マアジ筋肉の死後変化に及ぼす脱血の影響

望月 聡, 乗田 嘉子, 前野久美子

(1997年5月15日受付)

Effects of Bleeding on Post-mortem Changes in the Muscle of Horse Mackerel

Satoshi Mochizuki^{*1}, Yoshiko Norita¹, and Kumiko Maeno^{*1}

The changes in rigor index, breaking strength, and the concentrations of energy-related compounds during ice storage of the dorsal muscle were investigated for horse mackerel killed by stabbing in the spinal bulb only or by that followed by bleeding. The rate of progress of rigor-mortis in the bleeding group was slower than that in the stabbing group without bleeding. No significant differences were observed in the changing rates of breaking strength, and concentrations of ATP and creatine phosphate until 36 hours after death. *K*-value from 3 days to 7 days after death had a tendency to be lower in the bleeding group. From these results, it was considered that the bleeding was a useful method for delaying the progress of rigor-mortis.

キーワード: マアジ, 延髄刺殺, 脱血, 死後変化, 死後硬直, ATP

魚類の死後変化の速度に対して, 致死方法,¹⁻³⁾ 致死後の魚体の貯蔵温度,^{4,5)} 魚体の生存時の生息温度⁶⁻⁸⁾ などが影響を与えることが知られている。我々はこれまでに, マアジやマサバのような比較的死後変化が速いと考えられている魚種を用いて, 主として致死方法に着目して死後変化の速度の違いを明らかにしてきた。^{2,3)} 近年の消費者の魚介類に対する高鮮度指向として, より活きのよい魚を求める傾向があり, 生産者はこれに応えるために魚体の死後変化をわずかも遅くできる方法を求めている。流通現場では魚体の死後変化を遅らせるために様々な工夫が経験的になされているが, このような工夫がどの程度の影響を与えているのかを科学的に証明した研究は少ない。

魚を致死させる方法として, 延髄を切断して即殺させる方法はいろいろな魚種で広く行われており, この方法が死後変化を遅らせることにに対して有効であるということが明らかにされている。¹⁻³⁾ さらに, 魚種によっては延髄刺殺を行った後, さらに脊髓に針金を通して神経を破壊する場合がある。しかし, マアジの場合には, 尾部に「ゼイゴ」と呼ばれる固い鱗が存在するために脊髓に針金を通すことは非常に困難である。一方, 延髄刺殺後, 大動脈を切断することによって脱血を行う方法もあるが, この方法であればマアジに適用することが可能である。そこで本実験においては延髄刺殺に加えて血液を

完全に除去する脱血の操作を加え, 脱血をすることが延髄刺殺単独で致死させた場合に比べてマアジの死後変化の速度をどの程度変化させるのかを, 硬直指数, 筋肉破断強度, 筋肉中のエネルギー代謝関連物質の量的変化から明らかにすることを目的とした。

実験材料および方法

生け簀で2日間以上蓄養されていたマアジ *Trachurus japonicus* (体長約30 cm, 体重350 g程度) を, 1994年11月30日に大分県鶴見町漁業協同組合より24尾入手した。これらを延髄刺殺単独(対照区)か, あるいは延髄刺殺に加えてさらにエラから包丁を差し込み, 大動脈を切断して脱血(脱血区)して致死させた。両区とも12尾を用い, 致死させた時間を0時間目として魚体の動きが完全に停止するまで約30分間空気に放置し, その後魚体を氷蔵し, 経時的に両区とも6尾については尾藤ら⁹⁾の方法によって硬直指数を測定した。また別の6尾について経時的に背肉を幅10 mmで切り出し, 筋肉破断強度を測定した後, 直ちに約2 gを精秤して, 10 mlの10% 過塩素酸で除タンパクしたものを, 10 N水酸化カリウムでpHを6.2~6.8に調整し, 4℃で遠心分離(10,000×g, 10分)して得た上清をエネルギー代謝関連物質(ATPとその関連化合物, およびクレアチンリン酸)の定量に供した。ATPとその関連化合物,

^{*1} 大分大学教育学部 (Faculty of Education, Oita University, Oita 870-1192, Japan).

およびクレアチンリン酸のは前報²⁾と同様に HPLC を用いて測定した。また、筋肉破断強度の測定は Ando ら¹⁰⁾の方法に従って測定した。但しプランジャーは直径 3 mm のものを用いた。統計的有意差の検定は Student の *t* 検定を用いて行った。¹¹⁾

結 果

硬直指数の経時変化を Fig. 1 に示した。対照区は致死後 9 時間で完全硬直に達していたが、脱血区は致死後 12 時間で完全硬直の状態になった。致死後 6 時間および 9 時間では脱血区の値は対照区の値に比べて有意に低い値であり、致死後 12 時間以後は両区とも硬直指数は 100% で推移した。筋肉破断強度の経時変化を

Fig. 1. The effect of bleeding on changes in the progress of rigor-mortis of horse mackerel during ice storage. Each point represents the mean $\pm$ standard error.

