

レオロジーおよび生化学的特性値からみたティラピア魚肉における 死後硬直の評価

崎之原文子, 進藤 穰, 御木英昌

Evaluation of Rigor Mortis in Tilapia Muscle by Rheological and Biochemical Properties^{*1, 2}

Ayako Sakinohara^{*3}, Jo Shindo^{*3}, and Hidemasa Miki^{*3}

Keywords : Fish muscle, Rigor mortis, Rheological properties, ATP, K value

Abstract

This research was carried out to clarify the initial point of rigor mortis that plays an important role in the delay of rigor mortis in a fish muscle from physical and biochemical viewpoints. The Bitou's rigor index is used conventionally to evaluate the degree of rigor mortis in a fish body. But, this index did not necessarily agree with the rigor mortis in a fillet. The stress-relaxation test was applied to evaluate the rigor-mortis phenomenon in the fillet rheologically. On the other hand, K value, as biochemical freshness index, increased slowly in the muscle of fish which were killed immediately. Therefore, it was difficult to determine the accurate initial point of the rigor mortis. ATP (adenosine 5'-triphosphate) content of a fish muscle showed a sharp decrease at the initial point of rigor mortis. It was possible to judge the onset of rigor mortis from the speed change of ATP content.

近年、消費者の高鮮度志向により、“刺し身”を評価する上で、こりこりとした歯ごたえのある食感が旨さの要因¹⁾となっている。そのため、水産物の流通市場において死後硬直前の状態であれば活魚に相当する高い評価を受けている。最近、即殺したヒラメとタイを用いた実験で0℃より10℃の温度で保管した方が死後硬直に入るまでの時間が長いという報告がある^{2, 3)}。この結果を参考に実際の輸送実験が行われ、即殺ヒラメ(天然魚)が10℃、10時間の輸送条件で市場でのセリ値も高く好条件で取り引きされ、死後硬直を遅延する方法として実用化が期待されている⁴⁾。

鹿児島県の屋久島では、ゴマサバの首を折って活しめにした“首折れサバ”が生きのよい刺し身として以前

より賞味されてきた。また、屋久島では一本釣りによるタイの漁獲量もあるが、屋久島の首折れサバやタイ等の高鮮度魚も鮮度保持期間の限界や地理的条件による輸送コスト高のため流通は島内に限られている。これらの高級魚の販路を県内外に拡大するには、まず、“生きのよさ”を長く保持する必要がある。このため、前述の通り魚肉の死後硬直の遅延化を計る技術の確立が望まれる。

一般に魚の死後硬直は、魚体の硬直指数と魚体の一部を採取した魚肉の生化学的鮮度指標を用いて測定されている。しかし、魚体レベルにおける死後硬直は魚肉レベルにおける死後硬直とは部位的にも異なるものであり、また、硬直指数と生化学的鮮度指標の測定原理が異なるため、死後硬直の判定を厳密に行うには多少無理がある

*1 本論文の概要は、平成8年度日本水産学会秋季大会(福岡)で発表した。

*2 本研究の一部は、平成8年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(C)(一般))に依る。

*3 鹿児島大学水産学部資源利用科学講座(Applied Science of Marine Resources, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890-0056 Japan)

と考えられる。

死後硬直に関しては、アデノシン5'-三リン酸 (ATP) 関連化合物の残存量が重要な鮮度指標であるため数多くの研究があるが⁵⁾、魚体内における生化学的反應に関する研究が主であり、硬直現象との関係を直接検討した研究は少ない。また、魚肉の力学物性に関しては、死後硬直後のものを対象としており^{6,7)}、硬直に至るまでの高鮮度状態のものを取り扱った報告は少ない。

そこで、本研究では魚肉の死後硬直遅延に重要な役割を果すと思われる死後硬直の開始点を物理的および生化学的観点から明確に見出すことを検討した。

実験方法

試料

試料魚には鹿児島県指宿市の二反田川河口において捕獲したティラピア *Oreochromis mossambicus* (平均体長約20cm, 平均体重約350g) を用い、2~3日間水槽で生かした後で断頭即殺⁸⁾し試料とした。

