

シャーベット海水氷による採捕直後の冷やし込みが イカナゴの鮮度に及ぼす影響

角田 出¹・高瀬 清美²・三浦 雄介³

High Qualification of Young Sand Lance by Sherbet Sea Ice Treatment Immediately after Fish Capture

Izuru KAKUTA¹, Kiyomi TAKASE² and Yuusuke MIURA³

¹Faculty of Science and Engineering, Ishinomaki Senshu University,
Miyagi 986-8580, Japan

²Research Center for Creative Partnerships, Ishinomaki Senshu University,
Miyagi 986-8580, Japan

³The Miyagi Prefecture Fisheries Cooperative, Ishinomaki District,
Watanoha aza Sasu 98-2, Ishinomaki-shi, Miyagi 986-2135, Japan

Abstract

The sherbet ice has a larger heat-uptake surface area and induces thereby chilling faster than conventional ice methods. This study examined the effect of the storage by sherbet sea ice immediately after the capture on the quality of the young sand lance, *Ammodytes personatus*, compared to those stored in the seawater ice (SWI). The temperature of the sherbet ice in this examination was -1.0°C (SSIm1.0) or -1.8°C (SSIm1.8). After cooling for 12 hours on board by using the sherbet sea ices or the seawater ice, they were stored at about 4°C in a refrigerator for 6 days. On days 0 (equivalent to 12 hours after the capture), 2, 4 and 6, each 15 fish was used for fish freshness tests. In the SSIm1.0 and the SSIm1.8 storage groups, higher ratio of V-value to S-value (V/S value) of the dorsal region on day 6, and lower ratio of b*-value to a*-value (b*/a* value) of the gills on days 0 and 2 were shown comparing to those in SWI. That is, the cloudiness of the dorsal skin was suppressed significantly and the gills showed a clear and bright red in early stage of the storage at least. Lowered level of volatile basic nitrogen (VBN) in the dorsal ordinary muscle from the young sand lance was found in both SSIm1.0 and SSIm1.8 storage groups on days 0 and 2. Furthermore, the beginning or rigor off of rigor mortis of the fish was retarded significantly in SSIm1.0 and SSIm1.8 groups, comparing with that of the SWI. These results indicate that using the sherbet sea ice for the storage immediately after fish capture was effective for maintaining high quality and high freshness of the young sand lance.

Key words : Sherbet sea ice, young sand lance, qualification,color, volatile basic nitrogen

1. 緒言

魚介類は死後変化が大きく、鮮度低下は獣鳥肉類に比べて著しく速い。従って、魚介類の鮮度を高く保ち、その商品価値を高めるには、採捕直後から消費者にわたるまでの流通過程全般を通じての温度管理が重要である⁽¹⁻³⁾。魚介類の鮮度保持に関する日本の技術水準は高く、海水氷（海水に破碎氷を混ぜたもの）は言うに及ばず、昨今では

シャーベットアイス⁽⁴⁻⁷⁾、スラリーアイス⁽⁸⁻¹⁰⁾、マイクロ・ナノアイス^(11,12)等と名付けられた微細氷が複数の企業から提案され、それらの作製方法や魚介類の鮮度保持効果等に関する研究報告や水産業界での応用例を目にする機会も増えてきた。

微細海水氷を使用すると、通常の海水氷を使用した場合に比べ、氷の微粒子が魚体を包み込むこ

¹石巻専修大学理工学部生物科学科

²石巻専修大学共創研究センター特別研究員

³宮城県漁業協同組合石巻地区支所主任

とにより水揚げ時の魚類の暴れが軽減・抑制されること、急速冷却が可能であること、温度むら（魚体内部の温度分布における偏り）が生じにくく、安定的に低温を維持することができること、シャープな角の無いことから魚体への物理的損傷を減らすことができる等の利点があるとされている。しかし、微細氷は通常の氷に比べると溶けやすい状態にあるため、その使用に際しては以下のような課題も残っている：1) 通常の氷に比べて融解し易いために、長期保存を意図する場合には、適宜微細氷の入れ替えや追加等を行う必要がある。2) 微細氷を入れた魚輸送用容器の容積が大きくなり、重量もかさむ。3) 運搬時に揺られる（振動する）環境下に置かれると氷が研磨剤のように働いて被冷却物の表面にスレを発生させる可能性がある⁽¹³⁾。

魚肉の場合、硬直に至る時間およびその後の硬直持続時間は、それぞれ、死後数分から十数時間、および、5～22時間であるなど、その死後変化は極めて速い^(14,15)。死後における筋肉の硬直はATPの消失を伴う一連の生化学的変化と強く関わっており、温度に依存した反応として現れる⁽¹⁾。それ故、捕獲直後の鮮度保持操作が重要になる。すなわち、漁船への積み込み可能な微細氷作製用の小型装置を用いて作製した微細氷を用いて、採捕直後に魚介類の冷やし込みを行うことができれば、品質の向上に大きく貢献できる。すなわち、採捕直後に微細海水氷による冷やし込みをきちんと行う事で、換言すれば、微細海水氷を用いた冷却・保冷処理が捕獲直後から陸揚げがなされるまでの短期間に限定されたものであっても、その後に現存の保存技術を用いることで魚介類の鮮度・品質が高く維持できるのであれば、微細海水氷の有効性が明らかになるのみならず、輸送に係る手間やコストの削減につながり、当該技術の普及が進むものと考ええる。また、運搬時の揺れが引き起こす商品表面損傷の懸念も払拭できる。

