

第2章 長崎近海で漁獲されたマアジ筋肉の死後変化に及ぼす保存温度と致死条件の影響

2-1 緒言

死後変化の進行を遅らせて味やテクスチャーの良い魚を消費者に供給することは重要な課題である。魚類の死後変化に影響する要因には、保存温度や致死条件などがあり、多くの研究が行われている。

(49,51,52,55,56,61-63)

死後変化に及ぼす保存温度の影響について、岩本ら⁴⁹⁾は、ヒラメのATPの減少や死後硬直の進行は0℃や20℃に比べて5~15℃が緩慢であるが、15℃では鮮度の保持が困難であり、5℃と10℃の保存温度が最も適当であると報告した。望月ら⁵⁵⁾は、マサバでは5℃が最適な保存温度であることを報告した。その理由はエネルギー関連物質や死後硬直の変化は0℃や-3℃に比べて5℃と10℃が遅いが、5℃の方が10℃より鮮度と破断強度の低下が遅いことによった。これらの結果のように、死後変化を遅らせると共に、鮮度低下を抑制する保存温度の設定がいくつかの魚種で明らかにされてきている。

死後変化に及ぼす致死条件の影響について、延髄刺殺は苦悶死に比べるとエネルギー関連物質の変化が遅く、死後硬直も遅いことが多い魚種で^{51,52,56)}確認されており、延髄刺殺は広く用いられている致死方法である。一方、Nakayamaら^{62,63)}は、マダイを用いて、延髄刺殺より、脊髄破壊をすると死後変化をさらに遅らせることを示した。さらに安藤ら⁶¹⁾も、脊髄破壊がブリやマダイの死後硬直を遅らせるのに有効であったがヒラメでは効果がなかったことを報告している。これらの報告のように、いくつかの魚種では脊髄破壊が

魚の死後変化を遅らせる有効な方法であると認められている。しかしながらその有効性が検討されていない魚種も多い。

長崎県近海の五島灘でとれる大型のマアジは、体色の美しさと食味の良さから高級魚としてブランド化され、生で消費するための生鮮魚として利用されている。この評価をさらに高めるためには、死後変化の進行をできるだけ遅らせた高品質の魚を消費者に供給することが重要である。本研究では、この長崎産のマアジの死後変化を遅らせるのに有効な保存温度や脊髄破壊を含めた致死条件の影響を検討した。

2-2 試料及び方法

2-2-1 材料

長崎近海の五島灘で漁獲されたマアジを研究室に搬入し、一夜安静にさせた後、実験に用いた。

実験は種々の保存温度における死後変化を検討した保存温度実験と種々の致死条件における死後変化を検討した致死条件実験の2つの実験項目で行った。

2-2-2 保存温度実験

試料魚は延髄を切断して殺した後、すぐに脊髄を破壊した。脊髄破壊は延髄を切断した部分から脊柱にピアノ線を挿入して行った。魚体はポリエチレン袋に入れて恒温水槽（5℃、10℃、15℃）に入れるか、氷をつめたアイスボックス（0℃）に保存した。経時的に試料魚より背部普通筋を採肉して、ATP 関連化合物、乳酸、破断強度の測定に用いた。

2-2-3 致死条件実験

試料魚は4つの方法で致死させた。すなわち延髓を切断して、血抜きを行う方法（即殺）。試料魚を空気中に10分間放置して暴れさせた後、延髓を切断する方法（苦悶死）。氷を入れて冷却した海水に試料魚を10分間入れた後、延髓の切断と血抜きをする方法（温度ショック）、延髓を切断して血抜きをした後、脊髄を破壊する方法（脊髄破壊）であった。保存温度は、前述の保存温度実験の結果で最適であると考えられた10℃を全ての致死条件において用いた。致死条件実験におけるATP関連化合物、乳酸、破断強度の測定のための試料魚の取り扱いには保存温度実験と同様であった。

2-2-4 ATP関連化合物の測定

ATP関連化合物は、Ehiraらの方法⁸⁷⁾に従って背部普通筋1gから過塩素酸により抽出した。これをpH6.4に中和した。この試料を用いて、榎本らのHPLC法²⁹⁾で分析した。

2-2-5 乳酸の測定

乳酸は、ATP関連化合物と同様にして抽出した。その試料はpH3.5に中和し、酵素法⁸⁸⁾で分析した。

2-2-6 破断強度の測定

破断強度は経時的に採取した背部普通筋をマイクロトームの刃で1cm³の立方体に整形し、この試料の筋繊維の走る方向に対して、垂直に円柱プランジャー（直径5mm）を挿入後、レオメーターRE-3305を用いて測定した。クリアランスと試料台の上昇速度はそれぞれ

3mm および 1 mm/s であった。

2-3 結 果

2-3-1 保存温度実験における死後変化

Fig.1 に示すように即殺時点の ATP 含量は、いずれの保存温度も $6 \mu\text{mol/g}$ 以上の高いレベルにあった。0℃, 5℃, 15℃ 保存では 6 時間までは ATP 含量はほぼ一定であったが、6 時間以後急速に減少した。その低下速度は 0℃ が著しく速く 12 時間で $1 \mu\text{mol/g}$ 以下になり、次いで 5℃ と 15℃ は 18 時間後に $1 \mu\text{mol/g}$ 以下になった。他方、10℃ 保存の ATP 含量はゆっくりと減少し、24 時間後に $1 \mu\text{mol/g}$ になった。

Fig.2 に示したように即殺時点の IMP 含量は、いずれの保存温度も $1 \mu\text{mol/g}$ 以下の低いレベルにあった。IMP の経時的な上昇速度は 0℃ が最も速く、次いで 5℃ と 15℃ で、10℃ 保存が最も遅かった。この順位は、先の ATP 含量の経時変化の速度によく対応していた。

