短 報

著しく脆弱な物性を呈する
ボイルナマコ製品の性状成田正直,^{1*} 水田尚志,² 若林克典,³
宮崎亜希子,¹ 佐藤暁之,¹ 清水茂雅,¹
古田智絵,⁴ 辻 浩司¹

(2015 年 4 月 15 日受付, 2015 年 5 月 31 日受理)

¹(地独)北海道立総合研究機構網走水産試験場,²福井県立大学海洋生物資源学部,³利尻地区水産技術普及指導所,⁴(地独)北海道立総合研究機構食品加工研究センターProperties of boiled sea cucumber products with
abnormally tender texturesMASANAO NARITA,^{1*} SHOSHI MIZUTA,²
KATSUNORI WAKABAYASHI,³ AKIKO MIYAZAKI,¹
AKIYUKI SATO,¹ SHIGEMASA SHIMIZU,¹
TOMOE FURUTA⁴ AND KOJI TSUJI¹¹Hokkaido Research Organization Abashiri Fisheries Research Institute, Monbetsu, Hokkaido 094-0011, ²Fukui Prefectural University Faculty of Marine Bioscience, Obama, Fukui, 917-0003, ³Hokkaido Rishiri Fisheries Technical Guidance Office, Rishirifuji, Hokkaido 097-0101, ⁴Hokkaido Research Organization Food Processing Research Institute, Ebetsu, Hokkaido 069-0836, Japan

キーワード: コラーゲン, 脆弱化, 突き刺し強度, ボイル, マナマコ

乾燥ナマコは、ナマコから内臓を除いた体壁をボイル、乾燥した加工品で、¹⁾ 高級食材として中華料理に用いられる。マナマコ *Apostichopus japonicus* を原料とした日本産の乾燥ナマコは、世界的消費地である中国で高い評価を受けている。日本産の中でも、特に北海道産のマナマコは、疣足数の多さや疣の形状（疣立ち）が良好であることから、中国市場では最高級品とされている。

最近、北海道、主に道北の製造現場において、ボイル処理後に体壁が著しく脆弱化しているボイルナマコの発生が認められている。マナマコの体壁は通常、ボイル処理によって弾力のあるゴム状の強固な物性を呈する。これに対し、脆弱化したボイルナマコは弾力が著しく低く、乾燥ナマコに加工しても通常の形態を保持しないため、商品価値が著しく低いことが指摘されている。道北の A 漁業協同組合によれば、2010–2013 年における脆弱化したボイルナマコの発生率（ボイルナマコ体壁に対する重量割合）は約 6% で、年によっては 10% を超えるという。ボイル処理によって脆弱化する個体は、生鮮

段階で肉眼的に判別が難しく、脆弱化の発生機構も不明である。ボイル処理したマナマコ体壁の物性変化に関しては、これまでいくつか研究例がある。^{2–5)} しかし、ボイルナマコの脆弱化現象については報告が見当たらない。このため筆者らは、ボイルナマコの脆弱化現象に関する基礎的知見を収集するために、脆弱化したボイルナマコの物性や化学成分などの性状を調査するとともに、乾燥ナマコを調製してその品質を評価した。

試験試料は 2013 年 7 月、A 漁業協同組合のナマコ桁網漁業によって漁獲、同日、同漁業協同組合直営加工場にてボイルされたマナマコ（アオナマコ）を用いた。マナマコから内臓を除去後、70℃ に保った煮熱水に体壁を投入し 45 分間ボイルした。さらに 15 分間かけて 90℃ まで温度を上昇させ、同温度で 25 分間ボイルした。煮熱水（水道水）は、体壁約 100 kg に対し約 500 L を用いた。ボイル後の体壁は、樹脂製の角かご上で自然放冷した。この中から、肉眼および触感により体壁が明らかに脆弱化していると判断されたもの（以下、脆弱ナマコ）を採取し試験に供した。比較のために脆弱化が認められなかったもの（以下、通常ナマコ）も採取し同様に試験に供した（Fig. 1）。

