

海洋深層水およびその電気透析処理水の利用による フキ水煮製品の軟化抑制

Application of intact and electro-dialyzed deep seawater
for repression of softening of boiled Japanese butterbur *Petasites japonicus*

加藤 肇¹, 大塚耕太郎², 横井 健二¹, 松永 明信³

Tadahito KATO, Kotaro OHTSUKA, Ken-ji YOKOI and Akinobu MATSUNAGA

Abstract

Fuki (Japanese butterbur), *Petasites japonicus*, is a wild vegetable widely used as a cooking material because of its unique taste and toughness. As the plant is seasonally harvested and rarely cultured, materials are often boiled for preservation and preparation for further cooking. However, the materials should be treated in 0.4% calcium lactate solution (CLS, a food-industrial cooking solution permitted for edible wild plants) to avoid losing toughness during boiling. In the present study, the author examined the possibility of substituting deep seawater (DSW) and electro-dialyzed deep seawater (EDDSW) for CLS. The plants boiled in DSW, EDDSW or CLS left more toughness than those boiled in Fuki well (conventional) fresh water. The cutting force of EDDSW-treated plants was equivalent to CLS-treated plants. The EDDSW effect was quite definite ($p=0.14\%$) and stable, whereas the effect of DSW was hardly defined and unstable. In preliminary sensory evaluations, Fuki cooked with EDDSW showed good toughness. The contents of calcium, magnesium and hexametaphosphate-soluble pectin in Fuki cooked with DSW and EDDSW were more than those in conventional water. These results suggested that divalent cations, such as Mg^{2+} and Ca^{2+} , likely interact with pectin to form insoluble pectic substances. As with other results of cooking in various kinds of ion solutions, we assumed that calcium ions play a main role in the firming of boiled Fuki, and EDDSW might be a usable substitute for calcium lactate.

Key Words: Deep sea water, Electric dialyzed deep sea water, Firmness, *Petasites japonicus*, Calcium

要 旨

海洋深層水原水 (DSW) およびその電気透析処理水 (EDDSW) を加工液として用い、フキ水煮製品の歯ごたえ向上効果について破断強度を指標に検討した。EDDSW を用いた場合、井戸水に比べ有意に破断強度が上昇し ($P=0.14\%$)、その効果は工業的に利用されている 0.4% 乳酸カルシウム溶液に匹敵した。DSW では効果にばらつきが見られたが、EDDSW で加工したフキは歯ごたえが向上し、風味の低下も認められなかった。製品のイオン含量、不溶性ペクチン含量を調べた結果、EDDSW や DSW の成分のうち主に 2 価イオンの作用により、ペクチンが不溶化したことが示唆された。さらに各種塩類溶液を調製して加工試験を行ったところ、カルシウムイオンがこの効果において中心的な役割を果たすことが示唆された。これらの結果から、EDDSW はフキ水煮製品の加工液として適し、食品添加物である乳酸カルシウムの代替として利用できることが明らかとなった。

キーワード: 海洋深層水, 電気透析処理水, 硬さ, フキ, カルシウム

¹富山県食品研究所 (〒939-8153 富山市吉岡 360)

²ヤマサン食品工業株式会社 (〒939-0311 射水市黒河 3197)

³富山県衛生研究所 (〒939-0363 射水市中太閤山 17-1) (現所属: 救急薬品工業株式会社 〒939-0351 射水市戸破 32-7)

1. 緒 言

海洋深層水は、低温性、清浄性、栄養塩の豊富さなどが特徴であり、エネルギー、水産、食品など様々な分野への応用が検討され、実用化の事例も見られるようになってきている（中島 2002；藤田・高橋 2006）。食品分野においては、清涼飲料、酒類、うどん、水産ねり製品など広範囲に応用されてきている（佐見ら 2004；森岡ら 2005；伊藤 2006）。

