

農産物の熱風乾燥法に関する研究

(第 1 報)

田 原 迫 昭 爾

Studies on Drying Methods of Agricultural Products with Heated Air. (I)

Shōji TAWARAZAKO

(Laboratory of agricultural machinery)

目 次

第 1 章 緒 論	第 2 節 粳の厚層通気乾燥に関する実験
第 2 章 各農産物の乾燥特性曲線および乾燥速度	第 3 節 乾燥の型式が粳の乾燥速度および胴割れに及ぼす影響
第 1 節 実験装置および乾燥特性曲線の分類	第 4 節 乾燥と粳の胴割れについて
第 2 節 生粳における乾燥特性	第 5 節 乾燥後の処理方法が粳品質に及ぼす影響
第 3 節 除虫菊における乾燥特性	第 4 章 小麦の厚層通気乾燥に関する研究
第 4 節 イ草における乾燥特性	第 1 節 実験装置および乾燥条件
第 5 節 レンゲにおける乾燥特性	第 2 節 実 験 結 果
第 6 節 エンバクにおける乾燥特性	第 3 節 実験結果の整理および考察
第 7 節 クローバーにおける乾燥特性	第 4 節 摘 要
第 8 節 切干しかんしょにおける乾燥特性	第 5 章 除虫菊の熱風乾燥に関する研究
第 9 節 こんにゃくいもにおける乾燥特性	第 1 節 は し が き
第 10 節 各農産物の乾燥速度の比較	第 2 節 除虫菊の厚層通気乾燥に関する実験
第 11 節 摘 要	第 3 節 除虫菊の実用乾燥試験
第 3 章 生粳の熱風乾燥に関する研究	第 6 章 要 約
第 1 節 は し が き	

第 1 章 緒 論

農産物の乾燥は、従来ほとんど天日乾燥に依存していたのが、最近に至り、常温および加熱通風乾燥が急速に普及してきた。そしてその利用範囲は、個々の農家個人から、大規模な、共同施設に至り対象農産物も、従来の粳、麦など穀類だけでなく、飼料、特用作物、根菜類、その他農産加工品、果樹林産物など非常に広い分野にわたっている。

農作物自体の乾燥は、主としてその経済性から安価な乾燥方法が要求され、同時にその食品、商品性から、さまざまな乾燥に対する制約がある。

しかし、農産物の乾燥についての研究は、比較的浅く、また農産物自体の組成が非常に複雑なためまだ十分な研究がなされていない。常温通風乾燥法、粳の人工乾燥に関しては、渡辺、清水²⁷⁾穀類の乾燥特性に関しては、市村、中山⁷⁾の研究報告があり、その他これに類する数編がある。また J. MATTHEWS¹⁴⁾、A. MORRIS THOMAS²²⁾ E. E. FINNEY⁴⁾ N. N. MOHSENIN⁴⁾ M. G. R. WARNER²⁵⁾ D. A. BROWNE¹⁾ S. PAHIS¹⁶⁾ S. M. HENDERSON¹⁶⁾ W. H. C. SIMMONDS²¹⁾ G. T. WARD²¹⁾ などの主として穀類の乾燥に関する理論的、実用的研究報告がある。

本報は 1959 年より、実施した農産物の熱風乾燥に関する研究のうち、各農産物の乾燥特性、および粳、麦、除虫菊の熱風乾燥についての基礎的、実用的実験結果を集録したものである。本文第 2 章における農産物の乾燥特性では、穀類、特用作物、飼料作物、農産加工品 9 種の各熱風条件における

乾燥速度を比較し、第3章では、特に高水分の籾を乾燥する場合の乾燥速度の算定や、胴割れ、乾燥型式、乾燥後の処理などの、諸問題を検討した。第4章は小麦の厚層通気乾燥を、第5章では、除虫菊の乾燥についての基礎および、実用試験をあわせ掲載した。この研究は、その主目的が熱風通気乾燥における乾燥方法の確立であり、現実の乾燥における問題点の解明であるため、乾燥自体の理論的解析より、むしろ、多くの実験を通じてその具体的経過の追跡に重点をおいた。したがって、実験を行なうについての乾燥条件、乾燥材料なども、それが実際に使用される条件で行なった。この研究に当って、広島農試場長中野善雄氏、静岡農試早川千吉郎氏、および九州大学農学部、中馬豊教授、鹿児島大学農学部、石橋貞人教授にご指導、ご助言をいただいた。

またこの実験のため協力していただいた広島農試、木村陽登研究員、田島富男研究員、中国電力技術研究所、沖野悟氏に対し深く感謝すると共に、とりまとめに協力していただいた鹿大農学部、伊東秋人氏にお礼申し上げる。

第2章 各農産物の乾燥特性曲線および乾燥速度

各農産物の乾燥特性、および乾燥速度を知ることは、それを各種の方法で乾燥する場合その乾燥能率を推定し、乾燥条件や方法を決定する上に、極めて必要なことである。この実験では、各農産物の乾燥速度を比較するため、送風量が、乾燥物量について比較して大きく乾燥速度が送風量に関係なく熱風温度、湿度だけの影響の場合における、各農産物の乾燥特性曲線を追跡し、その結果より各含水率における近似的な乾燥速度を求めそれを比較した。

第1節 実験装置および乾燥特性曲線の分類

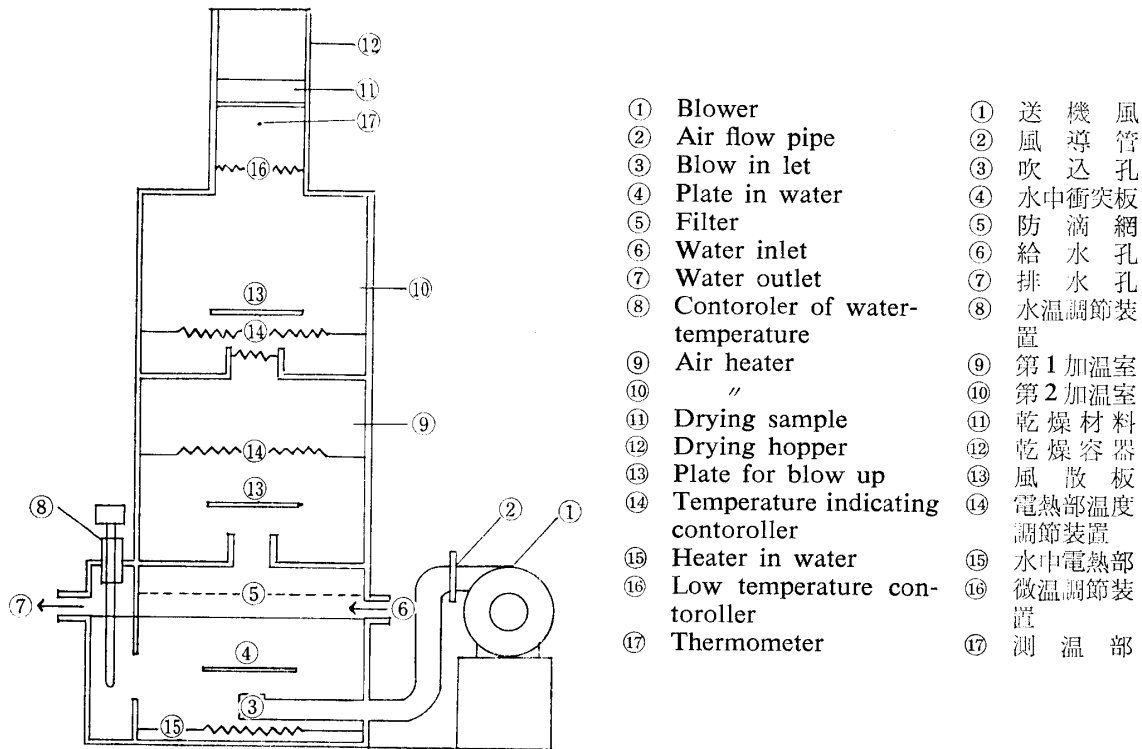


Fig. I-1. Laboratory drying apparatus

Fig. I-1. 実験装置〔1〕

I. 実験装置

実験装置は、Fig. I-1 に示す装置を試作した。この装置は、噴霧式調湿装置にみられる噴霧微粒子の空気中への混入をできるだけ少なくするため、逆に気泡を一定水位の水中に、強制通過させ、その間吸湿を行なわせた。水中の温度は、電熱、および温度調節装置により一定の温度を保ち、その中を通過した恒湿度の空気を加温部で加熱して、送風空気の温度、湿度をコントロールした。予備試験の結果、この装置の温度誤差は、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $\pm 2.0\%$ (相対湿度、乾湿球温度計による) 程度である。

II. 乾燥特性曲線の型式

熱風乾燥の場合、その含水率と乾燥速度との関係は、乾燥材料によって変化する。その乾燥特性曲線を分類すると、Fig. I-2 に示す4つの形式に分類できる。

すなわち毛管脱水が支配的な場合 (I, IIの形式) と、材料内部の水分勾配による水分移動が、支配的な場合 (III, IVの形式) の4種が考えられる。農産物の場合、その形状が均一でなく、その部位によって乾燥速度も異なるし、また同一材料でもその熟度、生育の相違によって乾燥速度も異なるので、乾燥特性曲線も複雑な変化を示す。この実験の場合、実用的に利用されている状態で実験を行なった。

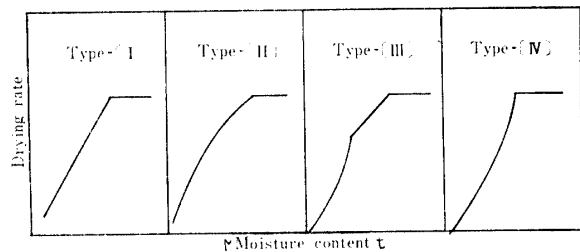


Fig. I-2. Type of drying characteristic curve

なお本文中の省略記号は次のようである。

- t ; 乾球温度 ($^{\circ}\text{C}$) Dry bulb temperature
- t_w ; 湿球温度 ($^{\circ}\text{C}$) Wet bulb temperature
- H_a ; 絶対湿度 (kg/kg) Absolute humidity
- H_r ; 相対湿度 (%) Relative humidity
- G ; 送風量 (kg/hr) Air quantity
- W_d ; 乾量基準含水率 (%) Moisture content, percentage dry base
- W_0 ; 乾量基準含水比 Moisture content ratio dry base
- W_w ; 湿量基準含水率 (%) Moisture content percentage wet base
- M_w ; 供試重量 (kg) Sample weight

第2節 生籾における乾燥特性

Tab. II-1. Drying conditions in the case of wet-unhulled-rices.

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		G (Kg/hr)	Initial moisture content	Mw (Kg)	natural air condition	
	t ($^{\circ}\text{C}$)	t_w ($^{\circ}\text{C}$)	H_a (Kg/Kg)	H_r (%)		Wd (%)		t ($^{\circ}\text{C}$)	H_r (%)
II-1	20.5 ± 0.5	11.5	5.3×10^{-3}	34.0	53.77	21.0	2.4	8.5	71.0
II-2	30.5 ± 0.5	16.8	6.3×10^{-3}	24.0	53.77	21.3	2.4	13.0	69.0
II-3	41.0 ± 0.5	20.0	6.3×10^{-3}	13.0	53.77	20.1	2.4	12.0	74.0
II-4	51.0 ± 0.5	22.5	5.5×10^{-3}	6.0	53.77	20.2	2.4	12.5	58.0
II-5	63.0 ± 0.5	25.5	5.5×10^{-3}	2.5	53.77	21.3	2.4	12.0	63.0

Variety of a Paddy: Nakate Sinsenbon.

I. 乾燥条件

脱穀直後の生粳（湿量基準含水率 20%~21%）を，20~60°C の実用熱風温度で乾燥した．乾燥条件は，Tab. II-1 に示す．

II. 実験結果

乾量基準含水比対乾燥時間，および乾量基準含水比対乾燥速度の関係は，Fig. II-1 Fig. II-2 に示す．

III. 実験結果の整理および考察

1. 乾燥特性曲線の形式

Fig. II-2 に示すように，生粳から熱風乾燥を行なった場合，乾燥速度 (ϕ_d) は，乾量基準含水比 (W_0) に比例して減少する．したがって，乾燥形式として [I] 型に属する．しかし生粳の場合，さらにしさいに検討すれば，Fig. II-3 に示すように乾燥初期の A 期間においては，上方に凹，B 期間においては直線的，さらに C 期間においては減率 2 段の型をとる．したがって全体的にみた場合，[IV] の形式としての取扱いもできる．この原因として，粳が，粳がらと玄米より構成されているため，A 期間では，粳がらからの水分蒸発の影響が顕著であり，B 期間ではその乾燥主体が粳がらを通しての玄米であると考えられる．

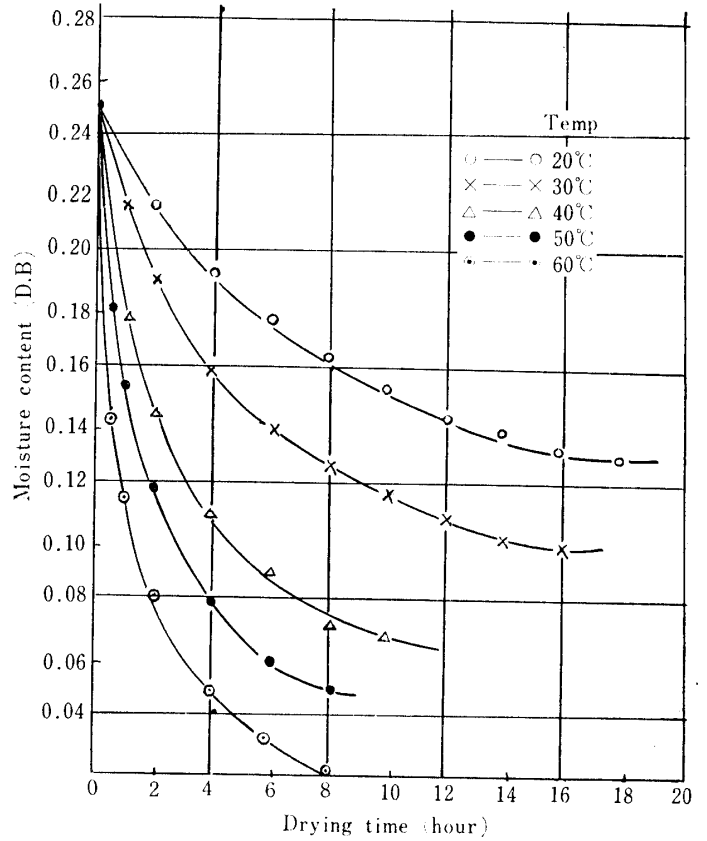


Fig. II-1. Moisture content v. s drying hour curves of wet-unhulled rice in the case of each heat-air temperature.

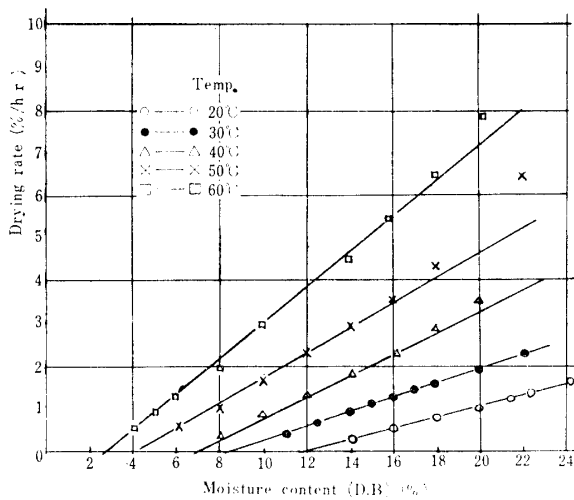


Fig. II-2. Drying characteristic curves of wet-unhulled rice in the case of each heat-air temperature.

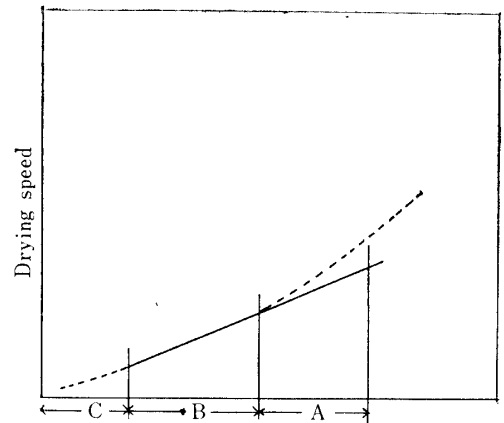


Fig. II-3. Type of drying characteristic curve of wet-unhulled rice

2. 各熱風条件と籾の減率乾燥速度

実験結果より、各熱風条件ごとの籾の減率乾燥速度 (ϕ_d) は、次式で与えられた。

$$\begin{aligned} t=20.0^{\circ}\text{C}, t_w=11.5^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.130 (W_0-12.0) \\ t=30.0^{\circ}\text{C}, t_w=16.8^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.165 (W_0-8.60) \\ t=40.0^{\circ}\text{C}, t_w=20.0^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.200 (W_0-5.70) \\ t=50.0^{\circ}\text{C}, t_w=22.5^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.295 (W_0-3.80) \\ t=60.0^{\circ}\text{C}, t_w=34.5^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.420 (W_0-2.20) \end{aligned} \quad \text{--- (II-1)}$$

(II-1) 式より一般式は、 $\phi_d=K_d(W-W_e)$ で表わされ (K_d ; 乾燥速度勾配, W_e ; $\phi_d=0$ の場合の含水比). K_d と $(t-t_w)$ との関係をプロットすれば, Fig. II-4 のようになりその実験式は (II-2) 式で表わされる。

$$K_d=0.00335(t-t_w)^{1.87}+0.12 \quad \text{--- (II-2)}$$

したがって減率乾燥期間における乾燥速度 (ϕ_d) は,

$$\phi_d=\{3.35(t-t_w)^{1.87}\times 10^{-3}+0.12\}(W-W_e) \quad \text{--- (II-3)}$$

なお各熱風条件と平衡含水率 W_e の値は Fig. II-5 に示す。

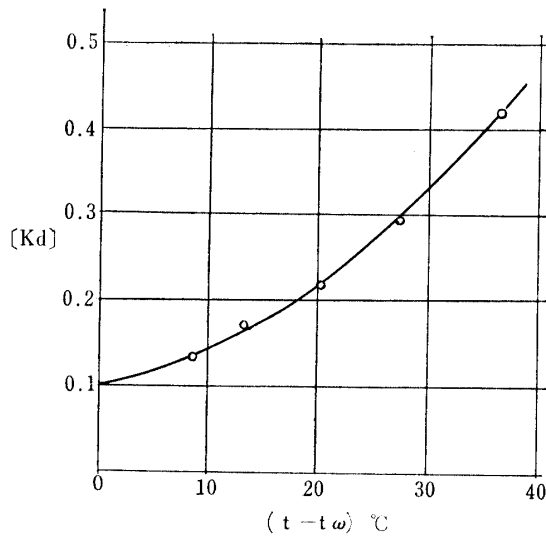


Fig. II-4. Relationship between (K_d) and $(t-t_w)$ of wet-unhulled rice

(K_d) : Gradient of speed of decreasing rate drying

$(t-t_w)$: difference between dry bulb temperature and wet bulb temperature

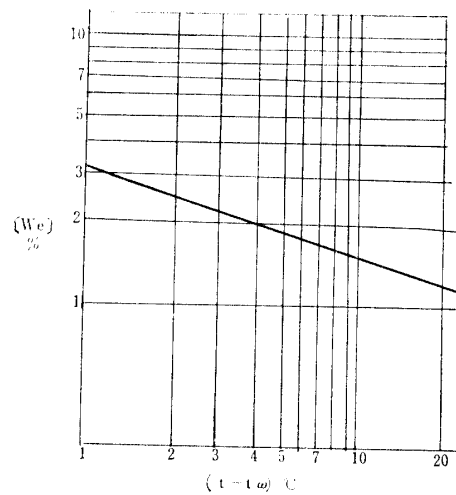


Fig. II-5. Relationship between W_e and $(t-t_w)$ in the case of wet unhulled rice

W_e : equilibrium moisture content

3. 生籾通気乾燥における乾燥所要時間

乾量基準含水率 W_1 から W_2 まで、乾燥するに要する所要時間 $[\theta]$ は、減率乾燥速度勾配 (K_d) を使用すれば、 $[\theta]=\frac{1}{K_d}\log\frac{W_1}{W_2}$ の一般式で示される。したがって籾の場合は、

$$[\theta]=\log\frac{(W_1-W_e)}{(W_2-W_e)}\bigg/\{3.35(t-t_w)^{1.87}\times 10^{-3}+0.12\}, (hr) \quad \text{--- (II-4)}$$

第3節 除虫菊における乾燥特性

I. 乾燥条件

除虫菊の熱風乾燥は、普通 $40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ で行なわれているが実用試験の結果から比較的高温の場合が、乾燥効率がよいので、この実験では、 $40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 、 $60^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ の二段階で乾燥特性曲線を求めた。

また除虫菊花は、大別すれば、花弁と花房とより構成されているので、特に花房と花弁とのそれぞれについての乾燥特性をしらべた。各段階における乾燥条件は、Tab. II-2, Tab. II-3, Tab. II-4 に示す。

Tab. II-2. Drying conditions in the case of Pyrethrums
(flower as a whole.)

