養殖マコンブの復水特性とテクスチャーについて^{*1}

横 屋 敬 七

(1981 年 6 月 29 日受理)

Rehydration Characteristics and Texture of Cultured *Laminaria japonica* ARESCHOUGKeishichi YOKOYA^{*2}

Dried *Laminaria* were submerged in distilled water at 20°C for a given period of time, and the rehydration value, rehydration rate, rehydration rate constant and rehydration texture were determined. The rehydration value increased linearly for the first 5 min after submersion, then it approached an equilibrium. The average rehydrated value was 3.70 g for 1 g in dry weight. The rehydration rate was composed of three stages; each of these stages corresponded to a stage of increase in surface area by rehydration. The rehydration rate constant K was 6.19×10^{-2} (min^{-1}). The relationship between hardness of rehydration texture and each part of leaf body or thickness was linear and the correlation was good.

コンブ保存のための脱水法は、近年、養殖コンブの量産にともない、熱風乾燥法が多用されるようになり、保存に適正な含水率まで調節する操作が行われている。そのため、熱風乾燥されたコンブは、乾燥処理の際、かなり高温にさらされるので、表面硬化、収縮変形、あるいは化学成分（可溶性物質）の表皮層への移動現象¹⁾などにより、乾燥前の品質とは比較されないほど変化することもあるといわれている。したがって、このような乾燥コンブを浸漬水中で復水した場合、もとの生鮮コンブと同じ形態まで復元が可能か否か疑問な点が多く、この復水の問題は、コンブ加工業界からも指摘されている。これまで、乾燥コンブの復水特性に関する報告は、ほとんどみあたらず、乾燥野菜類²⁾、乾燥肉類³⁾の報告があるに過ぎない。そこで、本研究では、乾燥養殖マコンブ（2年生）を用いて、復水量、復水速度および復水速度定数を求め、復水後のテクスチャーを調べたので報告する。

実験材料および方法

供試材料 1978 年 7 月下旬、北海道南茅部町の養殖藻場において生育された 2 年生の養殖マコンブで、本実験には 10 本使用した。用いた 2 年生の養殖マコンブ葉体の平均は、重量 870 g、葉長 267 cm、葉幅 23.6 cm、中葉部 9.5 cm、厚さ 0.27 cm、含水率 81~83% であった。

熱風乾燥 乾燥は、金属製箱型熱風乾燥装置⁴⁾を用いた。乾燥条件は、熱風温度 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 、関係湿度 22~24%、

風速 1.4~2.0 m/sec で行った。

復水 乾燥された養殖マコンブの復水には、温度調節のできる恒温水槽を用いた。復水用の試料は、乾燥コンブ葉体の中葉部の縦の線に沿って、基部（10~20 cm）、中間部（110~120 cm）、先端部（210~220 cm）に分割したのち、それらを約 8×6 cm 大に整形して試料とした。その 3 部位の試料片は、直ちに金属製の金網でできている試料容器（10×15×0.5 cm）の中に平にはさみ込み、試料容器ごと蒸留水（20°C）に任意時間浸漬して引き上げ、ろ紙で表面付着水を軽く拭き取り、復水量を上皿自動天秤で秤量した。

組織切片の作製 復水された試料は、あらかじめ 3×7 mm 大に整形後、氷結ミクロトームを使用して、10 μm の切片とし、その切片をヘマトキシリン・エオジン染色法で染色した。

テクスチャーの測定 復水されたコンブの官能による検査の結果、コンブのそしゃくでは、試料の大きさ、浸漬時間による差もあり複雑なので、乾燥コンブを長さ方向に 10 cm 間隔に切断し、さらにそれらを約 2×2 cm 角の試料片とし、条件を同じにするため 60 min の一定時間浸漬したのち、ゼネラルフーズのテクスチュロメーター（全研製）を用いて、各部位のそしゃくカーブを調べた。そのそしゃくカーブより、硬さ、凝集性、弾力性、そしゃく性等のパラメータを求めた。テクスチュロメーターの測定条件は、次のとおりである。プランジャー径 18 mm のアルミ製円柱型、クリアラスン 1 mm、

