

## 割干し大根の乾燥及び貯蔵特性に関する研究

田原迫昭爾・魏 長樂・李 振邦・守田和夫・田中俊一郎

(農業機械学第二研究室)

昭和63年8月10日 受理

### Studies on the Characteristics of Drying and Storage of Dehydrated Radish.

Shôji TAHARAZAKO, WEI Chang Le, Li Shing-Bang

Kazuo MORITA and Shunichirô TANAKA

(Laboratory of Agricultural Machinery II)

#### 緒 言

南九州の畑作地帯では晩秋から初冬にかけて収穫される加工用大根の生産が盛んに行われ、昭和61年度の鹿児島、宮崎両県での収穫量は約32万トン、作付面積は約6,230ヘクタールに及んでいる。この時期の大根の生産量は全国の約16%を占め、重要な基幹作物の一つとなっている<sup>1)</sup>。さらに、この地方の農家では、古くから大根の加工製品として切干し大根の製造が盛んに行われ、保存食品として食卓をにぎわしてきた。また、最近では健康食品としてクローズアップされ、その需要は増加の一途をたどっているのが現状である。

切干し大根はその形状により千切干し、割干し、花丸切干し、蚕切干しなどに分類されいるが<sup>2)</sup>、鹿児島では主に割干し、宮崎では千切干しの生産が盛んである。現在の割干し大根の製造は手作業がほとんどで、葉を落し洗浄した大根を3~4日陰干し、専用カンナで3~5mmの厚さに縦長にスライスする。乾燥は天日が主体でヒモに吊し、この時期の冷たく乾いた風で自然乾燥される。鹿児島県農業試験場の調査によれば、原料100kgの大根から、割干し大根6.4kgが生産されるとの報告がある。しかし、天日を主体とする乾燥では、雨などの気候の変化にともない、カビの発生、変色など品質劣化を招き、商品価値が失われてしまう。特に主産地の一つである大隅半島では、桜島の噴火による降灰被害も加わり、生産農家ではこの対策に苦慮している。このため、生産者は安定的、能率的、かつ経済的な割干し大根の人工乾燥法の実用化を強く望んでいる。しかし、割干し大根の人工乾燥についての事例は現在のところ、鹿児島県農業試験場報告<sup>3)</sup>が唯一のものであるが、実用化には至っていない。

こうした状況の中で、本研究は改良した低温除湿乾燥装置を用いて、中規模の実用化実験を中心に、熱風乾燥の基礎特性の測定並びに割干し大根の物性及び品質保持のための貯蔵法の開発について検討した。

#### 実 験 方 法

##### 1. 供試材料

昭和63年1月8日に鹿児島県東串良町の生産者圃場より直接採取した大根(練馬青首)を供試した。採取した大根は鹿児島大学農学部を持ち帰り、実験の目的に応じて形、大きさ等を選別し、加工調整した後、直ちに実験を行った。

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| ① Electric motor  | ⑤ Tray         |
| ② Mechanical link | ⑥ Radish       |
| ③ Pressure weight | ⑦ Cutting edge |
| ④ Fly wheel       |                |

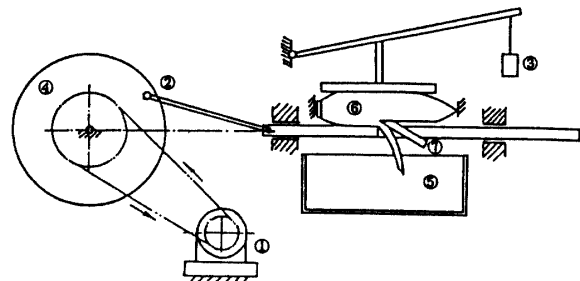


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

##### 2. 材料の加工調整

採取した大根は葉を切断洗浄後、3日間屋内で陰干したのち、Fig. 1に示す鹿児島県農業試験場大

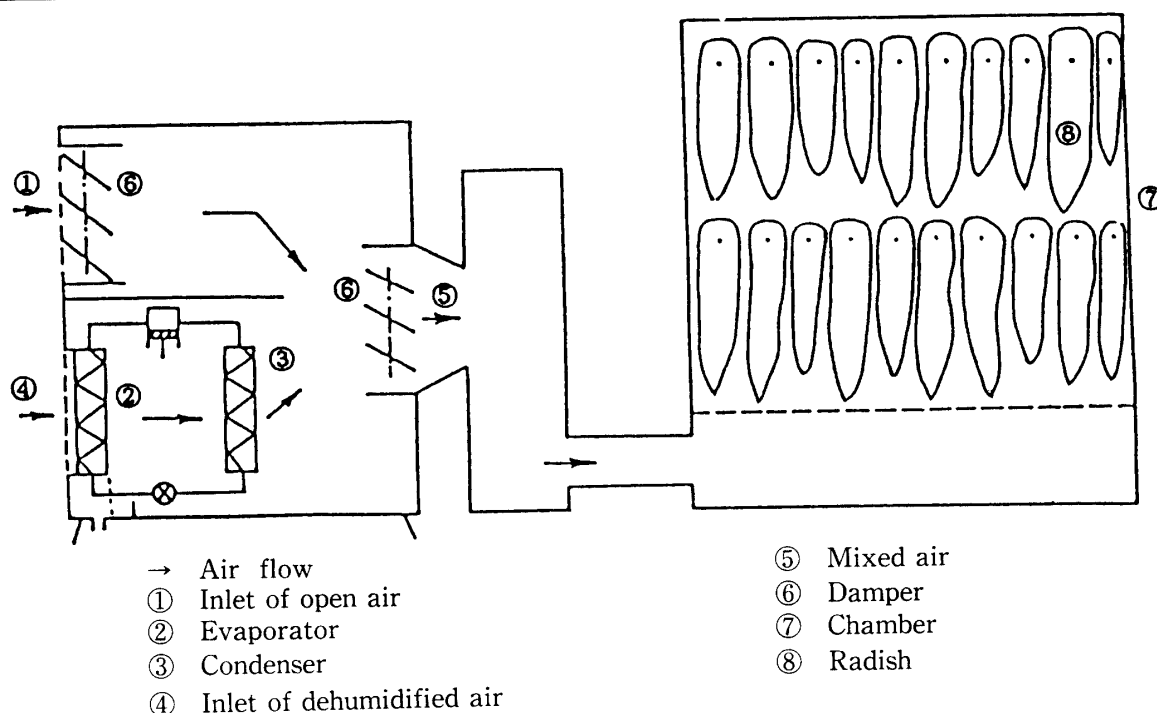


Fig. 2. Experimental apparatus for heat pump dehumidifier drier.

