平成 23 年度水産学技術賞

高濃度に魚油を含む乳化すり身の開発と利用に関する研究^a

岡 崎 恵美子

東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科

Development and utilization of emulsified surimi including high content of fish oil

EMIKO OKAZAKI

Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

優れた機能性をもつ魚油の高度利用への取り組み

魚油に含まれる EPA や DHA は臨床的に治療と予防の効果が確認された数少ない機能成分である。これらを錠剤化したサプリメント等が市販されているが、食品から直接摂取することが望ましいのは言うまでもない。一方、EPA・DHA を多く含む食品には、焼き魚、煮魚など健康な成人には食べられても幼児や高齢者、病人には食べにくいものも多いため、高齢化社会に向けた、嚥下性が良く魚油の機能性成分を強化した食品の開発が望まれている。以上のように、機能性に富む魚油を含む食品開発のニーズは高いが、酸化安定性が低く物理的にも混合しにくい魚油を食品に安定的に添加することは困難な側面があり、EPA・DHA を含む加工食品の種類や添加量はかなり限定されていた。

このような中、魚油をはじめとする水産物の健康性機能成分を活用するための研究が水産庁・道県の研究機関・大学と共同で実施された。¹⁾ この共同研究を契機に、著者は「高濃度に魚油を含む乳化すり身」の技術開発に取り組んだ。ここではその概略を述べさせて頂く。

冷凍すり身に魚油を乳化する試み

よく知られているように、冷凍すり身は 1960 年代に開発された画期的な魚肉中間素材であり、その優れた加工特性、保存性、簡便性から、現在では大半の水産練り製品の原料として不可欠の存在となっている。一般的な冷凍すり身は、比較的脂質の少ない白身魚を主原料に用い、魚肉を水晒し後、冷凍変性防止剤などの添加物を混合し凍結することによって製造される。水晒し処理は、魚肉を水で洗うことによって、ゲル形成や品質の劣化要因となる各種物質を除去するために行われ、このときに

図 1 乳化すり身の概念図

脂質もかなり除去されるため、一般的な冷凍すり身には EPA や DHA の給源としての効果はあまり期待できない。そこで、この冷凍すり身に対し、品質劣化要因とならないように魚油を豊富に含有させることができれば、EPA や DHA を含む機能性に優れた、すり身を基材とする各種加工品の製造が容易になるのではないかと考えた。そこで、多量の魚油を含有し、しかも凍結保存中も安定で、簡便に他の素材と混合し加工できる中間素材（これを「乳化すり身」と呼ぶ）の開発に取り組んだ。また、このような素材において脂質の乳化がもたらす種々の効果について解明しようとした。

冷凍すり身の魚油乳化能は低い

マヨネーズやチョコレートのように、液状の水相と油相を混合する場合には、流動性が高いため比較的容易に乳化できるが、魚肉は粘性が高く、油を容易に乳化することはできない。

例えば、水分を80%に調整したスケトウダラ冷凍すり身に魚油を30%加えて混合しようとしても、通常の練り製品用の播潰機ではうまく乳化することができず、小さい肉塊が油の膜に包まれたような状態になってしまう。練り製品への油の添加時における乳化効果を初めて示唆した池内ら²⁾の「かまぼこにおける蛋白・油・水系の研究」においても、「油の量が15%以上になると急速に足が落ち、柔らかさを増す。製品は豆腐状に崩壊し易くなり、かまぼこにならない」と記述されている。

そこで本研究において、様々な乳化条件について検討した結果、魚肉タンパク質溶液が乳化することのできる魚油の量が、タンパク質の種類や変性度、タンパク質濃度、機器の攪拌能力などの各種要素に複合的に影響されることが明らかとなり、低タンパク質濃度のモデル系実験では説明できない様々な現象を見出すことができた。

