

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 30 日現在

機関番号：85502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450313

研究課題名(和文)海産魚の電気刺激による鎮静化についての研究

研究課題名(英文)Study on electric stimulation to prevent marine fish from movement

研究代表者

前田 俊道(MAEDA, Toshimichi)

独立行政法人水産大学校・その他部局等・教授

研究者番号：20399653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：魚は水揚げ時に暴れることによって筋肉のATP含量が減少し、乳酸量が上昇し、pHが下がることで、品質が低下する。そこで本研究ではマアジ、マダイ、ブリの取り上げ時に電気刺激を与えることで鎮静化を図り、最適な電気刺激条件を検討した。その結果、何れの魚種においても、一定の電気刺激条件で鎮静化することができ、保蔵中の筋肉ATP含量も電気刺激を行わなかった場合よりも高かった。しかしながら、脊椎骨折が全く発生しない電気刺激条件を見出すことはできなかった。

研究成果の概要(英文)：According to the vigorous movement of living fish at the landing by using fishing net, ATP is consumed, lactic acid is accumulated, and pH is declined in the fish muscle. These make decline the quality of fresh fish meat. In this study, electric stimulation was conducted to prevent fish from the vigorous movement at landing living fish, red seabream, Japanese horse mackerel and yellow tail, and the suitable conditions of the electric shock were considered. All of the fish species can be prevented from the movement under certain condition, and ATP content of the electrically stimulated fish muscle was higher than that of non-stimulated fish. However, no electrical condition not to break vertebra was found.

研究分野：水産食品品質学

キーワード：鮮度保持 電気刺激 鎮静化 ATP含量 脊椎骨折

1. 研究開始当初の背景

(1) 水揚げ時における魚の取扱いは、保蔵中の魚の鮮度に大きく影響を与える。すなわち、激動させることなく速やかに取上げ、延髄刺殺等の即殺が鮮度保持には重要である。しかしながら、養殖筏や蓄養水槽からタモ等で魚を取上げて即殺するまでに、どうしても魚は激動してしまう。取上げ時に麻酔薬で激動を防ぐ方法が考えられるが、食品として魚を出荷する場合に事実上麻酔薬を使用できない。

(2) 一方、昭和 20~30 年代には電気を用いた漁獲法である「電撃漁法」を目指した詳細な研究が行われた。現在電撃漁法は許可されていないが、その研究成果は、大型魚を釣り上げたり突き棒で刺した後の激動を抑える手法として実用化されている。すなわち一本釣りや養殖マグロでは、海からの取上げ時に電気ショッカーを用いて、釣り針や釣り糸に通したリングを通して魚体に電流を流し鎮静化させる方法が現場で使用されている。また、サメやカジキなどでは突き棒を通して魚体に電流を流して激動を防ぐ電撃突き棒漁法も行われている。このように大型魚では、電気を魚に流すことにより鎮静化することができ、漁業者の労働安全性ならびに魚の品質向上に寄与している。しかしながら、これらの漁法においても印加する電圧等の条件は漁師の経験に基づいて行われている。また、条件によっては、魚自身の強い筋収縮によって脊椎骨が折れる現象が確認されている。

(3) 前述のとおり、電気による鎮静化は大型魚にのみに実用化されており、マアジ、タイ、ブリのような小型魚について応用はされていない。さらには、適当な電圧等の電気刺激条件や保蔵期間中の肉質に与える影響についても調べられていなかった。

2. 研究の目的

マグロと比較して小型のマアジ、タイ、ブリについて、水揚げ時の魚の激動を防止するために電気刺激による鎮静化を試み、印加電圧や振動数等と鎮静化の有無ならびに骨折の有無との関係を調べ、最適な電気刺激条件を解明すること。そして、電気刺激後の魚を保蔵し、その筋肉の ATP 含量や pH 等の変化を調べ、電気刺激による鎮静化の有効性を確認することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) マアジ試料

大学内の施設で飼育したマアジ (*Trachurus japonicus*、体重: 155.8 ± 20.7 g、体長: 21.6 ± 0.9 cm、平均 \pm 標準偏差) を用いた。