隅支場農機具研究室による試作機で加工調整した。この装置は大根加圧部とスライス部により構成され、加圧部は一定荷重で加圧すると同時に試料の左右の動きを防止するストッパを装備している。スライス部はモータでカッター刃を前後に往復させ、任意の厚さに試料をスライスすると同時に、試料の一端より一定のところまで切れ目を入れる機構になっている。

### 3. 低温除湿乾燥実験

今回用いた低温除湿乾燥装置は既報<sup>12)</sup>で用いたものを改良し、その概要を Fig. 2 に示す。すなわち、ヒートポンプ除湿機の一次空気入口④から流入した外気はエバポレータ②で冷却除湿され、コンデンサ③で加熱される。このとき、空気温度は外気に近く、湿度は低い空気に変換されている。この低湿空気と二次空気入口①からの外気は適当な割合で混合され、所定の湿度の空気⑤となり乾燥ビンへ送り込まれる。この操作は内蔵したコンピュータを通じて入口ダンパ⑥を開閉することにより行われる。

装置の主な改良点としては、(1) 従来の定湿操作<sup>11)</sup>に、最大除湿効率で運転できる除湿操作<sup>13)</sup>を加えたこと、(2) エバポレータフィンに着霜の恐れのあるとき、あるいは異常に高温になったとき、コンプレッサの作動を一時的に停止させる装置を組み込んだことである。

厚さ 5 mm に加工調整された割干し大根は、乾燥ビン内で 2 段に張られたヒモ (間隔 13 cm) に吊され、下方から通気される除湿空気により、乾燥が行われる。このとき、乾燥床面積は 3.42 m<sup>2</sup> で、吊された割干し大根の総生重量は 105.3 kg (80 本)、初期含水率は 94.0% (w. b.) であった。

今回の乾燥実験では外気と送風空気の温湿度、エバポレータとコンデンサ後の空気温度、送風量と乾燥ビン内の空塔風速及び消費電力について測定を行った。乾燥過程の含水率の変化はモニタ用の試料を定め、その初期重量からの重量変化で含水率を求めた。また、初期と最終含水率は定温器により 105°C-24 時間法で求めた。

なお、装置及び測定器機の仕様は次の通りである。  
装置

- (1) 定温除湿乾燥機：ヒートポンプ式 D. A. G. 1000 型 (豊国工業 K. K 製)
- (2) 送風機：S. KTR323AC (昭和風力 K. K 製)
- (3) 乾燥ビン：縦 1850 mm × 横 1850 mm × 高 850 mm で、床は有孔鉄板 (開孔比 0.35)

測定器機

- (1) 温度：C-C 熱電対及び水銀温度計
- (2) 湿度：可変インピーダンス式湿度計及びアスマン通風乾湿計

(3) 送風量：熱線式風速計 (S101型) 及びピトー管

(4) 消費電力：積算電力計

#### 4. 熱風乾燥実験

実験装置は扉付乾燥室、可変モータ付遠心送風機、ヒータ (最大 1.2 Kw) による加熱部及び風量測定を含むダクトより構成され、その概要は Fig. 3 に示す。実験は屋内で比較的安定した温湿度の外気状態で行われ、送風機に吸入された外気は加熱部で一定温度に加熱された後、乾燥室に送り込まれる。このとき、温度調節は変圧器でヒータを調節することにより行い、送風量は送風ダクト内のピトー管及び乾燥室から排出される風速を熱線式風速計により測定し求めた。また、送風量の調節は送風機の回転数を可変モータにより変えて行った。

割干し大根の乾燥は、低温除湿乾燥と同様、乾燥室に 2 段のヒモを張り、その各段に試料を一定間隔で吊し、下から熱風を通気させて行った。このとき、床面積は 0.09 m<sup>2</sup>、割干し大根のスライス片の平均生重量は 86.4 g、スライス大根の総数は 40 片であった。

今回の実験で用いた熱風温度は 30, 40, 50, 60℃ の 4 段階で、それぞれ屋内、送風及び乾燥室内の空気温湿度、送風量及び積算電力の測定を行った。また、初期、最終及び乾燥実験中の含水率の測定は低温除湿乾燥実験と同様に行った。

なお、実験装置の仕様は次の通りであり、測定器機は低温除湿乾燥の場合と同一である。

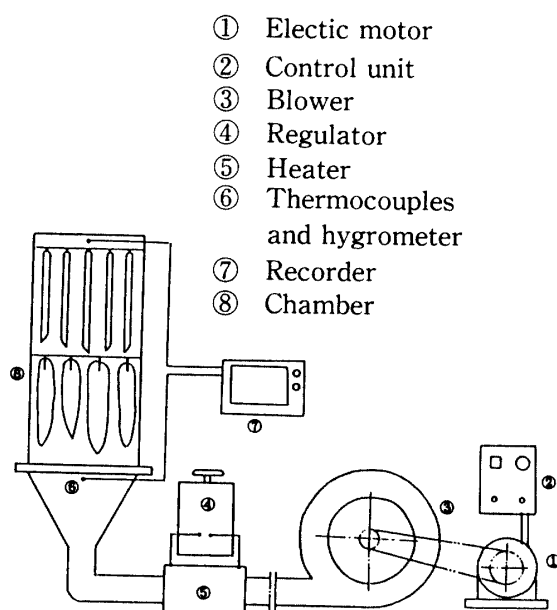


Fig. 3. Experimental apparatus for heat convection drier.

