

マダイの資源管理手法と高鮮度処理技術の開発

高鮮度処理技術の開発

山田昇平¹・松尾みどり²・宮部好克²・竹内萌¹・高田偲帆¹

目 的

本県沿岸漁業者の安定した漁獲収入源の創出を図るため、青森県産マダイを対象に、資源管理手法（小型魚・産卵親魚の保護）と、資源管理の効果をシミュレーションする手法の開発、及びエビデンスを付加した高鮮度処理技術と、活魚出荷のための長期蓄養技術を開発することを目的に実施した。下北ブランド研究所では、その内、高鮮度処理技術の開発を行った。

材料と方法

1. 処理方法による体表の色の違いの検討

2018年7月28日に野辺地町、9月26日に佐井村、10月3日に野辺地町で水揚げされたマダイ活魚（尾叉長330mm～532mm、体重633g～2,052g）を陸上で1日蓄養した後、下記の試験区分ごとに処理を行った。外観については、目視によって下氷保管中の体表の色の経時的な変化を比較検討した。なお、保管中は、発泡スチロールの箱自体を5℃の冷蔵庫中で保管し、氷が溶けきらないように氷を順次追加し、氷が溶けて生じた水が魚体に直接触れないようにするため、水を排出した。

試験区分は以下のとおり。

- ・ 延髄切断脱血：延髄と鰓膜切断後、海水中で5分～15分脱血したのち、下氷（アルミ蒸着シート）で保管する（n=2）
- ・ 延髄切断脱血＋神経抜き：延髄と鰓膜切断後、海水中で5分～15分放血後、尾部に包丁を入れて骨を切断して、尾部側から神経抜きを行った後、下氷（アルミ蒸着シート）で保管する（n=1）
- ・ 野締め：活魚を箱に入れ、死ぬまで放置し、下氷（ビニール）で保管する（n=2）

2. 処理を行うタイミングの検討

2019年10月6日および10日に佐井村で水揚げされたマダイ活魚（尾叉長342mm～552mm、体重700g～2,800g）を、試験区分ごとに処理し、致死直後に背肉のサンプリングを行った。魚肉中の核酸関連物質の割合から算出したK値を用いて鮮度を比較した。

試験区分は以下のとおり。

- ・ 延髄切断（安静蓄養後）：水揚されてから2日間陸上水槽で安静蓄養した後、延髄を切断する（n=3）
- ・ 延髄切断（水揚げ直後）：水揚げ直後に、延髄を切断する（n=3）
- ・ 野締め：水揚げ直後の活魚を常温で1時間放置し、へい死させる（n=3）

3. 保管条件が体表の色に及ぼす影響の検討

2019年12月9日にむつ市大畑町で水揚げされたマダイ活魚2尾を、水揚げ直後に野締めにして氷冷（袋に入れてクラッシュアイスに埋めた）または冷蔵（5℃）で各1尾ずつ3日間保管し、目視によって体表の色を

¹ 地方独立行政法人青森県産業技術センター 下北ブランド研究所

² 地方独立行政法人青森県産業技術センター 食品総合研究所

比較した（供試個体の尾叉長 311 mm～317 mm、660 g～2,259 g）。

4. 処理方法の違いによる、鮮度、肉色の違いの検討

2020年6月～7月に佐井村で水揚げされて、1日～12日間安静蓄養されたマダイ活魚（全長 332 mm～553 mm、体重 670 g～2,712 g）を使用し、下記試験区分ごとに処理を行った。それらを、クーラーボックスの中に氷を入れた上にパーチミル紙を敷き、その上で7日間下氷保管し、経時的に背肉のサンプリングを行った。これらの背肉から核酸関連物質を抽出し、その割合から K 値を算出した。また、核酸関連物質の抽出を行う個体とは別に、魚体の背側の肉を包丁で開いて、色彩色差計（MINOLTA CR-300、測定径 8mm）を用いて魚肉の色調を測定した。保管中は、クーラーボックス自体を 5℃の冷蔵庫中で保管し、氷が溶けきらないように氷を順次追加し、氷が溶けて生じた水が魚体に直接触れないようにするため、水を排出した。

