水産動物肉に関する研究—XXVIII.

魚類筋肉の蛋白組成*

志 水 寛・清 水 亘

(1960 年 4 月 16 日受理)

STUDIES ON MUSCLE OF AQUATIC ANIMALS—XXVIII.

PROTEIN COMPOSITION OF FISH MUSCLE

Yutaka SHIMIZU and Wataru SIMIDU**

The protein composition of fresh fish muscles has been investigated of eight species of teleosts and one species of elasmobranchs. The procedures for extraction and fractionation used are given in Fig. 1 and the results obtained are summarized as follows:

(1) Values for sarcoplasmic, fibrillar and stroma fractions for different species within teleosts are quite similar: sarcoplasmic fraction comprises some 20~30 per cent of total proteins, fibrillar proteins some 60~70 per cent and stroma about 3 per cent.

(2) Values for the stroma of teleosts are of interest, since they are considerably lower than those observed for elasmobranchs and rabbit. This suggests that the difference between these muscles in the stiffness may depend upon the amount of stroma.

(3) Accompanying the post-mortem aging of the fish muscles, the fibrillar protein (myosins soluble in salt) readily become insoluble and move into the residual intracellular fraction, while the sarcoplasmic proteins (non-myosins) suffer no change in their solubilization properties. Thus, lowered values for the total extractable proteins observed in aged muscles are mainly attributable to decreased levels of the myosins.

(4) The rate of denaturation of myosins in muscle during the cold storage seems to vary to a great extent with the fish species.

魚肉の性質、とくに肉組織のしまり工合や、すり身のゲル形成能は、魚の種類によつていちじるしい差異がある。これは、水、蛋白、油脂、炭水化物、エキス成分、無機物等、魚肉を構成しているあらゆる成分が関係しているのであろうが、その中でも筋肉蛋白の組成ならびに含有量をもつとも大きい役割を演じていることは容易に想像できる。

これまで筋肉蛋白の研究に供された魚はその種類が割合限られており、cod, haddock, carp, flat fish 等数種にすぎず¹⁾、その蛋白組成の魚種についての比較研究はなかつた。最近、三宅²⁾は上述のような原料学的観点から、Dyer 法を用い多種類の魚類筋肉中の可溶性ミオシン区蛋白を定量して魚種間に顕著な差異を見出し、それによつて魚肉のかまぼこ形成能の魚種による相違を説明した。しかし、同氏らの用いた試料魚はその鮮度が不揃いであるために、その結果は必ずしも魚に固有のものとはいえないかもしれない。

著者らは、この点を考慮して活魚または死後硬直以前の状態にある魚を入手し、その筋肉蛋白を4つの区分にわかし、それらを魚種ならびに鮮度の面から検討した。

実 験 方 法

試 料 試料魚は舞鶴近海で漁獲され舞鶴漁港に水揚げされたものの中から、活魚または死後硬直前の

* 1958 年 10 月 13 日、日本水産学会大会において講演した。

** 京都大学農学部 (Lab. Fish. Chem., Fac. Agr., Kyoto Univ., Maizuru, Japan).

魚を選び、直殺ののち氷詰めにして研究室に持ち帰った。分析に供した魚種はつぎのとおりである。

- チダイ (Red porgy) *Erynnis japonica* Tanaka,
 クロダイ (Black porgy) *Sparus longispinis* (Temminck & Schlegel),
 シンマオコゼ (Stargazers) *Uranoscopus japonicus* Houttuyn,
 マエソ (Lizard fish) *Saurida argyrophanes* Richardson,
 カマス (Barracudas) *Sphyræna pinguis* Gunther,
 ハマトビウオ (Flying fish) *Cypselurus pinnatibarbatulus japonicus* (Franz),
 ブリ (Yellowtails) *Seriola quinqueradiata* Temminck & Schlegel,
 サバ (Mackerel) *Scomber japonicus* Houttuyn,
 ホンザメ (Spotted shark) *Galeorhinus manazo* (Blecker).

蛋白の抽出と分離 著者らが採用した方法は、やや濃厚な塩溶液、ごく稀薄な塩溶液および稀薄なアルカリ溶液に対する組成蛋白の溶解性の差を利用して、それらを筋原繊維の蛋白、筋原質の蛋白、細胞内残渣の蛋白およびストロマの蛋白の4区分に分別定量しようとするもので、その概要を Fig. 1 に示した。蛋白の抽出分別操作はすべて冷蔵庫 (4°C) 内で行い、溶液はあらかじめ氷冷して用いた。ここで得られる筋原繊維蛋白区分にはミオシン区蛋白が、筋原質蛋白区分にはミオゲン、グロブリン X 等いわゆる水溶性蛋白が、細胞内残渣蛋白区分には前二者の変性蛋白が、またストロマ蛋白区分にはコラーゲン等硬蛋白が主として含まれると考えられる。

Fig. 1. Scheme for extraction and fractionation of proteins in fish muscle.