乾燥室：全高 1.9 m (乾燥室内 0.95 m) 床面積 0.3 m × 0.3 m, 試料取出用開閉扉付

加熱部：シーズヒータ (最大 1.2 Kw)

送風機：ターボブロワ DB 3 (三黄機械 KK)

モータ：VSCR-NR (安川電気 KK)

#### 5. 平衡含水率の測定

平衡含水率の測定は飽和塩溶液とデシケータを用い、乾燥した試料を気温 15℃ の環境下に 80 日間密閉保存した後、前述の含水率測定法により行った。使用した飽和塩は次の通りであり、( ) 内は温度 15℃ におけるそれぞれの平衡相対湿度を示している<sup>9)</sup>。

- |     |  |         |
|-----|--|---------|
| (A) | NaOH   | ( 7.0%) |
| (B) | CaBr · 6aq   | (20.3%) |
| (C) | K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 2H <sub>2</sub> O | (42.8%) |
| (D) | Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6aq            | (55.7%) |
| (E) | CuCl <sub>2</sub> · 2aq                            | (68.6%) |
| (F) | Co(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>                  | (80.5%) |
| (G) | KNO <sub>3</sub>                                   | (95.0%) |

#### 6. 収縮率の測定

収縮率の測定は次式を用いて算出した。乾燥による体積収縮率 Y は乾燥前の体積 V<sub>0</sub> と任意の乾燥状態における体積 V<sub>1</sub> を測定し、

$$Y = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100 (\%)$$

で表した。このとき、試料体積の測定は試料の体積を液体の体積に置換し、算定した。

#### 7. 色調の測定

乾燥及び貯蔵中の割干し大根の色調を標準色票 (JIS Z8721-1964) を用いて、明度、彩度及び色相について測定した。色調の変化は低温除湿乾燥、熱風乾燥及び天日乾燥について比較し、さらに、貯蔵条件を真空包装、ポリエチレン包装及び無包装に区分し、それぞれ常温と低温 (5℃) で湿度を変えた環境下で 7 カ月貯蔵した後、色調の測定を行い、カビの発生の有無も併せて調査した。

### 結果と考察

#### 1. 低温除湿乾燥実験

##### (1) 送風空気条件と作動状況

実験期間中の外気及び送風空気の温度、相対湿度の推移を Fig. 4 に示す。

全期間で外気は 3℃ から 20℃、相対湿度は 60% から 80% まで変動した。低温除湿乾燥装置の作動中、送風空気温度は外気より常に高く、エバポレータによる除湿水分量が多い場合は特に上昇した。また、

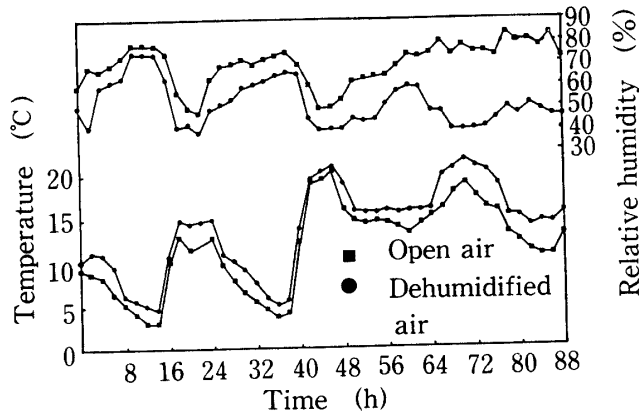


Fig. 4. Change of air temperature and relative humidity.

コンプレッサ停止期間も送風空気温度が1.0°C~1.5°C上昇しているのは、送風機からの発生熱による影響である。除湿操作中、送風空気湿度は外気より10~15%低下し、定湿操作中は最高時に38%まで低下している。外気が5°C以下になると低温除湿乾燥装置は作動を停止したが(8時間~16時間、32時間~38時間)、5°Cから8°C程度のところではオンオフを繰り返した。このようにヒートポンプ除湿機を用いて、低温除湿乾燥を行う場合、冬期には外気が10°C以下の低温になることがあり、除湿効率の低下あるいは着霜によるヒートポンプ除湿機の停止など、乾燥効率が極めて悪くなる。しかし、外気温度が15°C付近まで上昇すると、ヒートポンプ除湿機を通過する混合空気の相対湿度は平均30%(最大38%)低下するので、このような外気条件下では乾燥効果が期待できる。従って、外気温度が10°C以下の低温期に本装置を使って早急に乾燥する必要がある場合、昼間の太陽熱を蓄えたハウスのような保温状態で運転するか、ヒートポンプ除湿期を通過した空気をさらにヒータなどの補助熱源で升温し、相対湿度を下げた状態で運転する必要がある。

(2) 含水率の経時変化と乾燥速度

今回の実験では乾燥終了まで88時間(コンプレッサ停止12時間)を要し、その間の送風量及び空塔風

速は40~80 m<sup>3</sup>/min, 0.19~0.39 m/s<sup>1</sup>と変化している。外気温度及び湿度は2.9~20.7°C (平均11.8°C), 55~84% R. H. (平均69.5% R. H.)と変化しているのに対し、送風空気温度及び湿度は4.9~23.1°C (平均14.0°C), 34~75% R. H. (平均54.5% R. H.)と変化した。このような条件下で、初期重量及び含水率が105.3 kg, 94.0% (w. b.)の割干し大根を最終重量及び含水率が8.4 kg, 22.1% (w. b.)まで、毎時平均乾燥速度0.82% (w. b.)で乾燥を行った。

乾燥時期中の割干し大根の湿量基準含水率の経時変化をFig.5に示す。乾燥開始後40時間までは除湿操作、40時間以降は定湿操作を行っているが、この時期での湿量基準乾燥速度は明らかに異なっている。また、定湿操作期間をさらに詳しく見ると、前期(40~50時間)と後期(50~88時間)で乾燥速度に違いがある。

Table 1は各期間の平均送風条件下での乾燥速度(乾量及び湿量基準)を比較したものである。除湿操作期間は割干し大根の水分が高く、自由水面での蒸発と同様な状態であるので、送風量主体の乾燥を行

