

致死条件の違いがアユの鮮度関連指標に及ぼす影響

後藤功一, 武藤義範, タンマウオン マナスイカン¹, 中野浩平²

The difference in lethal methods on freshness-related index : the case of ayu (*Plecoglossus altivelis*)

GOTO KOICHI, MUTO YOSHINORI, THAMMAWONG MANASIKAN AND NAKANO KOHEI

岐阜県のアユは、都道府県別漁獲量・養殖生産量において内水面漁業漁獲量で全国 3 位、内水面養殖生産量で全国 3 位であり、漁業・養殖業総生産量は全国 2 位となっている。このことからアユは本県の水産業における重要魚種の一つと言える(農林水産省大臣官房統計部漁業・養殖業統計年報, 2014)。

漁獲・収獲されたアユの多くは、市場等へ出荷・流通するが、一般的に魚介類は畜肉と比較して水分量や自己消化酵素が多く、さらに腐敗しやすい鰓や内臓がついたまま流通するため腐りやすい。特にアユでは、腹割れを起こすなど鮮度劣化が速いと言われている(井嶋, 1989)。

「鮮度が良いこと」は、アユに限らず魚介類一般における価値形成の最重要ファクターであり、漁獲・収獲後の取り扱い次第で大きく異なる(阪井ほか, 2012; 潮, 2000)。現在、アユの流通における鮮度管理は伝統的、経験的に行われてきた外部品質からの鮮度評価が中心であるために広域流通が難しいと考えられる。そこで経験則に基づいた鮮度管理手法を、科学的な根拠に基づいて見直す必要がある。

一般に魚の鮮度評価には、筋肉中に存在する ATP(アデノシン三リン酸)等の核酸物質に基づく K 値で定量的に表現される。ATP は生命活動に伴って分解される一方、エネルギーを供給する時に再合成されるため、生体内でのレベルはほぼ一定に保たれているが、死後急速に分解される(横山・坂口, 1998)。魚の死後、品質(鮮度)が落ちるに従って ATP は酵素的に分解・減少し、ADP(アデノシン二リン酸)→AMP(アデニル酸)から旨み成分である IMP(イノシン酸)に分解され、さらに腐敗が進むと Ino(イノシン)→Hyp(ヒポキサンチン)のように変化する。K 値はこれらの ATP 関連物質に対する Ino と Hyp の割合で表され、時間当たりの変化量が大きく、現在、最も有効な鮮度判定方法のひとつであると言われている(内山・江平, 1970)。

しかし、アユの ATP 関連物質の消長に関する研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、アユの漁獲時・収獲時の締め方(即殺:氷締め、非即殺:野締め)及び致死後の貯蔵温度が鮮度関連指標に及ぼす影響を調べ、出荷から流通段階における鮮度管理を指導する上での知見を得ることを目的とした。

キーワード:アユ、致死条件、鮮度、K 値、応力

材料と方法

体重 50-60g の岐阜県産養殖アユを水産研究所にて約 1ヶ月間畜養し、2014 年 7 月 14 日(気温 28.8℃)に氷締め又は野締めさせ供試した。なお、氷締めは 100L コンテナに飼

育水と氷を等量入れた氷水中に生きた魚を入れて約 5 分間放置して死亡させ、野締めは生きた魚を約 15 分放置して酸欠により苦悶死させた。これらのアユをプラスチック製のトレイに入れた後、水分損失を防止するためにラップをかけ、家庭用冷蔵庫で保存した場合を想定し、5℃に設定したインキュ

1 岐阜大学応用生物科学部、2 岐阜大学大学院連合農学研究科

ベーター(SANYO)内にて貯蔵した。また、別途、氷締めしたアユのみ、発泡スチロール製の箱で氷蔵流通させた場合を想定し、氷を敷き詰めたプラスチック製のトレイの上にアユを並べ、発泡スチロール製の箱に収容して 5°C に設定した大型冷蔵庫(MITSUBISHI)にて貯蔵(試験中の箱内の温度は約 0°C)した。

供試したアユ(各区分 5 尾)を氷締めは 0、3、6、9、12、24、48、72、96 時間、野締めは 0、6、12、24、48、72 時間貯蔵し、貯蔵時間毎に ATP 関連物質の含量を測定し、K 値を算出するとともに、魚体背部(筋肉部分)の応力変化を測定した。以下に、ATP 関連物質の定量方法、K 値の算出方法、応力の測定手順を示した。

