

## アオリイカ外套筋の白濁に及ぼす保存温度の影響

岡本 昭,<sup>1\*</sup> 本田 栄子,<sup>2</sup> 井上理香子,<sup>2</sup> 横田 桂子,<sup>2</sup> 桑原 浩一,<sup>1</sup>  
村田 昌一,<sup>1</sup> 濱田 友貴,<sup>2</sup> 新井 博文,<sup>2</sup> 橘 勝康<sup>2</sup>

(2008年1月7日受付, 2008年4月9日受理)

<sup>1</sup>長崎県総合水産試験場, <sup>2</sup>長崎大学大学院生産科学研究科

Influence of storage temperatures on losing post-mortem transparency  
in the mantle muscle of Oval squid *Sepioteuthis lessoniana*

AKIRA OKAMOTO,<sup>1\*</sup> EIKO HONDA,<sup>2</sup> RIKAKO INOUE,<sup>2</sup> KEIKO YOKOTA,<sup>2</sup>  
KOICHI KUWAHARA,<sup>1</sup> MASAKAZU MURATA,<sup>1</sup> YUKI HAMADA,<sup>2</sup>  
HIROFUMI ARAI<sup>2</sup> AND KATSUYASU TACHIBANA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, Taira, Nagasaki 851-2213, <sup>2</sup>Laboratory of Fishery Nutritional Science, Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University, Bunkyo, Nagasaki 852-8521, Japan

The effect of different storage temperatures (iced, 5, 10, 15°C) on post-mortem changes in the mantle muscle of the Oval squid *Sepioteuthis lessoniana* were investigated during 24 h period. Squid muscle samples were analyzed for ATP related compounds, glycogen concentrations, pH and L\* values. Results showed a slower decrease of ATP and glycogen in samples stored at 10°C when compared to samples stored on ice, 5°C and 15°C. As for the pH, no remarkable change was observed at each storage temperatures. When the L\* value increased higher than 50, the muscle became opaque. The increase of opaqueness at 10°C storage was the slowest of all storage temperatures.

キーワード：アオリイカ, 外套筋, 鮮度評価, 白濁

日本人が消費する水産物の中でイカ類はもっとも消費数量の多い魚種<sup>1)</sup>であり, 生鮮から加工品までさまざまな用途に利用されている。イカ類生産量の約8割を占めるのはスルメイカであるが, ケンサキイカやアオリイカなど地域の特産種として貴重なイカ類も存在する。特に, ジンドウイカ科に属するアオリイカは肉質が厚く美味なことから刺身や寿司材料として需要が高く, 長崎県近海では周年にわたり定置網や釣りによって1,000トンを超える漁獲<sup>2)</sup>があり沿岸漁業として重要な魚種のひとつになっている。

近年, 水産物の高付加価値化に伴いイカ類もより生鮮な状態での消費が求められるようになってきた。イカ類に関する鮮度変化の報告もいくつかなされ, 中村ら<sup>3)</sup>はスルメイカを, 岩本<sup>4)</sup>はヤリイカの鮮度変化についてK値を鮮度指標として氷蔵の有効性を報告した。イカ類はK値の上昇が魚類に比較して早いことから, 鮮度指標としてOhashiら<sup>5)</sup>はスルメイカについてHx/AMPの

有効性を, Yokoyamaら<sup>6)</sup>はヤリイカについてHx比, Xt比, Hx/AMPの有効性を示した。また, Yamanakara<sup>7)</sup>はスルメイカについてポリアミン類であるアグマチンを鮮度指標として利用できることを報告している。このような化学的な鮮度評価とは別にAndoら<sup>8)</sup>はヤリイカで, Kagawara<sup>9)</sup>は氷蔵でのテクスチャー変化を報告している。

しかし, これらの品質の評価法とは別に市場ではイカ類は外観によって価格が決定されることが多く, 著者らが行った産地市場関係者への聞き取りではアオリイカは, 外套筋の透明感が残っているものが市場価値が高く取引されている。岩本ら<sup>4)</sup>はケンサキイカの貯蔵条件と体色との関係を報告しているが, 近年, Okadara<sup>10)</sup>はスルメイカおよびヤリイカ表皮の色の保持について, イカ表皮と氷との接触による急速な冷蔵を避けることやイカ表皮への酸素の供給を断たない必要性を報告した。Yoshiokara<sup>11)</sup>はスルメイカを用いて外套筋の濁度や画