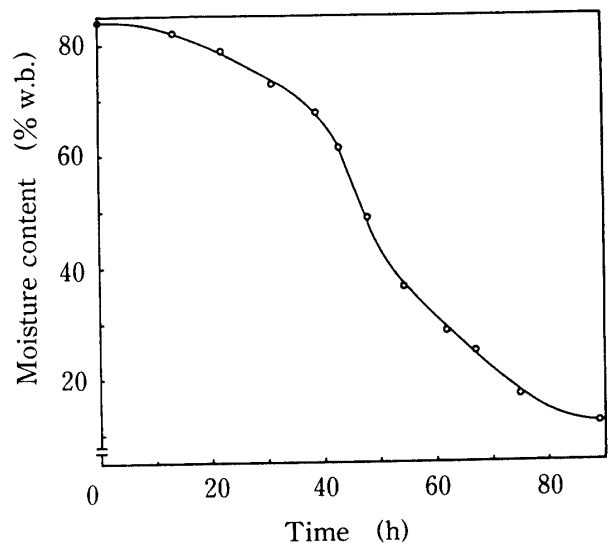


Fig.5 Change of moisture content of radish in heat pump dehumidifier drier.

Table 1. Drying conditions and drying rate of heat pump dehumidifier drier

Drying time (h)	Air flow temperature			Drying rate		Range of moisture content (% w. b.)
	Temp. (°C)	R. H (%)	m <sup>3</sup> /min	(% d. b. /h)	(% w. b. /h)	
0~40	10	68	65	31.25	0.45	94.0~76.0
40~50	19	43	50	20.25	2.28	76.0~53.2
50~88	17	45	40	2.68	1.00	53.2~27.5

っている。しかも、その間の14時間は外気が低温のためヒートポンプ除湿機は停止し、送風機だけで乾燥が行われている。このとき、平均送風温度10℃、平均送風湿度68%での乾燥速度は、湿量基準で0.45%/hと低いが、脱水量のパラメータである乾量基準では31.25%/hと高く、試料表面から盛んに乾燥が行われている。このことより、外気温度が低温であっても、高水分の割干し大根からの脱水は毛管脱水が支配的であり、この状態の乾燥では送風量の影響が極めて大きく左右していると推定される。

定湿操作前期では平均送風温度19℃、湿度43%で乾燥が行われ、湿量基準での乾燥速度は2.28%/hと大幅に上昇している。乾量基準でも依然20.25%/hと高い乾燥速度を維持している。この期間を定湿操作にしたのは、大根からは拡散脱水が支配的となり、送風量より送風湿度の影響が大きいためである。

定湿操作後期は平均送風温度17℃、平均送風湿度45%で乾燥が行われ、湿量基準での平均乾燥速度は1.00%/h、乾量基準では2.68%/hと遅い。しかし、これは試料内部の水分が表面から拡散蒸発するまでにかかりのエネルギーを要するからで、この期間を高温の熱風乾燥のように乾燥推進力の大きな方法で行った場合、乾燥時間は短縮されるが、割干し大根の個体差による水分むら、スライス厚さ及びスライス片の形状など品質に重要な影響を与える。このため、低温除湿乾燥により、乾燥推進力も失われず、乾燥むらのない仕上げ調整を行った。

(3) 乾燥に要する動力費

低温除湿乾燥装置で割干し大根を製品まで乾燥するのに要した乾燥経費について調べた。すなわち、生大根から製品までに蒸発した水分量は96.9kgであり、この間脱水1kg当り消費した熱量は1201.7Kcalであった。このとき、ヒートポンプ除湿機及び送風機が使用した消費電力は135.4Kwであり、脱水1kg当りの所要電力及び換算料金はそれぞれ1.4Kw、35円であった。従って、製品100g当りの乾燥

経費は39.4円となった。

今回の実験では乾燥室に吊した割干し大根が床面積に対して少なく、1m<sup>2</sup>当り生重量で30.8kg、乾燥物で2.54kgであった。このため乾燥経費はかなり高くなった。しかし、経験的に本装置では1m<sup>2</sup>当り生重量で100kg程度は処理可能であるので、乾燥経費は約1/3程度まで削減できると思われる。この点に関しては、今後さらに詳しく検討する予定である。

2. 熱風乾燥実験

熱風乾燥は厚さ5mmにスライスした割干し大根40片を用いて行い、その場合の乾燥条件をTable 2に示す。実験は、熱風温度30, 40, 50, 60℃の4段階で行い、乾燥過程の乾量基準での含水率の経時変化をFig. 6に、その乾燥特性曲線をFig. 7に示す。Fig. 6の含水率曲線には1.5~2.5時間までの恒率乾燥期間とそれ以降の減率乾燥期間が現れている。Fig. 7の割干し大根の乾燥特性曲線は何れも上方に凸型であるので、試料からの脱水は毛管脱水が支配的とな

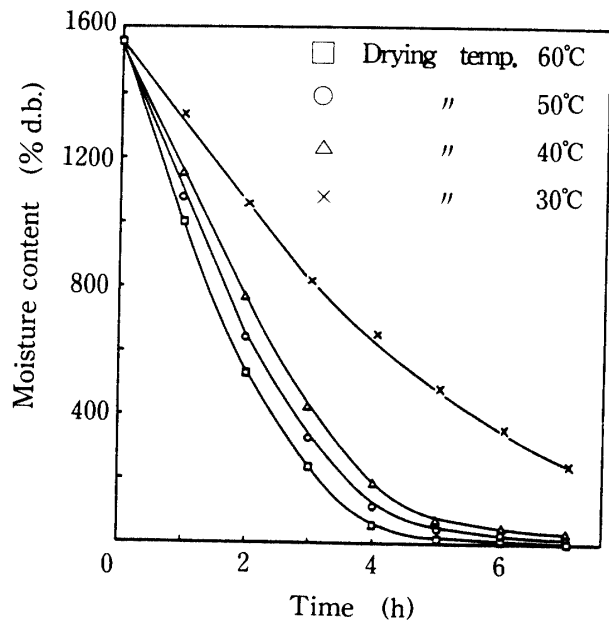


Fig. 6. Changes of moisture content of radish in heat convecting drier.

