

完全養殖クロマグロの肉質特性について

中村 好徳^{1*}, 塚正 泰之²

(^{1, 2} 飼料・食品安全性・加工グループ)

¹ 近畿大学水産研究所, ² 近畿大学大学院農学研究科

*yoshinori1124@hotmail.com

近畿大学水産研究所において世界で初めて生産された完全養殖クロマグロ The full-cycle cultured Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* の肉質特性について研究を行った。同研究所の大島実験場 (和歌山県串本町) に設置された生簀で飼養された完全養殖クロマグロを、平成16年度の4月, 7月, 11月および平成17年度の2月に各3尾を採材し, 実験に用いた。冷蔵, 季節変化および天然クロマグロの肉質との相違を含めて, 生化学的分析 (一般成分), 物性測定ならびに組織学的観察 (光学および電子顕微鏡レベル) を行い, 総合的な肉質評価を目的とした。

これまでに得られた成果は以下の通りである。

第1章 部位による一般成分の比較 ならびに貯蔵中の変化について

近畿大学水産研究所で初めて生産された完全養殖クロマグロ普通筋を用いて, 筋肉中一般成分含量の比較ならびに冷蔵による破断強度, pH および組織構造の変化を調査した。

材料および方法

約21~24ヶ月飼養した完全養殖クロマグロ6尾 (体重: 10~20kg, 平成16年4月および7月採取) の背部普通筋の前部 (FD-OM) と後部 (RD-OM) および腹部普通筋の前部 (FV-OM) と後部 (RV-OM) を用いた (Fig. 1)。一般成分含量は常法により測定した。また, 24時間 (4℃) 冷

蔵に伴う肉質の変化を調査するために, 破断強度をレオメーター (3mmの円形プランジャーを使用) で, pHをpHメーターでそれぞれ測定し, グルタルアルデヒド溶液に固定した組織切片を用いて光学顕微鏡観察を行った。筋細胞間の間隙の割合は, 画像解析ソフト (Scion Image) にて計測した。

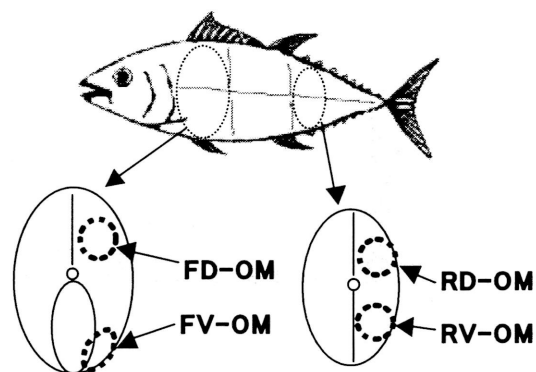


Fig. 1 The samples used in the front and rear parts of the dorsal ordinary muscles (FD-OM and RV-OM) and the front and rear parts of the ventral ordinary muscles (FV-OM and RV-OM) of the full-cycle cultured Pacific bluefin tuna.

結果および考察

完全養殖クロマグロ普通筋の一般成分含量は, 部位により相違が見られた。特に, FV-OMは他の部位に比べて, 低い水分および蛋白質含量と高い脂肪含量を有していた。また, FV-OM以外の部位では, 各成分量はそれぞれ同程度の値であった (Fig. 2)。

24 時間冷蔵 (4°C) による破断強度は、完全養殖クロマグロの FD-OM が冷蔵 15 時間まで上昇し、その後低下したのに対して、FV-OM では 24 時間まで上昇しなかった。pH は両部位で低下 (約 15 時間後に 5.8 前後) したが、FV-OM は低下後も高い値 (5.9 前後) に維持された。光学顕微鏡を用いた組織観察 (6 時間および 1 日目) では、全ての部位で様々な形をした筋線維が観察され、特に FV-OM では筋周膜部分に多くの脂肪組織が観察された (Fig. 3)。短期貯蔵による組織観察では、全ての部位で筋線維間の乖離が観察され、これは画像解析による筋細胞間の面積測定の結果に反映された。筋細胞間の間隙は特に FD-OM で有意に増加した (Fig. 4)。