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		G (Kg/hr)	Initial moisture content	Mw (Kg)
	T($^{\circ}\text{C}$)	Tw($^{\circ}\text{C}$)	Ha(Kg/Kg)	Hr(%)		Wd(%)	
III-1	60.0 ± 1.0	38.5	0.036	24.0	99.9	69.4	0.7
III-2	70.0 ± 1.0	40.0	0.036	13.0	99.9	69.4	0.7
III-3	80.0 ± 1.0	41.0	0.033	6.0	99.9	69.4	0.7
III-4	90.0 ± 1.0	47.0	0.050	4.0	99.9	69.4	0.7

Tab. II-3. Drying conditions of Pyrethrums in the case of lower heat-air.

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		G (Kg/hr)	Initial moisture content	Mw (Kg)
	T($^{\circ}\text{C}$)	Tw($^{\circ}\text{C}$)	Ha(Kg/Kg)	Hr(%)		Wd	
III-5	40.0 ± 1.0	25.5	0.014	31.0	334.8	78.8	0.1
III-6	50.0 ± 1.0	30.3	0.019	21.0	334.8	78.8	0.1
III-7	60.0 ± 1.0	31.2	0.017	10.0	334.8	78.8	0.0

Tab. II-4. Drying conditions in the case of Pyrethrums.
(inflorescence and petal)

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		G (Kg/hr)	Initial moisture content	Mw (Kg)	drying section
	T($^{\circ}\text{C}$)	Tw($^{\circ}\text{C}$)	Ha(Kg/Kg)	Hr(%)		Wd(%)		
III-8	70.0 ± 0.5	43.0	0.039	13.0	185.0	74.0	0.02	Inflorescence
III-9	70.0 ± 0.5	41.0	0.037	12.0	185.0	79.5	0.01	Petal

Variety of pyrethrum: Hirokei No. 1

II. 実験結果

1. 除虫菊全花からの乾燥特性曲線

除虫菊全花からの含水率の時間的变化、および、含水比対乾燥速度の実験結果は、Fig. II-6, II-7, に示す。

2. 花房, 花弁における乾燥特性曲線

Fig. II-8 および Fig. II-9 は乾燥条件 Tab. II-3 の場合における花房の含水比の時間的变化および乾燥特性曲線を示し、Fig. II-10 および Fig. II-11 は乾燥条件 Tab. II-4 の場合における花房の

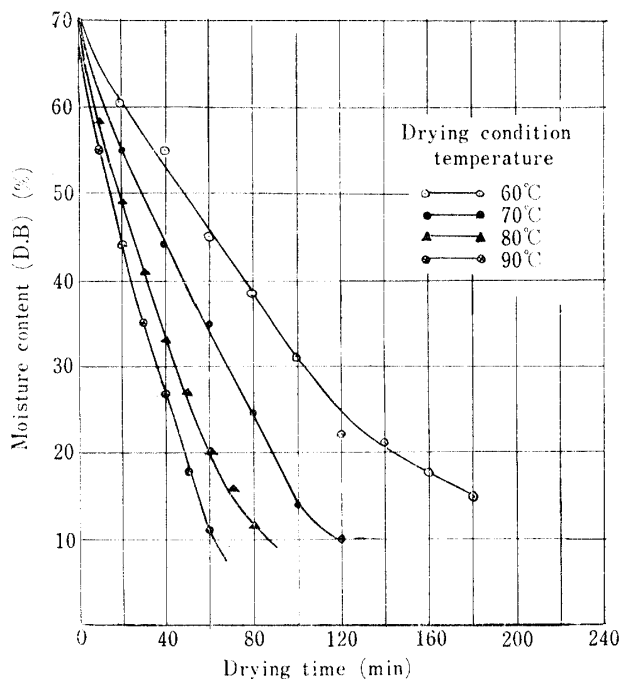


Fig. II-6. Relationship between drying time and moisture content in the case of Pyrethrums (range of heat-air temperature, 60°C~90°C)

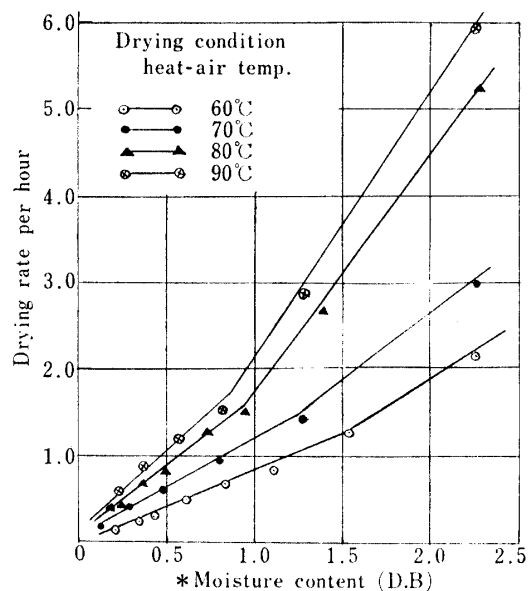


Fig. II-7. Drying characteristic curves in the case of Pyrethrums (range of heat-air temperature, 60°C~90°C)
* ratio of moisture to dry sample weight

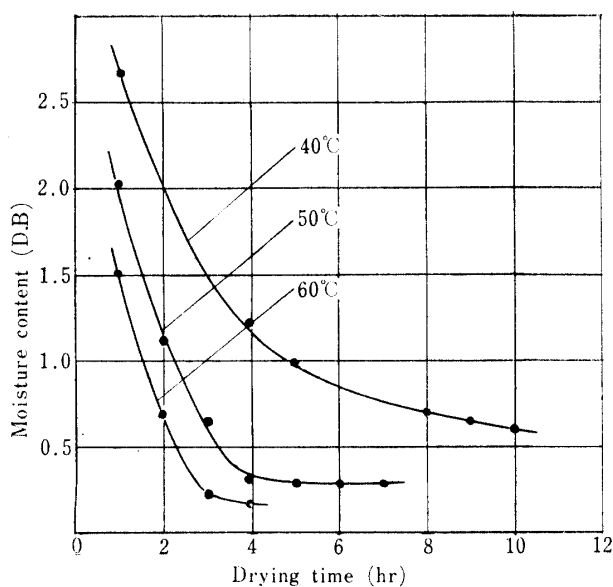


Fig. II-8. Relationship between drying hour and moisture content in the case of Pyrethrum's inflorescence (range of temperature, 40°C~60°C)

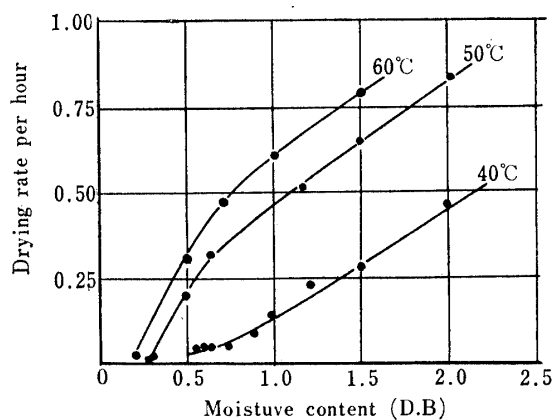


Fig. II-9. Drying characteristic curves of Pyrethrums (inflorescence)

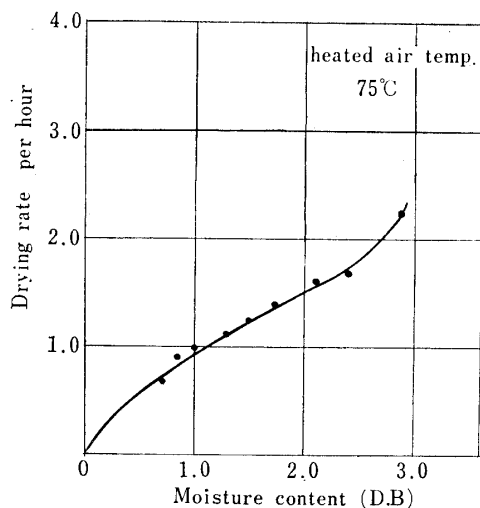


Fig. II-10. Drying characteristic curve in the case of Pyrethrum's inflorescence

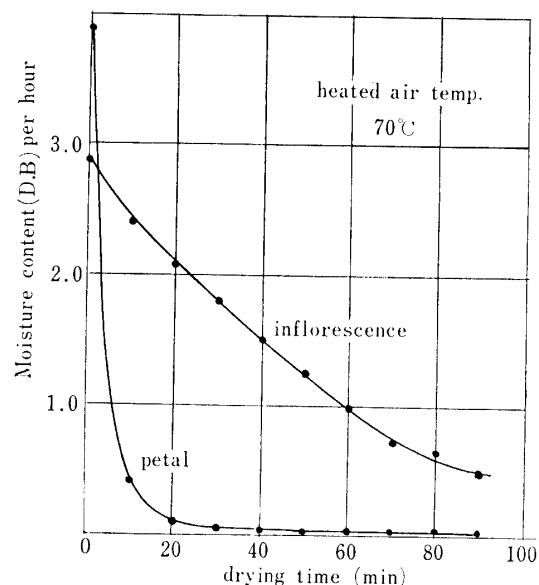


Fig. II-11. Relationship between drying hour and moisture content in the case of petal and inflorescence of Pyrethrum

乾燥特性曲線および花房、花卉の含水比の時間的变化を示す。

III. 実験結果の整理および考察

1. 全花からの乾燥特性曲線の形式

Fig. II-7 に示すように、除虫菊全花からの乾燥特性曲線は上方に凹型、すなわちⅣ型に属するが、これをさらに検討すれば、乾燥速度が含水率に比例して減少するⅠ型の複合形式よりなり、乾燥前期と乾燥後期では、その乾燥速度勾配が異なる。Fig. II-11 に示すように花卉と花房の乾燥速度が極端に異なることから、乾燥初期では、(花房+花卉)の、乾燥特性を示し、後期は花房だけの乾燥特性を示していると考えられる。

2. 各熱風条件と減率乾燥速度

Fig. II-7 より、各熱風条件ごとの乾燥速度と乾量基準含水比 (W) との関係は、次の一般式で、表わされる。

$$\phi_d = k_d(W - W_e)$$

k_d ; 減率乾燥速度勾配

W ; 乾量基準含水比

W_e ; 平衡含水比 (乾量基準)

実験結果より、求めた各乾燥条件ごとの K_d 、および W_e の値は、Tab. II-5 に示す。

熱風温度 ($t-t_w$) と K_{d1} 、 K_{d2} との間には、次式に示す関係がある。(Fig. II-12 参照)

$$K_{d1} = \alpha(t-t_w)^n = 1.92(t-t_w)^{1.53} \times 10^{-2} \quad \text{— (II-5)}$$

$$K_{d2} = \beta(t-t_w)^n = 2.00(t-t_w)^{1.19} \times 10^{-2} \quad \text{— (II-6)}$$

したがって、Tab. II-5、および (II-5)、(II-6) 式より乾燥速度 ϕ_{d1} 、 ϕ_{d2} は、

Tab. II-5. (Kd) and (We) in every case of various heat-air.

Test No.	heat-air condition			experimental coefficient		applied range of moisture content (D. B)
	t	tw	t-tw	*Kd ₁ , Kd ₂	We	
III-1	60	38.5	21.5	1.277 0.824	-0.48 —	above 1.57 above 1.57
III-2	70	40.0	30.0	1.828 1.144	-0.40 —	above 1.27 1.27~0.15
III-3	80	41.0	39.0	2.612 1.612	-0.35 —	above 0.95 0.95~0.15
III-4	90	47.0	43.0	3.100 1.829	0.30 —	above 0.84 0.85~0.20

* Kd₁, Kd₂: gradient of drying speed range of decreasing rate drying-I and II.

We: equivalent moisture content. (D. B)

$$\phi_{d1} = 1.92(t - t_w)^{1.53}(W - W_e) \times 10^{-2} \quad \text{--- (II-7)}$$

$$\phi_{d2} = 2.00(t - t_w)^{1.19}(W - W_e) \times 10^{-2} \quad \text{--- (II-8)}$$

註) ϕ_{d1} : 乾燥前期における乾燥速度 (kg/hr)

ϕ_{d2} : 乾燥後期における乾燥速度 (kg/hr)

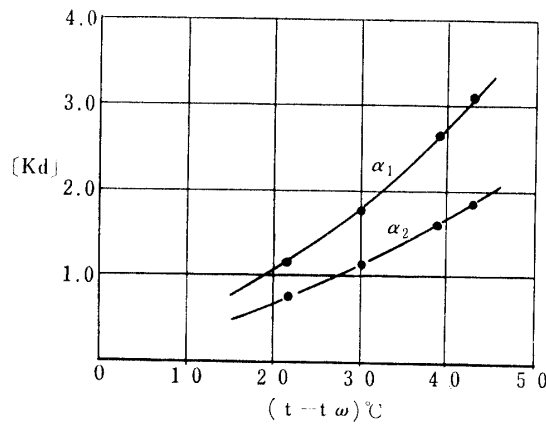


Fig. II-12. Relationship between (Kd) and (t-tw) during the period of decreasing rate drying in the case of Pyrethrums

α_1 : [Kd]-[t-tw] curve of the 1st period of decreasing rate drying

α_2 : [Kd]-[t-tw] curve of the 2nd period of decreasing rate drying

3. 除虫菊全花における乾燥所要時間

乾燥前期における乾量基準含水比 W_1 から, W_a までに要する乾燥時間 $[\theta_1]$ は,

$$\theta_1 = \frac{1}{1.92(t - t_w)^{1.53} \times 10^{-2}} \log \frac{(W_1 - W_e)}{(W_a - W_e)} (hr) \quad \text{--- (II-9)}$$

註) $W_e = 0.47 \sim 0.30$

乾燥後期における W_a から W_2 までの乾燥所要時間 $[\theta_2]$ は,

$$\theta_2 = \frac{0.5}{(t - t_w)^{1.19} \times 10^{-2}} \log \frac{W_a}{W_2} (hr) \quad \text{--- (II-10)}$$

したがって、除虫菊において W_1 から W_2 まで乾燥するに要する時間 $[\theta]$ は、次式で与えられる。

$$[\theta] = [\theta_1] + [\theta_2] = \frac{0.52 \log\left(\frac{W_1 - 0.4}{W_a - 0.4}\right)}{(t - t_w)^{1.53} \times 10^{-2}} + \frac{0.5 \log\left(\frac{W_a}{W_2}\right)}{(t - t_w)^{1.19} \times 10^{-2}} \text{ (hr)} \quad \text{--- (II-11)}$$

なお転移含水比 (W_a) は、次式で近似的に求められる。

$$(W_a) \doteq 2.3 - 0.043(t - t_w) \quad \text{--- (II-12)}$$

4. 花房だけの場合の乾燥速度

花弁と花房との乾燥速度は、Fig. II-10 に示すように、全く異なり、花弁の乾燥は急速で、花房は緩慢である。熱風温度 70°C 、外気相対湿度 53% における花房だけの乾燥速度は、近似的に (II-13) の実験式で示される。

$$\phi_d = 0.525(W + 0.45) \quad \text{--- (II-13)}$$

これを全花からの乾燥速度と比較すれば、乾燥速度勾配にかなりの差異が認められる。

第4節 イ草における乾燥特性

I. 乾燥条件

イ草のような、長繊維作物では、その先端部と根元部では、乾燥速度にかなりの差異がある。したがって実験も根元部と先端部と、それぞれ別にし乾燥して比較した。乾燥条件は、Tab. II-6 に示す。

Tab. II-6. Drying conditions in the case of Rushes.

drying section	Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		G (Kg/hr)	Initial moisture content	Mw (Kg)
		T($^\circ\text{C}$)	Tw($^\circ\text{C}$)	Ha(Kg/Kg)	Hr(%)		Wd(%)	
upper part	IV-1	55.0	29.0	0.015	12.5	87.12	68.5	0.5
	IV-2	60.0	32.0	0.017	12.0	87.12	68.5	0.5
	IV-3	75.0	33.5	0.017	5.0	87.12	68.5	0.5
	IV-4	100.0	—	—	—	87.12	68.5	0.5
lower part	IV-5	55.0	29.0	0.015	12.5	87.12	71.0	0.5
	IV-6	60.0	32.0	0.017	12.0	87.12	71.0	0.5
	IV-7	75.0	33.5	0.017	5.0	87.12	71.0	0.5
	IV-8	100.0	—	—	—	87.12	71.0	0.5

II. 実験結果

非泥柔イ草について、乾量基準含水比と乾燥時間との関係は、Fig. II-13 の(1) (根元部)、Fig. II-13 の(2) (先端部)、また乾量基準含水比対乾燥速度 (乾量基準含水比/15分) との、関係は、Fig. II-14の(1) (根元部)、Fig. II-14 の(2) (先端部) に示す。

III. 実験結果の整理および考察

1. 乾燥特性曲線の型式

イ草は、その根元部と先端部では、その形状や水分が、多少異なるため、同時に乾燥した場合、先端部が早く乾燥し、同一茎内で水分較差が生ずる。したがって、この実験では先端部と根元部とを分けて、その乾燥速度および乾燥特性曲線を検討した。

乾燥特性曲線は、いずれも [I] 型に属し、乾燥速度は、含水比に比例して低下する。乾燥特性を

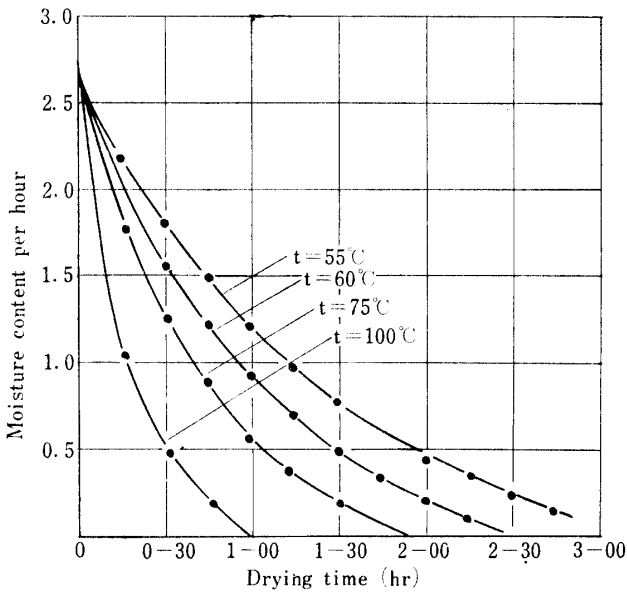


Fig. II-13. (1) Relationship between drying time and moisture content in the case of lower part of Rushes

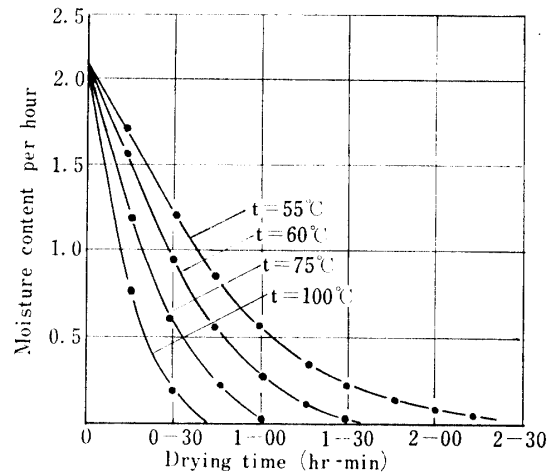


Fig. II-13. (2) Relationship between drying time and moisture content in the case of upper part of Rushes