図2は、各濃度に調製したスケトウダラの筋原線維タンパク質及び水溶性タンパク質溶液における、魚油の乳化限界量を求めたものである。

筋原線維タンパク質の場合、低濃度(1 mg/ml)では、タンパク質溶液1 gが乳化できる魚油量は比較的高いが、タンパク質濃度が上昇すると、乳化可能な魚油量はむしろ一方的に減少し、すり身と同等のタンパク質濃度(130 mg/ml以上)では非常に低くなった。すなわち、すり身のような高タンパク質濃度系では、魚油の乳化が非常に難しいことが示された。一方、水溶性タンパク質では、30 mg/ml程度までは、魚油乳化可能量がタンパク質濃度に依存して高くなり、200 mg/mlの高濃度でもほぼ同レベルを維持していた。すなわち、水溶性タンパク質は、高タンパク質濃度下では、筋原線維タンパク質よりも遙かに多くの油を乳化できることが示された。³⁾

魚肉水溶性タンパク質は魚油をより多量に乳化できる

以上のように、水溶性タンパク質の高い乳化能が示されたことから、この現象を利用し、すり身と水溶性タンパク質の両者を混合することによって、すり身の乳化能を改善できるかどうか検討した。

図3に示すように、魚肉すり身の魚油乳化量は50%

図2 タンパク質溶液濃度と、乳化可能な魚油量との関係

が限界であったが、すり身タンパク質の30%を魚肉水溶性タンパク質で置換すると、185%まで飛躍的に増大することがわかった。同様に、牛血漿タンパク質で170%、乳清アルブミンで145%、カゼインナトリウムで140%、卵白で100%の魚油を乳化できた。⁴⁾また、すり身に他のタンパク質を加える場合、その割合が高くなるほど、これに伴って筋原線維タンパク質の含量が低下するため、ゲル形成能の低下が予想されたが、置換するタンパク質の種類を適切に選択すれば、水溶性タンパク質未添加時の加熱ゲル形成能をほぼ保持することも可能であった。⁴⁾

糖の添加による凍結貯蔵中の乳化状態の安定化

乳化したすり身を活用するためには、凍結貯蔵中も魚油の乳化状態が安定的に保たれることが必須であるため、これを可能とする方法について検討した。

図4には、魚油を50%の割合で混入した乳化すり身に対し、ソルビトールを添加または無添加で7日間凍結貯蔵後に解凍したときの、状態の変化を示した。ソルビトール無添加の場合、解凍した乳化すり身は魚油を分

図3 水溶性タンパク質の置換による魚肉すり身の魚油乳化可能量の増大効果

図4 凍結・解凍による乳化すり身からの魚油の分離

離したが、ソルビトールを 10% 添加したものでは分離は認められなかった。各種の糖アルコールについて比較したところ、平均分子量が小さいほど、またモル濃度が高いほど油の分離抑制効果が高い傾向がみられた。⁵⁾

以上のように、タンパク質の冷凍変性防止剤として通常用いられるソルビトール等の糖類が、同時に凍結貯蔵中における乳化すり身の魚油分離の防止にも有効であることを明らかにすることができた。

強い攪拌によってゲル形成能が向上する

魚油を多量に含み、安定的に凍結貯蔵できる乳化すり身を製造できる見通しが得られたため、その加工特性について検討を行った。

すり身型素材を加工原料として利用する際に、まず問題になるのは、その加熱ゲル形成能である。これまでの業界の常識では、「油の添加はかまぼこの足を弱くする」と考えられてきた。

図 5 は、すり身に魚油を加え、異なった攪拌速度で混合した場合の魚油の分布状態の顕微鏡観察結果を示している。緩い攪拌では魚油は様々なサイズのものが混在し、高速攪拌によるものでは直径 $10\ \mu\text{m}$ 以下の油球がより均一に分散していた。調製条件の異なるこれらすり身の加熱ゲル形成能を比較すると、高速攪拌によるものでは著しく高くなることがわかった。⁶⁾ このほか、高速攪拌による魚油の乳化が、すり身の加熱ゲル形成能ばかりでなく保水性や保油性（混合した魚油がゲルから滲み出しにくくする効果）を高める^{7,8)} こと、凍結保管中のかまぼこゲルからの離水防止に有効である⁹⁾ こと等を明らかにすることができた。¹⁰⁾