富山湾は日本でも有数の深い湾として知られており、岸から 10-20 キロの地点で深さ 1000 メートルに達する急深な海底地形を有する（鈴木 2005）。この地形は海洋深層水取水に適しており、富山県では海洋深層水研究に力を入れてきた。1995 年には陸上型の海洋深層水取水施設（富山県水産試験場、富山県滑川市）が完成し、2005 年には、海洋深層水に加え、逆浸透膜処理、電気透析処理により調製した濃縮水や脱塩水など 6 種類を安価に分水する施設（アクアポケット、富山県滑川市）も設置された。これらは、製塩用途やミネラルウォーター製造、食品加工などに利用されており、幅広く海洋深層水を利用する体制が整いつつある。

山菜類は、独特の歯ごたえと風味を有し、副菜や調理素材として不可欠な品目である。これらは大規模に栽培されることは希で、収穫時期も偏る場合が多いことから、保存性の付与と下ごしらえを兼ねて水煮に加工され、低温流通などと組み合わせて通年出荷されることが多い。また、水煮加工品が業務用バルク包装として出荷され、調理加工メーカーが目的に応じてこれらを再加工することも一般的に行われる。食素材としての山菜は、歯ごたえが特徴のひとつに挙げられるが、水煮加工の際、軟化することがある。野菜の煮熟に伴う軟化の原因の一つとして、ペクチン質の溶出が明らかになっており（淵上 1988）、山菜類も同様と推察される。カルシウム、マグネシウムなど 2 価陽イオンを煮汁に添加することにより、野菜の軟化がある程度抑制できることが知られているが、この主要因は、野菜に含まれるペクチン質が、2 価陽イオン存在下で不溶化することにあることがわかっている（Van Buren 1979; 淵

上 1988）。ただし、イオンの種類によっては軟化作用を有することがあり（淵上 1988）、同じイオンでも、野菜の種類により効果の程度に差があることが解明されている（小西ら 1974）。このため、水煮加工に伴う軟化を防ぐ手段として、山菜水煮用液への乳酸カルシウムの添加が広く行われている。フキについても工業的には加工液への乳酸カルシウム添加が行われているが、軟化防止に関する研究はほとんど行われていない。

海洋深層水は豊富なミネラルを含み、2 価陽イオンも含んでいることから、野菜や山菜の水煮加工品の軟化抑制に利用できる可能性がある。特に本県は、アクアポケットが海洋深層水およびその処理水を供給していることから、用途に適した処理水を、地の利を生かして効率よく利用できる環境にある。本研究では、山菜類のうち、食卓に上ることの多いフキ *Petasites japonicus* を品目として選び、海洋深層水およびその電気透析処理水の水煮加工品の軟化防止への応用について検討した結果、一定の知見を得たので報告する。

2. 材料と方法

2.1 材 料

海洋深層水は、アクアポケット（富山県滑川市）が分水する 6 種類の海洋深層水のうち、ミネラル含有量や食味に及ぼす影響などを考慮し、海洋深層水（以下 DSW）および電気透析処理水（後述、以下 EDDSW）を用いた。なお、EDDSW は、DSW 中の 1 価イオンの除去を目的として、1 価イオン選択性透過膜を用いた電気透析法により調製された水（妹尾・木村 1983；正司 2003）である。また、対照としては井戸水（富山県食品研究所内の井戸水）を用いた。供試したフキは、フキ水煮製品の加工原料として使用される国産の業務用缶詰加工品（長さ約 30~40 cm、茎の直径約 1.5~2 cm）を用いた。成分分析等に用いた試薬は、市販特級品を用いた。

2.2 海洋深層水を用いて加工したフキ水煮試料における硬さとイオンの関係

原料のフキは、供試に当たり缶詰処理液中の成分を除去する目的で16時間流水洗浄後、長さ5cmに切断した。試験区に応じて調製した加工液200mlを、フキ200gとともに耐熱ポリ袋(15cm×20cm)に入れ、ヒートシールにより密封した。加工液としては、0.4%乳酸カルシウム溶液、DSW、EDDSWおよび対照として井戸水を用いた。なお、乳酸カルシウム区の濃度は、工業的に用いられる山菜水煮製品加工用液と同一の濃度である。すべての加工液には、工業的に用いられる山菜加工用液に倣い、pH調整および酸化防止の目的で、クエン酸、ビタミンCを各0.01%(W/V)の濃度で添加した。この袋詰め試料を、湯浴を用いて90℃、60分間加熱処理した。その後、流水にて冷却し、フキ水煮試料とした。これら試料の破断強度試験と成分分析を行った(2.4および2.5項参照)。

