

養殖クロマグロ肉の冷蔵中の品質変化と色調保持

塚正 泰之

(飼料・食品安全性・加工グループ)

近畿大学大学院農学研究科

tukamasa@nara.kindai.ac.jp

マグロ類は日本人が好む代表的な魚種である。その中でもクロマグロは味もよく、水揚げ量も少ないことから最も高値で取引されている。特に、脂肪含量の高いものが好まれるため、短期間蓄養して太らせたクロマグロやミナミマグロが市場に大量に出回っており、今や消費量の面からは天然ものよりも養殖ものの方が重要性は高まっていると考えられる。

クロマグロは、刺身やすし種として主に生食されるため、冷蔵貯蔵中の品質劣化は加熱品に比べて早い、最も早く進むのは色調であると思われる。細菌数などの衛生面や味の面では十分に生食可能な期間内であっても、色調が劣化すれば商品価値は失われるため、色調を適度に保持することは産業的に意味があることと思われる。

そこで、養殖クロマグロの冷蔵貯蔵中に品質因子がそれぞれどのような挙動をし、実際にはどのくらい可食期間があるのかを近畿大学が世界で始めて達成した完全養殖クロマグロおよび外国産蓄養クロマグロを用いて調べた。

また、マグロの色調を保持するための試験も実施したので、それらの結果を報告する。

第1章 冷蔵中の品質変化

クロマグロが生食可能かどうかを判断する客観的な指標としては、K値や細菌数などがある。しかし、実際には色やにおいなどによって鮮度を判定するが多い。そこで、本研究では、一般的な鮮度指標が冷蔵中にどのように変化するのかを調べた。

方法

材料 完全養殖クロマグロ（2歳魚、平均体重27.8 kg）は、水揚げ後セミドレスにして直ちに氷冷で研究室に搬送し、当日貯蔵試験を開始した。メキシコ産（セミドレスの平均重量32 kg）およびスペイン産クロマグロは、奈良県中央卸売市場で購入した冷蔵品（背肉のみ）を用いた。いずれの貯蔵試験も3個体を測定した。

貯蔵条件 完全養殖クロマグロは前部の背肉（赤身）と腹肉（トロ）を、外国産は背肉を用い、サンプリング回数分の試料を所定のサイズに切り分け、ふた付きのプラスチックケースに入れ、4℃（スペイン産を除く）または8℃で貯蔵した。

鮮度測定 目視による外観観察、色調（CIE L*, a*, b*値）、pH、レオメーターによる破断強度、HPLC分析によるK値、分光光度計によるメト化率（尾藤の方法）、一般生菌数（標準寒天培地、37℃培養）と低温性海洋細菌数（マリンアガー2216、20℃培養）などを測定した。

結果および考察

色調 経時的なマグロの肉色の変化を目視および計測器によって観察した。典型的な色調変化として、完全養殖クロマグロ背側の4℃貯蔵区のL*, a*, b*値をFig. 1に示した。L*は明るさを示し、背と腹ともに貯蔵中に緩やかに上昇する傾向にあり、0日と2日以降に有意差があった。b*は黄色の強さを示し、貯蔵中に緩やかに上昇する傾向にあり、背側のみ0日と3、4日の間に有意差が認められた。a*は赤色の強さを示し、貯蔵中に減少していく傾向にあり、腹側のみ4日

と他の貯蔵区との間に有意差があった。背側と腹側を比較すると、 a^* と b^* は背側の方が高い値を示し、 L^* は腹側が高い値を示した。一方、 8°C 貯蔵において、 L^* 、 a^* 、 b^* 値に貯蔵途中1度だけ有意差が認められたが、貯蔵開始時と貯蔵終了時には有意差はなかった。これは、計測箇所による色調のバラツキが大きいことが関係しているように思われる。