Table 2. Drying conditions of heat convecting drier

Air flow temp. (°C)		Air velocity (m/s)	Initial M. C. (% w. b.)	Final M. C. (% w. b.)	Drying time (h)	Average drying rate (% w. b. /h)	Average drying rate (0~4h) (% w. b. /h)
Dry-buld	Wet-bulb						
30.0	16.3	0.45	94.0	77.4	7.0	2.4	232.5
40.0	18.8	0.45	94.0	22.2	7.0	10.3	345.0
50.0	22.3	0.50	94.0	15.5	7.0	11.2	362.5
60.0	26.0	0.45	94.0	4.5	7.0	12.8	377.3

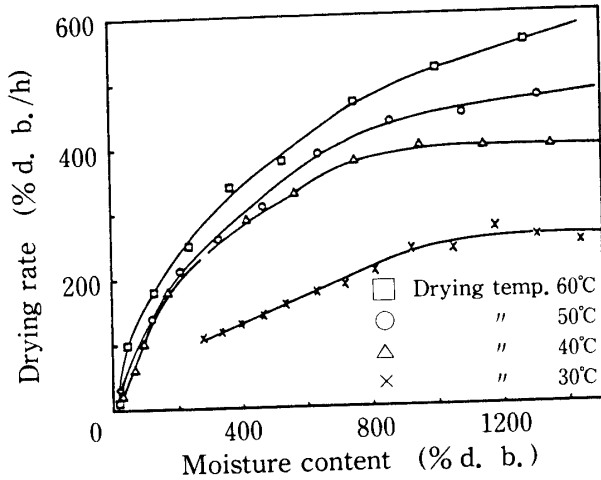


Fig. 7. Relationship between drying rate and moisture content.

り、試料内の水分勾配も比較的緩やかであると思われる<sup>9)</sup>。今回の熱風乾燥では、割干し大根の切断面に対し熱風はほぼ並行に流れると考えられる。したがって、その時の乾量基準での含水率をベースとした恒率乾燥速度を  $\phi_c$ 、総括の熱移動係数を  $h_t$  (Kcal/m<sup>2</sup>h°C)、無水材料質量を  $W$  (kg)、材料の乾燥面積を  $A$  (m<sup>2</sup>)、熱風温度と湿球温度をそれぞれ  $t$ °C、 $t_w$ °C、 $t_w$  に対応する蒸発潜熱を  $\gamma_w$  (Kcal/kg) とし、材料表面温度  $t_m$  と  $t_w$  は等しいとすれば、恒率乾燥速度  $\phi_c$  は近似的に次式に表される<sup>2)</sup>。

$$\phi_c = \frac{h_t \cdot A \cdot (t - t_w)}{\gamma_w \cdot W} \quad (1)$$

また、恒率乾燥期間では、試料水分が多く、表面積  $A$  の収縮は少ないとすれば、試料の  $A/W$  及び  $h_t/\gamma_w$  はほぼ一定となる。 $A/W$  及び  $h_t/\gamma_w$  を恒率乾燥速度係数  $\alpha$  (1/h°C) とし、この場合の  $\alpha$  と温度による乾燥推進力 ( $t - t_w$ ) の関係を実験により求めた結果 Table 3 を得た。すなわち、割干し大根の恒率乾燥速度係数  $\alpha$  は、風速 0.45~0.50 (m/s) の並行流

Table 3. Air flow temperature and coefficient of constant drying rate.

Air flow Temp. (°C)	Drying power (t-t <sub>w</sub> )	Constant drying rate $\phi_c$	Coefficient of constant drying rate $\alpha$ (1/h°C)
60	34.0	5.80	0.171
50	27.7	4.85	0.175
40	21.2	4.00	0.188
30	13.7	2.60	0.189

t : Dry-bulb temp. t<sub>w</sub> : wet-bulb temp.

の場合、0.17~0.19 (1/h°C) となる。

減率乾燥期間における乾燥特性曲線が上方に凸型の曲線である場合、同一の自由含水率における異なる乾燥条件での減率乾燥速度の比は、それらの恒率乾燥速度の比にほぼ等しいことが実験的に知られている。すなわち、ある乾燥条件 (1) の恒率および減率乾燥速度を  $\phi_{c1}$ 、 $\phi_{d1}$  とし、他方の乾燥条件 (2) のそれを  $\phi_{c2}$ 、 $\phi_{d2}$  とすれば、それらの間には次の関係が成立する<sup>4)</sup>。

$$\frac{\phi_{d1}}{\phi_{d2}} = \frac{\phi_{c1}}{\phi_{c2}} \quad (2)$$

ここで、 $\phi_{c1} = \alpha (t_1 - t_{w1})$ 、 $\phi_{c2} = \alpha (t_2 - t_{w2})$  であるので、 $\phi_{d1}$  が実験で既知であれば、乾燥条件 (2) の減率乾燥速度  $\phi_{d2}$  は次式で求められる。

$$\phi_{d2} = \frac{\phi_{c2} \cdot \phi_{d1}}{\phi_{c1}} \quad (3)$$

Fig. 8 は減率及び恒率乾燥速度比  $\phi_d/\phi_c$  と乾量基準自由含水率  $F$  及び限界自由含水率  $F_c$  の比  $F/F_c$  の関係を示したものであり、次の実験式で表される。

$$\frac{\phi_d}{\phi_c} = 1.096 \left( \frac{F}{F_c} \right)^{0.532} \quad (4)$$

すなわち、 $\phi_c$ 、 $F_c$  が既知であれば、任意の含水率  $F$  での減率乾燥期間の乾燥速度  $\phi_d$  が推定できる。

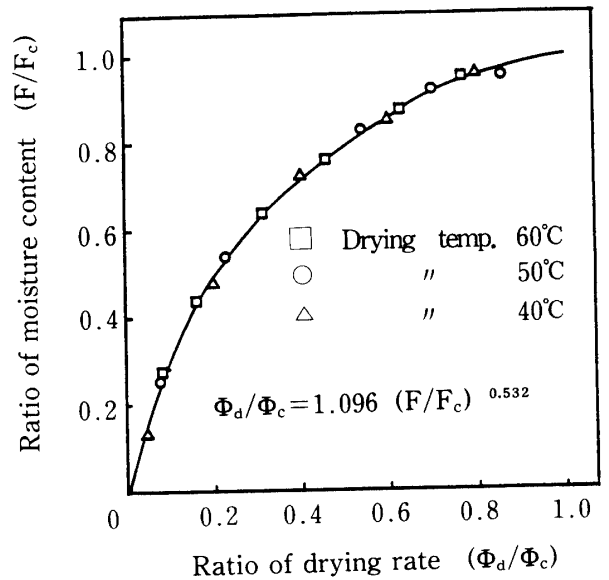


Fig. 8. Relationship between ratio of drying rate and ratio of moisture content.

