

養殖ブリ属（ブリ，カンパチおよびヒラマサ）血合筋の保存中における肉色変化の比較

ランニングタイトル：養殖ブリ属血合筋の肉色変化の比較

梁 佳，¹肖 寧，²谷 渉，²吉田朝美，¹新井博文，²竹下哲史，¹濱田友貴，¹村田昌一，³谷山茂人，¹橘 勝康^{1*}

¹長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科，²長崎大学大学院生産科学研究科，
³（独）水産総合研究センター中央水産研究所

The comparison of color change of dark muscle in cultured *Seriola* Cuvier (yellowtail, greater amberjack and goldstriped amberjack) during storage

JIA LIANG,¹ NING XIAO,² WATARU TANI,² ASAMI YOSHIDA,¹ HIROFUMI ARAI,² SATOSHI TAKESHITA,¹ YUKI HAMADA,¹ MASAKAZU MURATA,³ SHIGETO TANIYAMA,¹ AND KATSUYASU TACHIBANA^{1*}

¹*Laboratory of Fishery Nutritional Science, Graduate School of Fisheries Sciences & Environmental Studies, Nagasaki University, Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521,*

²*Laboratory of Fishery Nutritional Science, Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, ³National*

Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Fukuura, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan

*Tel: 81-95-819-2837. Fax: 81-95-819-2837. E-mail: orange@nagasaki-u.ac.jp

和文要旨

養殖ブリ属（ブリ，カンパチおよびヒラマサ）血合筋の保存中における肉色変化の比較

梁 佳（長大院水環），肖 寧，谷 渉（長大院生産），吉田朝美（長大院水環），新井博文（長大院生産），竹下哲史，濱田友貴（長大院水環），村田昌一（水研セ中央水研），谷山茂人，橘 勝康（長大院水環）

ブリ属 3 種の保存中における血合筋の肉色変化を比較検討した。各魚種を即殺後，23℃と 4℃で保存したところ，カンパチ，ヒラマサよりブリ血合筋の a^* 値は大きく減少し，肉眼的変化も早かった。各魚種の L^* 値と b^* 値には明瞭な変化の違いを認めなかった。ブリ血合筋ミオグロビンのメト化の進行と過酸化脂質の上昇は他 2 種より顕著であった。ブリのミオグロビン含量は他 2 種と比較して低く，ビタミンCは中位に，ビタミンEは少ない傾向にあった。ブリ血合筋の褐変進行が速いのは，ビタミンE含量の多寡が影響する可能性が考えられた。

キーワード：過酸化脂質，感覚色度，カンパチ，血合筋，肉色変化，ヒラマサ，ミオグロビン，養殖ブリ属

英文要旨

The dark muscle of cultured *Seriola* Cuvier (yellowtail, greater amberjack, goldstriped amberjack) were studied for the purpose of comparing color change of dark muscle during storage at 23°C and 4°C. The color value (L^* , a^* and b^*), metmyoglobin (MetMb) formation and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) formations were measured during storage, respectively. Furthermore, the contents of myoglobin, vitamin C and vitamin E of dark muscle in three species were also measured just after killing. The decreasing of a^* value and the highly relative absorbance ratio by MetMb formation, and the increasing of TBARS during both storage conditions were observed more prominently in yellowtail than other species. The fewest contents of myoglobin and vitamin E, the middle contents of vitamin C were found in yellowtail. This result suggested that low contents of vitamin E might be influence to faster color deterioration of the dark muscle in yellowtail than other *Seriola*.

平成 22 年度水産白書によると、我が国における養殖ブリの漁業生産量は年間約 155 千トン、漁業生産額は約 1151 億円であり、¹⁾養殖魚種の中でブリは最も高い生産量を占める重要な魚種となっている。長崎県においても、平成 20 年の養殖ブリの生産量は年間約 12 千トン、その生産額は約 83 億円を誇り、最も盛んに養殖されている魚種の一つである。²⁾ところで魚類の血合筋は死後しばらくは鮮やかな赤色を呈しているが、時間の経過と共に徐々に褐色に変化することは周知である。特に養殖ブリでは同じブリ属であるカンパチやヒラマサと比較して、刺身として保存した場合の血合筋における肉色変化が速いことが関係業者によって指摘されている。このように養殖ブリにおける血合筋の肉色変化が速いことは、養殖ブリの市場流通における重要な課題となっている。このブリ属の筋肉褐変の抑制あるいは遅延に関してはいくつかの報告があり、^{3,4)}中でも著者らは養殖ブリに抗酸化物質であるビタミンCとビタミンEを短期間に大量に経口投与すると、血合筋におけるビタミンCとEが増加するとともに、過酸化脂質形成が遅延し、肉色劣化が抑制されることを報告している⁴⁾。しかしながら、ブリ血合筋の保存中における肉色の変化をカンパチ、ヒラマサの血合筋のそれと比較した科学的な知見はない。

本研究では、養殖されたブリ、カンパチおよびヒラマサのブリ属 3 種を用い、保存中における血合筋の感覚色度を測定し、3 種の肉色変化を比較した。また同時に、ブリ属 3 種の血合筋におけるミオグロビンのメト化、過酸化脂質、ミオグロビン、ビタミン C、ビタミン E 含量を測定した。

試料および方法

試料魚

試料魚には長崎県内で養殖されたブリ *Seriola quinqueradiata* (平均体重 2.16±0.17 kg, 平均尾叉長 54.9±1.9 cm)、カンパチ *Seriola dumerili* (平均体重

4.00±0.18 kg, 平均尾叉長 61.7±2.8 cm) およびヒラマサ *Seriola aureovittata* (平均体重 3.81±0.01 kg, 平均尾叉長 66.5±1.0 cm) をそれぞれ 3 尾ずつ用いた。

