

養殖ハマチの致死条件と冷蔵中における魚肉の硬さとの関係

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	岡, 弘康 大野, 一仁 二宮, 順一郎
巻/号	56巻10号
掲載ページ	p. 1673-1678
発行年月	1990年10月

養殖ハマチの致死条件と冷蔵中における魚肉の硬さとの関係

岡 弘 康, 大野 一 仁, 二宮順一郎

(1990年4月18日受付)

Changes in Texture during Cold Storage of Cultured Yellowtail Meat Prepared by Different Killing Methods

Hiroyasu Oka*, Kazuhito Ohno*, and Jun-ichiro Ninomiya*

Cultured yellowtails were killed by the following three different methods; (1) stabbing the spinal bulb, (2) dipping in cold sea water and (3) letting them to die in the air.

Immediately after death, the fish were stored at 5°C. Rigor index, ATP and its relative compounds, and hardness of the fish meat were measured at constant time interval to examine the relationship between the rigor phenomenon in the round fish and the hardness of the fish meat. The full rigor mortis was observed after 10 h, 6 h and 2 h for the fish killed by the (1), (2) and (3), methods respectively.

No correlation was observed between the external hardness of the round fish and the hardness of the dorsal meat. The hardness of meat showed the highest value just after death and did not increase during storage.

As the stabbed fish maintained the hardness of meat longest after death, this method was found to be the most effective to offer high textural quality sashimi.

日本では昔から魚介類を生で食べる習慣があり、鮮度保持、味、色などに関する研究^{1),2),3)}は多い。しかし、刺身等の生食魚肉のテクスチャーに関する研究は少ない。魚介類を生で食する時の品質は鮮度がよく、風味、光沢、色合も当然よくなければならないが、グルメ志向の強い現状では活き造り、あらいにみられる食感も欠かせない要素の一つである。活魚をしめ、直ちに刺身として食する時、その魚肉には硬さと強い弾力(歯切れ)があり、活きのよさを実感として味わうことができる。

著者ら⁴⁾は養殖マダイを生産地で即殺し、フィレーとし、硬さと歯切れを保持させた状態での流通を試みたが、冷蔵24時間では即殺時の食感は全く消失し、歯ごたえのない肉質となった。一般的に即殺した魚体は一定の時間が経過すると硬直することは周知の事実であるが、フィレーでは冷蔵中に肉が硬くならず疑問が生じた。豊原ら⁵⁾はティラピヤを用い、魚体の硬直と肉の硬さとの関係を調べており、ラウンドとフィレーで冷蔵しても肉の破断強度に差がないと報告している。

そこで、魚体の死後硬直と魚肉の硬さの関係を明らかにするため、養殖ハマチを用い、異なる致死条件(以後しめ方と表現する)で殺し、冷蔵中に魚肉の硬さがどのように変化するかを硬直現象と対比しながら調べた。

実験方法

試料 生きている養殖ハマチ *Seriola quinqueradiata* (平均体長 61 cm, 体重 4 kg, 3年もの)を用いた。2尾を1組とし、次の3方法でしめ、5°Cに冷蔵し、1尾を硬直指数の測定用に、他の1尾は経時的に背肉の一部(幅 10 cm)を切り取り、分析および魚肉の硬さ測定用とした。即殺区: 生きたハマチを発泡スチロールの箱内に固定し、電気ドリルで延髄部を破壊して殺した。温度ショック区(氷じめ区): 19°Cの海水で蓄養したハマチを-1°Cの海水氷中に投入し、そのまま放置して殺した。この方法は養殖業者が大量に出荷する場合に行っている。苦悶死区: 生きたハマチを空气中に放置し、あばれさせて殺した。

硬直指数の測定 しめてから魚体が動かなくなった時点を死と判定した。直ちに、5°Cで冷蔵し、経時的に尾藤ら⁶⁾の方法に従って尾部の垂れ下り程度を測定し、硬直指数を求めた。

pH 背肉(普通肉)に10倍量の水を加え、バイオミキサーで磨砕し、pHメーターで測定した。

ATP 関連化合物の定量 背肉(普通肉)5gに10%過塩素酸 15 mlを加え、バイオミキサーで磨砕し、汎過

* 愛媛県工業技術センター (Industrial Research Center of Ehime Prefecture, Matsuyama, Ehime 790, Japan).