試験区分は以下のとおり。

- ・ 延髄切断脱血：延髄切断後、海水中で 10 分脱血する（K 値、魚肉の色調それぞれ n=3）
- ・ 延髄切断脱血＋神経抜き：延髄切断後、海水中で 10 分脱血後神経抜きを行い、氷を入れた海水に、10 分程度魚体を浸漬する（K 値、魚肉の色調それぞれ n=3）
- ・ 野締め：水槽から揚げた魚体を常温で放置し、死に至らしめる（K 値、魚肉の色調それぞれ n=3）

5. 神経抜き後の氷冷効果の検討

2020年11月に佐井村で水揚げされて、1日～14日間、安静蓄養されたマダイ活魚（全長 399 mm～625 mm、体重 980 g～3,040 g）に、延髄切断脱血＋神経抜き処理（延髄切断後、海水中で 10 分脱血後神経抜きを行う）を行った魚体を使用した。試験区分については、処理後直ちに氷を入れた紫外線殺菌海水（以下「殺菌海水」）に 10 分間浸漬し、氷冷した後に下氷保管したもの（各測定項目で n=1）と、氷冷せずに下氷保管した区分（各測定項目で n=1）を設定した。それらを、発泡スチロール箱の中に氷を入れた上にパーチミル紙を敷き、その上で7日間保管し、保管中、核酸関連物質の割合から算出した K 値の変化を検討した。また、目視によって体表の色（外観）の経時的な変化も検討した。保管中は、氷が溶けきらないように順次追加し、氷が溶けて生じた水が魚体に直接触れないようにするため、水を排出した。

6. 梱包資材の検討

2020年11月に佐井村で水揚げされて、1日～14日間、安静蓄養されたマダイ活魚（全長 525 mm～593 mm、体重 1,576 g～2,694 g）に、延髄切断脱血＋神経抜き処理（延髄切断後、海水中で 10 分脱血後神経抜きを行う）を行い、処理後直ちに氷を入れた殺菌海水に 10 分間浸漬して氷冷した。試験区分については、それらの個体を、発泡スチロールの箱の中に氷を入れた上に、パーチミル紙を敷いて保管したもの（各測定項目で n=1）と、殺菌海水に浸して軽く絞ったウレタンシートを敷いて保管したもの（各測定項目で n=1）を設定した。これらを7日間下氷保管し、核酸関連物質の割合から算出した K 値と硬直指数の経時的な変化を検討した。保管中は、氷が溶けきらないように順次追加し、氷が溶けて生じた水が魚体に直接触れないようにするため、水を排出した。

7. 核酸関連物質の分析

核酸関連物質の分析方法については、約 1 g の精秤した魚肉を氷冷した 10%過塩素酸溶液 5 mL に投入し、速やかにすり潰し、ホモジナイズした後遠心分離(1,000×g、15 min)して上清を回収した。残渣に 5%過塩素酸溶液 5 mL を加え同様に上清を回収した。この操作をさらにもう一度行い、計 3 回の上清を合わせた。上清

を水酸化カリウム溶液で pH 6.8 に調整し、生じた過塩素酸カリウムの結晶をろ紙 No.5C でろ過し、50 mL に定容して凍結した後、測定直前に解凍して 0.45 μm メンブレンフィルターでろ過して測定用試料とした。これを以下の機器と条件で分析し、核酸関連物質の量を測定し、以下の式から K 値を算出した。

(使用装置)

カラム	信和化工(株)STR ODS-II (4.6 mm LD.×15 cm)
HPLC ポンプ	(株)島津製作所 LC-20AD
フォトダイオードアレイ	(株)島津製作所 SPD-M20A
解析装置	(株)島津製作所 CLASS-VP

(分析条件)

溶離液	A:リン酸 6.8mL、トリエチルアミン 20.9 mL/L 水溶液(pH 6.8)
	B:アセトニトリル A/B=100/1 (V/V)
流量	1.0 mL / min
温度	40°C
検出波長	UV 260 nm
試料注入量	50 μL

(計算式)

$$K \text{ 値} = (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP}) / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx}) \times 100$$

上式で、

ATP: アデノシン 3 リン酸

ADP: アデノシン 2 リン酸

AMP: アデノシン 1 リン酸 (アデニル酸)