採肉および保存

採肉および保存は既報⁵⁾に従って行った。即ち、試料魚を養殖漁場において脊髄破壊により即殺後、鰓を切って失血させ、速やかに実験室に搬入した。試料魚は、頭部、内臓、皮および骨を取り除いてフィレーにした後、F-Bulkスライサー（ホクト技研製）を用い、体側筋を魚体長軸に対して垂直方向に厚さ 1.4 mmの切り身を作成した。ここで、血合筋の空気に触れる両面からの影響を検討するために、厚さ 1.4 mmの切り身を作成した。切り身の表面が空気に触れる状態で、保存容器内壁に蒸留水をしみこませたろ紙を張って水蒸気飽和させ、23°C（室温）および 4°Cで血合筋褐変発生のほぼ終点まで保存した。23°C保存では保存 0 時間から 3 時間ごとに 9 時間まで、4°C保存では保存 0 時間から 24 時間ごとに 96 時間まで、経時的に各切り身の血合筋の感覚色度（L*値, a*値, b*値）、ミオグロビンのメト化、過酸化脂質を測定した。また、保存 0 時間目における血合筋を採取し、それぞれのみオグロビン、ビタミンCおよびビタミンE含量を測定した。

感覚色度の測定

感覚色度L*値, a*値およびb*値は、既報⁴⁾に従ってCR-400 型色彩色差計（コニカミノルタ社製）を用いて測定した。本測定は試料魚ごとにそれぞれ 5 回行い、それらの平均値を求め、これらを各試料魚のL*値, a*値およびb*値とした。

ミオグロビンのメト化の測定

ミオグロビンのメト化は、既報⁵⁾に従って測定した。各血合筋約 1 gに 20 mM冷却リン酸緩衝液（pH 6.5）2 mlを加えてホモジナイズした。このホモジネートを遠心分離（1,500 ×g, 4°C, 5 分間）し、メンブレンフィルター（φ 0.20 μm）で濾過した。この濾液の 540 nmおよび 503 nm（それぞれオキシミオグロビン

およびメトミオグロビンの極大波長)における吸光度を測定し、ミオグロビンのメト化の指標である吸光度比 ($E_{540\text{ nm}} / E_{503\text{ nm}}$) を算出した。

過酸化脂質の測定

過酸化脂質は、既報⁵⁾に従って測定した。即ち、各血合筋約 0.2 g に 0.02% ブチル化ヒドロキシアニソールを含む 0.2% チオバルビツール酸水溶液、0.1 M 酢酸緩衝液 (pH 3.5) 2 ml を加えてホモジナイズした。このホモジネートを 95°C で 60 分間加熱、冷却後、ブタノール・ピリジン (15 : 1) 溶液 4 ml を加えて攪拌、遠心分離 (1,500×g, 4°C, 10 分間) し、上清 10 μl を HPLC 分析に供した。分析には、逆相分配カラム (TSK-GEL ODS-80Ts, φ 4.6×150 mm, 東ソー社製) を用い、測定条件はカラム温度 40°C, 移動相はアセトニトリル : 超純水 (3 : 7) を用い、流速 1.0 ml/min, 検出波長 532 nm であった。標準物質には、テトラエトキシプロパン (和光純薬工業製) を用い、各血合筋中の過酸化脂質量を算出した。

ミオグロビンの測定

ミオグロビンは小島ら⁶⁾の方法に準じて測定した。即ち、各血合筋約 1 g に 3% 塩酸を含む酸性アセトン 4.1 ml を加えてホモジナイズした。このホモジネートの沈殿に 80% 酸性アセトンを加えて抽出し、これをヘム色素として HPLC 分析に供した。分析には、逆相分配カラム (TSK-GEL ODS-80Ts, φ 4.6×150 mm, 東ソー社製) を用い、測定条件はカラム温度 40°C, 移動相は 0.1% トリフルオロ酢酸溶液とアセトニトリルによるリニアグラジエントで、流速 1.0 ml/min, 検出波長 400 nm であった。標準物質にはウマ心臓由来ミオグロビン (Sigma 社製) を用い、各血合筋中のミオグロビン量を算出した。

ビタミン C およびビタミン E の測定

ビタミン C およびビタミン E は既報⁵⁾に従って測定した。即ちビタミン C はヒドラジン法で、ビタミン E は HPLC による UV 法で測定した。ビタミン E 測定の

HPLC法には逆相分配カラム (TSK-GEL ODS-80Ts, ϕ 4.6×150 mm, 東ソー社製) を用い, 測定条件はカラム温度 40°C, 移動相は 100%アセトニトリル, 流速 1.0 ml/min, 検出波長 290 nmであった。標準物質には*d- α* -トコフェノール (和光純薬工業製社製) を用い, 各血合筋中の*d- α* -トコフェノール量を算出し, ビタミンE量とした。

結果

血合筋中の感覚色度の経時変化

各魚種の血合筋における明度を示すL*値を平均値レベルで見ると, 保存 0 時間目では, ブリで 36.9, カンパチで 42.9, ヒラマサで 38.1 であり, 23°Cおよび 4°Cの両保存で, 全魚種ともに保存中における明瞭な変化は認められなかった (Fig. 1)。

Fig. 1

各魚種の血合筋における赤さを示すa*値を平均値レベルで見ると, 保存 0 時間では, ブリで 21.2, カンパチで 21.3, ヒラマサで 20.3 で, 魚種による違いはほとんど認められなかった。23°C保存では, 保存 9 時間目にかけてブリのa*値は 9.7 まで大きく減少し, 赤さが低下したが, カンパチは 22.5, ヒラマサは 18.6 で, 保存時間の延長に伴う大きな変化は認められなかった。4°C保存では, 保存 96 時間にかけてブリのa*値は 5.2 まで急激に減少し, 赤さが低下したが, カンパチおよびヒラマサでは若干の増加傾向が認められたものの, 保存 96 時間目まで大きな変化は認められなかった (Fig. 2)。

Fig. 2

各魚種の血合筋における黄色さを示すb*値を平均値レベルで見ると, 保存 0 時間では, ブリ 7.8, ヒラマサ 11.8, カンパチ 14.2 の順であった。23°C保存では, 全魚種ともにb*値は保存期間の延長に呼応して若干の増加傾向を示した。4°C保存では, 保存 48 時間目まで, ブリのb*値はほぼ一定で, その後保存 96 時間目にかけて 13.8 まで直線的に増加した。カンパチのb*値は保存 96 時間目