した。汙液の一定量を 5 N KOH で中和し, 再び汙過した。この汙液を次に示す高速液体クロマトグラフィーの条件で分析した。

高速液体クロマトグラフ: 日立 L-6200

カラム: YMC-PACK AQ (山村化学)

カラム温度: 40°C

展開溶媒: 0.1 M NaH_2PO_4 (pH 3.6)

流速: 0.7 ml/分

検出器波長: 260 nm

サンプル注入量: 10 μl

乳酸の定量 上記の ATP 関連化合物の分析に用いた試料液を適宜希釈し, ペーリンガー, マンハイム山之内製の F キット (L-乳酸用) で定量した。

魚肉の硬さの測定 全研製のテクスチュロメーター (V 型プランジャー, クリアランス 2 mm, 電圧 1 V) で魚肉の硬さを測定した。すなわち, 一定の時間毎にラウンドのハマチから背肉を切り取り, 厚みを約 3 cm とし, 血合肉を避け筋せん維の方向に対して直角にプランジャーを押し込み, その時記録される波形の高さ (せん断性) を測定した。この波形の高さ (mm) を試料片の厚み 1 cm に対する比で示し, 魚肉の硬さとした。

官能評価による魚肉の硬さ 背肉 (普通肉) を厚さ 1 cm に切り, 歯でかんだ時の硬さの程度を判定 (5 人), 次の評点で表わした。

硬さの程度	評点
肉が非常に硬く, 歯切れも非常に強い	5
肉が硬く, 歯切れも強い	4
肉に硬さがあるが, やや歯切れ低下	3
肉が軟らかく, 歯切れなし	2
肉が軟らかく, 口に入れると溶ける	1

結 果

冷蔵中の魚肉 pH と乳酸量の変化 水槽で蓄養したハ

マチを 3 方法でしめた時, 即殺区で 1 分以内, 温度ショック区, 苦悶死区で 35 分の致死時間を要し, 即殺区と他の 2 区で差がみられたが, 温度ショック区と苦悶死区間には差がみられなかった。これらのハマチ肉の pH, 乳酸量の経時変化を Fig. 1~2 に示した。しめ方によりしめた直後の pH に差がみられ, 温度ショック区, 苦悶死区でそれぞれ 5.86, 5.91 を示しており, 即殺区の 6.27 に比べて低くなっている。この pH 値と乳酸量と必ずしも符合していないが, 乳酸量は即殺区で 60 $\mu\text{mol/g}$, 温度ショック区で 75 $\mu\text{mol/g}$, 苦悶死区で 120 $\mu\text{mol/g}$ を示しており, しめ方がグリコリスに影響していることが推測でき, 即殺することでグリコリスを遅延できることが分かる。しかし, 冷蔵中どのしめ方においても直線的な pH の低下, 乳酸量の増加はみられず, 10 時間まで変動が大きかった。この原因については明らかでないが, 乳酸の生成量は苦悶死区, 温度ショック区, 即殺区の順に多い傾向は認められた。

ATP 関連化合物の経時変化 異なった方法でしめたハマチ肉の冷蔵中における ATP 関連化合物の変化を Table 1 に, 全 ATP 関連化合物に対する ATP の割合を Fig. 3 に示した。しめ方により ATP 量に差がみられ, しめた直後の含量は即殺区 4.34 $\mu\text{mol/g}$, 温度ショック区で 3.79 $\mu\text{mol/g}$, 苦悶死区で 0.77 $\mu\text{mol/g}$ を示している。苦悶死区では即殺区の 1/5 以下にまで減少しており, 苦悶によるエネルギーの消耗が伺われるが, 温度ショック区では苦悶死区と致死時間に差がないにもかかわらず, 即殺区の 87% が検出されている。このことは温度ショック区と苦悶死区間でエネルギーの消耗程度が異なっていることが推測できる。ATP 関連化合物の組成をみると即殺区, 温度ショック区ともしめた直後すでに ADP, IMP の蓄積がみられ, 苦悶死では IMP の蓄積 (78%) が顕著であり, ATP はしめている過程で速かに IMP まで分解が進行していることが分かる。このよう

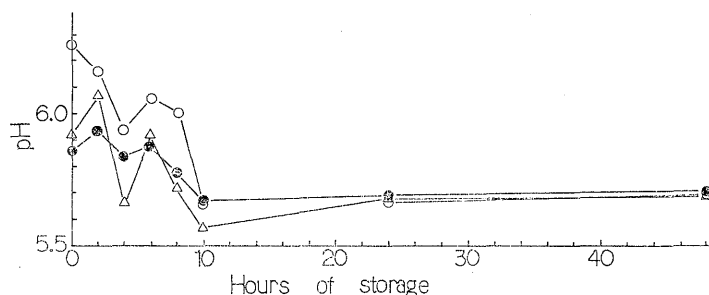


Fig. 1. Effect of killing methods on the changes in pH of cultured yellowtail during storage at 5°C.