魚肉保存中の K 値の経時変化を Fig.3 に示した。K 値は 0℃, 5℃, 10℃ 保存ではいずれも著しくゆっくりと変化し 24 時間後でも約 3% であった。48 時間後では K 値は 10℃ が 5℃ と 0℃ よりやや大きくなった。一方、15℃ 保存は他の保存温度に比べて急速に K 値が上昇し、48 時間後には 20% をこえて生食に適さない状態になった。上記の結果より 10℃ 以下の保存温度であれば、24 時間までは著しく良好な鮮度を維持できると考えられた。

Fig.4 に示すように、即殺時点の乳酸量には保存温度による違いはほとんどなかった。乳酸量の増加速度は、15℃ と 0℃ 保存が最も速く、次いで 5℃ 保存で、10℃ 保存が最も遅かった。この結果から、

グリコーゲンの減少は 10℃ 保存において最も遅いことが推測された。

Fig.5 に示すように、破断強度はいずれの保存温度でも経時的に減少し、24 時間後には最小レベルに達した。破断強度はほとんどの保存時間で 0℃ と 15℃ より 5℃ と 10℃ が高い傾向にあった。特に、保存時間の 9~24 時間では、その差異が明らかであった。

保存温度実験の結果より、長崎近海の五島灘産のマアジでは、死後のエネルギー関連物質の低下と鮮度の低下を遅らせるには 10℃ 保存が最適であろうと考えられた。

2-3-2 致死条件実験における死後変化

Fig.6 に示すように ATP 含量は、即殺時においては苦悶群が $5 \mu\text{mol/g}$ 以下の低いレベルにあったが、他の致死条件はいずれも $6 \mu\text{mol/g}$ 以上の高いレベルにあった。ATP 含量の低下は、苦悶群が著しく速く、死後 3 時間で $1 \mu\text{mol/g}$ 以下になったが、即殺と温度ショック群はゆっくりと減少し、12 時間後に $2 \mu\text{mol/g}$ になった。脊髄破壊群は最も遅く、24 時間後に $1 \mu\text{mol/g}$ 以下になった。

Fig.7 に示すように即殺時の IMP は、苦悶群が $3 \mu\text{mol/g}$ 以上で高かったが、他の群は低かった。IMP の上昇速度は、苦悶群、温度ショック群と即殺群、脊髄破壊群の順で遅くなった。この順位は ATP 含量の分解速度の結果における順位ととてもよく対応していた。

(Fig.6)

各致死条件の K 値の経時変化を Fig.8 に示した。K 値の上昇速度は苦悶群、温度ショック群と即殺群、脊髄破壊群の順に遅くなり、IMP の増加速度の結果に呼応した。脊髄破壊群は、24 時間後におい

ても K 値約 2%, 48 時間後でさえも 10%と極めて低かった。

Fig.9 に示すように即殺時点の乳酸量は, 苦悶群が他の群よりいくぶん高いレベルにあった。乳酸の生成速度は, 脊髓破壊群が他の致死条件に比べて著しく遅かったが, その他の群間にはあまり明らかな差が見られなかった。この結果より, グリコーゲンの減少は脊髓破壊群が他の群よりとても遅いことが推測される。

Fig.10 に示すように破断強度は死後, 徐々に低下し, いずれの致死条件でも約 24 時間でほぼ最低値になった。即殺直後を除いた死後の保存時間において, 破断強度は即殺群と脊髓破壊群が苦悶群, 温度ショック群より大きかった。しかし, 脊髓破壊群と即殺群の間にはほとんど差はみられなかった。

以上の致死条件実験の結果より, エネルギー関連物質の低下などの死後変化や, 鮮度低下を遅らせるには, 脊髓破壊が最も有効な致死方法であると考えられた。

2-4 考 察

長崎近海産マアジの死後変化を遅延させる保存温度を調べるために, 保存温度実験を行った。これまでの研究によれば, 岩本ら^{45,48,89)}が, マダイ, ブリ, ヒラメ, マゴチ, イシダイにおいては, 0℃より 10℃保存の方が死後硬直進行や ATP 分解が遅くなることを報告している。この現象を実際に利用する方法として, 田中は⁹⁰⁾マダイやヒラメを市場に流通させる時に 0℃よりも 10℃で保存することを提案した。彼は死後硬直を遅らせて死後硬直前の魚を市場に供給できれば活魚と同等の市場での評価を得るであろうと述べている。本研究のマアジにおいても, 0℃より 10℃保存の方が, ATP, ADP, AMP や

乳酸のようなエネルギー関連物質の変化が遅く、死後硬直の進行が遅いことが推測され、岩本の報告とも一致している。一方、望月ら⁵²⁾はマアジの 0℃と 8℃保存において、エネルギー関連物質の変化が 0℃より 8℃が遅かったが、死後硬直による差が小さかったことを報告している。すなわち、死後におけるエネルギー関連物質の変化速度の違いが、死後硬直の進行速度に影響する程度は魚種で異なり、マアジは比較的小さい魚種であることを推論している。本研究では死後硬直については魚体数の関係などから検討をしていない。従って、この点については明らかではないが、10℃保存は他の温度に比べて明らかにエネルギー関連物質の変化が遅いので、その程度の大小はあっても死後硬直も遅いと推測される。

保存温度と鮮度低下の関係についてみると、マアジの K 値の変化は保存温度が高くなるほど大きくなる傾向にあり、マダイ⁴⁵⁾、ヒラメ⁵⁰⁾などの魚種にも同様に認められている。しかしながら、0℃、5℃、10℃の保存温度における K 値の変化は極めて小さく、24 時間後では約 3%を呈し保存温度間ではほとんど変わらなかった。すなわち、10℃保存は 0℃と同じように 24 時間までほとんど鮮度低下をおこさないと考えられた。一方、山中ら⁹¹⁾は、ヒラメにおいて 2 段階の保存温度のコントロールを提案した。それは、第一段階として硬直を遅延させるために完全硬直までは 5℃もしくは 10℃に保持し、その後の第二段階は鮮度低下を遅らせるために 0℃に保存する方法である。本研究のマアジにおいても、24 時間後には ATP 量がほぼ消失しており、完全硬直に達していることが推測されることから、24 時間以後は 0℃保存に切り替えることが鮮度低下を遅らせるために最適であると考えられる。