にかけて約 19.3 まで緩やかに増加し、ヒラマサでは保存 48 時間目に 18.0 となり、その後大きな変化を示さなかった (Fig. 3)。

Fig. 3

血合筋中ミオグロビンのメト化の経時変化

各魚種の血合筋におけるミオグロビンのメト化指標である吸光度比 ($E_{540\text{ nm}}/E_{503\text{ nm}}$) の経時変化を保存 0 時間目を 100% とする変動率で Fig. 4 に示す。23°C 保存では、ブリは保存 3 時間目にかけて約 90% となり、ミオグロビンのメト化が進行し、その後大きな進行は認めなかった。カンパチおよびヒラマサでは、ミオグロビンのメト化は保存時間の経過とともに穏やかに進行し、保存 9 時間目でもそれぞれ 97% と 96% で、ミオグロビンのメト化の顕著な進行は認められなかった。4°C 保存では、ブリは保存 96 時間目にかけて 76% まで急激に減少してミオグロビンのメト化が大きく進行した。カンパチおよびヒラマサは保存 96 時間目でも、それぞれ 93% と 97% で、ミオグロビンのメト化の顕著な進行は認められなかった。

Fig. 4

血合筋中における過酸化脂質の経時変化

各魚種の血合筋中における過酸化脂質含量の経時変化を平均値レベルでみると、保存 0 時間目では、全魚種ともに約 0.2 $\mu\text{mol/g}$ と低値を示した。23°C 保存では、ブリは保存 9 時間目までに 1.5 $\mu\text{mol/g}$ と急激に増加したのに対し、カンパチおよびヒラマサでは 0.4 $\mu\text{mol/g}$ および 0.6 $\mu\text{mol/g}$ と若干増加したにすぎなかった。4°C 保存では、ブリは保存 48 時間目に 1.7 $\mu\text{mol/g}$ と急激に増加したのに対して、カンパチおよびヒラマサの増加は緩やかで保存 96 時間目に 1.3 $\mu\text{mol/g}$ および 0.8 $\mu\text{mol/g}$ となった (Fig. 5)。

Fig. 5

各魚種の血合筋中ミオグロビン、ビタミン C およびビタミン E 含量

各魚種の血合筋におけるミオグロビン、ビタミン C およびビタミン E 含量を Table 1 に示す。血合筋中のミオグロビン含量を平均値レベルで比較すると、ブリ 64.62 \pm 9.46 mg/100g, カンパチ 116.1 \pm 15.35 mg/100g, ヒラマサ 85.67 \pm

Table 1

10.61 mg/100g で、カンパチおよびヒラマサよりブリが有意に低かった。血合筋中のビタミンC含量を平均値レベルで比較すると、ブリ 0.76 ± 0.76 mg/100g, カンパチ 0.24 ± 0.28 mg/100g, ヒラマサ 1.73 ± 0.44 mg/100g で、カンパチが最も低く、次いでブリ、ヒラマサの順であった。血合筋中のビタミンE含量を平均値レベルで比較すると、ブリ 2.80 ± 1.83 mg/100g, カンパチ 3.90 ± 1.31 mg/100g, ヒラマサ 4.62 ± 1.43 mg/100g で、ブリは他の2魚種より低い傾向を示した。

考察

本研究では、関係業者より指摘されている養殖ブリ属の肉色における保存中の変化について、養殖ブリとカンパチおよびヒラマサの血合筋を用い、保存中の感覚色度に着目して比較した。その結果、ブリの血合筋における感覚色度 a^* 値の平均値は、 23°C および 4°C 保存で保存時間の延長に呼応して大きく減少し、赤さの低下がみられたのに対して、カンパチ、ヒラマサでは、保存時間の延長に伴う赤さの大きな変化はみられなかった。 23°C 保存での各魚種の血合筋における b^* 値の平均値は保存期間を通じていずれも若干の増加を示した。 4°C 保存でのブリの血合筋における b^* 値の平均値は保存後期に急激に増加したが、他の2魚種では保存後期まで緩やかな増加を示した。すなわち、関係業者の指摘のようにカンパチやヒラマサよりもブリの血合筋は感覚色度の点からみた肉色の褐変の進行が速いことが明らかとなった。

一方、各魚種の血合筋中ミオグロビンのメト化については、各保存においてカンパチやヒラマサよりもブリの吸光度比 ($E_{540\text{ nm}}/E_{503\text{ nm}}$) の低下した割合が大きく、ブリの血合筋におけるミオグロビンのメト化の進行は速かった。各魚種の血合筋中過酸化脂質含量については、ブリでは 23°C 保存で保存9時間、 4°C 保存で保存48時間にかけて急激に増加し、過酸化脂質の生成がみられたが、カ

ンパチおよびヒラマサではその生成が遅かった。この点についてヒツジ筋肉では褐変は筋肉中ミオグロビンのメト化とともに進行し、同時に a^* 値も低下すると報告され、⁷⁾また、魚類でもミオグロビンのメト化は筋肉中脂質の酸化を進行させるとの報告がある。⁸⁻¹⁰⁾さらに、魚類の血合筋中過酸化脂質の形成は褐変の起因の一つとなると報告されている。¹¹⁾本研究でもブリ筋肉の保存中において、まずは血合筋中ミオグロビンのメト化が起こり、続いて過酸化脂質が急激に形成され、ひいては血合筋の褐変を速めたと考えられた。この点については、ブリ、カンパチおよびヒラマサの抗酸化酵素の含量あるいは活性に関する知見はなく、今後さらなる検討する必要があると考えられた。

また、ブリの血合筋におけるミオグロビン含量はカンパチおよびヒラマサと比較して有意に低く、ビタミンC含量は3魚種のうちで中位に、ビタミンE含量は少ない傾向にあった。この点について、筋肉中のミオグロビンが多いほど、変色が速いと報告されており¹²⁾、本研究結果と異なっていた。この点について著者らは、養殖ブリに抗酸化物であるビタミンCおよびビタミンEを短期間大量に経口投与することで、血合筋中ビタミンC及びEが増加し、その褐変進行と過酸化脂質形成を遅延させることが可能であると報告している⁵⁾。本研究における養殖ブリは他の2種と比較して血合筋中ビタミンC含量に明瞭な差は認められなかったが、ビタミンE含量が低い傾向にあった。これらのことより、本研究で認められた養殖ブリ血合筋の褐変進行が速い点について、血合筋中におけるビタミンEの含量の多寡が何らかの影響を与えている可能性が考えられたがその詳細についてはさらに検討が必要であろう。