○; Stabbing the spinal bulb (instant killing), ●; Dipping in cold sea water (temperature shock), △; Letting them to die in the air (struggled killing).

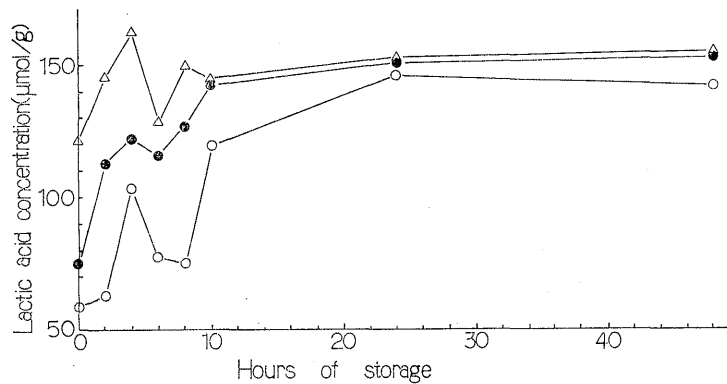


Fig. 2. Effect of killing methods on the changes in lactic acid content of cultured yellowtail during storage at 5°C.

○; Stabbing the spinal bulb (instant killing), ●; Dipping in cold sea water (temperature shock), △; Letting them to die in the air (struggled killing).

Table 1. Effect of killing methods on the changes in ATP and its relative compounds of cultured yellowtail during storage at 5°C (μmol/g)

Killing methods	ATP and its relative compounds	Hours of storage									
		0	2	4	6	8	10	24	48	72	
Instant killing*1	ATP	4.34	4.22	2.14	2.76	1.67	0.13	0.11	0.08	0.07	
	ADP	3.06	2.89	1.55	1.81	2.44	0.26	0.27	0.31	0.33	
	AMP	0.44	0.46	0.39	0.30	0.83	0.22	0.19	0.20	0.14	
	IMP	2.60	2.72	6.34	4.67	4.84	9.18	9.78	9.09	8.85	
	HxR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.67	0.76	1.36	
	Hx	0.09	0.10	0.07	0.07	0.16	0.07	0.08	0.14	0.13	
	total	10.53	10.39	10.49	9.61	9.94	10.23	11.11	10.58	10.88	
	K value (%)	0.80	0.90	0.60	0.80	1.60	4.30	6.70	8.50	13.70	
Temperature-shock*2	ATP	3.79	2.43	1.56	0.24	0.29	0.10	0.10	0.06	0.05	
	ADP	2.31	1.95	1.17	0.49	0.47	0.26	0.28	0.34	0.34	
	AMP	0.60	0.34	0.36	0.30	0.28	0.21	0.21	0.20	0.12	
	IMP	4.29	6.44	7.63	8.70	8.93	10.05	9.91	9.83	8.53	
	HxR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.51	1.29	1.52	
	Hx	0.08	0.05	0.05	0.11	0.10	0.07	0.10	0.13	0.17	
	total	11.07	11.21	10.77	9.84	10.07	10.98	11.11	11.85	10.73	
	K value (%)	0.70	0.50	0.50	1.10	1.00	3.30	5.40	12.00	15.70	
Struggled death*3	ATP	0.77	0.52	0.11	0.08	0.08	0.10	0.09	0.07	0.06	
	ADP	0.95	0.67	0.33	0.27	0.26	0.26	0.31	0.35	0.33	
	AMP	0.30	0.29	0.13	0.16	0.17	0.19	0.19	0.23	0.12	
	IMP	7.72	8.79	9.43	9.32	9.18	9.78	9.46	8.98	8.99	
	HxR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.89	1.52	1.63	
	Hx	0.06	0.05	0.00	0.10	0.10	0.08	0.11	0.17	0.19	
	total	9.80	10.32	10.00	9.93	9.79	10.95	11.05	11.32	11.32	
	K value (%)	0.60	0.50	0.00	1.00	1.00	5.70	9.10	14.90	16.00	

*1 Stabbing the spinal bulb. *2 Dipping in cold sea water. *3 Letting them to die in the air.