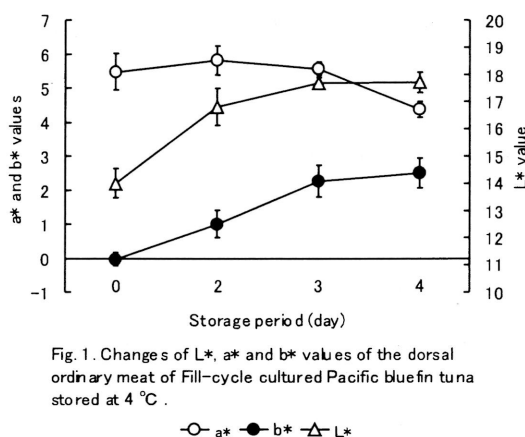


Fig. 1. Changes of L^* , a^* and b^* values of the dorsal ordinary meat of Full-cycle cultured Pacific bluefin tuna stored at 4°C .

一方、目視により観察すると、貯蔵開始直後の肉色は鮮やかで透明感の赤色をしているのに対して、貯蔵中に赤身が減少して徐々に褐色化することが確認された。毎回の外観をスキャナーで取り込み、貯蔵開始時の画像と比較することで商品価値があると著者らが判断した期間は、完全養殖クロマグロの 4°C で86時間以内、 8°C で48時間以内であり、外国産は2回目（ 4°C で47時間、 8°C で32時間）の確認時にすでに劣化していたため、それよりも短い期間としか言えない。

細菌数 冷蔵貯蔵中におけるクロマグロ肉中の菌数変化を一般生菌数と低温性海洋細菌数で求めた一例を Fig. 2 に示した。

貯蔵開始時の菌数は 10^2 から 10^4 (CFU/g) の範囲であったが、外国産では海洋細菌数が一般生菌数よりも1桁から2桁高い値を示した。貯蔵中の増加速度は常に海洋性細菌の方が早く、貯蔵後期には1桁以上高い値を示した。生食の限界値を 10^5 (CFU/g、一般生菌数での目安であるが、ここでは海洋性細菌数で評価した)

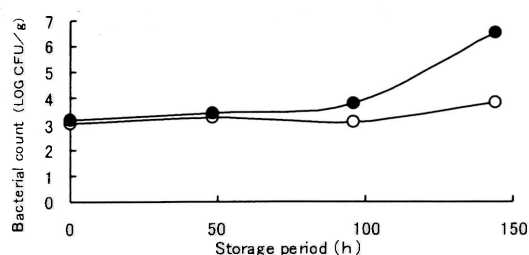


Fig. 2. Changes of bacterial count of the dorsal ordinary meat of Full-cycle cultured Pacific bluefin tuna stored at 8°C .

—○— Standard plate count agar —●— Marine agar

とすると、 8°C 貯蔵では、完全養殖が116時間（背）と105時間（腹）、メキシコ産が28時間となった。一方、一般生菌数では87時間後まで 10^5 (CFU/g) 以下を維持した。 4°C 貯蔵では、完全養殖は貯蔵終了時である168時間まで 10^5 (CFU/g) 未満を維持し、背と腹の違いは認められなかった。一方、メキシコ産は53時間、スペイン産は71時間まで 10^5 (CFU/g) 以下を維持した。

K値 K値は鮮度指標としてよく用いられるもので、30%程度までは貯蔵中に直線的に増加することが知られており、本研究でも直線となった。カツオの35%は例外として、20%が魚類の生食の限界値とされている。今回の完全養殖クロマグロのK値は貯蔵開始時が3~6%であり、20%に到達するのは計算上 4°C の背と腹でそれぞれ133時間、138時間、 8°C の背と腹で87時間、91時間であった。一方、メキシコ産、スペイン産のK値は、開始時にそれぞれ20.9%、21.8%となっており、貯蔵開始段階ですでに20%を超過していた。輸入クロマグロは日本に到着するまでにK値が著しく上昇していることがわかった。当然、これらは生食可能な状態であるので、クロマグロのK値の生食限界値は20%以上で設定してもよいものと考えられる。