### 3. 平衡含水率及び収縮率

#### (1) 平衡含水率

低温除湿乾燥装置で乾燥した割干し大根の静的平衡含水率と気温 15°C における相対湿度の関係を示す。

Fig. 9 に示す。図中には比較のため、既知の文献<sup>5)10)</sup>から粃、タバコ葉、ステビア葉、切干しコンニャクの平衡含水率を合わせて記載した。

乾燥した割干し大根の平衡含水率は15°C、55%の定湿操作後期とほぼ等しい空気条件で、17%(w. b.)となり、乾燥粃、乾燥切干しコンニャクより高く、ステビア葉、タバコ葉より低かった。しかし、それ以上の高湿状態では急激に増加する傾向を示した。平衡含水率曲線のタイプとしては切干しコンニャクと類似しており、穀類や葉類が相対湿度の高い場合でも比較的直線に近いのに比べ、上方に凹型の傾向にある。これは乾燥割干し大根の貯蔵、保存は他の農産物と比べ、より低湿状態に保つ必要があることを示している。

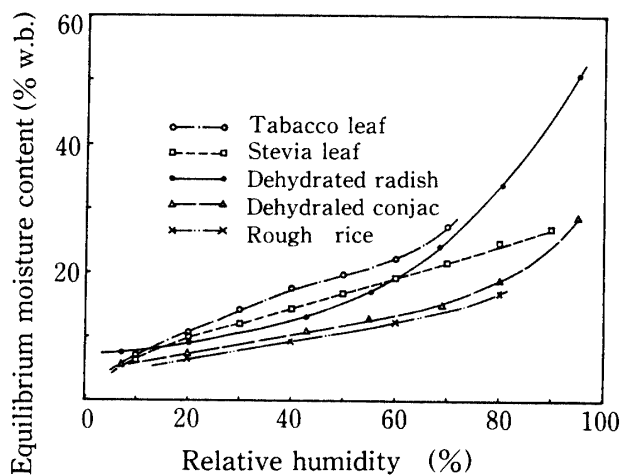


Fig.9 Equilibrium moisture content curves of various materials.

(2) 乾燥中の収縮率

割干し大根は低温除湿乾燥過程で収縮し変形する。その収縮率と含水率の関係を最も収縮変形する含水率15~22%(w. b.)の範囲で調査した結果を Fig. 10 に示す。すなわち、含水率が低下するにつれ、収縮率は直線的に増大し、収縮率 Y (%) と含水率 X (% w. b.) の関係は次の実験式で示された。

$$Y = 104 - 0.65X \text{ ----- (5)}$$

割干し大根は収縮にともなってねじれ、ちじみ等を含む複雑な変形を行うので、表面積、長さ及び厚さの測定は困難である。しかし、この何れも収縮率に比例して変化するとし、体積変化率を収縮率として表した。

なお、測定に用いた割干し大根の初期含水率は94.0%(w. b.)、1片の平均重量は106.5g、平均体積は

108.6cc、仮比重平均は0.982g/ccであり、合計40片について実験を行った。

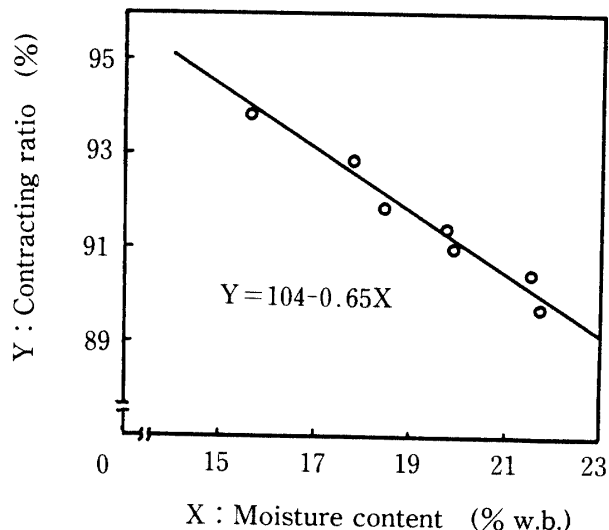


Fig. 10. Relationship between contracting ratio and moisture content.

4. 乾燥及び貯蔵中の色調の変化

割干し大根は乾燥過程あるいは貯蔵中に変色し易い欠点がある。一旦変色した製品は外観品位が低下し、商品価値も極端に落ちるので、適切な乾燥、貯蔵法の検討が必要である。この変色の多くは褐変現象で、多量に含まれている還元糖とアミノ酸の反応で起こる非酵素的反応と言われている<sup>14)</sup>。その防止対策としては、現在のところ還元剤を添加するか、低温に保持するしかない。

本実験では、乾燥方法並びに貯蔵条件の違いによる製品色調の変化を調べ、褐変及び腐敗防止について検討した。

(1) 乾燥方法の違いによる色調の変化

種々の乾燥方法で割干し大根の乾燥を行った直後の色調について JIS 標準色標で調べ、Table 4 を得た。乾燥方法としては、低温除湿乾燥、熱風乾燥(30, 40, 50, 60°C)及び天日乾燥の6通りである。その結果、熱風乾燥では温度が高いほど色調が良く、60°Cの熱風乾燥では明度が9、彩度が1、色相が5GYと最も高品位に白く仕上がり、以下50, 40及び30°Cの順に色調が悪くなった。低温除湿乾燥による製品の色調は熱風温度50°Cとほぼ同じ色調であり、熱風温度60°Cに比べ、彩度が2とやや落ちているが、光沢は感じられ、自然色として見れば優れていると思われた。天日乾燥では明度は変わらないものの彩度が4、色相が10Yと肉眼でも他の製品に比べ黄味が強

