

高速攪拌による魚肉すり身中の魚油の微粒化と 加熱ゲル形成能の向上

岡崎恵美子,* 山下由美子, 大村 裕 治

(2001年11月14日受付, 2002年2月14日受理)

独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所

Emulsification of fish oil in surimi by high-speed mixing
and improvement of gel-forming ability

EMIKO OKAZAKI,* YUMIKO YAMASHITA AND YUJI OMURA

*National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Yokohama, Kanagawa, 236-8648,
Japan*

An attempt was made to produce frozen surimi containing large amounts of highly unsaturated fatty acids such as EPA and DHA. Fish oil was emulsified with walleye pollock surimi by agitation using a vacuum high-speed rotating mixer, and the best condition for the preparation of a stable emulsion was investigated by measuring the size of oil droplets, the viscosity, and the gel-forming ability of the emulsified product.

The results were as follows: when agitated at relatively low speed, the size of oil droplets tended to decrease and gel-forming ability increased in relation with the progress of agitation. However, the degree of emulsification did not reach a constant level even when the agitation was prolonged for more than 10 min (900 rpm). On the other hand, when agitated vigorously with stepwise increase of the mixing speed (300-3,000 rpm), the viscosity of the emulsified product quickly increased to a higher level, and its heat-induced gel forming ability was improved and the oil droplets in it became a uniformly fine size.

These results indicate that vigorous agitation of surimi with fish oil is necessary to enable the heat-induced gelation of its emulsified product to achieve good quality, through the formation of fine oil droplets in it.

キーワード：乳化，すり身，魚油，微粒化，加熱ゲル形成能，高速攪拌

魚油に含まれる高度不飽和脂肪酸をはじめとした機能成分の効能や作用機序が徐々に明らかになり，成人病予防の観点からも魚油の積極的な摂取が望まれている。¹⁾

最も簡便で効率的な魚油の摂取方法として，抽出魚油を種々の加工食品製造工程で原材料中に添加する方法が考えられるが，高度不飽和脂肪酸を多く含む魚油はきわめて酸化されやすく，不快な臭い・味の発生や健康への悪影響の防止が不可欠である。また魚油は高粘度の液体であり，食材として取り扱いにくいばかりでなく，通常の調理・加工方法では高水分系の素材中に混合しにくいなど，魚肉と魚油の混合利用技術について吟味すべき問題点が多い。

魚油の添加が魚肉のゲル形成能に及ぼす影響については，1950年代に池内らにより詳細な研究が行われ，油

の混入量²⁾や魚種³⁾によって影響の度合いが異なることが示された。以来，油の添加がゲル形成能の劣化や油の分離を引き起こし，これを原料とした練り製品の品質劣化が避けられないとの考え方が通説となっている。一方，近年になり，福田ら⁴⁾はすり身と魚油の混合攪拌法として強力な攪拌力を備えた高速攪拌機による方法を提唱し，低速の擂潰機による場合よりも大量の魚油をゲル化製品中に含有させることが可能であることを示した。⁵⁾ また，川崎ら⁶⁾は，魚油と水とをエマルジョン化してすり身に添加混合する方法を提唱し，良好な食感のゲル化製品を得ている。⁷⁾

これらの例にみられるように，すり身と魚油との混合攪拌条件によって乳化物の性状や魚油の分散状態が異なり，得られるゲル化製品の性状にも影響を及ぼすことが

* Tel : 81-45-788-7615. Fax : 81-45-788-5001. Email : eokazaki@affrc.go.jp

推察されるが、このことについて詳細に検討した例はない。冷凍すり身を水産脂質とともに組織化して、栄養を強化したり新しい食感の練り製品を製造しようとする試みが多くなされるようになった現在においては、このような基礎的知見の集積が急務である。そこで、本研究では、魚肉と魚油の混合利用に関する研究をすすめるための第一歩として、すり身と魚油との攪拌条件が乳化物の性状に及ぼす影響を明らかにするために、乳化物中に含まれる魚油の存在状態や乳化物のゲル形成能との関係を検討した。

材料および方法

試料 スケトウダラ冷凍すり身は、マルハ(株)製 SA 級冷凍すり身を用い、試料調製時まで -40°C にて保管した。魚油は、日本油脂(株)製の精製魚油(主原料マイワシ, POV 0.1 以下)を -40°C に保管し、随時解凍して用いた。魚油には Marshall らの方法⁸⁾に準じ Oil Red O (SIGMA Co. Ltd) を 1% 加えて赤く着色したが、乳化操作中における魚油分離および解乳化の判別、ならびに顕微鏡観察における魚油の分布状況の観察が容易になるように、添加量は原報における 0.03% よりも高濃度とした。