図 6 の写真は、40% の魚油を含む乳化すり身加熱ゲル中の油球の存在状態を走査型電子顕微鏡により観察したもので、空隙の部分に魚油が存在していたことを示すものである⁷⁾。すり身中に分散した魚油は、加熱ゲル化後もその形状を変化させることなく、安定的にゲル中に存在していることがわかる。

すり身中に分散する魚油が微粒子となった場合にゲル形成能が高くなるメカニズムについては未解明であるが、乳清タンパク質の乳化特性に関する研究¹¹⁾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せず、油球表面積の増大に伴う脂質と水の界面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が示唆されており、乳化すり身についても同様の推定が可能と考えられる。一連の研究においては、トリグリセリド主体（99% 以上）の精製魚油を用いているが、乳化における挙動は、リン脂質を用いた場合とは全く異なる¹²⁾ ことも確認されており、こうしたメカニズムの解明は、今後の課題である。

図 5 高速攪拌による魚油微粒化と加熱ゲル形成能向上

図 6 40% の魚油を乳化混合したすり身加熱ゲルの電子顕微鏡観察写真

乳化による脂質の酸化安定化効果

魚油を加工品に添加するときに、その変質し易さが問題となる。魚油は多量の高度不飽和脂肪酸を含むため、極めて酸化されやすい。魚油が酸化するとせっかくの EPA や DHA の効力が失われるばかりでなく、不快な臭いや味が発生したり、有害物質が生成する場合もある。

水産物には通常、酸化防止のためにトコフェロールなどの抗酸化剤が使用されるが、これに代わる酸化防止法が望まれている。魚油に各種のタンパク質やペプチドを加えて乳化し、保存中における酸化に対する抑制効果を調べた研究^{13,14)}によれば、単体の魚油よりも乳化魚油の方が酸化安定性が高く、乳化魚油を原料に混合して製造した加工品の保存安定性が高いことが報告されている。本研究で調製した乳化すり身においても、凍結保管中の脂質の酸化安定性が極めて高いことを確認している。

実用化に向けて

以上のように、魚油を多く含み健康機能性に富む乳化すり身の製造が可能であり、また優れた加工特性を持つ

ことが示された。このような素材には、健康機能性をさらに付与するため、キトサン、タウリン、魚骨カルシウム等、多くの機能栄養成分の混合が可能である。¹⁵⁾

また、このような素材を用いるメリットは、魚油等の機能成分を簡便に他の加工原料に混合できる点にもある。すり身に魚油などの各成分を直接混合しようとする場合には強い攪拌力と攪拌時間とを必要とするが、乳化すり身を用いた場合には僅かな攪拌で均一に両者を混合できた。¹⁵⁾このことは、特殊な攪拌機を保有しない製造業者でも、乳化すり身の活用によって魚油の機能性を生かした製品を簡便に製造できることを示している。

本研究成果に基づき、経済産業省地域イノベーション創出研究開発事業「EPA・DHAを豊富に含む健康機能性シーフードの研究開発」にて、高齢者や幼児にも摂取しやすい「介護食、医療食、一般食品」の開発を目的とした乳化すり身の応用研究が行われ、ムース、水ようかん、パテ、アイスクリームなどが開発された。これらの例のように、機能性成分を含む各種食品の開発が、今後さらに各方面で行われることを期待したい。

まとめ

EPA・DHAを多量に含有し、加工性、保存性に優れた中間素材である乳化すり身の技術開発を行い、以下の知見を得た。

- ①魚肉水溶性タンパク質が優れた魚油乳化能を持ち、すり身の乳化能を高めることが示された。
- ②ソルビトールなどの糖類が、凍結貯蔵中における乳化すり身の魚油分離抑制に有効であることが示された。
- ③高速攪拌により微粒化した魚油は、魚肉すり身の加熱ゲル形成性を阻害せず、むしろ物性、保水性、白色度の向上、矯臭等、加熱ゲルの各種性状の改善効果を示すという、従来の知見を刷新した知見が得られた。
- ④現在、乳化すり身の製造技術を基礎とした商品開発が、病院食、介護食を目的として進められている。