くくすんで感じられ、色調面では最も劣っていた。

Table 4. Drying methods and sample color

Drying method	Sample color		
	Lightness	Chroma	Hue
D. A. G.	9	2	5GY
H. C. D. 30°C	9	3	10Y
" 40°C	9	2	10Y
" 50°C	9	2	5GY
" 60°C	9	1	5GY
Sun drying	9	4	2.5Y

D. A. G. : Heat pump dehumidifying drying

H. C. D. : Heat convecting drying

## (2) 貯蔵条件の違いによる色調の変化

乾燥した割干し大根(含水率15% (w. b.))は真空包装, ポリエチレン包装および無包装に区分けされ, 温度5°C, 相対湿度90~95%の冷蔵室および常温の室内に7ヵ月間貯蔵した後, 標準色票で色調を調べ, Table 5を得た。なお, 供試した材料は乾燥処理後の色調が最も優れていた熱風乾燥60°Cの製品を使用した。冷蔵室貯蔵では真空包装, ポリエチ

レン包装区が変色もなく, カビも発生しなかったが, 無包装区では明度は9であるが, 彩度が3, 色相が10GYと軽い変色とくすみを示し, カビの発生も認められた。この原因としては, 冷蔵室内は相対湿度が高く, 試料が吸湿し, 高い水分状態が続いたため, 変色とカビの発生が生じたものと考えられる。従って, 低温でも湿度の高い冷蔵室などで貯蔵する場合, ポリエチレン包装か真空包装をして貯蔵した方がより安全であると思われる。一方, 室内で7ヵ月保存したものは, ポリエチレン包装, 無包装区はともに著しく褐変が進行し, 明度は6~7, 彩度は4, 色相は10GYを示した。しかし, この期間中の室温は10~30°Cと変化しているが, 両区ともカビの発生は見られなかった。このことより, 褐変の原因は温度による影響, カビの発生は湿度の影響が大きいと思われる。

## (3) 貯蔵湿度の違いによる色調の変化

常温下で相対湿度を変えて7ヵ月貯蔵した場合の色調の変化とカビの発生について調べた結果をTable 6に示す。すなわち, 貯蔵は平衡含水率測定で用いた飽和塩溶液を入れたデシケータに, 製品を無包装のまま入れ, 室内で保存した。貯蔵デシケ

Table 5. Storage conditions and sample color.

Storage condition		Sample color after 7months			Mold
Storage temp.	Packing method	Lightness	Chroma	Hue	
Low temp. (5°C)	Vacuum	9	1	5GY	×
	Polyethylene	9	1	5GY	×
	No packing	9	3	10GY	○
Normal temp.	Polyethylene	7	4	10GY	×
	No packing	6	4	10GY	×

Sample color after drying, Lightness : 9, Chroma : 1, Hue : 5GY

Table 6. Relative humidity and sample color in storage

Storage condition		Saturated salt	Sample color after 7months			Mold	Equilibrium M. C. (%w. b.)
Temp. (°C)	R. H. (%)		Lightness	Chroma	Hue		
10~30	7.0±0.5	NaOH	9	2	5YG	×	7.9
10~30	20.3±2.0	CaBr <sub>2</sub> 6aq	9	2	5YG	×	9.3
10~30	42.8±1.0	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2aq	9	3	10YG	×	13.4
10~30	53.9±0.1	Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 6aq	8	3	10YG	×	17.3
10~30	68.6±0.1	CuCl <sub>2</sub> 2aq	7	4	10YG	×	24.6
10~30	77.4±4.0	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	5	3	10YG	○	34.0
10~30	92.9±2.0	KNO <sub>3</sub>	4	4	10YG	○	51.0

Sample color after drying : Lightness : 9, Chroma : 2, Hue : 5GY



タ内の相対湿度は最低7%から最高93%まで7段階あり、低温除湿乾燥による乾燥製品を用いて行った。相対湿度20%以下の貯蔵湿度では、製品に変色は見られなかったが、43%の場合、わずかな変色が認められる。50%を越えるものに関しては、褐変度がやや高くなり、70%以上では著しい褐変に加えてカビも発生し、完全に商品価値を失った。以上の結果から、常温10~30°C、無包装でも、相対湿度が40%以下であれば、包装に関係なく色調の変化はほとんどない。ゆえに常温状態でも、製品の含水率を下げ、相対湿度も低く保てば褐変は防止できると思われる。

現在、農家が乾燥した割干し大根を乾燥剤の入った茶びつに保存しているのは、以上の理由からであろう。しかし、相対湿度が50%以上で貯蔵する場合、褐変の進行が製品の水分増加に伴って保進されるので、褐変防止としては、製品を低温、低水分に保つことが重要である。今回の実験結果から見ても、冷蔵室内でパック包装し、低温、低湿で貯蔵するのが最も適切な方法であると思われる。

### 要 約

本研究は南九州特産の割干し大根について、低温除湿乾燥装置による中規模の実用試験と熱風乾燥の基礎実験を行い、その乾燥特性、効率及び経費について検討を行った。また、乾燥試料の基礎物性となる平衡含水率、乾燥による収縮率及び乾燥、貯蔵中の色調の変化とカビの発生について併せて調査を行った。

1. 低温除湿乾燥では、含水率の高い乾燥初期は送風量の多い除湿操作で、乾燥後期は乾燥推進力のある低湿空気を送風する定湿操作で乾燥するのが最も効率的であった。

2. 低温除湿乾燥装置による乾燥経費は、試料から水分1 kgを脱水するのに必要な熱量は、約1,200 kcalであるので乾燥経費は、乾燥製品100 g当り、約40円となった。しかし、今回の実験では乾燥機能力に対し、単位面積当りの処理量が少ないので、最大効率で稼動した場合、乾燥経費は約1/3程度まで削減可能と推定される。