死後変化における筋肉の硬さについて、マアジ筋肉の破断強度は 0℃や 15℃より 5℃や 10℃が高いレベルで維持された。望月ら⁵⁵⁾はマサバにおいて、5℃保存が 0℃や 10℃より明らかに破断強度が高いレベルに維持されると共に、K 値の変化においても 5℃保存は 10℃よりゆっくりであることを報告した。マサバにおいて 10℃保存が硬さの維持に効果的でないのは、マサバが著しく鮮度低下の早い魚種であることよると思われる。いずれにせよ、本研究のマアジでは 5℃と 10℃は歯ごたえの維持の点で共に望ましい温度と思われた。

以上の保存温度実験の結果から、長崎近海産のマアジの死後変化を遅らせるのに最も望ましい保存条件は、約 24 時間後までは 10℃に保存し、その後は 0℃に保存することであると考えられた。

魚の致死条件について、Ando らは⁶¹⁾ヒラメでは効果がなかったが、マダイやブリでは脊髄破壊が延髄刺殺に比べて ATP の消費や硬直指数の変化を遅らせる有効な方法であることを報告している。マアジにおいても、脊髄破壊は ATP の消費などの死後変化を遅らせる有効な方法であることがわれわれの研究で示された。望月ら⁵⁵⁾はマアジの致死方法として、首折れが延髄刺殺よりも ATP などのエネルギー関連物質や硬直指数の変化を遅らす上で有効であることを報告している。首折れは脊髄の部分的な破壊であることが考えられる。すなわち、本研究の脊髄破壊が、死後変化の遅延に有効であったことは彼らの見解を支持していると思われる。ところで、彼らは K 値の変化には延髄刺殺と首折れで差が無かったことを報告しているが、われわれの研究では、脊髄破壊は K 値の低下を遅らせる上でも有効であった。この点において、マアジの首折れと脊髄破壊の結果の間に違いが認められた。いずれにせよ、簡便である点で首折れも優れ

たマアジの致死方法であるので、致死方法は魚の用途や状況に応じて選択すべきであろう。

他方、魚肉の軟化を遅らせる方法として、安藤ら⁹²⁾は、脱血が回遊性の魚種であるブリ、マアジ、シマアジについては軟化を遅延する効果があり、底生性の魚種であるマダイ、ヒラメ、メジナについては軟化の遅延効果が認められなかった事を報告している。望月ら⁵⁴⁾も脱血がマアジの死後変化を遅らせることを報告している。すなわち、彼らの研究からマアジにおいては脱血が死後変化を遅らせるのに有効であることは明らかである。

本研究で用いた長崎近海の五島灘の瀬付きのマアジは、その黄金色に近い体色の美しさと食味の良さが認められ、「ごんあじ」と称されブランド化された魚の一つになった。近年は、多くの魚種で新たなブランド魚の創出が盛んであり、低迷する魚価を回復する重要な方策にもなっている。しかし、新しいブランド魚が高級魚としての地位を築くには、より良い品質の魚を消費者に届けることが重要である。そこで、魚種やその利用方法に応じた最適な保存方法や致死条件を明らかにすることが重要であると考えられる。本研究の長崎近海産のマアジにおいては、死後変化を遅らせるために最も良い条件は、脊髄破壊と血抜きをした後に約24時間後まで10℃で保存し、その後は0℃で保存する方法であろうと考えられた。

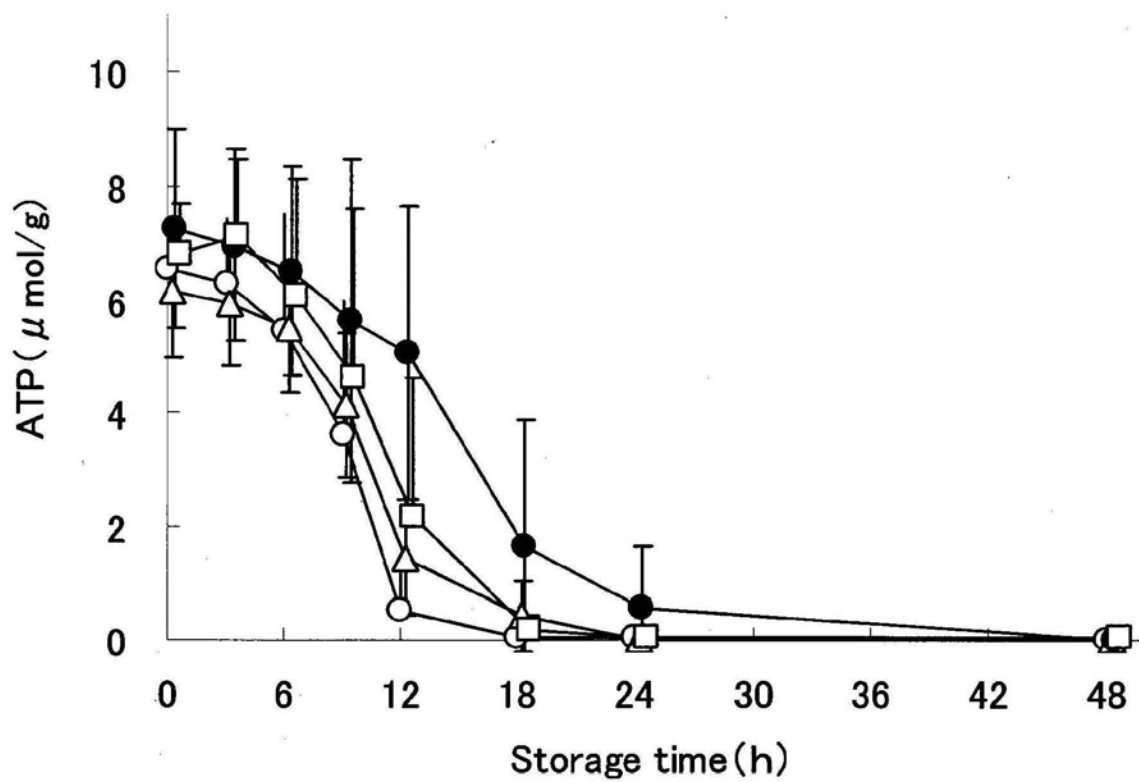


Fig. 1 The effect of storage temperatures on the ATP concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ : 0°C, Δ : 5°C, \bullet : 10°C, \square : 15°C

