短 報

乾のりのたんぱく質含量, 抗酸化能,
水溶性食物繊維含量およびインスリン様作用
の品質による相違友寄博子,^{1*} 阿蘇品里紗,¹ 市木美帆,¹
岸田翔太,¹ 野坂瑠璃子,¹ 西岡美里,²
山元涼子,³ 白土英樹¹

(2020年3月26日受付, 2020年5月20日受理,

2020年8月25日J-STAGE早期公開)

¹熊本県立大学環境共生学部環境共生学科食健康環境学専攻, ²熊本製粉株式会社,³弘前大学農学生命科学部食料資源学科Differences between grade and functional components
of dried laver “nori”HIROKO TOMOYORI,^{1*} RISA ASOSHINA,¹
MIHO ITIGI,¹ SHOTA KISHIDA,¹ RURIKO NOSAKA,¹
MISATO NISHIOKA,² RYOKO YAMAMOTO³
AND HIDEKI SHIRATSUCHI¹¹Division of Food & Health Environmental Sciences,
Department of Environmental and Symbiotic Science,
Faculty of Environmental and Symbiotic Science, Prefectural
University of Kumamoto, Kumamoto, Kumamoto 862-
8502, ²Kumamoto Flour Milling Co., Ltd., Kumamoto,
Kumamoto 860-8625, ³Department of Applied Biology and
Food Sciences, Faculty of Agriculture and Life Science,
Hirosaki University, Hirosaki, Aomori 036-8560, Japanキーワード: インスリン様作用, 海藻, 抗酸化作用, 食
物繊維, 糖尿病, のり, 海苔

乾のり *Pyropia* spp. に含まれる栄養成分や色素成分は, その品質によって含有量が異なることが報告されている。¹⁻⁴⁾ しかし, 専門検査員によって等級分けされた乾のりについて, たんぱく質と機能性成分を比較した報告は限定的である。そこで, 熊本県漁業協同組合連合会にて等級分けされた乾のりを試料として等級による成分ならびに脂肪分解抑制作用の強さの違いを比較した。まず, 本研究では玉野ら¹⁾の報告と比較するためにたんぱく質を, これに加えて血糖値上昇抑制に寄与する成分として水溶性食物繊維粗抽出画分, 抗酸化活性ならびにインスリン様作用の指標として脂肪分解抑制作用について比較した。

実験試料 実験試料には, 有明海産(熊本)の7等級・15種類の乾のり(等級の高い順に等級1の混一, 少エビー, 等級2のシ〇二, 別〇二, 等級3の塩屋別三, 三, 等級4の別〇四, 等級5の松尾エビA五, 海路口エビA五, 等級6の畠田多エビ六, 混六, 等級7

のA七-沖新, A七-熊本北部, A七-畠田, C七-滑石)を用いた。なお, 乾のりの等級は数字が小さくなるにつれて評価が高くなるよう格付けされている。たんぱく質含有量の測定は乾のりを約5 mm幅, 2–3 cmの長さに細く裁断して用い, それ以外の成分抽出には乾のりをミクロパウダー G015(有限会社ウエスト)で平均粒径を18 μm以下の微粉末にして用いた。抗酸化活性測定ならびに脂肪分解抑制作用の測定に使用した試料は既報⁵⁾と同様にして120℃, 20分間オートクレーブ処理(高圧蒸気滅菌機 HV-50, 平山製作所)の後に, 約17時間50℃, 120 s/mで振とう抽出し, 10,000 rpm, 30分間遠心分離後得られた熱水抽出物上清画分を用いた。

供試動物 実験動物には, ウィスター系雄ラット(日本チャールズ・リバー(株))を使用し, 前報⁶⁾と同じ飼育条件で予備飼育し, 脂肪分解抑制作用実験に供した。本動物実験は, 熊本県立大学動物実験委員会の承認を受けて実施した。

方法 たんぱく質含有量は, 日本食品標準成分表(七訂)分析マニュアルにしたがって, マクロ改良ケルダール法を用いて定量した。⁷⁾ 続いて, 試料の抗酸化活性測定にはH-ORAC(hydrophilic-oxygen radical absorbance capacity)を渡邊ら⁸⁾の方法で行った。脂肪分解抑制作用は予備飼育したラットの臍丸周辺脂肪組織を摘出し, 脂肪組織切片を作製した。その切片を用いて, 前報⁶⁾と同様の方法でのり熱水抽出物が50 mg/mLになるようにHanks緩衝液(pH 7.4)に溶解し実験に使用した。