以上より、養殖のカンパチやヒラマサより養殖ブリの血合筋では保存中に感覚色度からみた肉色変化の劣化とミオグロビンのメト化が速く進行し、過酸化脂質が急激に形成され、関係業者が指摘する通りブリ属3種のうちで養殖ブリが最も褐変しやすいということが明らかとなった。しかしながら、血合筋中ミ

オグロビンとビタミンCおよびE含量の多寡との関連については明確ではなかった。これらの点については今後さらに検討が必要であろうと考えられた。

文献

- 1) 平成 22 年度水産白書. 水産庁, 東京. 2011.
- 2) 平成 21 年度長崎県水産白書. 長崎県水産部, 長崎. 2011.
- 3) 深田陽久, 橋口智美, 柏木丈弘, 妹尾歩美, 高桑史朗, 森岡克司, 沢村正義, 益本俊郎. ユズ果汁添加飼料を給与したブリにおける血合筋の褐変抑制と筋肉中からのユズ香気成分の検出. 日水誌 2010; 76: 678-685.
- 4) Arroyo M D, Hamada Y, Okamoto A, Tateishi A, Tachibana K. Characteristic of burnt meat in cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Fish. Sci.* 2007; 73: 651-659.
- 5) Arai H, Tani W, Okamoto A, Fukunaga K, Hamada Y, Tachibana K. Suppression of color degradation of yellowtail dark muscle during storage by simultaneous dietary supplementation. *Fish. Sci.* 2009; 75: 499-505.
- 6) 小島一良, 芦澤賢一, 武内良雄, 條 照雄. 各種食品におけるミオグロビンの定量方法の検討 (第 1 法) -食品について-. 農林規格検査所研究報告. 1988; 13: 38-45.
- 7) Kannan G, Kouakou B, Gelaye S. Color changes reflecting myoglobin and lipid oxidation in chevon cuts during refrigerated display. *Small Rumin. Res.* 2001; 42: 67-75.
- 8) Ohshima T, Wada S, Koizumi C. Influences of heme pigment, non-heme iron, and nitrite on lipid oxidation in cooked mackerel meat. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1988; 54: 2165-2171.
- 9) Baron C P, Andersen H J. Myoglobin-induced lipid oxidation. *J. Agric. Food*

Chem. 2002; **50**: 3887-3897.

- 10) Richards M P, Dettmann M A, Grunwald E W. Pro-oxidative characteristics of trout hemoglobin and myoglobin: a role for released heme in oxidation of lipids. *J. Agric. Food Chem.* 2005; **53**: 10231-10238.
- 11) Sohn J H, Taki Y, Ushio H, Kohata T, Shioya I, Ohshima T. Lipid oxidations in ordinary and dark muscles of fish. influences on rancid off-odor development and color darkening of yellowtail flesh during ice storage. *Food Sci.* 2005; **70**: 490-493.
- 12) Kuriki T, Izumimoto M, Miyamoto T. Meat quality and the color changes of jersey cows. *Anim. Sci. J.* 1999; **70**: 403-408.

Fig. 1.

Changes in color (L^*) of the sliced dark muscle of *Seriola* during 23°C and 4°C storage.

(●, Y) Yellowtail; (▲) greater amberjack; (△) goldstriped amberjack.

(*: $p < 0.05$) Significant difference between the just after killing and each storage period.

Fig. 2.

Changes in color (a^*) of the sliced dark muscle of *Seriola* during 23°C and 4°C storage.

(●, Y) Yellowtail; (▲) greater amberjack; (△, Go) goldstriped amberjack.

(*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$) Significant differences between the just after killing and each storage period.

Fig. 3.

Changes in color (b^*) of the sliced dark muscle of *Seriola* during 23°C and 4°C storage.

(●, Y) Yellowtail; (▲, Gr) greater amberjack; (△, Go) goldstriped amberjack.

(*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$) Significant differences between the just after killing and each storage period.

Fig. 4.

The changes of relative oxidation value of myoglobin absorbance ratio (E_{540nm}/E_{503nm}) in the sliced dark muscle of *Seriola* during 23°C and 4°C storage.

(●, Y) Yellowtail; (▲) greater amberjack; (△) goldstriped amberjack.

(*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$) Significant differences between the just after killing and each storage period.

Fig. 5.

Changes of TBARS in sliced dark muscle of *Seriola* during 23°C and 4°C storage.

(●, Y) Yellowtail; (▲, Gr) greater amberjack; (△, Go) goldstriped amberjack.

(*: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$) Significant differences between the just after killing and each storage period.

Fig. 1. LIANG et al.