すり身乳化物の調製 攪拌機はステファン社製真空冷却高速攪拌機 (UMC-5E 型) を用いた。凍結状態のスケトウダラすり身を細砕し、水を加えてタンパク質濃度が 105 mg/g のペースト状とし、 -1°C になった時点で 2.5% の NaCl を添加し、600~900 rpm で塩すりした。一旦 $-3\sim-4^{\circ}\text{C}$ に降下した後、再び温度が上昇して $0\sim2^{\circ}\text{C}$ になった時点で攪拌を止め、全体量の 10% に相当する量の魚油を一度に添加し、攪拌操作を行った。攪拌機のジャケット温度は常に 0°C 以下に設定し、すり身乳化物の温度が常に 15°C 以下となるようにした。攪拌操作は、以下のように攪拌条件の異なる 2 つの典型的な方法を設定し、異なった性状のすり身乳化物を調製して以下の測定に供した。

(1) **低速度による攪拌** すり身ペーストに魚油を添加後、一定速度 (900 rpm) で攪拌時間を段階的に長くした。すなわち、魚油混合後 30 秒後に攪拌機を止め、すり身乳化物を約 40 g 採取した。再度攪拌を行い、同様に 40 秒, 50 秒, 60 秒, 90 秒, 120 秒, 180 秒, 360 秒, 660 秒後に試料を採取した。

(2) **低速から高速まで回転数を変化させる攪拌** すり身ペーストに魚油を添加後、300 rpm で 60 秒, 600, 900, 1200, 1500 rpm で各 30 秒, 1800, 2100 rpm で各 15 秒, 2400, 2700, 3000 rpm で各 10 秒の計 240 秒, 回転数を低速度から高速度まで段階的に上げながら攪拌し、これを 1 サイクルとした。これを 1~5 回繰り返して、サイクルごとに試料を採取した。

顕微鏡による魚油粒子の形状の観察 乳化物を冷却したスライドガラス上に少量とり、カバーガラスを被せて薄く延ばし、光学顕微鏡 BX50 (オリンパス光学工業(株)製) によって魚油の分散状態を観察した。またこの顕微鏡画像上の油球の粒度分布については、画像解析ソフト Image-Pro Plus Version 4.0 (Media Cybernetics, L.P. 製) を用いて魚油粒子直径の測定ならびに解析を行った。各サイズの粒子の画面上における累計面積をサイズごとに算出し、全油球が占める面積に対する比率を求めた。なお、平均粒径については、便宜的に微細粒子を除外し、直径 $2\ \mu\text{m}$ 以上の粒子を対象として求めた。

すり身乳化物の物性の測定 レオメーター NRM-200 (日本レオロジー機器(株)製) を用い、コーンプレート (標準型 (コーン角度: 0.0523rad), $\phi 2.15\ \text{cm}$) を用いた定常流測定により得られる最大ずり応力から試料の粘度を求めた。測定温度は 0°C , コーンプレート回転速度は 4.0 rpm とした。

すり身乳化物の加熱ゲル物性 得られた乳化物を直径 23 mm のポリ塩化ビニリデンチューブに充填し、1,000 rpm にて 1 分間遠心分離して内部の気泡を取り除いた。これを 85°C 高温水槽にて 20 分加熱し、得られた加熱ゲルを氷冷した後、物性測定に供した。レオメーター NRM-2002J (レオテック(株)製) を用いて押し込み試験を行い、破断強度および凹みを測定した。プランジャーは球形 (直径 5 mm) を用い、プランジャー押し込み速度は 6 cm/min とした。測定は 6 回を行い、平均値ならびに標準偏差を求めた。

結 果

低速度の攪拌によって得られる乳化物の性状 まず、Fig. 1-I および Fig. 2-I には、水分約 80% に調製したすり身ペーストを塩すりした後に魚油を 10% 添加後、攪拌速度を 900 rpm と一定にし、経時的にサンプリングして得られた攪拌時間の異なる乳化物の顕微鏡観察写真と、画像解析による粒度分布測定結果を示した。また Fig. 3-I には乳化物の定常流粘度の測定結果を示した。

攪拌速度 900 rpm を選択したのは、この攪拌機を使用してすり身を乳化させる場合に、内容物の混合が経験的に最もよく行われる回転数であり、かつ比較的緩やかな速度であるためである。

900 rpm で攪拌した場合、肉眼的には約 60 秒後に乳化状態が得られ、魚油に溶解した赤色素 Oil Red O がすり身中に均一に分布しピンク色のすり身となったが、Fig. 1-I に示される顕微鏡観察によれば形状の不均一な油球が多数存在していた。乳化状態が得られた後の攪拌時間が長くなるに従って油球のサイズは小さくなり、形状もほぼ完全な球形のものとなったが、660 秒間攪拌後においても約 $10\ \mu\text{m}$ の油球が多く存在していた。この

