

論文内容の要旨

氏名	しげむらやすたか 重村泰毅
学位の種類	博士(農学)
学位記番号	農第80号
学位授与の日付	平成17年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	魚肉の物性変化に及ぼすコラーゲンの影響に関する研究
論文審査委員 (主査)	教授 川崎賢一
(副主査)	教授 山根猛
(副主査)	教授 太田博巳
(副査)	助教授 安藤正史

魚類筋肉の軟化現象は本来新鮮な魚肉が保持している歯ごたえを損ない、結果として消費者の手に届くまでにその品質価値を低下させる。この魚肉の軟化現象は畜肉などに比べて死後1日以内といった短時間で生じる。そのため、魚肉の軟化現象を制御または遅延させることは水産業界における大きな課題となっている。本研究では最終的に魚肉の軟化現象を制御することを目的として実験を行なった。

軟化現象は魚種によってその進行速度が異なることが知られている。現在までに、魚類筋肉の軟化現象は筋細胞間を結合する筋内膜の脆弱化によって引き起こされていることが証明されている。筋内膜は主にV型コラーゲンによって構成されており、軟化の進行に伴いV型コラーゲンに特異的な変化が生じていることが報告されている。しかしながら、現時点において冷蔵中にV型コラーゲンが特異的に変化する原因は不明である。

第1章では、特異的な変化が認められるV型コラーゲン含量と軟化現象との関係について調べるために7魚種を用いて、死後24時間以内の破断強度とV型コラーゲン含量を測定した。その結果、相対破断強度の減少率である軟化率はブリ(38.6%/24h) > マアジ(30.1%/24h) > ヒラメ(25.9%/24h) > イサキ(25.0%/24h) > シマアジ(22.6%/24h) > マダイ(10.0%/24h) > トラフグ(0.7%/24h)の順に大きかった。軟化が終了するまでの1時間当たりの減少率に換算した軟化速度はイサキ(2.6%/h) > ヒラメ(2.4%/h) > ブリ(2.1%/h) > マアジ(2.1%/h) > シマアジ(1.6%/h) > マダイ(0%/h) = トラフグ(0%/h)の順に大きな値であった。V型コラーゲン含量は、ブリにおいて最も多く、最も少なかったイサキの約6.5倍であった。V型コラーゲン含量と、軟化率および軟化速度との相関係数はそれぞれ0.3606と0.0716であり、V型コラーゲン含量と筋肉物性変化との間には高い相関性は認められなかった。

第2章では、V型コラーゲンと軟化現象との関係を明らかにするために、即殺直後および冷蔵24時間後のV型コラーゲン含量、そして冷蔵中の破断強度を測定した。冷蔵中のV型コラーゲンの減少率を算出したところ、ブリ(72.9%)>マアジ(57.1%)>イサキ(47.1%)>マダイ(44.6%)>シマアジ(39.2%)>ヒラメ(36.0%)>トラフグ(26.1%)の順に大きな値であった。V型コラーゲンの減少率と、軟化率および軟化速度との相関係数は、それぞれ0.881と0.8542であった。この結果より、魚肉中のV型コラーゲン含量の減少率と軟化現象との間には高い相関があることが明らかとなった。

一般にマサバは死後変化が早く、生食には不向きとされている。ところが、流速が速いことで知られる大分県豊後水道で漁獲されるマサバ筋肉は、死後なお硬い歯ごたえを持ち、生で食べることが可能である。これまでに、生息海域の流速が速いマサバほど筋肉が硬く、死後の軟化が緩やかであることが報告されている。このことから、生息海域が異なることで、マサバコラーゲンの死後変化が異なり、その結果として筋肉の物性変化が異なるのではないかと考えた。そこで第3章では、豊後水道産マサバと福岡県玄界灘産マサバを用いて、冷蔵中の筋肉の物性変化およびコラーゲン量の変化について調べた。破断強度の低下率で比較すると、豊後水道産マサバが54.1%であるのに対し、玄界灘産マサバは20.1%であった。全筋肉コラーゲン量は冷蔵中に有意な変化はなかったが、V型コラーゲン量については豊後水道産マサバが56%減少したのに対し、玄界灘産マサバは33%にとどまった。以上の結果から、流速が速い海域で漁獲されたマサバ筋肉のV型コラーゲンの減少率は大きく、物性の変化率も大きいことが明らかとなった。

魚肉コラーゲンが0.1M NaOHに溶解しないとされてきたため、これまでに0.1M NaOH不溶性画分を魚肉コラーゲンとして扱ってきた。冷蔵後のV型コラーゲン量が減少したことから、冷蔵中に変化したコ

ラーゲンは0.1M NaOHに溶解することが推測される。以上のことから、0.1M NaOH可溶性コラーゲンには軟化現象を制御するための手がかりがあると考えられる。そこで第4章では、ブリ、マダイ、トラフグを用いて、0.1M NaOH可溶性画分よりコラーゲン分解物の検出を行なった。その結果、0.1M NaOH可溶性画分にV型コラーゲンは検出されず、I型コラーゲンのみが検出された。冷蔵中にブリとマダイのI型コラーゲンの0.1M NaOHに対する溶解性がそれぞれ増加した。冷蔵中V型コラーゲンの溶解性が特異的に変化するため、軟化現象の原因としてはV型コラーゲンの変化が挙げられている。本研究では、冷蔵中にI型コラーゲンの溶解性が変化することを初めて報告した。このことから、V型コラーゲンだけではなくI型コラーゲンも軟化現象の原因となることが推測された。