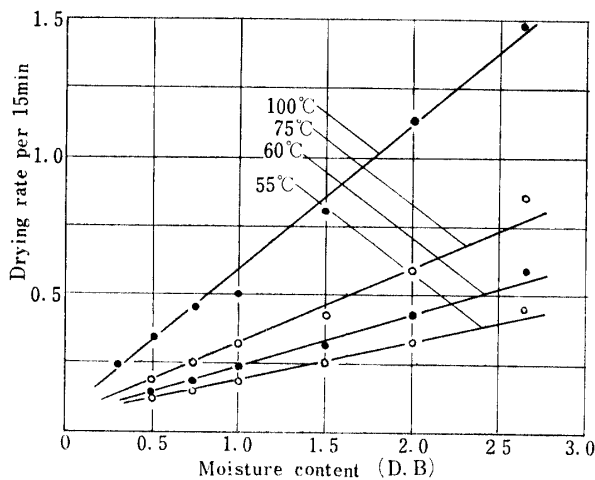


Fig. II-14. (1) Drying characteristic curves in the case of lower part of Rushes

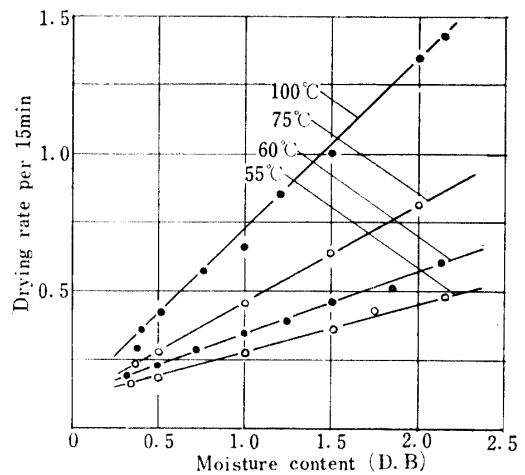


Fig. II-14. (2) Drying characteristic curves in the case of upper part of Rushes

みるため、熱風温度 100°C まで上げて実施したが、100°C においては、黒褐色に変じ実用上不適當である。

2. 熱風条件と乾燥速度の関係

熱風温度 55°C~100°C の間で乾燥した場合、減率乾燥速度 (ϕ_d) と、乾量基準含水比 (W_0) との間には、 $\phi_d = K_d(W_0 - W_e)$ との一般式が認められる。各熱風条件における、 K_d 、 W_e の値を、実験結果より算定すると、Tab. II-7 のようになる。

註) $\phi_d = W/15 \text{ min}$

Tab. II-7 より、 K_d と $(t-t_w)$ との関係をプロットすれば Fig. II-15 のようになり、次の実験式で示される。

Tab. II-7. Relationship between (Kd), (We) and drying conditions during the decreasing rate

drying section	heat-air temperature			Kd*	We
	t(°C)	tw(°C)	t-tw(°C)		
upper part	55.0	29.0	26.0	0.18	0.10
	60.0	30.0	30.0	0.24	0.10
	75.0	32.0	43.0	0.35	0.10
	100.0	37.0	63.0	0.63	0.10
lower part	55.0	29.0	26.0	0.14	0.06
	60.0	30.0	30.0	0.19	0.06
	75.0	32.0	43.0	0.27	0.06
	100.0	37.0	63.0	0.55	0.06

* Kd: gradient of decreasing rate drying speed

先端部の場合

$$K_{d1} = 4.5(t - t_w)^{1.21} \times 10^{-3}$$

— (II-14)

根元部の場合

$$K_{d2} = 1.6(t - t_w)^{1.39} \times 10^{-3}$$

— (II-15)

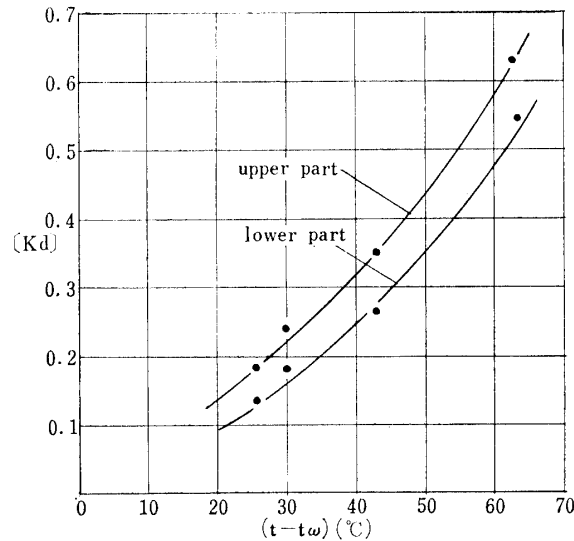


Fig. II-15. Relationship between [Kd] and (t-tw) in the case of lower, upper part of rushes

また乾燥速度 $(\phi_d)_{15min}$ および毎時乾燥速度 ϕ_d は、

先端部の場合

$$(\phi_d)_{-15min} = 4.5(t - t_w)^{1.21}(W_0 - 0.10) \times 10^{-3}$$

$$\phi_{d1} = 1.8(t - t_w)^{1.21}(W_0 - 0.10) \times 10^{-2}$$

— (II-16)

根元部の場合

$$(\phi_d)_{-15min} = 1.6(t - t_w)^{1.39}(W_0 - 0.06) \times 10^{-3}$$

$$\phi_{d2} = 6.4(t - t_w)^{1.39}(W_0 - 0.06) \times 10^{-3}$$

— (II-17)

根元部, および先端部の乾燥速度比 ϕ_{d2}/ϕ_{d1} は, 近似的に (II-18) 式で与えられる.

$$\phi_{d2}/\phi_{d1} = 0.36(t - t_w)^{0.28}$$

— (II-18)

3. イ草における乾燥所要時間

含水比 W_1 から, W_2 まで乾燥するに要する時間 $[\theta]$ は, 次式で表わされる.

先端の場合
$$[\theta] = \frac{0.556}{(t-t_w) \times 10^{-2}} \log \frac{(W_1-0.10)}{(W_2-0.10)} (hr) \quad \text{--- (II-19)}$$

根元の場合
$$[\theta] = \frac{0.156}{(t-t_w) \times 10^{-3}} \log \frac{(W_1-0.06)}{(W_2-0.06)} (hr) \quad \text{--- (II-20)}$$

実際に乾燥時間を算定する場合、最も乾燥しにくい根元部を基準にして行なうのが妥当である。

第5節 レンゲにおける乾燥特性

I. 乾燥条件および実験結果

落花後、刈取り時期におけるレンゲについて、実用的熱風温度 $40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ で、含水率の時間的変化を追跡し、その結果より、含水比対乾燥速度の関係を求めた結果は、Fig. II-16, および Fig. II-17 のようで、その場合の乾燥条件は、Tab. II-8 のようである。レンゲの場合、茎と葉との乾燥速度が、かなり異なっているところから、これを別々に乾燥した場合の、茎、葉別の含水比対乾燥速度の関係は、Fig. II-18, Fig. II-19 のようで、その時の乾燥条件は、Tab. II-9 のようである。

Tab. II-8. Drying conditions in the case of Milk vetches.
(stems and leaves as a whole)

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		G (Kg/hr)	moisture content (W. D)	Mw (Kg)	leaf/stem.
	t(°C)	tw(°C)	Ha(Kg/Kg)	Hr(%)				
V-1	40.0±1.0	25.1	0.014	28.0	162.36	80.8	0.4	11.0/14.0
V-2	60.0±1.0	29.8	0.015	10.0	162.36	84.0	0.4	11.0/14.5
V-3	80.0±1.0	34.0	0.017	3.0	162.36	80.0	0.4	12.0/15.0

Tab. II-9. Drying conditions in the case of Milk vetches.
(stems and leaves)

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		drying section	G (Kg/hr)	Initial moisture content	Mw (Kg)
	T(°C)	Tw(°C)	Ha(Kg/Kg)	Hr(%)			Wd(%)	
V-4	44.0±0.2	28.0±0.2	0.018	27.9	leaf	368.28	84.0	0.2
V-5	38.7±0.1	26.8±0.1	0.017	40.0	"	368.28	86.5	0.2
V-6	33.7±0.1	25.6±0.3	0.017	53.5	"	368.28	87.8	0.2
V-7	33.5±0.2	26.3±0.2	0.018	58.0	"	368.28	87.0	0.2
V-8	28.5±0.2	24.6±0.2	0.019	81.0	"	368.28	86.5	0.2
V-9	45.7±0.2	27.8±0.2	0.017	22.0	stem	368.28	85.0	0.2
V-10	38.2±0.1	26.4±0.1	0.016	40.0	"	368.28	85.1	0.2
V-11	33.8±0.1	25.6±0.1	0.017	52.0	"	368.28	85.2	0.2
V-12	33.6±0.1	26.3±0.1	0.017	57.0	"	368.28	85.0	0.2
V-13	28.6±0.2	24.7±0.2	0.018	75.0	"	368.28	85.0	0.2

II. 実験結果の整理および考察

1. レンゲの乾燥特性曲線

レンゲは、葉、葉柄、茎の3部分に大別され、そのそれぞれの乾燥速度は異なる。茎および葉の乾燥特性曲線は、Fig. II-18, II-19 に示すように、共に乾燥速度が含水比に比例して低下する〔I〕型に属する。またそれらの集合体であるレンゲ全体からの乾燥特性曲線も、〔I〕型であるが、熱風温度が高くなるにつれて、〔I〕型から〔II〕型に移行する傾向が認められる。

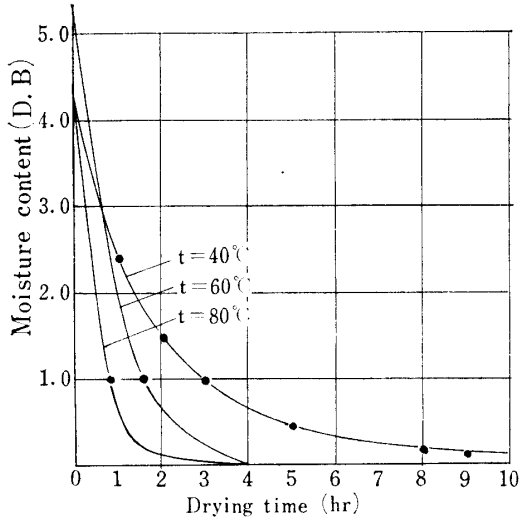


Fig. V-16. Relationship between drying time and moisture content in the case of Milk vetches (range of temp. 40°C~80.0°C)

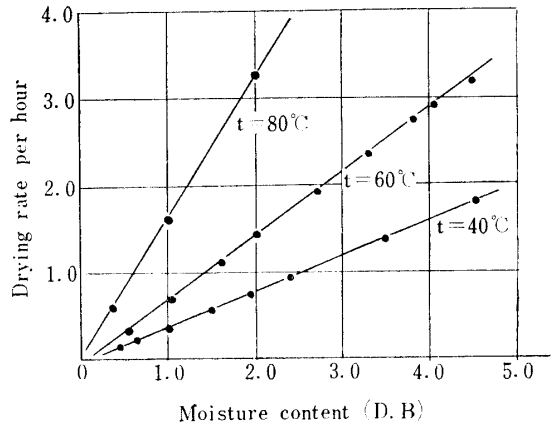


Fig. II-17. Drying characteristic curves in the case of Milk vetches (including stems and leaves)

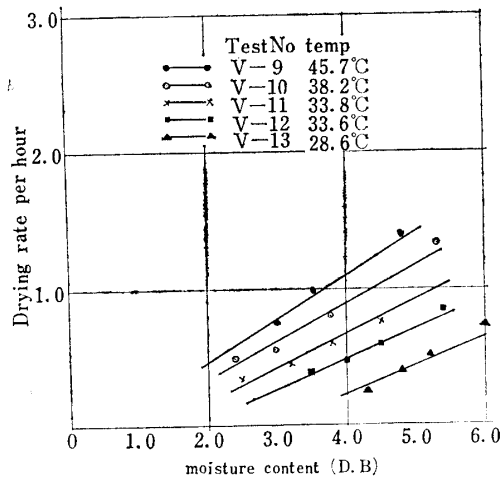


Fig. II-18. Drying characteristic curves in the case of stems of Milk vetches (Test No. V-6~V-13)

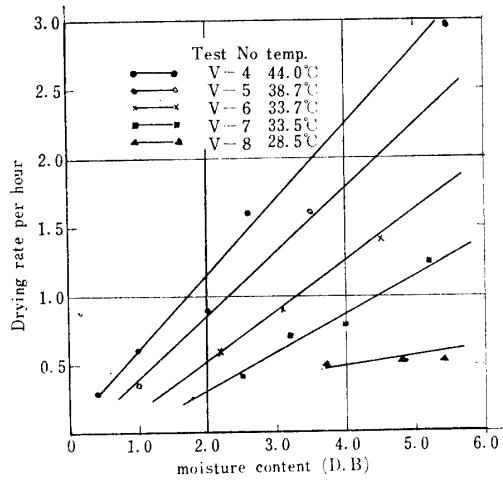


Fig. II-19. Drying characteristic curves in the case of Milk vetches (Test No. V-4~V-8)

2. 熱風条件と乾燥速度

A) レンゲの茎の場合

レンゲの乾燥において、最も乾燥しにくい部分である茎の場合、各熱風条件下における減率乾燥速度 $[\phi_{d1}]$ と乾量基準含水比 (W_0) との間には、次の関係が認められた。

$$t=45.7^\circ\text{C}, t_w=27.8^\circ\text{C}, \phi_{d1}=0.369 (W_0+0.1)$$

$$t=38.2^\circ\text{C}, t_w=26.4^\circ\text{C}, \phi_{d1}=0.296 (W_0-0.2)$$

$$t=33.8^\circ\text{C}, t_w=25.6^\circ\text{C}, \phi_{d1}=0.120 (W_0-0.45)$$

$$t=33.6^\circ\text{C}, t_w=26.3^\circ\text{C}, \phi_{d1}=0.090 (W_0-0.51)$$

— (II-21)

(II-21) 式より、 K_d と $(t-t_w)$ との関係をプロットすれば、Fig. II-20 の (No. 1) のようになり次の関係式が与えられる。

$$K_d = 4.0(t-t_w)^{1.52} \times 10^{-3} \quad \text{--- (II-22)}$$

ゆえに乾燥条件 $(t-t_w)$, 乾量基準含水比 (W_0) における減率乾燥速度 (ϕ_{d1}) は次式で与えられる.

$$\phi_{d1} = 4.0(t-t_w)^{1.52}(W_0 - W_e) \times 10^{-3} \quad \text{--- (II-23)}$$

(II-23) 式において, 平衡含水比 (W_e) は極めて微小値であるので, これを省略すれば, 次の近似式で算定できる.

$$\phi_d \doteq 4.0(t-t_w)^{1.52}W_0 \times 10^{-3} \quad \text{--- (II-24)}$$

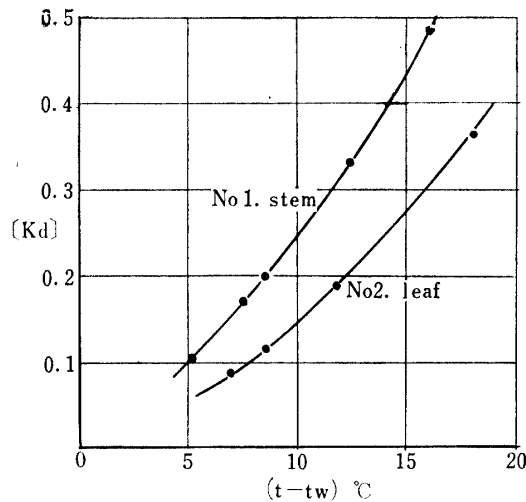


Fig. II-20. Relationship between [Kd] and $(t-t_w)$ in the case of stems and leaves of Milk vetches.

B) レンゲ葉の場合

茎の場合と同様, 減率乾燥速度 (ϕ_{d2}) と, 乾量基準含水率 (W_0) との間には, 次の関係式が与えられた.

$$\begin{aligned} t=44.0^{\circ}C, t_w=28.0^{\circ}C & \quad \phi_{d2}=0.475 (W_0+0.35) \\ t=38.7^{\circ}C, t_w=62.8^{\circ}C & \quad \phi_{d2}=0.330 (W_0+0.01) \\ t=33.7^{\circ}C, t_w=25.6^{\circ}C & \quad \phi_{d2}=0.185 (W_0-0.30) \\ t=33.5^{\circ}C, t_w=26.3^{\circ}C & \quad \phi_{d2}=0.150 (W_0-0.60) \end{aligned} \quad \text{--- (II-25)}$$

(II-25) 式より K_{d2} と $(t-t_w)$ との関係をプロットすれば, Fig. II-20 の No. 2 のようになり, 次の関係式が与えられる.

$$K_{d2} = 1.2 (t-t_w)^{1.32} \times 10^{-2} \quad \text{--- (II-26)}$$

(II-25) (II-26) 式より乾燥速度 ϕ_{d2} は

$$\phi_{d2} = 1.2(t-t_w)^{1.32}(W_0 - W_e) \times 10^{-2} \quad \text{--- (II-27)}$$

また $\phi_d=0$ のときの含水比 (乾量基準) はこの熱風の範囲では, 近似的に次式で与えられる.

$$W_e = 0.88 - 0.07(t-t_w) \quad \text{(II-28)}$$

したがって, 茎, 葉の乾燥速度比は,

$$\phi_{d1}/\phi_{d2} \doteq \frac{4.0(t-t_w)^{1.52} \times 10^{-3}}{1.2(t-t_w)^{1.32} \times 10^{-2}} = 3.33(t-t_w)^{0.3} \times 10^{-1} \quad \text{--- (II-29)}$$

たとえば, $(t-t_w)=30^\circ\text{C}$ における茎葉乾燥速度比は,

$$\frac{\phi_{d1}}{\phi_{d2}} = 3.33(30)^{0.3} \times 10^{-1} = 0.92$$

$(t-t_w)=20^\circ\text{C}$ の場合は,

$$\frac{\phi_{d1}}{\phi_{d2}} = 3.33(20)^{0.3} \times 10^{-1} = 0.82$$

すなわち ϕ_{d1}/ϕ_{d2} の値は, 熱風温度が低下すれば低くなり, 茎葉の乾燥速度差は, 多くなる この結果, 低温通風乾燥などでは, 特に較差が大きくなる。

C) レンゲ全体からの乾燥速度

乾燥前の生重量比で茎/葉=0.76 の場合において熱風条件を $40^\circ\text{C}\sim 80^\circ\text{C}$ で乾燥した場合の乾燥速度 (ϕ_d) と乾量基準含水比 (W_0) との関係は, 次のようであった。

$$\begin{aligned} t=40^\circ\text{C}, t_w=25.1^\circ\text{C} \quad \phi_d &= 0.36 \cdot W_0 \\ t=60^\circ\text{C}, t_w=29.8^\circ\text{C} \quad \phi_d &= 0.95 \cdot W_0 \\ t=80^\circ\text{C}, t_w=34.0^\circ\text{C} \quad \phi_d &= 1.79 \cdot W_0 \end{aligned} \quad \text{--- (II-30)}$$

(II-30) 式より $(t-t_w)$ と K_d との関係は, 前と同様にして, 次の式で与えられる。

$$K_d = 6.4 (t-t_w)^{1.48} \times 10^{-3} \quad \text{--- (II-31)}$$

したがって, レンゲ全体からの乾燥速度 (ϕ_d) は (II-32) 式で示される。

$$\phi_d = 6.4(t-t_w)^{1.48} \times W_0 \times 10^{-3} \quad \text{--- (II-32)}$$

3. レンゲの通気乾燥所要時間

乾量基準含水比 (W_1) より (W_2) に乾燥するに要する時間 (θ) は, 前述方法により, (II-33) 式で与えられる。

$$\theta = \frac{1}{K_d} \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \div \frac{\log \left(\frac{W_1}{W_2} \right)}{6.4(t-t_w)^{1.48} \times 10^{-3}} \text{ (hr)} \quad \text{--- (II-33)}$$

第6節 エンバクにおける乾燥特性

I. 乾燥条件および実験結果

禾本科飼料作物のひとつとして, 青刈りエンバクについて熱風温度 $30^\circ\text{C}\sim 51^\circ\text{C}$ の範囲で乾燥した。その結果含水率の時間的变化, および含水比対乾燥速度の関係は, Fig. II-21, および Fig. II-22 のようで, この時の乾燥条件は, Fig. II-10 のようである。

Tab. II-10. Drying conditions in the case of Oats.