に、しめ方で ATP の分解に差がみられるが、イノシン、ヒポキサンチンはほとんど生成されていなかった。即殺区、温度ショック区とも冷蔵中に ATP は漸次減少し、IMP の蓄積量が増加するが、24 時間以降になるとしめ

方でほとんど組成に差がなくなる。K 値は冷蔵中徐々に高くなるが、72 時間後においてもしめ方で差が小さく、13~16% の範囲にあり、しめ方が鮮度に及ぼす影響は小さいことを示唆している。

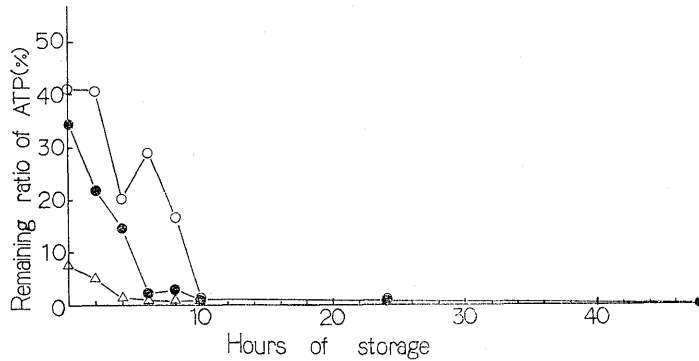


Fig. 3. Effect of killing methods on the remaining ratio of ATP in cultured yellowtail during storage at 5°C.

O; Stabbing the spinal bulb (instant killing), ●; Dipping in cold sea water (temperature shock), Δ; Letting them to die in the air (struggled killing).

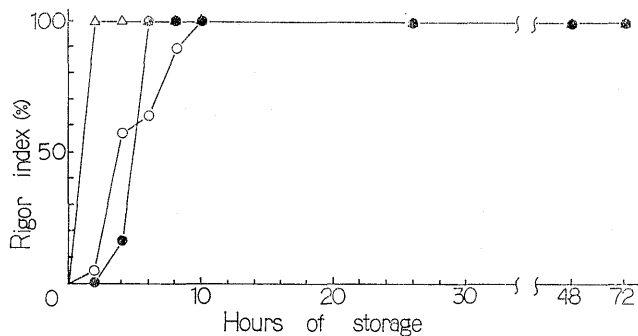


Fig. 4. Effect of killing methods on the changes in rigor index of cultured yellowtail during storage at 5°C.

O; Stabbing the spinal bulb (instant killing), ●; Dipping in cold sea water (temperature shock), Δ; Letting them to die in the air (struggled killing).

しめ方と硬直指数 3方法でしめた直後の魚体は柔軟性があり、硬直指数測定用の平らな台にのせると尾が垂れ下がっているが、冷蔵中徐々に尾が上がり出し、ついには水平となり、柔軟性がなくなり、硬直することを観察した。その時の硬直指数を Fig. 4 に示した。苦悶死区では2時間ですでに硬直指数が100%となり、完全硬直に達しており、冷蔵72時間までその状態を保持していた。一方、即殺区、温度ショック区で6時間、即殺区で10時間後に完全硬直となり、72時間まで苦悶死区と同様にその状態を保持していた。このように、しめ方で完全硬直に達するまでの時間に差がみられ、この結果は Fig. 3 に示した ATP の残存量が5%以下に減少した時間とほぼ一致していた。

しめ方と魚肉の硬さ 3方法でしめたハマチを5°Cに貯蔵し、経時的に背肉を切り取り、魚肉の硬さをテクスチュロメーターと官能評価で調べた。その結果を Fig. 5~6 に示した。Fig. 5 から明らかのようにしめた直後すでにしめ方で魚肉の硬さに差がみられ、即殺区が最も

硬く、次いで温度ショック区、苦悶死区の順に硬いことを示している。しかし、官能評価では3方法とも魚肉は非常に硬く、歯切れも強く、食べるとコリコリした食感で、容易にかみ切れない状態であり、しめ方による差異はほとんど認められなかった。冷蔵時間が経過するに従って魚肉の硬さは低下し、しめ方による差ははっきり認められた。すなわち、コリコリした歯切れのよさは経時的に低下し、苦悶死区で2時間、温度ショック区で4時間、即殺区で8時間経過後に消失し、しめた直後と異なった肉質に変化していた。このように、一定の時間まではしめ方による魚肉の硬さ保持に差がみられ、即殺区がその硬さ保持に有効であることが分かったが、10時間経過すると他のしめ方との差が認められなくなっていた。今回、採用したテクスチュロメーターでの測定結果と Fig. 6 の官能評価結果を比較するとせん断波形の高さ50 mm/1 cm厚みが歯切れのある魚肉の硬さ限界であると判断された。Fig. 4 に示したように、しめ方による完全硬直に達する時間は苦悶死区で2時間、温度ショッ