ATP 関連物質の定量及び K 値の算出

ATP 関連物質含量は、胡ほか(2013)の方法を参考に次のとおりとした。貯蔵時間毎にアユの背鰭下付近から 1g の筋肉を採取し、10mL の 5%過塩素酸溶液に入れ、氷冷しながらホモジナイザー(IKA)で 1 分間攪拌した。そこへ pH3 になるように 1mol/L の水酸化カリウム水溶液を適量添加した。その後、25mL メスフラスコに全量に移して蒸留水を加えて 25mL とした。試料の一部を 10mL 遠沈管に移し、HPLC 分析を行うまで氷冷した。保存したサンプルの上清 4mL をバイアル瓶に入れ、0.1mol/L のリン酸緩衝液(pH7.5)1mL を加えて中和した。これを 5mL テルモシリンジ(テルモ株式会社)に移し、ポアサイズ 0.45 μm メンブレンフィルター(ザルトリウス社製ミニザルト RC15)で濾過した。その濾液を HPLC 用バイアル瓶に採取し、高速液体クロマトグラフィー(東ソー 8020)で ATP、ADP、AMP、IMP、Ino、Hyp をそれぞれ測定し、次式($K \text{ 値} \% = ((\text{Ino} + \text{Hyp}) / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{Ino} + \text{Hyp})) \times 100$)により K 値を算出した。

応力

魚は死後、筋肉が硬直し、その後時間の経過とともに軟化するため、その硬直状態を応力(硬さの指標)により評価した。

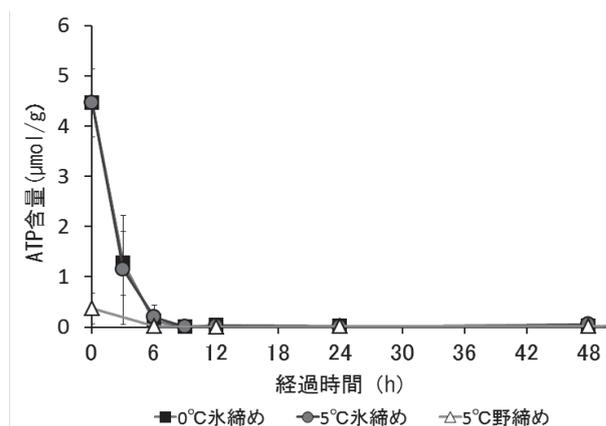
魚体の硬直の状態を測定するため、躯幹部の追星(鰓後部の黄色い紋)付近の筋肉の応力を測定した。測定には、レオメーター(サン科学)を使用し、自動解析ソフトには Rheo Data Analyzer for VR.2.9.1.8 を使用した。

試料台にアユを置き、追星に直径 8mm の球プランジャーが当たるように、30mm/min の圧縮速度でプランジャーを下ろし、魚体が 2mm 変位した時の応力を測定した(木村ほか, 1997)。