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		G Kg/hr	Initial moisture content Wd(%)	Mw (Kg)	grass height (cm)
	T(°C)	Tw(°C)	Ha(kg/kg)	Hr(%)				
VI-1	51.0	24.5	0.010	11.0	119.0	79.4	2.0	60.6
VI-2	42.0	21.0	0.007	14.0	112.0	77.0	2.0	60.6
VI-3	30.0	18.0	0.009	30.0	110.0	78.1	2.0	60.6

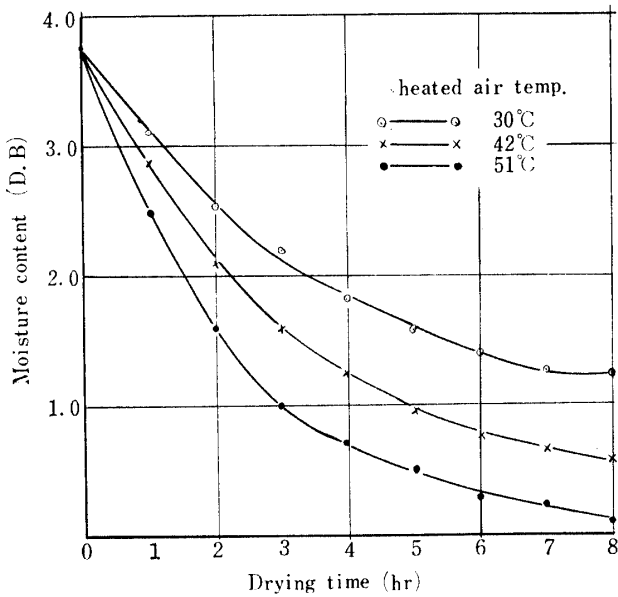


Fig. II-21. Relationship between drying time and moisture content in the case of Oats (range of heat-air-temp. 30°C~51°C)

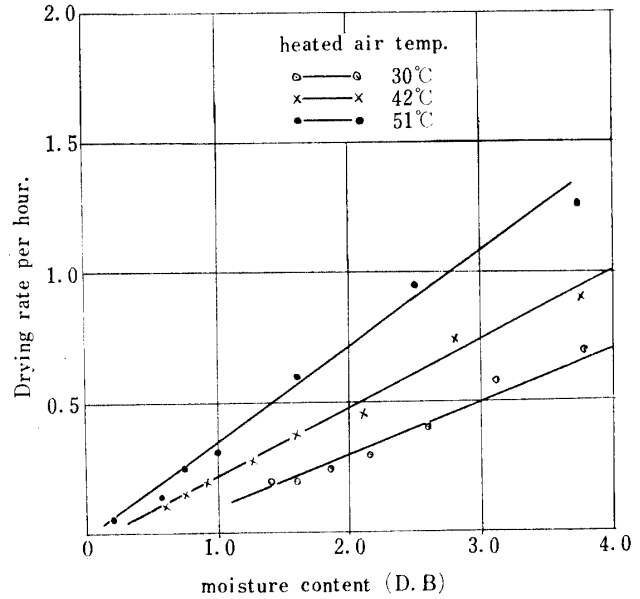


Fig. II-22. Drying characteristic curves in the case of Oats (range of heat air temp. 30°C-51°C)

II. 実験結果の整理および考察

1. エンバクの乾燥特性曲線

エンバクの乾燥特性曲線は〔I〕型に属し、減率乾燥速度は乾量基準含水比に比例して減少する。この植物も、葉先、根元あるいは刈取り時期によって、その乾燥速度も異なるがこの試験の場合は草丈 60 cm のものを 15 cm に切断しそれを混合して行なったもので葉先、根元が実際的な混入割合のものと考えて差支えない。

2. 熱風条件と乾燥速度

50°C~30°C の熱風温度で乾燥した場合の減率乾燥速度 (ϕ_d) と乾量基準含水比 (W_0) との、関係は次のようであった。

$$\begin{aligned} t=51.0^\circ\text{C}, t_w=24.5^\circ\text{C}, \phi_d=0.39 (W-0.05) \\ t=42.0^\circ\text{C}, t_w=22.0^\circ\text{C}, \phi_d=0.28 (W-0.25) \\ t=32.0^\circ\text{C}, t_w=16.0^\circ\text{C}, \phi_d=0.21 (W-0.50) \end{aligned} \quad \text{--- (II-34)}$$

(II-34) 式より K_d と $(t-t_w)$ をプロットすれば、Fig. II-23 のようになり、次の式が与えられる

$$K_d = 3.7(t-t_w)^{1.46} \times 10^{-3} \quad \text{--- (II-35)}$$

したがって乾燥速度 (ϕ_d) は、(II-34) (II-35) 式より

$$\phi_d = 3.7(t-t_w)^{1.46}(W_0 - W_e) \times 10^{-3} \quad \text{--- (II-36)}$$

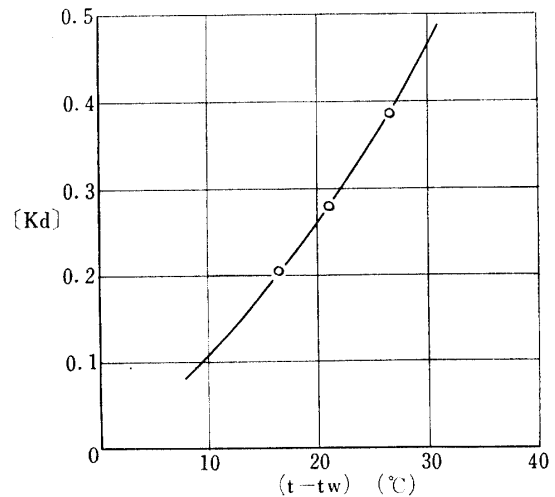


Fig. II-23. [Kd] and (t-tw) curve in the case of Oats

3. エンバクにおける乾燥所要時間

乾量基準含水比 W_1 から W_2 まで乾燥するに要する時間 $[\theta]$ は、次の式で与えられる。

$$[\theta] = \frac{1}{K_d} \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right) = \frac{0.27 \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right)}{(t - t_w) \times 10^{-3}} \text{ (hr)} \quad \text{--- (II-37)}$$

たとえば、 $t=50^\circ\text{C}$, $t_w=25^\circ\text{C}$ の乾燥条件で乾量基準含水比 4.5 から 0.5 まで乾燥するに要する時間は、

$$[\theta] = \frac{1}{K_d} \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right) = 0.39 (3.81 - 1.61) = 5.6 \text{ (hr)}$$

第7節 ラジノクローバーにおける乾燥特性

I. 乾燥条件および実験結果

ラジノクローバー全体から、 $25.5^\circ\text{C} \sim 80.0^\circ\text{C}$ の実用熱風温度における含水比の時間的变化、および含水比対乾燥速度との関係は、Fig. II-24, II-25 のようでその時の乾燥条件は Tab. II-11 のようである。

Tab. II-11. Drying conditions in the case of Radino clovers.

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		G (Kg/hr)	Initial moisture content	Mw (Kg)
	T(°C)	Tw(°C)	Ha(Kg/Kg)	Hr(%)		Wd(%)	
VII-1	25.5	20.0	0.013	62.0	138.6	79.2	0.2
VII-2	34.5	23.6	0.017	40.0	138.6	80.0	0.2
VII-3	50.0	33.2	0.027	29.5	138.6	78.1	0.2
VII-4	40.0	27.0	0.016	35.5	138.6	79.5	0.4
VII-5	60.0	32.0	0.017	12.0	138.6	83.6	0.4
VII-6	80.0	34.0	0.014	3.0	138.6	86.8	0.4

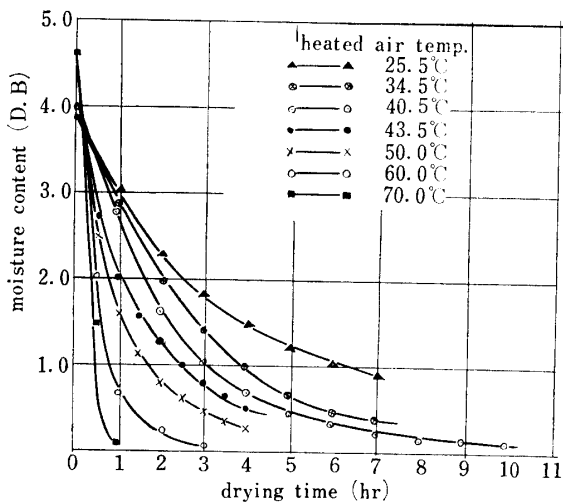


Fig. II-24. Relationship between drying time and moisture content in the case of Radino-clovers (range of heat-air temp. $25.5^\circ\text{C} \sim 70.0^\circ\text{C}$)

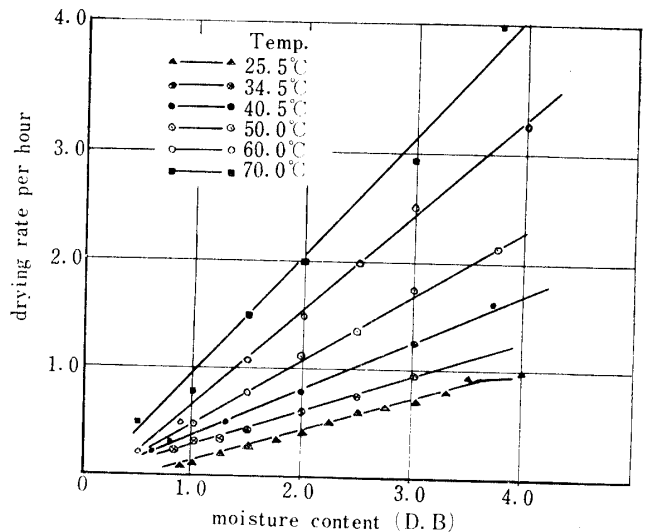


Fig. II-25. Drying characteristic curves in the case of Radino-clovers (range of heat-air temp. $25.5^\circ\text{C} \sim 70.0^\circ\text{C}$)

II. 実験結果の整理および考察

1. クローバーの乾燥特性曲線

Fig. II-25 のように、 35°C 以上の熱風の場合には、その含水比対乾燥速度は、直線的でその乾燥特性曲線は〔I〕型に属する。

2. 各熱風条件と乾燥速度の関係

実験結果より、各乾燥条件における減率乾燥速度 (ϕ_d) と乾量基準含水比 (W_0) の関係は、次のようである。

$$\begin{aligned} t=34.5^{\circ}\text{C}, t_w=23.6^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.28 (W_0-0.3) \\ t=50.0^{\circ}\text{C}, t_w=26.0^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.402(W_0-0.3) \\ t=50.0^{\circ}\text{C}, t_w=27.5^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.710(W_0-0.3) \\ t=60.0^{\circ}\text{C}, t_w=31.0^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.98 (W_0-0.3) \\ t=80.0^{\circ}\text{C}, t_w=33.0^{\circ}\text{C}, \phi_d=1.70 (W_0-0.3) \end{aligned} \quad \text{— (II-38)}$$

(II-38) 式より $(t-t_w)$ と K_d との関係は、Fig. II-26 のようで、近似的に (II-39) 式が成立する。

$$K_d=1.8(t-t_w)^{1.2} \times 10^{-2} \quad \text{— (II-39)}$$

したがって、(II-38), (II-39) 式より

$$\phi_d=0.018(t-t_w)^{1.2}(W-0.3) \quad \text{— (II-40)}$$

熱風条件 $(t-t_w)$ がわかれば、それぞれの、乾量基準含水比 (W_0) に対する減率乾燥速度が算定できる。

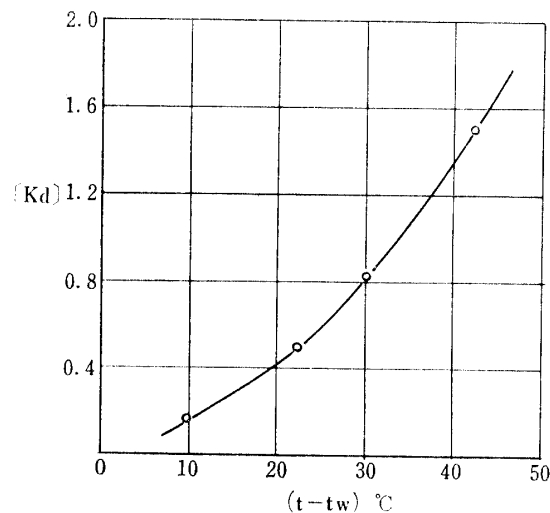


Fig. II-26. Relationship between [K_d] and $(t-t_w)$ in the case of Radino-clovers

3. クローバーの通気乾燥における乾燥所要時間

乾燥基準含水比 (W_1) から (W_2) まで乾燥するに要する時間 $[\theta]$ は、減率乾燥速度 (K_d) を使用して、次式で与えられる。

$$\theta = \frac{\log\left(\frac{W_1-0.3}{W_2-0.3}\right)}{0.018 (t-t_w)^{1.2}} \text{ (hr)} \quad \text{— (II-41)}$$

第8節 切干しかんしょにおける乾燥特性

I. 乾燥条件

切干し形式は、線切りとし、長さ 80 mm, 厚さ 2.0 mm, 3.5 mm, 5.0 mm, について、50°C~25°C の熱風温度で乾燥した。乾燥条件は、Tab. II-12 に示す。

Tab. II-12. Drying conditions in the case of slenderly-cut-Sweet potatoes.

Test No.	heat air temperature		Ha (Kg/Kg)	G (Kg/hr)	Initial moisture content Wd(%)	Mw (Kg)	sample		
	T(°C)	Tw(°C)					length	thickness	width
VIII-1	50.0	24.0	0.0104	39.6	65.8	1.0	8.0	3.5	10
VIII-2	35.0	17.5	0.0055	39.6	65.5	1.0	8.0	5.0	10
VIII-3	35.0	17.5	0.0055	39.6	66.1	1.0	8.0	3.5	10
VIII-4	35.0	17.5	0.0055	39.6	69.1	1.0	8.0	2.0	10
VIII-5	25.0	14.0	0.0055	39.6	65.7	1.0	8.0	3.5	10

II. 実験結果

1. 厚さを異にした場合の乾燥速度

熱風温度 35°C の一定温度で厚さが 5.0 mm, 3.5 mm, 2.0 mm の場合のそれぞれの含水比の時間的变化, および含水比対乾燥速度の実験結果は Fig. II-27, Fig. II-28 に示す。

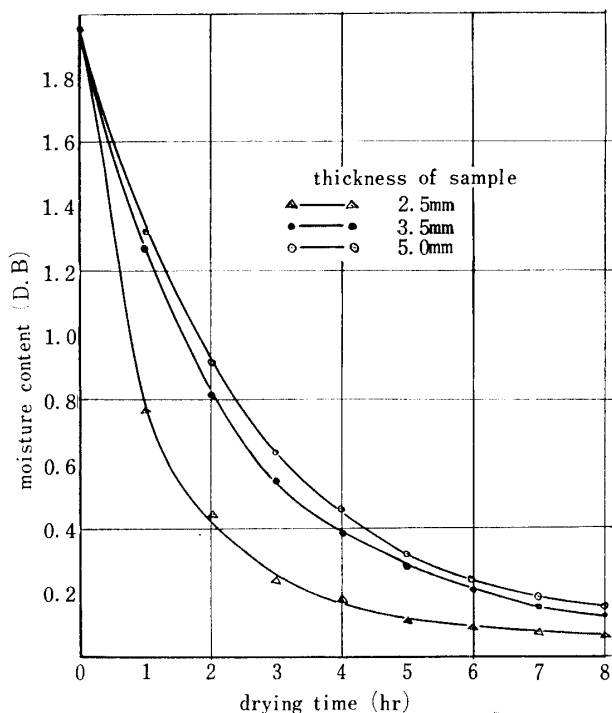


Fig. II-27. Relationship between drying time and moisture content in the case of slenderly-cut-sweet-potatoes under different thickness

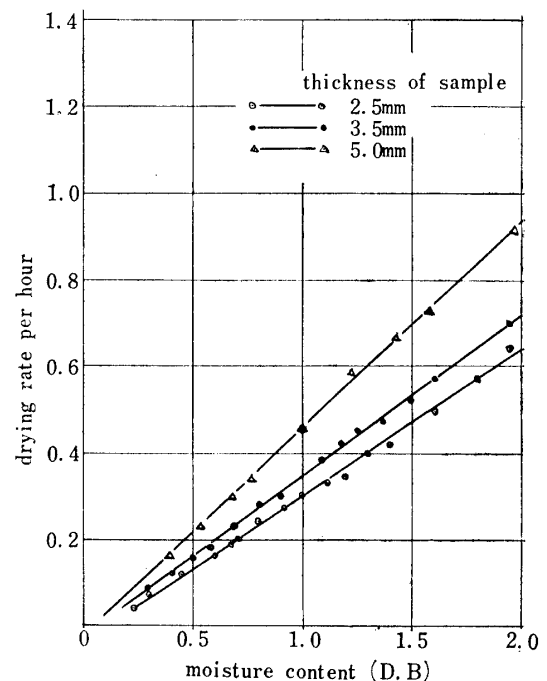


Fig. II-28. Drying characteristic curves in the case of slenderly-cut-sweet-potatoes at each thickness

2. 熱風温度を異にした場合の乾燥速度

厚さ 3.5 mm の切干しかんしょについて、熱風温度 50°C, 35°C, 25°C の場合の含水比の時間的変

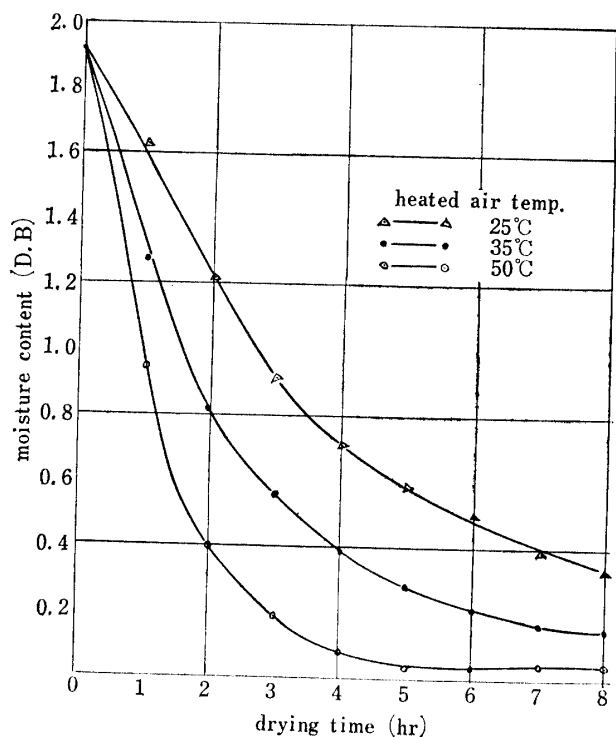


Fig. II-29. Relationship between drying time and moisture content in the case of slenderly-cut-sweet-potatoes at different heated-air temperature

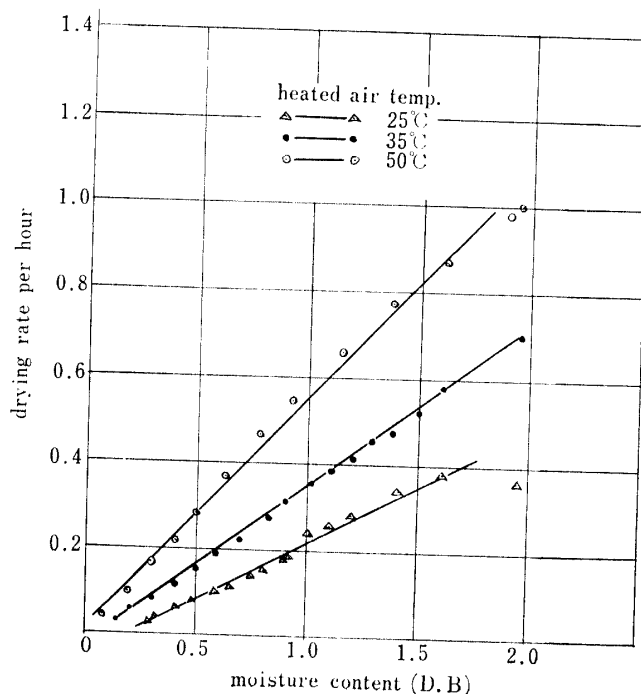


Fig. II-30. Drying characteristic curves in the case of slenderly-cut-sweet-potatoes at different heat-air temperature.

化, および含水比対乾燥速度の実験結果は, Fig. II-29, Fig. II-30 に示す.

III. 実験結果および考察

1. 切干しかんしょの乾燥特性の形式

Fig. II-28, Fig. II-29 に示すように, 減率乾燥速度は, 乾量基準含水比に比例して減少する. したがって乾燥特性曲線は [I] 型に属する.

