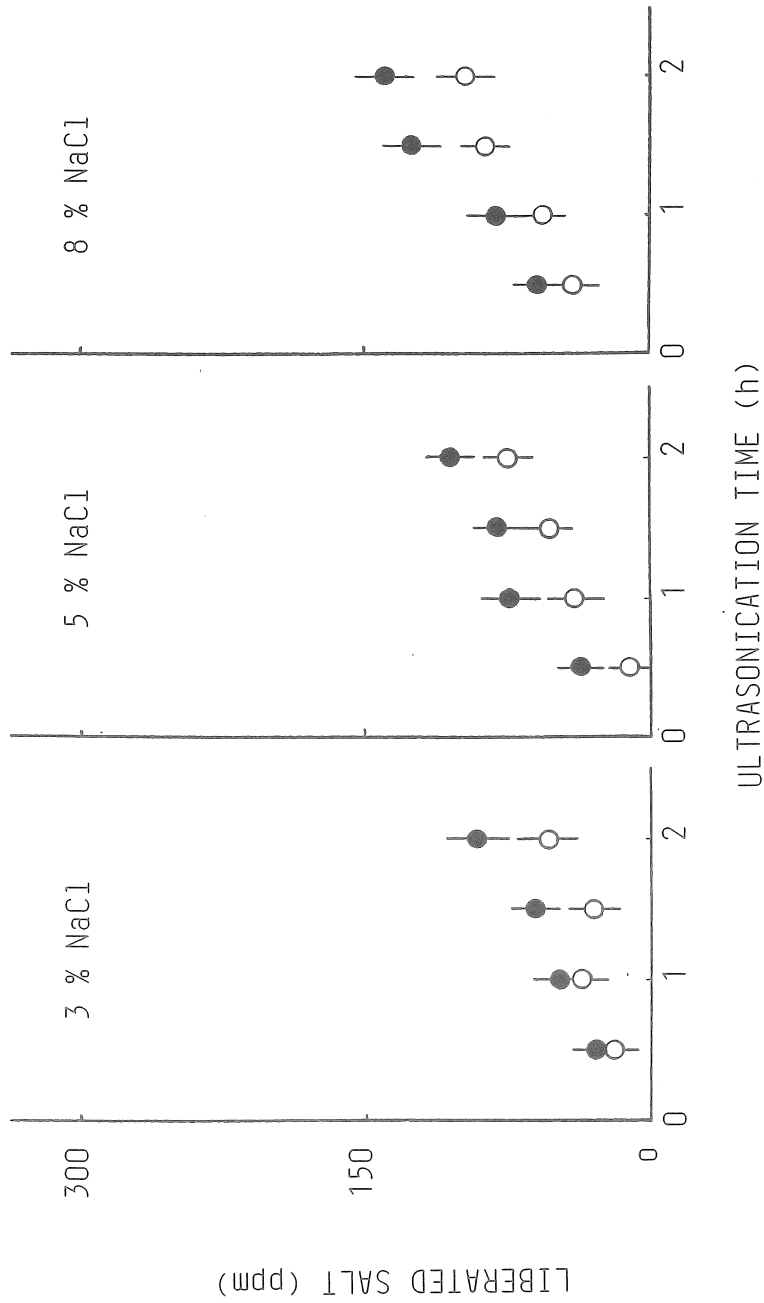


Fig. 2 Effect of ultrasonication on the desalting of flying fish pastes. Fish pastes were obtained by addition of 3 %, 5 %, and 8 % NaCl.