3. 熱風乾燥での恒率乾燥速度  $\phi_c$  は次式で表され、温度による乾燥推進力  $(t-t_w)$  と恒率乾燥速度係数  $\alpha$  の関係が明らかになった。

$$\phi_c = \frac{h_t \cdot A \cdot (t-t_w)}{\gamma_w \cdot W} \doteq \alpha (t-t_w)$$

$$\alpha : 0.17 \sim 0.18 \text{ (h}^{-1}\text{C}^{-1}\text{)}$$

4. 熱風乾燥での  $\phi_d/\phi_c$  と  $F/F_c$  の関係より次式の実験式が求められ、任意の乾燥条件下での恒率及び減率乾燥速度の推定が可能となった。

$$\frac{\phi_d}{\phi_c} = 1.096 \left( \frac{F}{F_c} \right)^{0.532}$$

5. 割干し大根の静的平衡含水率は相対湿度が55%を越えると、他の農産物と比べ、急激に増加した。

6. 乾燥過程での収縮率 (Y) と含水率 (X) の関係は次式で示された。

$$Y = 104 - 0.65X$$

7. 乾燥方法の違いによる色調を調べた結果、熱風60°Cの乾燥法がもっとも優れていた。

8. 貯蔵条件の違いによる色調の変化は、包装が無包装より優れ、低温区が常温区より優れていた。

9. 長期貯蔵で、色調の変化、カビの発生を防止するには、含水率をできるだけ下げ、低温、低湿で保持することが望ましい。

**謝辞** 本研究にあたり、御校閲を頂いた本学農学部宮里満教授、材料の提供に便宜を図って頂いた鹿児島県農業試験場農機具研究室の仲川政市主任研究員、機材の便宜を図って頂いた豊国工業 KK の朝隈寛治氏に深く感謝します。また、とりまじめに際し、御協力頂いた町田俊子技官に謝意を表する。

### 文 献

- 1) 馬場 透ほか：切干しダイコン (割干し) の乾燥と貯蔵中の変色防止, 鹿児島県農試報, NO. 11, 125-130 (1983)
- 2) 藤田重文ほか：化学工学III, 305, 東京化学同人, 東京 (1963)
- 3) 藤田重文ほか：化学工学III, 307, 東京化学同人, 東京 (1963)
- 4) 藤田重文ほか：化学工学III, 312, 東京化学同人, 東京 (1963)
- 5) 鍋木豪夫ほか：農業機械ハンドブック, 677, コロナ社, 東京 (1969)
- 6) 亀井三郎：化学機械の理論と計算, 317-318, 産業図書出版, 東京 (1959)
- 7) 木村 進：食品乾燥, 106, 光琳書院, 東京 (1966)
- 8) 宮部 宏ほか：材料と水分ハンドブック, 239-259, 共立出版, 東京 (1968)
- 9) 農林水産省統計情報 (野菜出荷統計), 64-65 (1987)
- 10) 田原迫昭爾ほか：ステヒヤの基礎乾燥特性, 鹿大農学術報告, NO. 35, 215-219 (1985)
- 11) 田原迫昭爾・繆治煉：ヒートポンプ除湿機の除湿性能及び穀類への利用, 鹿大農学術報告, NO. 37, 261-269 (1987)
- 12) 田原迫昭爾ほか：常温除湿空気による穀類の通気乾燥, 農業施設, 18(3), 23-33 (1988)
- 13) 田原迫昭爾ほか：早期米の乾燥システムの開発, 鹿大農学術報告, NO. 39, 投稿中
- 14) 横山 理雄・石谷 孝佑：食品包装, 125, 医歯薬出版, 東京 (1981)

### Summary

Using the heat pump dehumidifier drier (H. P. D) and the heat convection drier (H. C. D), the drying rate, the drying efficiency and the drying cost of a dehydrated radish were discussed. In order to develop an optimum drying and storage system, the equilibrium moisture content and the contraction rate of a radish in drying were measured, and the changing of surface color and the germination of mold on the dehydrated radish in storage were investigated.

1. In case of drying a radish with high moisture content, it was the most suitable method for the radish that large air flow should be chosen at the initial drying period and dehumidified air flow be should adopted at the final drying period.

2. As the calorific value of dehydrated water 1kg from a radish was fixed to be 1,200kcal using H. P. D., the drying cost was calculated to be approximately 40yen/100g for the dehydrated radish. If drying efficiency was maximum, it was assumed that the drying cost might be reduced down to 1/3 of that cost.

3 The constant drying rate  $\phi_c$  of H. C. D was shown as follows.

$$\phi_c = \frac{h_t \cdot A \cdot (t-t_w)}{\gamma_w \cdot W} \doteq \alpha (t-t_w)$$

$$\alpha : 0.17 \sim 0.18 \text{ (h}^{-1}\text{C}^{-1}\text{)}$$

The relationship between the drying power  $(t-t_w)$  and the constant drying rate was obtained.

4. Experimental equation derived from  $\phi_d/\phi_c$  and  $F/F_c$  in H. C. D. was shown as follows.

$$\frac{\phi_d}{\phi_c} = 1.096 \left( \frac{F}{F_c} \right)^{0.532}$$

The ratio of constant and decreasing drying rates were evaluated under various drying conditions.

5. The equilibrium moisture content of the dehydrated radish increased rapidly beyond 55% R. H.

6. The contraction rate of the radish in drying was related with the moisture content as follows.

$$Y = 104 - 0.65 X$$

7. It was found that the surface color of the dehydrated radish with the use of drying temp. 60°C by H. C. D. was better than those observable in any other drying methods.

8. It was found that the surface color of the dehydrated radish in package was better than non-packed ones, after 7 months of storage.

9. In order to prevent the changing of surface color and the germination of mold, it was considered to be desirable that the dehydrated radish was preserved with low moisture content under both low temperature and low humidity condition.