

メカジキ生肉および加熱肉のpH調整による性状変化

米田千恵

千葉大学・教育学部

Changes in Properties of Raw and Cooked Swordfish Meat due to pH Adjustment

YONEDA Chie

Faculty of Education, Chiba University, Japan

メカジキ生肉および加熱肉のpH調整による性状変化を食塩の影響も含めて明らかにすることを目的とした。浸漬液は水、1.7%重曹、食酢で、これに2%食塩を添加したものの計6種とした。4℃で2時間浸漬し、浸漬後の魚肉を65℃で1時間加熱した。

pH調整後に加熱した試料の重量変化率は、重量損失の少なかった順に①食酢浸漬、食塩添加の重曹浸漬、②重曹浸漬、食塩添加の食酢浸漬、③未浸漬、水浸漬、食塩水浸漬と分類された。食塩添加した重曹試料は食塩無添加の重曹浸漬よりも官能評価で軟らかく、ほぐれやすいと評価された。食酢浸漬試料は加熱肉のテクスチャーが最も軟らかくなった。食塩水浸漬した生試料は浸漬処理により重量が増加したが、加熱肉の重量変化率は水浸漬試料や未浸漬試料との差がみられなかった。酸性およびアルカリ性条件で浸漬した加熱肉は重量減少が抑制され、テクスチャー改良につながることを示された。

キーワード：メカジキ (swordfish), pH調整 (pH adjustment), テクスチャー (texture)

1. 目 的

我が国では魚食文化が発達しており、鮮度の高い魚肉は刺身やすし種として生食するほか、魚種や大きさに応じてさまざまな加熱調理がある。鮮度低下が早い魚肉(例：サバ)は、酢じめにすることがあるが、食塩で魚肉を締めた後に食酢に浸漬すると魚肉は硬く締まり、重量が減少する。一方で、食塩処理をせずに魚肉を食酢に浸漬すると、魚肉は膨潤し、重量が増加する¹⁾。これは、筋原線維たんぱく質の主要成分であるミオシンの食塩存在下、非存在下におけるpHによる溶解性に基づく²⁾。

畜肉の加熱調理では、加熱肉の保水性が味やテクスチャーと並んで、食味を特徴づける重要な因子となっている。重曹(炭酸水素ナトリウム)はベーキングパウダーの主成分であるが、畜肉を重曹浸漬した後に加熱すると未処理肉に比べて軟化したとの報告があり、弱アルカリ性にする事で肉の保水性が向上した例である³⁾。肉の保水性はpHによって変化し、たんぱく質の等電点であるpH5付近では保水性は最低となる。食酢やワインなどを加えてpH3～4付近にすると食塩非存在下で肉の保水性は向上する。一方で食塩存在下では、たんぱく質の等電点がより酸性側に移動するため、pH3～4で肉の保水性は低く、ミオシンは不溶である。また、重曹などを加えて、肉のpHを6以上にすると肉の保水性は向上し、食塩添加するとより保水性が高くなる⁴⁾。

畜肉の加熱によるテクスチャー変化については、国内外の研究が多くあるが、特に、加熱最終中心温度が65℃を超えると、肉が収縮し、肉汁が絞め出されるため重量

減少して保水性が低下することが複数の研究で報告されている^{4,5)}。近年、低温調理が話題となっているが、これは畜肉や魚肉を耐熱性の袋に入れて密閉し、60℃前後の水中で湯煎して加熱する調理法である。その利点として、畜肉では肉汁(ドリップ)の流出が少なく、保水性が高い、肉質が適度な硬さとなる、素材の風味が残る、などが挙げられる⁵⁾。

メカジキはスズキ目メカジキ科の大型魚であり、淡泊な味を特徴とし、照り焼きやムニエル、フライなどの調理法がある。そこで本研究では、メカジキ肉を用いて、酸(食酢)、アルカリ(重曹)に浸漬してpH調整を行ったときにおこる変化を食塩の影響も含めて明らかにすることを目的とした。さらにpH調整後に低温調理を行った加熱肉について、保水性やテクスチャー、エキス成分量を調べ、官能評価により嗜好性を検討し、その食味を明らかにした。