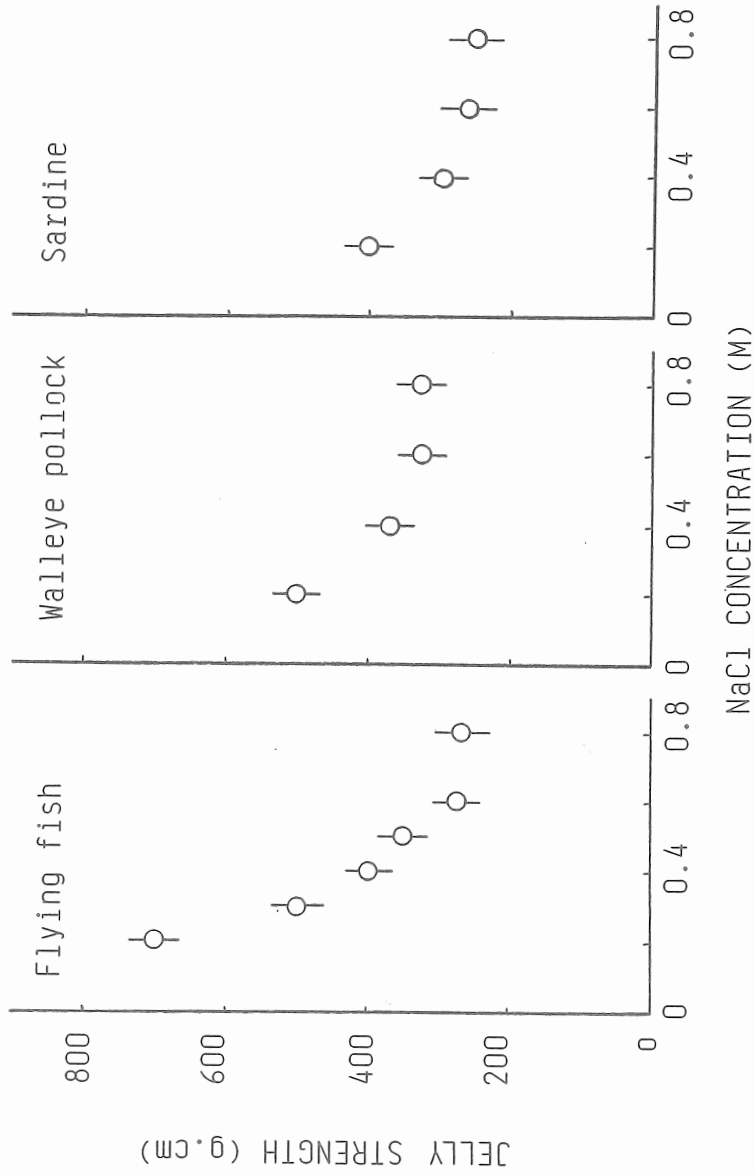


Fig. 3 Influence of NaCl concentration on the thermal gelation of fish muscle actomyosins. The actomyosins were heated at 70°C for 20 min.

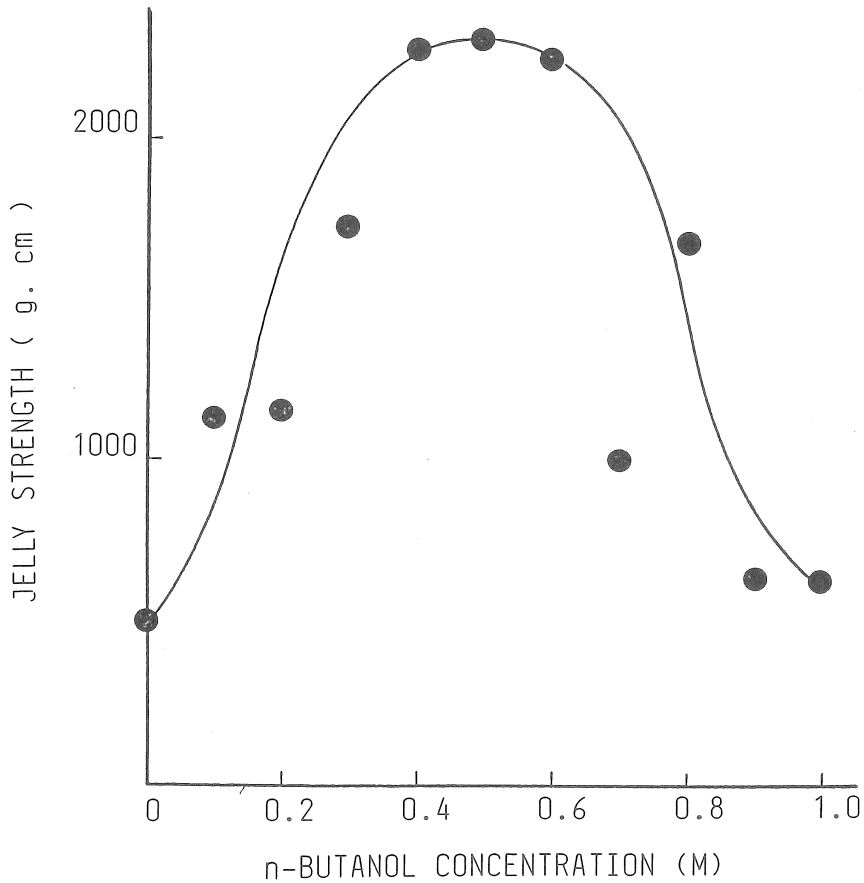


Fig. 4 Effect of added n-butanol on the thermal gelation of yellowfin tuna myofibrils. The n-butanol-added myofibrils were heated at 70°C for 10 min.