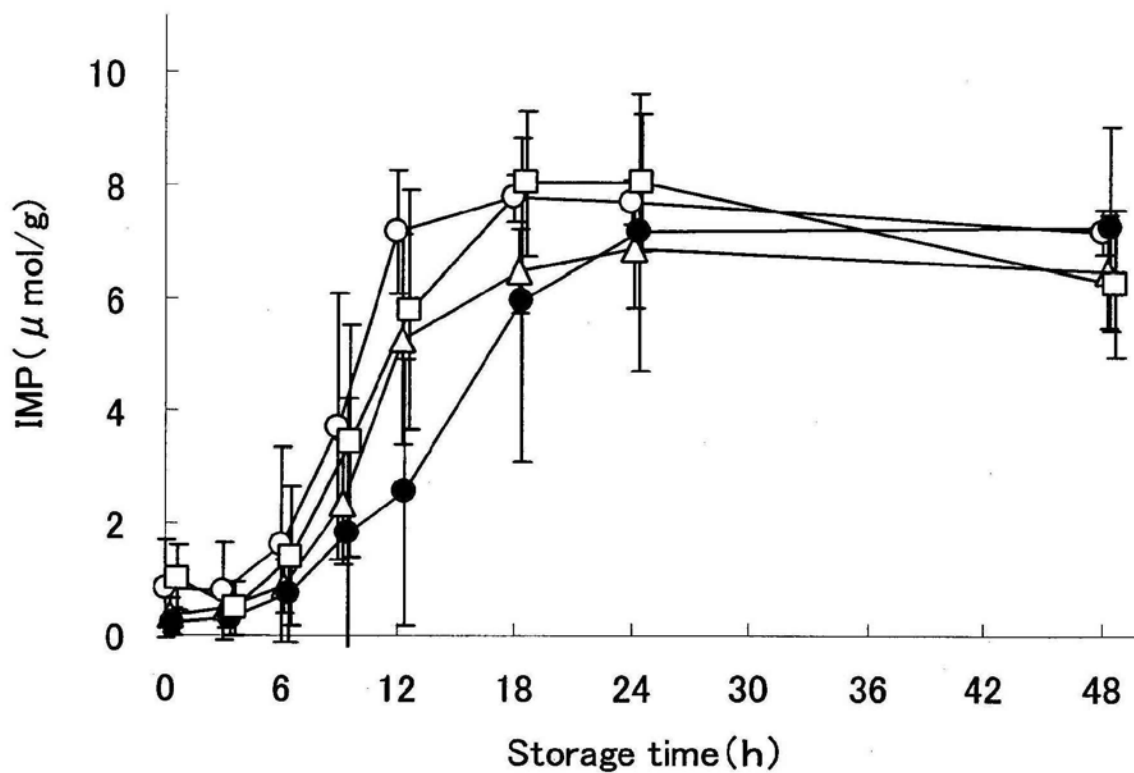


Fig. 2 The effect of storage temperatures on the IMP concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ : 0°C, \triangle : 5°C, \bullet : 10°C, \square : 15°C

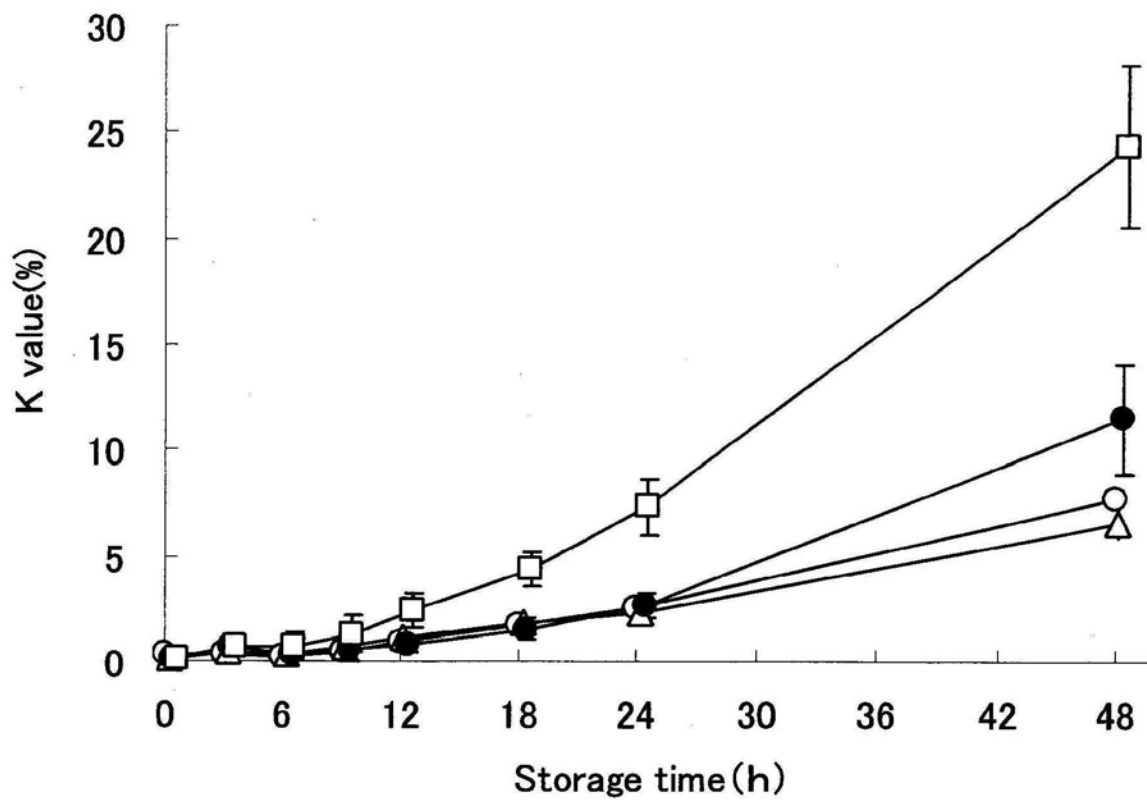


Fig. 3 The effect of storage temperatures on the K value of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4).
 ○:0°C, △:5°C, ●:10°C, □:15°C ▲:20°C

