[農化 第 50 卷, 第 4 号, p.151~156, 1976]

リ シ リ コ ン ブ の 乾 燥 に 関 す る 研 究

横 屋 敬 七

(日本大学農獣医学部食品工学科)

昭 和 50 年 6 月 18 日 受 理

Studies on the Drying of Laminaria Ochotensis Miyabe

By Keishichi YOKOYA

Laboratory of Food Engineering, College of Agriculture and
Veterinary Medicine Nihon University

Square slices of laminaria ochotensis miyabe was dried in hot-gas current at temperature 50°C by the dryer, and then their tissue, the drying mechanism, the evaporation area and the drying rate were investigated.

As the results of moisture change, it may be said that if the drying condition and the initial moisture content are kept constant and the samples to be dried are uniform in thickness, drying time for reducing their moisture content to 20~25 per cent is approximately equal.

The drying characteristic curve is plotted (drying rate vs. moisture content), drying proceeded in four rate periods, namely, a constant rate period, a first falling rate period, a second falling rate period A, and a second falling rate period B.

The shrinkage in evaporating area of sample during such period are shown below the abovementioned rate curves. Here, too, is shown that the shrinkage proceeded in four stages, roughly corresponding to the said four rate periods.

In the drying of laminaria ochotensis miyabe, it was observed that the shrinkage in evaporating area was great in the falling rate period and the lipid removed to surface according to removal of moisture by the drying.

(Received June 18, 1975)

緒 言

昆布は、わが国の主要な海産物の1つであり、食用、アルギン酸および薬用などの加工原料として、重要な役割をはたしている。従来、昆布の貯蔵、加工には、塩蔵、冷凍あるいは天然乾燥などが行なわれている⁽¹⁾。しかるに昆布の保蔵では、乾燥を行ない腐敗の要因の1つである水分を除去することで、製品の保存性をたかめている。これまでに、昆布の人工乾燥についての研究報告は、北水試でもいくつか行なわれている⁽²⁾。しかしながら、昆布の加工に関する研究は、乾燥、品質管理⁽³⁾、化学変化が主体で、加工中における各種の成分がどのよう

な分配になっているか、あるいは乾燥工程中に生ずる香氣成分の揮散⁽⁴⁾、蛋白の熱変性などの裏付けが少ないように思われる。したがって、種々の乾燥条件のもとで、これら未検討分野を定量的に検討し、乾燥機構と化学成分の関連性を相互的に解明していくことが必要と考えられる。そこで、本研究は、従来、利尻島、礼文島、稚内地方を中心として、天然乾燥を行ない、いわゆるだしこんぶとして生産されている昆布の中の1つであるリシコンブを試料として、乾燥条件の調節できる熱風乾燥試験装置(筆者設計、ピースサイエンスが施工した)を使用して、乾燥機構、乾燥速度および乾燥収縮を工学的見地より調べた。さらに、乾燥によるリシコンブの組織

変化, また, 組織中の水分の蒸発に伴う化学成分の表面への移動について, 組織化学的方法を用いて, 生リシリコンプ, 乾燥リシリコンプの比較検討を行なったのでその結果の一例を報告する。

実 験 方 法

1. 実験装置 実験に使用した乾燥機の概要は, Fig. 1 に示した。この熱風乾燥装置は, 金属製の箱型で, 断面 $80\text{cm} \times 40\text{cm}$ で高さ 40cm を有し, 周囲は, 厚さ 5cm にスラグウールで保温されている。この中の熱風は, 1.2kW の電熱器を入れた空気加熱器に送り 50°C に上げ, 一定温度に調節される。所定温度に調節された空気は, ファン F によって, 乾燥機中に静置された材料を通して排気される。材料容器は, $18 \times 20 \times 0.5\text{cm}$ のステンレスの金鋼からできている箱型で, 棚段に 3 個並べて, 1 つは試料重量の測定に, のこりの 2 つ

Fig. 1. Experimental Dryer.

A: sample support-plate, B: balance, L: lamp, S: thermistor temperature regulator, F: fan for dried air, H: electric heater, J: humidity regulator, T: thermocouple, G: window, D, d: dry bulb thermometer, W, w: wet bulb thermometer, An: stands for vane anemometer, C: damper.

Fig. 2. Structure of Medullary Layer Portion in *Laminaria Ochotensis* Miyabe.

a: measurement of center temperature,
b: measurement of surface temperature.

Fig. 3. Support-Plate of Sample.

Stands for frame with scale for measuring the change in the surface area of sample.

A: scale, B: special steel wire nit, C: steel plate, D: sample setting position.