貯蔵方法はラウンドの状態では4尾を低温恒温庫に0(±0.1)℃で保管し、2~3時間毎に背側普通筋を順次採取して分析および測定に用いた。

なお、ティラピアは生きた状態で入手可能なため試料として用いた。

応力緩和の測定および解析方法

測定はレオナー (山電 RE-3305型) の粘弾性測定機を用いた。試料は調製後、魚肉片 (1×1×1.5cm) の乾燥を防ぐため表面にシリコンオイルを塗り、応力緩和

測定まで低温恒温庫内0(±0.1)℃で保管した。テーブルスピードを5mm/sとして円盤状プランジャー (φ4.0cm) を用い、記録計のチャート感度を電圧10mV、チャートスピードを2mm/minとした⁹⁾。

応力緩和の解析は弾性率、粘性率および緩和時間をパーソナルコンピューター (PC-9801VX) を用い、応力緩和解析プログラム (K.K. 山電) で解析し求めた。なお、本実験の解析では、応力と歪みの間に線形性が存在する範囲内で MAX-WELL 模型の変位に従うことを前提に、線形粘弾性理論¹⁰⁾より、レオロジー特性値としての弾性率 (E)、粘性率 (η) および緩和時間 (τ) を求めた。

ゼリー強度の測定および解析方法

ゼリー強度 (JS) の測定は、山本式 Food Checker (サン科学302-B型) を用いて行った。直径7mmの球状プランジャーを1cm/secのテーブルスピードで魚肉の中央に貫入させ、試料表面が破断した時の荷重およびその時のプランジャーの貫入距離をそれぞれ破断荷重 (B.F.[g]) および破断凹み (B.D.[cm]) とし、その積を JS[g.cm] とした¹¹⁾。

硬直指数の測定

即殺してから魚体が動かなくなった時点までを致死と判定した。致死後直ちに0(±0.1)℃で貯蔵し、経時的に尾藤らの方法¹²⁾に従って硬直指数 (RI) を求めた。

生化学的指標の分析

ATP および乳酸含量の測定は、それぞれ江平らの方法¹³⁾、Baker & Summer 法¹⁴⁾に準じて行った。

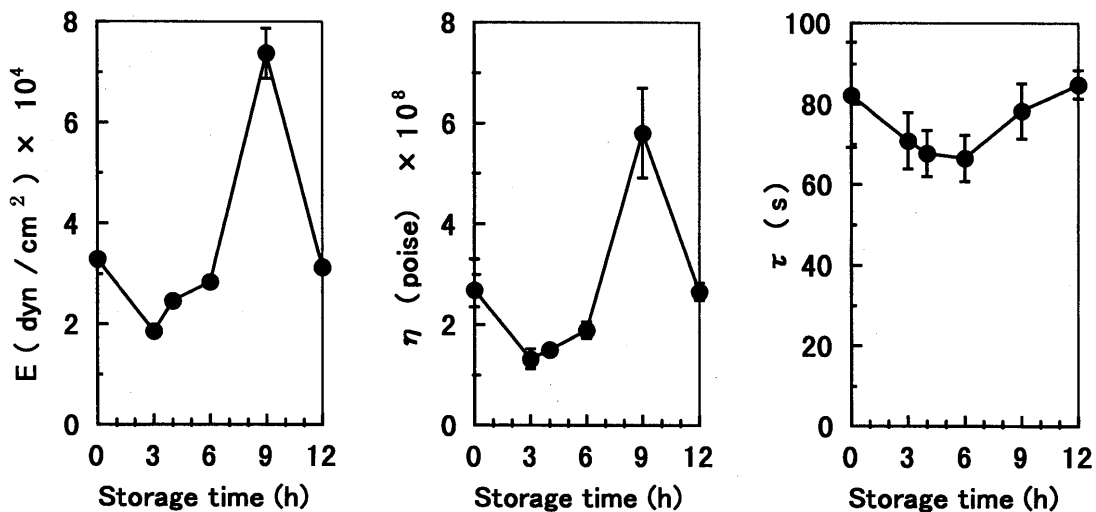


Fig. 1 Changes in elastic modulus (E), viscous modulus (η), and relaxation time (τ) of 1st deformation in tilapia muscle during storage at 0°C.