\* Tel : 81-95-850-6314. Fax : 81-95-850-6365. Email : akiraokamoto@pref.nagasaki.lg.jp

像による計測が鮮度を決定する指標になることを報告した。スルメイカ、ヤリイカの外套筋は生きている状態では透明であるが、死後、白濁が始まり一定時間後、完全に白濁し死後直後の透明感が喪失する。イカの透明感を保持することは商品価値の向上につながるため、アオリイカを対象として、致死後における外套筋の白濁の進行と保存温度との関係について検討した。

### 試料および方法

**材料** 材料は長崎近海で漁獲されたアオリイカ *Septoteuthis lessoniana* 8尾を用いた。アオリイカを生きたまま実験室に搬入し、安静にさせた後、即殺し実験に供した。アオリイカの両眼の間を出刃包丁で刺した直後に胴部と頭足部を切り離した。胴部は外套膜表皮を剥ぎ体軸に沿って二分して含気状態でプラスチックバッグに入れ、氷蔵あるいは恒温水槽(5, 10, 15°C)に保存した。平均外套背長 20.3 cm ± 5.4 cm, 平均体重 614 ± 383 g であった。なお、実験はほぼ 18°C の室温下で行い、また、試料の採取は 3 分以内で行った。

**ATP 関連化合物, pH の測定** 保存した試料から経時的に約 1 g を分取, 精秤し, ATP 関連化合物の測定に供した。ATP 関連化合物は Ehira ら<sup>12)</sup> の方法に準じ過塩素酸で抽出を行い, 植本ら<sup>13)</sup> の方法に準じて HPLC 法で分析した。グリコーゲンは, 精秤した約 0.5 g の試料から藤井ら<sup>14)</sup> の方法に従って抽出し, アントロン硫酸法で測定した。試料の pH は, 約 10 g の試料に 9 倍量の純水を加えホモジェナイズした後, pH メーター (HORIBA 社製) で測定した。

**明度の測定** 表皮の色素胞の影響を避けるため試料の皮組織を除去した外套筋を黒い板の上に乗せて, 色彩色差計 (MINOLTA 社製) を用いて明度を示す L\*値を測定した。あわせて肉眼による観察を行った。

### 結 果

**ATP 関連化合物の経時変化** アオリイカ外套筋の保存温度別の ATP 含量の経時変化について Fig. 1 に示す。ATP 含量は氷蔵では最も減少が早く, 8 時間目に 1  $\mu\text{mol/g}$  以下となり, 保存 24 時間目にはほぼ消失した。5°C 保存では即殺直後に 6.5  $\mu\text{mol/g}$  を示したが保存 12 時間目にはほぼ消失した。15°C 保存では即殺直後に 6.5  $\mu\text{mol/g}$  を示し, 8 時間目に 2.5  $\mu\text{mol/g}$  以下となり保存 12 時間目にはほぼ消失した。一方, 10°C 保存では保存 8 時間目でも 6.0  $\mu\text{mol/g}$  を維持し, 保存 24 時間目にはほぼ消失した。氷蔵および 10°C 保存では致死直後から保存 1 および 2 時間目に ATP 含量が上昇したのは ATP の減少について個体差が大きかったためと考えられるが, ATP 含量の減少傾向は, 保存温度によって差異が認められ, マアジ, イサキなどの魚類と同様<sup>15-17)</sup>