ボイルナマコにおける脆弱化の程度を数値化するために、レオメーター（レオテック、RT-2002DD）を用いて体壁の突き刺し強度を測定した。針入度測定用針状プランジャー（直径 3 mm, ストロークスピード 60 cm/min）で体壁を貫通したときの最大応力を突き刺し強度とした。測定はボイルナマコの体軸に沿って 1 個体につきそれぞれ 3 箇所行い、得られた値の平均値を算出した（ $n=20$ ）。

脆弱ナマコにおける組織の状態を調べるために、体壁から組織切片を調製し組織観察を行った。ボイルナマコの体軸に対して垂直方向に約 5 mm の厚さに試料を切り分け、これを Davidson 液⁶⁾中で固定した。エタノール系列で脱水後、パラフィン中に包埋した。回転式ミクローム（大和光機工業、PR-50）により厚さ 6 μm に薄切した。コラーゲン繊維の性状を調べるために、既報の方法⁷⁾に従いアザン染色に供した。組織観察は光学顕微鏡（オリンパス、BX-60）により、ボイルナマコの体軸方向に平行な向きで行った。

脆弱ナマコの成分的特徴を調べるために、通常ナマコおよび脆弱ナマコ各 7 個体について成分分析を行った。分析試料の調製は、口吻周囲の石灰環部分を除去した体壁を包丁で細切して行った。細切した試料の水分を

Fig. 1 Normal products and abnormally soft products after boiling treatment. Dorsal of normal products (a), ventral of normal products (b), dorsal of abnormal soft products (c), ventral of abnormal soft products (d). Scale bars represent 2 cm.

測定した後、残った試料を凍結乾燥 (EYELA, FDU-830) およびサンプルミル (大阪ケミカル, LM-PLUS) にて粉末化し均一化を図った。得られた粉末について、一般成分とともにコラーゲン含量を推定するためにヒドロキシプロリン (Hyp) を分析した。水分は 105°C 常圧乾燥法、粗タンパク質はマイクロケルダール法 (全窒素 $\times 6.25$)、粗灰分は 550°C 直接灰化法、Hyp は粉末試料を 6 N 塩酸で 110°C, 24 時間加水分解した後、減圧下で塩酸を除去して Woessner の比色定量法⁸⁾により測定した。

ボイルナマコは、乾燥ナマコ加工における中間製品であるため、通常ナマコ ($n=23$) および脆弱ナマコ ($n=22$) を用い、最終製品である乾燥ナマコに調製して品質評価を行った。乾燥ナマコの調製は、送風定温乾燥器 (ヤマト, DN54) によって 1 回あたり 40°C で 8 時間の乾燥を行った。乾燥は基本的に 1 日 1 回、毎日行った。乾燥ナマコ製品については水分含量の規格基準が存在しないため、体壁に指で圧力を加え体躯のたわみやしなりが生じなくなった時点で製了 (乾燥終了) とした。このような方法で調製した乾燥ナマコについて、体躯の変形を評価するために扁平率を測定した。扁平率は乾燥ナマコの口吻側と肛門側のほぼ中央部における体躯の高さ H と幅 W をデジタルノギス (CD-15PMX, Mitutoyo Corporation) で測定し、 H/W の比率を算出して扁平率とした。なお、本研究における測定値は平均値 $\pm$ 標準偏差で表した。また、測定値の有意差検定は t 検定および Tukey-Kramer 多重比較検定により行った。いずれも有意水準を 1% ($p < 0.01$) とした。

Fig. 2 Needle sticking strength of normal products and abnormally soft products after boiling treatment. The vertical axis shows the needle sticking strength of the ventral part, and the horizontal axis shows the needle sticking strength of the dorsal part. ○, Normal products; ●, abnormally soft products.

Fig. 3 Tissue images by Azan staining of normal products (a) and abnormally soft products (b) after boiling treatment. Scale bars represent 100 μ m.