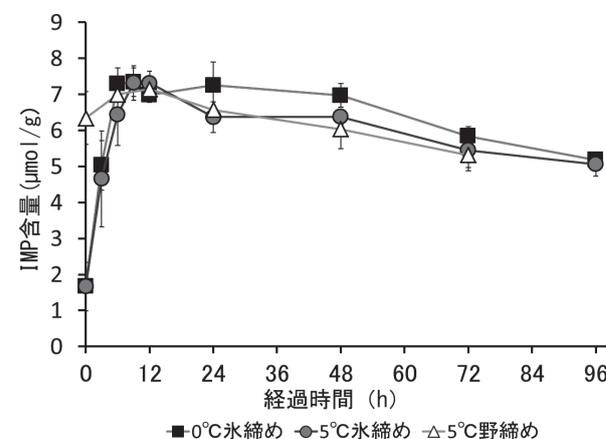
結果及び考察

ATP 関連物質の含量及び K 値の変化

アユの各貯蔵温度における ATP 及び IMP 含量の変化を第 1・2 図に示した。氷締めのアユ筋肉の ATP は貯蔵開始後 6 時間までに急激に減少し、同時に IMP は貯蔵後 9 時間頃までに急激に増加したが、その後緩やかに減少した。野締めの状況は氷締めとは異なり、貯蔵開始直後の IMP 含量が大きく、貯蔵後 12 時間までにやや増加し、その後は緩やかに減少した。減少の仕方は氷締めと野締めであまり変化がなかった。魚類の筋肉の死後における ATP の代謝に関して、ATP から IMP までの反応は、死後の筋肉の乳酸生成に伴って低下する pH が一定値に達するまでの間の比較的初期の段階に良く進行することが明らかとなっている(横山・坂口, 1998)。しかし、5°C 貯蔵での野締めと氷締めの ATP 関連物質の変化を比較すると、野締めの ATP 初期含量は 0.38 μmol/g と氷締めの 4.5 μmol/g に比べて極めて少ない一方、IMP 初期含量は野締めが 6.3 μmol/g、氷締めが 1.7 μmol/g と野締めの含量が極めて大きかった。野締めでは死に至る際に呼吸困難のため、苦しみ暴れる。このため筋



第 1 図 ATP 含量の変化(垂線は標準偏差)

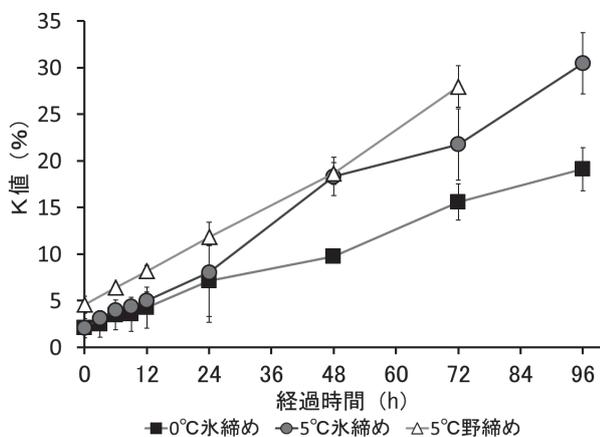


第 2 図 IMP 含量の変化(垂線は標準偏差)

肉中の ATP がより速やかに分解されて IMP が蓄積されたと考えられる。

ATP 関連物質の含量の組成比から算出した K 値の経時的変化について第 3 図に示した。K 値は氷締め、野締めともに貯蔵時間に比例して増加した。増加の仕方は貯蔵温度が高い方が大きくなった。5℃貯蔵では貯蔵時間 72 時間で K 値が 20%以上となったが、0℃貯蔵では貯蔵開始から 96 時間経っても K 値は 20%以下であった。同じ 5℃貯蔵でも氷締めと野締めでは貯蔵開始直後の初期値は、氷締めが 2.1% に対し、野締めでは 4.6%と致死条件による差が認められ、その後の増加の仕方も野締めの方が高く推移する傾向がみられた。K 値は貯蔵時間が長くなる程増加し、また貯蔵温度が高い程増加の仕方が大きくなるという同様の報告はいくつかある。油野・廣田ら(2005)はサクラマス筋肉の死後変化に及ぼす致死条件と貯蔵温度の影響に関する研究において、サクラマスを 0℃及び 5℃で 72 時間貯蔵した結果、K 値は貯蔵時間が長くなる程増加し、5℃区の方の K 値が高めに推移したと報告している。魚種別で見ると、貯蔵温度 0℃、貯蔵時間 48 時間でサクラマスの K 値は約 15%、マサバは約 9%、ヒラメは約 5%(岩本ほか, 1990)、マダイは約 3%(岩本ほか, 1985)となっている。本研究でのアユの K 値は同温度、同時間で約 10%であり、この結果からアユは比較的鮮度低下が速いものと考えられた。

K 値は、20%以内で刺身など生食用に、鮮魚として市販されているものは 15-35%、この中で煮魚用には 40%以下、すり身など加工原料用には 60%以下の魚肉が用いられ、60%以上のものは初期腐敗に相当すると一般的に言われている(小関ほか, 2006)。本研究では氷締め後、5℃貯蔵では貯蔵時間 72 時間で K 値が 21.8%となったが、野締めでは 28%となり、増加の仕方がやや大きくなった。この原因として



第 3 図 K 値の変化(垂線は標準偏差)

