

エチゼンクラゲの調理食品としての利用と抗酸化能測定

永塚規衣* 原田和樹** 上野俊士郎** 長尾慶子*

Practical usage of giant jellyfish as cooking foods and measurement of its antioxidative activity

NAGATSUKA Norie, HARADA Kazuki, UENO Shunshiro, NAGAO Keiko

キーワード：エチゼンクラゲ Giant jellyfish, うどん Noodle, 凍結乾燥 Freeze-dry, 抗酸化能 Antioxidative activity, ペルオキシラジカル Peroxyl radical, 官能評価 Sensory evaluation

1. 緒言

近年、日本海にエチゼンクラゲが大量に出現し、漁業において漁具の破損、魚群の入網・揚網阻止や魚体の損傷・鮮度低下など様々な大きな被害をもたらしている。以前、エチゼンクラゲの大発生は約40年に一度の極めて珍しい現象であったが、最近では1995、2000、2002、2003、2005、2006、2009年と毎年のように発生し、出現頻度が高くなっている。エチゼンクラゲの発生場所や生長の肥大化など、生態に関する調査・研究は2000年以降集中して行われ、その生活史や輸送ルートは徐々に明らかにされている^{1)~5)}。エチゼンクラゲの大量出現は中国沿岸域の環境変化に由来するとされ、長江沿岸での海水温の上昇、富栄養化、魚介類資源の減少、食物連鎖構造の変化や自然海岸の喪失などが原因とされている。

これまで日本ではヒゼンクラゲやビゼンクラゲなどの塩くらげを中華食材として利用してきたが、日本海沿岸にエチゼンクラゲが大量出現したことをきっかけとしてその新たな利用方法の開発が試みられている。

エチゼンクラゲの成分は水分約96~97%、

灰分約2.5~2.8%、たんぱく質約0.1~0.2%で、ほとんどが海水に近い体成分である。現在、これら成分に注目し、エチゼンクラゲの利用に向けてさまざまな研究が行われている。例えば、エチゼンクラゲの無機成分を定量した研究では、その中に肥料の五要素と微量元素を含んでいることがわかり、エチゼンクラゲを肥料として利用できることを明らかにしている⁶⁾。また、エチゼンクラゲのたんぱく質に注目した研究では、クラゲのたんぱく質粉末をラットに与えたところ、血液中の中性脂質の値が低下し、脂質代謝改善効果があることを明らかにしている⁷⁾⁸⁾。さらに、エチゼンクラゲ粉末を利用したマカロン、クッキー、煎餅や饅頭等の食品も開発される⁹⁾など、エチゼンクラゲの機能性を活かした利用方法の普及が期待されている。

このような背景のもと、我々もエチゼンクラゲを食品に利用できないかと考え、今回はエチゼンクラゲを調理素材として活用する方策を探ることにした。捕獲後、直ちに冷凍して凍結乾燥して得たエチゼンクラゲ粉末を、塩の代わりにうどんに添加した場合の嗜好性ならびに抗酸化性について検討した。得られた知見を以下に報告する。

2. 実験方法

1) 実験材料

山形県鶴岡市沿岸で捕獲されたエチゼンクラ

* 東京家政大学 (Tokyo Kasei University)

** 水産大学校 (National Fisheries University)

ゲを直ちに冷凍保存し、サイレントカッターで細かく粉碎後、凍結乾燥した。得られた粉末状エチゼンクラゲを実験に用いた。

うどんの材料は一般的な市販品である薄力小麦粉（日清製粉株）、塩（財団法人塩事業センター）、純水を用いた。

2) 試料調製

i) うどん試料の調製

各うどん試料の材料配合割合を表1に示した。粉+エチゼンクラゲ粉末に水を加えてよく混捏しドウを調製した。次いで、ドウを冷蔵庫（5℃）で30分間放置後、厚さ2mmに伸ばし、幅3mmに切断したものを1ℓの沸騰浴中で5分間茹で各うどん試料とした。なお、塩5.0wt%添加うどんを対照のうどん試料とした。