IMP: イノシン酸

HxR: イノシン

Hx: ヒポキサンチン

とした。

8. 硬直指数の測定

硬直指数は、尾藤ら¹⁾の方法に準じて、水平な台からマダイの尾部側が標準体長の半分をはみ出るように置き、台から垂れ下がった尾鰭の付け根までの鉛直距離を測定した。致死直後の測定値(D₀)とその後の測定値(D)から以下の式に従って計算し、硬直指数(Rigor Index)を求めた。

$$\text{硬直指数 (RI)} = (D_0 - D) / D_0 \times 100$$

9. 魚肉の色調の測定

包丁で背側の魚肉を開き、図 1 の○で囲った部分を色彩色差計 (MINOLTA CR-300、測定径 8mm) を用いて a*値 (正が赤方向、負が緑方向)、b*値 (正が黄方向、負が青方向) 及び L*値 (明度) を測定した。

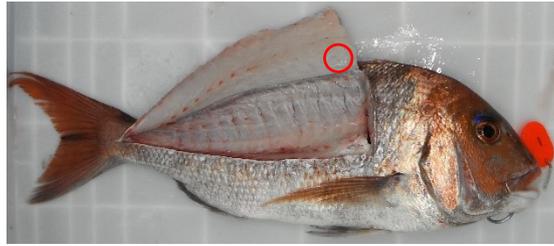


図 1. 魚肉の色調の測定部位（図中の○で囲った部分）

結果と考察

1. 処理方法による体表の色の違い

異なる処理方法で処理したマダイを下水保管したときの外観の画像を図 2 に示した。これによると、野締めでは徐々に黒みがかかったような色になっていった一方、延髄切断脱血または、延髄切断脱血＋神経抜きを行ったものは、5 日経過後も体表は良好な色調が保たれていた。ただし、処理する時点で既に弱っていた個体については、体表の色が黒ずむ傾向が見られた。

このことから、延髄切断脱血または延髄切断脱血＋神経抜き処理によって、体表の色を少なくとも下水保管中の 5 日程度比較的良好な状態で維持できることが明らかになった。なお、活魚が弱っている場合は体表の色が黒ずみ、神経抜き処理も効果が薄くなるため、活魚取扱施設のない漁業者に関しては、船上で処理する方が良いと考えられた。

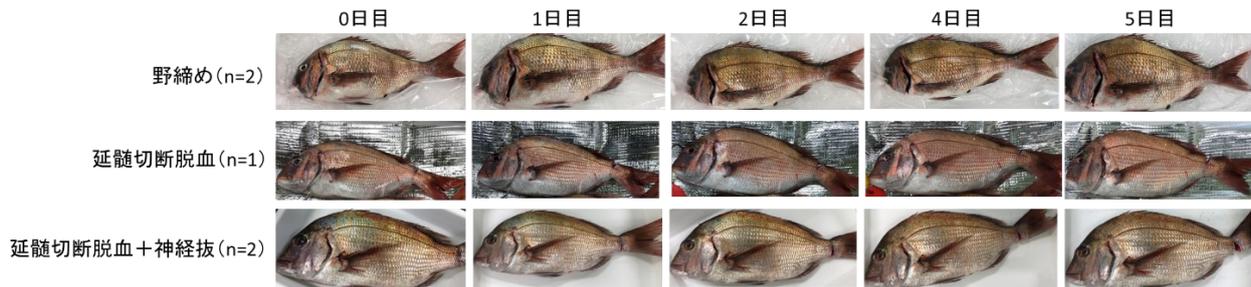


図 2. 処理方法による体表の色の経時的変化の違い

2. 処理を行うタイミングの検討

処理を行うタイミングがマダイの鮮度に及ぼす影響を検討するため、延髄切断脱血（安静蓄養後か水揚げ直後で比較）または野締めを行い、致死時点での K 値を測定した結果を図 3 に示した。これによると、野締めと比較すると延髄切断脱血では、致死時点での K 値が低い傾向が見られた。安静蓄養後に延髄切断脱血を行った個体の K 値は水揚げ直後に延髄切断脱血を行ったもの比べてやや低い傾向にあった。また、体色については、延髄切断脱血を行うタイミングの違いによる差は確認されなかった。