2. 熱風条件と乾燥速度の関係

実験結果より, 各熱風条件における乾燥速度 (ϕ_d) と乾量基準含水比 (W_0) との関係は (II-42) 式のように $\phi_d = K_d(W_0 - W_e)$ の一般式が成立する.

$$t = 50^\circ\text{C}, t_w = 24.0^\circ\text{C}, \phi_d = 0.560 (W_0 - 0.01)$$

$$t = 35^\circ\text{C}, t_w = 17.5^\circ\text{C}, \phi_d = 0.38 (W_0 - 0.05)$$

$$t = 25^\circ\text{C}, t_w = 14.0^\circ\text{C}, \phi_d = 0.26 (W_0 - 0.26)$$

— (II-42)

切断厚さ, 3.5mm における $(t - t_w)$ と K_d との関係は, Fig. II-31 のようで, その実験式は, (II-43), に示す.

$$K_d = 0.276(t - t_w)^{0.96} \quad \text{— (II-43)}$$

したがって乾燥速度 ϕ_d は

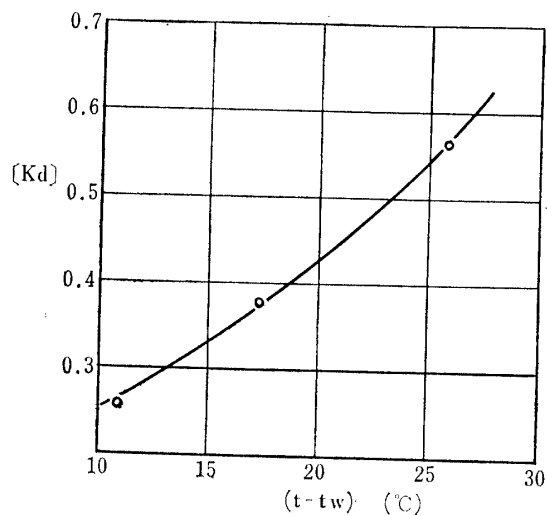


Fig. II-31. Relationship between [Kd] and $(t - t_w)$ in the case of same thickness (=3.5mm)

$$\phi_d \doteq 0.276(t-t_w)^{0.96}(W_0-W_e) \quad \text{— (II-44)}$$

すなわち、乾燥速度は、 $(t-t_w)$ および、乾量基準含水比 (W_0) に比例する。

3. 切干しかんしょの切断厚さと乾燥速度

切断厚さと、乾燥速度を検討するため、厚さ 5.0 mm, 3.5 mm, 2.0 mm で、巾 10 mm, 長さ 80 mm のものについて比較した結果 (Fig. II-27, Fig. II-28 参照) 各厚さごとの乾燥速度 (ϕ_d) と乾量基準含水比 (W_0) との関係は、次のようである。

$$\begin{aligned} \text{切断厚さ } 5.0 \text{ mm の場合, } \phi_d &= 0.33 (W-0.06) \\ \text{切断厚さ } 3.5 \text{ mm の場合, } \phi_d &= 0.38 (W-0.05) \\ \text{切断厚さ } 2.5 \text{ mm の場合, } \phi_d &= 0.64 (W-0.05) \end{aligned} \quad \text{— (II-45)}$$

(II-45) 式より、乾燥速度勾配 (K_d) と、切断厚さ $(X \text{ mm})$ との関係をプロットすれば、Fig. II-32 のようになり、次の式で与えられる。

$$K_d = 2.7X^{-2.0} + 0.2 \quad \text{— (II-46)}$$

したがって、(II-45)、(II-46) 式より、切断厚さ $(X \text{ mm})$ と、乾燥速度 ϕ_d との関係は、同一乾燥条件では、

$$\phi_d = (2.7X^{-2.0} + 0.2) (W-0.05) \quad \text{— (II-47)}$$

で示され乾燥速度は、切断厚さの 2 乗に逆比例する。

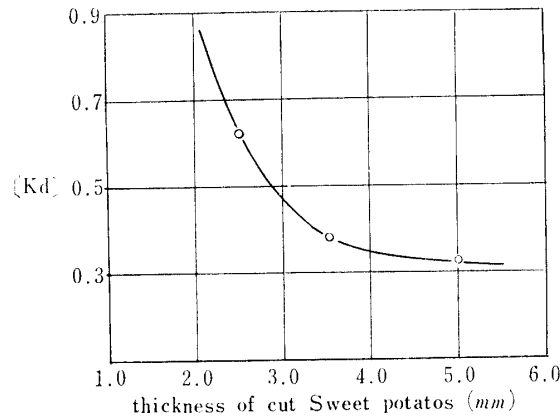


Fig. II-32. Relationship between $[K_d]$ and thickness of cut-sweet-potatoes in the case of constant heat-air temp.

4. 切干しかんしょにおける乾燥所要時間

含水比 W_1 から W_2 まで乾燥するに要する時間 $[\theta]$ は、切断厚さ 3.5 mm においては、(II-48) 式で近似的に与えられる。

$$[\theta] = \frac{\log \left(\frac{W_1 - W_e}{W_2 - W_e} \right)}{0.276(t-t_w)^{0.96}} = \frac{\log \left[\frac{W_1}{W_2} \right]}{0.276(t-t_w)} \quad \text{(hr)} \quad \text{— (II-48)}$$

第9節 こんにゃくいもにおける乾燥特性

I. 乾燥条件

切断形式は、輪切りとし、厚さ 15 mm, 7.5 mm, 3.8 mm について、 $50^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$ の熱風温度で乾

Tab. II-13. Drying conditions in the case of sliced Konnyaku.
(Amorphophalus konjac koch)

Test No.	sample thickness (mm)	heat air temperature		Ha (Kg/Kg)	G (Kg/hr)	Initial moisture content		Mw (Kg)
		T(°C)	Tw(°C)			Wd(%)		
IX-1	7.5	90.0	37.5	0.020	39.6	3.32	0.5	
IX-2	15.0	65.0	33.0	0.018	39.6	4.02	0.5	
IY-3	7.5	65.0	33.0	"	39.6	4.02	0.5	
IX-4	3.8	65.0	33.0	"	39.6	4.03	0.5	
IX-5	7.5	60.0	33.0	0.020	39.6	3.50	0.5	
IX-6	7.5	50.0	30.0	0.019	39.6	3.42	0.5	

燥した。熱風条件は、Tab. II-13 に示す。

II. 実験結果

1. 切断厚さを異にした場合の乾燥速度

実用熱風温度 65°C で厚さが 15.0 mm, 7.5 mm, 3.8 mm の場合、含水比対乾燥時間、および含水

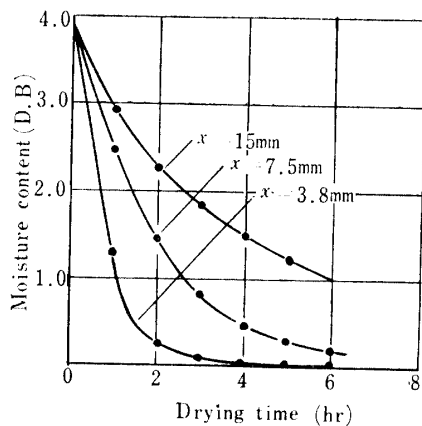


Fig. II-33. Relationship between drying time and moisture content in the case of different thickness of sliced-Konnyaku

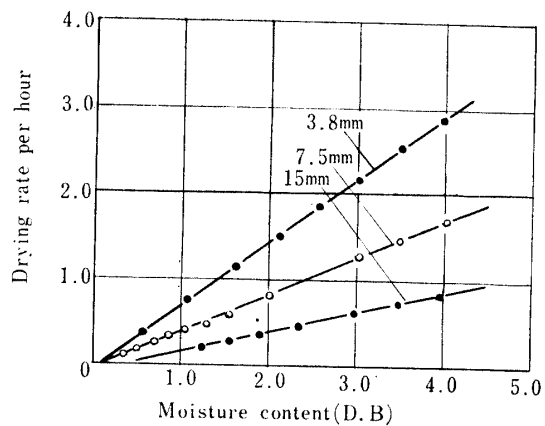


Fig. II-34. Drying characteristic curves in the case of different thickness of sliced-Konnyaku

比対乾燥速度の実験結果は、Fig. II-33, Fig. II-34 に示す。

2. 熱風温度を異にした場合の乾燥速度

切断厚さ 7.5mm で、熱風温度が 90°C, 65°C, 60°C, 50°C の場合の含水比対乾燥速度の実験結果は、Fig. II-35 に示す。

III. 実験結果の整理および考察

1. こんにゃくいもの乾燥特性曲線

Fig. II-34, Fig. II-35 に示すように、含水比対乾燥速度は、直線と見なされる。したがって乾燥特性曲線は、〔I〕型に属し、乾燥の主体は、

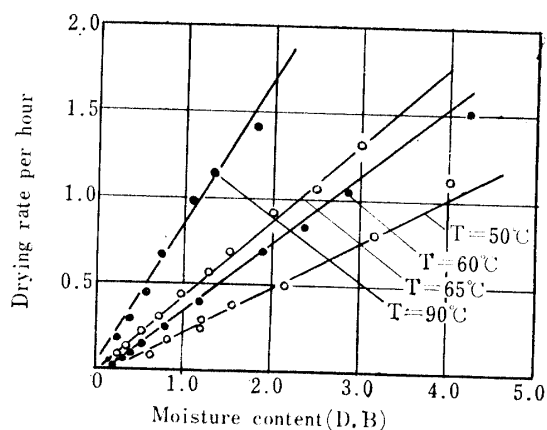


Fig. II-35. Drying characteristic curves in the case of each heat air temperature of sliced-Konnyaku

毛管脱水である。切断厚さ、熱風温度が変化しても、この傾向は同一である。

2. 熱風条件と乾燥速度

各熱風条件において、厚さ一定 (7.5mm) の輪切りこんにゃくにゃくいもの、乾燥速度 (ϕ_d) と乾量基準含水比 (W_0) との間に次の実験式が成立する。

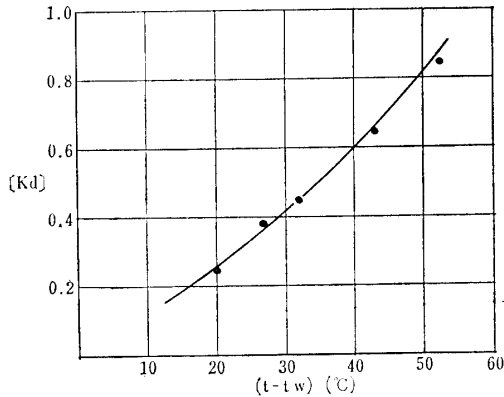


Fig. II-36. Relationship between $[K_d]$ and $(t-t_w)$ in the case of constant thickness of sliced-Konnyaku

$$t=90.0^{\circ}\text{C}, t_w=37.5^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.96 W_0$$

$$t=65.0^{\circ}\text{C}, t_w=33.0^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.45 W_0$$

$$t=60.0^{\circ}\text{C}, t_w=33.0^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.385W_0$$

$$t=50.0^{\circ}\text{C}, t_w=30.0^{\circ}\text{C}, \phi_d=0.240W_0$$

— (II-49)

したがって (II-49) 式より K_d と $(t-t_w)$ との関係をプロットすれば、Fig. II-36 のようになり次の実験式で示される。

$$K_d=4.8(t-t_w)^{1.26} \times 10^{-3} \quad (\text{II-50})$$

(II-49), (II-50) 式より、減率乾燥速度の一般式は (II-51) 式で表わされる。

$$\phi_d=4.8(t-t_w)^{1.26} \times W_0 \times 10^{-3} \quad (\text{II-51})$$

3. 輪切りの厚さが乾燥速度におよぼす影響

輪切りこんにゃくにゃくいものを実用熱風温度 65°C ($t_w=33.0^{\circ}\text{C}$) で乾燥した場合、それぞれの厚さごとの、 ϕ_d と W_0 との間には、次の実験式が得られた。

$$\text{厚さ } 15.0\text{mm}, \phi_d=0.32 (W_0-W_e)$$

$$\text{厚さ } 7.5\text{mm}, \phi_d=0.45 (W_0-W_e)$$

$$\text{厚さ } 3.5\text{mm}, \phi_d=0.68 (W_0-W_e)$$

— (II-52)

したがって、これより K_d と切断厚さ ($X\text{mm}$) との関係をプロットすれば、Fig. II-37 のようになり、次の実験式で表わされる。

$$K_d=1.48X^{-1.26} \quad (\text{II-53})$$

すなわち乾燥速度は、厚さの 1.26 乗に反比例する。

4. 輪切りこんにゃくにおける乾燥所要時間

実用的厚さである 7.5mm の輪切りこんにゃくを含水比 W_1 から W_2 まで乾燥するに要する時間 $[\theta]$ は (II-54) 式で表わされる。

$$[\theta]=\frac{\log\left(\frac{W_1}{W_2}\right)}{K_d}=\frac{\log\left(\frac{W_1}{W_2}\right)}{4.8(t-t_w)^{1.26} \times 10^{-3}} \text{ (hr)} \quad (\text{II-54})$$

第 10 節 各農産物の乾燥速度の比較

この実験で、とり上げた各農産物を熱風乾燥した場合、すべての乾燥特性曲線が、形式 [I], あるいは、それに近似した型として、取扱われることが判明した。

実用的な、熱風温度下では、乾燥が急速に行なわれるため、減率 2 段の過程を待たずして、目的の

含水率まで低下するものと思われる。したがって、低含水率における減率2段の過程を省略して、各農産物の乾燥速度を比較しても、実用的には、充分と考えられる。

I. 乾燥速度の比較

減率期間における乾燥速度 (ϕ_d) は、一般に次式で与えられる。

$$[\phi_d] = (-dW/d\theta) = K_d(W - W_e) = K_d F = (-dF/d\theta) \quad \text{--- (II-55)}$$

ここで K_d ; 乾燥速度勾配

W_e ; 平衡含水率

F ; 自由含水率

熱風乾燥においても、平衡含水率は、極めて低く、一般的に、 $F \approx (W - W_e)$ と見なされる。したがって、乾燥速度を表わす指数として $[K_d]$ を求め、これを比較することにより、その乾燥物の乾燥速度を比較できる。 $[K_d]$ は送風量の影響を無視すれば、(供試重に対し送風量がきわめて大きい場合) 熱風温度における推進力 $(t - t_w)$ に左右され、一般に $K_d = \alpha(t - t_w)^n$ なる関係が認められた。(α, n 常数)

実験結果より、 α, n を各農産物ごとに求めた結果は、Tab. II-14 のようで、各熱風温度推進力 $(t - t_w)$ と K_d との関係を、Fig. II-37 に示す。

Fig. II-37 は、熱風温度による各農産物の変化を示しているが、乾燥速度の比較のおそいのは、除虫菊、イ草などの特用作物で牧草類の中では、エンバクや、

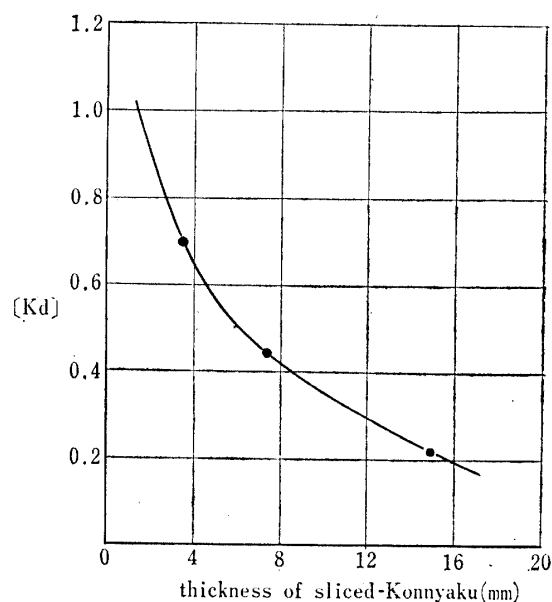
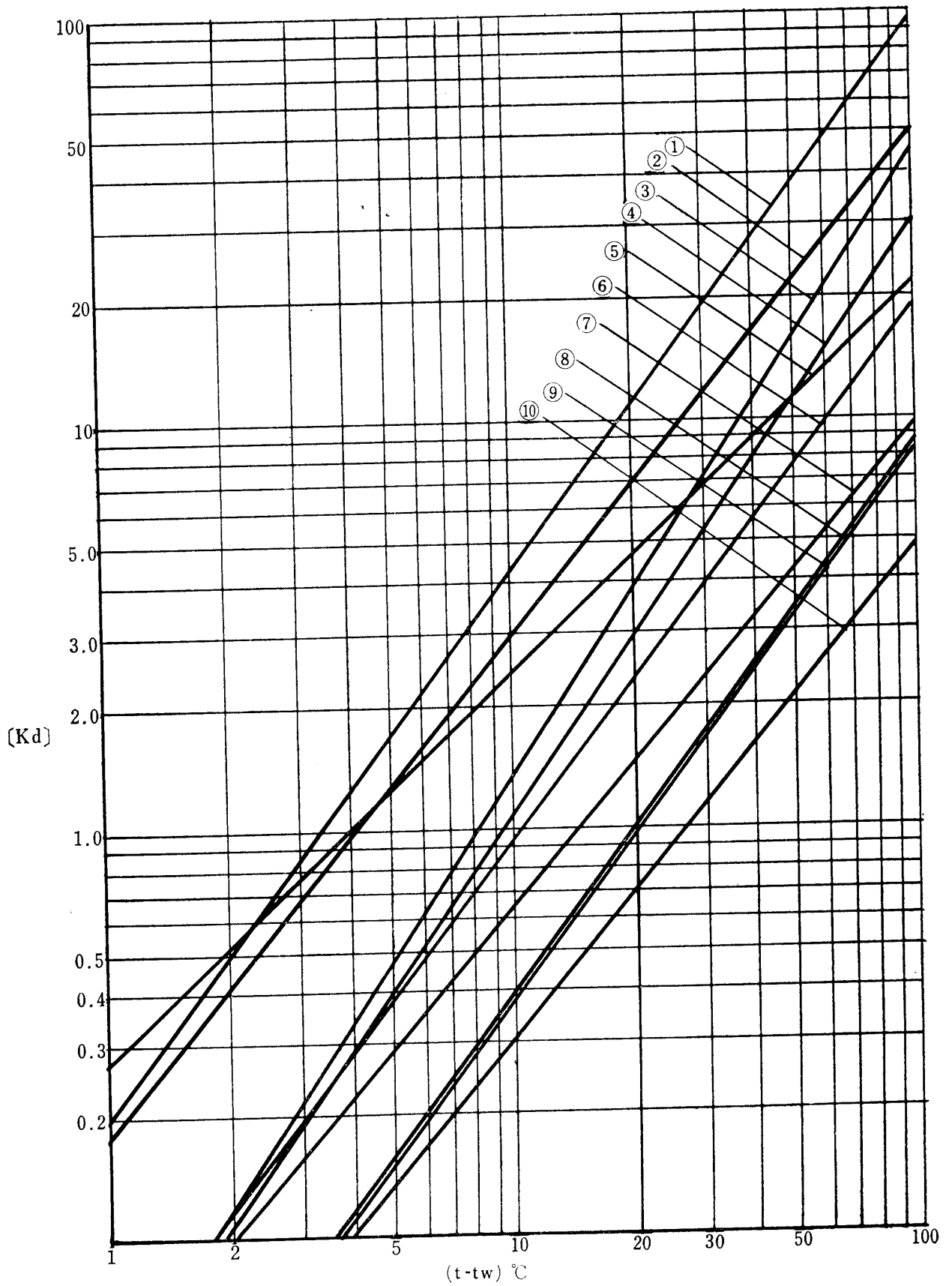


Fig. II-37. Relationship between $[K_d]$ and thickness of sliced-Konnyaku in the case of constant temperature ($=65^\circ C$)

Tab. II-14. Value of (α) and (n) of various Agricultural products.

Agricultural products	drying section	experimental coefficient		range of temperature	reference
		α	n		
Pyrethrum	flower as a whole	1.92×10^{-2}	1.53	$40^\circ C - 90^\circ C$	the former period of drying. the latter period of drying.
		2.00×10^{-2}	1.19		
Rush	upper	4.5×10^{-3}	1.21	$55^\circ C \sim 100^\circ C$	unused muds
	lower	1.6×10^{-3}	1.39		
Milk Vetch	stem	4.0×10^{-3}	1.52	$28.5^\circ C \sim 45.7^\circ C$ $40 \sim 80^\circ C$	cutting : 13 cm
	leaf	1.2×10^{-2}	1.32		
	stem and leaf (as a whole)	6.4×10^{-3}	1.48		
Oat	As a whole	3.7×10^{-3}	1.46	$32 \sim 51^\circ C$	grass length : 60 cm cutting : 10 cm
Radino clover	As a whole	1.8×10^{-2}	1.20	$25.5 \sim 80.0^\circ C$	—
Slenderly-cut-sweet-poteto		2.76×10^{-1}	0.96	$25 \sim 50^\circ C$	thickness : 3.5 mm
Sliced- Konnyaku		4.8×10^{-3}	1.26	$50 \sim 90^\circ C$	thickness : 7.5 mm
Wet-unhulled-rice		3.35×10^{-5}	1.87	$20 \sim 60^\circ C$	



- ① Milk vetch (leaf) ② Radino Clover ③ Milk vetch (stem) ④ Oat ⑤ Slenderly-cut-sweet-potatoes
 ⑥ Sliced-Konnyaku ⑦ Rush (upper part) ⑧ Pyrethrum (1st period of decreasing rate drying)
 ⑨ Rush (lower part) ⑩ Pyrethrum (2nd period of decreasing rate drying)

Fig. II-38. Relationship between [Kd] and (t-tw) in the case of each agricultural product

レンゲ茎がおそく、クローバーやレンゲ葉などははやい。熱風の効果の高いものとしては、やはり乾燥のおそい籾、除虫菊、イ草などで、低いものとして切干しかんしょなどがある。前者は主として内部水分蒸発が主体で水分勾配が乾燥速度を左右するのに対し、常数 n の値が少ない後者はむしろ毛管蒸発を主体としていると思われる。

同一作物における乾燥速度の異なったものから構成されているもの、たとえば、イ草、レンゲについてみると、高温になれば、その乾燥速度差は縮まる。このことは、高温乾燥において乾燥較差が低温の場合より少なくなることを意味している。また切干しかんしょのように低温の場合でも比較的よく乾燥するが高温になっても、乾燥速度増加率が少ないものもあるがこれは、高温急激乾燥において、切断面に蒸発を抑制する層を形成するものと思われる。

II. 各農産物における乾燥所要時間の比較

この実験では、経済風量を見捨て、かなりの送風量下で乾燥したが、この場合の乾燥所要時間のもつ意義は、実用的には、吹上循環乾燥方式による場合、あるいは、薄層に堆積されたバンド式通気乾燥方式の場合に応用できる。また各農産物の乾燥所要時間の比較に必要である。

前述したように、含水比 W_1 から W_2 まで乾燥するに要する時間 $[\theta]$ は、一般式として、

$$[\theta] = \frac{1}{K_d} \log \left(\frac{F_1}{F_2} \right) \doteq \frac{1}{K_d} \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right)$$

で与えられる。

(K_d) は $\alpha (t-t_w)^n$ として、与えられるが、 $(1/K_d)$ と $(t-t_w)$ との関係を各農産物ごとに示すと Tab. II-15 のようである。

Tab. II-15. Relationship between $(1/K_d)$ and $(t-t_w)$ of various agricultural products.