さらに、調理操作手順を変えたエチゼンクラゲ粉末5.0wt%添加うどん試料も調製した。先にエチゼンクラゲ粉末と水を混合し、これを0.5時間、24時間、72時間と浸漬時間をかえた液をそれぞれ粉に添加し、上記と同様の方法でうどん試料を調製した。

表1. 各うどん試料の材料配合割合

うどん試料	小麦粉	塩	エチゼンクラゲ粉末	水
塩5.0wt%添加（対照）	47.5	2.5	-	30.0
クラゲ粉末5.0wt%添加	47.5	-	2.5	30.0
クラゲ粉末7.5wt%添加	46.25	-	3.75	30.0

ii) 抗酸化測定用試料の調製

上記 i) で得た各うどん試料を凍結乾燥用ピーカーに入れ、パラフィルム及びアルミオイルで密閉後、-50℃の冷凍庫（三洋電機 BLASTFREEZER）で一晩予備凍結した。その後、凍結乾燥機（YAMATO FreezeDryerDC800）に二日間かけて完全に乾燥させた。乾燥終了後、直ちにミルサー（TIGER SKL-A250）で粉碎し、各粉末試料を得た。次いで、各粉末試料を遠心分離機用試験管に0.5gずつ秤量し、リン酸緩衝液ならびに85%エタノール溶液10mlを加え

て、2500rpmで5分間遠心分離し、水溶性ならびに脂溶性成分抽出液を得た。

3) 官能評価

エチゼンクラゲ粉末添加うどんの嗜好度を対照の塩添加うどんと比較するために、評点法による官能評価を行った。本学調理科学研究室員（女性）16名をパネルとして、図1に示す官能評価用紙を用いてつや、歯ごたえ、弾力、滑らかさ、魚臭さ、塩味、食感としての総合評価、食味としての総合評価、麺としての総合評価の各項目について7段階評価を行い、結果を統計解析した。基準A試料は塩5.0wt%添加うどんであり、エチゼンクラゲ粉末5.0wt%添加うどん（B試料）ならびにエチゼンクラゲ粉末7.5wt%添加うどん（C試料）とのA-B、A-C間の差をt検定し有意差を判定した。

うどん試料の官能評価（評点法）							
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
項目							
つや（非常に悪い:-3～非常に良い:+3）							
歯ごたえ（非常に悪い:-3～非常に良い:+3）							
弾力（非常にない:-3～非常にある:+3）							
滑らかさ（非常に悪い:-3～非常によい:+3）							
魚臭さ（非常に強い:-3～非常に弱い:+3）							
塩味（非常に強い:-3～非常に弱い:+3）							
食感としての総合評価（非常に悪い:-3～非常によい:+3）							
食味としての総合評価（非常に悪い:-3～非常によい:+3）							
麺としての総合評価（非常に悪い:-3～非常によい:+3）							

試料Aを基準(0)として、試料B及び試料Cの各項目に評点(-3～+3)を記入してください。

図1. うどん試料の官能評価用紙

4) 化学発光（ケミルミネッセンス）法によるペルオキシラジカル捕捉活性の測定^{10)～13)}

装置はキッコーマン社製ルミテスター C-100を使用した。氷水中にある2,2'-アゾビス（2-アミジノプロパン）二塩酸塩（通称AAPH）試薬（40mM AAPH/0.1Mリン酸緩衝液、pH7.0）200μlに0.1Mリン酸緩衝液または各濃度のう

どん抽出試料溶液 200 μ l をルミチューブに入れてパラフィルムをし、ミキサー (TAITEC 社製、S-100) で攪拌後、37 $^{\circ}$ C の恒温槽 (EYELA 社製、DIGI. THERMOPETNTT-1200) 内で 2 分間加温処理した。加温後、ルミノール試薬 200 μ l を加えてパラフィルムをして攪拌後、ルミテスターで化学発光パターンを測定した。なお、ルミノール試薬は、0.11mM ルミノール溶液 400 μ l に、0.1M ホウ酸緩衝液 0.9ml を加えて調製した。