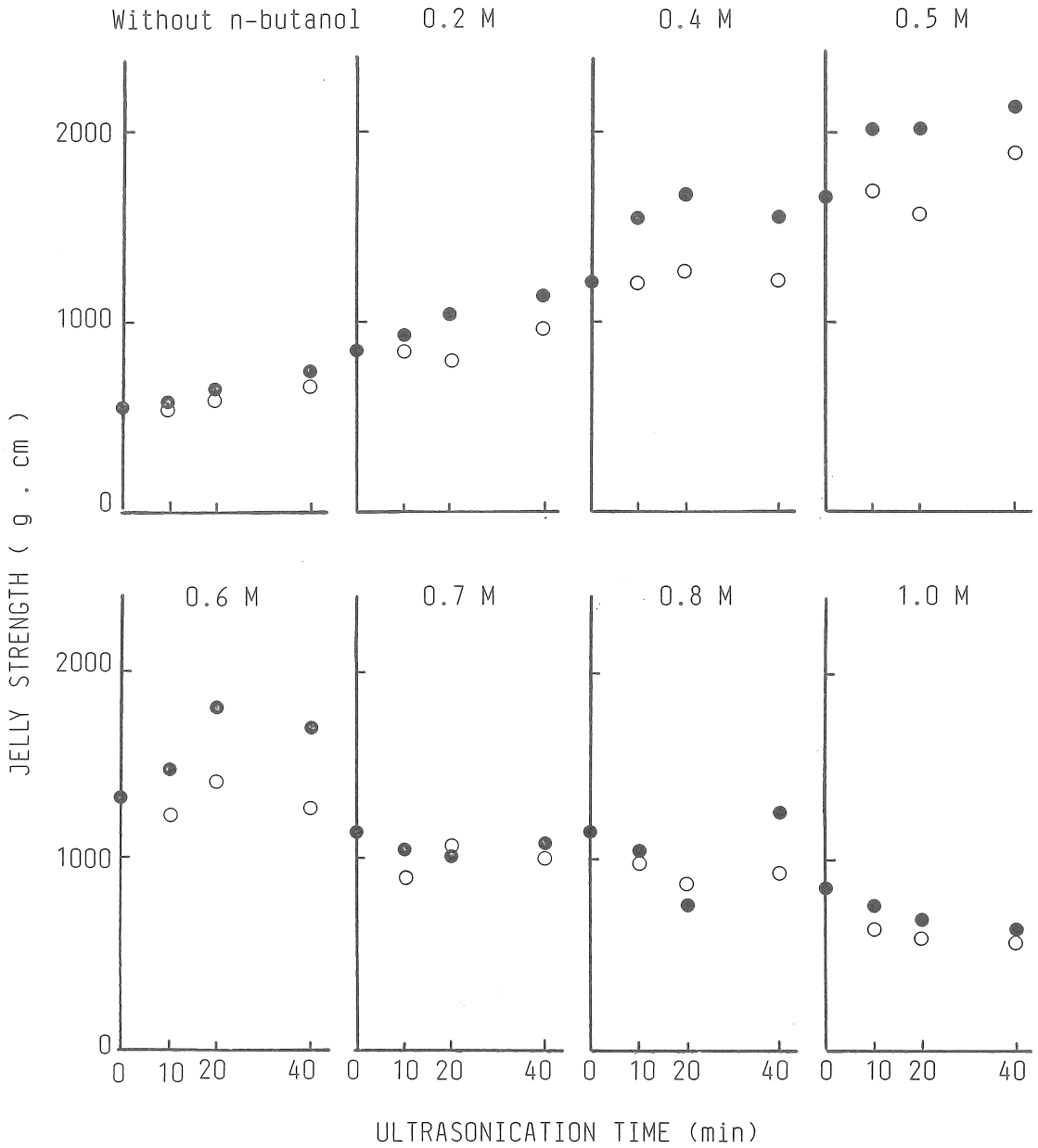


Fig. 5 Effect of ultrasonication on the thermal gelation of yellowfin tuna myofibrils containing various concentration of n-butanol. After ultrasonication at 30°C, the paste were heated at 70°C for 10 min.