結果ならびに考察

著者らがとりあげた9種類の魚の筋肉中の水分、全窒素、非蛋白態窒素、蛋白窒素および全蛋白に対する4つの蛋白区分の占める割合を Table 1 に示した。これによれば、サメを除くと全蛋白に対する可溶性蛋白の割合は魚種によつてあまり差がなく (91~97%)、また筋原質蛋白、筋原繊維蛋白、ストロマ蛋白等の占める割合にも大差がない。ホンザメにおいては、ストロマの区分が硬骨魚のそれに比していちじるしく多く、このために可溶性蛋白の区分が少なくなっているが、Bailey のガンギエイについての研究でも同様の結果が得られており、このことは板鰐類の生理、生態学的特徴と何らかの関係があるのかもしれない。さらに、ここにあげた4つの蛋白区分を硬骨魚、板鰐類、およびウサギについて比較すると、それらの間には明瞭な差がある。とくにストロマ含量のいちじるしい差はその肉質の強靱性との関連を示唆しているようにみえる。

Table 1. Content and partition of protein nitrogen in fish muscle.

Muscle	Moisture %	Total Nitrogen mg/g	Non-Protein Nitrogen mg/g	Protein Nitrogen mg/g	Protein N as % Total Coagulable N			
					Soluble in salt		Residual	
					Sarcoplasmic	Myofibrillar	intracellu- llular	Stroma
Red porgy	77.4	33.4	4.2	29.2	31	66	1	2
Black porgy	80.8	28.9	3.9	25.0	30	62	4	4
Stargazers	82.4	26.6	3.6	23.0	20	71	—	—
Lizard fish	77.5	33.6	4.0	29.6	28	66	—	—
Barracudas	74.6	31.1	3.9	27.2	31	65	2	3
Flying fish	75.6	37.0	5.4	31.6	29	68	1	2
Yellowtails	74.5	37.9	6.1	31.8	32	60	5	3
Mackerel	71.6	35.5	5.9	30.6	30	67	1	2
Spotted shark	77.6	37.8	13.4	24.4	21	64	7	9
Haddock ^{a)}					30	67	—	3
Cod ^{b)}					21	70	6	3
Carp ^{c)}					23~25	70~72	—	5
Flat fish ^{c)}					18~24	73~79	—	3
Ray ^{d)}					26	64	—	10
Rabbit ^{e)}					28	52 { Myosin 38 Actin 14	4	16

a) Reay, Küchel: Dept. Sci. Ind. Res. Rept. Food Invest. Bd., **93**, 1937 (1956).b) Dyer, et al.: J. Fish. Res. Bd. Can., **7**, 585 (1950).c) Matsumoto: Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., No. **20**, 65 (1958).d) Bailey: Biochem. J., **33**, 255 (1937).e) Hasselbach, Schneider: Biochem. Z., **321**, 461 (1951).

これらの結果および、これまでに他の著者の得た結果を総合すると、板鰐類にとくに多いストロマは例外として、魚肉の蛋白は 60~70% の筋原繊維蛋白 (ミオシン区蛋白), 20~30% の筋原質蛋白 (水溶性蛋白) および約 3% のストロマから成り、魚種による差は大きくないといえる。

著者らも、三宅らの示唆にもとずき、すくなくとも、いわゆる赤身魚種と白身魚種とはそのゲル形成能に大きな差があることから、それらの間の蛋白組成の相違を期待したのであつたが、この推測は当らなかつた。同氏らのみた可溶性ミオシン区蛋白量のいちじるしい差異は、その試料の鮮度が同一でなかつたことと、魚種によつてミオシン区蛋白の不溶性化の速度が異なることに由来しているのではなからうか。

これを確かめるために、トビウオ、サバ、チダイ、ミシマオコゼを 7 日間氷蔵し、その前後の蛋白組成の変化を調べてみた。Table 2 はその結果を示す。筋原質の蛋白はこの期間の氷蔵中はほとんどその溶解性を失つ

Table 2. Partition of proteins in fresh and aged muscle (as per cent of total coagulable nitrogen)

	Flying fish		Mackerel		Red porgy		Stargazers	
	before rigor- mortis	stored*	alive	stored*	before rigor- mortis	stored*	before rigor- mortis	stored*
Soluble { Sarcoplasmic in salt { Myofibrillar	30	29	30	30	31	29	20	20
	67	60	67	37	66	59	71	59
Residual intracellular	2	9	1	30	1	9	—	—
Stroma	2	3	2	3	2	3	—	—

* Storage for 7 days with ice.