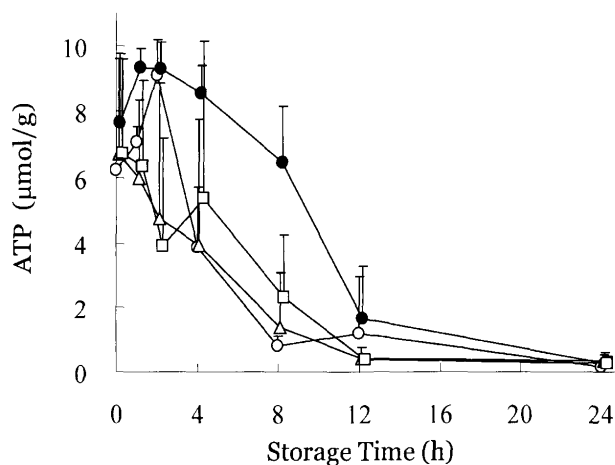


Fig. 1 The effect of storage temperatures on adenosine triphosphate (ATP) concentration of the Oval squid mantle muscle. Vertical bars represent standard deviation ( $n=4$ ). (○) ice; (△) 5°C; (●) 10°C; (□) 15°C.

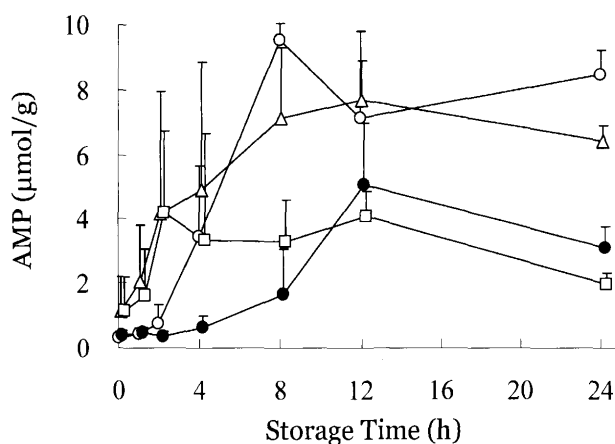
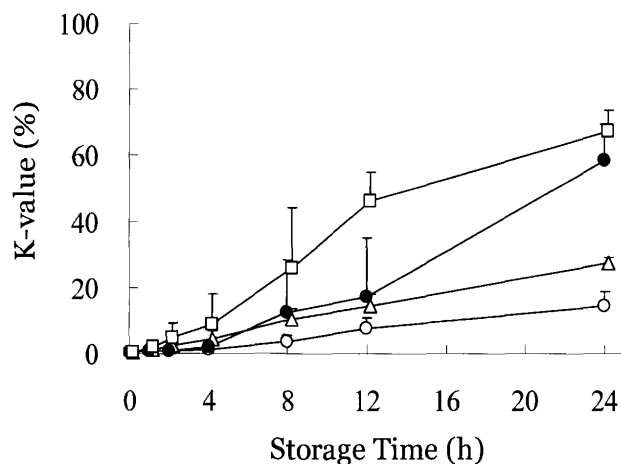


Fig. 2 The effect of storage temperatures on adenosine monophosphate (AMP) concentration of the Oval squid mantle muscle. Vertical bars represent standard deviation ( $n=4$ ). (○) ice; (△) 5°C; (●) 10°C; (□) 15°C.

氷蔵, 5°C, 15°C 保存よりも 10°C の保存温度で減少が遅延した。

AMP 含量を Fig. 2 に示す。氷蔵では保存 2 時間以降, 8 時間目までに急激に蓄積し, 以降ほぼ一定であった。5°C 保存は致死直後より増加し 8 時間目で約 7  $\mu\text{mol/g}$  に達し, 24 時間目まではほぼ一定であった。10°C 保存では保存 4 時間目まではほぼ一定であったが, 以降 12 時間後には約 5  $\mu\text{mol/g}$  となり, 24 時間後には約 3  $\mu\text{mol/g}$  まで若干減少した。15°C 保存では保存 2 時間目で約 4  $\mu\text{mol/g}$  を示し, 同レベルを 12 時間後まで維持し, 24 時間後には減少した。氷蔵および 10°C 保存では AMP の経時変化は保存 12 時間までは ATP の減少と呼応していた。保存 24 時間では保存温度が高いほど AMP 含量が低かった。



**Fig. 3** The effect of storage temperatures on the K-value of the Oval squid mantle muscle. Vertical bars represent standard deviation ( $n=4$ ). (○) ice; (△) 5°C; (●) 10°C; (□) 15°C.