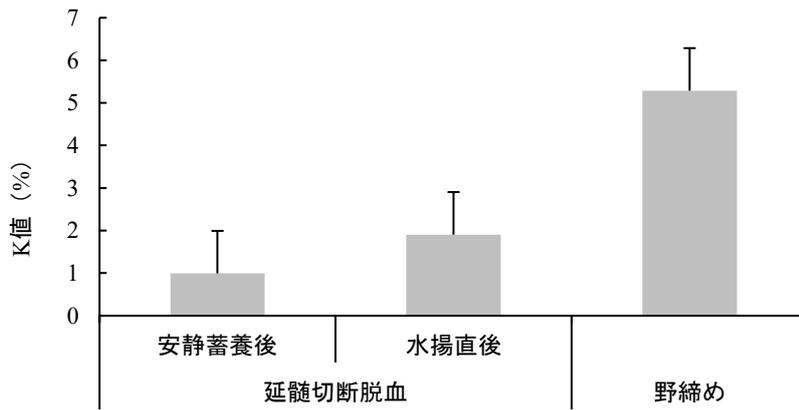


図3. 処理を行うタイミングが致死時点でのK値に及ぼす影響 (n=3)

3. 保管条件が体表の色に及ぼす影響の検討

マダイ活魚を水揚げ直後に野締めにして氷冷（袋に入れてクラッシュアイスに埋めた）または冷蔵（5℃）で3日間保管し、体表の色を比較した結果を、図4に示した。これによると、氷冷で保管した個体は、3日間保管後も鮮やかな色を保持していたが、冷蔵で保管した個体は若干黒ずんでいたものの、その差はわずかであった。

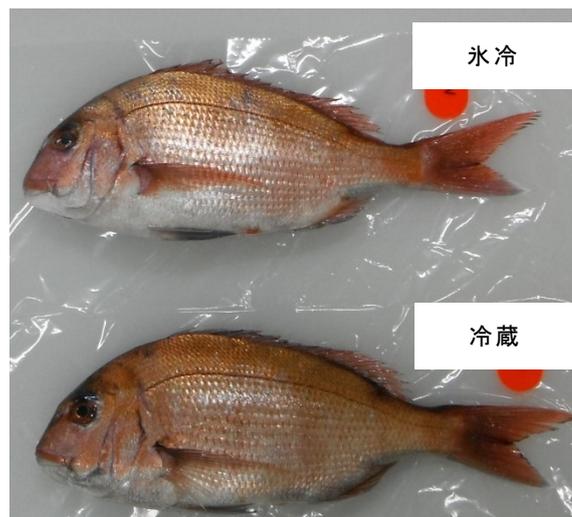


図4. 野締めした個体を3日間氷冷または冷蔵で保管した後の体表の色 (n=1)

4. 処理方法の違いによる、鮮度、肉色の違いの検討

各処理を行った後の、下水保管中のK値の変化を図5に示した。保管0h、3hでは試験区間で大きな差は見られなかったが、6h~24hでは、延髄切断脱血+神経抜き<延髄切断脱血<野締めの順に低く、96h~168hでは延髄切断脱血が最も低い値を示した。魚肉の色調については、保管期間全体を通して野締めで他の2試験区よりa*値、b*値が高い、すなわち赤み、黄みがかかった傾向が見られたが、L*値は試験区間での明確な差はなかった（図6）。体色については、供試個体の年齢やサイズ、性別を揃えて実施することは難しく、個体差が大きかったため試験区間の比較が難しかった。

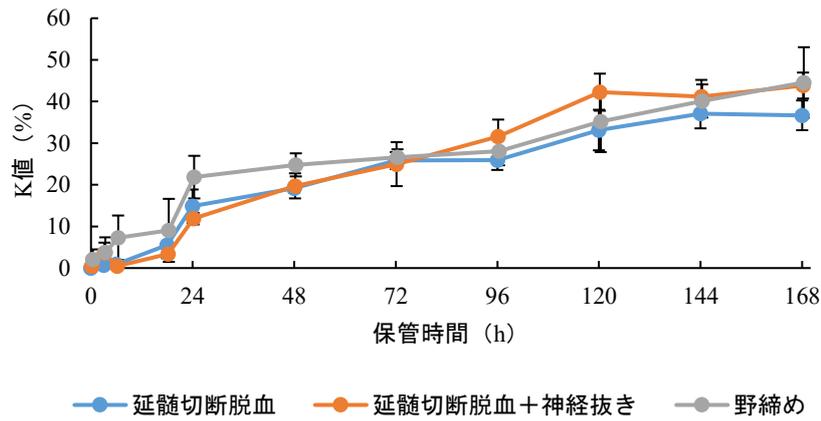


図5. 処理方法の違いが下水保管中のK値の変化に及ぼす影響 (n=3)