2. 試料と方法

2-1 試料と試料調製

試料として冷凍メカジキ肉(台湾産)を解凍して使用し、35×45×10mmの大きさで約20gに成形した。浸漬液の調製に用いた試薬はいずれも市販の食品であり、食酢は米酢(ミツカン、酸度4.5%)、重曹(三幸)、食塩(公財 塩事業センター)を使用した。pH調整に用いた浸漬液は蒸留水、1.7%(0.2M)重曹、食酢(原液)であり、これに2%食塩を添加したものの計6種を調製した。浸漬液は魚肉重量の2倍容量とし、対照として無処理の未浸漬も準備した。浸漬温度は4℃、浸漬時間は2時間とした。

連絡先著者：米田千恵 cyone@faculty.chiba-u.jp

加熱試料の調製にあたっては、2時間浸漬後の生試料について、浸漬液から試料を取り出し、ナイロンポリ袋に入れて密封した。この試料を20℃恒温器に入れ、試料内部温度が 20 ± 1 ℃になったところで、加熱に供した。加熱方法は、水4.6Lを入れた鍋に低温調理器 (F9575, 富士商) を取り付け、水温65℃で1時間加熱した。厚生労働省の提唱する豚肉の加熱ガイドラインによると、63℃30分間以上またはこれと同等の加熱条件となっている⁶⁾。予備実験から確認した加熱時の試料の内部温度は最高64.5℃であり、内部温度64℃で22分間が同等の加熱条件となることを別途確認している。

2-2 測定方法

① 色

pH調整から加熱の過程で、浸漬前、浸漬後 (= 加熱前)、加熱後の魚肉試料の色調について、簡易型分光色差計 (NF333, 日本電色工業) で試料の外側を5箇所測定した。 $L^*a^*b^*$ 表色系により測色し、色差 ΔEab^* を算出した。生試料、加熱試料ともにそれぞれ未浸漬試料を基準とした。

② 重量および重量変化率

試料の重量測定はpH調整から加熱の過程で、浸漬前、浸漬後、加熱後に測定した。浸漬前後の重量変化率 (%) (浸漬前を0とする)、浸漬前と加熱後の重量変化率 (%) (浸漬前を0とする)、加熱前後の重量変化率 (%) (加熱前の重量を100とする) を算出した。

③ pH

浸漬液と魚肉のpHはpH電極 (0040N-10D, 堀場アドバンスドテクノ) を用いて、pHメーター (F-72, 堀場アドバンスドテクノ) で測定した。浸漬液のpHは、浸漬前のものを測定し、魚肉については、浸漬前、浸漬後、加熱後に試料表面のpHを測定した。

④ テクスチャー

浸漬によるpH調整後の生魚肉および加熱魚肉について、卓上型物性測定器 (TPU-2CL, 山電) を用いた圧縮試験によりテクスチャーを測定した。生試料については、直径3mmの円柱型プランジャーで圧縮試験を行い、クリアランスは3mm、圧縮速度は2.5mm/secとした。加熱試料は、直径8mmの円柱型プランジャーで圧縮試験を行った。

⑤ エキス成分

メカジキ生肉および加熱肉より過塩素酸抽出液、スルホサリチル酸抽出液を調製し、それぞれATPおよび関連化合物および遊離アミノ酸を測定した。ATPおよび関連化合物は高速液体クロマトグラフィーを用い、0.2Mリン酸ナトリウム (pH2.85) で平衡化したHPLCカラム (Asahi-pak GS-320HQ, 7.5×300mmL, 昭光サイエンス) で流速0.6ml/minで分離し、260nmで検出した。遊離アミノ酸は全自動アミノ酸分析機 (JLC-500V, 日本電子) で分析した。

⑥ 官能評価

千葉大学教育学部生命倫理審査委員会の審査による承認 (受付番号141) を得て、メカジキ加熱肉を用い、浸漬液の食塩添加による食味の違いを2点比較法により官能評価を行った。評価項目は、魚臭さ、魚肉のほぐれやすさ、魚肉のやわらかさ、多汁性、うま味、塩味、総合

的な好ましきである。パネルは千葉大学教育学部教員および学生計8名である。

⑦ 統計処理

浸漬処理間の比較にはTukeyのHSD法による多重比較検定を用いて、有意差検定を行った。官能評価の有意差検定は二項検定により行った。統計的有意水準は5% ($p < 0.05$) とした。