は, 実験中固定されて材料温度の測定に用いた。材料温度は, 銅, コンスタナ (0.3mm) の熱電対を用い, リシリコンプの中心部 (髄層部) に先端を差込んで, 品温を測定した (Fig. 2 参照)。同時に, 出口および入口空気温度も実測した。また風速は, 回転風速計により測定し, 2m/sec 以下の測定には, 熱線風速計を併用した。さらに, 湿度変化の測定には, 簡単な指示器として乾湿球温度計を用いた⁽⁵⁾。まず風速 2m/sec , 温度 50°C の熱風で乾燥装置を予熱し, 運転開始後約 50 分を経れば, 風速は $\pm 0.05\text{m/sec}$, 関係湿度は $\pm 0.5\%$, 温度 $\pm 2^\circ\text{C}$ の範囲で一定の乾燥条件が得られた。

次に試料を一定の長さ切断して, Fig. 3 のような試料容器に載せ乾燥する方式をとった。しかるのち, 振動を受けないようにするために, 乾燥機から浮かして固定されている上皿直示天秤に, この試料容器を静置した。かくすれば, 試料は風の方角と平行になり, 割合安定で動揺が少ない。したがって, 熱風を停止することなく, 乾燥中の試料の重量減少を敏速に, かつ経時的に測定することが可能である。また水分の蒸発に伴い, 重量が減少すると, 蒸発面積も時間とともに変化し収縮する。そこで秤量のつど, 試料容器に目盛りされた尺度を読み取り, 試料の収縮をも実測した。一方, 乾燥終了点は, この乾燥条件で平衡重量になるまで測定し, さらに, これを $105 \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温乾燥機に入れて乾燥し, 恒量となった重量をもって無水重量とした。

2. 原料 昆布の採取は, $7 \sim 9$ 月の初めにかけて行なわれ, 海岸で短期間でほとんど乾燥が行なわれてい

る。本実験では、北海道利尻島産の2年ものを材料として使用した。リシリコンブ2年ものの平均重量は1130g、葉長245cm、葉幅11.3cm、厚さ0.24cm、含水率79.7~86.2%であった。

3. 切片 光学顕微鏡用の組織切片は、まず試料の固定が必要である。固定液には、10%ホルマリン溶液を用いた。この固定液に生リシリコンブを入れて固定した。乾燥リシリコンブについては、収縮変形しているために、すぐに固定液に入れて固定することは困難であったので、あらかじめ20°Cの蒸留水に浸漬して、復水させた後、固定した。

次に固定された試料は、水洗後、氷結マイクロームを用いて、厚さ(15~20 μ)の切片とし、ヘマトキシリン-エオジン染色、ズダンⅢ染色を行なって鏡検した。

実験結果および考察

1. 乾燥機構について

乾燥減量曲線は、試料の減少量を一定時間ごとに測定した水分減少を含水率減少に換算して、乾燥時間に対して点綴したのがFig. 4である。図からわかるごとく、厚さ0.20cm、0.24cmのものでは乾燥時間の経過とともに急速に水分の蒸発が起り、直線的に減少し、およそ50分前後で、含水率20~25%まで乾燥されている。この乾燥の経過を観察すると、外部条件、初期含水率および厚さが一定であれば、含水率20~25%までの乾燥時間が、およそ一定であることを示している。なお実験結

Fig. 4. Drying-Time Curve and Temperature Curve of *Laminaria Ochotensis* Miyabe.

Thickness: 2.4 mm and 2.0 mm, air velocity: 2m/sec, air temperature: $50 \pm 2^\circ\text{C}$, A: material temperature, B: moisture change.

果の再現性を示すために、乾燥速度および蒸発面積の変化状態をも記入した。乾燥速度については、経時的に変化する重量減少を上皿直示天秤を用いて読み取り、一方蒸発面積の収縮の測定には、ガラス窓を通して、尺度目盛を実測した。このときの蒸発面積は、表面がもっとも蒸発が多いと考えられるので、全表面積を用いて直接算出した。

2. 乾燥速度について

Fig. 4の乾燥減量曲線から、乾燥速度と自由含水率の関係を図示したのがFig. 5のごとくである。厚さ0.20cm、0.24cmのものでは、乾燥特性曲線に恒率乾燥期間と減率乾燥期間の2つの期間に分れた。前者では、乾燥速度および材料温度は一定の値を示す。減率乾燥期間に入り、乾燥速度は減少し、材料温度は上昇して、いずれもある値で平衡となる。一般に乾燥特性曲線には、恒率乾燥段階、減率乾燥第1段および減率乾燥第2段の3段階を経ていると考えられている。しかるに、乾燥リシリコンブの場合、乾燥特性曲線には、4段階の乾燥期間が認められた。すなわち、Aは恒率乾燥段階、Bは減率第1段、Cは減率第2段、A、Dは減率第2段Bといえる。そこでこのような現象は、水分が十分に含まれている薄い繊維質材料を乾燥した際に現われるものと推察し、この種の実験を数回行なったが、多くの場合にFig. 5と同様に減率乾燥速度を示す3段階の減率乾燥部分を得

Fig. 5. Drying Character Curves of *Laminaria Ochotensis* Miyabe.