コントロールとして 0.1M リン酸緩衝液を用いて 2 回連続して測定を行い、測定値が 50,000RLU 以上であれば装置が安定していると判断して各試料の測定を行った。化学発光パターンの経時的なピーク値の変化より抗酸化能を評価した。すなわち原液 \rightarrow 10%希釈液 \rightarrow 1%希釈液 \rightarrow 0.1%希釈液 $\dots\dots$ と順次希釈液を測定していき、コントロールの発光値を 1/2 にする値が 10 \sim 1%にあった場合、さらに希釈の程度を 7.5% \rightarrow 5.0% \rightarrow 2.5%として測定した。各希釈段階で 2 回ずつ測定し平均を用いた。コントロールとしての 0.1M リン酸緩衝液の発光値を 1/2 にするうどん抽出試料の最終濃度を IC₅₀ 値と定義した。

IC₅₀ 値は下記の (1) 式により計算した^{10)~17)}。

$$\text{Log} (I_0/I) \times 100 = 30.103 \dots\dots\dots (1)$$

この場合、I₀: リン酸緩衝液の発光値、I: 水溶性成分ならびに脂溶性成分抽出液の発光値であり、上記 (1) 式を満たす試料濃度が IC₅₀ 値 (%) であり、この数値が小さいほど抗酸化能が高いことを示す。

3. 結果及び考察

1) エチゼンクラゲ粉末添加うどんの官能評価

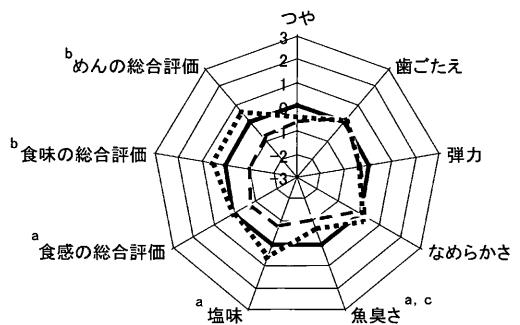
本実験試料として用いたクラゲ粉末はエチゼンクラゲを捕獲後、直ちに冷凍 \rightarrow 粉碎 \rightarrow 凍結乾燥という一連の操作を行っているため、脱塩処理はしていない。そのため、エチゼンクラゲ粉

末をそのまま食すると調味料である塩と同じような「しょっぱさ」が口の中に広がる。

そこで、クラゲ粉末を塩の代替として調製したエチゼンクラゲ粉末添加うどんの嗜好度をみるために、塩 5.0wt% 添加うどんを対照試料としてクラゲ粉末 5.0wt% ならびに 7.5wt% 添加うどん試料の 7 段階評点法による官能評価を行った。

結果を図 2 に示した。

実線が対照の塩 5.0wt% 添加うどん試料であり、それより外側に破線が広がるほど好ましい状態を示している。エチゼンクラゲ粉末 7.5wt% 添加うどん試料は対照試料に比べて評価が低く「魚臭さ」、「塩味」および「食感としての総合評価」において 1% 危険率で有意差がみられた。さらに、「食味としての総合評価」および「麺としての総合評価」においても 5% 危険率で有意差がみられたことから、エチゼンクラゲ粉末 7.5wt% 添加試料はうどん製品として好ましくないと考えられた。しかし、エチゼンクラゲ粉末 5.0wt% 添加うどん試料は対照の塩 5.0wt% 添加うどん試料に比べて、「魚臭さ」において 1% 危険率で評価が低く有意差がみられた以外は有意差がみられなかったため、うどんを調製する際に 5% 程度のクラゲ粉末であれば塩の代わりに代用できると考えられた。



— 塩 5.0wt% 添加試料 (対照) - - - クラゲ粉末 7.5wt% 添加試料
 クラゲ粉末 5.0wt% 添加試料

図 2. エチゼンクラゲ粉末添加うどんの官能評価 (評点法)

- a: 対照とクラゲ粉末 7.5wt% 添加試料間に $p < 001$ で有意差あり。
- b: 対照とクラゲ粉末 7.5wt% 添加試料間に $p < 005$ で有意差あり。
- c: 対照とクラゲ粉末 5.0wt% 添加試料間に $p < 005$ で有意差あり。