(2) マダイ試料

稚魚を水産大学校に導入して様々な期間

飼育していたマダイ (*Pagrus major*)、すなわち体重が 26 ± 11 g、体長が 10.3 ± 1 cm のロット、体重が 119 ± 15 g、体長が 16 ± 0.9 cm のロット、体重が 407 ± 75 g、体長が 25 ± 2 cm のロットを実験に供した。

(3) ブリ試料

山口県下関市の漁業者が養殖したブリ (*Seriola quinqueradiata*) 65 尾と、福岡県宗像市で蓄養されていたブリ 92 尾を実験に供した。養殖ブリは平均体重 4.51 kg、蓄養ブリは平均体重 2.83 kg (n=15) であった。

(4) 電気刺激装置

電気刺激装置の電源装置は、水口電装株式会社製 FTS-3000 型 (パルス固定式、出力電圧 150~400 V、振動数 100 Hz 固定式)、ニチモウ株式会社製 NE-01 型 (パルス可変式、出力電圧 50~400 V、振動数 10~500 Hz) とニチモウ株式会社製 NE-02 型 (パルス固定式、出力電圧 200 V、振動数 30 Hz 固定式) を使用した。パルスはデジタルオシロスコープ (Iwatsu 社製 DS-5424 型) を用いて測定した。

電気タモは、ニチモウ株式会社製の電気タモ No1 型 (両極型、外枠 61.5 cm、内枠 58.9 cm、垂れ下がり長 60 cm) を使用した。

(5) 鎮静化の判断方法

鎮静化は、電気刺激後に魚の痙攣はあるが尾鰭などが激しく動かない状態で、かつ電気刺激後に手で触れても暴れない状態とした。

(6) 脊椎骨折確認方法

包丁を使って魚を背開きにし、脊椎骨周辺の肉を削ぎ落とし、肉眼で骨折の有無と箇所を確認した。

(7) 筋肉中の核酸関連物質の測定

背側普通筋肉約 2 g を採取し、1 M 過塩素酸 5 ml の入った 15 ml 容の遠心管に入れ、ホモジナイザー (Kinematica 社製 PT2100 型) で均一化した。4 °C で 3,000 rpm \times g、2 分間遠心分離した後上清を回収した。沈殿物は新しい 1 M 過塩素酸で同様に抽出し、これをさらにもう一回繰り返すすべての上清をまとめ 2 M 炭酸水素カリウムで pH を約 6.5 に調整し、ろ紙 (Advantec 社製 5A) を用いてろ過した。そして、上清を孔径 0.45 μ m のフィルター (Advantec 社製 03CP045AN) でろ過し、ろ液を高速液体クロマトグラフィー (HPLC) に供した。HPLC は Waters Alliance e2695 で、移動相はトリエチルアミン 54 ml、リン酸 20.4 ml と蒸留水 2700 ml を混合し、トリエチルアミンで pH 6.8 に調整し、3 L に定容後、アセトニトリル 40.5 ml を混合した液を使用した。検出波長は 260 nm でカラム温度は 40 °C で行い、標準液との面積比より試料中の核酸関連物質を求めた。

(8) 筋肉 pH の測定

0.02 M モノヨード酢酸(シグマアルドリッチ社製) 10 ml に背側普通筋肉約 0.5 g をホモジナイザーで均一化し、pH メーターで測定した。

(9) 硬直指数の測定

水平な台の端に、体長の 1/2 が垂れ下がるように魚体の頭部を置き、台から尾鰭の付け根までの鉛直距離を一定時間ごとに測定した。死後 0 時間の値を L_0 とし、その他の測定値 (L) から次式によって尾鰭の上昇率を求めて硬直指数 (Rigor index, 以下 R 値) とした。 $R \text{ 値}(\%) = (L_0 - L) / L_0 \times 100$