**Table 1** The effect of storage temperatures on the glycogen content of the Oval squid mantle muscle

Storage time (h)	iced	5°C	10°C	15°C
0	76.1±54.7	76.1±54.7	76.1±54.7	76.1±54.7
8	19.5±17.4	3.8± 5.4	46.3±35.0	15.2±10.0
24	14.4±14.7	1.8± 1.6	19.2±15.3	5.7± 3.6

Data are mean ± standard deviation ( $n=4$ ).

**K 値の経時変化** 各保存温度における K 値の経時変化を Fig. 3 に示した。K 値は、氷蔵では 24 時間後においても 20% 以下、5°C 保存では 25% であった。一方、10°C 保存では 12 時間後まで 20% 以下であったが 24 時間後には 50% を越えた。15°C 保存ではその上昇が最も早く、24 時間後に 60% を超え、その上昇は保存温度に依存していた。また、結果は示さないが、イカ類の鮮度指標として利用される Hx/AMP の変化も K 値と同様な傾向であった。

**グリコーゲン量の経時変化** 各保存温度におけるグリコーゲン含量の経時変化を Table 1 に示した。致死直後 76 mg/100 g を示したグリコーゲン含量は、8 時間後には氷蔵で 19 mg/100 g、5°C 保存で 4 mg/100 g、10°C 保存で 46 mg/100 g、15°C 保存では 15 mg/100 g までそれぞれ減少した。10°C 保存でのグリコーゲンの減少が他の 3 試験区に比較して遅延したことは、ATP 関連物質の消長の傾向と一致した。

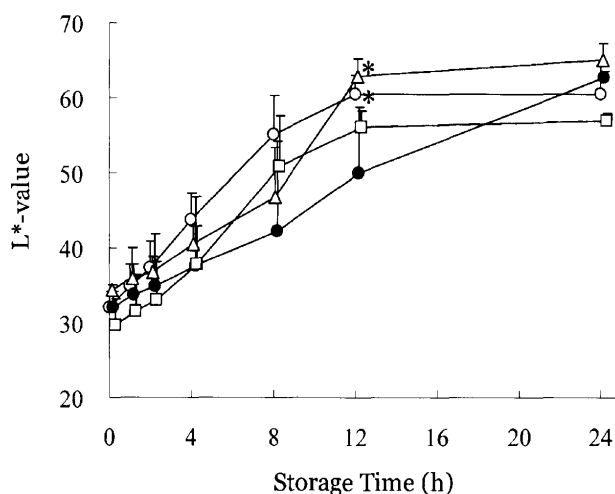
**外套筋 pH の経時変化** 外套筋 pH の経時変化はすべての保存温度で同様の傾向を示し、致死直後で pH 7.2~7.9 を示し、24 時間後には pH 7.0~7.4 まで減少した (Table 2)。

**感覚色度の経時変化** 感覚色度 L\* 値 (以下 L\* と記

**Table 2** The effect of storage temperatures on the pH of the Oval squid mantle muscle

Storage time (h)	iced	5°C	10°C	15°C
0	7.2±0.01	7.7±0.16	7.2±0.01	7.7±0.16
1	7.2±0.02	7.5±0.08	7.3±0.04	7.5±0.08
2	7.2±0.08	7.5±0.00	7.2±0.00	7.5±0.00
4	7.2±0.03	7.6±0.05	7.2±0.08	7.6±0.05
8	7.1±0.09	7.5±0.05	7.1±0.08	7.5±0.05
12	7.1±0.13	7.5±0.05	7.1±0.11	7.5±0.05
24	7.1±0.11	7.4±0.05	7.1±0.11	7.4±0.00

Data are mean ± standard deviation ( $n=4$ ).



**Fig. 4** The effect of storage temperatures on the L\*-value of the Oval squid mantle muscle. Vertical bars represent standard deviation ( $n=4$ ). (○) ice; (△) 5°C; (●) 10°C; (□) 15°C. \*: Letters for storage time of 12 h indicate significant difference from 10°C,  $p<0.05$  (Students t-test).