2) 各うどん試料のペルオキシラジカル捕捉活性

これまでに活性酸素の捕捉活性を測定する方法としてORAC法およびESR法で測定し、エチゼンクラゲ粉末そのものには高いペルオキシラジカルおよびヒドロキシラジカル消去活性があることを明らかにしている¹⁸⁾。上記の官能評価結果より得られたエチゼンクラゲ粉末5.0wt%添加うどん試料の抗酸化性の有無を調べるために、今回は化学発光(ケミルミネッセンス)法を用いてペルオキシラジカル捕捉活性の測定を行った。

結果を図3に示した。

図中、クラゲ粉末の水浸漬時間を変えて調製したエチゼンクラゲ粉末5.0wt%添加うどん試料の結果も示している。IC₅₀値が高いほど捕捉活性が低く、すなわち抗酸化性が低いことになる。

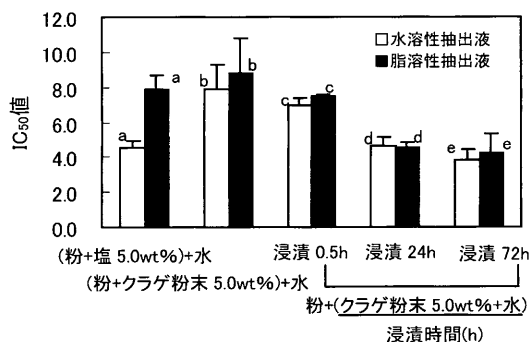


図3. 各うどん試料のペルオキシラジカル捕捉活性
 水溶性抽出液: ac,cd,ce p < 0.01 ab,db,de p < 0.05
 脂溶性抽出液: ad,ae,cd p < 0.01 bd,be,ce p < 0.05

エチゼンクラゲ粉末をそのままの状態に粉に添加して調製したうどん試料は水溶性抽出液、脂溶性抽出液ともに対照試料に比べてIC₅₀値は高くなり、ラジカル捕捉活性が低下する傾向がみられた。しかし、エチゼンクラゲ粉末を水に0.5時間、24時間、72時間と浸漬してから粉に添加して調製したうどん試料の場合は浸漬時間が長いほど水溶性抽出液および脂溶性抽出液ともにIC₅₀値は低下し、ラジカル捕捉活性が高くなる傾向がみられた。水浸漬24時間

以降の脂溶性抽出試料で対照のうどん試料よりも有意に抗酸化性が高くなった。

生のエチゼンクラゲを粉末化するとその主成分は約8割がたんぱく質となり、そのたんぱく質中の約65%がコラーゲンであると言われている⁹⁾。水浸漬によりコラーゲンを主成分とするたんぱく質の一部溶出がうどんのペルオキシラジカル捕捉活性に寄与しているのではないかと考えられたが、これら詳細についてはさらに検討する必要がある。

以上の結果から、エチゼンクラゲを粉末化することは保存性が高く、かさが少なく、色々な加工品に利用することが可能になるが、エチゼンクラゲ粉末を機能性食品として活用する場合は上記のように調理操作手順の考慮も必要であることが示唆された。

4. 要約

エチゼンクラゲの有効利用を目的に、捕獲された生クラゲを粉末化し調理素材として利用することを試みた。エチゼンクラゲ粉末を塩の代替としてうどんに添加した場合の嗜好性ならびに抗酸化性について検討し、得られた知見を以下にまとめた。

- (1) 官能評価より、うどんを調製する際に5%程度のエチゼンクラゲ粉末であれば、塩の代替として利用できると考えられた。
- (2) うどんを調製する際にエチゼンクラゲ粉末を小麦粉に添加した場合は、塩添加うどん試料よりもラジカル捕捉活性が低下した。
- (3) 調理操作手順を変えて、エチゼンクラゲを粉末の状態に加えるのではなく水に0.5~72時間浸漬させた状態で添加した場合は、浸漬時間が長くなるほどエチゼンクラゲ粉末添加うどん試料のペルオキシラジカル