^{*1} 昭和 54 年度日本水産学会春季大会（東京）で発表。

^{*2} 日本大学農獣医学部食品工学科（Laboratory of Food Engineering, College of Agriculture and Veterinary Medicine, Nihon University, Tokyo 154, Japan）。

電圧0.5ボルト, チャートスピード750 mm/min, バイトスピード6 Bite/min, 温度25~27°Cで行った。

復水速度定数の算出 実験はすべて蒸留水20°C中で行い, 経過時間による復水量を上皿自動天秤で秤量し, その復水量を時間に対してプロットし, その復水曲線より復水速度定数を求めた。一般に, 固体内の水蒸気拡散は, 次式で与えられている。

$$\log \frac{m_{\infty}-m}{m_{\infty}-m_0} = -\frac{D\pi^2 t}{2.3 d^2} = -Kt \quad (1)$$

ここで, D は固体中の水蒸気の拡散係数, d は拡散方向における固体の厚さ, m_0, m, m_{∞} は, 水蒸気の吸湿初期, t 時間後, 飽和時間における吸湿量(%)を示す。そこで, いま吸湿量(%)の代わりに, 復水における含有水分値を(%)で表わし, W_0, W, W_{∞} は, 復水初期, t 時間後, 平衡時における復水量(%)とし, 養殖マコブの復水速度定数を K とすると, 次の式と置くことができる。

$$\log \frac{W_{\infty}-W}{W_{\infty}-W_0} = -Kt \quad (2)$$

今回は, この(2)式を単に実験式として使用した。

実験結果および考察

復水量 乾燥養殖マコブの復水現象は, 生育環境, 採取時期, コブの種類などによる差もあって, さまざま複雑な要因を含んでいる。本実験では, 乾燥コブを一定の形に整形し, 20°Cの蒸留水中で復水したのち,

Fig. 1. Rehydration curves of different parts of dried *Laminaria japonica* ARESCHOUG. Dried slices of *Laminaria japonica* ARESCHOUG were rehydrated by submerging them in distilled water maintained at 20°C. Rehydration values: weight of moisture per unit weight of dry matter, T: top part, M: middle part, B: base part.

復水量を経過時間に対して表わした。その結果は Fig. 1 である。復水量は, 浸漬開始と同時に, 経過時間ともない漸次増加する。およそ5分頃までは, 直線的に増加するが, 5分以後からは, 増加の割合が曲線的に増加し, 次第に緩慢となり, およそ80分前後で, 3部位とも復水量(復水後の重量-復水前の重量/生コブの含水量×100)約85%まで復水された。しかし, それ以後も緩慢な状態が続く, ある値で平衡復水量に達する。その平衡時における復水量は, 無水重量(乾量基準)1gあたり基部で3.57g, 中間部で3.67g, 先端部で3.87gの吸水が認められ, その3部位の平均復水量は3.70gであった。したがって, 乾燥コブを復水してみると, 先端部のように薄い部位では, 厚みのある基部より復元が早く, 復水も良好であった。復水された養殖マコブの外観は, 肉眼では観察できぬほど生鮮養殖マコブと変わらない状態にまで復元された。

復水速度と復水表面積 復水速度は, 復水曲線の横軸に平行に任意に分割し, さらに各分割ごとに曲線との交点から垂線を降すと三角形ができる。このできた各小三角形の勾配(b/a の値)を計算し, 求めた勾配を増加表面積(任意時間ごとにおける正射影表面積)で除し, 1時間あたりに換算すると, 次元($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{hr}$)となり, 各区画における平均復水速度が得られる。この復水速度を含水率(乾量基準)に対して表わしたのが Fig. 2 である。この復水速度は, 浸漬開始から1分までに最高の復水速度を示した。その値は基部で $1.08 \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{hr}$, 中間部で $1.16 \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{hr}$, 先端部で $1.26 \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{hr}$ である。その後, この復水速度は, 3部位とも含水率が増加

Fig. 2. Relationship between rehydration rate and increased area by the rehydration of dried *Laminaria japonica* ARESCHOUG. A: increased area by rehydration, T, M and B: rehydration rate.