す) の経時変化を Fig. 4 に示した。本実験で用いたアオリイカの外套筋の厚さは 4.0~12.2 mm であった。予備実験を行った結果、この厚さの範囲で L\* への明瞭な影響は見られなかったので感覚色度について補正は行わなかった。致死直後の L\* はほぼ 33 前後であった。氷蔵では 8 時間後に 50 を 12 時間後に 60 を超え、5°C 保存では 8 時間後は 45 であったが 12 時間後に 60 を超えた。15°C 保存は 8 時間後に 50 を超えた。一方、10°C 保存は経過時間とともに L\* は上昇し、保存 8 時間目では 40、12 時間目で 50 を示し 24 時間後には 60 を超えたが各保存温度の中ではもっとも緩慢に上昇した。

L\* は色の明るさを示す指標であり、今回の実験においてアオリイカ外套筋白濁の指標として用いた。肉眼による観察では L\* が約 30 を示した致死直後は背後の黒色板が透き通って確認できる状態だったが L\* の増加とともに白濁の程度は強くなり、L\* が 50 を超えたときに

透明感はほぼ喪失し完全に白濁した。

### 考 察

岩本ら<sup>20)</sup>がマダイを用いて死後硬直と貯蔵温度の関係について述べて以来、多くの魚種で保存温度が死後硬直に影響していることが知られている。<sup>15-17,21-23)</sup> 魚類では死後硬直には ATP およびその分解が関与しており、死後硬直の遅延を図るための保存温度および致死方法が検討されてきた。<sup>15-17,24)</sup> 死後硬直の遅延を図る保存温度については、氷蔵等の低い温度よりもむしろ 10°C 前後の温度帯でその遅延効果が認められる。そのメカニズムは筋小胞体の Ca<sup>2+</sup> 取り込み能力に伴うコールドショートニングとして説明されている。<sup>25-27)</sup>

今回、アオリイカにおいて ATP およびその関連物質の経時変化について検討した。その結果、ATP 関連物質の減少は多くの魚類<sup>15-17)</sup> 同様、氷蔵や 5°C よりも 10°C において抑制され、また、アオリイカ外套筋の筋原繊維 ATP-ase は温度依存性があることから (未発表)、これらの現象は魚類同様、コールドショートニングに起因するものと考えられた。

Yoshioka ら<sup>11)</sup>はスルメイカ外套膜を覆う表皮の透明感の変化と ATP の消長の傾向が類似していることを指摘していることから、本研究ではアオリイカに於ける外套筋中の ATP 量と外套筋の白濁との関係について検討した (Fig. 5)。この時、白濁の完了している保存 24 時間後の測定値を用いると ATP 量の低いほうに、また、白濁のまったく観測されない保存初期の測定値をすべて用いると、ATP 量の高いほうに測定値の分布が偏りを生じるため致死直後および保存 4, 8, 12 時間後の測定値を用いて考察した。外套筋の色の明るさの指標である L\* について、ATP 量が約 20% を下回ったときは L\* が 40~50 と 55 を超えた 2 群が見られる傾向を示したが、ATP 量と有意な負の相関関係 ( $r = -0.776$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 56$ ) を示した。また、ATP 量が 20% 以下のレベルで白濁が生じることについて、筋収縮を反映するとされるアクトミオシンの超沈殿反応は ATP の消費によりその濁度が上昇されるとされている。<sup>28,29)</sup> ATP の減少とアオリイカ外套筋の濁度にはこの様な筋収縮等の因子の関連性も考えられるが、その詳細については明確ではなく、さらに検討が必要であろう。

以上より、アオリイカ外套筋の白濁の原因のひとつに ATP 関連物質の分解が関与していることも考えられ、保存温度を 10°C に設定すると 12 時間以内であれば透明感を持続させる事が可能になることがわかった。吉岡ら<sup>30)</sup>は薄切したスルメイカを海水入りの酸素充填したパックにつめて 5°C で保管し、ATP 再生系が機能する状態に保つことで長時間透明感を維持できると述べており、本実験でも活イカを安静状態で即殺し、10°C に含