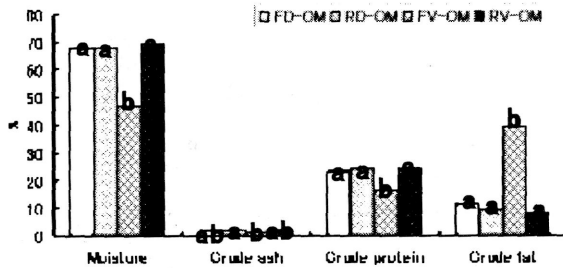


Fig. 2 Comparison of proximate compositions by the positions of the full-cycle cultured Pacific bluefin tuna muscles in the young stage. Each value is expressed as an average \pm S.D. (n=3). Different sets of letters on each value of the same group show a significant difference ($p < 0.05$) by one-way analysis of variance.

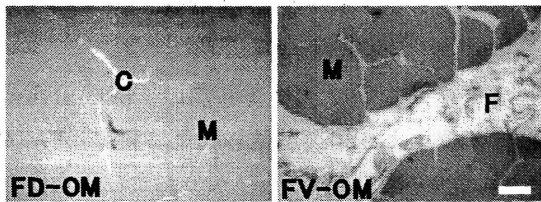


Fig. 3 Comparison of histological structure of the front parts of the dorsal (FD) and the ventral (FV) ordinary muscles (OM) of the full-cycle cultured Pacific bluefin tuna. C: connective tissue, F: fat tissue, M: muscle fiber. Bar=50 μ m.

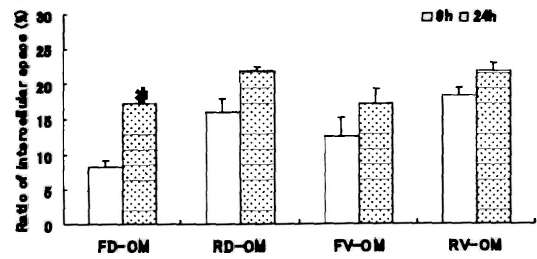


Fig. 4 Changes in intercellular area during chilled storage. The intercellular area was measured in optical microscopy photographs and its proportion to the whole muscle area was calculated. Each value is expressed as an average \pm S.D. (n=3). *: significant difference ($p < 0.05$) between 6h and 24h of the same muscles by *t*-test.

第2章 天然クロマグロ普通筋との相違について

完全養殖クロマグロの肉質は、完全に人為的な環境下 (特に養殖生質による運動量の制限) に置かれるため、天然クロマグロとは異なる肉質になることが予想される。一般的に、養殖魚の肉質は、脂肪含量が多く柔らかいことが特徴であるが、完全養殖と天然クロマグロ普通筋の組織学的な相違は明らかでない。そこで、完全養殖クロマグロおよび同程度の体重の天然クロマグロ普通筋を用いて、長期貯蔵 (7 日間) による物性測定ならびに顕微鏡 (光学および透過型電子顕微鏡) 観察による組織学的な比較を行った。

材料および方法

生後 28 ヶ月養成した完全養殖クロマグロ 6 尾 (平成 16 年 7 月および 11 月採取, 体重: 20.2 \pm 1.0kg [7 月], 28.5 \pm 3.6 kg [11 月]) ならびに天然クロマグロ (同年 6 月採取, 33.3 \pm 0.9 kg, 富山県氷見産) の背部普通筋の前部 (FD-OM)

および腹部普通筋の前部(FV-OM)を用いた(Fig. 1)。

一般成分含量は常法により測定した。物性測定として、7日間冷蔵(4°C)に伴う破断強度の変化をレオメーターで測定した。筋細胞間の間隙の割合は、画像解析ソフト(Scion Image)にて計測した。