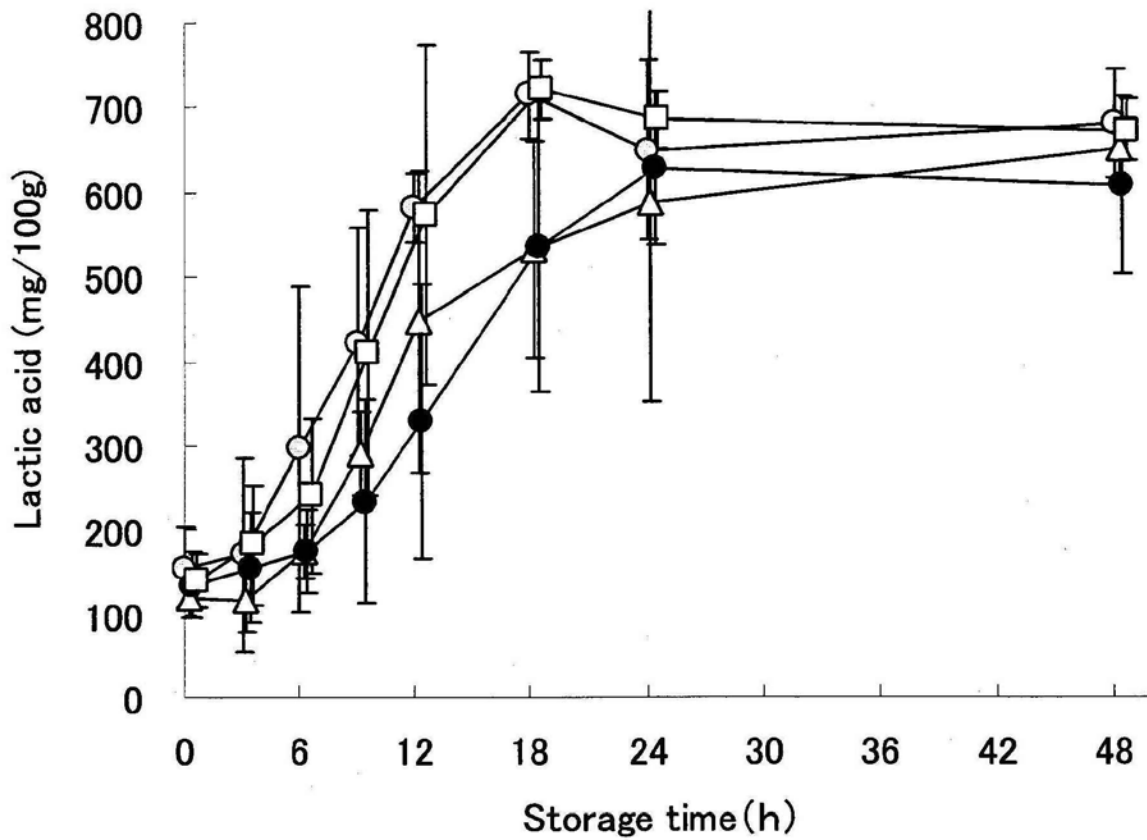


Fig. 4 The effect of storage temperatures on the lactic acid concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ : 0°C, Δ : 5°C, \bullet : 10°C, \square : 15°C \blacktriangle : 20°C