グリコーゲン含量は, 試料抽出液を Hassid & Abraham の方法¹⁵⁾ によって加水分解し, 生じるグルコースをソモギー法¹⁶⁾ により定量して求めた。

結果および考察

応力緩和測定によるレオロジー特性値の変化

Fig. 1 に示すように MAX-WELL 模型の第 1 変形部における E , η および τ は即殺直後から減少したが, E および η は即殺後 3 時間から増加し始め 9 時間後に最高値を示した。即殺後 3 時間から始まるこれらの指標値の増加は, 肉の弾力が増していることを示しており, 死後硬直の開始点と考えられた。また, 弾性率に対する粘性率の割合を示す τ^{η} の変化が E および η のそれと比べて小さかったことから, 魚肉の硬さとねっとり感が並行して存在したと考えられた。

第 2 変形部における E , η および τ も第 1 変形部と同様の挙動を示した。しかし, 第 2 変形部において, 全内部応力に対する内部応力の割合がわずかに 20% であるため, 第 1 変形部におけるレオロジー特性値 (E , η) を死後硬直の物理的指標として用いることが適当と考えられた。

ゼリー強度および死後硬直指数の変化

Fig. 2 に示すように RI の場合, 即殺後 4 時間から増加し, 死後硬直の開始点はレオロジー特性値 (E , η) の場合と比べ 1 時間の遅れを生じた。これは, RI は魚体レベルの物理的特性を示すため, 魚体の一部を構成する魚肉片の硬直開始点とは必ずしも一致しないと思われる^{16, 17)}。

一方, JS も RI と同様に即殺後 4 時間から増加し始めた。しかし, JS は大変形を伴う場合に適用されるため, 魚肉レベルでの死後硬直開始点のような微小変形を表す指標としては正確さに欠けると考えられた。

K 値とレオロジー特性値の変化

レオロジー特性値 (E , η) より, 魚肉の死後硬直は即殺後 3 時間から開始され, 9 時間まで続くことが確認された。Fig. 3 に示すように, 硬直開始時の K 値は 2.3 %, 終了時は 3.7% となった。K 値は生鮮魚が生食用の刺し身やすし種になり得るかを判定するためのものであり³⁾, 生鮮度判定法として広く利用されている。しかし, 死後硬直前の段階では, ATP の分解生産物であるイノシン (HxR) およびヒポキサンチン (Hx) の増加が緩慢であることから ATP 関連化合物総量 (ATP+ADP (アデノシン 5'-二リン酸)+AMP (アデノシン 5'-一リン酸)+IMP (イノシン酸)+ HxR + Hx) に対する HxR + Hx の量的割合が著しく小さいため, K 値の上昇が僅少である。よって, 魚肉において死後硬直の開始点を K 値で明確に表示することは困難と思われた。

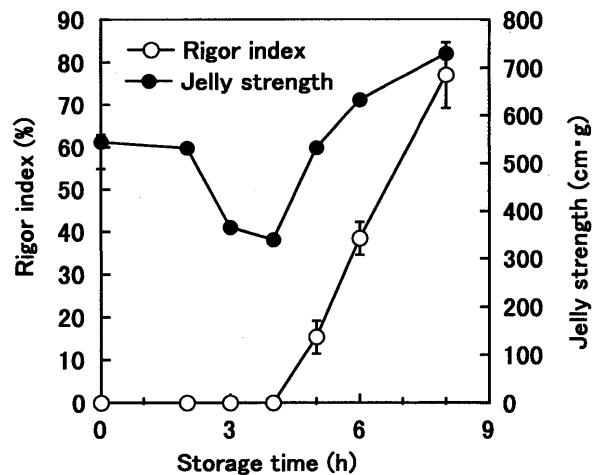


Fig. 2 Changes in rigor index and jelly strength in tilapia muscle during storage at 0°C.

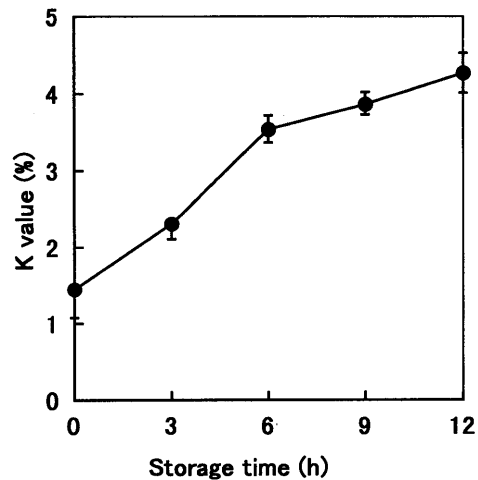


Fig. 3 Change in K value in tilapia muscle during storage at 0°C.