3. 結果

3-1 浸漬液および魚肉試料のpH

浸漬液および魚肉試料のpHをFig. 1に示す。浸漬前の魚肉は $pH 5.51 \pm 0.31$ であった。2時間浸漬後の生試料のpHは浸漬液の影響を受けて変化し、水浸漬試料、重曹浸漬試料、食酢浸漬試料で、それぞれ、5.92~6.05, 7.81~7.94, 3.55~3.67となった。

加熱試料のpHは、浸漬後 (加熱前) のpHとの違いがみられたのは重曹浸漬試料と食酢浸漬試料であり、加熱による水分移動に伴い、魚肉pHに近づく変化であった。

3-2 生試料および加熱試料の色差

生試料を水、重曹、食酢溶液に2時間浸漬後の色差 ΔEab^* をTable 1に示す。対照とした未浸漬試料を基準としており、浸漬液間の色差の違いについて検討した。食塩添加した食酢浸漬試料は、白みが強く、魚肉が引き締

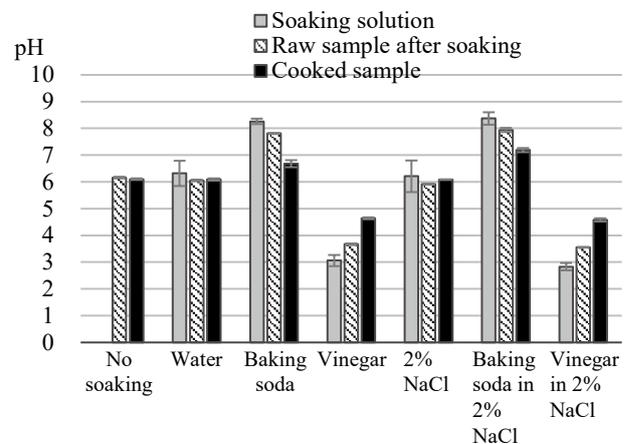


Fig. 1 pH of soaking solution and swordfish meat samples (n=3).

Table 1 Effect of soaking treatment on color difference ΔEab^* of swordfish meat samples

Soaking solution	Raw sample	Cooked sample
Water	7.95 ± 0.75 ^a	1.75 ± 0.58 ^{ab}
Baking soda	4.98 ± 3.64 ^a	1.90 ± 0.87 ^{ab}
Vinegar	3.30 ± 3.30 ^a	13.14 ± 2.54 ^c
2% NaCl	8.37 ± 0.83 ^a	0.69 ± 0.36 ^a
Baking soda in 2% NaCl	4.83 ± 2.09 ^a	4.51 ± 0.84 ^b
Vinegar in 2% NaCl	24.82 ± 0.46 ^b	4.22 ± 1.38 ^{ab}

No soaking samples were used as the standard.

Values are mean ± standard deviation (n=3).

^{a-c} Different small characters within the same columns are significantly different between soaking solutions ($p < 0.05$).

まった外観であったが、この試料の色差は24.82と最大になった。その他の試料の色差は10未満であった。

加熱試料の色差は食塩無添加の食酢浸漬試料が13.14と最高値を示したが、この試料は他の試料と比べて L^* 値が低く、 a^* 値が高かったことに起因していると考えられる。

3-3 生試料および加熱試料の重量変化率

生試料を水、重曹、食酢溶液に2時間浸漬したときに重量変化率をTable 2に示す。浸漬後の生試料では、対照の未浸漬試料は水浸漬試料、食塩添加した食酢浸漬試料と同程度の重量変化率となり、2時間の処理により1%程度重量が減少した。他の試料は浸漬液処理により重量が増加し、2%食塩水浸漬試料では重量が6%程度増加した。これは前述したように肉の保水性はpH6以上の場合、食塩非存在下より食塩存在下で高くなるためと考えられた。食塩添加した重曹浸漬試料は10%程度重量が増加し、肉は膨潤した。また、食酢浸漬試料も同程度の重量増加を示し、既報¹⁾と同じ傾向を示した。