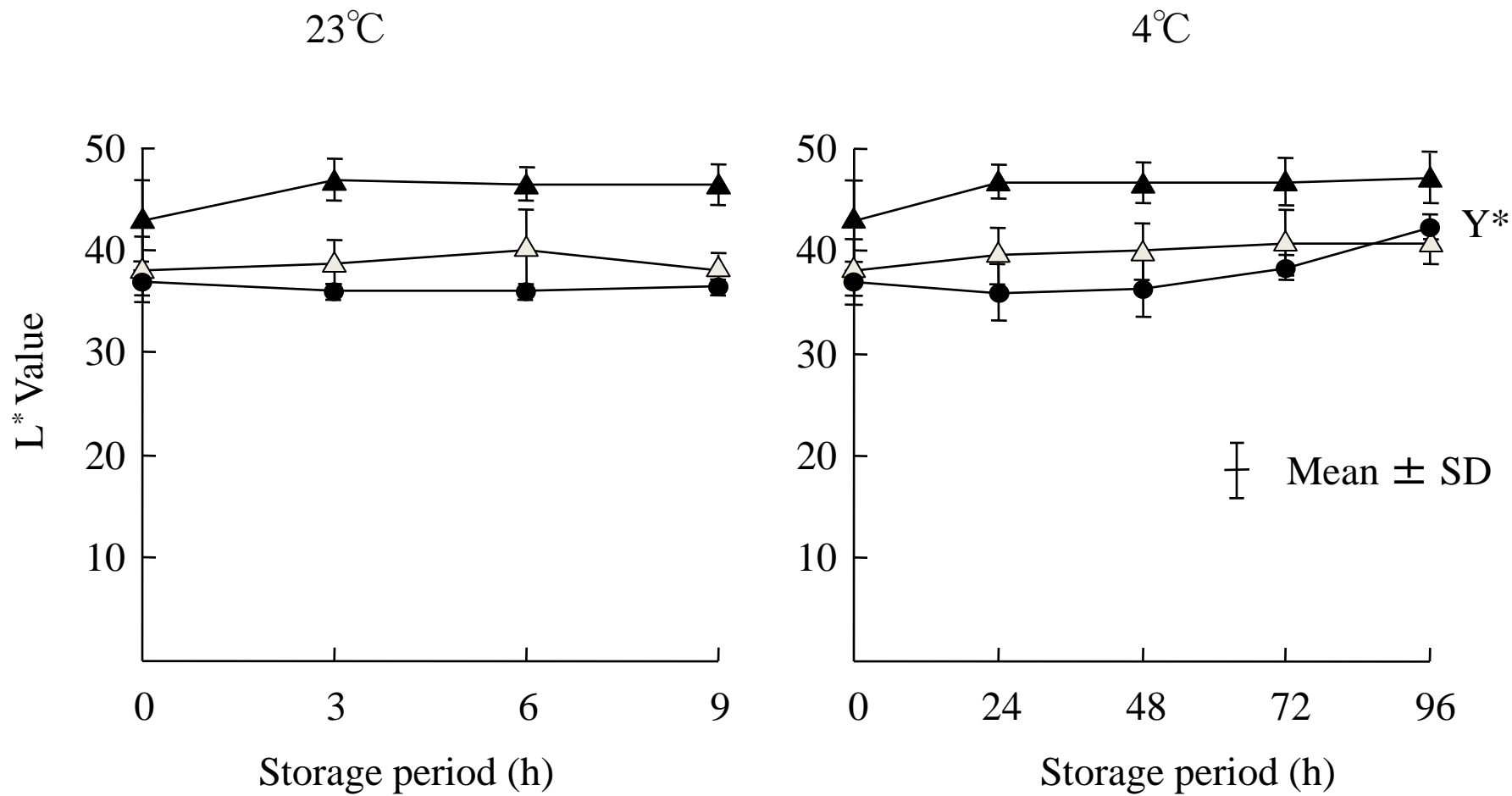


Fig. 2 LIANG et al.

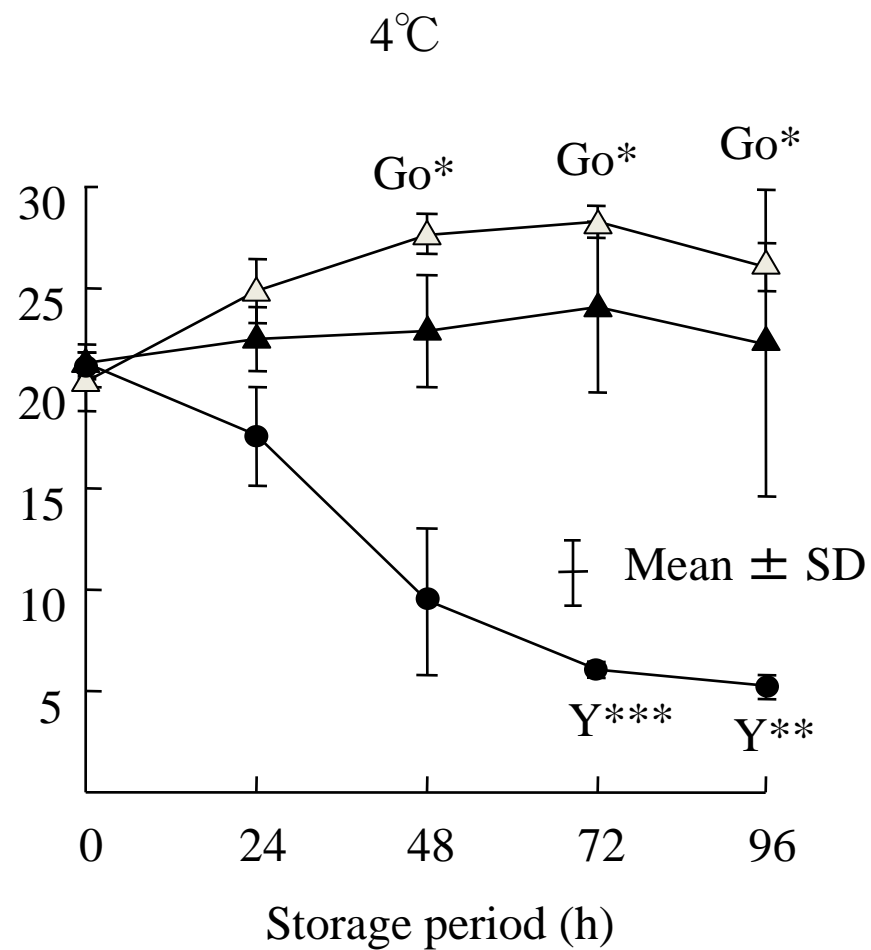
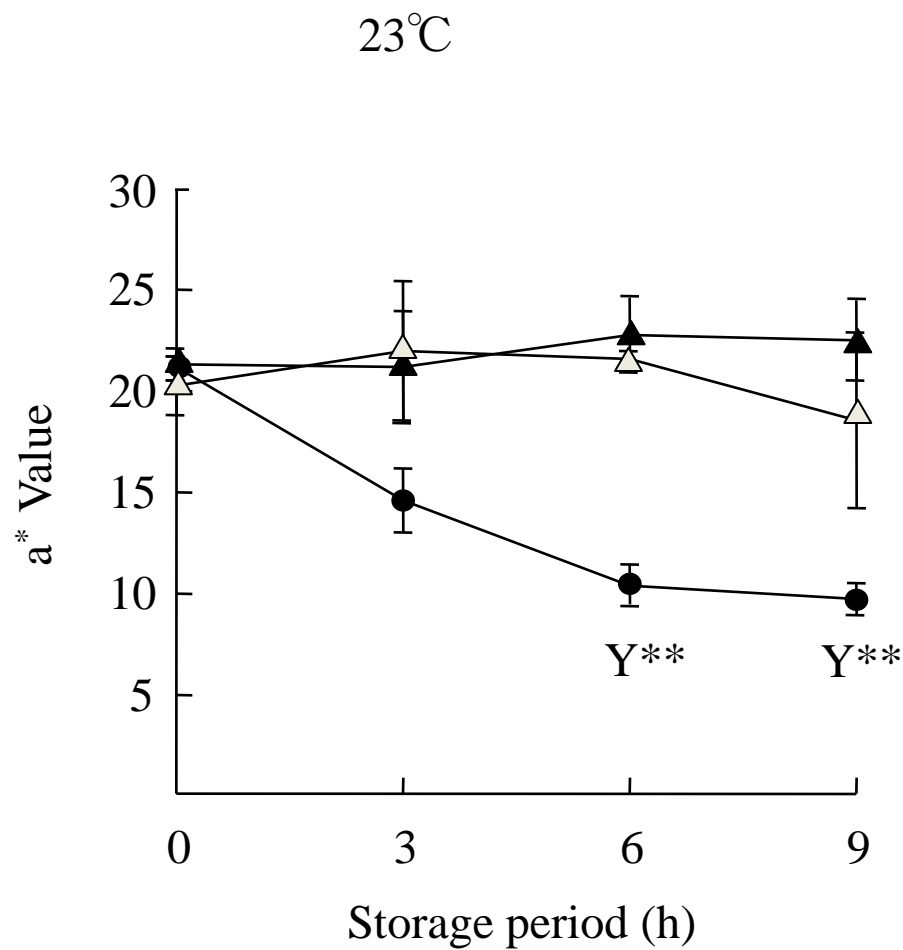