するにともない、次第に減少し、終末を示す。しかしながら、この復水速度は、3つの復水速度期間を示し、一つは、復水量の増加に比例して勾配が急激に減少する復水速度の段階、ついで、勾配がやや緩慢となる復水速度の段階、さらに、一層緩慢となる復水速度の段階が認められた。一方、復水による表面積増加は、初期表面積 49.20 cm^2 であったが、含水率の増加で漸次増加し、平衡時には 75.50 cm^2 となり、終末を示す。しかも、この表面積増加は、勾配の異なる3つの段階の表面積増加期間が認められ、この3段階の各期間は、復水速度で認められている3段階の各期間に対応して現われ、概略一致することが示唆された。このことから、養殖マコブの復水では、3段階の復水期間を経て復元されるものと推察される。

復水速度定数 乾燥養殖マコブの復水曲線は、復水能力または復水容量を知るのに重要である。この復水曲線から復水速度定数 K を(2)式により算出した。Fig. 3は、乾燥養殖マコブの $\log(W_\infty - W)/(W_\infty - W_0)$ と時間 t との関係を示した。両者の間には、直線関係がみられた。したがって、この直線の1時間近辺までにおける勾配より最小二乗法を用いて速度定数 K の値を求めた。その K 値は、 20°C の復水では、基部 5.36×10^{-2} 、中間部 6.18×10^{-2} 、先端部 7.03×10^{-2} で、その平均速度定数は、 $6.19 \times 10^{-2} (\text{min}^{-1})$ であった。

テクスチャー これまで乾燥養殖マコブの硬さを調べた報告は、ほとんどみられず、著者は、テクスチュロ

Fig. 3. K -values of water absorbing rate at 20°C , about dried *Laminaria japonica* ARESCHOUG. T: $K = 7.03 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$, M: $K = 6.18 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$, B: $K = 5.36 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$.

Fig. 4. Typical texturometer curves of dried *Laminaria japonica* ARESCHOUG. Rehydration was carried out by submerging in distilled water maintained at 20°C (for 60 min). Clearance: 1 mm, Texture speed: 6 bite/min, Voltage: 0.5 V, Chart speed: 750 mm/min, Plunger: 18 mm, H: hardness, A: chewiness area of base part, B: chewiness area of middle part, C: chewiness area of top part.

メーターを採用して、 20°C の蒸留水中に 60 分間浸漬したのち、そしゃく性を調べた。その結果は Fig. 4 である。このそしゃくカーブは、葉体の長さ方向に分割された各部位のうち、基部（茎から 20 cm）、中間部（茎から 120 cm）、先端部（茎から 220 cm）の 3 部位をそしゃくした第 1 回目の波形と、連続して同じ位置をそしゃくした第 2 回目の波形であり、再現性が良好であった。硬さは、基部 8.18、中間部 6.40、先端部 4.80 をもち、基部から先端部に向うにつれて低くなる傾向が見られる。他のテクスチャーの物性値の平均は、凝集性 0.98、弾力性 1.00、そしゃく性 8.12 であった。したがって、復水された乾燥養殖マコブでは、連続して押しつぶしてみてもほとんど組織の破断が認められなかった。このことから、コブの組織は、強い内部結合力を持った細胞によって構成されていることが推定される。

葉体の部位と厚さに対する硬さの関係 復水された乾燥養殖マコブの分割部位別の硬さは、各部位と厚さとの関連性においても表示できる。そこで、硬さの測定値を部位および厚さについてプロットした。その関係は Fig. 5, 6 である。葉長では、硬さが基部（茎から 10 cm）から先端部、厚さでは、中葉部の中心点から周辺部において広がりを持っているが、この範囲では、ほぼ直線的に減少（やわらかくなる）している。この硬さは、葉長と厚さとの間で直線関係にあり、したがって、生鮮養殖マコブの平均葉長 267 cm（測定範囲: 5~260 cm）、厚さ 0.27 cm（測定範囲: 0.11~0.26 cm）であるので、こ

Fig. 5. Relationship between hardness and length of dried *Laminaria japonica* ARESCHOUG. Dried slices of *Laminaria japonica* ARESCHOUG were rehydrated by submerging them in distilled water maintained at 20°C (for 60 min). Regression line: $y = -0.023x + 8.423$, Correlation coefficient: $r = 0.94$.