破断強度 完全養殖クロマグロの破断強度は背肉に比べて腹肉の方が常に高い値を示した。また、背腹ともに 4°C で168時間、 8°C で72時間まで初期値以上の値を保った。メキシコ産も試験期

間中（72時間）初期値を下回らなかった。これは、死後硬直による破断強度の上昇と軟化が一緒に起こり、軟化の程度が初期の上昇に比べて小さいことによると考えられる。

メト化率 マグロの肉色の変化はミオグロビンのメト化が原因であることから、メト化率の変化を調べた（Table 1）。メト化率は貯蔵中直線的な増加を示した。

完全養殖クロマグロは、腹側と背側ではほぼ同じ変化率であった。一方、同じ背側で完全養殖と外国産とを比較すると、完全養殖の方が4℃、8℃ともに変化率が小さく、メト化の進行が遅いことがわかった。

Table 1. Metmyoglobin formation rate

Temp.	Sample	Rate(%/h)
4℃	FCC・DM	0.18
	FCC・VM	0.15
	Mexico・DM	0.29
	Spain・DM	0.38
8℃	FCC・DM	0.47
	FCC・VM	0.48
	Mexico・DM	0.63

FCC, Full-cycle cultured Pacific bluefin tuna; DM, dorsal muscle; VM, ventral muscle.

外国産のクロマグロは、細菌数、K値、色調のいずれにおいても完全養殖クロマグロよりも劣化が早く起こった。これは、完全養殖クロマグロが水揚げ当日に貯蔵試験を開始したのに対し、外国産は輸送に時間を要したためと考えられる。しかし、一般に流通している国産の場合でも、水揚げ後48～72時間以内に市場に出るため、外国産よりは鮮度保持期間は長いものと思われる。

細菌数やK値から完全養殖クロマグロの生食可能期間を判断すると、4℃では120時間以上、8℃でも80時間以上あると考えられることから、外観の保持期間（4℃で86時間以内、8℃で48時間以内）の方が短いことになる。したがって、色調保持期間の延長がクロマグロの品質にとって

重要であることが確認された。

第2章 添加物による色調保持

マグロの色調が重要な品質因子であることは間違いない。第1章において生で食べられるか否かを判断する指標の中では色が最も早く変化することも確認された。ビタミンCなどの抗酸化作用を有する物質や一酸化炭素などは他の品質因子が劣化した後も鮮やかな色調を保持する効果があり、消費者に鮮度を誤認させるものとして使用が禁止されている。しかし、肉色が他の品質因子と同じ程度に保持することは産業面だけでなく資源保護のからも意味のあることである。肉中にはメトミオグロビンを還元する酵素系が存在しており、活性には複数の因子が関与している。酵素が失活するまでの期間、初期の色調を保持させるための研究は、単純に抗酸化剤を添加する場合とは全く意味合いが違うと思われることから、抗酸化剤以外の添加物による色調保持を検討した。

方法

材料 漁獲当日または数日後の養殖クロマグロ、中央市場で購入した輸入非冷凍クロマグロおよび冷凍キハダを用いた。

メト化率 第1章と同じ方法で求めた。

結果および考察

グリコーゲン添加試験 グリコーゲンの添加によって解糖系の代謝が持続し、途中で生成するNADHによってメトミオグロビン還元酵素も活性化することを期待して、水揚げ4日後の養殖クロマグロ（pH 5.63）と冷凍キハダ（pH 6.46）に対して、グリコーゲン（1%）を添加し、メト化率（Fig. 3）とpHの変化を調べた。その結果、クロマグロのメト化率およびpHには影響がなかったが、キハダについては、グリコー

ゲンを添加しないものはpHが高いままで、メト化の進行も遅いのにに対して、添加したものはメト化が促進され、pHも5.83と顕著に低下した。

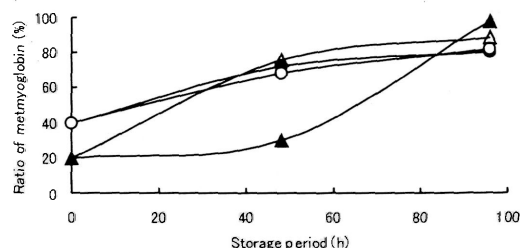


Fig. 3. Effect of added glycogen on the ratio of metmyoglobin of tuna meat stored at 8 °C. BT, Bluefin tuna; YT, Yellowfin tuna.