ン酸)+IMP (イノシン酸)+ HxR + Hx) に対する HxR + Hx の量的割合が著しく小さいため, K 値の上昇が僅少である。よって, 魚肉において死後硬直の開始点を K 値で明確に表示することは困難と思われた。

ATP 含量とレオロジー特性値の変化

Fig. 4 に示すように, ATP 含量は即殺直後から減少し, 特に即殺後 3 時間から 6 時間の間における減少速度が速く, $0.523 \mu\text{mol/g/h}$ であった。また, 死後硬直が終了したと判断された即殺 9 時間以降においては, ATP 含量の減少は緩慢となった。

従来, ATP の急激な減少は死後硬直開始点と密接な関係にあると言われている^{1, 18-20)}。本実験では, ATP 含量が速度的に急激な減少を示す点がレオロジー特性値によって見いだされた死後硬直開始点と一致した。そのた

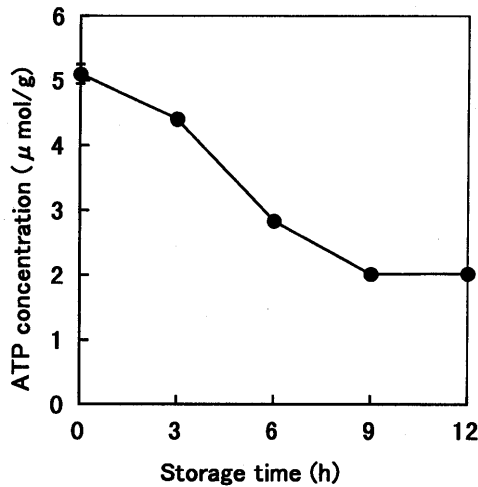


Fig. 4 Change in ATP concentration in tilapia muscle during storage at 0°C.

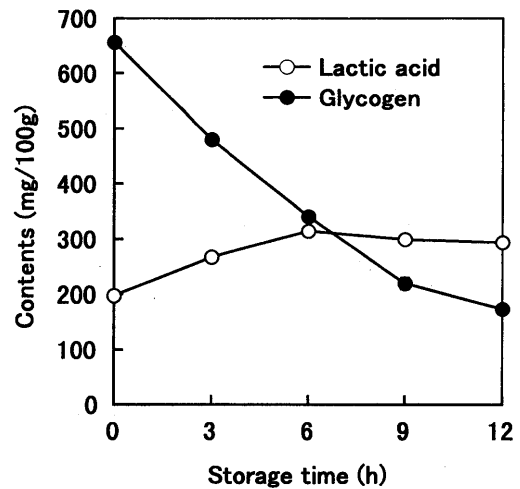


Fig. 5 Changes in the contents of glycogen and lactic acid in tilapia muscle during storage at 0°C.

め、ATP 含量の変化速度における変曲点が同時に死後硬直開始点の生化学的な指標となり得ると思われた。

グリコーゲンおよび乳酸含量とレオロジー特性値の変化

Fig. 5 に示すように、グリコーゲンの含量は、即殺直後から 9 時間の間に指数関数的に減少した。一方、乳酸含量も即殺直後から 6 時間まで同様に増加した。よって、グリコーゲンおよび乳酸の含量変化はレオロジー特性値の変化と対応せず、魚肉の死後硬直開始点を明確に示す変曲点を見い出すことは困難であった。

要 約

死後硬直過程の肉質評価法として、魚体を用いた尾藤らの硬直指数が一般に使われているが、この指標は魚肉の死後硬直とは必ずしも一致しなかった。また、食品の食感 (texture) を物理的に測定する場合、一般に微小変形を対象とした応力緩和試験が用いられている。本実験においても、同様にレオロジー特性値によって魚肉での死後硬直現象をとらえることが可能であった。一方、魚肉の生化学的な生鮮度指標である K 値は、即殺直後は緩慢に上昇することから死後硬直開始点を正確に見い出すことは困難であった。魚肉の ATP 含量は死後硬直開始点において急激に減少したことから、ATP 含量の変化速度からも同時に死後硬直開始点を見い出すことが可能であった。