4. 研究成果

(1) マアジに対する電気刺激

電気刺激装置 FTS-3000 型を用いて様々な電圧で 10 秒間、100Hz のパルスによる電気刺激を施した結果、電圧 200 V 以下では、通電中は鎮静化効果があるものの、通電終了後即座に遊泳を開始した。200~350 V では、印加電圧が高くなればなるほど、通電終了後の遊泳開始までの時間は長くなり、350 V では 12 秒間であった。斃死率は 350 V までいずれの電圧においても 0% であったが、背骨の骨折率は印加電圧が高くなるに従って増加し、300 V 以上で 100% であった。一方 200 V 以下では骨折率は 0% であった。

電気刺激によるマアジ筋肉の生化学的変化を解明するために、350 V で 10 秒間の電気刺激を施したマアジを延髄刺殺した試験区と、電気刺激せずに延髄刺殺した試験区、ならびに非処理 (自然死) 区を設け、下水保蔵後の生化学的変化を比較した結果 (図 1)、筋肉の ATP 含量、pH は、電気刺激した方が電気刺激をしなかった実験区よりも高く推移した。硬直指数は、電気刺激した方が電気刺激をしなかった実験区よりも低く推移した。これらのことから、電気刺激により鎮静化したマアジの保蔵中の肉質は鎮静化しないものよりも良いことが示唆された。

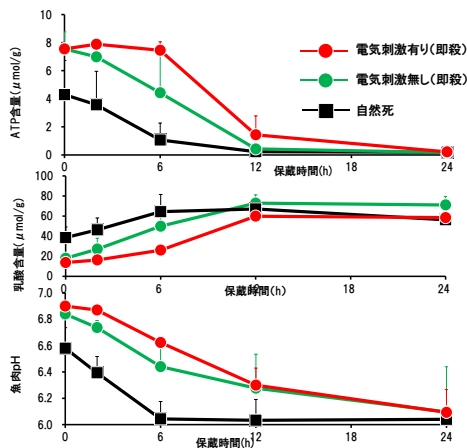


図 1 マアジ電気刺激後の保蔵中の筋肉成分変化

(2) マダイに対する電気刺激

様々な大きさのマダイを、水槽 (縦 × 横 × 深さ: 41 × 61 × 31 cm) に 40 L の海水を入れ、電極 (縦 × 横 × 厚さ: 12 × 10 × 0.3 cm) と電源装置 FTS-3000 型を用いて、様々な電圧 (~350 V) で 100 Hz の電気刺激を 10 秒間施した結果、マダイはアアジと異なり通電開始直後に暴れるという現象が観られた。電気刺激後正常な遊泳開始までの時間は、160~300 V までは 6~13 秒間で、350 V で 80 秒間であった。なお斃死したマダイはなかった。電圧が上昇するにつれて (図 2)、また魚体が小さくなるにつれて (図 3) 脊椎骨折の確率が高くなる傾向があった。脊椎骨折箇所は第 10 椎骨に多く見られた。

電気刺激後にマダイを氷上保蔵し、筋肉中の ATP 含量 (図 4)、pH (図 5)、硬直指数 (図 6) を測定した結果、電気刺激したマダイの背側普通筋の ATP 含量の減少、pH の低下ならびに硬直の進行は、無処理魚や即殺魚よりも早く減少した。これはマダイが通電直後に暴れたことに起因すると考えられた。