○: stabbing the spinal bulb (control), ●: stabbing the spinal bulb followed by bleeding
*Significantly different from control ($p < 0.05$)

Fig. 2. The effect of bleeding on changes in the breaking strength of the dorsal muscle of horse mackerel during ice storage. Refer to the legend of Fig. 1 for details.

Fig. 2 に示した。両区とも致死直後からその値は徐々に低下し、致死後 18 時間でほぼ最低値に達した後はほとんど変化しなかった。対照区と脱血区の値を比較すると、脱血区の方がわずかに低い値で推移する傾向が認められたが、有意差は認められなかった。筋肉中の ATP 含量は対照区と脱血区との間に全く差がない状態で推移し、両区とも致死後 12 時間ではほぼ 0 になった (Fig. 3)。クレアチンリン酸含量の経時変化は ATP の変化とよく類似していた。致死後 6 時間の値のみは脱血区の方が低値の傾向であったが、それ以外は両区ともほぼ同じ値で、ATP と同様致死後 12 時間で消失した (Fig. 4)。ATP とその分解物から計算した *K* 値の致死後 7 日目までの経時変化を Fig. 5 に示した。致死後 3 日目以降は脱血区の方が有意差はないものの、低い値で推移し、生食が可能とされている 20% に達するまでの時間は脱血区の方がわずかではあるが長かった。

Fig. 3. The effect of bleeding on changes in the ATP concentration in the dorsal muscle of horse mackerel during ice storage. Refer to the legend of Fig. 1 for details.

Fig. 4. The effect of bleeding on changes in the creatine phosphate concentration in the dorsal muscle of horse mackerel during ice storage. Refer to the legend of Fig. 1 for details.

Fig. 5. The effect of bleeding procedure on changes in the K-value in the dorsal muscle of horse mackerel during ice storage. Refer to the legend of Fig. 1 for details.

考 察

魚体の死後変化を遅らせ、活きのよい状態を長時間保つための致死方法として、延髄刺殺による即殺法が生産現場において広く行われており、実験的にもこの方法が温度ショックや苦悶によって致死させたときに比べて、硬直の進行や筋肉中のエネルギー代謝関連物質、あるいは筋肉破断強度に対してそれらの変化速度を遅くするのに適切であるということが明らかにされている。¹⁻³⁾ 最近の研究においては、延髄刺殺よりさらに死後変化を遅くする方法についての検討がなされている。Nakayama *et al.*¹²⁾は、マダイを用いて、延髄刺殺を行った後に脊髄破壊を行ったところ、硬直の進行が遅れ、筋肉中の貯蔵初期のATPの含量、pH値、および破断強度が高く、貯蔵中のこれらの変化も緩やかであったとしている。また、Ando *et al.*¹³⁾は脊髄破壊の効果は魚種によって異なるが、ブリとマダイについては最高硬直への到達が遅れ、ATPの消失も遅延したとしている。一方、最近我々もマアジを用いた実験で、首折りによって魚を即殺させた場合にも延髄刺殺によって即殺させたときより、死後変化を遅らせることができることを明らかにした。¹⁴⁾

延髄刺殺に加えて脱血を行うことは、死後変化を遅らせることを目的として生産現場でもしばしば行われている。魚体の死後変化に及ぼす脱血の影響については、こ

れまでほとんど研究がなされていない。最近安藤¹⁵⁾は、数種の魚種を対象として脱血の魚肉の軟化に及ぼす影響を報告している。その結果、マダイ、ヒラメ、およびメジナにおいては、脱血を行っても筋肉軟化の遅延現象は認められなかったが、ブリ、マアジ、およびシマアジにおいては明らかに筋肉の軟化が遅れ、その理由として、回遊魚の血液中にコラーゲン繊維の崩壊を引き起こす何らかの物質が含まれている可能性を推測している。今回の我々の結果からは、筋肉破断強度の経時変化は対照区と脱血区との間に顕著な差が認められず、安藤が述べた結果とは異なっていた。安藤ら^{2,3)}の実験条件は、延髄刺殺単独の場合に出血を防止しているが、今回の我々の実験においては、生産現場で行われている方法をそのまま用いたために、延髄刺殺単独区に対して特に出血防止などの操作を行わず、脱血区の方が出血量は明らかに多かったものの、延髄刺殺単独区においてもある程度の出血が認められた。このことが安藤らの結果と異なり、筋肉破断強度に対する影響を小さくしていた一つの可能性として考えられるが、明確な原因は明らかではない。