Table 2 Weight changes (%) of swordfish meat samples after soaking and cooking

Soaking solution	Raw samples after soaking	Cooked samples*	Cooked samples**
No soaking	-1.34 ± 0.68 ^a	-33.73 ± 1.22 ^a	69.15 ± 1.75 ^a
Water	-1.39 ± 0.40 ^a	-34.30 ± 2.95 ^a	67.90 ± 2.77 ^a
Baking soda	4.16 ± 0.58 ^b	-20.70 ± 1.66 ^b	76.94 ± 0.95 ^b
Vinegar	9.72 ± 0.33 ^d	-7.60 ± 1.57 ^c	81.23 ± 2.57 ^b
2% NaCl	6.35 ± 1.48 ^c	-30.10 ± 2.19 ^a	67.42 ± 1.48 ^a
Baking soda in 2% NaCl	9.97 ± 0.04 ^d	-0.70 ± 5.80 ^c	82.61 ± 3.61 ^b
Vinegar in 2% NaCl	-0.72 ± 0.15 ^a	-22.30 ± 0.96 ^b	78.35 ± 1.02 ^b

Values are mean ± standard deviation (n=3).

* Raw samples before soaking were used as 0.

** Raw samples after soaking were used as 100.

^{a-d} Different small characters within the same columns are significantly different between soaking solutions (p<0.05).

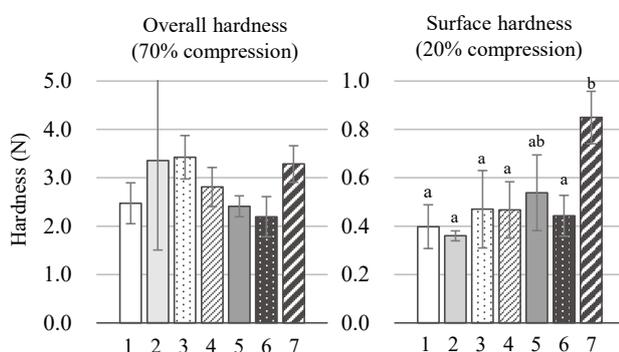


Fig. 2 Physical properties of raw samples from swordfish after soaking treatment (n=3). 1, no soaking; 2, water; 3, baking soda; 4, vinegar; 5, 2% NaCl; 6, baking soda in 2% NaCl; 7, vinegar in 2% NaCl. Different characters (a, b) are significantly different between soaking solutions (p<0.05).

浸漬処理後に加熱した場合、浸漬後（加熱前）の重量を100とした重量変化率は7種の試料で67%~82%の範囲にあり、肉汁の流出によって加熱前より重量が減少した。重量変化率が75%以上となったのは、重曹浸漬、食酢浸漬、食塩添加の重曹浸漬、食塩添加の食酢浸漬試料であり、pH調整により重量減少が抑制された。

浸漬前の試料を0として算出した重量変化率をみると、重量減少が30%程度の試料（未浸漬、水浸漬、食塩水浸漬）、重量減少が20%程度の試料（重曹浸漬、食塩添加の食酢浸漬）、重量減少が10%未満の試料（食酢浸漬、食塩添加の重曹浸漬）に分類された。加熱試料においても保水性が高く維持されていたのは、食酢浸漬試料、食塩添加の重曹浸漬試料であった。

3-4 生試料および加熱試料のテクスチャー変化

圧縮試験により得られた最大荷重値（70%圧縮）、中間点（20%）荷重値をそれぞれ、全体の硬さ、表面の硬さとした。浸漬処理による生試料のテクスチャー変化を調べたところ（Fig. 2）、全体の硬さは浸漬による重量増加率が高い試料で低値となる傾向があったものの、7種の試料間で有意差はみられなかった。表面の硬さは、食塩添加した食酢浸漬試料で最高値を示したが、他の6種の試料間に明確な違いはなかった。

加熱試料の全体の硬さは、未浸漬、水浸漬、重曹浸漬した加熱試料は食塩の有無によらず、同程度の値を示した（Fig. 3）。食酢浸漬試料は食塩添加で硬く、食塩がないと軟らかくなり、生試料と同じ傾向を示した。表面の硬さは食酢浸漬試料で最低値となったが、重曹浸漬試料は食塩添加無しよりも食塩添加の重曹浸漬試料の方が軟らかくなった。