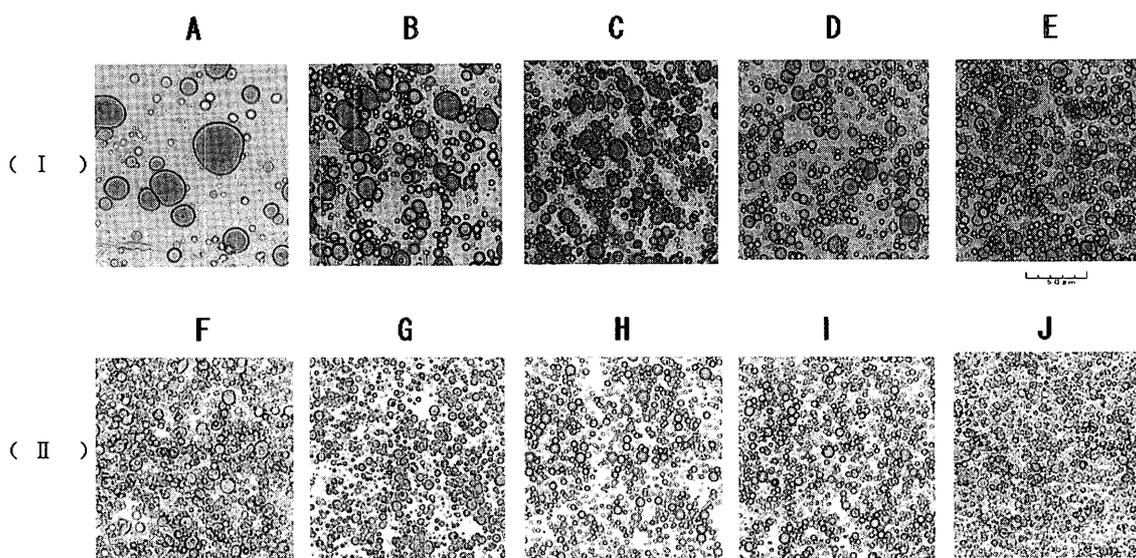


Fig. 1. Microscopic observations of fish oil droplets in emulsified products obtained by mild and vigorous agitation conditions. Frozen surimi was thawed and ground with 2.5% NaCl, and then 10% of refined fish oil containing 1% Oil Red O was mixed at mild and vigorous agitation conditions using a vacuum high-speed mixer. One gram of the emulsified product was taken out after mixing and placed on a cooled slide glass with a cover glass and compressed to spread each sample into a thin layer to allow microscopic observations. (I) Mild mixing: Emulsified product was taken out after mixing at a constant speed of 900 rpm for 40 s (A), 60 s (B), 180 s (C), 360 s (D) and 660 s (E). (II) Vigorous mixing: Emulsified product was taken out after mixing at a stepwise increasing speed from 300 to 3,000 rpm (300 rpm for 60 s, 600, 900, 1200, 1500 rpm for 30 s, 1800, 2100 rpm for 15 s, and 2400, 2700, 3000 rpm for 10 s, respectively). Mixing with stepwise increasing speed was performed for once (F), twice (G), three times (H), four times (I), and five times (J).

ことは、画像解析によって得られた Fig. 2-I の A-E の平均粒径の変化にも明確に示されている。また攪拌時間に伴い、すり身乳化物の粘度も高くなるのが観察された (Fig. 3-I)。一方、すり身乳化物から得られた加熱ゲルの物性についても、同様の影響が観察された。Fig. 4-I に示されるように、肉眼的に乳化状態が認められた直後のすり身乳化物からの加熱ゲルの破断強度は約 200 g であり、同じタンパク質濃度の (油脂を含まない) すり身を同条件で加熱した場合の 300 g よりもかなり低い値となったが、攪拌時間が長くなるに従って破断強度は徐々に上昇した。しかし、660 秒まで攪拌しても破断強度は一定値とはならなかった。また、破断凹みについても同様の傾向が認められた。このことは、すり身乳化物を調製する際に、この攪拌機における 900 rpm 程度の条件で攪拌した場合は、高度な乳化状態が短時間では得られにくく、これが乳化物の性状に反映し、たとえばゲル形成能にも反映したものと判断された。

低速から高速まで回転数を変化させる攪拌によって得られる乳化物の性状 前述のように、900 rpm の回転数は、系全体の混合はよく行われるものの、すり身の乳化にとって十分な攪拌効果が短時間では得られないことがわかった。そこで、より十分な攪拌が行われるような条件を検討した。