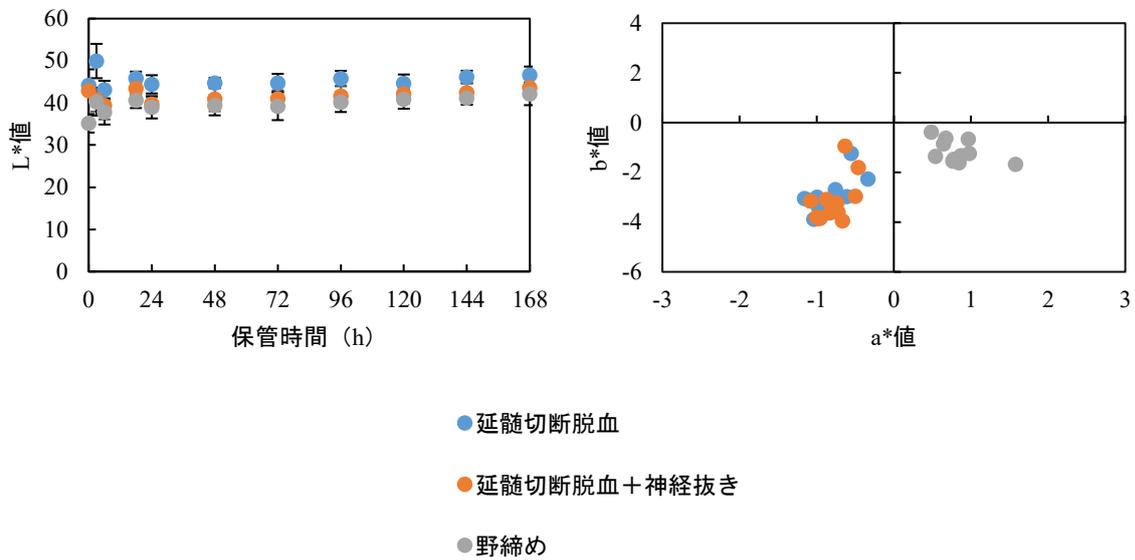


図6. 処理方法の違いが下水保管中の魚肉の色調 (L* a* b*値) の変化に及ぼす影響 (n=3)

5. 神経抜き後の氷冷効果の検討

神経抜きを行うと体表の色の赤みが薄くなることがあるため、色調の保持を目的として神経抜き後に氷を入れた海水に魚体を浸漬することによって冷却することがある。そこで、神経抜きを行った後の、海水+氷による氷冷前後で、体色の違いを比較したところ、氷冷前後で体表の色に明確な差は認められなかった (図7)。その後の下水保管中にも、海水+氷による氷冷の有無が体色の変化に及ぼす影響は見られなかった (図8)。下水保管中のK値の変化を図9に示す。これによると、保管72hまで氷冷の有無による影響は確認されなかった。これらのことから、本試験では、延髄切断脱血+神経抜き後の、殺菌海水+氷による氷冷が下水保管中の鮮度変化に及ぼす影響は見られなかった。尚、本試験では各試験区の個体数が1尾であり、個体差の影響は否定できないため、さらなる検討が必要と考えられる。



水冷前

水冷後

図.7 延髄切断脱血+神経抜き後の海水+氷浸漬による水冷前後の体表の色の比較 (n=1)