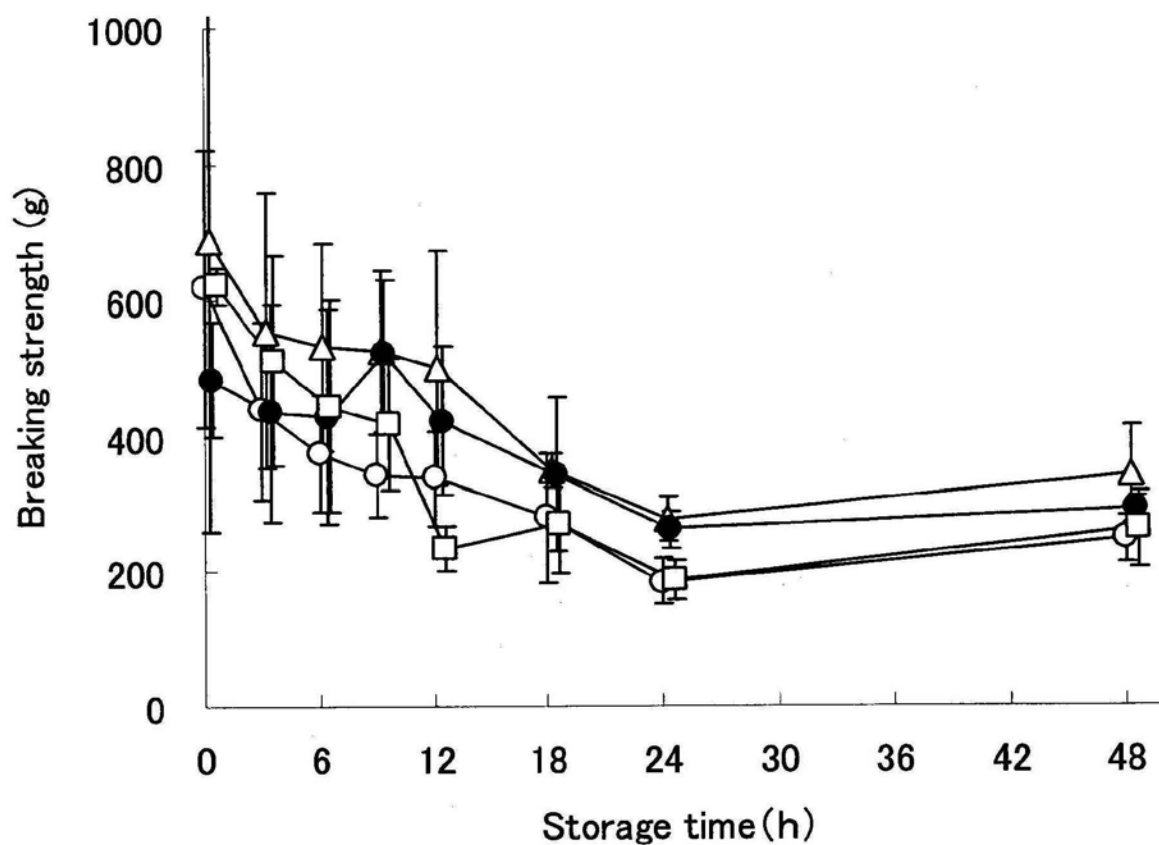


Fig. 5 The effect of storage temperatures on the breaking strength of muscle in the horse mackerel. (a):summer (b):winter Data are mean \pm S.D. (n=4). ○:0°C, △:5°C, ●:10°C, □:15°C ▲:20°C

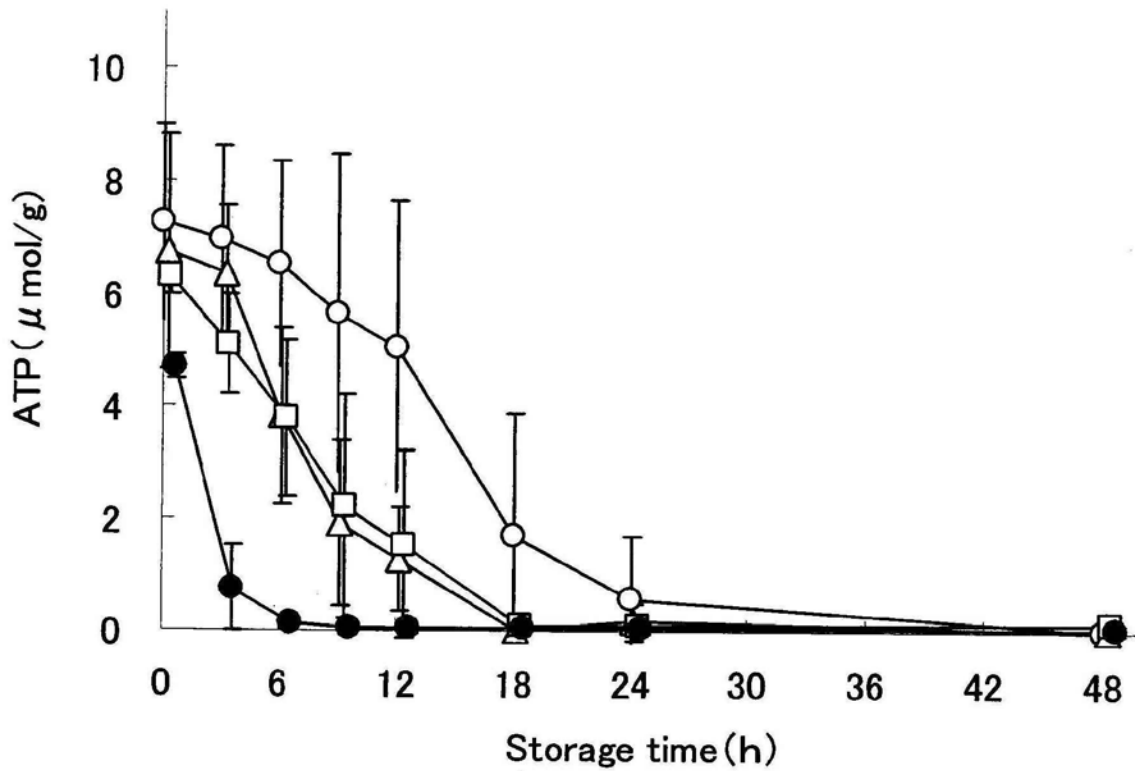


Fig. 6 The effect of killing procedures on the ATP concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). O : destroying the spinal cord (spinal cord destruction killing), Δ : cutting the brain (instant killing), \square : dipping in cold sea water (temperature shocked killing), \bullet : leaving in the air (struggled killing)