通常ナマコの突き刺し強度は背側、腹側ともに 400–1,000 g の範囲にあった。一方、脆弱ナマコは背側、腹側ともに 40–400 g と著しく低い値を示した (Fig. 2)。組織観察では、通常ナマコ、脆弱ナマコともに一定の方向性を持たないコラーゲン繊維が密集した状態で存在していた。しかし、脆弱ナマコは通常ナマコに比べてコラーゲン繊維の間隙が大きく、より散在した状態が観察された (Fig. 3)。一般成分の分析結果では、水分は通常ナマコの $80.7 \pm 1.7\%$ に対して脆弱ナマコは $88.8 \pm 1.0\%$ と有意に高かった ($n=7$)。他の成分を無水物換算値で比較すると、脆弱ナマコは通常ナマコに比べて、粗タンパク質が有意に低く、逆に、粗灰分は有意に高い値であった (Table 1)。また、軟化ナマコの Hyp は $3.3 \pm 0.4\%$ で、通常ナマコの $4.4 \pm 0.4\%$ に比べ有意に低い値を示した。

乾燥ナマコを調製したところ、製了までに要した乾燥回数は通常ナマコ 11 回、脆弱ナマコ 15 回であった。製了時の水分は通常ナマコ、脆弱ナマコそれぞれ $12.1 \pm 1.0\%$, $12.0 \pm 0.5\%$ ($n=3$) であった。調製した乾燥ナマコを観察したところ、脆弱ナマコの疣立ちは通常ナマコに比べて劣っており、疣の状態が矮小化または不明

Table 1 Approximate composition and hydroxyproline level of normal products and abnormally soft products after boiling treatment (%)

	Moisture	Crude protein*	Crude ash*	Hydroxyproline*
Normal products	80.7±1.7 ^a	76.5±4.1 ^a	12.1±0.9 ^a	4.4±0.4 ^a
Abnormally soft products	88.8±1.0 ^b	64.3±4.0 ^b	20.2±1.5 ^b	3.3±0.4 ^b

* Values are represented as dry matter base. All values are given as mean ± standard deviation ($n=7$). Statistical significance among the same components was examined by *t*-tests. Values followed by different letters are significantly different ($p<0.01$).

瞭化していた。また、扁平率 H/W は通常ナマコの 0.92 ± 0.09 ($n=22$) に対し、脆弱ナマコは 0.77 ± 0.15 ($n=23$) で扁平の程度が有意に大きかった。

脆弱ナマコの突き刺し強度は通常ナマコに比べて背側、腹側ともに低かったことから、軟化は体壁全体に及んでいると考えられる。また、組織観察の結果から脆弱ナマコではコラーゲン繊維の分布密度が著しく低くなっていることが推定される。コラーゲンはマナマコ体壁における主要なタンパク質で、⁹⁾ 体壁を構成するタンパク質の約 70% を占めるとされる。¹⁰⁾ よって、このようなコラーゲン繊維の分布密度の違いが体壁の物理的強度に差をもたらした主な要因であると考えられる。

成分分析の結果、脆弱ナマコの水分含量は、通常ナマコに比べて 8% 以上高かったことから脆弱ナマコの組織には、より多くの水がトラップされていると推定される。また、脆弱ナマコは体壁を構成するタンパク質、特にコラーゲン特有のアミノ酸である Hyp の含量が低かった。この原因として、軟化ナマコの体壁におけるコラーゲン含量が生鮮時において通常ナマコと異なっていること、あるいは、脆弱化する個体はコラーゲンが水溶化して流出しやすい性質を有することなどが可能性として考えられる。