Fig. 3 LIANG et al.

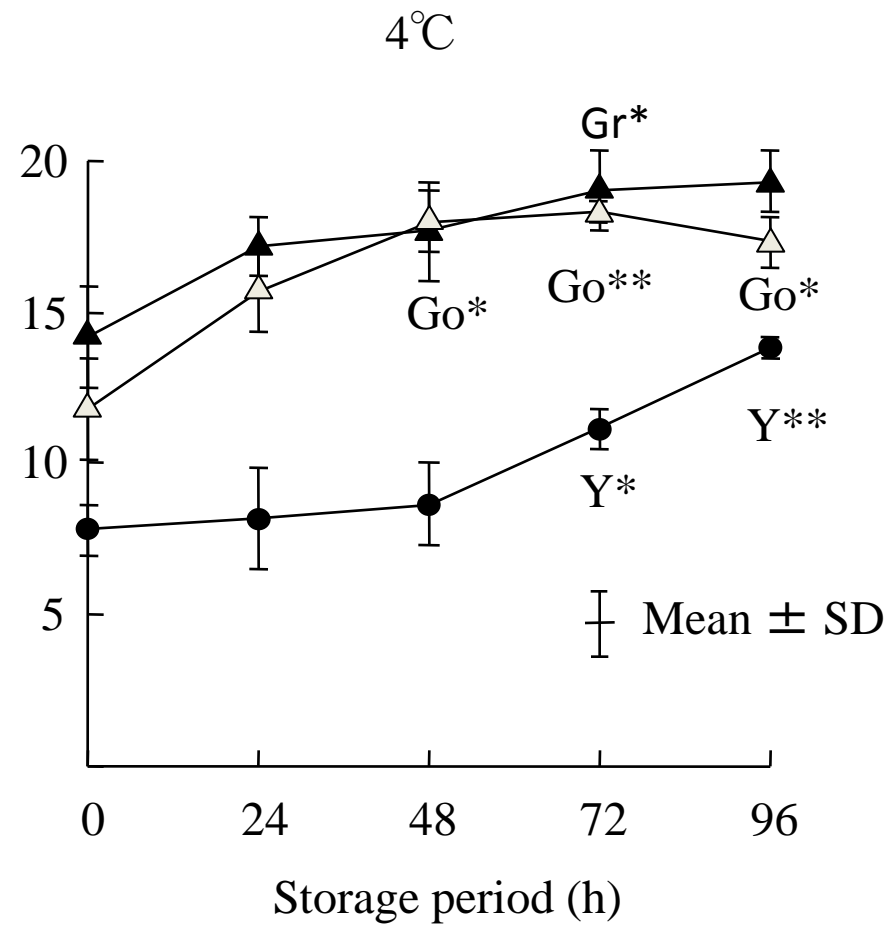
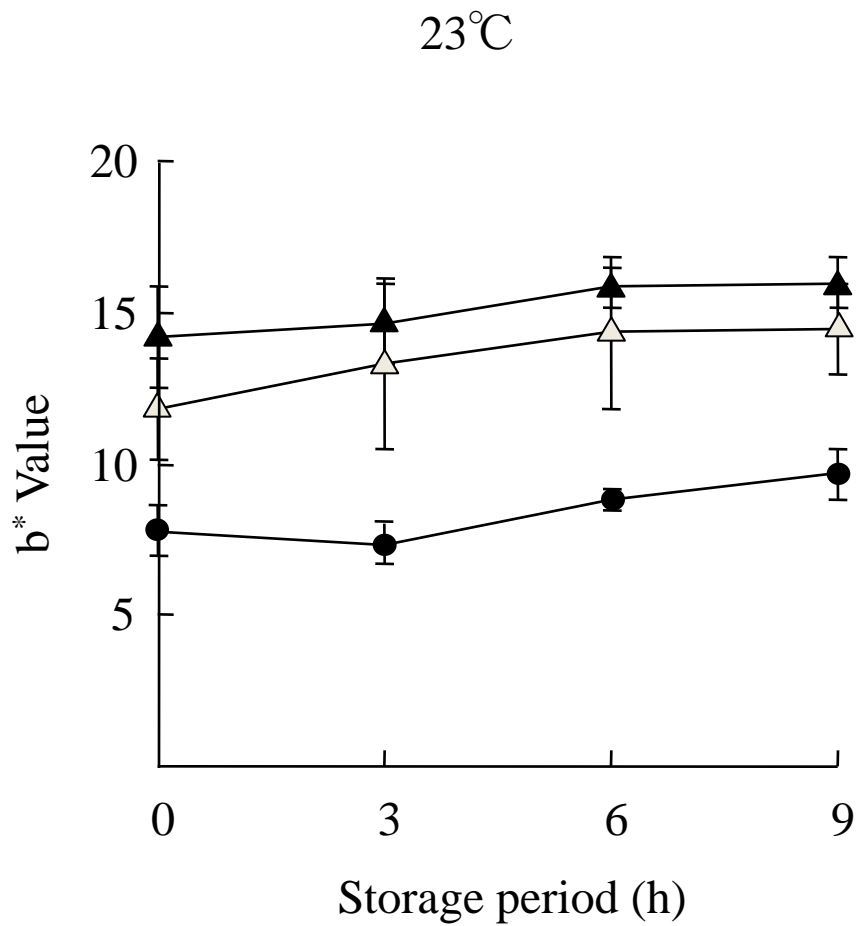


Fig. 4 LIANG et al.