Agricultural products	$(t-t_w)^{\circ}C$						Reference
	10	20	30	40	50	60	
Pyrethrum.	3.225	1.408	0.869	0.625	0.467	0.377	as a whole lower part
Rush.	2.632	1.031	0.602	0.408	0.303	0.232	
Oat.	0.925	0.344	0.188	0.125	0.088	0.068	as a whole
Milk vetch.	0.740	0.256	0.139	0.091	0.063	0.048	as a whole
Radino clover.	0.338	0.144	0.086	0.061	0.046	0.037	as a whole
Slenderly-cut-sweet-potato	0.42	0.212	0.147	0.112	0.088	0.075	thickness=3.5 mm
Sliced-Konnyaku.	1.075	0.425	0.253	0.178	0.129	0.102	thickness=7.5 mm
Wet-unhulled rice.	7.142	4.348	3.030	2.083	—	—	—

第11節 摘要

1. 供試農作物として籾、特用作物(イ草、除虫菊)、飼料作物(エンバク、レンゲ、クローバー)、根茎類(切干しかんしょ、こんにゃく)をとりあげ、その乾燥特性を実験的に求めた。
2. 熱風乾燥におけるこれ等農産物の乾燥特性曲線は、乾燥速度が含水比に比例して減少する、いわゆる「I」型およびこれと類似の形式に属する。
3. 乾燥速度(ϕ_d)は、一般式(ϕ_d)= $K_d(W-W_e)$ で示されるが、熱風乾燥の場合、 W_e は、省略できる場合が多い。

(K_d ; 乾燥速度勾配)

4. 乾燥速度勾配(K_d)は、一般式 $K_d = \alpha(t-t_w)^n$ で示されるが、 α および n は農作物により異なった値をとる。この実験では、 $\alpha = 2.7 \times 10^{-1} \sim 3.35 \times 10^{-5}$ 、 $n = 0.96 \sim 1.87$ の範囲である。

5. 実用熱風温度 $40^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ において、乾燥速度の速さの順位は、次のようである。

(1) レンゲ (葉), クローバー, → (2) レンゲ (茎), 輪切りこんにゃく, 切干しかんしょ, エンバク → (3), イ草, 除虫菊 → (4), 粃

6. 同一作物において、乾燥速度の異なる部分より構成されている場合、高温になればその乾燥速度差は、少なくなる傾向がある。

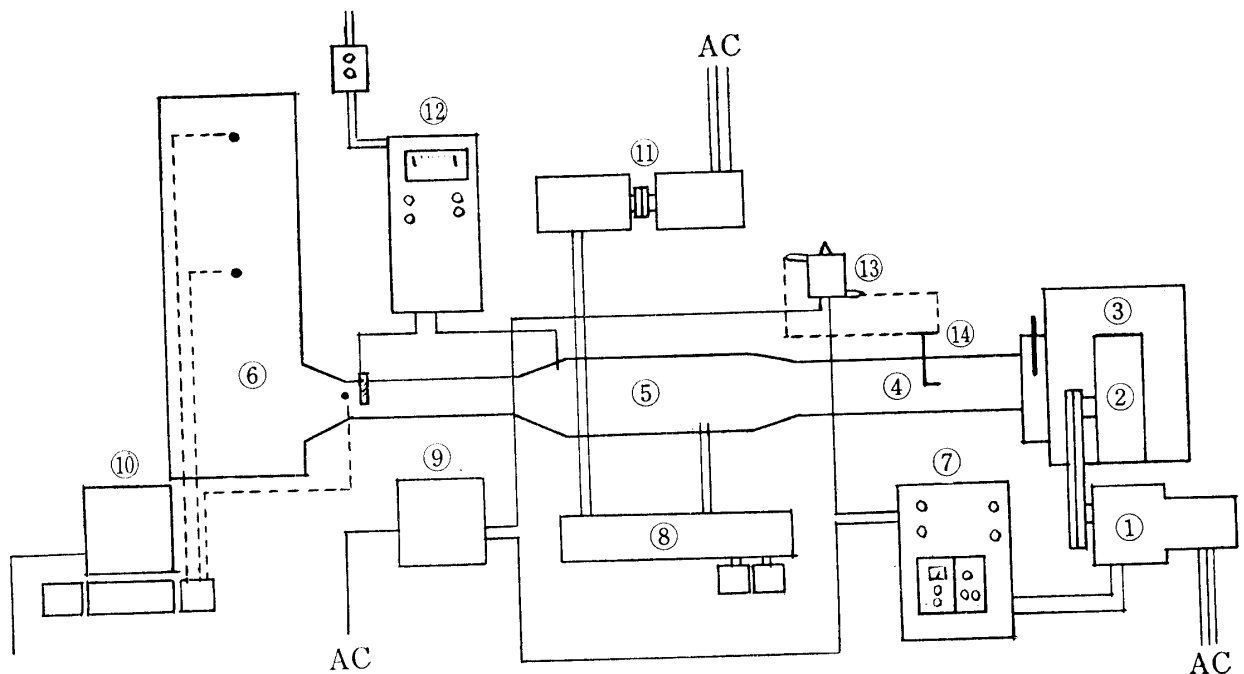
第 3 章 生粃の熱風乾燥に関する研究

第 1 節 は し が き

最近コンバイン、あるいは、生脱穀技術の導入により、粃は、かなり高水分の状態で収穫される。この研究では、高水分の粃からの熱風乾燥を行なう場合の問題点について検討した。すなわち、問題点の第 1 に、高水分からの厚層通気乾燥を行なう場合、熱風温度、送風量、堆積量と乾燥速度や、乾燥能率との関係を知る必要があり、第 2 に熱風による急激乾燥を行なう場合、胴割れの発生限界を知ること、および、その防止方法、第 3 に、粃熱風乾燥において、いろいろの乾燥型式の検討、第 4 に、乾燥後の、粃処理を如何にすべきかの問題がある。以上 4 つの問題点について、第 2 節から第 5 節において、検討した。

第 2 節 生粃の厚層通気乾燥に関する実験

実際に粃を乾燥する場合、静置式乾燥法の場合は厚く堆積された粃層に、比較的少量の熱風を強制



- | | | |
|----------------------------------------------------------|----------------------|------------------|
| ① v. s. motor | ② Fan | ③ Air chamber |
| ④ Air duct | ⑤ Heater box | ⑥ Deep-bed-dryer |
| ⑦ Control equipment of air quantity | ⑧ Distributing panel | |
| ⑨ Recorder with two pen (Keep on record of air quantity) | | |
| ⑩ ER type-recorder (Keep on record of temperature) | ⑪ Generator | |
| ⑫ Temperature controller | ⑬ Pressure changer | ⑭ Pitot tube |

Fig. III-1. Deep bed drying apparatus

通風させるため、薄層の場合に比べそれぞれの乾燥速度が異なり、いわゆる乾燥むらを生じるとともに全体としての乾燥速度も異なってくる。

この実験では、厚層通気の場合の乾燥特性を追跡し、各乾燥期間における乾燥速度や、乾燥能率を求めるための基礎実験を行なった。

1. 実験装置

実験装置は、Fig. III-1 に示す装置を試作した。主要調節装置、構造の概要は次のようである。

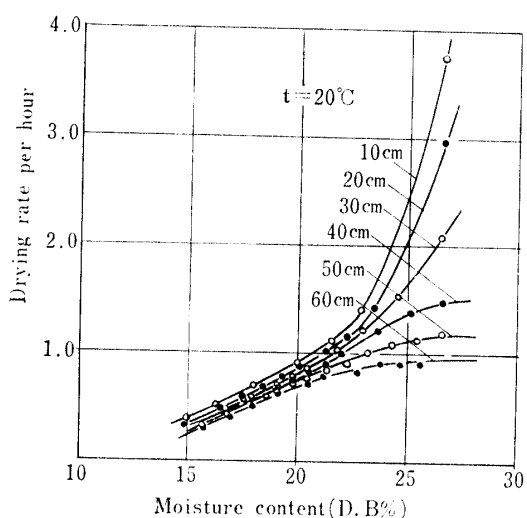


Fig. III-2. Drying characteristic curves in the case of each accumulated height of wet-unhulled rices (heated air temperature = 20°C)

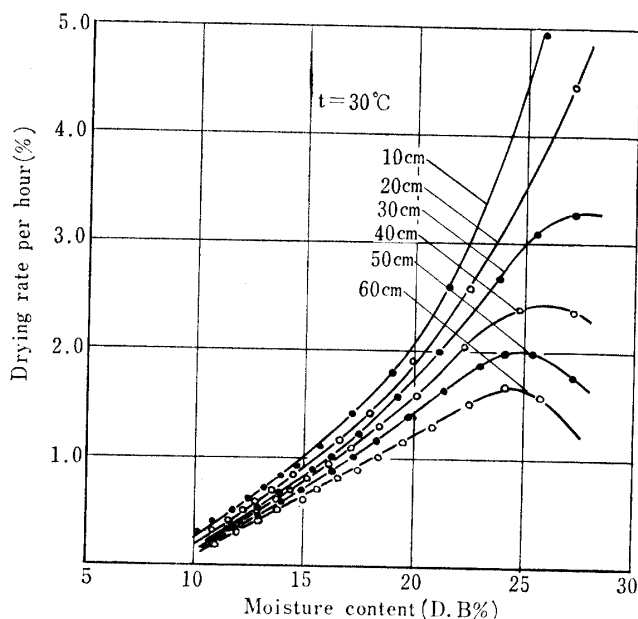


Fig. III-3. Drying characteristic curves of wet-unhulled rices (heated air temperature = 30°C)

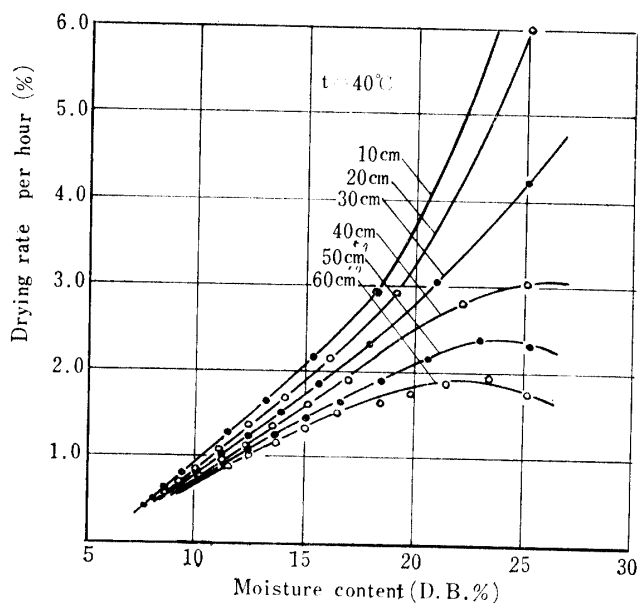


Fig. III-4. Drying characteristic curves of wet-unhulled rices (heated air temperature = 40°C)

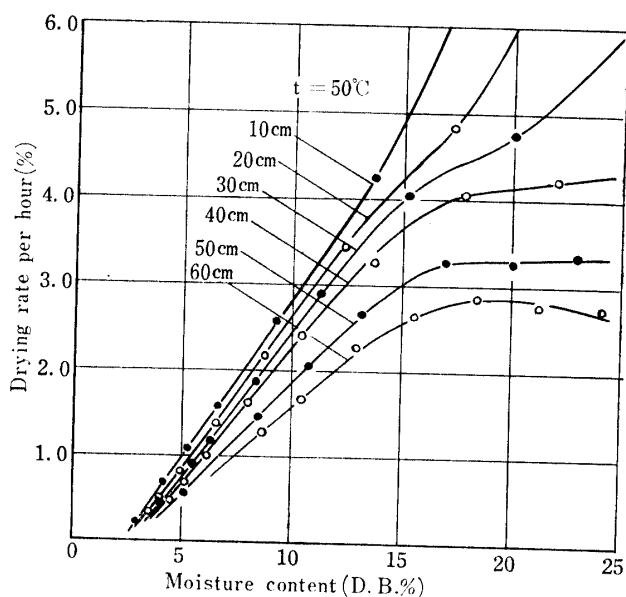


Fig. III-5. Drying characteristic curves of wet-unhulled rices (heated air temperature = 50°C)

(1) 送風量の調節装置

①の変速モートルに直結された送風機②より送られた風量は導管④の中心に固定されたオリフイス、またはピトー管により測定する。ピトー管④で測定された動圧は微差圧変換器③により電気信号に変換され、風量記録計⑨で自記すると共に、動圧に変化が生じた場合、風量コントロール装置により規定動圧になるようモートルの回転速度を変え、常に同一送風量を保つようにした。

(2) 熱風温度調節装置

測温部は熱電対を使用し、電熱部⑤で加熱した熱風の変化には、自動温度調節装置⑩を電熱部に作動させ調節すると共に、打点式自記記録計⑩により自記させた。

(3) 乾燥部、粹ジュラルミン、底金網の乾燥箱 (30 cm×30 cm×5 cm) に粳を充填して棚式に重ね下から通気させ乾燥速度を各段ごとに、測定した。

II. 実験結果および考察

1. 厚層通気乾燥における粳の乾燥特性について

(1) 乾燥条件および乾燥特性曲線

Fig. II-2~Fig. II-6 は、熱風温度 20°C~60°C で堆積量を異にした場合の乾量基準含水率対乾燥速度の関係で乾燥条件は、Tab. III-1 のようである。

Tab. III-1. Drying conditions in the case of deep-bed ventilation drying by heat-air of wet-unhulled-rices.

Test No.	heat-air temperature		heat-air humidity		air quantity (Kg/hr)	Initial moisture content (W.b)(%)	sample weight (Kg)					
	t ₁	t _w	H ₁	R			4.8	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8
I	20.0	11.5	5.3×10 ⁻³	34.0	63.44	21.0	4.8	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8
II	30.0	16.8	6.3×10 ⁻³	24.0	63.44	21.3	4.8	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8
III	41.0	20.0	6.3×10 ⁻³	13.0	63.44	20.1	4.8	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8
IV	51.0	22.5	5.5×10 ⁻³	6.0	63.44	20.2	4.8	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8
V	63.0	25.5	5.5×10 ⁻³	2.5	63.44	21.3	4.8	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8

(2) 堆積量 (風量重量比) を異にした場合の乾燥特性曲線の型式

堆積量が、9.6 kg (風量重量比=17.0 kg-hr/kg) 以下の場合には、乾燥初期から、減率乾燥となり含水比対乾燥速度の関係は、Fig. II-7 のように、高含水率の場合は、上方に凹の型式になるが、以後減率一段 (乾燥速度が含水率に比例する) の期間が続く。これは乾燥初期は、粳がらの蒸発が、影響する結果で、粳がらの影響がなくなってからは、減率一段の型式になるものと思われる。堆積量が増せば、乾燥初期から減率一段の型式、〔II〕になり、さらに堆積量が増加すれば、〔III〕の型式、すなわち、恒率乾燥期間と、減率乾燥期間からなる型式に移行する。

〔III〕の型式は、G/M=6.0 (kg-hr/kg) 以下の場合で、実用的な厚層通気乾燥は、これに属する。

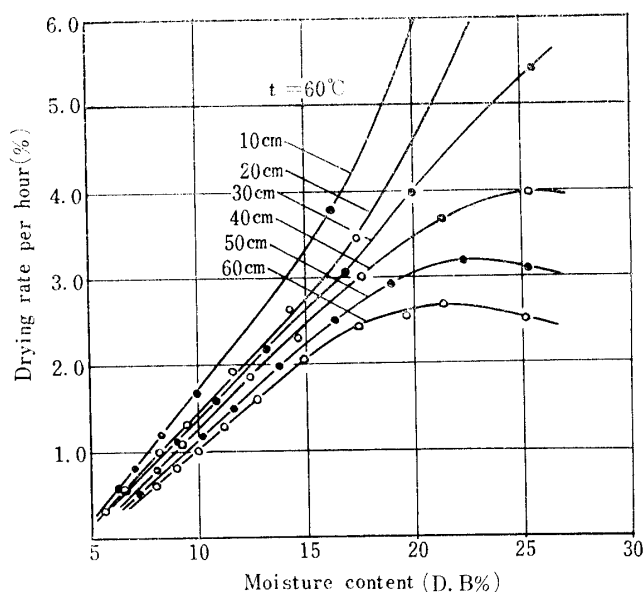


Fig. III-6. Drying characteristic curves of wet unhulled rices (heated air temperature=60°C)

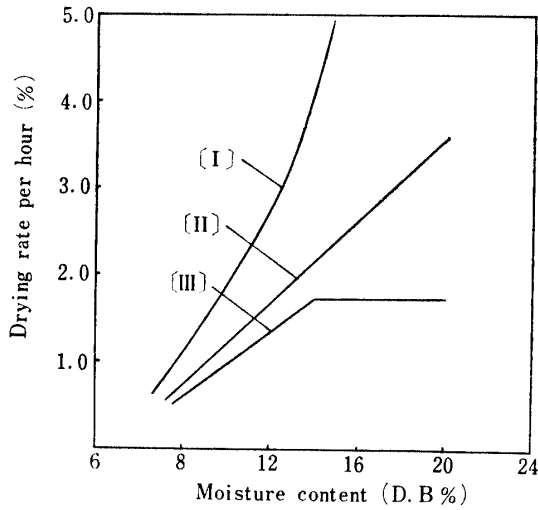


Fig. III-7. Types of drying characteristic curves in the case of various deep-beds of wet-unhulled rices

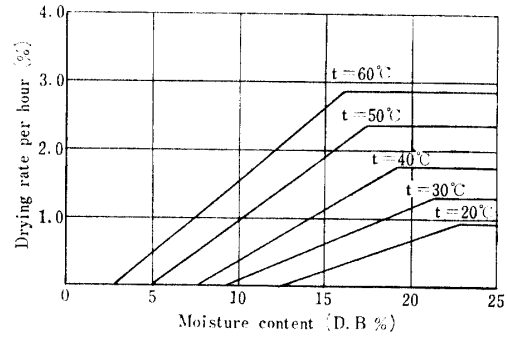


Fig. III-8. Types of drying characteristic curves in the case of various heat-air temperatures (accumulated height=60cm)

(3) 熱風温度を異にした場合の乾燥特性曲線の型式

Fig. III-8 は、同一堆積量 $M=28.8 \text{ kg}$, $G/M=2.2 \text{ (kg-hr/kg)}$ で熱風温度が変わった場合の乾燥特性曲線である。これによると、恒率乾燥速度 (ϕ_c)、および減率乾燥速度勾配は、熱風温度に比例して増大した、熱風温度が高くなるにつれて、限界含水率 (w_c)、平衡含水率 (w_e) とともに低くなる。

(4) 厚層堆積における恒率乾燥期間

Fig. III-9 は、熱風温度 20°C で、堆積量 [I] 14.4 kg , [II] 19.2 kg , [III] 28.8 kg における乾燥初期の型式を示す。[I] の場合、籾がらの影響による蒸発水分量の一時的増加を示し、[III] の場合は、厚層中において、いったん蒸発した水分が上層で再び吸湿されたことを示している。これでおかるように厚層通気乾燥の初期においては、籾がらの影響により、蒸発水分の一時的増加と吸湿とが同時におこり、この期間における乾燥速度は、複雑な変化を示す。

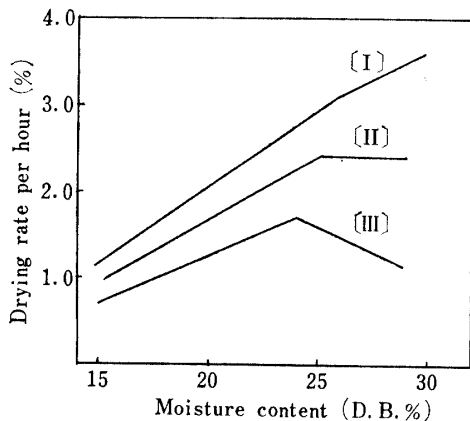


Fig. III-9. Drying characteristic curves in the period of constant rate drying

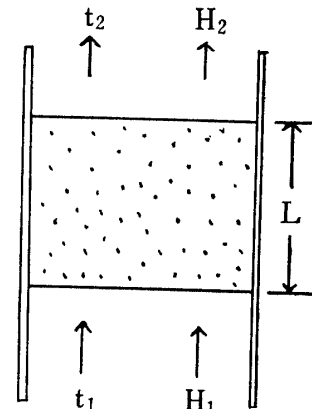


Fig. III-10.