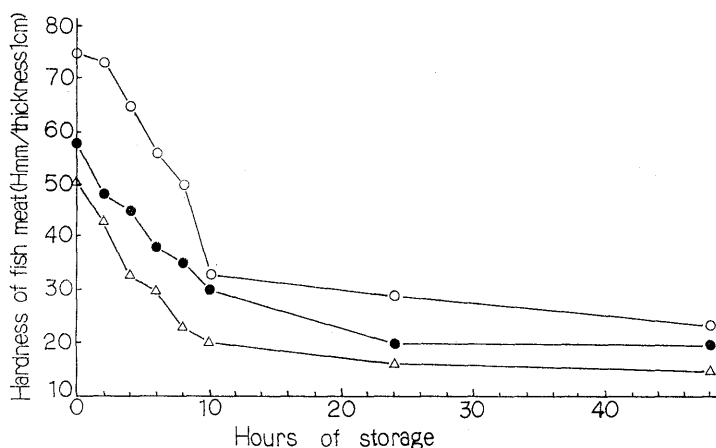


Fig. 5. Effect of killing methods on the changes in hardness of fish meat excised from cultured yellowtail during storage at 5°C.

○; Stabbing the spinal bulb (instant killing), ●; Dipping in cold sea water (temperature shock), △; Letting them to die in the air (struggled killing).

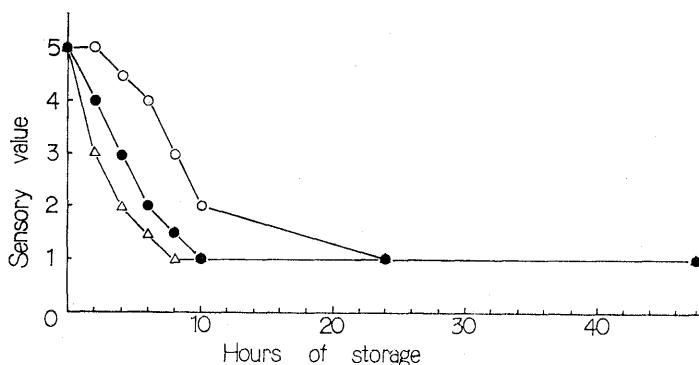


Fig. 6. Effect of killing methods on the changes in the organoleptic test with regard to hardness of fish meat excised from cultured yellowtail during storage at 5°C.

○; Stabbing the spinal bulb (instant killing), ●; Dipping in cold sea water (temperature shock), △; Letting them to die in the air (struggled killing).

ク区で6時間、即殺区で10時間であり、その時間におけるテクスチュロメーターによる魚肉の硬さは苦悶死区で43 mm/1 cm厚み、温度ショック区で38 mm/1 cm厚み、即殺区で33 mm/1 cm厚みですでに50 mm/1 cm厚み以下となっている。このことは、硬直が完了する時間と肉の歯切れが消失する時間とほぼ一致していることを示している。すなわち、ラウンドでみられた死後硬直現象と魚肉の硬さ（弾力性）の低下は相関することを示唆しており、魚肉の硬さはしめた直後が最も硬く、冷蔵中にこれ以上に硬さの増加は認められなかった。

考 察

養殖技術の発展にともないハマチ、マダイ、ヒラメ等は安定的に生産ができるようになってきている。今後、

養殖魚の消費拡大を図るには、その特異性を生かして即殺直後の物理的食感を含めた高品質の生食用魚肉を提供する必要がある。しかし、刺身等にした場合の魚肉の硬さについての研究例は少なく、野口⁷⁾のヨイのあらい、豊原⁸⁾のティラピヤに関する報告がみられるにすぎない。一方、魚の死後硬直に関する研究は右田⁸⁾⁹⁾の総述にみられるように古くから多くの研究があり、理論的にもほぼ解明されているように思われる。