ル捕捉活性が増し、水浸漬 24 時間以降の脂溶性抽出試料の抗酸化性が対照に比べて有意に高くなった。

引用文献

- 1) 上真一 (2007), エチゼンクラゲ大発生 : 海から人類への警告, 化学と生物, 45, 355-359
- 2) 飯泉仁 (2007), 日本における大型クラゲの大量出現とその対策, 水環境学会誌, 30, 416-420
- 3) 上真一 (2006), 一漁場環境を考える—エチゼンクラゲ大発生 : 常態化への懸念, 日本水産資源保護協会月報, 492, 3-7
- 4) 水産研究センター (2006), 大型クラゲ, FRA ニュース, 5, 4-14
- 5) 上野俊士郎 (2006), エチゼンクラゲの大量出現とその対策, 水産振興, 40, 1-34
- 6) 福土恵一、横田久里子、辻本淳一 (2005), 分析化学, 54, 175-178
- 7) 金庭正樹 (2007), 水産加工業界の新動向 水産加工廃棄物の有効利用技術の現状, ジャパンフードサイエンス, 46, 79-86
- 8) 岡崎恵美子 (2005), エチゼンクラゲの食品利用, 日本水産学会誌, 71, 993-994
- 9) 独立行政法人水産総合研究センター (2007), 大型クラゲ加工マニュアル, 神奈川, 1-76
- 10) Harada, K., Ando, M., Kitao, S., Sakamoto, Y., Kobayashi, M. and Tamura, Y. (2002), Measurement of antioxidative capacity of fish sauce using chemiluminescence method. *Fish Sci.*, 68 (Suppl. 2), 1437-1440
- 11) Harada, K., Okano, C., Kadoguchi, H., Okubo, Y., Ando, M., Kitao, S. and Tamura, Y. (2003), Peroxyl radical scavenging capability of fish sauces measured by the chemiluminescence method. *Int. J. Mol. Med.*, 12, 621-625
- 12) Ando, M., Harada, K., Kitao, S., Kobayashi, M. and Tamura, Y. (2003), Relationship between peroxy radical scavenging capability measured by the chemiluminescence method and an aminocarbonyl reaction product in soy sauce. *Int. J. Mol. Med.*, 12, 923-928
- 13) Harada, K., Ando, M., Kitao, S., Okano, C. and Tamura, Y. (2004), Changes in antioxidative capacity by the chemiluminescence method and K value as freshness indicator of squids captured from Senzaki fishing seaport in Yamaguchi Prefecture. *J. Integr. Stud. Diet Habits*, 15, 92-97
- 14) Nagatsuka, N., Harada, K., Ando, M. and Nagao, K. (2005), Effect of soy sauce on the antioxidative capacity of 'Nikogori' gelatin gel as a swallowing food using the chemiluminescence method. *Int. J. Mol. Med.*, 16, 427-430
- 15) 永塚規衣、原田和樹、安藤真美、長尾慶子 (2007), 化学発光 (ケミルミネッセンス) 法による醤油添加 “煮ごり” のラジカル捕捉活性効果 — “煮ごり” 材料及び醤油の種類による影響 —, 日調科誌, 40, 179-183
- 16) Nagatsuka, N., Sato, K., Harada, K. and Nagao, K. (2007), Radical scavenging activity of 'Nikogori' gelatin gel food made from head, bone, skin, tail and scales of fishes measured using chemiluminescence method. *Int. J. Mol. Med.*, 20, 843-847
- 17) 永塚規衣、原田和樹、長尾慶子 (2008), 化学発光 (ケミルミネッセンス) 法を用いた魚類の未利用部位調製 “煮ごり” のラジカル捕捉活性, 生活科学研究所研究報告書, 31, 75-80
- 18) Hasegawa, Y., Maeda, T., Ueno, S., Nagatsuka, N., Nagao, K., Fukuda, Y. and Harada, K. (2008), Antioxidative activity of the Giant Jellyfish, *Nemopilema nomurai*, measured by ORAC and HORAC methods. Program & Abstracts of 5th World Fisheries Congress, 219