2. 厚層通気乾燥における恒率乾燥速度

(1) 厚層通気乾燥における恒率乾燥速度の算定式

実際に乾燥速度を推定する場合、与えられた条件として予測できるのは、

(1) 熱風温度 (T), (2) 乾燥重量 (M), (3) 送風量 (G), の3つである場合が多い。この3つの条件から厚層通気乾燥の場合の恒率乾燥速度を求める近似式が必要である。

Fig. III-10 は, 厚さLの厚層に送風量 $G_0(\text{kg}/\text{sec})$ なる熱風を送りこんだ場合, 入口温度 $t_1(^{\circ}\text{C})$, 湿度 $H_1(\text{kg}/\text{kg})$ の熱風が, t_2, H_2 , で排出したとする。

材料層について熱収支をとってみると

$$G_0 C_{H_1} (t_1 - t_2) = W \left(-\frac{dw}{d\theta} \right)_c \{ \gamma_w + 0.46(t_2 - t_w) \} \quad \text{--- (III-1)}$$

一般に通気乾燥は, 高温ガスを使わないので第1項に比べ, 第2項は, 無視できるとし, また通気乾燥の場合の伝熱は対流だけで行なわれ, 堆積中の材料粒子の表面温度は, 恒率期間中は, 熱風の湿球温度で一定と考えれば次の式が成立する。

$$W \left(-\frac{dw}{d\theta} \right)_c = \{ ha(\Delta t) l_m V_p \} / \gamma_w V_p \quad \text{--- (III-2)}$$

(III-1) 式において第2項を無視して, (III-2) 式と組み合わせると,

$$\frac{t_1 - t_2}{(\Delta t) l_m} = \frac{ha \cdot V}{G \cdot C_{H_1}} = \frac{ha \cdot L}{G C_{H_1}} = n \quad \text{--- (III-3)}$$

$$t_2 = t_1 e^{-n} + t_w (1 - e^{-n})$$

$$(\Delta t) l_m = \frac{t_1 - t_2}{n} = \frac{(1 - e^{-n})(t_1 - t_w)}{n} \quad \text{--- (III-4)}$$

$$\text{ゆえに} \quad W \left(-\frac{dw}{d\theta} \right)_c = \frac{ha \cdot V}{\gamma_w} \frac{(1 - e^{-n})(t_1 - t_w)}{n} \quad \text{--- (III-5)}$$

$$\phi_c = \left(-\frac{dw}{d\theta} \right)_c = \frac{G \cdot C_{H_1} (1 - e^{-n})(t_1 - t_w)}{\rho_s \cdot \gamma_w \cdot L} \quad \text{--- (III-6)}$$

$$\phi_c = \left(-\frac{dw}{d\theta} \right)_c = \frac{G_0 (1 - e^{-n})(H_w - H_1)}{\rho_s \cdot L} \quad \text{--- (III-7)}$$

$$\phi_c = \frac{G (1 - e^{-n})(H_w - H_1)}{M_d} \quad \text{--- (III-8)}$$

a : 厚層 1m^3 当りの有効表面積 [m^2/m^3 -層容積]

h : 伝熱係数 [$\text{kcal}/\text{hr}\text{-m}^2\text{C}$]

ha : 熱移動容量係数

n : 移動単位数

C_H : 湿り空気比熱

W : 無水材料質量 (kg)

$\left(\frac{dw}{d\theta} \right)_c$: 恒率乾燥速度

G_0 : 質量風量 $\text{kg}/\text{hr}\text{-m}^2$

G : 質量風量 kg/hr

- V_p : 材料堆積容積 (m^3)
- r_w : 潜熱
- $(\Delta t)_{lm}$: 入口, 出口における推進力の平均値
- $(\Delta H)_{lm}$: 入口, 出口における推進力の平均値
- t_1, t_w : 入口における乾球及び湿球温度
- ρ_s : 材料密度 (kg/m^3)
- L : 堆積厚さ (m)
- M_d : 乾燥材料重量 (kg)

(2) 恒率乾燥速度係数 [K_c]

(Ⅲ-8) 式すなわち $(\frac{dw}{d\theta})_c = \frac{G(1-e^{-n})(H_w-H_1)}{M_d}$ において, R を恒率期間の乾燥速度 (kg/hr) とすれば, 次の関係がある.

$$(1-e^{-n}) = R/R_{max} \quad \text{--- (Ⅲ-9)}$$

$R/R_{max} = K_c$ とおき, K_c を恒率乾燥速度係数とすれば, (Ⅲ-8)式は

$$(\frac{dw}{d\theta})_c = K_c \frac{G}{M_d} (H_w-H_1) \quad \text{--- (Ⅲ-10)}$$

で表わされる.

(A) 厚層通気乾燥中, 吸湿現象がない場合

実験結果より, 吸湿現象を考えずに, その熱風温度における乾燥速度 $R(kg/hr)$, およびその条件における最大乾燥速度 $R_{max}(kg/hr)$ を Tab. Ⅲ-2 に示す.

Tab. Ⅲ-2. (R) and (R/R_{max}) in the case of wet-unhulled rices

t ($^{\circ}C$)	G (Kg/hr)	(H_w-H_1) (Kg/Kg)	* R_{max} (Kg/hr)	* R (kg/hr)	R/R_{max}
20	63.44	0.004	0.254	0.232	—
30	63.44	0.007	0.444	0.381	0.858
40	63.44	0.009	0.571	0.485	0.849
50	63.44	0.0117	0.742	0.625	0.842
60	63.44	0.0148	0.939	0.794	0.846

* R = vaporizing rate of water (Kg/hr)

* R_{max} =drying speed by theory (Kg/hr)

この結果, 熱風条件 (H_w-H_1) と R および R_{max} の関係は, Fig. Ⅲ-11 に示すようになり, この実験においては,

$$R = 54.2(H_w-H_1)$$

$$R_{max} = 63.4(H_w-H_1)$$

したがって, 熱風温度 $30^{\circ}C \sim 60^{\circ}C$ においては $R/R_{max} = K_c = 0.852$ と見做される.

(B) 吸湿を伴った厚層通気乾燥の場合

吸湿を伴った場合, 恒率乾燥期間における水分乾燥速度 (R_0) の測定値を Tab. Ⅲ-3 に示す. なお乾燥条件は, Tab. Ⅲ-1 と同様である.

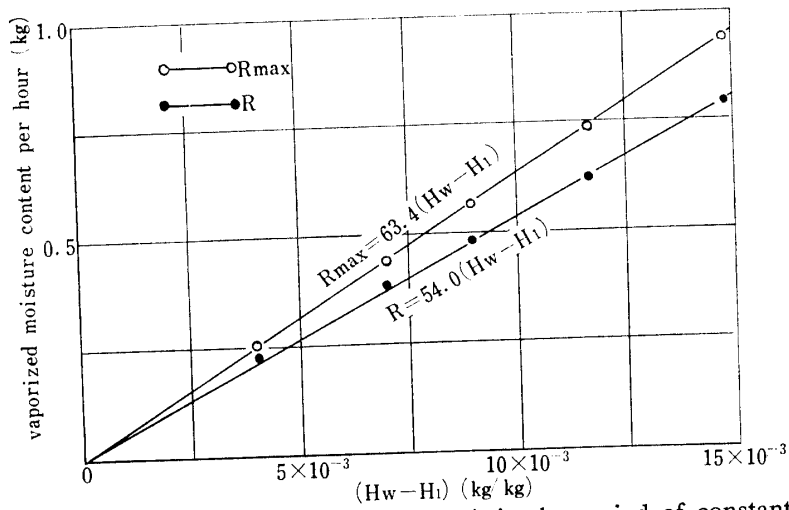


Fig. III-11. Relationship between $[R]$ and (H_w-H_1) in the period of constant rate drying
 $[R]$: Vaporized moisture content per hour (kg)
 $[R_{max}]$: Theoretical vaporized moisture content per hour

Tab. III-3. Vaporizing rate of moisture content (R) in the case of wet-unhulled-rices.

Sample weight (kg)	heat-air condition ($^{\circ}C$)				
	20	30	40	50	60
14.4	0.232	0.367	0.446	0.590	0.736
19.2	0.228	0.363	0.453	0.571	0.710
24.0	0.220	0.345	0.436	0.568	0.680
28.8	0.209	0.331	0.422	0.540	0.657

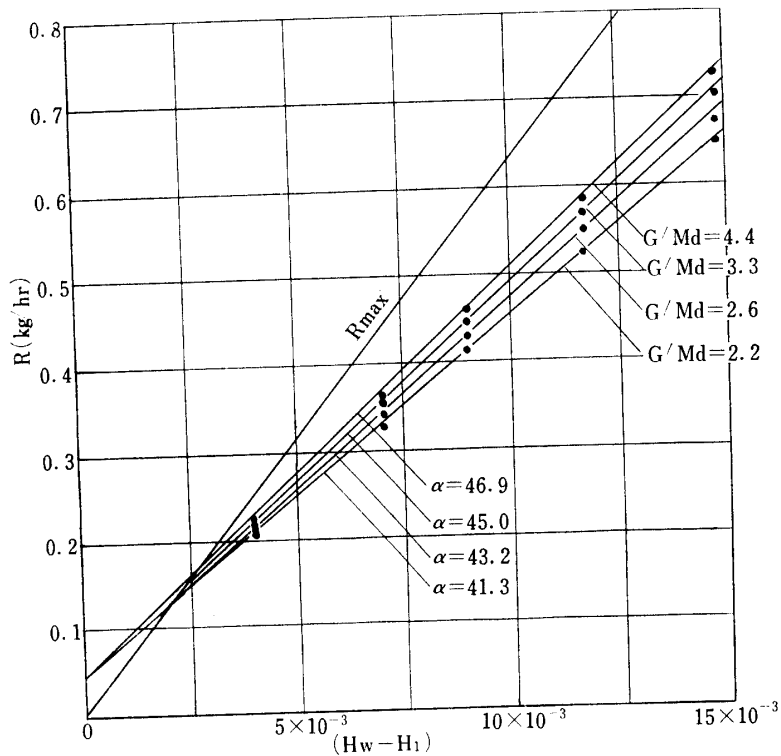


Fig. III-12. Relationship between $[R_0]$ and (H_w-H_1) in the period of constant rate drying in the case of moisture absorbing

実験結果から、それぞれの (G/M_d) ごとの毎時水分乾燥速度 (R_0) と熱風条件 $(H_w - H_1)$ との関係プロットすれば、Fig. III-12 のようになり各 (G/M_d) ごとに次の一般式が得られる。

$$R = \alpha(H_w - H) + C$$

ここで α ; 係数 C ; 常数

また (G/M_d) と α との関係プロットすれば、Fig. III-13 のようになり、 α と (G/M_d) との間には、次の実験式が与えられる。

$$\alpha = 48.2 - 4.7(G/M_d)^{-2.07}$$

前2式より、

$$R_0 = (48.2 - 4.7(G/M_d)^{-2.07})(H_w - H) + 0.045 \quad \text{--- (III-11)}$$

$$\begin{aligned} \therefore R/R_{\max} &\doteq 0.76 - 0.074(G/M_d)^{-2.1} + 7.1(H_w - H_1)^{-1.0} \times 10^{-4} \\ &\doteq 0.76\{1 - 0.1(G/M_d)^{-2.1}\} + 7.1(H_w - H_1)^{-1.0} \times 10^{-4} \quad \text{--- (III-12)} \end{aligned}$$

すなわち吸湿を考慮した場合の恒率乾燥速度係数は、近似的に (III-11)、(III-12) 式で算定できる。

(3) 恒率乾燥速度の算定

恒率期間における乾燥速度 (ϕ_c) は、熱風温度 $20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ の範囲では、 $\phi_c = K_c G/M_d (H_w - H_1)$ 、または、 $\phi_c = K_c G/M_d \cdot CH/r_w(t - t_w)$ により近似的に算定できることを知った。

(A) 吸湿現象を無視できる場合

(1) $G/M_d > 4.0$ の場合、(2) 乾燥粗水分が低い場合、(3) 粗がらの水分が少ない場合、(4) 薄層で連続的に通気乾燥を行なう場合には、 $K_c \doteq 0.852$ として、恒率乾燥速度を算定できる。Fig. III-14、および Fig. III-15 は、この場合における恒率乾燥速度 (ϕ_c) と風量乾重比 (G/M_d) の関係を示す。

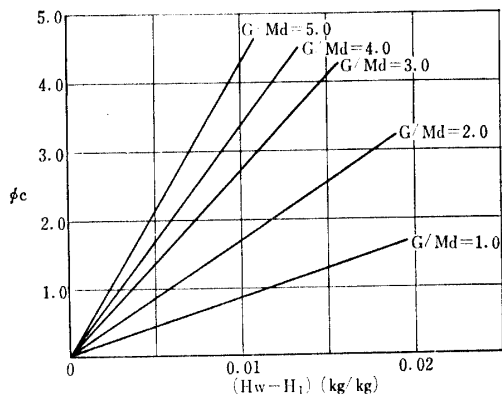


Fig. III-14. Relationship between (ϕ_c) and $(H_w - H_1)$ in the case of moisture unabsorbing
 (ϕ_c) = Speed of constant rate drying
 $(H_w - H_1)$ = Variation in absolute humidity

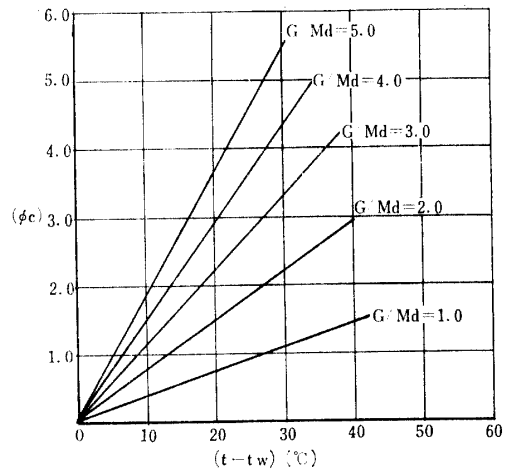


Fig. III-15. Relationship between (ϕ_c) and $(t - t_w)$ in the case of moisture unabsorbing

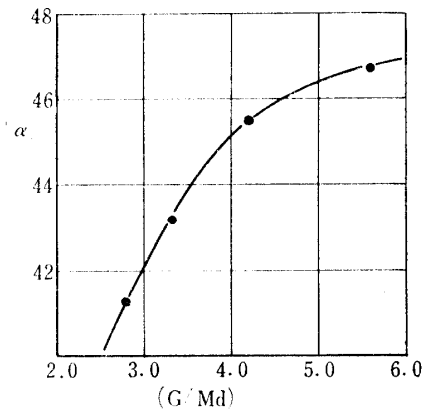


Fig. III-13. Relationship between experimental coefficient $[\alpha]$ and $[G/M_d]$

(B) 吸湿現象を考慮した場合

毎時乾燥速度を基準にとった場合、吸湿は $(G/M_d) < 4.0$ の場合に生ずるが、厚層通気の場合は、このケースが多い。Fig. III-16 は乾燥条件, Tab. III-1 の場合の ϕ_c と $(H_w - H_1)$ との関係を各 (G/M_d) ごとに示す。

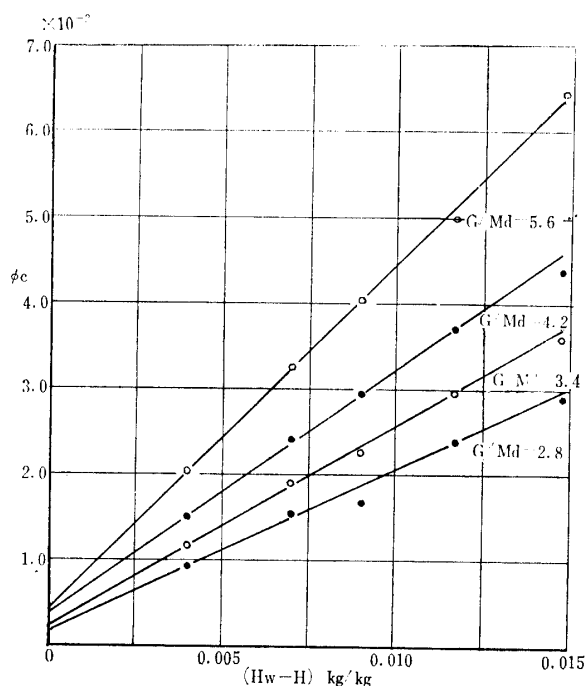


Fig. III-16. Relationship between (ϕ_c) and $(H_w - H_1)$ in the case of moisture absorbing

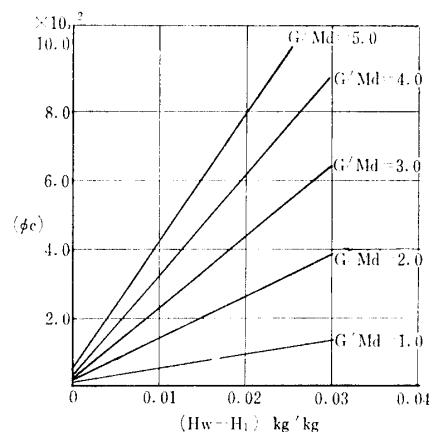


Fig. III-17. Relationship between (ϕ_c) and $(H_w - H_1)$ in the case of moisture absorbing

また前項 (III-12) 式の恒率乾燥速度係数 K_c の近似算定式より、恒率乾燥速度 (ϕ_c) は (III-13) 式で示される。

$$\phi_c \doteq \left[0.76 \left(\frac{G}{M_d} \right) \left\{ 1 - 0.1 \left(\frac{G}{M_d} \right)^{-2.0} \right\} + 7.1 \times 10^{-4} \right] (H_w - H_1) \quad \text{--- (III-13)}$$

(III-13) 式より各 G/M_d に対応する $\phi_c \sim (H_w - H_1)$ を算定すれば、Fig. III-17 のようになり、一般的な場合の恒率乾燥速度を、図表より求め得る。

3. 減率乾燥期間における乾燥速度

(1) 粗厚層通気乾燥における限界含水率 (W_c) および平衡含水率 (W_e)

乾燥条件, Tab. II-1 のときにおける、各熱風条件ごとの乾燥特性曲線 Fig. III-2~Fig. III-6 から求めた限界含水率 (W_c) および平衡含水率 (W_e) の値を Tab. III-4 に示す。

平衡含水率 (W_e) は、堆積量には関係なく熱風温度のみに関係する。 $(H_w - H_1)$ と (W_e) との関係は、Fig. III-18 のようで、次の実験式が成立する。

$$W_c(\%) = 14.5 - 8(H_w - H_1) \times 10^2$$

限界含水率 (W_c) と風量重量比 (G/M_d) との関係は、Fig. III-19 に示す。

Fig. III-19 より W_c と (G/M_d) との関係は $2.4 < G/M_d < 5.6$ の範囲内では、近似的に、

Tab. III-4. Critical moisture content and equivalent moisture content in the case of deep-bed-drying of wet-unhulled-rices.

Drying condition		moisture content (%)	ratio of air weight to dry-sample weight (G/Md)			
Temp. (°C)	Hw-Hl (kg/kg)		*h=30cm	h=40cm	h=50cm	h=60cm
30	0.007	Wc	27.2	24.4	23.3	22.2
		We	9.0	9.0	9.0	9.0
40	0.009	Wc	26.2	22.6	20.4	19.0
		We	7.2	7.2	7.2	7.2
50	0.017	We	23.8	20.8	16.2	17.3
		Wc	5.0	5.0	5.0	5.0
60	0.0148	We	22.0	18.3	17.0	16.0
		Wc	2.8	2.8	2.8	2.8

* h: accumulated height (cm)

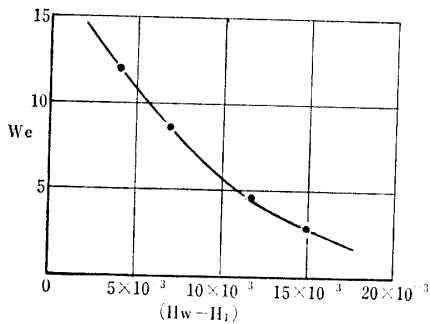


Fig. III-18. Relationship between (We) and (Hw-H) in the case of deep-bed-drying
(We)=Equilibrium moisture content (%)

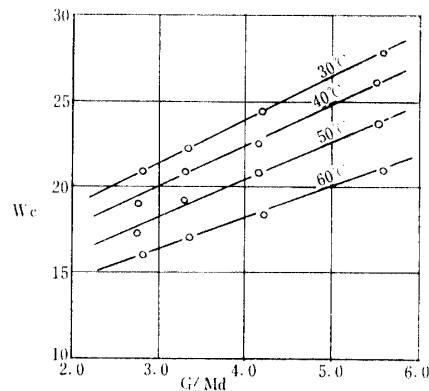


Fig. III-19. Relationship between (Wc) and (G/Md) in the case of deep-bed-drying
G/Md: ratio of air quantity per hour to dry sample weight
Wc: critical moisture content

$W_c \doteq a (G/M_d) + b$ なる関係があり, また常数 a, b と $(t-t_w)$ との関係は, $13^\circ C < (t-t_w) < 37.5^\circ C$ の範囲では近似的に,

$$a \doteq 2.96 - 0.0292 (t-t_w)$$

$$b \doteq 1.494 - 0.1156 (t-t_w)$$

との関係が認められるのでこの実験の範囲内では, W_c と (G/M_d) , $(t-t_w)$ との間には, 近似的に次の算定式が得られる.

$$W_c \doteq \{2.96 - 0.0292(t-t_w)\} (G/M_d) + \{14.94 - 0.1156(t-t_w)\} \quad \text{--- (III-14)}$$

すなわち粗厚層通気乾燥における限界含水率は, (G/M_d) , $(t-t_w)$ の一次函数として近似的に与えられる.