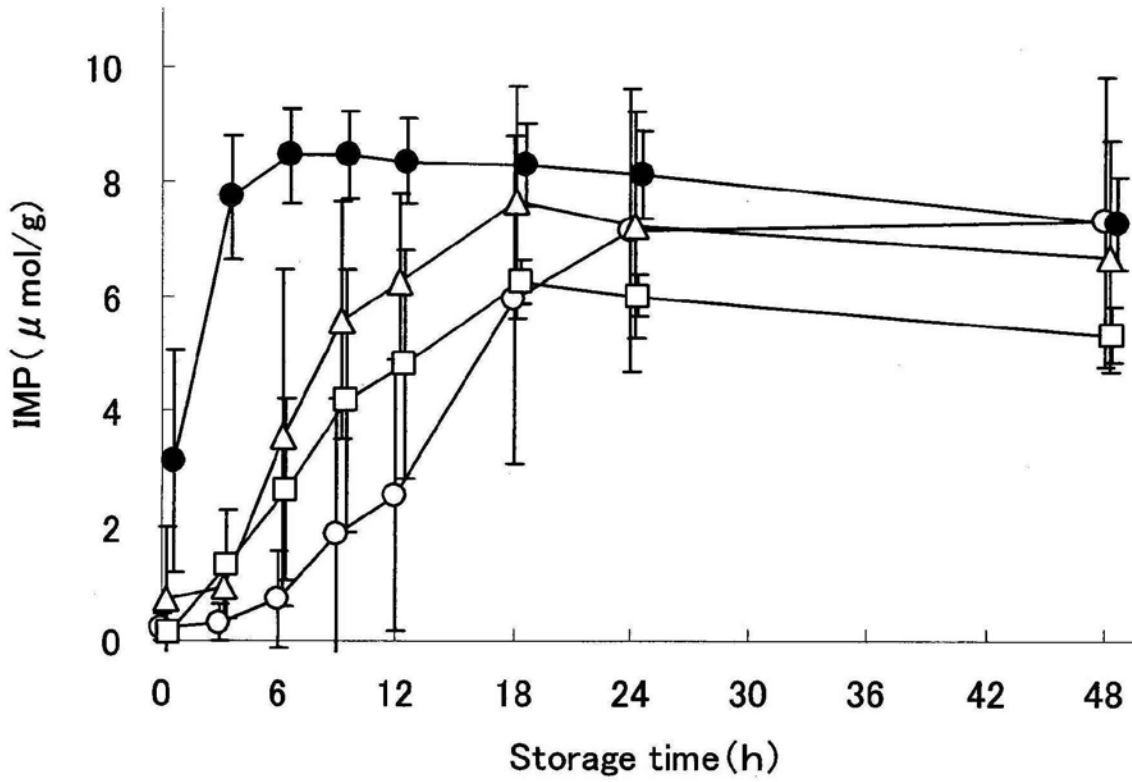


Fig. 7 The effect of killing procedures on the IMP concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: spinal cord destruction killing, △: instant killing, □: temperature shocked killing, ●: struggled killing

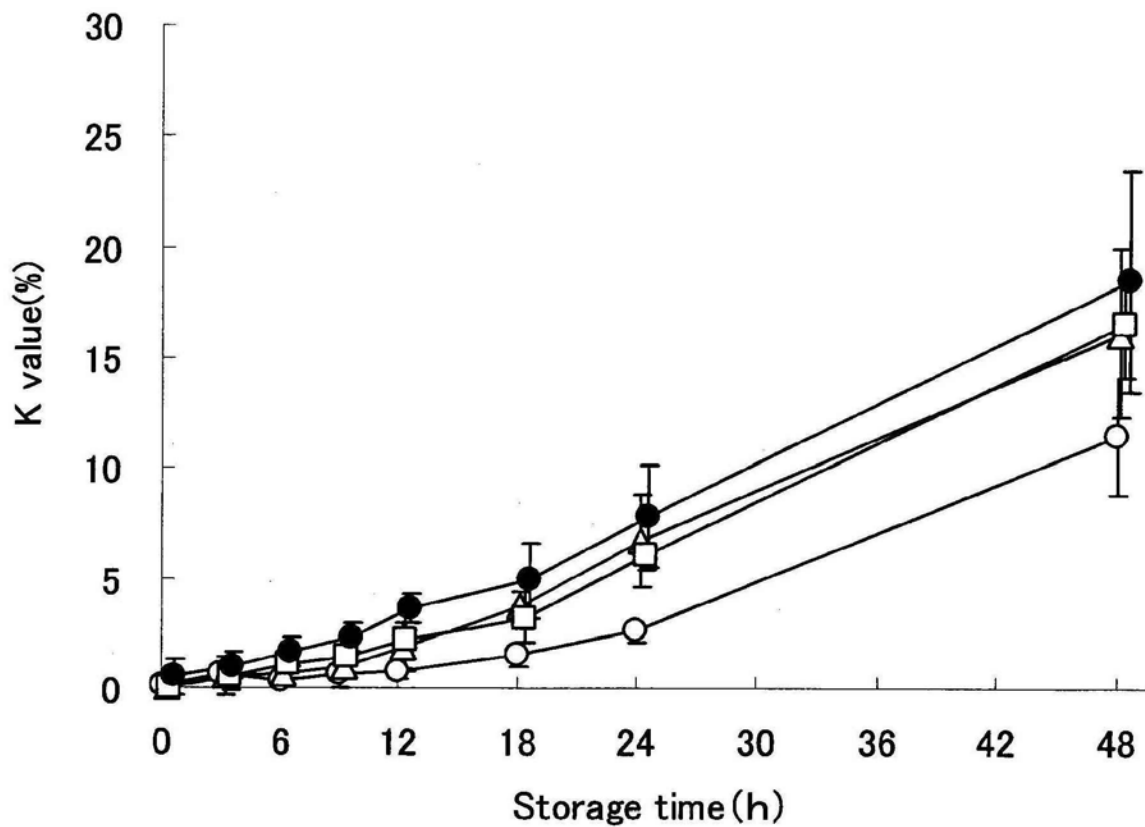


Fig. 8 The effect of killing procedures on the K value of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4).
 ○ : spinal cord destruction killing, △ : instant killing,
 □ : temperature shocked killing, ● : struggled killing