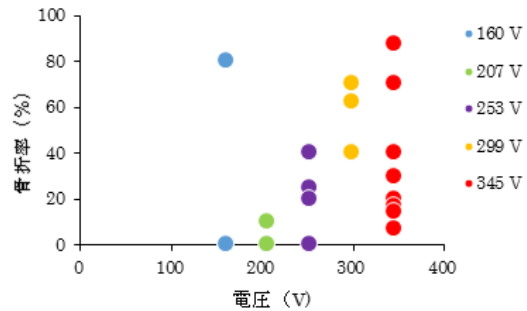


図 2 マダイ電気刺激における電圧に対する脊椎骨折率

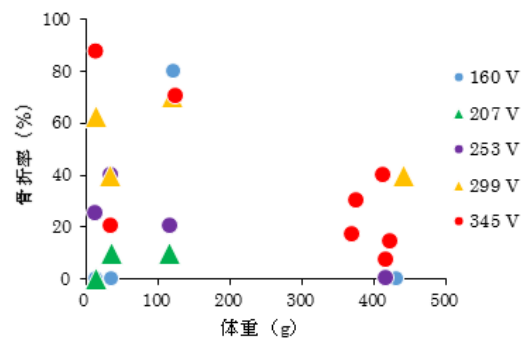


図 3 マダイ電気刺激における体重に対する脊椎骨折率

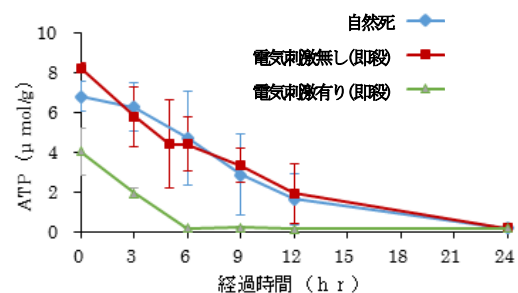


図 4 マダイにおける電気刺激の有無による保蔵中の筋肉 ATP 含量変化

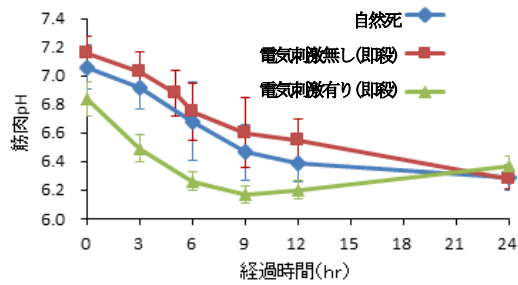


図 5 マダイにおける電気刺激の有無による保蔵中の筋肉 pH 変化

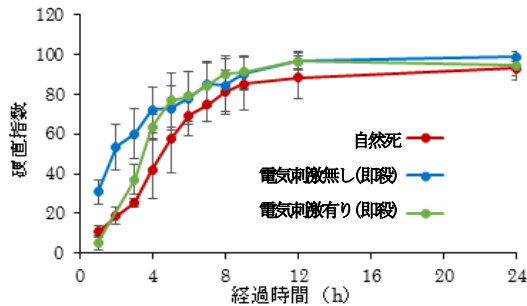


図 6 マダイにおける電気刺激の有無による保蔵中の硬直度変化

(3) ブリに対する電気刺激

活ブリを電気タモ№1 型に 3~10 尾入れ、電源装置 NE-01 型を用いて 100~500 V、10~100 Hz で 10 秒間電気刺激を与えた結果、振動数が 10 Hz では、鎮静化が見られずタモの中で暴れたが振動数が 30 Hz 以上では、鎮静化した(図 7)。鎮静化したブリは、通電中は、口が開き、鰓蓋が開き、胸鰭が立ち、体色が白くなったが、電気刺激後は、数分後に体色が戻り、刺激を与えても動かなかつた。

電気刺激後に、脊椎骨折の有無を調べた結果(図 8)、30 Hz の時、100 V と 200 V では骨折率が 0 % で、300 V では骨折率は 50 % であった。40 Hz の時、200 V で骨折率は 100 % であった。60 Hz の時、100 V で骨折率は 33 % であった。100 Hz の時、300 V 時の骨折率は 67 % で、他の電圧では 100 % であった。

電気タモ№1 と電源装置 NE-02 型を用いて 200 V・30 Hz でブリ 92 尾に電気刺激を施した結果、ブリは鎮静化した。92 尾中 23 尾(25 %)に骨折が観られた。骨折箇所は、第 10 椎骨が 3 尾、第 11 椎骨が 2 尾、第 12 椎骨が 8 尾、第 13 椎骨が 2 尾であった。

電気刺激を与え即殺後 4 時間水中保存したブリの核酸関連物質質量割合を電気刺激を与えずに海水水中で自然死させたブリのそれと比較した結果(図 9)、電気刺激したブリの ATP 割合は、電気刺激を与えていないブリよりも有意に高かった($p < 0.05$)。