Fig. 6. Relationship between hardness and thickness of dried *Laminaria japonica* ARESCHOUG. Dried slices of *Laminaria japonica* ARESCHOUG were rehydrated by submerging them in distilled water maintained at 20°C (for 60 min). Regression line: $y = 3.17x + 0.75$, Correlation coefficient: $r = 0.92$.

の範囲について回帰式を求めた。葉長で $y = -0.023x + 8.423$ ，厚さで $y = 3.71x + 0.75$ として示され，相関係数 $r = 0.92 \sim 0.94$ であり，正の相関性が得られた。

組織切片 一般に，物質中の可溶性物質および揮発性物質は，乾燥により表面への移動が起ると，VAN ARSDEL³⁾によりいわれている。このことは著者の実験においても認められたことである。⁹⁾ そこで，逆に，乾燥により表面へ移動した可溶性物質が，復水によって，内部に移動するかを知る目的で組織切片を作製した。その染色切片は Fig. 7 である。図より，縦断面の表層細胞は，円形

(約 $10 \sim 13 \mu$) であり，皮層では，円形および多角形 (約 $25 \sim 36 \mu$) の細胞が連結し合い，髓層に向かうほど肥大し，かつ楕円形状を呈している。一方，横断面は，縦断面にみられたと同じ2層が観察されたが，その細胞の形がやや異なり，主として長方形 (約 $20 \sim 60 \mu$) 細胞で構成され，ここでも髓層に向かうほど細胞は肥大していた。そして，この細胞腔内には，縦断面，横断面ともに赤紫色に染色された物質，青紫色に染色された顆粒物質が認められ，この物質は，特に表層細胞に多く認められた。したがって，乾燥により表面へ移動した物質は，

Fig. 7. Microphotograph of the cell on rehydrated *Laminaria japonica* ARESCHOUG. A: vertical section $\times 200$, B: cross section $\times 200$, M: mucilage matter, G: granule matter.

復水させても移動しないということが考えられる。なお、本染色法では、脂質の検鏡ができなかった。

要 約

北海道南茅部町の養殖藻場で生育された2年生の養殖マコブを供試材料として、熱風乾燥法により乾燥を行い、20°Cの蒸留水中に60 minの一定時間浸漬して、復水特性およびテクスチャーについて調べた。その結果、復水量は、浸漬開始と同時に、5分まではほぼ直線的に増加し、その平衡時における復水量は、1 g (乾量)あたり平均 3.70 gであった。復水速度には、3段階の復水速度期間があり、その期間は、復水表面積の3段階の増加期間に対応し、復水速度定数 K は、平均 6.19×10^{-2} (min^{-1})を示した。

復水組織の再現性は良好で、その硬さは、葉長と厚さ

との間に直線の関係があり、その回帰は、葉長で $y = -0.023x + 8.423$ 、厚さで $y = 3.71x + 0.75$ として示され、相関係数 $r = 0.92 \sim 0.94$ であり、正の相関性が得られた。また、乾燥により表面へ移動した物質は、復水では移動しないことがわかった。

文 献

- 1) A. C. JASON: *J. Sci. Food Agr.*, **16**, 281-287 (1965).
- 2) 柴崎一雄・浅野三夫: 日食工誌, **12**, 138-143 (1965).
- 3) 上岡康達・岡 弘康・末光栄充: 日食工誌, **13**, 18-22 (1956).
- 4) 横屋敬七: 農化, **50**, 151-156 (1976).
- 5) W. B. VAN ARSDEL: *Food Dehydration*, II, AVI Publishing, 1964, pp. 57-65.
- 6) 横屋敬七: 農化, **51**, 281-286 (1977).