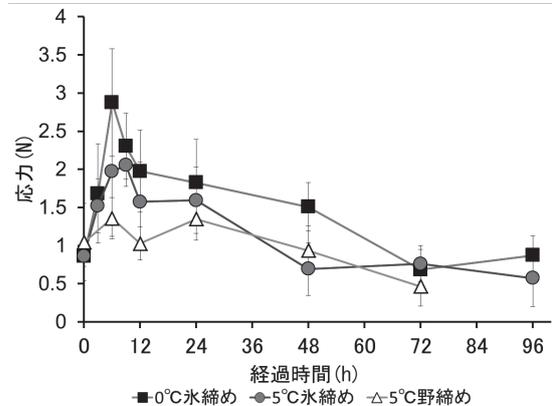
野締めでは先述したように、ATP の分解が氷締めよりも速いため、このような結果となったと考えられる。氷締め後の 0℃貯蔵では貯蔵開始から 96 時間経ても K 値は 20%以下であり、刺身用として利用することが可能なレベルを維持していることが明らかとなった。なお、氷締めから氷蔵 5 日(約 120 時間)後において刺身でも食用可とされる鮮度(K 値 20%以下)に保たれていた報告例(桑田, 2012)があり、貯蔵温度が低い方が、良好な鮮度を長期間保持できることを改めて裏付ける結果となった。

応力の変化

各貯蔵温度における応力の変化を第 4 図に示した。

氷締めの 0℃、5℃区では、貯蔵後 6 時間から 9 時間、野締めの 5℃区では貯蔵後 6 時間までに増加し、その後、緩やかに低下した。氷締めでは貯蔵温度が低い程、応力の最大値が高くなった。また、氷締めと野締めでは、致死後の貯蔵条件が同じでも野締めの方が応力の最大値が低く、その後の値の変化も少ない傾向が見られた。

望月・佐藤ら(1996)のマサバ及びマルアジの死後変化に対する致死条件の影響に関する研究において、マサバでは野締めの方が氷締めよりも筋肉破断強度の最大値が低く、その後の値もほとんど変化しなかったが、氷締めでは貯蔵後 14 時間までに緩やかに減少し、その後は横ばいに推移したことを確認している。一方でマルアジは野締め、氷締めともに筋肉破断強度の最大値はほぼ同じ値であったが、貯蔵後 3 時間から 12 時間までに急激に低下し、その後は緩やかに低下したことを確認している。本研究では、筋肉を破断せず、魚体が 2mm 変位した時の応力を測定したため、数値を直接比較することはできないが、アユでは 3 時間から 6 時間までに急激に最大値に達するが、マサバと同様に野締めの方が最大値が低く、その後、氷締めでは急激に減少するのに対



第 4 図 応力の変化(垂線は標準偏差)

し、野締めでは緩やかに減少するものと考えられた。致死条件と死後の筋肉の硬直の関係について、望月(2000)は、苦悶によって致死させた場合と延髄刺殺による即殺と比べると、苦悶死では筋肉の破断強度の最大値が低くなり、その後の筋肉の軟化の程度が致死条件によって大きく異なることを報告している。本研究においても、マサバの場合と同様に野締め(苦悶死)の応力の最大値が氷締め比べて低くなることが確認され、致死条件が筋肉の硬直の程度に影響を及ぼしている可能性が考えられた。

応力とATP関連物質の消長を比較すると第1・2図より、IMP含量は氷締め、野締めともに貯蔵温度に関係なく貯蔵後6時間から9時間までに最も高くなった。致死条件により筋肉の応力の最大値は異なるが、応力が最も高くなる時間とATPが消失し、IMPが最も増加する時間はほぼ一致した。致死後の筋肉の硬直はATPの消失が関係するとされている(岩本ほか, 1985; 小関ほか, 2006)。つまり、魚が死に至ると、酸素の供給が絶たれ、嫌気的狀態で筋肉中の細胞は壊死する。筋肉や肝臓に貯蔵されたグリコーゲンが嫌気条件下でグルコースを経て乳酸へと分解され、魚肉のpHが低下することで、筋肉中のATPの酵素分解が速やかに進む。しかし、ATPの備蓄であるクレアチンリン酸がミトコンドリアの作用を介してATPの生産を行うためしばらくはATP量が維持されるが、グリコーゲンやクレアチンリン酸の消失によりATPが生産されなくなり筋肉が硬直する(小関ほか, 2006)。このため、ATPが消失する時間、また、IMPが最も増加する時間に筋肉の硬直がピークになると考えられる。このことからアユについても筋肉の硬直とATPの消失、つまり、IMPのピークは関連しているといえる。