2.3 フキ水煮試料の破断強度に及ぼす各種イオンの影響

2.2項に示した方法によりフキ水煮試料を調製した。ただし、加工液は以下を用いた。すなわち、50mM塩化ナトリウム、500mM塩化ナトリウム、50mM塩化カリウム、500mM塩化カリウム、50mM塩化カルシウム、500mM塩化カルシウム、50mM塩化マグネシウム、500mM塩化マグネシウム、および対照の井戸水である。これらの試料の破断強度を測定した(2.4項参照)。

2.4 破断強度測定

試料を取り出し、切断せずにそのままレオメーター(RE-3305, 山電製)により測定した。くさび形プランジャー(W13×D30×H25mm)を用い、フキ繊維とプランジャー面が直角に交わるよう設置した。測定は10回行い、平均値と標準偏差を求めた。

2.5 成分分析

2.5.1 無機成分

原子吸光法(安井・吉村1996)に定める方法に

より、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウムおよびストロンチウム含量を測定した。すなわちフキ水煮試料では、550℃で灰化後、残渣を1%塩酸により溶解して、原子吸光光度計(AA-6500, 島津製作所製)により測定した。液体試料では、ろ紙(5A, アドバンテック製)にてろ過し、ろ液を原子吸光光度計により測定した。

2.5.2 ヘキサメタリン酸可溶性ペクチン

ペクチンは、水に可溶である水溶性ペクチン、2価の金属と結合して水に不溶となるヘキサメタリン酸可溶性ペクチン、およびセルロースなどと結合して水に不溶となる塩酸可溶性ペクチンに分類される(金子1996)。本研究では、水に不溶のヘキサメタリン酸可溶性ペクチンをカルシウムペクテート法(金子1996)により定量した。すなわち均質化試料60gを熱エタノールで処理し、アルコール不溶性画分を調製した後、水を加えて攪拌・放置してろ過し、残渣を集めた。この残渣を水でよく洗浄した後、4%ヘキサメタリン酸ナトリウム溶液を加えて攪拌・放置後ろ過した。このろ液中のカルシウムペクテートを、カルシウム沈殿させて集めて定量した。1試験区あたり3回の分析を行い、その平均値をヘキサメタリン酸可溶性ペクチン量とした。

3. 結果

3.1 DSW, EDDSW および井戸水の無機成分組成

本試験に用いたDSW, EDDSW, および井戸水の主要無機成分を表1に示した。無処理の海洋深層水であるDSWには、ナトリウム、カリウムが多く含まれており、その量は高柳ら(2003)の報告にほぼ一致した。EDDSWはDSWに比べ、ナトリウム、カリウムの濃度が低下しており、1価イオン除去処理効果をよく反映していた。

3.2 海洋深層水を用いて加工したフキ水煮試料における破断強度とイオンの関係

各処理区の破断強度を調べた結果を図1に示した。破断強度の平均値は、乳酸カルシウム処理区が最も高く、次にEDDSW, DSWの順であり、いずれも

表1 供試水の無機成分組成

	ナトリウム (mg/l)	カリウム (mg/l)	カルシウム (mg/l)	マグネシウム (mg/l)	ストロンチウム (mg/l)
海洋深層水	10800	370	400	1300	8.0
電気透析処理水	690	16	310	1090	6.0
井戸水	4.7	0.7	8.9	2.0	ND*

ND: 検出されず (検出限界 0.1 mg/l)

