

サバの一夜干しの物性に及ぼすチーズホエイの影響

古田智絵, 山田加一郎

The Effect of Cheese Whey on the Physical Properties of Dried Mackerel Fillets

Tomoe Furuta, Kaichiro Yamada

In the present study, we investigated the effects of cheese whey (whey) on the physical properties of dried mackerel fillets.

In the production of dried mackerel fillets, immersing mackerel fillets in a solution of 4% whey in brine (treatment group) resulted in plumper and more tender fillet than in control group. The treatment also reduced the brittleness stress (difference in stress from the break point to the end of break). The effects of lactose and whey protein (the main components of whey) were examined, and lactose was considered the primary factor responsible for these effects.

In addition, observation of the tissue of dried mackerel fillets revealed differences between the treatment and control groups, suggesting that these differences may be related to a decrease in brittleness stress.

KEY-WORDS : cheese whey, dried fish, mackerel, physical properties

キーワード : チーズホエイ, サバ, 一夜干し, 物性評価

チーズホエイ（以下、ホエイ）は、チーズ製造時に排出される副産物であり、その量は原料乳の約90%を占める¹⁾。ホエイは、中小規模のチーズ製造企業では大部分が廃棄されている一方、大手企業では粉末化され（ホエイパウダー）、食品素材や家畜の飼料として活用されている。しかし、これらの消費量は限られていることもあり、ホエイの更なる利用方法の開発が求められている。

ホエイには、乳からカゼインと脂肪が除かれた成分として、乳糖や水溶性タンパク質、ミネラルなどが含まれており²⁾、抗酸化作用³⁾、ゲル化性⁴⁾など様々な機能があることが報告されている。

これまでに我々は、一夜干し製造において、ホエイを添加した食塩水にホッケやサバを浸漬することにより（ホエイ浸漬処理）、アルデヒド類などの脂質酸化による不快臭成分が減少することを報告した^{5) 6)}。

また、ホエイ・タンパク質を添加したハムは、保水性が向上し、弾力性が増加するなど、ホエイが食品の物性を改善する効果を有することが報告されている⁷⁾。このことから、ホエイ浸漬処理を行った一夜干しにおいても、魚肉の食感が改善することが期待されるが、一夜干しの魚肉の食感への影響について詳細に検討した研究例はない。

そこで本研究では、ホエイがサバの一夜干しの物性に及ぼす影響について明らかにするとともに、その要因について検討した。

実験方法

1. 試料

大西洋サバ *S. scombrus*（平均体重 491.8 ± 15.2 g）はノルウェー産を入手し、試験まで -25°C で保管した。ホエ

イはホエイパウダー（よつ葉乳業（株））、乳糖はラク トーソー水和物（関東化学（株））、ホエイ・タンパク質 はWPC80（Agropur社）を使用した。表1にホエイお よびホエイ・タンパク質の成分値を示した。

表1 ホエイおよびホエイ・タンパク質の成分値

成分	（％）	
	ホエイ	ホエイ・タンパク質
水分	2.3	≤6.0
タンパク質	12.1	≥80.0
乳脂肪分	1.1	≤10.0
炭水化物	78.4	≤10.0
灰分	6.1	≤5.0

成分値は製品仕様書から引用した。ホエイはホエイパウダー（よつ葉乳業（株））、ホエイ・タンパク質はWPC80（Agropur社）。

2. 浸漬条件の異なるサバの一夜干しの調製

サバの一夜干し（以下、一夜干し）は次の工程で調製した。サバは5℃の冷蔵庫で1晩解凍後、頭と内臓を除去し、フィレ（平均重量157.2±28.1g）を調製した。フィレは水洗い後、ペーパータオルで水分を拭き取った。同一個体から2枚のフィレが得られ、フィレの一方を3％の食塩水に浸漬した（以下、対照区）。もう一方のフィレを、蒸留水（無添加区）、又は3％の食塩水にホエイ、乳糖、ホエイ・タンパク質のいずれかを1～5％の濃度で添加した溶液に浸漬した（以下、それぞれホエイ添加区、乳糖添加区、ホエイ・タンパク質添加区）。これらの処理は5℃の冷蔵庫で16時間行った。