ところで、水産物の凍結は試料の細胞膜を破壊し、解凍時にドリップを生じさせたり、鮮度の低下を加速したりする原因となることから、微細氷を用いた鮮度保持に際しては魚類の凍結温度（ $-1\sim-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）以下にならないように温度を保つ必要がある。前述のマアジの鮮度保持試験⁽¹⁶⁾で

設定した保存温度は、超微細氷ナノアイス使用時の温度は $-0.9\sim-1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ であり、冷蔵保存時（ $3.8\sim5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）は言うに及ばず、海水氷使用時（ $-1.0\sim-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）と比べても、鮮度が高く保たれていた。ただし、上記の微細氷等による保存処理は漁港で入手した後の魚を対象に行ったもので、採捕直後の冷やし込み過程は通常の海水氷を使用したものであった。

そこで本研究では、 $-0.6\sim-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ のシャーベット海水氷を用いて採捕直後のイカナゴ（小女子）*Ammodytes personatus*を船上で冷却・保冷処理をして持ち帰り、同処理をせずに通常の冷やし込み（破碎氷入り海水： $-1.0\sim-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）処理を行ったものを対照として、その後の冷蔵庫内での保存に伴う鮮度変化を比較した。なお、鮮度の評価指標としては、見た目・触感・匂いといった魚を売買する際に、直接感じることができる項目に着目した。

2. 材料および方法

2.1 供試魚

2018年4月中旬、夜半過ぎに集魚灯を用いて集まったイカナゴ（小女子）当才魚を敷網で捕獲したものを以下の鮮度保持試験に用いた。実験に使用したイカナゴの体重は $0.46 \pm 0.06\text{ g}$ であった。

2.2 保存条件

採捕された魚は、捕獲直後に船上にて $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ （SSI $m1.0$ ）と $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ （SSI $m1.8$ ）の2種類の温度に調整したシャーベット海水氷（直径 $0.1\sim0.2\text{ mm}$ ；株式会社ガイヤシステム社製製氷機にて調製）あるいは破碎海水氷入り冷海水（氷の直径 $5\sim20\text{ mm}$ ；対照群、SWI： $-1.0\sim-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）を用いて冷やし込み（保冷処理）を行った。すなわち、午後9時頃に捕獲した魚をそれぞれの条件下で冷やし込みを行った後、一部を発泡スチロール箱内に移し、下船（午前5時前）まで同様の保冷条件下で保存した。なお、冷やし込みおよびその後の保存用に使用したシャーベット海水氷とその中に収容した魚の量の比（容積比）は $5\sim10:1$ 程度であった。

下船直後に各群約100尾の魚を鮮度評価試験用の試料として分け取り、清浄なビニル袋に移し、

保冷剤とともに発泡スチロール箱に収めた状態で、午前9時頃(捕獲後約12時間を経過した時点)に大学研究室に搬入した。なお、研究室搬入時におけるイカナゴ試料の保冷温度は4~6℃であった。

研究室搬入時点を鮮度測定開始時、すなわち保冷試験0日後として直ちに鮮度指標の測定に供した。また、この時点で測定に供さなかった魚試料は、群毎に清浄なビニル袋に入れ替え、冷蔵庫内(3.5~6.0℃)で最長6日間保存しつつ、保冷試験開始から2日後、4日後、6日後に各群15尾の魚試料を対象に、経時的に下記の鮮度指標を測定した。なお、色調は各群5尾を対象とし、同一個体についてその変化を経時的に調査した。揮発性塩基窒素(VBN)の測定には各群5尾を、硬直指数には各群10尾を、それぞれ、調査対象とした。

2.3 鮮度指標の測定

イカナゴの鮮度指標として、外観、臭いに加えて、下記の指標を用いた。

1) 色調(体表背部および鰓の色や濁り): 魚体全体および鰓部分(鰓蓋を切除した状態のもの)を、基準となる赤、緑、青(以下、R、G、Bとする)のカラースケールとともにデジタルカメラで撮影した。その後、躯幹部体表の背部の画像中の3点について、RGB取得ソフト(RGB Get)を用いて、RGB値を計測し、体表についてはHSV値(H:色相、S:彩度、V:明度)、鰓についてはL*値(明度)、a*値(赤/マゼンタと緑の間の位置)、b*値(黄色と青の間の位置)をそれぞれ求めるとともに、各指標の比を算出した。明度/彩度(V/S)値が高いと透明感のない灰白色であることを、b*/a*値が高いとくすんだ暗赤色であることを示す。