論文審査結果の要旨

水産物は畜産食品と比べて低温下であっても、鮮度低下が著しく速い。これは、畜肉に比べ結合組織が弱いため、魚自身の持っている筋肉や内臓の酵素によって自己消化されるとともに、魚体に付着している低温細菌の作用によって劣化が速やかに進行することが鮮度低下を促進させる大きな原因と考えられている。

マダイ、ヒラメ等の市場価値の高い魚は生食される場合が多く、極めて高い鮮度が要求され、活魚輸送で消費市場に送られる。卸売市場では死後硬直前の魚は活魚と同等の価値で取引される。このように魚介類のテクスチャーはその品質を決定する最も重要な因子である。魚介類の鮮度低下を特徴づける筋肉のテクスチャーは筋原繊維タンパク質及び筋基質タンパク質によって主として形成される。渡部らは筋原繊維の死後硬直の遅延に注目し、変温動物である魚類の代謝対応の特長を生かして、飼育条件を検討することによりミトコンドリアの F_0F_1 -ATPase 活性を充進させ ATP 合成量を増大させることで、死後硬直の遅延を図る研究を進めている。しかし、一方、山下らは死後硬直以前に冷蔵1日目ですでに肉質の軟化が進行することから、筋肉の軟化は、筋肉タンパク質を特異的に分解するプロテアーゼが作用すると推測し、プロテアーゼ阻害剤による筋肉軟化阻止の研究を行っている。このように、魚貝類の軟化防止は鮮度管理の中で唯一残された研究課題である。

本研究は鮮度管理の中で未だ解決されていない魚貝類筋肉の軟化現象について、その原因を探求し、その制御または遅延させるメカニズムの解明を目的としている。

第1章ではI型及びV型コラーゲンの量が魚肉の破断強度と関わりについて研究した。7魚種を用いた肉の硬さを調べたところ、コラーゲンの多い魚ほど即殺直後の肉のテクスチャーが硬いことを見いだした。しかし、冷蔵貯蔵した魚肉の24時間後の破断強度の変化とコラーゲン量とは相関が見いだせなかった。そこで、筋細胞間結合組織に主として存在するV型コラーゲンの含量に注目し、同様の実験を試みた結果、V型コラーゲンにおいても筋肉物性との間には高い相関は認められなかった。このことから、コラーゲンの含量は肉質の軟化に関与しないことを見いだした。ところで、マイワシにおいて筋肉中のV型コラーゲン含量が冷蔵中に減少することが報告されている。このことから、軟化には冷蔵中に変化するV型コラーゲン量に関わるのではないかと考えられた。

そこで、第2章ではさらにV型コラーゲンと冷蔵貯蔵中の魚肉の軟化現象との関係を明らかにするため、7魚種を用いて冷蔵貯蔵した魚肉の24時間後の破断強度の変化から軟化率及び軟化速度を求め、V型コラーゲン含量の減少率と軟化現象との相関を見た。この結果、これら間には高い相関が認められ、V型コラーゲン含量の減少率が肉質の軟化に関与していることを見いだした。また、比較的運動量の豊富な魚種において冷蔵中のV型コラーゲンの変化率、および物性の変化率が大きい傾向にあった。

そこで、第3章ではさらにこれらを実証するため、流速が速いことで知られ、刺身で食される豊後水道のマサバと、ごく一般的な玄界灘のマサバについて、コラーゲン量及びV型コラーゲンの減少率について比較した。冷蔵貯蔵した魚肉の24時間後の全筋肉中のコラーゲン量は優位な変化は見いだせなかったが、V型コラーゲン含量の減少率には優位な差が認められた。これらの値を2章で求めたV型コラーゲン含量の減少率と軟化現象との相関関係のグラフ上に当てはまると、V型コラーゲン含量の減少率が肉質の軟化に関与している改めて明らかにした。

第4章では筋肉のテクスチャーは筋原繊維タンパク質及び筋基質タンパク質によって主

として形成されることから、V型コラーゲンのみが軟化の要因とは考えにくい。そこで0.1M NaOHに溶解しないタンパク画分をコラーゲンとして扱ってきたが、コラーゲン分子が冷蔵中にわずかに変性した場合、0.1M NaOHに溶解することが推測される。このため0.1M NaOHに溶解したタンパク画分をSDS-PAGEで測定したところI型コラーゲンが検出された。このことからブリ、マダイ、トラフグの3魚種を用いて、冷蔵貯蔵した魚肉の24時間後の全筋肉中の0.1M NaOHに溶解されたI型コラーゲンの量を即殺後のそれと比較した。その結果、明らかに溶解性が増していることを発見した。

この研究は、V型コラーゲンのみでなくI型コラーゲンも魚肉の軟化に関与していることを初めて明らかにした。

鮮度管理の中で未だ解決されていない魚貝類筋肉の軟化現象について、その原因の一部がV型コラーゲンのみならずI型コラーゲンの変性にあることを見いだした本研究は、魚肉筋肉の軟化の制御を図るために必要な基礎的知見として極めて重要であると考えられる。

よって本論文は博士（農学）の学位論文として価値のあるものと認める。なお審査にあたっては、論文に関する専攻内審査および公聴会など所定の手続きを経たうえ、平成17年2月22日、農学研究科教授会において、論文の価値ならびに博士の学位を授与される学力が十分であると認められた。