A: a constant rate period, B: a first falling rate period, C: a second falling rate period A, D: a second falling rate period B.

た。すなわち、水分を十分に含む薄い繊維質材料の乾燥においては、基本的には4段階の乾燥速度期間があるものと考えられる。すでにこのような乾燥期間について、亀井および桐柴は⁽⁶⁾、薄い木材、皮革およびパルプなどの乾燥にもこのような乾燥期間があることを認め、さらに、これに対応する乾燥収縮の各段階をも検討して、その乾燥機構をも考察している。そこで、亀井らの説をここで適用すれば、リシリコンプの乾燥においても、恒率乾燥期間、減率乾燥期間の4段階の乾燥期間があるものと考えられる。なお恒率乾燥速度に差異があったが、この差は、リシリコンプの大きさによるものと推定した。

3. 乾燥速度と収縮曲線

Fig. 6は、乾燥速度、蒸発面積および含水率の関係を点綴した曲線である。この収縮曲線にも、勾配の異なる4段階が認められた。またその4段階は、乾燥速度曲線と対応して現われている。このような現象についても、亀井ら⁽⁷⁾によって指摘されたことである。しかもリシリコンプは、初期含水率が大きいにもかかわらず、恒率乾燥期間がきわめて短く、減率乾燥期間には上凹線が見られ、これはその期間において、乾燥表面が粘稠様の物質により、薄膜の形成を生じるためか、あるいは水分の蒸発拡散が急に困難になるために起るものと推察された。しかるに、このような現象は、試料の内部温度が上昇すると、水分拡散速度が正常に近づくとともににもとに戻るのではないかと推定される。また乾燥収縮は、恒率乾燥

期間ではあまり大きな収縮はなかった。しかし、減率第1段および減率第2段において、収縮速度が最も大きく、その後、緩慢となって収縮平衡となる。これは、リシリコンプの組織構造が柔軟で、水分の蒸発とともに収縮しやすいことを意味している。このような乾燥収縮の度合は、乾燥条件の相違によってかなり影響をうけることも考えられる。なお、いずれの場合も最後の減率乾燥期間に相当する部分は、勾配の大きい直線か、または上凸線をなして、その勾配は、薄いものほど大きい傾向を示した。このような現象も、薄い繊維質材料の乾燥に際して見受けられるものであって、水分の内部拡散が容易な場合か、あるいは困難な場合に現われるものと思われる。このようなことに関しても、亀井ら⁽⁸⁾の報告がある。

4. 試料の外観および細胞組織

生リシリコンプ、乾燥リシリコンプの外観をFig. 7に示す。乾燥リシリコンプは、非常に変形収縮したばかりでなく、色沢も乾燥により暗黒褐色から往々赤褐色状を帯び、表面も堅く、凹凸状に変形した。この変形した乾燥リシリコンプ、生リシリコンプについて、凍結切片を作り、細胞組織を光学顕微鏡下で比較観察を行なった。対照の生リシリコンプの葉体の縦断面、横断面はFig. 8のごとくである。縦断面においては、コンプの表

Fig. 6. Drying Rate Curve and Evaporating Area Curve of *Laminaria Ochotensis* Miyabe.

Thickness: 2.4 mm, air velocity: 2 m/sec, air temperature: $50 \pm 2^\circ\text{C}$, E: evaporating area curve, D: drying rate curve.

Fig. 7. *Laminaria Ochotensis* Miyabe of Fresh and Hot-Gases Dried.

A: fresh *laminaria ochotensis miyabe*, B: dried *laminaria ochotensis miyabe*.

層部を形成している細胞は小さく (約 25μ)、緊密に結合し、最も緻密に規則正しく配列し、葉体の最外層を構成していた。また表層部と髄層部の間を広く占めている皮層部は、表層部から髄層部に近くなる細胞ほど、細かい細胞 (約 $25\sim 30\mu$) から大きい細胞 (約 37μ) へとつらなり、楕円形または長方形の細胞組織より成り、髄層部に近い細胞は、長方形の細胞組織の集まりで、全体が網の目様の構造を呈していた。しかし、皮層部では、粘液を分泌する粘液腔道があり、この粘液腔道から分泌されたと思われる粘稠様物質が、細胞組織の間隙に認められた。髄層部は、糸状または管状の細胞が縦横に連なっているのが観察された。一方横断面は、多数の球形 (約 $20\sim 25\mu$) または楕円形 (約 $32.5\sim 37\mu$) の細胞で構成され、その細胞は、相互に連鎖し合い、網の目状になっているのが認められた。