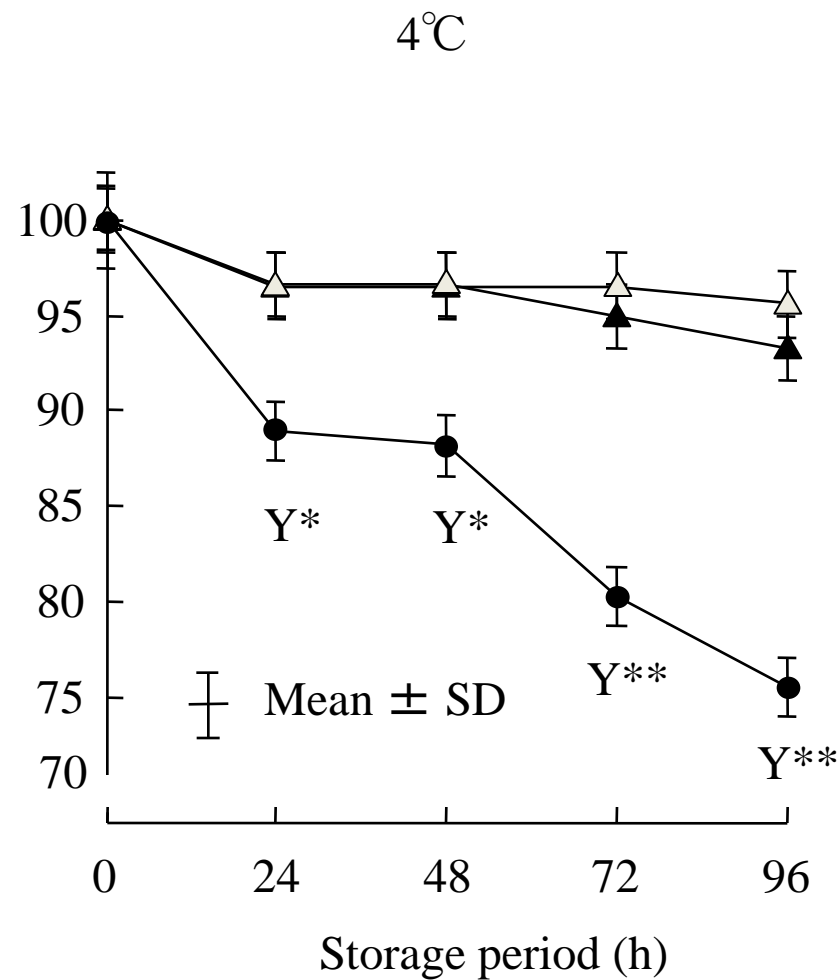
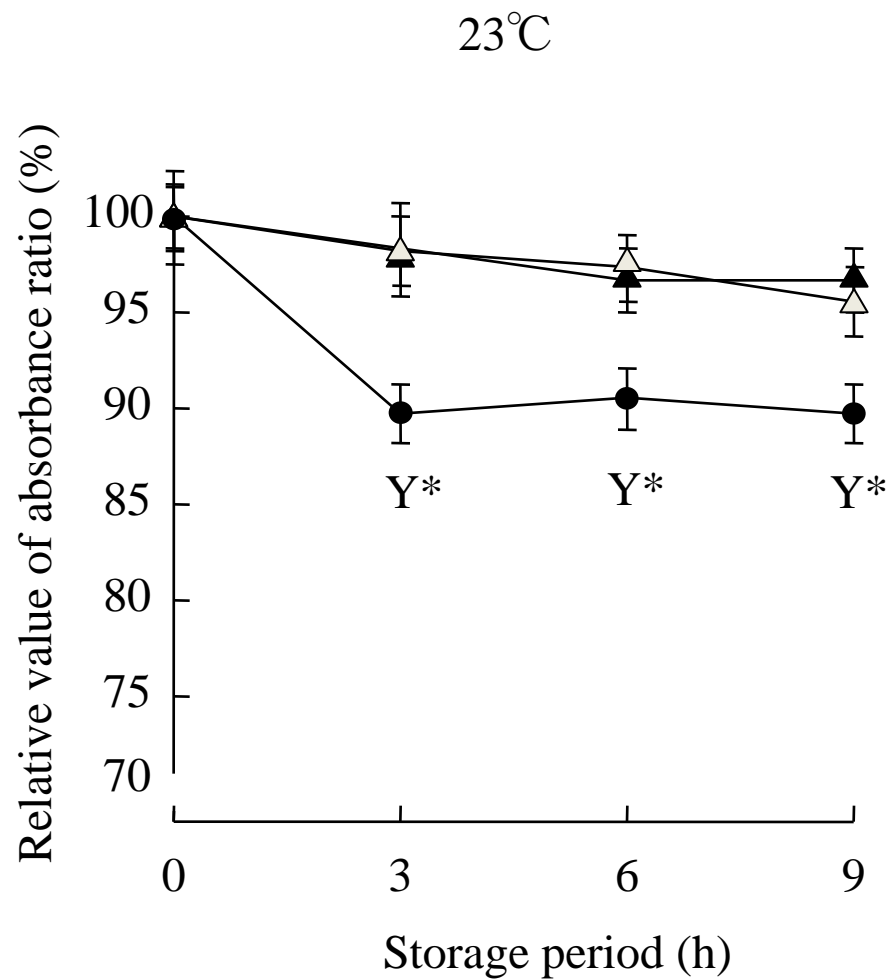


Fig. 5 LIANG et al.