今回の結果からもしめ方によってその直後のpH、乳酸、ATP含量に差がみられ、しめ方で魚肉中における生化学的反応が異なることが解かり、これまでの多くの報告にみられるように冷蔵中のATPの減少と死後硬直の程度が一致していた。ただ、今回の結果では死後硬直が完了した時点で、魚肉はしめた直後のコリコリした食感

が失われ、軟化しはじめる状態となっており、ラウンドの硬さと魚肉の硬さとは全く相関がみられなかった。このことは豊原⁹⁾が述べているように硬直現象と魚肉の硬さの変化はそれぞれ異なった要因で進行するものと考えられる。結果の中には示さなかったが、しめた直後のハマチを三枚におろし、その前後の背肉部の長さを測定したところ、筋せん維の方向に約4%縮み、冷蔵中さらに縮みは増大したが、筋せん維と直角の方向には全く縮まなかったことを認めた。また、著者の一人¹⁰⁾は養殖ハマチをフィレーと中落ちに区分して加熱すると、フィレーの収縮は18%であるのに対し、中落ちでは2%と小さいことから骨付きのハマチ肉を加熱すると身割れが生じるものと推定した。これらのことから、死後硬直現象も魚肉と背椎骨の伸び縮みの程度差から外観的に肉が硬くみえるのではないかと考えられた。すなわち、硬直指数は背骨に対して筋肉が収縮する時に発生する張力を目視するもので、硬直現象はラウンド状態における背椎骨の存在が深くかかわっているものと推定された。

骨格筋に関する最近の研究と題する高橋¹¹⁾の総説によると、畜肉の軟化過程は次のように説明されている。屠殺後の家畜骨格筋は弛緩しているが、死後硬直の過程で筋原線維が収縮するとき細いフィラメントが太いフィラメント上を中央方向に滑り、その結果サルコメアは短縮する。死後硬直が完了している時点ではサルコメアは短縮しており、ATPが消失しているのでアクチンとミオシンは硬直結合状態にある。その後、食肉の熟成にともなってサルコメアは弛緩時の長さに復元するが、これは筋肉Ca⁺⁺濃度が増すと硬直結合を脆弱とするためと説明されている。さらに、新井¹²⁾は解硬は生筋とは異なる状況下で起るため、単なる収縮した筋肉の弛緩の機構によっては説明できないとし、Z線、アクチン・ミオシン間結合、コネクチンの脆弱化および結合組織に由来する物性の変化がかかわっているとしているが、いずれも定説とはなっていないようである。

これらのことから今回のハマチ肉の硬さを考えると、ATPが存在する状態ではラウンドから切り取られた魚肉は弛緩よりも収縮能が強く、硬さと歯切れの強さを感じるが、硬直が完了した状態では切り取られた魚肉にはなんらかの原因で収縮能が失われ、柔らかくなったものと解釈できるが、その理由は不明である。

一般的に硬直した魚体はその肉も硬いものと想像しがちであるが、死後硬直した魚体と魚肉の硬さは異質のものであり、豊原⁹⁾が指摘しているように区別して考えるべきであろう。

今後、魚肉の硬さに関するメカニズムおよびその硬さの保持技術について研究する必要があると思われる。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、貴重な御助言をいただいた北大水産学部、新井健一博士に謝意を表する。

文 献

- 1) 内山 均, 江平重男: 日水誌, **36**, 977-992 (1970).
- 2) 山口勝己, 渡辺勝子: 魚介類のエキス成分(坂口守彦編), 恒星社厚生閣, 1988, pp. 104-115.
- 3) 尾藤方通: 東海水研報, **84**, 51-113 (1976).
- 4) 大野一仁, 岡 弘康: 昭和60年度, 愛媛工技センター業務年報, 169-171 (1986).
- 5) 豊原治彦, 志水 寛: 日水誌, **54**, 1795-1798 (1988).
- 6) 尾藤方通, 山田金次郎, 三雲泰子, 天野慶之: 東海水研報, **109**, 89-96 (1983).
- 7) 野口栄三郎: 日本海水研, No. 5, 1-5 (1957).
- 8) 右田正男: 日水誌, **27**, 934-945 (1961).
- 9) 右田正男: 日水誌, **28**, 456-470 (1961).
- 10) 上岡康達, 末光栄充, 岡 弘康: 愛媛総指報, No. 6, 51-55 (1968).
- 11) 高橋興威: 生物科学, **40**, 140-147 (1988).
- 12) 新井健一: 水産食品学(須山三千三, 鴻巣章二編), 恒星社厚生閣, 1987, pp. 95-107.