謝 辞

一連の研究は、水産庁「機能栄養マニユアル化基礎調査事業」、農林水産省「食品の安全性及び機能性に関する総合研究」により行われたものである。

研究の遂行にあたり終始温かいご指導・ご支援を賜った(株)水産大学校 福田裕氏に厚く御礼申しあげる。また、共同研究者としてご協力・ご支援戴いた(株)水産総合研究センター中央水産研究所 元部長山澤正勝氏ならびに大村裕治氏、山下由美子氏ほか元品質管理研究室スタッフ一同、(株)水産大学校 福島英登氏、東京都食品技術センター 野田誠司氏、鳥根県食品技術センター 永瀬光俊氏、東海大学海洋学部 加藤登氏、フジミツ(株) 藤田雅史氏、旧東和化成工業(株)の関係諸氏、旧(株)阿部十良

商店 阿部洋一氏に感謝申しあげるとともに、このほかお世話になった多くの先生方や関係者、試料をご提供頂いた皆様、ならびに現在も研究を共に行っている大迫一史准教授ほか東京海洋大学食品加工学研究室一同に感謝申しあげる。最後に、終始激励と貴重なご助言を賜った鈴木たね子氏、新井健一氏、木村郁夫氏に厚く御礼申しあげる。

文 献

- 1) 山澤正勝, 関 伸夫, 奥田拓道, 竹内昌昭, 福家眞也編. 「水産食品の健康性機能」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) 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総括報告書, 水産庁研究部研究課, 東京. 1996; 170-177.
- 4) 岡崎恵美子, 福田 裕, 山澤正勝. 魚肉水溶性タンパク質により油脂を高濃度に含有させた魚肉乳化すり身及びその製造法. 特許第3118556号, 2000.
- 5) 岡崎恵美子, 夜久俊治, 福田 裕, 酒井 徹, 南部正一. 凍結貯蔵中の乳化すり身の解乳化に及ぼすポリオール類の抑制効果. 日水誌 2002; 68: 701-705.
- 6) 岡崎恵美子, 山下由美子, 大村裕治. 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. 日水誌 2002; 68: 547-553.
- 7) 岡崎恵美子, 野田誠司, 福島英登, 福田 裕. 魚油乳化による魚肉すり身加熱ゲルの物性向上効果. 日水誌 2006; 72: 1093-1098.
- 8) 福島英登, 岡崎恵美子, 野田誠司, 福田 裕. 魚油乳化した魚すり身加熱ゲルの物性, 保水性および色調の変化. 日食科工誌 2007; 54: 39-44.
- 9) 岡崎恵美子. 魚肉を基材とする中間素材の開発. 平成9年度水産物機能栄養マニユアル化基礎調査事業総括報告書, 水産庁研究部研究課, 東京. 1997; 166-175.
- 10) 岡崎恵美子. 中間素材の開発. 「水産食品の健康性機能」恒星社厚生閣, 東京. 2001; 185-201.
- 11) Jost R, Baechler R, Masson G. Heat gelation of oil-in-water emulsions stabilized by whey proteins. *J. Food Sci.* 1986; 51: 440-444.
- 12) 野田誠司, 岡崎恵美子. リン脂質及びトリグリセリドによるすり身加熱ゲルの乳化効果. 平成15年度水産利用加工関係試験研究推進会議都道府県部会資料, (株)水産総合研究センター中央水産研究所, 横浜. 2003; 106-109.
- 13) 石下真人, 鮫島邦彦. 乳タンパク質を基材とする中間素材. 平成6~10年度水産物機能栄養マニユアル化基礎調査事業総括報告書, 水産庁資源生産推進部研究指導課, 東京. 2000; 333-344.
- 14) Azuma G, Kimura N, Hosokawa M, Miyashita K. Effect of droplet size on the oxidative stability of soybean oil TAG and fish oil TAG in oil-in-water emulsion, *Journal of Oleo Science*, 2009; 58: 329-338.
- 15) 畠本淳司, 上村信夫, 長谷川 薫, 山内 悟, 高木毅, 平塚聖一, 羽田好孝, 澤田敏雄. 平成6~10年度水産物機能栄養マニユアル化基礎調査事業総括報告書, 水産庁資源生産推進部研究指導課, 東京. 2000; 297-318.