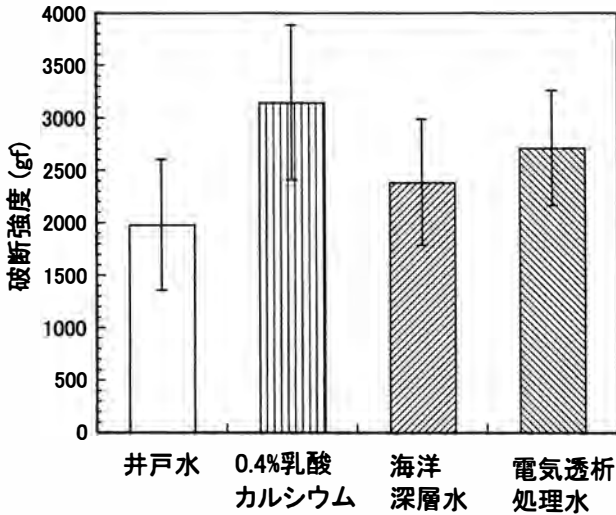


図1 海洋深層水, 電気透析処理水および乳酸カルシウム溶液を用いて加工したフキ水煮試料の破断強度

対照の井戸水処理区より高かった。乳酸カルシウム処理区およびEDDSW処理区では、井戸水処理区に比べ、有意に破断強度が高かった ($P < 1\%$)。図示しないが、当研究所職員など数名により、簡単な官能試験を行ったところ、乳酸カルシウムおよびEDDSW処理区では、井戸水処理区に比べ明らかに歯ごたえがあり (より硬い)、好ましいと判断された。DSW区では軟化抑制効果が感じられ難く、試料毎の歯ごたえのばらつきが大きく感じられた。各処理区のフキに含まれるカルシウム、マグネシウム、ヘキサメタリン酸可溶性ペクチン含量を調べた結果を表2に示した。ヘキサメタリン酸可溶性ペクチン含量は、乳酸カルシウム処理区およびEDDSW処理区ではほぼ同程度で、井戸水処理区に比べ多かった。DSW処理区では、井戸水処理区に比べ若干多い程度であった。このことは、破断強度の測定結果 (図1) に一致すると考えられた。すなわち、乳酸カルシウム処理区およびEDDSW処理区では、不溶性ペクチンが形成されて軟化抑制効

表2 各溶液を用いて加工した煮熟フキ試料中の成分

	ヘキサメタリン 酸可溶性ペクチン (mg/100 g)	カルシウム (mg/100 g)	マグネシウム (mg/100 g)
井戸水	657	31.6	2.3
乳酸カルシウム	959	60.9	3.5
海洋深層水	726	42.5	59.0
電気透析処理水	909	37.5	54.8

果が得られるが、DSW処理区では不溶性ペクチンの形成量が少ないため、乳酸カルシウム処理区およびEDDSW処理区ほどの軟化抑制効果が得られないと推定された。また、乳酸カルシウム処理区ではカルシウム含量が高く、またDSW処理区とEDDSW処理区では、カルシウムとマグネシウムの含量が高く、加工液の組成をよく反映していた。

3.3 DSWとEDDSWの軟化抑制効果の再現性

3.2項のように、EDDSW、DSW処理区とも、井戸水処理区に比べ軟化抑制効果が認められたので、試行数を増やしてDSWとEDDSWの軟化抑制効果を調べ、その効果の再現性について検討した。異なる原料ロットを用いて4回の測定を行った結果を図2に示した。井戸水処理区と比較した場合、EDDSW処理区ではいずれの場合も危険率1%以内で、有意に破断強度が上昇していた。一方、DSW処理区のうち、試験2と試験4では、平均値が井戸水処理区を下回り、有意に破断強度が高いと判断できたのは一度だけであった。このことより、EDDSWの方が原料ロットに関わらず常に高い軟化抑制効果を有することがわかった。一方DSW処理区で、軟化抑制効果が認められないことが多かったことから、フキ原料やDSWのロットによってDSWの効果はばらつく可能性が示唆された。