2) 硬直指数: 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、その硬直の度合いが鮮度指標となる。硬直指数は、尾藤ら⁽¹⁷⁾の改良Cutting法を基に求めた。すなわち、水平な台の端に体長の1/2がくるように魚の体側を下にして置き、台の水平線から垂れ下がった尾鰭の付け根までの鉛直距離(垂加長)を測定し、硬直指数 = (1/2 体長 - 垂下長) ÷ 1/2 体長 × 100 として求めた。

3) 揮発性塩基窒素(volatile basic nitrogen, VBN): VBNはアンモニア、トリメチルアミン等を指すが、これらの物質は魚肉の鮮度低下に伴って細菌や酵素の作用により増加するため、初期腐敗の指標として用いられている。そこで、個体毎に、躯幹部背部より切り出した体側筋試料(0.2~0.3g程度)に蒸留水を加えて乳鉢で十分に磨砕し、遠心上清に5%硫酸を加えて弱酸性とした後、蒸留水で定容して、Conwayの微量拡散分析法⁽¹⁸⁾によりVBN含量を測定した。

2.4 統計

各鮮度指標は、経過時間毎に、分散分析を行いTukeyのHSD検定あるいはMann-WhitneyのU検定により統計処理を行い、 $p < 0.05$ を有意の限界として表示した。

3. 結果

6日間の保冷試験終了時における各群の魚の状態は以下の通りであった: 対照群(SWI群)の個体は、保冷2日後から魚臭(鮮度低下臭が主)がやや強くなり、保冷4日後および6日後には腐敗臭混じりの魚臭がさらに強く感じられるようになるとともに、魚の外観は白濁・くすみが進行し、筋肉の融解が認められ、腸管も膨潤し切れやすく、肛門から腸管が出ている個体が目立つようになった。SSIm1.0群は、4日後でも外観的に大きな変化は認められず、魚臭(やや古くなった魚臭に鮮度低下臭が混ざっている状態)はわずかで、筋肉にはハリがあり、腸管はしっかりしており、鰓も赤かった。SSIm1.8群は、SSIm1.0群に比べると若干魚臭は強く感じられるもの、その臭気は対照群に比べるとかなり弱かった。また、筋肉にはハリがあり、腸管もしっかりとしており、鰓も濃い赤色を呈していた。保冷6日後のSSIm1.8群やSSIm1.0群の個体の状態は、保冷4日後のSWI群の状態に類似していた。

3.1 色調

3.1.1 体側背部の色調

保冷試験におけるイカナゴ体側背部の明度/彩度(V/S)値の変化をFig.1に示す。0日後(捕獲後約12時間後に相当)および2日後では、捕獲直

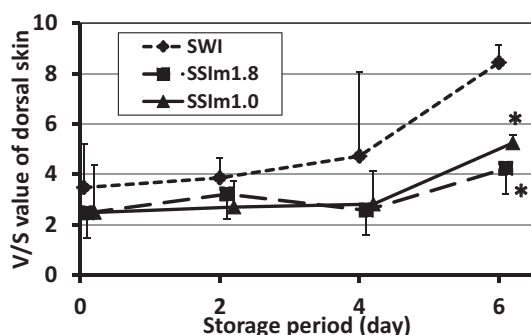


Fig. 1 Changes in Value (Brightness)/ Saturation (Chroma) value (V/S value) of the dorsal skin from the young sand lance, *Ammodytes personatus*, stored for 12 hours in the seawater ice (SWI), the sherbet sea ice at temperature of -1.0°C (SSIm1.0) or -1.8°C (SSIm1.8) immediately after the capture. Day 0 means the point at the 12 hours after the capture. Data are given as mean $\pm$ S.D., $n=5$. * ; Significant difference to the control (SWI) group at the same period ($p < 0.05$).

後にシャーベット海水氷にて冷やし込みを行った SSIm1.0 群および SSIm1.8 群で 2.5~3.2、SWI 群では 3.5~4.0 (ともに平均値) と両者の間に差は認められなかった。しかし、保冷試験開始から 4 日後では、SSIm1.0 群や SSIm1.8 群が 2.5~2.8 と 2 日後の値とそれほど差がなかったのに対し、SWI 群では平均値が 4.7 程度となり、著しく高い値を示す個体も出現するようになった。そして、6 日後の SWI 群の V/S 値は平均値で約 8.4 と上昇しており、SSIm1.0 群の同 5.2 や SSIm1.8 群の同 4.2 に比べて、有意に高い値となった。また、SSIm1.0 群と SSIm1.8 群の間には各日ともに差はみられなかった。なお、H、S、V の個別値の変化については、保冷期間を通じて各試験群の当該値に大きな個体差がみられたこともあり、試験群間に有意な差は認められなかった。

3.1.2 鰓の色調

保冷期間によるイカナゴ鰓の a^* 値は、SWI 群と比べて、SSIm1.0 群の 4 日後と 6 日後、および、SSIm1.8 群の 6 日後に、有意に高い値がみられた。また b^* 値では、SWI 群と比較して、4 日後には SSIm1.0 群と SSIm1.8 群の両方で有意に低い値がみられたほか、6 日後の SSIm1.0 群に有意に高い値がみられた。一方、各試験群間の L^* 値には、保冷期間を通じて差は認められなかった。

