

養殖ブリの品質向上を目的とした血合筋褐変機序の解明および 品質評価に関する研究

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科
久保久美子

日本の養殖業にとって重要な魚種であるブリは、養殖技術の向上により安定生産され品質は向上したが、流通関係者から血合筋が褐色に変色する「褐変」が早く、商品価値の低下を導くことが指摘されている。褐変はミオグロビンの酸化（メト化）が主要因とされており、ミオグロビンが多く含まれる赤身魚であるマグロ類の普通筋で研究が進められてきた。メト化促進の因子としては温度、pH、過酸化物質などが報告され、冷凍マグロはメト化防止のため-60℃以下の超低温流通が行われている。一方、ブリの国内流通は鮮魚で行われ、飼料に抗酸化物質を添加するなどの取組が行われているが、普通筋と接する血合筋から褐変が発生し、体表に向かって進行する。このような褐変発生の状況はマグロ類では報告がなく、この機序は知られていない。そこで、本研究ではブリ血合筋の褐変発生および進行の機序を解明し、かつ、褐変の進行に影響を与える因子を検討した。また、魚類は一般的に脂肪量がブランドとなり得るが、現場で簡便かつ迅速に脂肪量は測定できない。そこで、インピーダンス法を用いて脂肪量を非破壊で簡便かつ迅速に測定する装置開発の可能性を検討した。

第1章では、ブリの褐変は普通筋と接する血合筋から発生し体表に向かって進行するため、褐変発生および進行の機序について検討した。普通筋、血合筋およびその境界面での筋肉中の糖、脂質の成分代謝およびその代謝成分がメト化に与える影響を調べた。グリコーゲン量は血合筋で高く、普通筋で低かった。一方、解糖系酵素活性は血合筋で低く、普通筋で高かった。このため、血合筋のグリコーゲンが基質となり、血合筋に接する普通筋の解糖系酵素により分解され乳酸が生成し、境界面でpHが低下したと推察した。pHが低下するほどミオグロビンはメト化し、メト化は脂質酸化を促進した。これまでメト化が脂質酸化を促進する報告はあったが、脂質酸化がメト化に与える影響は明らかではなかった。本研究によって、リン脂質の酸化がメト化を促進することが明らかとなった。ブリ血合筋の褐変は、①筋肉性状の違いにより血合筋と普通筋の境界面でpHが低下、②pHの低下によりミオグロビンがメト化、③メト化により境界面の脂質が酸化、④リン脂質の酸化が周囲のミオグロビンのメト化を促進。以上の過程により、境界面で発生したメト化が体表側へ徐々に進行する褐変機序を解明した。

第2章では、前章でリン脂質の酸化がメト化を促進したことから、リン脂質の酸化を抑制する抗酸化物質 α トコフェロール (α Toc) に着目し、ブリの飼料および血合筋中の α Toc 量と褐変との関

係を検討した。飼料中の α Toc 量が高いほど血合筋中の量も高い傾向が見られた。血合筋中の α Toc 量と褐変との関係では α Toc 量が多いほど褐変が遅い傾向が見られたが、 α Toc 量が少なくとも褐変が遅い場合が認められ、その要因としては血合筋に含まれるアスコルビン酸 (AsA) 量が関与している可能性が見出された。従来、流通関係者は産卵後と夏期に褐変が早いと認識しているため、月ごとの褐変状況 (空気暴露24時間後のメト化率および a^* 値), pH, α Toc, AsA 量を検討した。 α Toc および AsA 量は産卵期から産卵後にかけて低く、褐変の進行は早かったが、8-11月はAsA量が高く褐変の進行は遅かった。このため、 α TocとAsAは褐変抑制因子として働くことが明らかとなった。なお、流通関係者が夏期に褐変が早いとする認識は温度管理の不徹底によるものとする。

第3章では、ブリの品質を評価するための非破壊式の簡易脂肪量測定装置の開発を目的に、ヒト用体脂肪計で用いられている生体電気インピーダンス法が魚類に応用可能か検討した。インピーダンス値と脂肪量に有意な相関が認められたが、鮮度変化が早いため、取上からの経過時間や温度がインピーダンス値に影響した。これらの影響を除くため、測定条件を設定すると共に高周波と低周波のインピーダンス値を組み合わせることで脂肪量の推定精度の向上を図った。これにより、多周波インピーダンスを用いて脂肪量を測定する装置の開発が可能であると結論づけた。

第4章では、周波数の異なるインピーダンス値が細胞内外の状態を表すため、多周波のインピーダンスを測定することで細胞レベルでの品質情報が得られると考えた。筋肉の白濁現象であるヤケ肉はタンパク質の変性や筋内膜の崩壊が知られ品質が低下するが、これまで外観から判定する方法がなかった。このため、ヤケ肉の損傷程度を数値化し、非破壊でヤケ肉を判定する方法を検討した。初めにヤケ肉の性状を検討し、魚肉の白濁 (L^* 値) とタンパク質の変性指標である Ca-ATPase 活性が最も相関していることを見出した。100 kHz に対する 20 kHz のインピーダンス比と Ca-ATPase 活性に相関性があることから、高周波と低周波のインピーダンスを測定することでヤケ肉が判定できる可能性を見出した。

第5章では、本研究の結果を総合的に取り纏めるとともに総合考察を行った。そのなかで、「血合筋の褐変」については発生および進行の機序を明らかにし、飼料および季節の影響から褐変進行を促進または抑制する要因を解明し、養殖魚の品質向上のための提言を行った。非破壊で簡便かつ迅速に脂肪量を測定する装置については、測定条件 (測定時間と温度) を統一することで可能と結論付け、この知見を基に魚用品質状態判別装置 (フィッシュアナライザ DFA100) が市販されることとなった。今後、養殖ブリでは脂肪量を客観的な数値で管理することが可能となり、更なる品質の向上が図られるものとする。また、インピーダンス法は細胞内外の状態を数値化でき、ブリのヤケ肉を判定できる可能性が示唆された。さらに、この技術に関しては養殖クロマグロのヤケ肉判定に応用が可能であると考えられた。