以上の結果より、ブリに電気刺激を施すことで鎮静化することができ、ATP 含量も電気刺激をしない従来の水揚げ方式よりも高いものの、骨折がまったく発生しない電気刺激

条件を見出すことはできなかった。

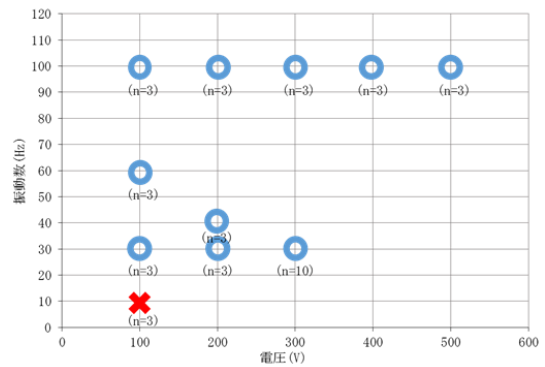


図 7 ブリ電気刺激における電圧と振動数に対する鎮静化の有無 (○: 鎮静化あり、×: 鎮静化なし)

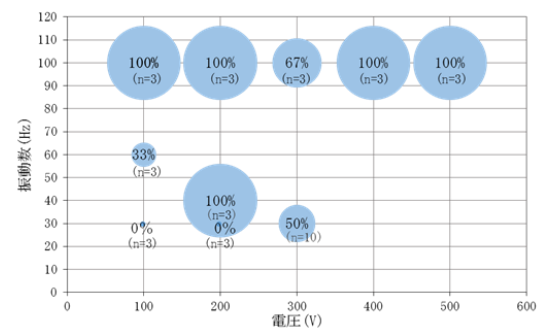


図 8 ブリ電気刺激における電圧と振動数に対する脊椎骨折率

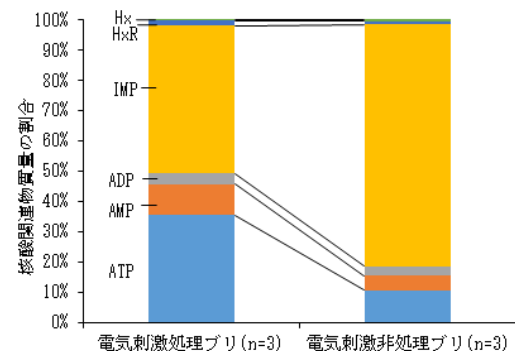


図 9 ブリにおける水中 4 時間後の核酸関連物質質量の割合

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

① MAEDA Toshimichi, YAGUCHI Shigenori, FUKUSHIMA Hideto, HARADA Kazuki, FUKUDA Yutaka, Post-Catch Fish Handling for High Quality Fish Products, Journal of National Fisheries University, 査読無, 62 巻 4 号, 2014, 155-158
DOI: なし

② 前田俊道, 電気刺激によるマアジの鎮静化、アクアネット、査読無、17 巻、2014、39-41
DOI: なし

- ③ 前田俊道、漁獲物の鮮度保持技術、てい
ち、査読無、128 卷、2015、24-33
DOI: なし

[その他]

講演

- ① 前田俊道：「高品質な鮮魚生産のための魚
体処理方法」講演、第 39 回全国養鱒技術
協議会大会、2014 年 7 月、甲府
- ② 前田俊道：「漁獲物の魚体処理方法」講演、
第 17 回西日本まき網漁業シンポジウム、
2015 年 2 月、下関

ホームページ等

水産大学校 HP 内 教員研究情報

<http://www.fish-u.ac.jp/kenkyu/sangakukou/sangakukou.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 俊道 (MAEDA Toshimichi)

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水
産大学校・水産学研究科・教授

研究者番号：20399653

(2) 研究分担者

福島 英登 (FUKUSHIMA Hideto)

日本大学・生物資源科学部 海洋生物資源
科学科・准教授

研究者番号：60466307

谷口 成紀 (YAGUCHI Shigenori)

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水
産大学校・食品科学科・助教

研究者番号：10549942