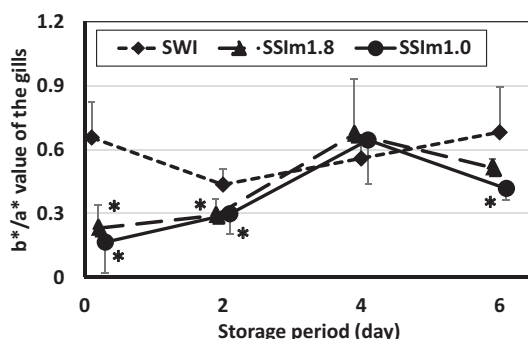


Fig. 2 Changes in b^*/a^* value of the gills from the young sand lance, *Ammodytes personatus*, stored for 12 hours in the seawater ice (SWI), the sherbet sea ice at temperature of -1.0°C (SSIm1.0) or -1.8°C (SSIm1.8) immediately after the capture. Day 0 means the point at the 12 hours after the capture. Data are given as mean $\pm$ S.D., $n=5$. * ; Significant difference to the control (SWI) group ($p < 0.05$) at the same period.

保冷試験におけるイカナゴ鰓の b^*/a^* 値の変化を Fig. 2 に示す。SWI 群では、0 日後の値、すなわち、初期値が平均で 0.6 程度と高い上に、各調査時期で個体差が大きく、保冷期間を通じて顕著な変動は認められなかった。0 日後および 2 日後では、捕獲直後にシャーベット海水氷にて冷やし込みを行った SSIm1.0 群および SSIm1.8 群は平均値で 0.16~0.23 と約 0.30 と、SWI 群に比べて有意に低い値を示した。なお、SSIm1.0 群と SSIm1.8 群の値は保冷試験開始から 2 日後から 4 日後の間に急上昇し、平均値で最大 0.68 を示したが、6 日後における SSIm1.0 群の値は SWI 群に比べて有意に低値であった。なお、保冷試験期間を通じて、SSIm1.0 群と SSIm1.8 群の間に差は認められなかった。

3.2 硬直性指数

保冷試験におけるイカナゴ硬直性指数の変化を Fig. 3 に示す。保冷試験 0 日後の硬直性指数は、SWI 群が 27.5 であったのに対して、SSIm1.0 群および SSIm1.8 群では、それぞれ、58.3 と 46.7 と有意に高い値を示した。当該値は保冷試験期間が長くなるにつれて徐々に低下 (右肩下がり) を示したが、SSIm1.0 群および SSIm1.8 群の値は SWI 群よりも高い値で推移し、2 日後の SSIm1.0 群および SSIm1.8 群、および、6 日後での SSIm1.0 群

については、SWI 群よりも有意に高い値がみられた。なお、4 日後では、各群ともに個体差が大きくなり、SWI 群と SSIm1.0 群や SSIm1.8 群の間に有意な差は認められなかった。

3.3 揮発性塩基窒素 (VBN) 値

保冷試験におけるイカナゴ体側部筋肉における VBN 値の変化を Fig. 4 に示す。保冷試験 0 日後の筋肉中 VBN 値では、SSIm1.0 群および SSIm1.8 群は SWI 群よりも有意に低かった。SWI 群では、当該値は保冷試験開始時点 (0 日後) から 2 日後に掛けて大きく上昇し、2 日後には平均値で約 40 mg / 100 g となった。ただし、個体差はかなり大きかった (変動係数は約 0.3)。それに対し、SSIm1.0 群や SSIm1.8 群では、当該値は保冷試験期間が長くなるにつれて徐々に上昇したが、その変化は穏やかであり、保冷試験開始から 4 日後 (捕獲から 108 時間後) で 25~30 mg / 100 g 程度であった。なお、SSIm1.0 群と SSIm1.8 群の間には有意な差は認められなかった。

4. 考察

船上で捕獲直後に -1.0°C あるいは -1.8°C に調整したシャーベット海水水を用いて冷やし込みと浸漬処理 (約 12 時間) を行い、卸売市場への運

び込み後に 4°C 前後の冷蔵環境で保存したイカナゴは、ほぼ同温度の破碎海水水入り冷海水で冷やし込みおよび浸漬処理を行った後に、同様の冷蔵環境で保存された魚と比較して、鮮度の各種指標が良好に保たれた。すなわち、少なくともイカナゴ当才魚のように小サイズの魚であれば、冷やし込みおよび初期処理にシャーベット水を利用すると、同処理が捕獲直後から半日程度と短い期間であっても、既存の海水水を用いた同操作時に比べて、その後の保冷期間延長に伴う体表の白濁・くすみの進行、筋肉の融解や腸管の膨潤等の外観的な変化が抑えられていた。また、魚臭の発生抑制、鰓の鮮赤色の保持、死後硬直の始まりまたは硬直の遅延、揮発性塩基性窒素量の増加の抑制等も認められ、その後の魚の鮮度・品質の維持に有効であることが分かった。