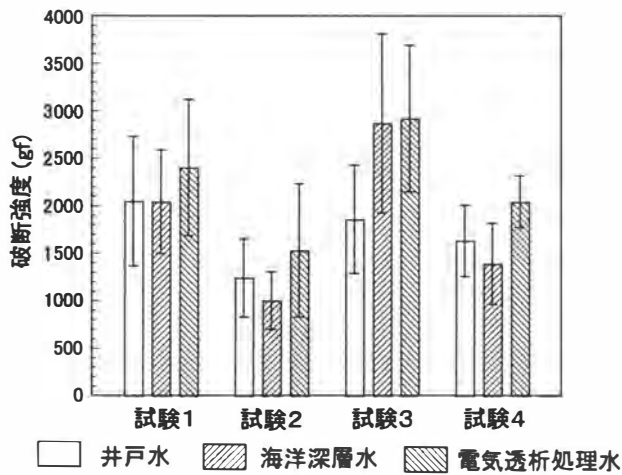


図2 海洋深層水および電気透析処理水を用いたフキの水煮加工処理における再現性試験

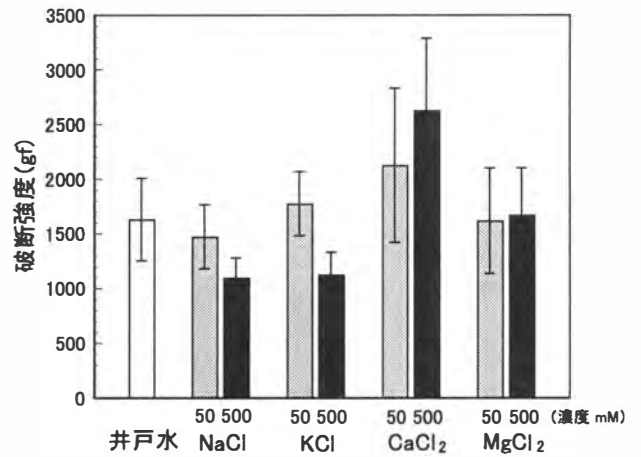


図3 各種塩溶液を用いて加工したフキ水煮試料の破断強度

3.4 フキ水煮試料の破断強度に及ぼす各種イオンの影響

硬化に及ぼすイオンの種類の影響を知るため、海水中の主要陽イオンを加工液に用い、破断強度を調べた。結果を図3に示した。塩化ナトリウム、塩化カリウム区では、濃度依存的に軟化する傾向が認められた。一方塩化カルシウム区では、硬化作用が認められた。塩化マグネシウム区では、濃度にかかわらず硬さは変わらなかった。

4. 考 察

DSW, EDDSW を加工液とすることにより、フキ水煮製品の軟化抑制効果が認められ、特にEDDSWを使用した場合に、その効果が顕著となった。また、EDDSWはDSWより主として1価イオンを除去した水であり、塩味は強く感じないが、若干の苦みを有する。試食した結果、EDDSW処理したフキは、調理しない状態でも井戸水処理に比較して風味はほとんど変わらず、加工液として十分に利用可能と考えられた。

EDDSWによる軟化抑制効果には、カルシウム、マグネシウム等の2価陽イオンが関与することが推定されたが、本研究の結果、カルシウムイオンが中心的役割を果たしている可能性が示唆された。EDDSWの軟化抑制効果は、試行数を増やしてもDSWに比べ安定して認められ、実用化可能と考え

られたが、破断強度の解析結果から、効果の程度に多少の差が生じていた可能性も考えられた。EDDSWは、今回調べたイオン以外にも、微量の陽イオンや陰イオンなど様々なイオンを含む。これら海洋深層水由来の成分が、軟化抑制効果やフキ水煮製品に及ぼす影響については未検討であり、今後の課題と考えられた。本研究の成果は実用性に富み、他品目への応用も容易と考えられることから、複数のイオンとフキの軟化抑制との関係など、軟化抑制効果に及ぼす他の因子の関連についても今後検討を重ね、安定した効果を得るための知見を蓄積する予定である。