ていないにもかかわらず、筋原繊維蛋白の区分では不溶性化がいちじるしい。これは、いろいろの条件下におかれた魚肉について、これまでに報告された結果⁸⁾⁻⁹⁾とよく一致しており、ミオシン区蛋白の区分が水溶性蛋白区分に比してはるかに不安定で変性しやすいことを示している。また、ミオシン区蛋白の変性速度が魚種によつてさうとう大幅に異なるであろうことは、7日間の氷蔵によつてチダイ、トビウオ等における10~15%にくらべてサバではほとんど半ばが不溶性化していることから明らかであつて、それらはそのまま稀薄アルカリ可溶性の細胞内残渣蛋白の区分に移行している。

ミオシン区蛋白の変性速度が魚種によつて異なるということは、ひじょうに興味ある問題であるが、魚肉の凍結貯蔵のさいにもこのことは知られている。その理由として、DYER⁷⁾は筋肉中の油脂含有量の多少が関係するといひ、清水⁸⁾は筋肉組織の硬さが影響すると述べているが、これらは単なる推測の域を出ず今後筋肉組織内の蛋白変性要因に関する詳細な研究が望まれる。

以上の結果から、すくなくとも死後硬直前の新鮮な魚肉の蛋白組成は魚種によつて大差がないが、硬直期以後の鮮度の低下にともなうミオシン区蛋白の変性速度は魚種によつて異なることが判明した。したがつて魚肉のかまぼこ形成能の強弱を可溶性ミオシン区蛋白の量だけから説明するには多少の無理があるようで、著者らの経験でもこの区分の溶出量と、かまぼこ形成能とが一致しない例がかなりみられる。かまぼこ形成能がミオシン区蛋白（大部分がアクトミオシンと考えられる）に負うことは疑を入れないが、魚種によるその強弱はアクトミオシンの量的な変動によるだけではなく、その質的組成にも強く影響をうけるものと考えられる。すなわち、アクトミオシンはミオシンとアクチンの化学量論的結合物ではなく、それらの結合割合は任意であることが明らかにされてお⁹⁾、さらに魚肉の塩類抽出液中におけるミオシン、アクチン、アクトミオシンの相互関係が魚種、鮮度等によつて微妙に変化することが最近の研究^{10),11)}によつて明らかになりつつある。したがつて、魚肉のかまぼこ形成能をその蛋白組成に結びつけるばあい、ここでとりあげた各区分をさらに細かく検討することが必要となるであろう。

要 約

1. 9種類の新鮮な魚肉の蛋白組成をしらべてつぎの結果を得た。(i) 魚肉を構成する蛋白は20~30%の筋原質蛋白(水溶性)、60~70%の筋原繊維蛋白(ミオシン区)、約3%のストロマの蛋白から成り、この組成は魚種によつてあまり変らない。(ii) サメ類の筋肉は硬骨魚のそれと異なり、ストロマの量がいちじるしく多く、全蛋白の約10%に達する。

2. 鮮度低下にともなう筋肉蛋白の不溶性化は、筋原繊維蛋白の区分にいちじるしく、筋原質蛋白区分には顕著でない。

3. 魚肉の鮮度低下によるミオシン区蛋白の変性の速度は魚種によつて異なる。

文 献

- 1) HAMOIR, G.: *Adv. Protein Chem.*, **10**, 227 (1955).
- 2) 三宅正人・林孝市郎: 本誌, **22**, 48 (1956).
- 3) SHIMIZU, Y. and SIMIDU, W.: *Mem. Coll. Agr. Kyoto Univ., Fisheries Series*, **68** (1958).
- 4) SNOW, J. M.: *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **7**, 599 (1950).
- 5) DUERR, J. D. and DYER, W. J.: *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **8**, 325 (1952).
- 6) 右田正男・松本重一郎・最首とみ子: 本誌, **22**, 433 (1956).
- 7) DYER, W. J., MORTON, M. L., FRASER, D. I. and BLIGH, E. G.: *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **13**, 569 (1956).
- 8) SIMIDU, U. and SIMIDU, W.: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fisheries*, **24**, 586 (1958).
- 9) BAILEY, K.: *The Proteins*, Vol. II, Part B, Academic Press, New York (1954), p. 986~988.
- 10) 右田正男・大竹茂夫: 本誌, **26**, 140 (1960).
- 11) 上田侃男・志水 寛・清水 亘: 日本水産学会年会において講演 (1960).