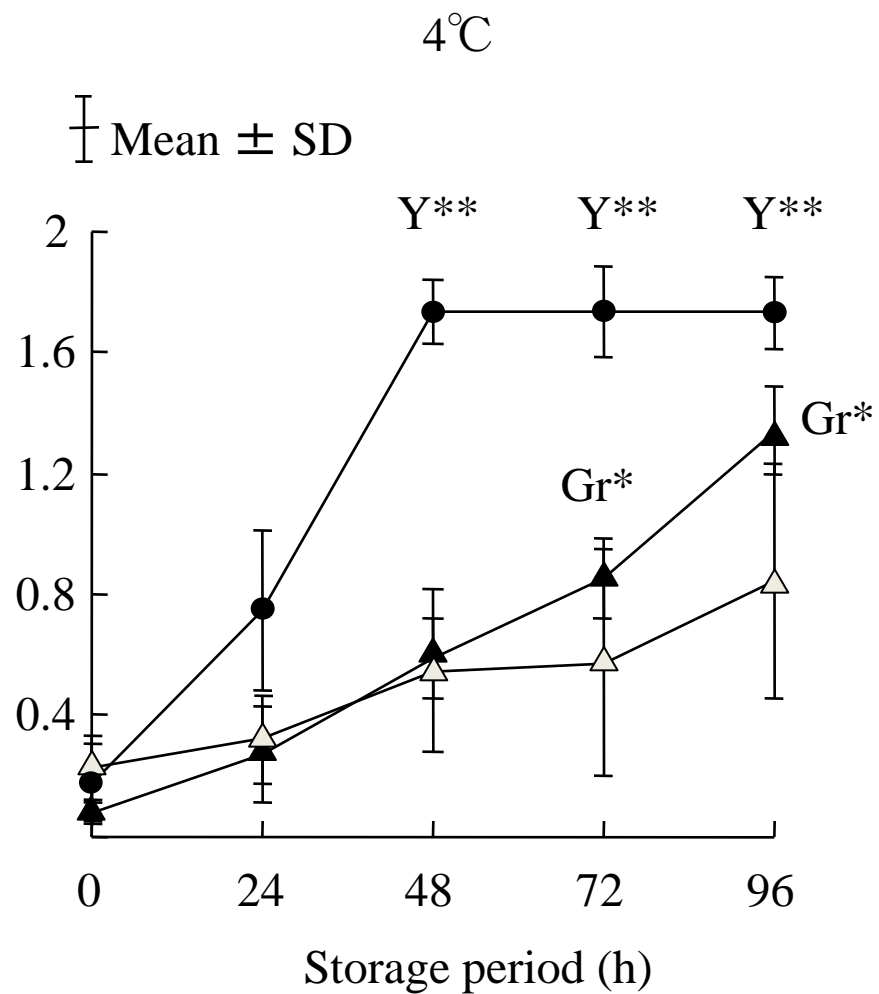
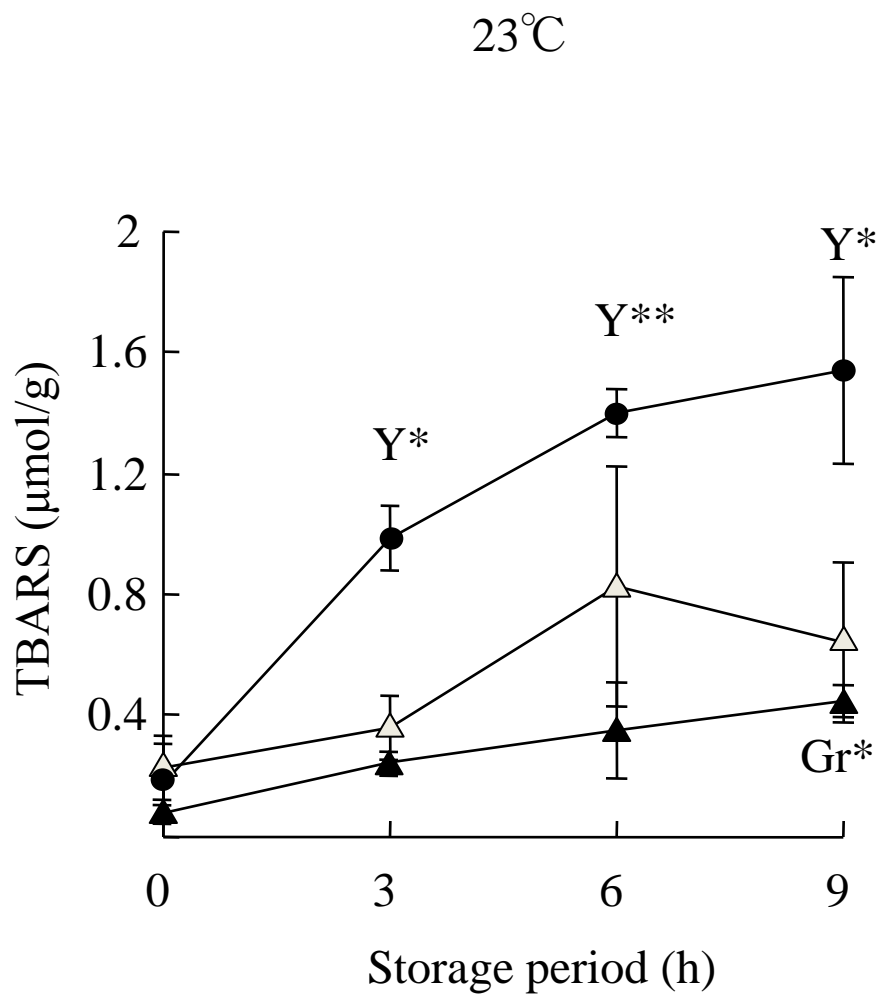


Table 1. Amount of myoglobin, vitamin C and vitamin E in *Seriola* dark muscle just after killing

Species	Myoglobin (mg/100g)	Vitamin C (mg/100g)	Vitamin E (mg/100g)
Yellowtail	64.62 ± 9.46	0.76 ± 0.76	2.80 ± 1.83
Greater amberjack	116.08 ± 15.35 ^{a**, b*}	0.24 ± 0.28	3.90 ± 1.31
Goldstriped amberjack	85.67 ± 10.61 ^{a*}	1.73 ± 0.44 ^{b**}	4.62 ± 1.43

Mean ± SD of 3 fish

^a Significant differences between yellowtail and other two species (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$)

^b Significant differences between great amberjack and other two species (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$)