統計解析 有意差検定は, 4 stepsエクセル統計⁹⁾のピアソンの相関係数により行った。

乾のりの等級とたんぱく質との相関(Fig. 1a, $P < 0.001$), H-ORAC値との相関(Fig. 1b, $P < 0.001$), 水溶性食物繊維粗抽出画分(SDF crude fraction)割合との相関(Fig. 1c, $P < 0.01$), 脂肪分解抑制作用との相関(Fig. 1d, $P = 0.05$)を示す。

玉野ら¹⁾は, 官能検査によるスコアと, アミノ態窒素ならびに全窒素量との相関係数がそれぞれ0.436, 0.514と, 正の相関⁹⁾を示し, 品質が高くなるにつれてそれぞれの含有量が多くなることを報告している。本研究でも, ケルダール法で測定した結果, 相関係数が-0.872と玉野らの報告より強い相関関係⁹⁾を示した。さらに, 野田³⁾は高級品と中級品または下級品で比較した結果, 高級品で全窒素でもたんぱく質窒素でも高い値を示した事を報告している。これらの結果から, ヒトが評価した品質とたんぱく質含有量には強い相関関係が認められることが明らかになった。現在乾のりの品質は専門検査員による見た目, 味, 香りなどの主観的評価によって等級分けされている。今回の結果から, より客観的な乾のり格付けの評価指標の一つとしてたんぱく質含有量が利用できることが示唆された。

次に熱水抽出物上清の抗酸化能をH-ORAC法を用い

Fig. 1 Correlation between functional components and *nori* grade.

Fig. 2 Correlation between functional components and total nitrogen content.

て測定した。乾のりに含有する抗酸化成分としては、カロテノイド、ビタミンE、ビタミンC、ポリフェノール、ポルフィランなどがあげられる。中でも、カロテノイドやビタミンEは品質が上がるにつれて含有量が多くなることが田中らにより報告されている。¹⁰⁾ 本研究でも品質とH-ORAC値との間には -0.769 の強い相関⁹⁾が認められた。一方Isakaら¹¹⁾は、色落ちのりおよび市販のりにおけるポルフィランの抗酸化能を比較し、僅差ではあるものの、色落ちのりでスーパーオキシドアニオン補足活性が高いこと、さらに、ポルフィラン量も色落ちのりの方に約2倍多く含まれていたことを報告している。また、石原ら²⁾は宮城県産の乾のり31種類を用いて価格とクロロフィルa量またはビタミンC量の比較を行ったが、相関は認められなかったことを報告している。これらのことから、本研究で測定した試料は乾のり微粉末をオートクレーブ処理により熱水抽出しており、細胞内に存在する成分は溶出させているものの、熱に弱い成分が分解されている可能性が考えられた。したがって、本研究で測定した抗酸化作用は、カロテノイドやビタミンEをはじめとした、比較的熱に安定な成分による影響が大きいと推察された。

のりに含まれる水溶性食物繊維であるポルフィランには様々な機能性が報告されているが、等級とポルフィラン含量との関連は明らかにされていない。そこで等級と水溶性食物繊維粗抽出画分割量の比較を行った結果、等級が下がるにつれてその含有量は多くなり、 0.738 の強い正の相関⁹⁾が認められた。先述したとおり、Isakaらは色落ちのりの方が市販のりよりポルフィラン回収率が高いことを報告している。¹¹⁾ 一方、野田³⁾や吉江ら⁴⁾の研究では比較点数が少ないため、その品質による傾向は一致していない。本研究では産地を統一して多検体で検討したため明確な傾向が示されたと考えられた。

インスリンは脂肪細胞で脂肪分解を抑制することから、脂肪分解抑制作用はインスリン様作用のスクリーニング試験に用いられている。すなわち脂肪分解抑制作用が強いほどインスリン様作用は強いといえる。筆者らは脂肪分解抑制作用を示す成分として、乾のりに含まれる分子量1000未満の画分を分画し、ラットを用いた糖負荷試験を行ったところ、この画分が血糖降下作用を示すことを報告している。⁶⁾ そこで、脂肪分解抑制作用と等級との関係を検討した。その結果、等級が低いものほど、脂肪分解抑制作用が強く、その相関係数は -0.508 であった。このことから、水溶性食物繊維と同様に、廃棄乾のりがインスリン様作用成分抽出素材として活用されることが期待される。