たとえば本研究で使用した攪拌機の最高回転数である

3,000 rpm で攪拌した場合、瞬間的に強い剪断力は得られるが、いきなり高速攪拌すると部分的に高度な乳化状態となり、流動性が失われて攪拌容器内で乳化物が固まってしまうために、系全体の均一な混合ができなくなる。前項の結果 (Fig. 3-I) にも示されているように、乳化の度合いが変化するにつれ乳化物の物性も変化していく⁹⁾ため、攪拌条件を徐々に強化させていく必要が生じる。

そこで、攪拌機の攪拌速度を低速 (300 rpm) から高速 (3,000 rpm) まで段階的に回転数を上げながら攪拌する方法について検討した。前項と同様に、乳化物の顕微鏡観察と定常流粘度について経時的に測定した結果を、Fig. 1-II および Fig. 3-II に示す。また顕微鏡画像における魚油粒子サイズの解析結果を Fig. 2-II に示す。これらの結果によれば、低速から高速までの一連の攪拌操作を 1 サイクル行っただけでかなり良好な乳化状態が得られ、魚油は直径 10 μm 以下の微細な粒子として乳化物中に分散した。このサイクルを 2 回繰り返すことにより魚油粒子はさらに微細化したが、それ以上の繰り返しを行っても魚油粒子の分散状態に著しい変化は認められなかった。Fig. 2-II の F~J に示す魚油粒子の平均粒径の変化も微小であった。さらに、定常流粘度測定の結果も、ほぼ同上の結果を支持した。このような攪拌の場合は、低速から徐々に高速回転に移行する過程で系全