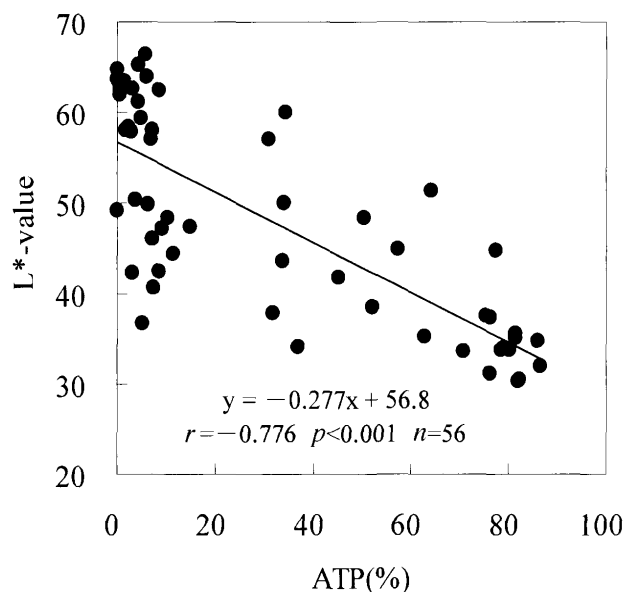


Fig. 5 The relationship between ATP (%) and L\*-value of the Oval squid mantle muscle.

気包装する条件でアオリイカを保存することが ATP 量の減少を抑制して、筋肉の透明感が長時間維持できる可能性が考えられた。

また、イカ類はその商品価値を決定する条件として体色や透明感が大きな要素を占めるものこれらの基準として鮮度保持を述べた報告は少ない。Yoshioka ら<sup>11)</sup>はスルメイカ表皮の発色率、透明感、硬さを用いて品質評価を行っているが、同様にアオリイカにおいても致死後 12 時間以内であれば体色での新鮮度判定ができることが考えられる。

### 文 献

- 1) 水産庁編. 「水産白書平成 19 年版」, 東京. 2007.
- 2) 九州農政局長崎農政事務所編. 「第 53 次長崎農林水産統計年報 (水産編) 平成 17~18 年」, 長崎. 2007.
- 3) 中村邦典, 石川宣次, 木本清暉, 水野 雄. 貯蔵中のスルメイカの鮮度変化. 東海水研報 1985; 118: 45-49.
- 4) 岩本宗昭, 山根玲子. ケンサキイカの死後変化に関する研究 貯蔵変化と体色変化. 平成 3 年度島根水試事業報告, 1992; 83-90.
- 5) Ohashi E, Okamoto M, Ozawa A, Fujita T. Characterization of common squid using several freshness indicators. *J. Food. Sci.* 1991; 56: 161-163.
- 6) Yokoyama Y, Takahashi S, Sakaguchi M, Kawai F, Kanamori M. Postmortem changes of ATP and its related compounds and freshness in spear squid *Doryteuthis bleekeri* muscles. *Fish. Sci.* 1994; 60: 583-587.
- 7) Yamanaka H, Shiomi K, Kikuchi K. Agmatine as a potential index for freshness of common squid (*Todarodes pacificus*). *J. Food. Sci.* 1987; 52: 936-938.
- 8) Ando M, Ando M, Tsukamasa Y, Makinodan Y, Miyoshi M. Muscle Firmness and Structure of Raw and Cooked Arrow Squid Mantle as Affected by Freshness. *J. Food. Sci.* 1999; 64: 659-662.