浸漬後、冷風乾燥機（HA-5型、（株）クールドライマシナリー）で、18℃で6時間乾燥した。その後、真空包装し、-30℃のブライン凍結（S-220W、（株）テクニカン）で30分間凍結し、試験まで-25℃の冷凍庫で保存した。試験時に流水解凍し、スチームオーブンレンジ（NE-BS901、パナソニック（株））を用いてオープンモードで200℃に設定し、中心温度が75℃に到達後、1分間焼成し、測定まで室温（22℃）で30分間放冷した。

3. 物性測定

物性測定にはクリープメーター（RE233005C、（株）山電）を使用し、焼成後の一夜干しの背肉側を直径3mmの円柱プランジャーで圧縮した。圧縮速度は1mm/s、最大歪率は80％で行い、得られた破断曲線を解析した。各試料につき3～5点の測定を行った。

4. 官能評価

物性測定に用いた試料の一部を、職員3～4名のパネルで喫食した。評価項目は、一夜干しの食感（ふっくら感、柔らかさ）とし、対照区の評点を3点とし、1（弱い）から5点（強い）の5段階で採点した。

5. 水分および歩留率の測定

水分は焼成前の一夜干しの背肉を採取し、皮と骨を除去した後細切り、常圧加熱乾燥法⁸⁾により測定した。歩留率は、調製後のサバ一夜干しの重量を測定し、原料のフィレ重量に対する百分率として算出した。

6. 組織観察

試料は同一個体から採取した2枚のフィレを使用し、一方を対照区、もう一方をホエイ添加区（4％ホエイ添加）として調製した一夜干しを用いた。一夜干しの背肉側の中央部から普通肉の組織片を採取し、10％ホルマリン液で固定した。組織切片は定法⁹⁾に従いパラフィンに包埋して作成し、ヘマトキシリン・エオジン染色（HE染色）¹⁰⁾を施して鏡検に供した。一夜干しの普通肉の筋細胞の面積は画像解析ソフトImageJ（National Institute of Health）を用いて計測した。

7. 統計処理

統計処理を必要とする測定結果について、2群の比較についてはt検定¹¹⁾、3群以上の比較についてはTukey HSD¹²⁾を用いて、有意水準5％（p<0.05）で検定した。ソフトウェアは、JMP14.0.0（SAS社）を用いた。

結果および考察

官能評価と物性評価の関係について無添加区、対照区、ホエイ添加区（4％ホエイ添加）を用いて検討した（表2）。官能評価の結果、ふっくら感、柔らかさの評点は、いずれもホエイ添加区、対照区、無添加区の順に高かった。官能評価と物性評価の結果を比較すると、上記の官

表2 浸漬条件の異なるサバの一夜干しの官能評価と物性評価

浸漬液の種類	官能評価		物性評価	
	ふっくら感	柔らかさ	破断応力 (×10 ³ Pa)	もろさ応力 (×10 ³ Pa)
無添加区	1.4	1.0	487.8	189.6
対照区	3.0	3.0	355.8	110.6
ホエイ添加区	4.3	4.2	234.6	74.2

物性値は最小2乗平均値で示した。

能評価における「ふっくら感」,「柔らかさ」の評点が高いほど、物性評価における「破断応力」,「もろさ応力」の値は低かった。

一夜干しの破断時の試料を観察したところ、応力がピーク（破断応力）に達した点で一夜干しの魚肉の表面が破断され、その後下がりきるまでに（もろさ応力）、魚肉の内部が破断された。このことから、破断応力は一夜干しの魚肉表面の物性、もろさ応力は魚肉内部の物性を表しており、魚肉の食感がふっくらとしているほど、もろさ応力は低いことが示された。

次に、もろさ応力を指標に各条件で調製した一夜干しの物性を評価した（図1）。ホエイ添加区では、ホエイを4%添加することにより、対照区に比べて、もろさ応力が低下した。さらに、ホエイの主成分である乳糖とホエイ・タンパク質の影響について検討した結果、乳糖は3%以上、ホエイ・タンパク質は4%で、対照区に比べてもろさ応力は低下し、乳糖添加区の方が低濃度での効果が大きいことが明らかになった。