一方、DSWはEDDSWと同程度の2価陽イオンを含むにもかかわらず、3.2項の結果のとおり破断強度がEDDSWより低く、軟化抑制効果が低かった。この原因の一つに、DSWに多量に含まれるナトリウムイオン、カリウムイオンが軟化促進に作用し、カルシウムなど2価イオンの軟化抑制効果に影響を与えた可能性が考えられた。また3.3項の結果より、フキ原料やDSWのロットによっても、効果がばらつく可能性が示唆されたことから、様々な因子がDSW処理の効果に影響を及ぼし、結果が一定しなかったと考えられた。

以上の結果より、EDDSWを加工液とすることにより、フキ水煮製品の歯ごたえ向上効果が得られることが明らかとなった。従来から山菜水煮製品の製造工程では、軟化抑制の目的で水煮加工液に乳酸

カルシウムが添加されている。しかし乳酸カルシウムは、食品添加物表示の必要があり、消費者にマイナスイメージを持たれる可能性がある。EDDSWが、この代替として利用可能であることは、極めて有意義である。本研究は、業務用缶詰加工品を原料として用いたが、小売製品の製造現場では、収穫時期の関係から業務用バルク加工品を再加工して出荷・流通するケースが多いのが現状である。このような原料を用いても、EDDSWの効果が明確に得られたことは、産業面から見て非常に有用と考えられる。また、生鮮原料についても本研究成果の応用が可能であれば、応用分野はさらに広がる。現在、EDDSWのフキ等山菜水煮製品への実用化を検討するとともに、より広い分野への応用を目指し研究中である。

5. 謝 辞

海洋深層水原水、電気透析処理水を提供頂いた、滑川市役所 碓井善仁氏に謝意を表す。本研究の一部は、富山県新世紀産業機構の「平成17年度新商品・新事業創出公募事業」の一環として行われたものである。

文 献

- 藤田大介・高橋正征(2006) 海洋深層水利用学—基礎から応用・実践まで—。成山堂, 東京, 209 pp.
- 淵上倫子(1988) 野菜のペクチンと硬さ。New Food Industry, 30, 68-79.
- 妹尾 学・木村尚史(1983) 新機能材料“膜”。工業調査会, 東京, pp.22-29.
- 伊藤慶明(2006) 海洋深層水の多面的利用。恒星社厚生閣, 東京, pp.105-119.
- 金子憲太郎(1996) 新・食品分析法。光琳, 東京, pp.575-585.
- 小西英子・淵上倫子・岡本賢一(1974) 調理の際の野菜の硬化。栄養と食糧, 28, 44-46.
- 森岡克司・延近愛子・亀井美希・川越雄介・伊藤慶明・久保田賢・深見公雄(2005) うどんの物性と組織構造に及ぼす海洋深層水の影響。日本食品科学工学会誌, 52, 420-423.
- 中島敏光(2002) —21世紀の循環型資源—海洋深層水の利用。緑書房, 東京, 263 pp.
- 佐見 学・杉山 洋・上神久典・中尾みか・加藤麗奈・上東治彦(2004) 海洋深層水が清酒発酵中の酵母に与える影響。海洋深層水研究, 5, 7-14.
- 鈴木満平(2005) 富山湾を科学する。北日本新聞社, 富山, pp.4-5.
- 正司信義(2003) 1価イオン選択透過膜による海洋深層水脱塩。食品膜技術懇談会誌, 29, 110-114.
- 高柳信孝・大浦 徹・斎藤行雄・山本 敦・小玉修嗣・健名智子・大戸幹也・松永明信(2003) 富山湾の深層水の成分調査(II)。富山県衛生研究所年報, 26, 171-178.
- Van Buren, J. P.(1979) The chemistry of texture in fruits and vegetables. J. Texture Stud., 10, 1-23.
- 安井明美・吉村悦郎(1996) 新・食品分析法。光琳, 東京, pp.135-146.

(2007. 1. 17 受付, 2007. 5. 29 受理)