先に示した通り、ヒトによる等級評価と全乾のりに含まれるたんぱく質含有量には強い相関があることが明らかとなった。そこで、たんぱく質含有量と抗酸化活性 (Fig. 2a, $P < 0.001$)、水溶性食物繊維粗抽出画分割量 (Fig. 2b, $P < 0.001$)、脂肪分解抑制作用 (Fig. 2c, $P < 0.01$) をそれぞれ比較した。その結果、いずれの項目においても等級比較よりも強い相関⁹⁾が認められた。すなわち、H-ORAC値は、等級との比較では相関係数 -0.769 であったのに対し、たんぱく質含量との比較では 0.869 、水溶性食物繊維粗抽出画分割量でも同様に 0.738 であったのに対し -0.878 、脂肪分解抑制作用でも、 -0.508 であったのに対し 0.681 であった。

のりには様々な有用成分が含まれているが、等級の高い乾のりにはたんぱく質や抗酸化成分が、等級が低い乾のりには水溶性食物繊維やインスリン様作用を示す成分が多く含まれることが明らかになった。糖尿病のコントロールには食後血糖値の上昇を穏やかにすることが重要であるが、たんぱく質や食物繊維にはその作用があり、体内では抗酸化成分やインスリン様作用成分が血糖降下作用を示すことが期待される。本研究結果から、乾のりは関与する成分は異なるものの、いずれの等級でも食後血糖値の上昇を抑制する効果が期待されることが明らかとなった。今後、市場に出るのりも廃棄されるのりも有効に食品として活用されることが期待される。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、試料を提供いただいた熊本県漁業協同組合連合会に深く感謝する。なお本研究は、JSPS 科研費 JP 17K00825 の助成を受けて実施した。

文 献

- 1) 玉野まり子, 北村廣志, 佐々木裕, 番場康夫, 横山栄司, 田中季幸, 野田宏行. 乾のりの品質評価 日本食品工業学会誌 1992; **39**(4): 357-362.
- 2) Ishihara Y, Saito H, Mori N, Takano J. Estimation of quantity of protein in dried laver, *Porphyra* spp. based on bound water. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1998; doi:10.2331/suisan.64.854 (in Japanese with English abstract).
- 3) Noda H. Biochemical studies on marine algae-II: Relation between quality and chemical composition of "Asakusanori". *Nippon Suisan Gakkaishi* 1971; doi:10.2331/suisan.37.30 (in Japanese with English abstract).
- 4) Yoshie Y, Suzuki K, Sirai T, Hirano T. Dietary fiber and minerals in dried nori of various culture locations and prices. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993; doi: 10.2331/suisan.59.1763 (in Japanese with English abstract).
- 5) Tomoyori H, Otaguro K, Kondo S, Shimada H, Hokamura A, Asakawa M. Effects of soluble dietary fiber of *Pyropia yezoensis* on lipid absorption in rats. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2017; doi: 10.2331/suisan.16.00074 (in Japanese with English abstract).
- 6) Tomoyori H, Asakawa M. Insulin-like effects in rats of a constituent of seaweed. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2009; doi: 10.2331/suisan.75.261 (in Japanese).
- 7) 文部科学省. 第1章一般成分及び関連成分, 「日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) 分析マニュアル・解説」, 株式会社建帛社, 東京. 2016; 25-32.
- 8) Watanabe J, Oki T, Takebayashi J, Yamasaki K, Tsushida T. Interlaboratory study of hydrophilic-oxygen radical absorbance capacity, a method for measuring antioxidant capacity. *Nippon Shokuhin Kagaku Kougaku Kaishi* 2010; doi:10.3136/nskkk.57.525 (in Japanese with English abstract).
- 9) 柳井久江. 4Steps エクセル統計, 有限会社オーエムエス出版, 埼玉県. 1998; 164-169.
- 10) Tanaka R, Ishimaru M, Hatate H, Sugiura Y, Matsushita T. Relationship between 4-hydroxy-2-hexenal contents and commercial grade by organoleptic judgement in Japanese dried laver *Porphyra* spp. *Food Chem.* 2016; **212**: 104-109.
- 11) Isaka S, Cho K, Nakazono S, Abu R, Ueno M, Kim D, Oda T. Antioxidant and anti-inflammatory activities of porphyran isolated from discolored nori (*Porphyra yezoensis*). *Int. J. Biol. Macromol.* 2015; **74**: 68-75.