詳細な組織構造の比較を行うために、FD-OMの材料筋肉(5×1×1mm)を5%グルタルアルデヒド溶液(pH7.4のリン酸緩衝液を使用)で固定し観察試料として用いた。

光学顕微鏡観察用の試料は、50~100%のエタノール系列による脱水を行い、テクノビット(Technovit 7100, Ohken)に包埋後、厚さ3μmの切片を作成し、トルイジンブルー染色を行ったものを用いた。また、透過型電子顕微鏡用の試料は、1%オスミウム酸溶液で後固定を行い、エタノール系列により脱水し、エポキシ樹脂(Epon 812, Ohken)に包埋した。その後、ウルトラマイクローム(MT6000; Du Pont Co.)を用いて厚さ90nmの超薄切片を作成し、2%酢酸ウランおよびクエン酸鉛による二重染色後、透過型電子顕微鏡(TEM, H-800; Hitachi)で観察した。

結果および考察

普通筋中の一般成分含量は特に粗脂肪含量で違いが見られた。天然クロマグロ(FD-OM: 約1%, FV-OM: 約15%)に比べて、完全養殖クロマグロ(FD-OM: 約10%, FV-OM: 約35%)で有意に高かった。

7日間冷蔵(4°C)による破断強度は、天然クロマグロ普通筋では、多少の増減が見られたが、一定の傾向は得られなかった。しかし、完全養殖クロマグロでは、FD-OMが2日まで上昇し、その後低下したのに対して、FV-OMでは7日まで一定の値に維持された。光学顕微鏡を用いた組織観察(6時間、1日および7日目)では、短期(1日)貯蔵中と同様の変化が観察さ

れた。すなわち、天然および完全養殖クロマグロ普通筋ともに、全ての部位で筋線維間の剥離が観察され、これは画像解析による筋細胞間の面積測定の結果に反映された。また、筋細胞間の間隙割合は、天然および完全養殖クロマグロともに両部位(FD-OMおよびFV-OM)で有意に増加したが、天然よりも完全養殖クロマグロ普通筋でその傾向が著しかった。

天然および完全養殖クロマグロ普通筋の組織学的相違を追究するために、詳細な顕微鏡観察を行った。光学顕微鏡観察では、様々な形をした筋線維が観察された。天然クロマグロ普通筋では、筋線維間に細い結合組織が観察されたが、完全養殖クロマグロ普通筋では多量の脂肪組織が観察された。透過型電子顕微鏡による筋線維内部の観察では、両者ともに、円形の筋原線維が観察され、その周囲を筋小胞体を取り囲む構造を有していた。しかし、天然クロマグロ普通筋でよく発達した筋小胞体が観察されたのに対して、完全養殖クロマグロ普通筋では、筋小胞体が天然クロマグロ普通筋ほど発達していない代わりに、多量のグリコーゲン顆粒が観察された(Fig. 5)。また、筋線維周辺部の観察では、天然クロマグロ普通筋がよく発達したミトコンドリアを有していたのに対して、完全養殖クロマグロ普通筋ではミトコンドリアは小さく、さらに筋線維間においては多量の脂肪組織が観察された。

これらの組織学的相違は、飼育環境、特に運動量の相違によるものであると考えられた。大型の高速回遊魚であるクロマグロは、遊泳のために大量のエネルギーを必要とするが、養殖生簀(本研究では直径25m、深さ10m)により運動量が著しく制限され、残留したエネルギーが多量のグリコーゲンや脂質の形で筋肉内に貯蔵されたものと考えられた。また、これらの結果は、筋線維型の変化を示唆するものであるが、予備試験として行った凍結切片を用いたNADH酵素活性の観察(筋線維型分類法の一つ)では、両者の間に明確な違いは得られていない。