今後の課題

本研究では、アユの漁獲時・収獲時の締め方(氷締め・野締め)と、その後の貯蔵温度が鮮度関連指標に及ぼす影響について、一定の知見が得られた。これらの知見は、食用とするアユの出荷から流通段階における鮮度管理や加工品の製造段階で有効なものと考えられる。

今後、実際の流通中の温度変動環境下におけるATP代謝物の変化について調査するとともに、新規梱包法や流通時間や距離に応じた低温維持に必要な冷却材料等について検討することで、実用レベルでの鮮度管理手法を確立する必要がある。

要 約

1. アユの締め方(氷締め・野締め)及び致死後の貯蔵温度が鮮度に及ぼす影響について、ATP関連物質の含量、K値、魚体背部(筋肉部分)の応力から評価した。

2. ATP関連物質の含量の組成比から算出したK値の経時的変化は、氷締めよりも野締めの方がK値の上昇が早く、また、致死後の貯蔵温度は0℃よりも5℃の方がK値の上昇が大きい。少なくとも、致死後48時間以上の鮮度保持には氷締め後に0℃に貯蔵することが最も効果的であると考えられた。
3. ATP関連物質の定量結果から、致死条件(氷締め及び野締め)に関わらず、魚の旨み成分であるIMPの濃度は貯蔵後9時間頃に最も高くなると考えられた。
4. 筋肉の応力が最も高くなる時間と、ATPが消失してIMPが最も増加する時間は氷締め、野締めともにほぼ一致していた。また、野締めの方が応力の最大値が低く、死後の筋肉の硬直が弱いと考えられた。

文 献

- 油野 晃・廣田将仁. 2005. サクラマス筋肉の死後変化に及ぼす致死条件と貯蔵温度の影響(Ⅱ). 下北ブランド研究開発センター試験研究報告, 4: 53-58.
- 木村 稔・成田正直・野俣 洋・金子博実・山中英明. 1997. ホタテガイ貝柱の硬化に与える貯蔵温度の影響. 日本水産学会誌, 63: 621-626.
- 小関聡美・北上誠一・加藤 登・新井健一. 2006. 魚介類の死後硬直と鮮度(K値)の変化. 「海—自然と文化」. 東海大学紀要海洋学部, 4: 31-46.
- 桑田知宣. 2012. 柿ワイン残渣の投与による養殖アユの品質改善研究. 岐阜県河川環境研究所業務報告, 57: 14-17
- 井嶋重尾. 1989. パーシャルフリージング法によるコアユの鮮度保持. 滋賀県水産試験場研究報告, 41: 58-61.
- 岩本宗昭・井岡 久・斉藤素子・山中英明. 1985. マダイの死後硬直と貯蔵温度との関係. 日本水産学会誌, 51: 443-446.
- 岩本宗昭・山中英明・渡部終五・橋本周久. 1990. 天然および養殖ヒラメの死後硬直の進行の比較. 日本水産学会誌, 56: 101-104.
- 望月 聡. 2000. マサバ筋肉の軟化に及ぼす種々の条件とコラーゲンの変化. 日本水産学会誌, 66: 906-907.
- 望月 聡・佐藤安岐子. 1996. マサバ及びマルアジ筋肉の死後変化に対する致死条件の影響. 日本水産学会誌, 62: 453-457.
- 阪井裕太郎・中島 享・松井隆宏・八木信行. 2012. 日本の水産物流通における非対称価格伝達. 日本水産学会誌, 78: 468-478.
- 内山 均・江平重男. 1970. 核酸関連物質からみた魚類鮮度科学研究の現状. 日本水産学会誌, 36: 977-992.

内山 均・江平重男・小林宏・清水亘. 1970. 揮発性塩基、トリメチルアミン、ATP 関連物質の魚類鮮度判定としての測定意義. 日本水産学会誌, 36: 177-187.

潮 秀樹. 2000. 水産物の加工材料としての特性水産食品の事典. 竹内昌昭・藤井建夫・山澤正勝(編). 朝倉書店, 東京. 85-105.

胡 亜芹・張 佳琪・蛭谷幸司・今野久仁彦. 2013. 魚肉からの ATP 関連物質抽出法の簡便化. 日本水産学会誌, 79: 219-225.

横山芳博・坂口守彦. 1998. 魚介類筋肉の死後における ATP の代謝とその周辺. 比較生理生化学, 15: 193-200.