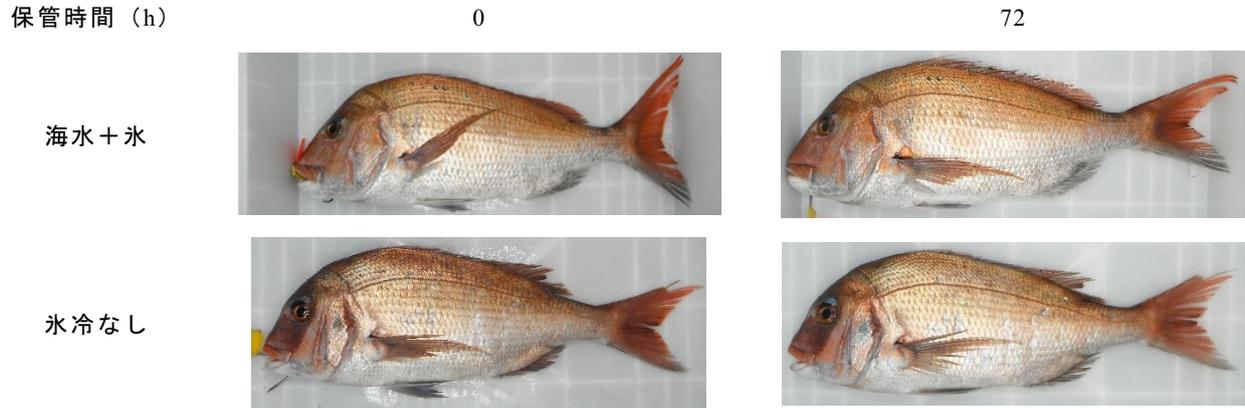


図.8 延髄切断脱血+神経抜き後、海水+氷へ浸漬した場合と水冷をしなかった場合の、体表の色の比較 (下水保管 0 h、72 h) (n=1)

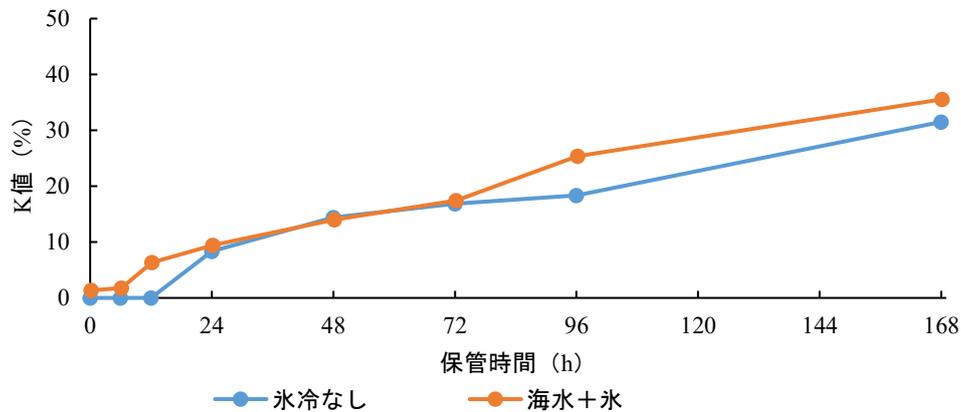


図.9 水冷の有無が下水保管中のK値の変化に及ぼす影響 (n=1)

6. 下水保管中の梱包資材の検討

梱包資材の違い（ウレタンシート、パーチミル紙）が、下水保管中の K 値の変化に及ぼす影響を図 10 に、硬直指数の変化に及ぼす影響を図 11 に示した。これらによると、K 値、硬直指数ともに資材の違いによる経過に明確な違いは見られなかった。このことから、梱包資材はウレタンシートとパーチミル紙の間には、下水保管中の変化に大きな差がなかった。尚、本試験では各試験区の個体数が 1 尾であり、個体差の影響は否定できないため、さらなる検討が必要と考えられる。