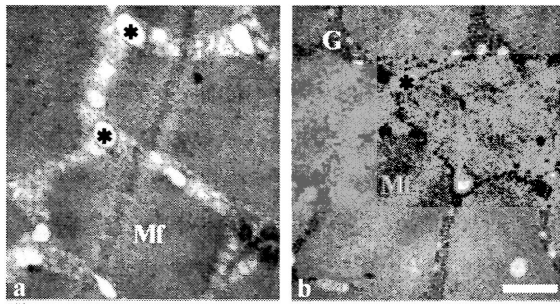


Fig. 5 High magnification TEM photographs of FD-OMs (especially, myofibrillar area) of wild (a) and full-cycle cultured (b) Pacific bluefin tuna. G: glycogen granule, Mf: myofibril, *: sarcoplasmic reticulum. Bar=500nm.

第3章 成長によるグリコーゲン顆粒の蓄積について

第2章において、完全養殖クロマグロ普通筋では、天然クロマグロ普通筋に比べて、筋線維内に多量のグリコーゲン顆粒が蓄積していることが明らかになった。そこで、成長過程によるグリコーゲン顆粒の蓄積時期の特定を行った。

材料および方法

約21~28ヶ月飼養した完全養殖クロマグロ9尾（平成16年4月 [体重: 13.1±2.6kg], 7月 [20.2±1.0kg] および11月 [28.5±3.6kg] 採取）の背部普通筋の前部 (FD-OM) を用いた (Fig. 1)。透過型電子顕微鏡観察用の試料作成方法は、第2章に準じた。

結果および考察

完全養殖クロマグロ普通筋は、成長によりグリコーゲン顆粒を筋線維内に蓄積することが明らかになった。また、グリコーゲン顆粒は、体重が約10kgの個体においても蓄積している

ことから、本研究で用いた生簀（直径25m、深さ10m）のサイズでは、すでに若齢期においても運動量を制限している可能性が示唆された。

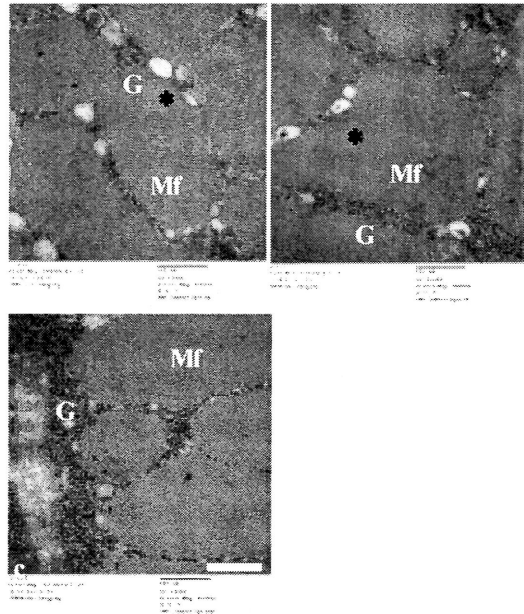


Fig. 6 High magnification TEM photographs of FD-OMs (especially, myofibrillar area) of full-cycle cultured Pacific bluefin tuna on April (a), July (b) and November (c). G: glycogen granule, Mf: myofibril, *: sarcoplasmic reticulum. Bar=500nm.

以上のように、完全養殖クロマグロの肉質は、天然クロマグロとは異なることが一連の組織学および生化学的解析により明らかになった。特に養殖魚で指摘されている高脂肪含量は、完全養殖クロマグロでも同様の結果であった。また、冷蔵による組織崩壊も天然クロマグロに比べて早いことが示唆され、これらの相違は、組織学的な相違（特に運動量の制限）に起因するものであることが考えられた。しかし、各種成分の季節変化や餌成分の影響などの課題も残されており、天然クロマグロとは異なる餌の完全管理による特徴ある肉質造りや、即殺による鮮度の良さなどをアピールすれば、独自の商品価値を生み出すことも可能であると考えている。