このことは、グリコーゲンによって解糖系が進行した場合には予想とは逆にメト化が促進され、すでに限界pHまで低下している場合には、グリコーゲンが影響しないことを示している。クロマグロを用いる試験では、pHが低下していない極めて新鮮な試料を使用する必要があるが、冷凍キハダは価格も安く、いつでも入手可能なことから、解凍後にグリコーゲンを添加したものをクロマグロのモデル系として、試験を行うこととした。

ヒスチジン添加試験 グリコーゲン添加試験によって、pHが高いとメト化の進行が遅くなるように思われたので、緩衝能を有するヒスチジンをグリコーゲンとともにキハダに添加した。たまたま、pHが5.8と引き冷凍キハダがあったので、pHが6.48と高いものと一緒に試験した。

初めのpHが6.48と高いキハダの場合、ヒスチジンとグリコーゲン添加によってpHは

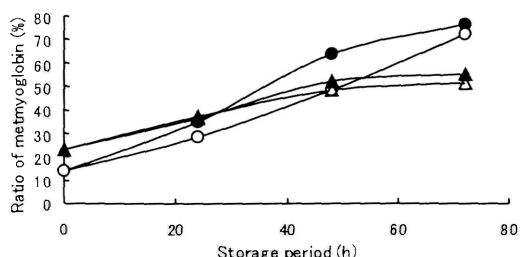


Fig. 4. Effect of His on the ratio of metmyoglobin of yellowfin tuna meats (pH 5.8 and 6.48) with glycogen stored at 8 °C.

● without His (pH 6.48) ○ with His (pH 6.48)
▲ without His (pH 5.8) △ with His (pH 5.8)

6.3 (グリコーゲンだけでは6.2)となり、ヒスチジン添加によってメト化が抑制されたのに対して、最初のpHが5.8と低いキハダでは、ヒスチジン添加によってpHは6.0に上昇していたもののヒスチジン添加効果が全く認められなかった。2種類のキハダ肉は、実施日と貯蔵温度が異なることから、メト化速度をそのまま比較することはできない。

以上のことから、緩衝物質添加によりpHを高く保つことで得られるメト化遅延効果は、一度pHが低下した肉に対しては無効であることを示している。鮮度が高く、肉のpHが6.0以上を保持している新鮮な状態でpHを保持するか、肉中のグリコーゲン量を減らして、死後の解糖によるpH低下を防ぐことが有効な策と思われる。

その他の添加物試験 緩衝作用のある炭酸水素ナトリウム、解糖系に影響を及ぼすと考えられる乳酸ナトリウム、EDTA、クエン酸三ナトリウムなどの添加試験も実施した結果、炭酸水素ナトリウムとクエン酸三ナトリウムにメト化遅延効果が認められた。キレート作用による解糖系酵素の阻害を期待してクエン酸三ナトリウムを添加したが、同じキレート作用を有するEDTAに効果は認められなかったことから、異なる作用機序があるものと考えられる。pHについても、わずかに上昇させる程度であったので、何が効果を示したのかについては、今後の課題である。

肉のメト化を抗酸化剤以外の物質で抑制する方法を検討しているが、実際の使用法としては、以下のようなものが考えられる。冊など肉塊には表面にメト化抑制溶液を噴霧したり、浸漬することが有効と思われる。ネギトロのようなミンチ状であれば、メト化抑制物質を肉に練り込むことで目的を達成することができる。

今回は、添加物によるメト化抑制法を検討したが、その過程でpH低下を防ぐことが有効であるという知見を得たため、餌・飼料等の養殖時の対策も可能と思われる。