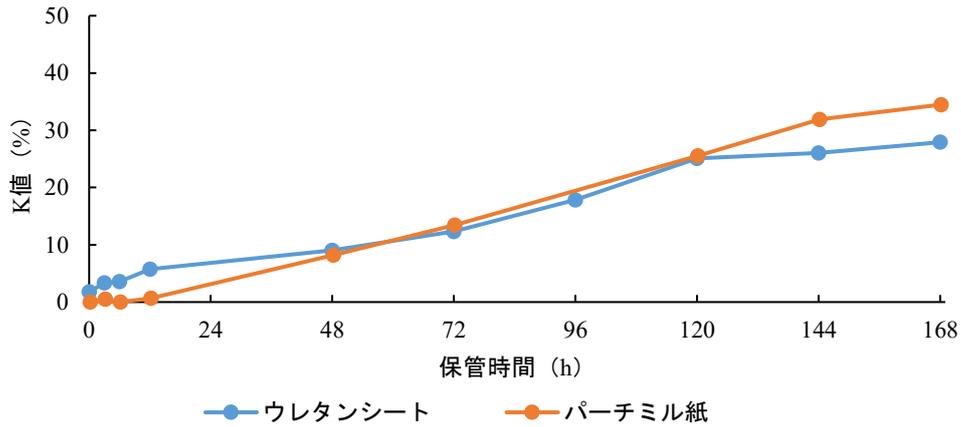


図. 10 梱包資材の違いが下水保管中の K 値の変化に及ぼす影響 (n=1)

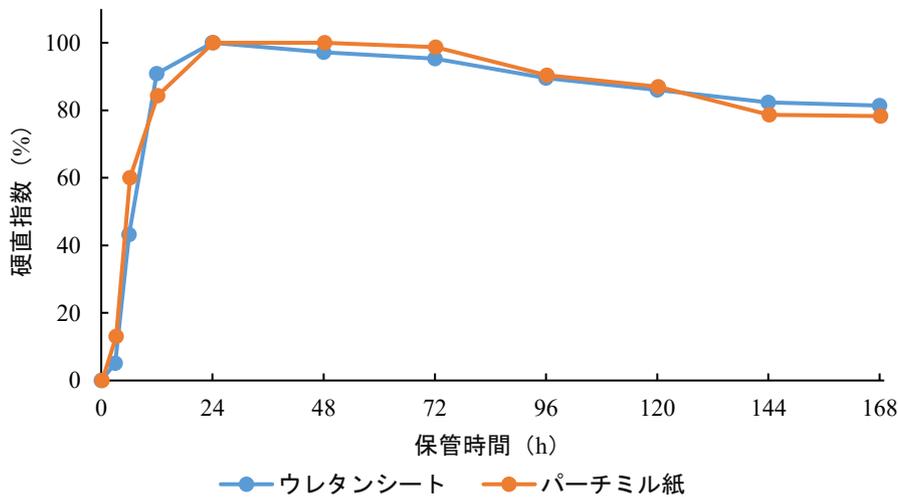


図. 11 梱包資材の違いが下水保管中の硬直指数の変化に及ぼす影響 (n=1)

7. まとめ

陸揚げ後の活魚について検討したところ、延髄切断脱血+神経抜きによって、体表の色を1週間程度は比較的良好に維持していた。ただし、活魚が弱っている場合は体表の色が黒ずみ、神経抜き処理も効果が薄くなるため、活魚取扱施設のない漁業者に関しては、船上で処理した方が良いと考えられた。安静蓄養後に活締め脱血を行った個体については、安静蓄養せずに活締め脱血を行った個体より、K値が低い傾向にあったが、その差はわずかであり、体表の色の差もわずかであった。

また、処理方法が鮮度 (K 値) に及ぼす影響を検討したところ、延髄切断脱血+神経抜きが下水保管 6h~72h 目まで最も良い結果となり、その後はほとんど差がなかった。次の試験区の個体数が1尾で検討したため、今後さらなる検討が必要と考えられるが、活締め脱血+神経抜き後の海水+氷による氷冷が下水保管中の K 値の変化に及ぼす効果は認められず、下水保管中の梱包資材を、パーチミル紙とウレタンシートで検討したところ、パーチミル紙とウレタンシートの間には明確な差は見られなかった。

これらの結果から、高鮮度処理技術として、以下の手順が適していると考えられる。

1. 延髄切断脱血（可能なら1晩以上安静蓄養後、活魚取扱施設がない場合は船上で処理する）
2. 海水中で放血
3. 神経抜き
4. パーチミル紙またはウレタンシートを敷いて下氷で貯蔵

謝 辞

試料入手と測定作業にご協力いただいた、佐井村漁業協同組合、大畑町漁業協同組合および野辺地町漁業協同組合の各位に謝意を表します。

文 献

- 1) 尾藤方通・山田金次郎・三雲泰子・天野慶之 (1983) 魚の死後硬直に関する研究-I, 改良 Cutting 法による魚体の死後硬直の観察. 東海水研報, 109, 89-96.