3-5 pH調整した加熱魚肉のエキス成分

浸漬前の生試料のATPおよび関連化合物総量は7.1 μmol/gであり、総量の68%がイノシン酸（IMP）であった（Fig. 4）。浸漬処理した加熱試料のATPおよび関連化合物総量は2.8~5.0 μmol/gと生試料より少なく、浸

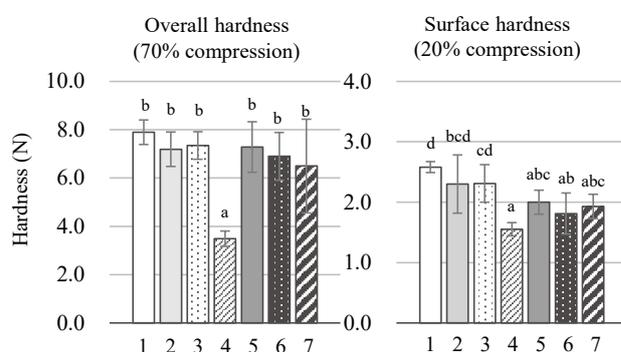


Fig. 3 Physical properties of cooked samples from swordfish after soaking treatment (n=3). 1, no soaking; 2, water; 3, baking soda; 4, vinegar; 5, 2% NaCl; 6, baking soda in 2% NaCl; 7, vinegar in 2% NaCl. Different characters (a-d) are significantly different between soaking solutions (p<0.05).

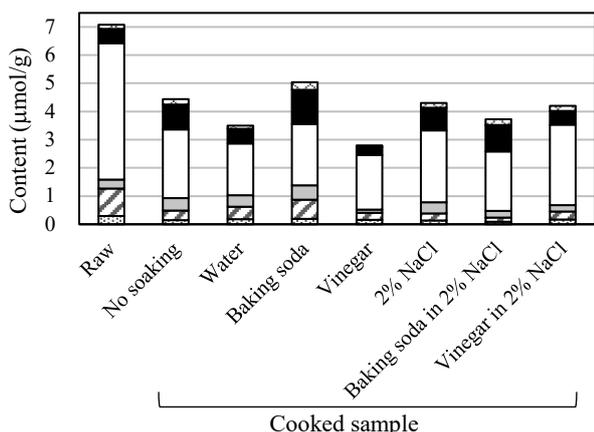


Fig. 4 Contents of ATP and related compounds (mmol/g) in raw and cooked swordfish meat (n=3). ■, ATP; ▨, ADP; ▩, AMP; □, IMP; ■, Inosine; ▤, Hypoxanthine. Raw samples are those before soaking.

漬処理および加熱によるドリップ流出の影響と考えられた。加熱試料においてもIMPが主要成分であった。ATPおよび関連化合物の構成割合でみると、IMPの割合は食酢浸漬試料では68~69%であったのに対し、重曹浸漬試料では44~56%と低かった。ATPおよび関連化合物はATPの代謝経路に依存し、内在性の酵素が代謝経路に関与する。浸漬処理および加熱初期段階におけるIMP分解酵素活性にpHが影響していることが示唆された⁷⁾。

遊離アミノ酸を分析した結果、遊離アミノ酸総量は浸漬処理前の生試料で461mg/100gであった。加熱試料の遊離アミノ酸総量は、未浸漬試料で352mg/100g、浸漬処理試料は230~303mg/100gとなり、浸漬処理後に加熱することで、浸漬処理前の生試料の50~60%になった。生魚肉は遊離アミノ酸総量の90%をアンセリンが占めており、その他に多い成分は、リシン、タウリン、アラニン、グルタミン酸であった。加熱肉の遊離アミノ酸組成は生肉と同様の傾向を示し、浸漬液による違いは明確ではなかった。

3-6 pH調整した加熱魚肉の官能評価

水浸漬、重曹浸漬、食酢浸漬後に加熱した試料について、浸漬液中の食塩の有無による食味の評価を行ったところ (Table 3)、いずれの浸漬条件においても食塩添加の浸漬液を用いた加熱肉の方がうま味および塩味が強いと評価された。うま味の強度は食塩存在下で強くなるため、順当な結果である。他の項目に関しては、水浸漬試料は、食塩添加した方が嗜好性は高かった。重曹浸漬では、食塩添加試料の方が軟らかく、多汁性に富んでいた。食酢浸漬では、食塩添加試料はうま味が強く、嗜好性が高かったが、食酢浸漬試料 (食塩添加無し)の方がほぐれやすく、軟らかいと評価された。