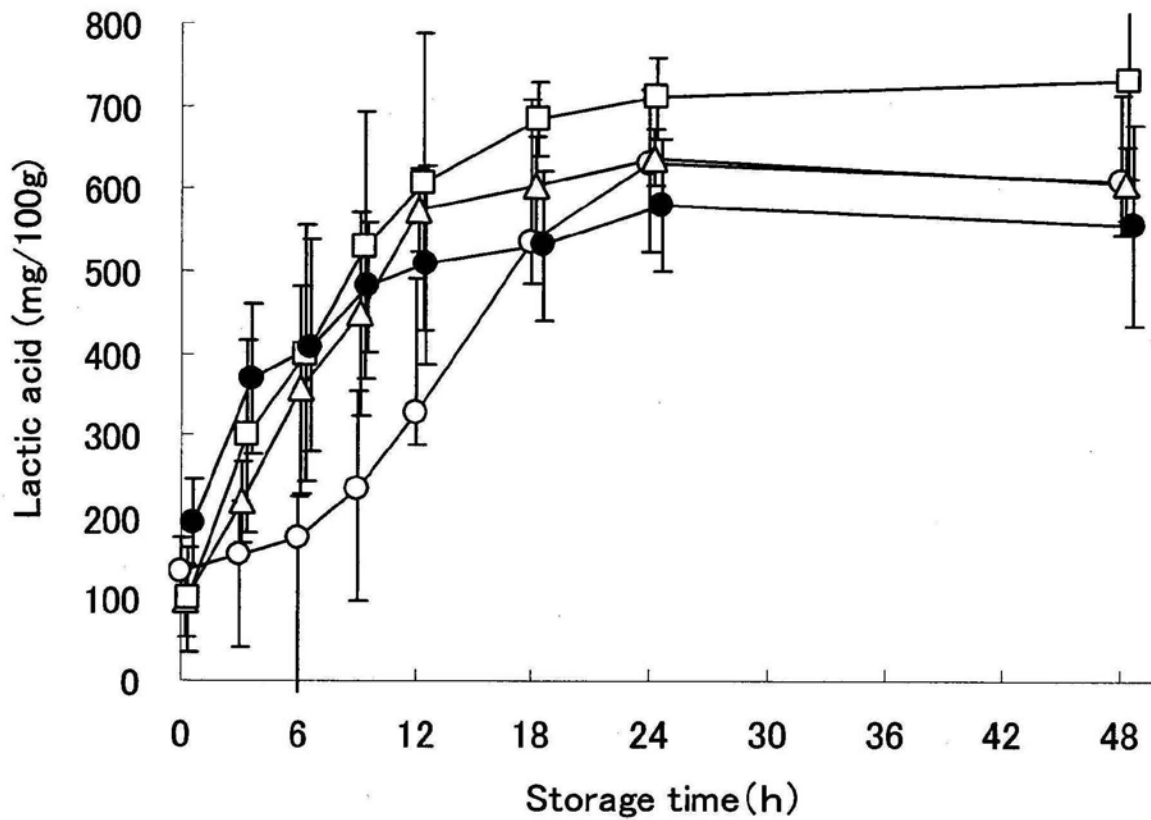


Fig. 9 The effect of killing procedures on lactic acid concentration of muscle in horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○ : spinal cord destruction killing, △ : instant killing, □ : temperature shocked killing, ● : struggled killing

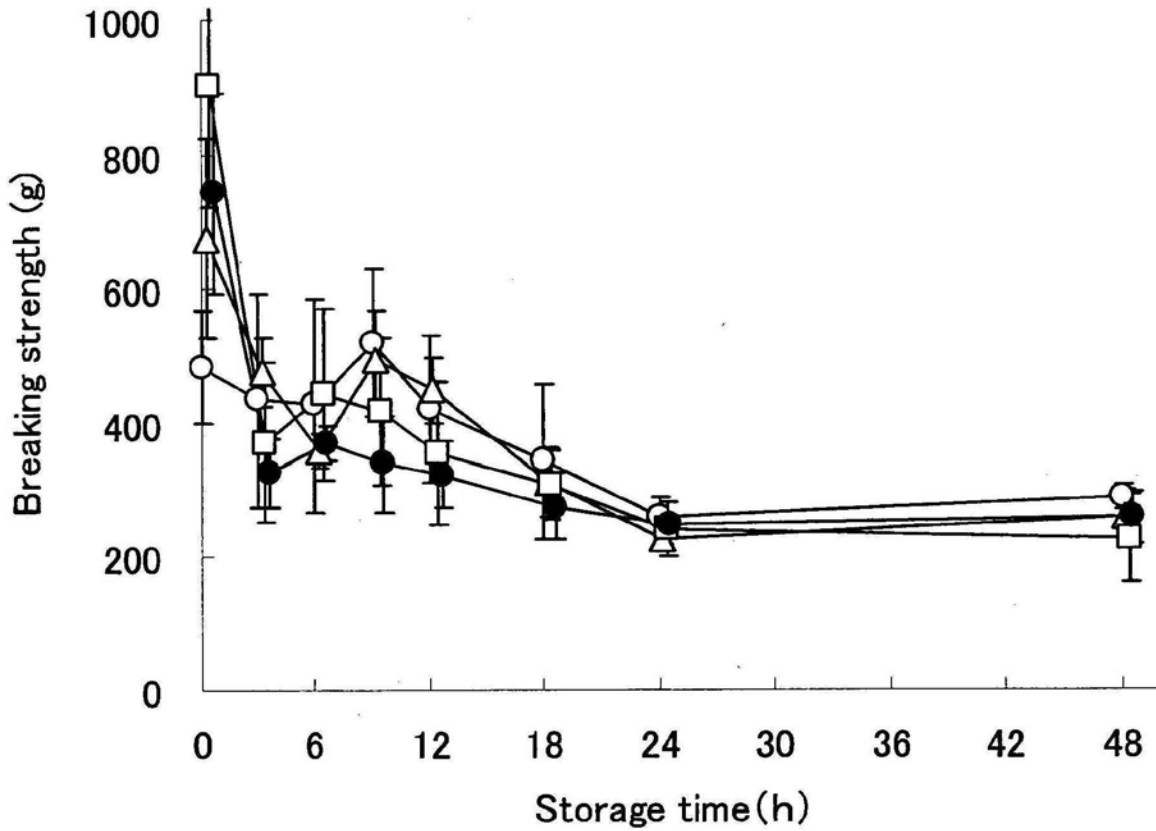


Fig. 10 The effect of killing procedures on the breaking strength of muscle in horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○ : spinal cord destruction killing, △ : instant killing, □ : temperature shocked killing, ● : struggled killing