本研究では -1.0°C と -1.8°C のシャーベット海水水を使用した。鮮度保持能力には両温度間にほとんど差は認められなかったことから、魚の鮮度維持には少なくとも当該温度周辺域にあるシャーベット海水水を用いればよいと考えられる。ただし、魚体温が -2°C 以下になるとほとんどの魚は冷凍状態となり^(16,19)、商品としての価値を大きく低下させかねないことから、商用利用時には氷の温度が下がりすぎないように留意すべきである。また、シャーベット海水水内に収容す

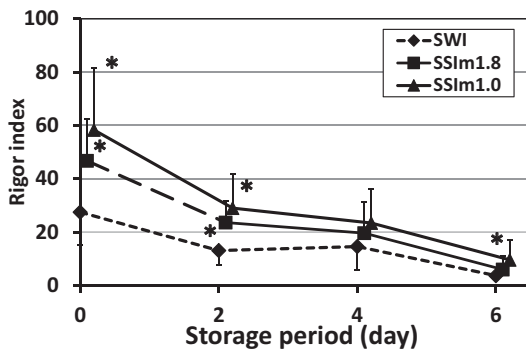


Fig. 3 Changes in the rigor index of the young sand lance, *Ammodytes personatus*, stored for 12 hours in the sea-water ice (SWI), the sherbet sea ice at temperature of -1.0°C (SSIm1.0) or -1.8°C (SSIm1.8) immediately after the capture. Day 0 means the point at the 12 hours after the capture. Data are given as mean $\pm$ S.D., $n=10$. * ; Significant difference to the control (SWI) group ($p < 0.05$) at the same period.

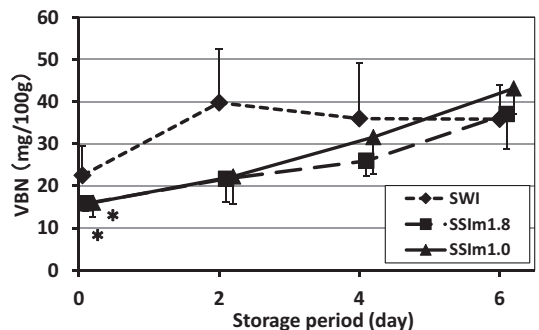


Fig. 4 Changes in volatile basic nitrogen (VBN) level of the dorsal ordinary muscle from the young sand lance, *Ammodytes personatus*, stored for 12 hours in the sea-water ice (SWI), the sherbet sea ice at temperature of -1.0°C (SSIm1.0) or -1.8°C (SSIm1.8) immediately after the capture. Day 0 means the point at the 12 hours after the capture. Data are given as mean $\pm$ S.D., $n=5$. * ; Significant difference to the control (SWI) group ($p < 0.05$) at the same period.

る魚等の被冷却物の量が増えると氷の融解速度が高まり、保存時の温度も上昇する可能性があるため、シャーベット海水氷中での保存が長期に亘ることが予想される場合には、同氷と魚を含めた被冷却物の割合を一定以下に制限したり、適宜氷の追加や入れ替えを検討したり、脱水シャーベット海水氷⁽²⁰⁾を使用したりする必要性が高まることが考えられる。したがって、本研究の結果は、シャーベット海水氷を含む微細氷を使用する際の3つの欠点、すなわち、1) 長期に亘る保存では、適切な氷の状態を維持する手段を確保する等の温度管理に通常時以上に配慮が必要、2) 収容容器のサイズや重量の増加、3) 運搬時に揺られると被冷却物の表面にスレを発生させる可能性があるなどといった、微細氷の使用に付随した課題の解消・改善につながることから、魚類等の被冷却物の鮮度保持・品質向上に微細海水氷を使用する機会を増やし、ひいては水産業界全体の活性化にも少なからず貢献できると考える。

また、本方法を魚の活き締め(延髄切断と放血)処理と併用したり、オゾンマイクロ・ナノ気泡を利用した除菌処理⁽²¹⁾や同窒素気泡等を用いた嫌気処理⁽²²⁾を併用したりすることにより、さらなる水産物の鮮度・品質の向上を図ることも可能であろう。

以下に、シャーベット海水氷と通常の海水氷を使用した冷やし込みおよび初期の冷蔵処理がイカナゴの各調査指標にもたらした影響について、その数値変化の様相を出来るだけ既報と比較しつつ述べる。ただし、これまでイカナゴを対象として保冷中の当該値の変化に言及した例は見当たらないため、その比較は魚種の枠を越えたものとなる。

まず、外観、臭気および体側部筋肉の揮発性塩基性窒素 VBN 値の変化について検討する。一般に VBN の数値が 30~40 mg% になると初期腐敗の段階といわれている^(23,24)ことから、通常の破碎海水氷入り冷海水群では保冷試験開始から2日後(捕獲後 60 時間以内)には初期腐敗の段階に到達していたことが分かる。これに対し、シャーベット海水氷を用いた2つの群では同保冷試験開始から4日後(捕獲後 108 時間)辺りから初期腐敗段階に入ったと推察される。また、体側部筋肉の VBN 値の変化は鮮度低下臭の発生と、外観の