今回の実験においてエネルギー代謝関連物質の変化に対してはK値に対する影響以外、脱血の影響はほとんどないものと考えられたが、効果が最も顕著であったのは死後硬直の進行の遅延であった。流通現場においては、硬直の程度は魚の価格を決定するために最も大きな影響を与える因子の一つであり、完全硬直に達する前の魚は高価で取り引きされるといわれている。¹⁶⁾ 一般に、ATPの分解が死後硬直を促進し、その濃度が $1\mu\text{mol/g}$ 以下になると完全硬直に達するとされている。¹⁷⁾ 今回の結果は対照区と脱血区との間でATP量やクレアチンリン酸量には全く差が認められなかったにも関わらず、硬直の進行は脱血区の方が明らかに遅くなっており、これまでの知見からは説明できない現象であった。しかしながら、筋肉中のATP残存量と硬直の進行との関係は必ずしも一定ではない。たとえば、致死後の貯蔵温度の影響についてマダイを用いた研究結果⁴⁾では、 10°C で貯蔵した場合には、筋肉中のATPがまだ相当量残っているにも関わらず、完全硬直に達したことが報告されている。また、マサバにおいても完全硬直に達したときに、筋肉中のATP量は $5\mu\text{mol/g}$ 程度残存していたという報告¹⁸⁾もある。さらに、マサバを用いた我々の実験⁴⁾においてもATPの残存量が多い実験区の方が死後硬直の進行が速かったという現象を観察している。

¹²⁾ 安藤正史, 西蔵篤司, 鎌形明緒, 伊藤久実子, 中川孝之, 牧之段保夫: 平成6年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 1994, p. 178.

¹³⁾ 安藤正史, 西蔵篤司, 鎌形明緒, 伊藤久実子, 中川孝之, 牧之段保夫: 平成7年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 1995, p. 295.

¹⁴⁾ 望月 聡, 上野洋子, 佐藤公一, 樋田宣英: 平成9年度日本水産学会春季大会講演要旨集, 1997, p. 209.

脱血がATPの分解速度を変えことなく硬直を遅らせた原因については明らかではないが、硬直の進行速度は、先に述べたように筋肉中のATPの残存量のみでは説明がつかず、他にも何らかの要因が関わっているものと考えられる。このことについては、今後の興味ある検討課題である。また、脱血がわずかではあるがK値の上昇を抑制することについてもその理由については今後検討すべき課題であると考えられるが、本研究の結果から、延髄刺殺に加えて脱血を行うことは、マアジの死後硬直をより遅延させ、魚の商品価値を高めるための有効な手段の一つになり得るものと考えられた。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、分析について数々の便宜を図っていただきました大分県産業科学技術センター食品工業部の職員の皆様、およびマアジをご提供いただきました大分県鶴見町漁業協同組合に深い感謝の意を表します。また、実験にご協力をいただきました当研究室の植木理加さんに感謝いたします。

文 献

- 岡 弘康, 大野一仁, 二宮順一郎: 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. 日本誌, **56**, 1673-1678 (1990).
- 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, **60**, 125-130 (1994).
- 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, **62**, 453-457 (1996).
- 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, **51**, 443-446 (1985).
- 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, **56**, 93-99 (1990).
- H. Abe and E. Okuma: Rigor-mortis progress of carp acclimated to different water temperatures. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 2095-2100 (1991).
- S. Watabe, G.-C. Hwang, H. Ushio, and K. Hashimoto: Changes in rigor-mortis progress of carp induced by temperature acclimation. *Agric. Biol. Chem.*, **54**, 219-221 (1990).
- G.-C. Hwang, H. Ushio, S. Watabe, M. Iwamoto, and K. Hashimoto: The effect of thermal acclimation on rigor mortis progress of carp stored at different temperature. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 541-548 (1991).
- 尾藤方通, 山田金次郎, 三雲泰子, 天野慶之: 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 (1983).
- M. Ando, H. Toyohara, Y. Shimizu, and M. Sakaguchi: Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 1165-1169 (1991).
- G. W. Snedecor and W. G. Cochran: Statistical Methods, 6th Ed., Iowa State University Press, Ames, IA, 1967.
- T. Nakayama, T. Toyoda, and A. Ooi: Delay in rigor mortis of red sea-bream by spinal cord destruction. *Fisheries Sci.*, **62**, 478-482 (1996).
- M. Ando, A. Banno, M. Haitani, H. Hirai, T. Nakagawa, and Y. Makinodan: Influence on post-mortem rigor of fish body and muscular ATP consumption by the destruction of spinal cord in several fishes. *Fisheries Sci.*, **62**, 796-799 (1996).
- 望月 聡, 前野久美子, 栗田嘉子: 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, **63**, 377-380 (1997).
- 安藤正史: 魚類筋肉の死後における軟化機構に関する研究. 日本誌, **62**, 555-558 (1996).
- 田中武夫: 流通条件と市場価格. 「魚類の死後硬直」(山中英明編), 恒星社厚生閣, 東京, 1991, pp. 103-116.
- 渡部終五: 死後硬直と解硬の生化学. 「魚類の死後硬直」(山中英明編), 恒星社厚生閣, 東京, 1991, pp. 9-20.
- S. Watabe, H. Ushio, M. Iwamoto, M. Kamal, H. Ioka, and K. Hashimoto: Rigor-mortis progress of sardine and mackerel in association with ATP degradation and lactate accumulation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 1833-1839 (1989).