以上より、本研究では魚肉における死後硬直の開始点をレオロジー特性値および生化学的特性値からより明確に判定することが可能となった。

文 献

- 1) 渡邊悦生, 山中英明, 田中武夫, 松田由美子, 鳥村正明, 加藤 登 (1982): 水産物の品質保持 (上), 水産の研究, 11, 16-35.
- 2) 岩本宗昭, 井岡 久, 齊藤素子, 山中英明 (1985): マダイの死後硬直と貯蔵温度との関係. 日水誌, 51, 443-446.
- 3) 岩本宗昭, 山中英明, 渡部終五, 橋本周久 (1990): 天然および養殖ヒラメの死後硬直の進行. 日水誌, 56, 101-104.
- 4) 田中武夫 (1991): 流通条件と市場価格10℃流通と0℃流通の比較. “魚類の死後硬直”, 水産学シリーズ86 (山中英明 編), pp.103-116 (恒星社厚生閣, 東京).
- 5) 内山 均, 江平重男, 小林 宏, 清水 亘 (1970): 揮発性塩基, トリメチルアミン, ATP 関連化合物の魚類鮮度判定法としての測定意義. 日水誌, 36, 177-187.
- 6) 磯 直道, 水野治夫, 齊藤隆英, 大関分照, 林 慶陽 (1984): 加熱コイ肉のレオロジー性に関する研究. 日水誌, 50, 349-354.
- 7) 磯 直道, 水野 治夫, 齊藤隆英, 王 造 (1984): 加熱ブリのレオロジー性に関する研究. 日水誌, 50, 2061-2064.
- 8) 土屋晴彦, 国井 清 (1960): 漁獲直後の処理法が肉質変化に及ぼす影響の研究-V. 日水誌, 26, 284-288.
- 9) 磯 直道 (1987): 応力緩和. “水産食品のテクスチャー”, 水産学シリーズ67 (丹波栄二 編), pp.49-56 (恒星社厚生閣, 東京).
- 10) 中川鶴太郎, 神戸博太郎 (1959): “レオロジー”, pp.493-529 (みすず書房, 東京).
- 11) 松川雅二, 平田史生, 木村省二, 新井健一 (1984): スケトウダラ座り加熱ルのゲル物性に及ぼすピロリン酸塩の効果. 日水誌, 50, 349-354.
- 12) 尾藤方道, 山田金次郎, 三雲泰子, 天野慶之 (1983): 魚の死後硬直に関する研究-I 改良 Cutting 法による魚体の死後硬直の観察. 東海水研報, 109, 89-96.
- 13) 江平重男, 内山 均, 宇田文昭 (1974): 魚類筋肉 ATP

- 関連化合物の定量. “水産生物化学・食品学実験書”, (斎藤恒行, 内山 均, 梅本 滋, 河端俊治 編), pp.17-31 (恒星社厚生閣, 東京).
- 14) 千葉英雄, 橋爪 斌, 柝倉辰六郎, 満田久輝 (1970): “食品工学実験書”, 上巻 (京都大学農学部食品工学 編), pp. 587-588 (養賢堂, 東京).
- 15) 仮屋園 彰 (1983): “食品化学実験ノート”, pp.62-68 (建帛社, 東京).
- 16) 豊原治彦, 志水 寛 (1988): 魚体の死後硬直現象と魚肉の物性の関係. 日水誌, 54, 1795-1798.
- 17) 岡 弘康, 大野一仁, 二宮順一郎 (1990): 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. 日水誌, 56, 1673-1678.
- 18) S. Watabe, H. Ushio, M. Iwamoto, H. Kamal, and K. Hashimoto (1989): Rigor-mortis progress of sardine and mackerel in association with ATP degradation and lactate accumulation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 1833-1839.
- 19) 渡部終五 (1991): 硬直に伴う筋肉の生化学的変化. “魚類の死後硬直”, 水産学シリーズ86 (山中英明 編), pp.9-20 (恒星社厚生閣, 東京).
- 20) 山中英明 (1995): 魚介類の死後変化. “魚介類の鮮度と加工・貯蔵” (渡邊悦夫 編), pp.2-27 (成山堂, 東京).