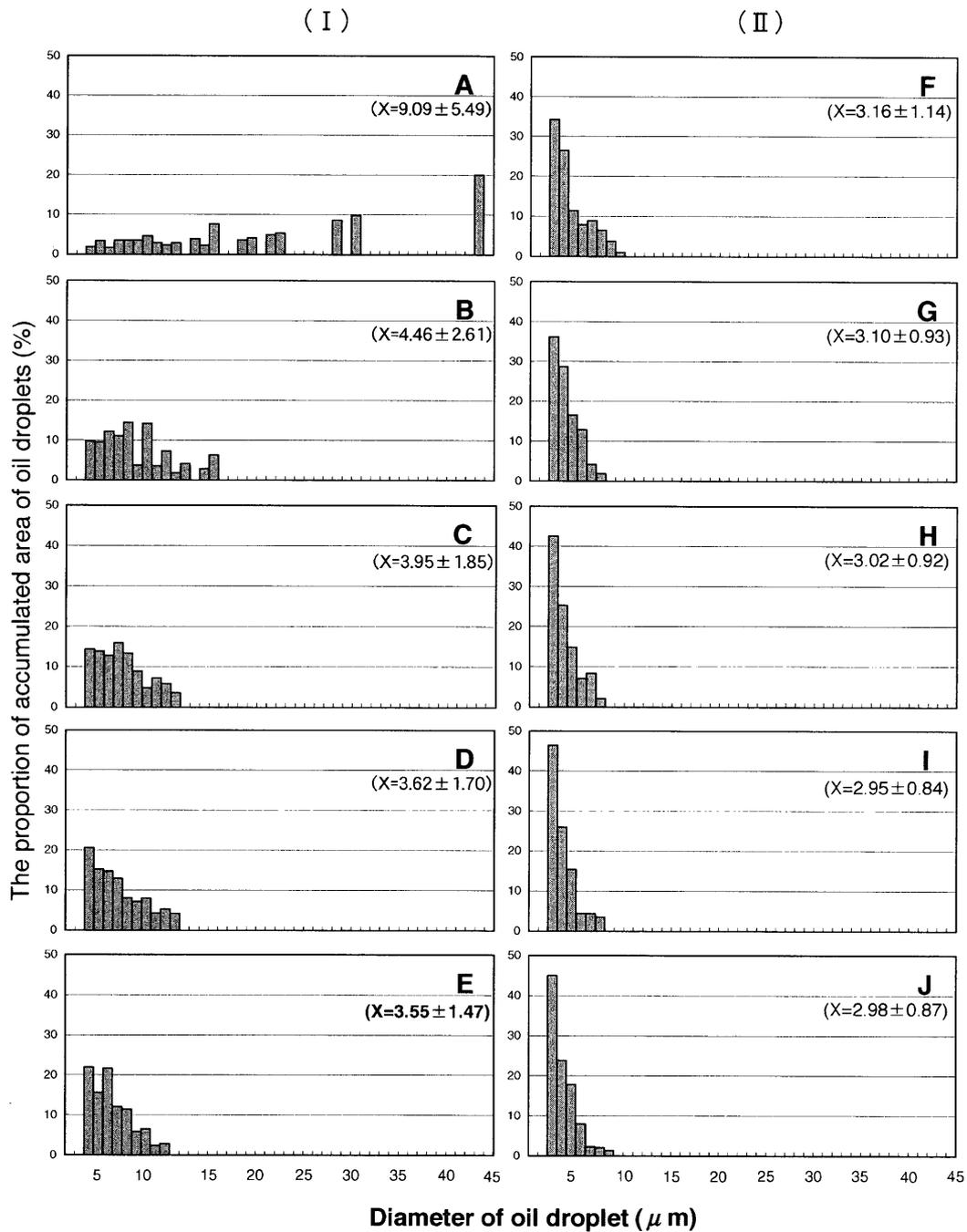


Fig. 2. Distribution of fish oil droplet size in emulsified products prepared by various mixing conditions. Droplet numbers, diameters, and accumulated areas were determined by image analyzing software (Image-Pro Plus Version 4.0, Media Cybernetics, L.P.) using the microscopic photographs shown in Fig. 1. (I), (II): See the footnote in Fig. 1. A-J: See the footnote in Fig. 1.

体の攪拌がなされ、強い剪断力の高速攪拌により魚油の微粒化が達成されるものと推測された。

Fig. 4-IIに低速から高速までの段階的攪拌操作を繰り返して得たすり身乳化物の加熱ゲル物性について示す。攪拌操作を1サイクル行って得た乳化物の加熱ゲルは破断強度 480 g で、900 rpm の攪拌で得られた乳化

物の加熱ゲルの物性値を大きく上回っていた。この値は、同じタンパク質濃度の(油脂を含まない)すり身を同条件で加熱した場合の300 gよりも大幅に高い値となった。また、低速から高速までの一連の攪拌操作を繰り返して行っても、加熱ゲルの物性値はこれ以上ほとんど変化せず、高い値を維持した。

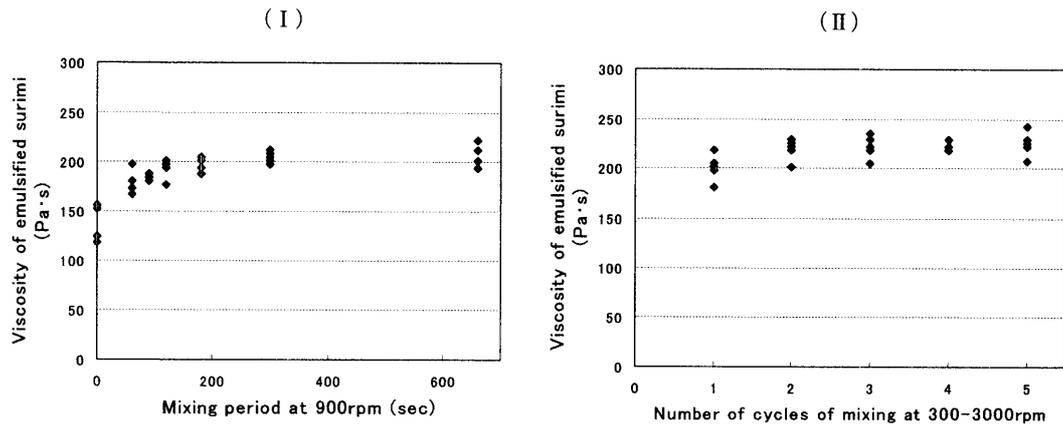


Fig. 3. Changes in the viscosity of the emulsified products during mixing with mild and vigorous agitation conditions. Frozen surimi was emulsified with fish oil as shown in the footnote in Fig. 1. The emulsified product was placed between a cooled plate and a cone-plate ($\phi 2.15$ cm). The cone-plate was rotated at 4 rpm and the maximum shearing stress produced between the sample and the cone-plate was measured, and the viscosity of the emulsified product was obtained. (I), (II): See the footnote in Fig. 1.