次に、乾燥リシリコンプの組織を Fig. 8, 9 に示す。乾燥リシリコンプは、あらかじめ 20°C の蒸留水に浸漬して復水した。復水は比較的早く、浸漬後、およそ 50 分前後でほとんど乾燥前の含水量まで復元された。復水の結果に関しては、後の機会に報告する。

縦断面では、細い細胞 (約 $10\sim 15\mu$) が表層部に見られ、緻密に連鎖しあい葉体の外層を形成しているのが認められた。しかも皮層部では、円形、楕円形および長方形 (約 $15\sim 25\mu$) の細胞がみられ、髄層部に近いほど長方形の細胞が観察され、全体が網の目状を呈しているのが鏡検された。一方横断面は、多数の球形 (約 15μ) または楕円形 (約 35μ) の細胞からなり、その細胞の間隙は、粘稠性の物質が点在しているのが認められた。しかるに、縦断面、横断面とも明らかに全体の細胞が収縮していた。

5. 乾燥による脂質について

リシリコンプの細胞中の脂質に関しては、ズダンⅢ染色液を用いて染色し、脂質の乾燥による影響を組織化学的観点から究明した。この脂質染色切片の縦断面を Fig. 10 に示した。脂質切片では、細い顆粒状の脂質が表層部、皮層部および髄層部にかけて広く全体に分散しているのが見られた。しかしながら、乾燥リシリコンプでは、表層部に近いほど脂質が多く、特に粘液腔道の内壁およびその周辺部に最も多くの脂質 (大きいもので約 $30\sim 50\mu$ 、小さいもので $1\sim 5\mu$) が集り、生リシリコンプの場合よりも、かなり多数の球形様の脂質が団塊状に集合して濃赤状を呈して染色されているのが認められた。

Fig. 8. Microphotograph of the Cell on Fresh *Laminaria Ochotensis* Miyabe.

A : transverse section $\times 400$, B : vertical section $\times 400$.

Fig. 9. Microphotograph of the Cell on *Laminaria Ochotensis* Miyabe by Hot-Gases Dried.

A : transverse section $\times 400$, B : vertical section $\times 400$.

Fig. 10. Microphotograph of Lipid in the Cell on the Dried *Laminaria Ochotensis* Miyabe.

A : lipid of vertical section $\times 400$, B : lipid of vertical section $\times 1600$.

このような現象に関して、Jason ら⁽⁹⁾は、魚の筋肉の乾燥において、特に脂質が表面に遊離してくるが、これは減率乾燥期間において、筋肉中の水分が水蒸気となって蒸発する際に、油の層を拡散してくるために起る原因ではないかと述べている。もしこの説がリシリコンブの乾燥の際に適用されるならば、リシリコンブの乾燥の際にも水分の蒸発のためにある程度の脂質が表層の方向に移行を起すものと推察した。この点に関しては、今後、水

分の拡散係数を検討し、脂質との関連性を解明したいと考えている。

要 約

リシリコンブの切片を試料として、熱風温度 50°C で加熱を行ない、乾燥速度、蒸発面積、組織および乾燥機構を検討した。その結果、試料の厚さが一定で、乾燥条件および初期含水率が一定であれば、含水率 (20~25%) までの乾燥に要する乾燥時間は、ほとんど一定であることを認めた。さらに乾燥速度と蒸発面積収縮には、おのおの基本的な4段階があって、これらがおおむね互に対応して現われることが確認された。なお乾燥により、組織は表面蒸発期間中にはあまり収縮を起さず、特に、減率乾燥期間に入ると収縮が大きいことが認められた。また組織中の脂質は水分の蒸発により、表層部の方向に移動することが観察された。

- (1) 岩垂 亨, 久保 正, 三村英一, 渡辺徹哉: 北水試月報, **18**, 20 (1961).
- (2) 相沢 悟, 岩井 肇, 福野悠久: 同上, **21**, 31 (1963).
- (3) 大石圭一, 田村祐子, 親松 厚, 金井英治, 奥村彩子, 村田喜一: 日水誌, **27**, 6 (1961).
- (4) G. D. Saravacos and F. C. Meyer: *Food Technol.*, **22**, 89 (1968).
- (5) W. B. Van Arsdel: "Food Dehydration," II, A. V. I. Publishing Company, Inc., 1964, p. 57.
- (6) 亀井三郎, 桐栄良三: 化学機械, **14**, 205 (1950).
- (7) 亀井三郎, 桐栄良三: 同上, **16**, 372 (1952).
- (8) S. Kamei and S. Suzuki: *Chem. Eng. Japan*, **4**, 58 (1940).
- (9) A. C. Jason: *J. Sci. Food Agr.*, **16**, 281 (1965).