異常(体表の白濁・くすみの進行、筋肉の融解、腸管の膨潤や肛門からの腸の脱出等)は腐敗臭の発生と密に関連していた。破碎海水氷処理群で体側部筋肉の VBN 値が2日後までに急上昇し、その後は6日後まで大きな変化を示さなかったことは、腐敗臭の発生源が主に内臓部分にあったことを暗示する。したがって、体側筋の VBN 値の変化は捕獲直後のシャーベット海水氷による冷やし込みと初期の冷却処理が可食部の鮮度保持に極めて重要であること、また、保存期間が2日を越えるような場合には筋肉部分の鮮度保持に内臓部分の腐敗抑制・遅延策が有効であることを示唆する。

保冷試験開始時と4日後および6日後に取得された V/S 値(平均)はシャーベット海水氷を用いた冷やし込みおよび初期貯蔵を行った場合には2.5、2.5~2.8 と 4.2~5.2、通常の海水氷を用いた場合では同 3.5、4.7 と 8.4 程度と、両期間ともに後者で数値は高くなった。この数値の上昇は、体表の白濁・くすみの進行を含む外観の異常や腐敗臭混じりの魚臭の発生とほぼ同時期に観察されており、少なくともイカナゴの外観的な白濁・くすみの進行度合いを体側背部の V/S 値の上昇で把握(数値化)することが可能と考えられた。なお、これらの体表の V/S 値は、マサバの 5.7~14.7、マイワシやシログチのそれぞれ 2.4~3.0 と 4.6~6.3 (予備試験結果)、イサキやマアジの 1.5~12 程度(文献⁽²⁵⁾に記載された数値より計算)と同程度であった。

イカナゴの鰓の b^*/a^* 値については、保冷試験開始時と6日後に取得された数値(平均値)はシャーベット海水氷を用いた冷やし込みおよび初期貯蔵を行った場合は 0.16~0.23 と約 0.30 で、2日後から4日後に掛けて大きく上昇していたのに対し、通常の海水氷を用いた場合は、個体差が大きくその変動は明瞭ではなかったものの、初期値が平均で 0.6 程度と高く、調査期間を通じて同程度の高いレベルにあった。通常の海水氷での保存処理群の初期値が高く、その後の変化がほとんど認められなかった理由は不明である。しかし、鰓の当該値が保存時間の経過に伴い上昇することは他魚種についても報告されており、ハマチでは保存時間の経過に伴い鰓の a^* 値が低下し、マサバでは b^* 値が上昇(ともに b^*/a^* 値は上昇)してい

た⁽²⁶⁾。ティラピア成魚では、4℃で6日間の保存に伴って、 a^* 値は 20 から 10 へ、 b^* 値が 23 から 30 へと変化することが示されていること（文献⁽²⁷⁾中のグラフから読み取り）から、計算上では b^*/a^* 値は 1 から 3 程度への上昇となる。ティラピアは鰓自体も厚く、また撮影に用いたカメラの特性を含めて実測値の算出に至る過程には違いもあるため、数値に多少の差があっても、変動の傾向は同じであることから、今回の試験で得られた数値は妥当な範囲にあると考える。また、本結果はイカナゴの鰓における当該値の変化は他魚種にみられるのと同様に鮮度指標として有用であること、および、シャーベット海水氷を用いた採捕直後の魚の冷やし込みおよび初期の保冷処理がその後の鮮度変化を左右する位に極めて重要な仕様であり、この部分をいかにしっかりと行うかがその後の鮮度を大きく左右する可能性の高いことを示唆する。

硬直指数については、試験開始時の値を最高値として、すべての群で右肩下がりの変化となり、保冷試験中に硬直指数の最高値が観察されなかった。ただし、シャーベット海水氷を用いて冷やし込みおよび初期貯蔵を行った時の値は通常の破碎海水氷入りの冷海水を用いた場合と比べて試験開始時と同2日後の値は有意に高かった。すなわち、シャーベット海水氷処理群は海水氷処理群より鮮度は高いことを示している。

この20年間ほどで冷凍技術が著しく進歩し、最近では Cells Alive System (CAS) 冷凍、プロトン凍結、3D 冷凍、不凍タンパク質や多糖類の利用等、凍結・解凍操作に伴う細胞内の氷の結晶成長を抑制したり、ドリップロスを低減したりすることに加え、風味を損なうことなく、モチモチ感を保ったまま保存できる等の効果さえ附与しうる複数の超急速冷凍技術が開発されている^(28,29)。ただし、鮮魚を食べたいとの（生食）欲求も依然として高いことも事実である。したがって、手間を省いて、かつ、ローコストで品質の良い生食用素材を提供するために、微細氷の上手な使用が望まれる。