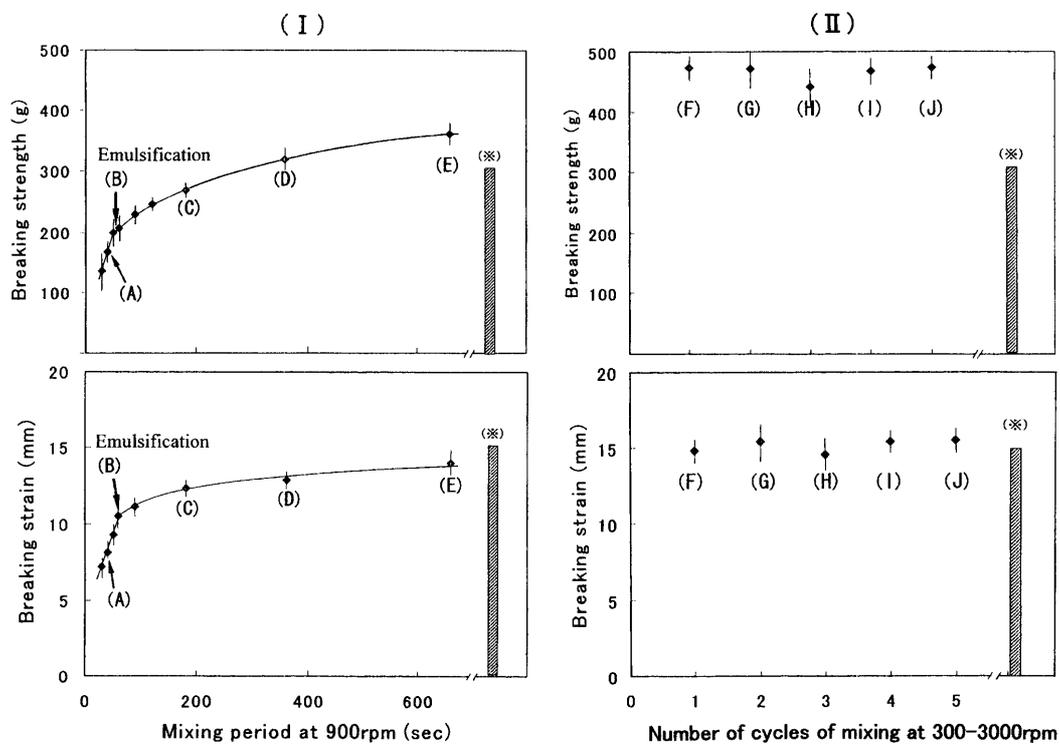


Fig. 4. Changes in heat-induced gel-forming ability of emulsified products obtained by mild and vigorous agitation conditions. The emulsified product was prepared as shown in the footnote in Fig. 1. Forty grams of the emulsified product was taken out and filled into casing tubes and then heated at 85°C for 20 min. The heat-induced gel was measured for its breaking strength and breaking strain by penetration test with a cylindrical plunger ($\phi 5$ mm) using a cylindrical specimen (height, 25 mm; diameter, 23 mm). The test was repeated 6 times and the average value was obtained. (I), (II): See the footnote in Fig. 1. A-J: See the footnote in Fig. 1. *: Control (heat-induced gel of surimi sample without oil, protein content: 105 mg/g)

Fig. 5 には、Fig. 2 で粒度分布測定の結果得られた平均粒径と、Fig. 4 で得られたゲル強度との相関を示した。乳化直前の (A) を除き、(B)～(F) については両者間に高い相関が得られた。

以上のことから、比較的緩やかな回転数 (900 rpm) で攪拌した場合、乳化物中に含まれる魚油粒子の分布状態と加熱によるゲル形成能などの性状は、攪拌時間によって大きく変化するが、低速 (300 rpm) から高速

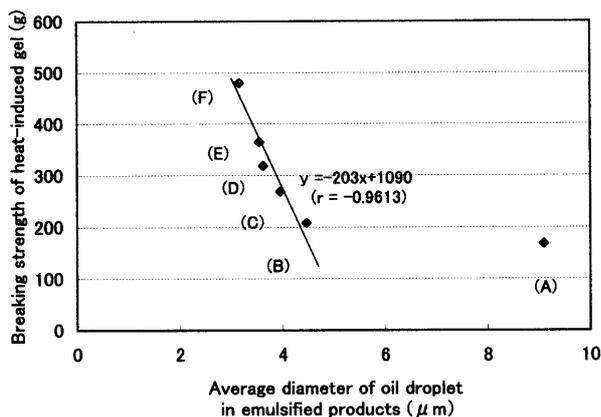


Fig. 5. Relationship between fish oil droplet size and gel-forming ability of emulsified products. The data shown in Figs. 2 and 4 are cited in this figure. A-F: See the footnote in Fig. 1.