乾燥ナマコを調製した結果、脆弱ナマコは通常ナマコに比べ製すまでに多くの日数を要した。これは乾燥開始時における体壁の水分含量の違いが影響していると考えられる。また、脆弱ナマコから調製した乾燥ナマコは疣立ち不良や変形などの品質劣化が散見され、特に扁平の度合いが大きかった。乾燥ナマコにおける「そり」や「ねじれ」などの変形は疣立ち不良とともに品質劣等品と評価される要因となり、この中では特に「扁平」が問題になる。乾燥ナマコの製造現場では「ねじれ」および「そり」は、乾燥中の体壁に木棒などを差し込んで矯正することが可能であるが、「扁平」は矯正が難しいとされている。¹¹⁾ これらのことから、軟化ナマコは単に水分を多く含んで膨潤しているだけでなく、体壁に何らかの組織的構造変化が生じており、これが乾燥品の品質に影響を与えている可能性が考えられる。

以上、脆弱ナマコは、通常ナマコに比べて物性や組織的性状、化学成分が大きく異なっていることが明らかとなった。また、脆弱ナマコから調製した乾燥ナマコは、疣立ちが不明瞭で変形の程度が大きく、顕著な品質の低下がみられた。A 漁業協同組合からの聞き取り調査によれば、脆弱ナマコの発生は、より深い漁場（水深 60–80 m）で漁獲されたマナマコに多いとされる。深い漁場で多く発生する要因として、水温や水圧がマナマコの生体に影響を及ぼしている環境的要因や、深い特定の漁場に別種や突然異変種が存在している遺伝的要因などが考えられる。

今後は、脆弱ナマコが発生しやすい海域から生鮮試料を採取し、ボイル処理をシミュレーションしたモデル実験により脆弱個体の再現を試みる予定である。その上で、ボイル前後における組織変化や化学成分を通常個体と比較する必要がある。特に、体壁の組織構造に関するタンパク質の分子量分布や溶解性についての知見は、脆弱化に関する重要な情報を持つと考えられる。また、ボイル処理において煮熟液に流出する成分についても詳細な比較、検討が必要である。

本研究の一部は、一般財団法人東和食品研究振興会平成 25 年度学術奨励金で行った。

文 献

- 1) 野中 健・干しなまこ。「全国水産加工品総覧」（福田裕，山澤正勝，岡崎恵美子）。光琳，東京。2005；91–93。
- 2) 太田 聡，大迫一史。マナマコの加熱処理による物性の変化。長崎県水産試験場研究報告 1999；25：9–13。
- 3) Gao X, Xue D, Zhang Z, Xu J, Xue C. Rheological and structural properties of sea cucumber *Stichopus japonicus* during heat treatment. *J. Ocean Univ. China*. 2005; 4: 244–247.
- 4) Gao X, Zhang Z, Liu L, Liu Q. Rheological changes of sea cucumber *Stichopus japonicus* during different heated times. *Int. J. Fish. Aquacult.* 2011; 2: 258–262.
- 5) Liu L, Zhang Z, Liu Q, Yang B, Huang J, Gao X. Rheological and structural properties of sea cucumber *Stichopus japonicus* during different heating temperature. *Int. J. Fish. Aquacult.* 2012; 4: 209–216.
- 6) 特定疾病診断マニュアル。社団法人水産資源保護協会，東京。2008；55–58。
- 7) 朝隈蓉子，福島範子。アザン染色。「染色法のすべて」（月刊 Medical Technology 別冊），医歯薬出版株式会社，東京。1988；20–23。
- 8) Woessner JF, Jr. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of this imino acid. *Arch. Biochem. Biophys.* 1961; 93: 440–447.
- 9) 渡部終五，橋本周久。ナマコの歯ごたえの謎を探る。化学と生物 1986；24：697–699。
- 10) Saito M, Kunisaki N, Urano N, Kimura S. Collagen as the major edible component of sea cucumbers (*Stichopus japonicus*). *J. Food Sci.* 2002; 67: 1319–1322.
- 11) 成田正直。乾燥ナマコの品質・加工。「ナマコ漁業とその管理」（廣田将仁，町口裕二編）。恒星社厚生閣，東京。2014；232–241。