謝辞

本研究を進めるに当たり、試料（イカナゴ）の

採取および微細海水氷を用いた船上での同魚の冷やし込み操作にご協力頂いた漁業者の方々にお礼申し上げる。また、本研究は石巻専修大学平成28年度および29年度共創研究センター研究プロジェクト「マイクロ・ナノ技術を用いた水産物の高品質化」の成果を踏まえて実施されたことを申し添える。

引用文献

- 1) H. Yamanaka, "Relation between post mortem biochemical changes and quality in the muscle of fish and shellfish", Nippon Suisan Gakkaishi, 68, pp. 5-14 (2002) (in Japanese)
- 2) Hokkaido Suisan-Rinnmu-bu Website, Seisen-suisannbutsu Sendohiji Manual (Gaiyouban), (http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/ske/grp/sendhojiman_yuaru.pdf/japanese), pp. 1-30 (2007)
- 3) A. Yamane, "4. Hyo-on kanrengijutsu to Shingijut-sukaihatsu", Hyo-on syokuhin nyuumon, pp. 51-77 & 86-94, Nipponshokuryo Shinbunnsya, Tokyo (2011) (in Japanese)
- 4) T. Nonaka, "Effects of liquid ice like sherbet (soft-ice and seawater) on keeping fresh quality of banded blue sprat *Spratelloides gracilis*", Bull. Nagasaki Pref. Inst. Fisheries 26, pp. 25-27 (2000) (in Japanese)
- 5) M. Narita, "Syabetto kisui ice niyoru sendohoji ni tsuite", Hokusuisshi dayori, 74, pp. 15-17 (2007) (in Japanese)
- 6) T. Wada, "Brand hiyaku wo suisinsuru jitsuyou gi-jutsu kyouka jigyou - Mekkin syabetto ice wo motiita shirasunado kogatagyo no kachi koujo -", Tokushimaken nourin suisan sougou gijutsu shien center Heisei 24 nendo suisan kenkyusho jigyou houkokusyo, pp. 42-43 (2013) (in Japanese)
- 7) T. Inada, "Gyosen tousaiyo syabettojo kaisuikori seihyouki no kaihatsu", Sansoken Today 2013-03, pp. 4-5 (2013) (in Japanese)
- 8) Y. Hukuma, K. Hukuma, M. Mishima and A. Yamane, "Studies on enhanced quality of blue-fin tuna (*Thunnus thynnus*) by slurry ice", Hyo-on Kagaku, 12, pp. 12-18 (2009) (in Japanese)
- 9) Noken kikou Website, "Slurry ice wo mochiita seisen suisanbutsu no kousendo supper reaching ryutsu no