(3,000 rpm) までの攪拌操作を段階的に行うことにより、乳化物中の魚油はかなり微細な粒子となって分布し、同時に粘度などの性状がほぼ一定の乳化物が安定的に得られることが示された。また、このように十分な攪拌操作によって得られる乳化により、魚肉すり身の加熱ゲル形成能が著しく上昇することも示された。

考 察

食品の製造工程において、互いに溶解しない成分同士を均一に混合するために種々の混合攪拌装置が数多く開発されている。このことは、要求される混合攪拌状態を作り出すために必要な装置や技術が、混合しようとする素材の性質や目的とする混合状態に固有のものであり、個々の素材の特性に最も適した装置の開発にはそれぞれ特異的に高度な技術が要求されることを如実に示している。魚肉と油脂を混合し乳化させようとする場合においても例外ではない。製造業者が練り製品中に油脂を均一に混合するために、塩すり工程において通常の播漬機で少量ずつ油脂を添加していく方法で対応したり、油脂と水をエマルジョン化したものを混合して対応している⁷⁾が、安定的に良好な乳化状態のすり身を作出するような技術が十分に確立されているとは言い難い。これは実験室レベルで行う乳化実験の場合も同様であり、均一な乳化系を得るための条件として、まず使用する機器類の選択と、その攪拌条件の設定が重要である。

タンパク質の乳化力や乳化安定性などを求めるためのモデル実験では、その指標が透過光による方法であるために、しばしば希薄なタンパク質溶液系 (1-10 mg/ml) が用いられる。¹⁰⁾ このような希薄溶液は流動性が高いため、攪拌の容易なポリトロン型ホモジナイザー¹¹⁾や超音波処理¹²⁾で対応できるが、これよりタンパク質濃度

が高い一般的な食品系の乳化物では高粘度で流動性が低いため、より高い攪拌力をもつカップ式ブレンダーなどが利用される。^{11,13)} 本研究では、これよりさらに高いタンパク質濃度の魚肉すり身を用いているため、その攪拌に必要なと考えられる強力な攪拌力と剪断力、ならびに攪拌に伴い発生する摩擦熱による温度上昇を抑制するための冷却機能を有する高速攪拌機を用い、典型的に異なる2種の攪拌方法により、魚油粒子の分散状態や乳化物の性状がどのように変化するかを検討した。その結果、低速 (300 rpm) から高速 (3,000 rpm) までの段階的な攪拌操作が有効であることが示された。しかしこの方法はあくまでも便宜的なもので、ステファンカッター UMC-5E ですり身約 500 g を乳化させる場合にのみ適用できる方法であり、他の試料を用いた場合や、他の攪拌機を用いた場合にはまた異なる攪拌条件を設定する必要があることは言うまでもない。

魚油の乳化操作が不十分である場合、その加熱ゲル形成能は低く、同じタンパク質濃度で魚油を含まないすり身と比較してゲル強度は低くなったが、従来からの定説として「油脂の添加はねり製品の足を低下させる」といわれるのは、このような魚油の混合状態におけるゲル形成能を指すものと考えられる。一方、本研究で採用したような低速から高速までの段階的な攪拌操作により達成されたような乳化状態が得られれば、「油脂の添加はねり製品の弾力を低下させずむしろ向上させる効果がある」ということができる。このように微粒化した魚油がすり身の加熱ゲル形成能を向上させる効果のメカニズムについては不明であるが、Jost ら¹⁴⁾は乳清タンパク質のゲル化において、脂肪球サイズの微小化と均一化がタンパク質の網目構造形成を阻害しないこと、油球表面積の増加に伴う脂質-水インターフェースに吸着されるタンパク質の比率の増加が脂肪球の固定化とゲル構造の強化に寄与することを推察しており、すり身タンパク質のゲル化についても同様の推定が可能と思われる。ただし、すり身タンパク質ゲルの微細構造の解明に向けた研究も散見される¹⁵⁾ものの、その詳細は不明であることから、微粒化魚油の影響を論ずるためにはこの方面の研究の更なる進展が望まれる。

以上のことから、(1)素材の特質に合致した方法を選択することにより高度な乳化が安定的に可能となること、(2)この場合に「系全体をよく攪拌し均一化する」操作と、「強い攪拌によって油球を微小化する」という両方の条件を満たす操作が必要であること、また(3)魚油が微粒化されて均一に分布するような乳化がすり身のゲル形成能を向上させることが示された。

なお、すり身の乳化に伴う性状の変化を調べることを目的としているものの、本研究では NaCl を添加してすり身を乳化させている。これは以下のような理由によ

る。ひとつはすり身乳化物の性状を表す指標として加熱ゲル形成能を採用しており、そのためには塩ずりが必要であるが、乳化に引き続いて塩ずりを行う場合は乳化の影響と塩ずりの影響を分けて評価することが困難であるのに対し、予め同一条件で塩ずりしたすり身を各種条件で乳化すれば、乳化条件の影響を明確に評価できる。もう一点は、顕微鏡観察の際に薄いプレパラートの作製が必要であり、通常のすり身乳化物の場合には採取した試料に塩溶液等を加えて筋原繊維タンパク質を可溶化するが、操作が煩雑であるために乳化条件による影響が判別しにくいのに対し、先に塩ずりした乳化すり身の場合には試料をそのまま顕微鏡観察に供することができ、乳化条件の影響をより明確に判断できることを考慮したためである。今後、塩を加えないすり身の乳化の場合についても、同様な検討が必要であると思われる。