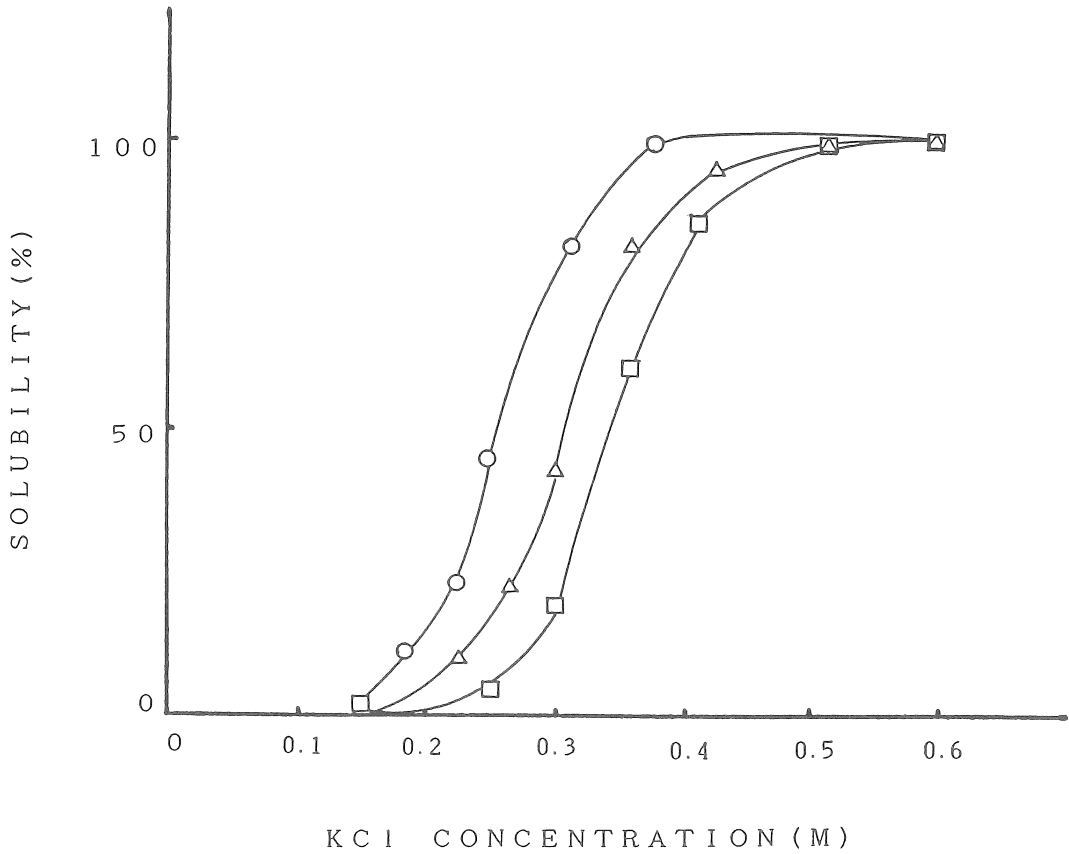


Fig. 6 Influence of KCl concentration on the solubility of flying fish actomyosin in the presence or absence of n-butanol.

- : Without n-butanol
- △: With 0.33M n-butanol
- : With 0.66M n-butanol

Studies on thermal gelation of fish muscle pastes by ultrasonication and its desalting-aggregation properties

Takeshi Taguchi

Department of Food Science and Technology,  
Tokyo University of Fisheries

Summary

The ultrasonication in the phosphate buffer (pH 6.0 and 5.7) at 30°C prompted the thermal gelation of flying fish muscle pastes. During ultrasonication the desalting from the pastes <sup>was</sup> observed. The thermal gelation of fish muscle actomyosins was affected remarkably by ionic strength. A low ionic strength gave higher values for the gel-strength (in order: flying fish > walleye pollock > sardine). The n-butanol-added myofibrils from yellowfin tuna muscle also showed the enhancing effect by ultrasonication. It was found that the actomyosin aggregation at low ionic strength was heightened by the addition of n-butanol. The thermal gelation of fish muscle proteins in low ionic strength was discussed in connection with the desalting-aggregation properties of protein.