ホエイの固形分は約70%が乳糖であり、タンパク質が約15%含まれていることが報告されている²⁾。本研究で使用したホエイパウダーは、炭水化物が78.4g/100g、タンパク質が12.1g/100gであり、炭水化物の主成分は乳糖であると考えられる。稲田らは、脱水による筋原繊維タンパク質の変性に及ぼす糖類の影響について調べ、乳糖は他の糖類よりは弱いものの、タンパク質の変性抑制効果を有することを報告している¹³⁾。また鈴木らは脱水がタンパク質の高次構造を維持している疎水性結合を破壊し、分子内水素結合を攪乱することにより、タンパク質の変性を引き起こし、保水性の低下などに影響を及ぼすと報告している¹⁴⁾。一夜干しの製造においては、調味、乾燥、加熱といった脱水を伴う工程があり、ホエイに含まれる乳糖が脱水による魚肉タンパク質の変性を抑制したのではないかと推察された。

そこで、この一夜干しの物性の変化がホエイによる保水性の付与によるものであるかを明らかにするため、図1と同一の一夜干しについて水分、歩留率を測定した。

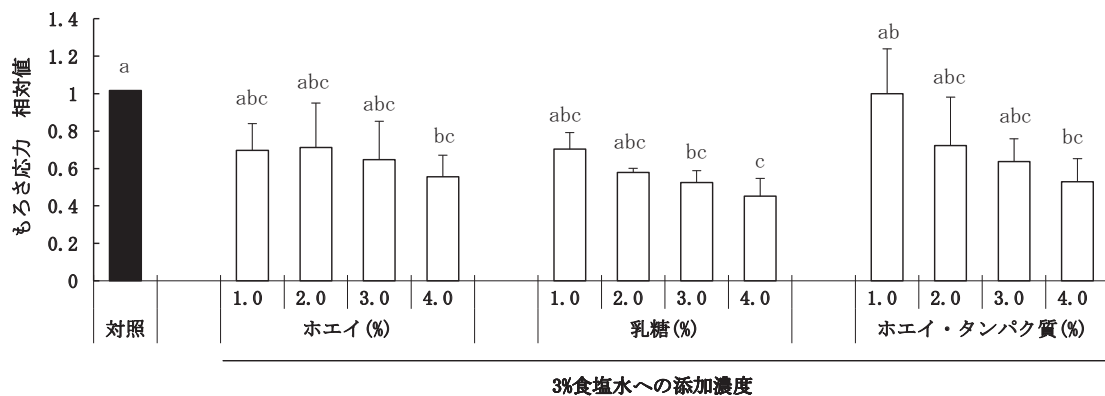


図1 各種溶液で浸漬処理を行ったサバの一夜干しの物性
もろさ応力は対照に対する相対値で表記した。異なる文字間はTukey HSDで有意差あり ($p < 0.05$)。

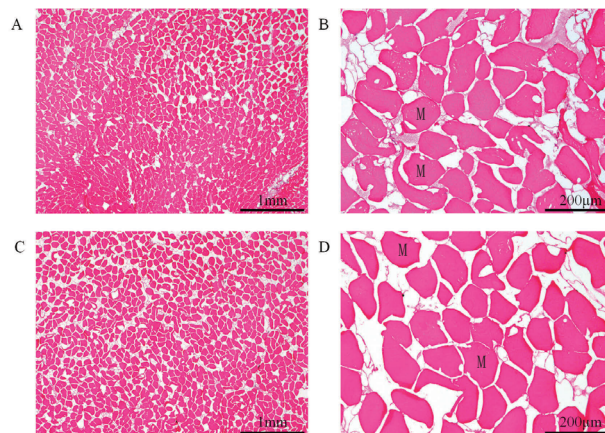


図2 サバの一夜干しの普通肉の組織像

A: 対照区のサバの一夜干しの普通肉, B: Aの拡大像, C: ホエイ添加区 (ホエイ4%添加) のサバの一夜干しの普通肉, D: Cの拡大像。Mは筋細胞を示す。

その結果、水分、歩留率いずれも増加せず、ホエイによる一夜干しの物性変化は保水性の付与によるものではないことが示唆された。(図省略)

さらに、一夜干しの組織への影響を明らかにするため、普通肉の組織観察を行った。図2に对照区とホエイ添加区の一夜干し(焼成前)の普通肉の組織像を示した。染色されている部分は主に筋細胞であり⁹⁾、对照区に比べてホエイ添加区で未染色の部分が多く、筋細胞同士が離れている様子が観察された。また筋細胞の平均面積は对照区で6735.3 μm^2 、ホエイ添加区で7955.0 μm^2 であり、对照区に比べホエイ添加区の筋細胞の面積が僅かに大きいことが明らかになった(図3)。現時点では一夜干しの物性とどのように関係しているのかは不明であるが、これらの組織の差異が、もろさ応力の低下と関係しているのではないかと考えられた。