4. 考 察

畜肉、魚肉ともに可食部の大部分は骨格筋であり、骨格筋を構成するたんぱく質成分は類似している。また、

Table 3 Sensory evaluation of cooked meat made from swordfish after soaking (n=8)

Item	Water		Baking soda		Vinegar	
	Without salt	With salt	Without salt	With salt	Without salt	With salt
Fishy odor	3	5	4	4	2	6
Looseness	2	6	3	5	8*	0
Softness	2	6	0	8*	8*	0
Juiciness	4	4	0	8*	6	2
Umami	1	7*	1	7*	0	8*
Saltiness	0	8*	1	7*	2	6
Overall preference	0	8*	1	7*	0	8*

Numerals indicate the number of panelists who marked the meat stronger than the other one in each category. Statistical analysis: * p<0.05.

前述した肉のpHによる保水性についても畜肉と魚肉はおおむね一致する。食塩は味付けや保存の目的で使用されるが、塩溶性の筋原線維たんぱく質は食塩を加えると可溶化する。さらに、肉の保水性はpH 6以上において食塩存在下の方が食塩非存在下より高くなる。本研究では浸漬処理によってpH調整した魚肉を加熱した場合の変化を調べた。その結果、食塩の有無で大きな違いがみられたのは、食酢浸漬試料であった。浸漬処理から加熱に至る過程での重量変化率やテクスチャー特性に違いがみられた。しかしながら、加熱前を100とした加熱肉の重量変化率は食塩有無によらず食酢浸漬試料は同程度であり、未浸漬試料より重量減少が抑えられた。また重曹浸漬によって、生肉、加熱肉ともに未浸漬試料や水浸漬試料に比べて重量減少が抑えられ、とくに食塩添加でその効果が高かった。また、加熱肉のテクスチャー特性は食塩添加した重曹浸漬試料では食塩無添加のそれと比べて表面が軟らかいテクスチャーを有していた。官能評価の結果からも食塩添加した方が軟らかく、多汁性が高かった。食塩無しの重曹浸漬試料は既報³⁾の豚肉の重曹浸漬と同じ濃度に浸漬したが、テクスチャー特性は未浸漬や水浸漬試料との間で違いがみられなかった。本研究では低温調理の加熱条件を用いたために、たんぱく質の熱凝固によるテクスチャー変化が抑制されたことが一因と考えられる。今後は70℃以上の加熱条件による魚肉の性状や保水性の評価、すなわち肉に含まれる水分や肉を圧縮した際に流出する水分などを実施して解明したい。また、IMPはうま味成分として重要な成分であるが、pHの高い浸漬条件でIMPが減少する傾向を示したため、加熱魚肉における嗜好性の因子であるテクスチャー、味、保水性の優先順位を検討する必要がある。以上の結果よりpH調整した加熱肉は、重量損失を少なくし、テクスチャー改良につながることを示された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、多大なご援助を賜りました一般財団法人 東洋水産財団に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 下村道子. 酢漬け魚肉の調理. 調理科学. 1986, 19, 276-280.
- 2) Bailey, K. *Advances in Protein Chemistry 1*. Academic Press, 1944, 289.
- 3) 高橋智子, 齋藤あゆみ, 川野亜紀, 朝賀一美, 和田佳子, 大越ひろ. 牛肉, 豚肉の硬さおよび官能評価におよぼす重曹浸漬の影響. 日本家政学会誌. 2002, 53, 347-354.
- 4) Hamm, R., Biochemistry of meat hydration, *Adv. Food Res.*, 1960, 10, 355-463.
- 5) 山崎清子, 島田キミエ, 渋谷祥子, 下村道子, 市川朝子, 杉山久仁子, 米田千恵, 大石恭子. “第7章 獣鳥肉の調理”. *NEW調理の理論*. 第二版. 同文書院, 2021, 226-273.
- 6) 厚生労働省. “食品, 添加物等の規格基準の一部を改正する件について”. 2015. https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinzenbu/150602hp_1.pdf, (20220925).
- 7) 富岡和子, 遠藤金次. 魚肉イノシン酸の調理過程における分解. 調理科学. 1986, 19, 289-294.