- 9) Kagawa M, Matsumoto M, Yoneda C, Mitsuhashi T, Hatae Keiko. Changes in meat texture of three varieties of squid in the early stage of cold storage. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 783-792.
- 10) Okada T, Ushio H, Oshima T. Skin color changes of squids *Todarodes pacificus* and *Loligo Bleekeri* during chilled storage. *J. Food. Sci.* 2004; **69**: 414-417.
- 11) Yoshioka T, Kinoshita Y, Yoshino H, Park S, Konno K, Seki N. Change in translucency of squid mantle muscle upon storage. *Fish. Sci.* 2003; **69**: 408-413.
- 12) Ehira S, Uchiyama H, Uda F, Matsumiya H. A rapid method for determination of the acid-soluble nucleotides in fish muscle by concave gradient elution. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1970; **36**: 491-496.
- 13) 植本六良, 三嶋敏雄, 宇津木照洋, 北島俊一, 矢田殖郎, 保田正人. 動搖の激しい船内でのATP関連化合物の分離定量法-逆送分配カラムによる高速液体カラムクロマトグラフィー法. 日本誌 1985; **51**: 1363-1369.
- 14) 藤井暢三. 「生化学実験法」, 南江堂. 東京. 1949.
- 15) Mishima T, Nonaka T, Okamoto A, Tsuchimoto M, Ishiya T, Tachibana K, Tsuchimoto M. Influence of storage temperatures and killing procedures on post-mortem changes in the muscle of horse mackerel caught near Nagasaki Prefecture, Japan. *Fish. Sci.*, 2005; **71**: 187-194.
- 16) 岡本 昭, 濱田友貴, 三浦勝貴, 野中 健, 桑原浩一, 大迫一史, 三嶋敏雄, 橋 勝康. 養殖イサキの死後変化に及ぼす刺殺条件と保存温度の影響. 日本誌 2006; **72**: 918-923.
- 17) 岡本 昭, デイシー・アロヨ・モラ, 濱田友貴, 三浦勝貴, 野中 健, 桑原浩一, 大迫一史, 三嶋敏雄, 新井博文, 橋 勝康. 天然イサキの死後変化に及ぼす保存温度の影響. 日食化誌 2007; **14**: 1-6.
- 18) Tsuchimoto M, Tanaka N, Uesugi Y, Misima T, Tachibana K, Yada S, Senta T, Yasuda M. The influence of rearing water temperature on the relative thermostability of myofibrillar  $Ca^{2+}$ -ATPase and on the lowering speed of freshness in carp. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1988; **54**: 117-122.
- 19) Yada O, Tsuchimoto M, Tsuchimoto M, Wang Q, Gomez Apablaza PA, Tachibana K. Influence of interposition of pink muscle fiber into dorsal ordinary muscle on temporal change of K-value in cultured carp. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 1129-1137.
- 20) 岩本宗昭, 井岡 久, 齊藤素子, 山中英明. マダイの死後硬直と貯蔵温度との関係. 日本誌 1985; **51**: 443-446.
- 21) 岩本宗昭, 山中英明, 阿部宏喜, 渡部終五, 橋本周久. 二, 三海産魚における死後硬直の進行と貯蔵温度の影響. 日本誌 1990; **56**: 93-99.
- 22) 望月 聡, 佐藤安岐子. マサバおよびマルアジ筋肉の死後変化に対する致死条件の影響. 日本誌 1996; **62**: 453-457.
- 23) 望月 聡, 佐藤安岐子. マアジ筋肉の死後変化に及ぼす致死条件と貯蔵温度の影響. 日本誌 1994; **60**: 125-430.
- 24) 望月 聡, 前野久美子, 乗田嘉子. 首折りによって致死させたマアジ筋肉の死後変化. 日本誌 1997; **63**: 396-399.
- 25) Watabe S, Ushio H, Iwamoto M, Yamanaka H, Hashimoto K. Temperature dependency of rigor-mortis of fish muscle myofibrillar  $Mg^{2+}$ -ATPase activity and  $Ca^{2+}$  uptake by sarcoplasmic reticulum. *J. Food. Sci.* 1989; **54**: 1107-1110.
- 26) Locker R H, Hagyard C J. A cold shortening effect in beef muscle. *J. Sci. Food Agr.* 1963; **14**: 787-793.
- 27) 渡部終五. 硬直に伴う筋肉の生化学的変化. 「魚類の死後硬直」(山中英明編) 恒星社厚生閣, 東京. 1991; 9-20.
- 28) 山田典彦, 新井健一. コイ・ミオシンB超沈殿の濁度変化による測定. 日本誌 1987; **53**: 77-83.
- 29) Wang Q, Tsuchimoto M, Yada O, Lee KH, Jabarasyah A, Gomez Apablaza P A, Misima T, Tachibana K. Comparison of characteristics of actomyosin from white, pink, and red muscle fiber types in cultured carp. *Fish. Sci.* 2001; **67**: 682-689.
- 30) 吉岡武也, 木下康宜. イカの鮮度保持技術の進展. 日本誌 2006; **72**: 495-500.