以上より、一夜干しの製造において、食塩水にホエイを4%添加した溶液にサバを浸漬することにより食感が向上することが明らかとなった。そして、この効果は主にホエイ中の乳糖に起因することが示唆された。今後、乳糖がどのような機構で一夜干しの物性に影響を与えているのか解明することを次の課題としたい。

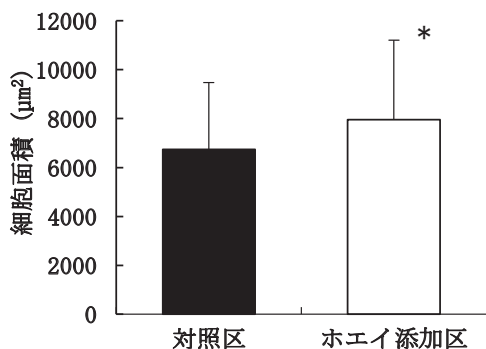


図3 サバの一夜干しの筋細胞の平均面積
*はt検定で有意差あり ($p < 0.05$)。

要約

本研究では、チーズホエイ(以下、ホエイ)がサバの一夜干しの物性に及ぼす影響と、その要因について調べた。一夜干しの製造において、食塩水にホエイを4%添加した溶液にサバを浸漬することにより、对照に比べ官能評価におけるふっくら感、柔らかさの評価は高く、物性評価におけるもろさ応力(破断点から破断終了点までの応力の差)が低下した。また、ホエイの主成分である乳糖とホエイ・タンパク質の影響について検討した結果、乳糖が主な要因であると考えられた。

さらに、一夜干しの組織を観察した結果、ホエイ添加

区と对照区の組織に差異が認められ、もろさ応力の低下と関係する可能性が示唆された。

謝辞

本研究を行うにあたり、一夜干しの筋肉の組織観察についてご協力を頂いた、酪農学園大学 獣医学群 獣医学類 植田弘美准教授に感謝の意を表します。

文献

- 1) 清澤功 (2002). ホエータンパク質濃縮物とその機能性に関する最近の研究動向, *Milk Science*, 51 (1), 13-26.
- 2) 桑田有 (2012). ホエイからの各種有用成分の分離と栄養, 機能食品への応用研究, *Milk Science*, 61 (2), 95-103.
- 3) 今井哲哉 (2007). ホエータンパク質の健康機能と利用, *Milk Science*, 55 (4), 227-235.
- 4) 松富直利 (2003). 乳ホエー蛋白質の加熱ゲル化, とくに α -ラクトアルブミンの役割について, *Milk Science*, 52 (2), 69-73.
- 5) 佐々木茂文, 田中彰 (2015). ホエイを活用したホッケのにおい低減技術の開発, 北海道の総合力を活かした付加価値向上による食産業活性化の推進 平成22-26年度 戦略研究報告書, 92-95.
- 6) 吉川修司, 古田智絵, 田中彰, 成田正直, 武田忠明, 佐々木茂文, 五十嵐俊成 (2018). 一夜干しにおける成分の解析及び抑制技術の開発, 北海道立総合研究機構食品加工研究センター研究報告, 13, 1-9.
- 7) 紺野昭, 木村正弘 (1993). 乳清タンパク質添加によるハムの保水性およびテクスチャへの影響, *日本食品工業学会誌*, 40 (6), 427-732.
- 8) 落合芳博ら (2019). 水産・食品化学実験ノート, 恒星社厚生閣, 24.
- 9) 田村咲江 (1999). 食品・調理・加工の組織学, 学窓社, 119-139, 198-200.
- 10) 水口國雄ら (2011). *Medical Technology別冊 最新染色法のすべて*, 医歯薬出版株式会社, 3-8.
- 11) Student.(1908). The problem error of a mean. *Biometrika*, 6, 1, 1-25.
- 12) Tukey, J. W.(1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5, 2, 99-114.
- 13) 稲田徳彦・市川寿・野崎征宣・平岡教子・横山哲夫・田端義明 (1992). シリカゲルを用いた脱水による

- 魚類筋原繊維タンパク質の変性と水の存在状態に及ぼす糖の影響, 日本食品工業学会誌, 39 (3), 211-218.
- 14) 鈴木たね子 (1971). 脱水に伴う魚肉たん白の変性, 日本食品工業学会誌, 18 (4), 167.