- Jissyuu”, Kakushin gijutsu kinkyu tenkai jigyo, (https://www.naro.affrc.go.jp/aggressive/files/10_04.pdf/japanese) (2014)
- 10) Y. Matsumoto, “Seisen gyokairui no sendo wo hojisuru slurry ice ni kansuru kaihatsu”, Kochi University of Technology (http://Suisankaiyo.com/seeds/wp-content/uploads/2011/12/2011_kochikou_ka_matsumoto_agri.pdf/japanese) (2011)
- 11) D. Pan, .M. Liu, B. Slater A. Michaelides and E. Wang, “Melting the ice : On the relation between melting temperature and size for nanoscale ice crystals”, ACS Nano., 5(6), pp. 4562-4569 (2011)
- 12) T. Ohba, S. Taira, K. Hata, K. Kaneko and H. Kanoh, “Predominant nanoice growth in single-walled carbon nanotubes by water-vapor loading”, RSC Adv., 2, pp. 3634-3637 (2012)
- 13) K. Matsumoto, H. Kumano, T. Asaoka, H. Abe, S. Oishi, Y. Kamura, M. Uno, K. Kudo, N. Kuroda, M. Tazoe, Y. Tamura, Y. Teraoka, S. Nakamura, T. Mao, I. Yamada, I. Yoshimura, M. Watanabe, M. Okada, A. Saito and M. Seki, “Slurry ice niyori reizou / reikyaku no tameno tebikisyo”, Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, pp. 1-146 (2016) (in Japanese)
www.jsrae.or.jp/committee/.../ice_tebiki_201601.pdf
- 14) S. Koseki, S. Kitakami, N. Kato and K. Arai, “Rigor mortis of fish and shellfish and evaluation of freshness of their muscles as K value”, J.School of Marine Science and Technology, Tokai Univ., .4 (2) , pp. 31-46 (2006) (in Japanese)
- 15) A. Okamoto, “Studies on preservation of fish freshness”, Bull. Nagasaki Pref.Inst.Fisheries, 34, pp. 9-44 (2008) (in Japanese)
- 16) I. Kakuta, K. Takase, N. Shibuya, M. Sakurai and M. Abe, “Better quality Japanese horse mackerel using nano-ice treatment”, Bull. Soc. Sea water Sci., Jpn., 70(4), pp. 261-266 (2016) (in Japanese)
- 17) M. Bito, K. Yamada, Y. Mikumo and K. Amano, “Studies on rigor mortis of fish - I. Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified cutting's method”, Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 109, pp. 89-96 (1983) (in Japanese)
- 18) E.J. Conway, “Microdiffusion analysis and volumetric error”, pp.1-465, Grosby, Lockwood and Sons Ltd.,London (1957)
- 19) M. Sakamoto, “Suisanbutsu no teion chozo ni tsuite”, Hokkaido Research Organization, Kushiro Fisheries Research Institute, Annual Report, 58, pp. 1-8 (1997) (<https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/kushiro/section/kakou/att/c7skn30000001k6r.pdf/japanese>)
- 20) H. Nagaishi, T. Inada, T. Yoshioka and A. Sato, “Development of a compact, onboard slurry icemaker to rapidly produce optimal ice for maintaining freshness of marine products”, Synthesiology, 10 (1) , pp.1-10 (2017) (in Japanese)
- 21) K. Takase, K.Suenaga and I. Kakuta, “Enhanced quality of sea pineapple *Halocynthia roretzi* by using ozone fine bubbles”, Nippon Suisan Gakkaishi, 86(4), pp. 328-334 (2020) (in Japanese)
- 22) I. Kakuta and K. Takase, “Effects of different killing procedures on the quality of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*”, Bull. Ishinomaki Senshu Univ., 32, 31-41 (2021) (in Japanese)
- 23) T. Kikuchi, S. Wada and H. Suzuki, “Significance of Volatile Bases and Volatile Acids in the Development of Off-flavor of Fish Meat”, J. Nutr. Sci. Vitaminol.,29(3), pp. 147-152 (1976) (in Japanese)
- 24) S. Ohta, “Suisanbutsu no sendohoji”, Tsukuba shobo, Tokyo, pp.36-37 (1990) (in Japanese)
- 25) M. Aketagawa M. Nakamura, H. Ohta and T. Maeda, “Quality estimation support models of the fresh fish in the distribution”, J. National Fisheries Univ., 64(1), pp. 9-27 (2015) (in Japanese)
- 26) M. Sakaguchi, “Gyokairui no hihakaiteki sendosokuteihou no kaihatsu ni kansuru kenkyu”, KAKEN 1997nendo Kenkyuseika houkokusyo gaiyo (1997) (<https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-07556104/japanese>)
- 27) C. Shi, J. Qian, S. Han, B. Fan, X. Yang and X.W. Shi, “Developing a machine vision system for simultaneous prediction of freshness indicators based on tilapia (*Oreochromis niloticus*) pupil and gill color during storage at 4°C”, Food Chemistry, 243, pp. 134-140 (2018).
- 28) Y. Ando, D. Nei, S. Kono, H. Nabetani, “Current state and future issues of technology development concerned with freezing and thawing of foods”, Nip-

- pon shokuhin kagaku kogaku kaishi, 64 (8), pp. 391-428 (2017) (in Japanese)
- 29) Food Factory Consultant Kimoto Professional Engineer Office, "Seicho ga Kitaidekiru Syokuhinbunya no Aratana Ooyogijutsu", Gijutsu Report (2020) (in Japanese) <https://www.kimoto-proeng.com/report/> 55

和文要旨

捕獲直後のシャーベット海水氷による貯蔵がイカナゴ *Ammodytes personatus* 当才魚の品質に及ぼす影響を、海水氷 (SWI) に貯蔵されたものと比較して調べた。この試験で使用した微細海水氷の温度は -1.0°C (SSIm1.0) と -1.8°C (SSIm1.8) であった。魚は、捕獲から 12 時間、漁船内にて上記 3 種類の条件で冷やし込みをした。船から降ろした魚は、それぞれ 4°C 前後で 6 日間保存した。0 日後 (捕獲の 12 時間後に相当)、2、4、6 日後に、各 15 尾の魚を魚の鮮度テストに使用した。SSIm1.0 群および SSIm1.8 群では、SWI 群と比較して、保存期間を通じて外観は良好に保たれており、臭気も抑制されていた。加えて、保存開始から 6 日目の背部の V 値と S 値の比 (V/S 値) が高く、0 日目と 2 日目の b^* 値と a^* 値の比 (b^*/a^* 値) は低かった。すなわち、微細海水氷を用いて保存した群の魚では、保存に伴う背部皮膚の白濁・くすみの進行は抑制され、貯蔵初期では鰓は明るく鮮やかな赤色が保たれていた。SSIm1.0 群と SSIm1.8 群における、0 日目と 2 日目のイカナゴ背側普通筋の揮発性塩基性窒素 (VBN) 含量は、SWI 群と比較して、低かった。さらに、SSIm1.0 群および SSIm1.8 群では、魚の死後硬直の始まりまたは解硬時期は、SWI のグループと比較して、大幅に遅れることが分かった。これらの結果は、魚を捕獲した直後の冷やし込みと初期貯蔵にシャーベット海水氷を使用することが、イカナゴの高品質と高鮮度を維持するのに極めて有効であることを示す。

キーワード：シャーベット海水氷、イカナゴ、品質、色調、揮発性塩基性窒素