また、すり身に魚油を混合して高速攪拌すると魚油が微粒化されて均一に分布し、このときすり身のゲル形成能も向上することが示されたが、魚油の添加量や加熱ゲル化の条件については一定条件における結果のみを示した。これら乳化における諸条件の影響については、さらに詳細に検討しているので、次報において報告する。

謝 辞

本論文の作成にあたり、試料を提供して下さった日本油脂㈱ならびにマルハ㈱中央すり身研究所、物性測定に関しご協力戴いた日本レオロジー機器㈱大野宏策氏、実験にご協力いただいた鈴木道子氏、酒井睦美氏に感謝申し上げます。また、ご助言をいただいた東和化成工業㈱食材開発センター顧問 新井健一博士ならびに中央水産研究所加工流通部長 福田裕博士に厚く御礼申し上げます。

本研究は、水産庁委託事業「水産物機能栄養マニユアル化基礎調査事業」の一環として行われたものである。

文 献

- 1) 水産食品の健康性機能：山澤正勝，関 伸夫，奥田拓道，竹内昌昭，福家真也編，恒星社厚生閣，東京，2001；1-252.
- 2) 池内常郎，清水 亘．かまぼこにおける蛋白・油・水一系の研究-I．油の混入による足の変化．日水誌 1955；**20**: 814-815.
- 3) 池内常郎，清水 亘．かまぼこにおける蛋白・油・水一系の研究-II．油の混入による足の変化と魚種．日水誌 1959；**25**: 141-143.
- 4) 福田 裕，伊藤秀明，石川 哲，柳谷 智．組織化（ゲル化）中の魚肉における脂質と魚肉蛋白の相互作用．平成元年度水産物健康性機能有効利用開発研究の成果の概要，水産庁研究部研究課，東京，1991；332-341.
- 5) 中谷 肇，石川 哲，伊藤良博，柳谷 智．組織化（ゲル化）中の魚肉における脂質と魚肉蛋白の相互作用．平成2年度水産物健康性機能有効利用開発研究の成果の概要，水産庁研究部研究課，東京，1992；331-342.
- 6) 川崎賢一，松津保浩，伊藤裕佳子．超高温（低温）処理による魚肉と脂質の組織化．平成5年度水産物健康性機能有効利用開発研究の成果の概要，水産庁研究部研究課，東京，1995；41-51.
- 7) 松津保浩，伊藤裕佳子，川崎賢一．カツオ肉と魚肉を組織化させた蒲鉾の調製法と保管中の性状変化．水産わり製品技術研究会誌 1995；**21**: 65-69.
- 8) WH Marshall, TR Dutson, ZL Carpenter and GC Smith. A simple method for emulsion end-point determinations. *J. Food Sci.* 1975; **40**: 896-897.
- 9) 岡崎恵美子，福田 裕．魚肉を基材とする中間素材の開発．平成6年度水産物機能栄養マニユアル化基礎調査事業研究成果の概要．水産庁研究部研究課，東京，1996；170-177.
- 10) 斎藤昌義，清水 誠，山内邦男．血液蛋白質の乳化特性．日食工誌 1987；**34**: 223-228.
- 11) 及川 寛，福田 裕．ペースト化による栄養成分の効率的利用．平成4年度水産物健康性機能有効利用開発研究の成果の概要，水産庁研究部研究課，東京，1993；131-138.
- 12) 小堺由美子，岡崎恵美子，中村弘二．魚肉蛋白質-脂質間の物理的相互作用．平成2年度水産物健康性機能有効利用開発研究の成果の概要，水産庁研究部研究課，東京，1991；281-285.
- 13) 山内文男，菱沼紀子，小野秀光，柴崎一雄．アセチル化大豆蛋白質の乳化特性．日食工誌 1978；**25**: 446-450.
- 14) R Jost, R Baechler and G Masson. Heat gelation of oil-in-water emulsions stabilized by whey protein. *J. Food Sci.* 1986; **51**: 440-444.
- 15) 松津保浩，鮫島邦彦．等級の異なる冷凍すり身から調製した坐りゲルと坐り一加熱ゲルの微細構造の比較．平成10年度日本水産学会春季大会講演要旨集，1998；186.