(2) 減率乾燥速度勾配 (K_d) および減率乾燥速度 (ϕ_d)

前述の粗の厚層通気乾燥における乾燥特性曲線の項で述べたように減率乾燥期間における乾燥速度 (ϕ_d) は, その平均含水率に比例して減少する.

したがって減率乾燥速度 (ϕ_d) は、次式であらわされる。

$$\phi_d = K_d (W - W_e) \quad \text{--- (III-15)}$$

K_d ; 比例定数で減率乾燥速度勾配

W_e ; 平衡含水率

W ; ϕ_d における含水率

しかるに、(III-15) 式は、限界含水率 (W_c) においても成立するので、

$$\phi_c = K_d (W_c - W_e)$$

$$\therefore K_d = \frac{\phi_c}{W_c - W_e}$$

すなわち籾の場合、乾燥速度勾配 (K_d) は、その条件における恒率乾燥速度 (ϕ_c)、限界含水率 (W_c)、平衡含水率 (W_e) を知るにより、算定できる。

実験結果から求めた W_c 、 W_e 、および ϕ_c より各乾燥条件における減率乾燥速度勾配 (K_d) を求めた結果を Fig. III-20 に示す。

Fig. III-18 および Fig. III-20 から (K_d) および、(W_c) を求め、これを (III-14) 式に代入することによって任意の含水率における減率乾燥速度 (ϕ_d) が求められる。

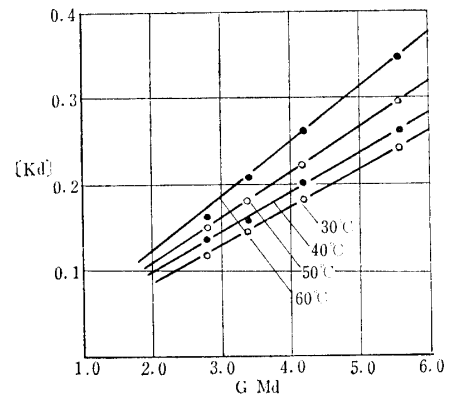


Fig. III-20. Relationship between (K_d) and (G/M_d) in the case of each heat-air temperature
(K_d) : gradient of speed of decreasing rate drying

4. 籾厚層通気乾燥における乾燥時間の算定

乾燥時間をあらかじめ算定するためには、恒率期間と減率期間に分けて考える。

(1) 恒率乾燥期間

乾燥はじめから限界含水率 (W_c) までの乾燥所要時間 (θ_c) は、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \theta_c &= (W_0 - W_c) / \phi_c \\ &= (W_0 - W_c) / K_c \frac{G}{M_d} (H_w - H_1) \end{aligned} \quad \text{--- (III-16)}$$

W_0 ; 乾燥前含水率

ϕ_c ; 恒率乾燥速度

(III-16) 式において ϕ_c 及び W_c はそれぞれ次式より算定する。

$$\phi_c = 0.852 \frac{G}{M_d} (H_w - H_1) = 0.852 \frac{G}{M_d} \cdot \frac{C_H}{\gamma_w} \cdot (t - t_w)$$

$$W_c \doteq 3.0 \{1 - 0.01(t - t_w)\} \left(\frac{G}{M_d} \right) + \{15.0 - 0.12(t - t_w)\}$$

(2) 減率乾燥期間

含水率 (W_1) から (W) まで乾燥するに要する時間 (θ_d) は (III-17, III-18) 式で表わされる。

$$\theta_d = \frac{W_c - W_e}{\phi_c} \log \frac{W_1 - W_e}{W - W_e} \quad \text{--- (III-17)}$$

または

$$\theta_d = \frac{1}{K_d} \log \frac{W_1 - W_e}{W_2 - W_e} \quad \text{--- (III-18)}$$

ここで K_d は Fig. III-20 より算定する. 従って恒率期間 (W_1) から減率期間の (W_2) まで乾燥するに要する時間 (θ_t) は次式で与えられる.

$$\theta_t = \theta_c + \theta_d = \frac{W_c - W_e}{\phi_c} \left\{ \frac{W_1 - W_e}{W_c - W_e} + \log \frac{W_c - W_e}{W_2 - W_e} \right\} \quad \text{--- (III-19)}$$

または

$$\theta_t = \frac{1}{K_d} \left\{ \frac{W_1 - W_e}{W_c - W_e} + \log \frac{W_c - W_e}{W_2 - W_e} \right\} \quad \text{--- (III-20)}$$

5. 厚層通気乾燥における乾燥むらについて

厚層通気乾燥を行なった場合, 下層含水率と上層含水率との間の水分較差が問題になる. 特に生籾からの乾燥, 熱風通気, 経済風量という使用条件は, この水分較差を助長する. 熱風乾燥におけるこれ等の要素と水分較差について実験を行ない検討した.

(I). 実験方法

実験装置は Fig. III-1 を使用し, 乾燥部は厚さ 5 cm の乾燥棚 12 段に仕切り, それぞれの籾層の含水率の時間変化を測定した. 乾燥条件は, II の厚層通気と同様な条件 (Tab. III-1) である. 乾燥むらは, 下層と堆積層上層それぞれ 5 cm 厚さの平均含水率の差をもって表わした.

(II). 実験結果および考察

(1). 下層含水率と水分較差との関係

下層含水率を W_0 , その時の上層含水率を W_n とした場合, 含水率較差 ($W_n - W_0$) を測定した結果は, Fig III-22~Fig III-25 のようである. この結果, 含水率較差は, 下層含水率が, ある値 (W_e) の時に最高を示し, それ以後は乾燥の進行と共に減少する. ($W_n - W_e$) が最高になる場合の下層含水

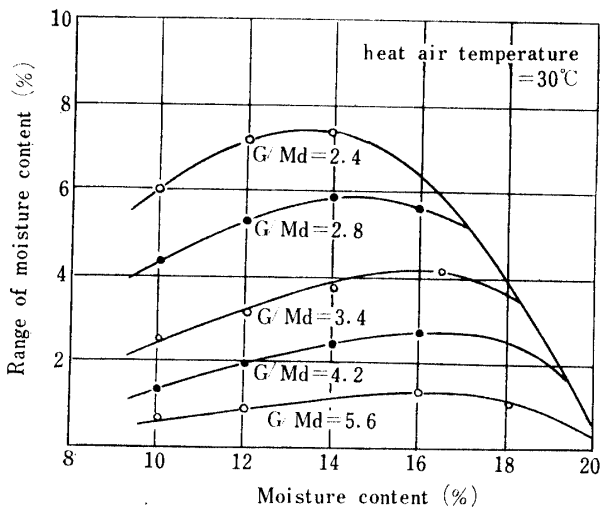


Fig. III-22. Range of moisture content for lower layer of wet-unhulled rices. heat-air temperature=30°C

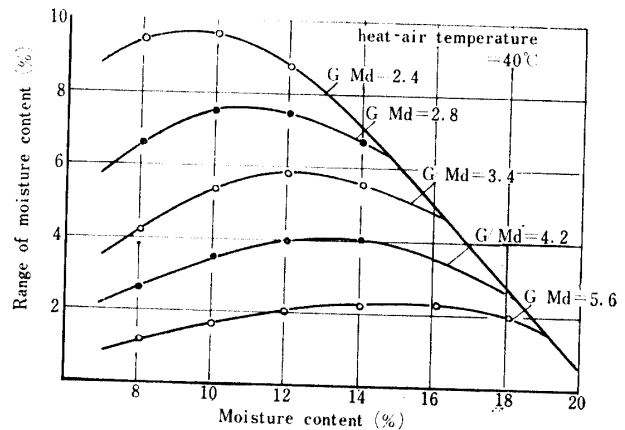


Fig. III-23. Range of moisture content for lower layer of wet-unhulled rices. heat-air temperature=40°C

率 (W_e) の値は、堆積が大きくなるほど、また、熱風温度が高くなるほど低くなる。Fig. III-26 は生粳 (含水率 20%~21%) から厚層通気乾燥をする場合、各乾燥条件ごとの ($W_n - W_0$) が最高になる場合の下層の含水率を示す。

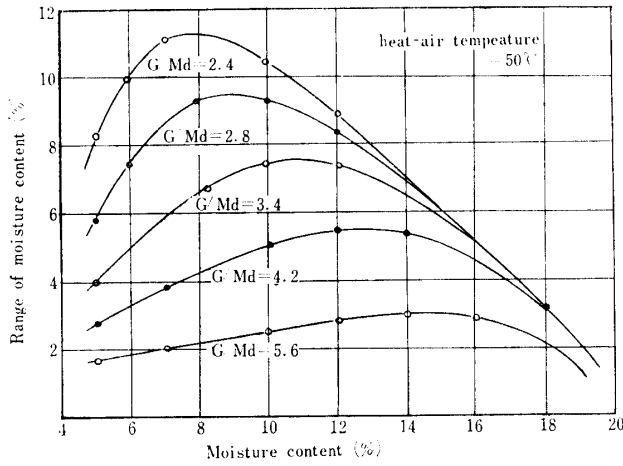


Fig. III-24. Range of moisture content for lower layer of wet-unhulled rices.
heat-air temperature = 50°C

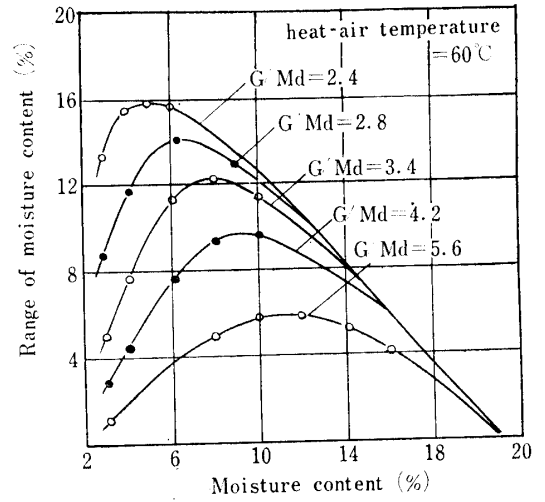


Fig. III-25. Range of moisture content for lower layer of wet-unhulled rices.
heat-air temperature = 60°C

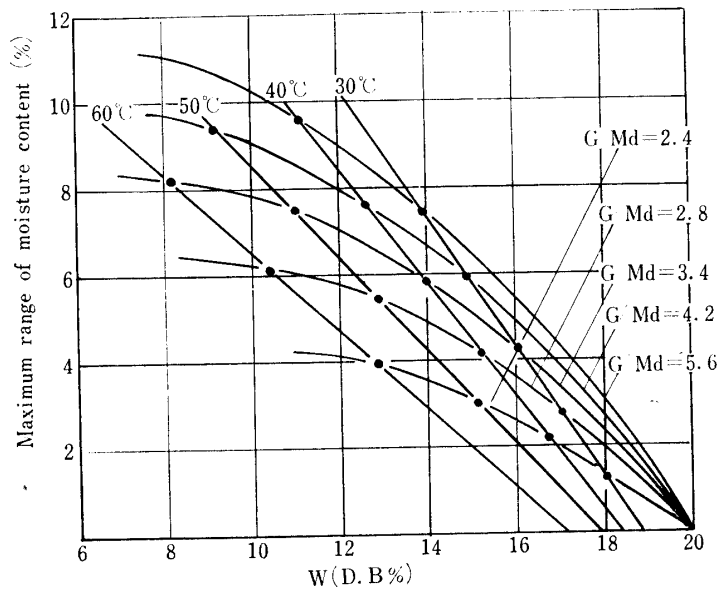


Fig. III-26. Relationship between maximum range of moisture content and lower part moisture content in the case of each (G/M_d)

(2). 乾燥条件と最高水分較差

乾燥条件により、最高水分較差を知ることは厚層通気乾燥の場合必要なことである。

Fig. III-27 は、熱風温度 (t) と最高水分較差 ($W_n - W_0$) との関係を各 (G/M_d) ごとにプロットしたものでその結果 ($W_n - W_0$) = $\alpha(t - 10)^n$ の関係がみとめられた。係数 α , n と (G/M_d) との関

係は, Fig. III-28 のようで, それぞれ $n=0.36(G/M_d)^{0.88}$, $\alpha=260(G/M_d)^{-3.82}$ で示される.
 従って $(W_n - W_0)$ と (t) , (G/M_d) との間には (III-21) で示す関係が成立する.

$$(W_n - W_0) = 260(G/M_d)^{-3.82}(t - 10)^{0.36(G/M_d)^{0.88}} \quad \text{--- (III-21)}$$

(III-21) により, 生粳の厚層通気乾燥の場合の最高水分較差は, 熱風温度が高くなれば増大するとともに (G/M_d) が少くなればなるほど大になる.

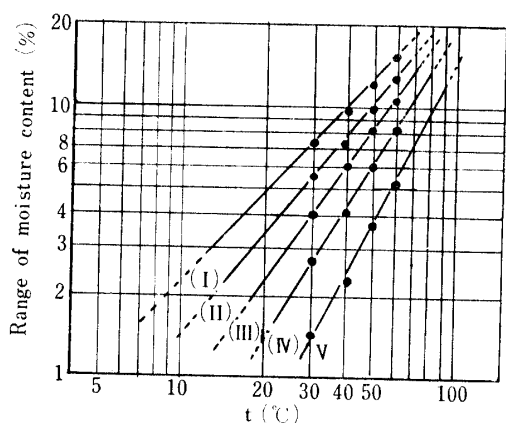


Fig. III-27. Relationship between range of moisture content and heat-air temperature at different ratio of air weight to dry-sample weight

- (I) $G/M_d=5.6$
- (II) $G/M_d=4.2$
- (III) $G/M_d=3.4$
- (IV) $G/M_d=2.8$
- (V) $G/M_d=2.4$

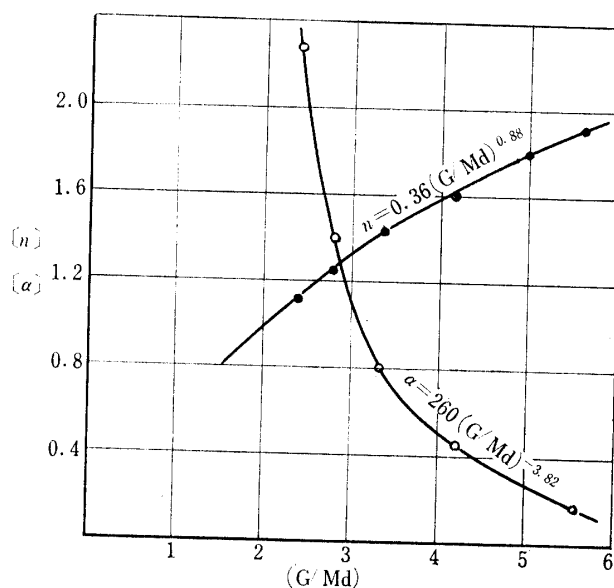


Fig. III-28. Relationship between $[n]$, $[\alpha]$ and $[G/M_d]$ in the case of wet unhulled rices

(3). 平均含水率と乾燥むら

生粳の厚層通気乾燥を行なう場合, 規定の平均含水率まで, 乾燥を行なう場合その時の上層, 下層の水分較差を知る必要がある. Fig. III-29 は, 平均含水率 14% まで乾燥したときの上層及び下層の含水率較差を示したものである. これにより厚層熱風通気乾燥を行なえば, 上, 下層の水分較差が大きくなり, 過乾, 未乾が生じ胴割れ米が多くなる. したがってこれを避けるため, 層をうすくするか (G/M を大にする), 攪はん反転を行なうか, または, 低温で通気する必要がある.

III. 摘 要

(1) 風量重量比 $G/M < 6.0$ において恒率乾燥期間が生じ, その乾燥特性曲線は, [I] 型に属す.

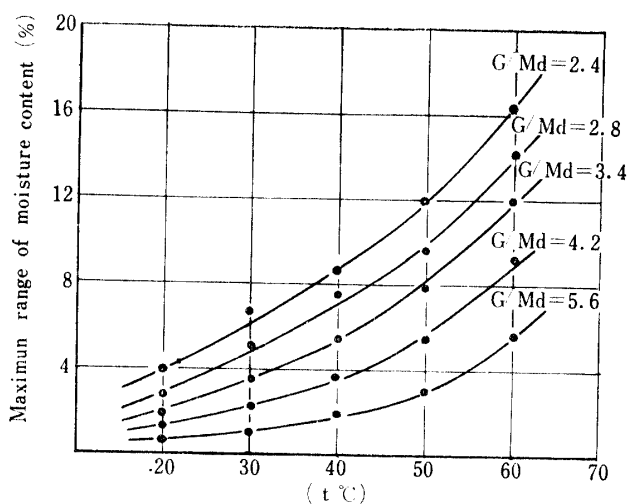


Fig. III-29. Relationship between range of moisture content and heat-air temperature in the case of each (G/M_d) at average moisture content = 14%

(2) 厚層通気乾燥において、熱風条件 ($H_w - H_1$), ($t - t_w$) と送風量 (G), 材料乾量重量 (M_d) が与えられた場合、恒率乾燥速度 (ϕ_c) は、近似的に次式で表わされる。

$$\phi_c = K_c G / M_d (H_w - H_1) = K_c \frac{C_H}{\gamma_m} \cdot \frac{G}{M_d} (t - t_w)$$

K_c ; 恒率乾燥速度係数

γ_m ; 水の蒸発潜熱

C_H ; しめり空気比熱

(3) 厚層通気乾燥において、吸湿現象を無視した場合、恒率乾燥速度は次式で近似的に算出できる。

$$\phi_c \doteq 0.852 \frac{G}{M_d} (H_w - H_1)$$

(4) 厚層通気乾燥において、吸湿を伴う場合、恒率乾燥速度の近似計算式は、次のようである。

$$\phi_c \doteq [0.76(G/M_d) \{1 - 0.1(G/M_d)^{-2.0}\} + 7.1 \times 10^{-4}] (H_w - H_1)$$

(5) 減率乾燥速度勾配 (K_d) は $\frac{\phi_c}{W_c - W_e}$ で表わされるが、 W_c (限界含水率), W_e (平衡含水率) を各乾燥条件において、実験的に求めた。

(6) 厚層通気乾燥における含水率 W_1 から、 W_2 までの乾燥所要時間 (θ) は次式で求めた。

$$[\theta] = \frac{1}{K_d} \left\{ \frac{W_1 - W_e}{W_c - W_e} + \log \frac{W_c - W_e}{W_2 - W_e} \right\}$$

(7) 厚層における乾燥むらは、熱風温度 (T) および風量重量比により異なり、この実験の場合、最高水分較差は、次のようである。

$$(W_n - W_0) = 260(G/M_d)^{-3.82} (t - 10)^{0.36(G/M_d)^{0.88}}$$

第3節 乾燥の型式が籾の乾燥速度および胴割れに及ぼす影響

乾燥の型式として、(1) 籾が静止して、その間を熱風が通過する場合 (静止通風乾燥), (2) 籾が攪はんされながら、その間を熱風が通過する場合 (移動通気乾燥), (3) 急激乾燥と緩慢乾燥を交互に行なう場合 (吹上循環乾燥), 等があるが、これ等の型式で乾燥を行なった場合、乾燥速度や胴割れ発生について比較した。

1. 実験装置

実験装置は、Fig. III-30 および Fig III-31 に示す。

Fig. III-30 は吹上循環乾燥の場合の装置で、熱風により籾落下口より導管を通じて籾を吹き上げ、その間に急速乾燥するものでこの装置の場合は籾は、1分間に1循環するようにした。

Fig. III-31 は静止通風乾燥と移動通風乾燥の場合の装置で外気条件を同一にするため、乾燥箱を4連式とし、送風量は、風胴入口のシャッターで、加熱は導風管内の電熱で行なった。

移動通気乾燥の場合は、乾燥箱内に攪はん装置をとりつけ、一定速度で乾燥期間中、攪はんを行なった。

2. 乾燥条件

乾燥条件は、Tab. III-5 のようで熱風温度および送風量を一定とした。

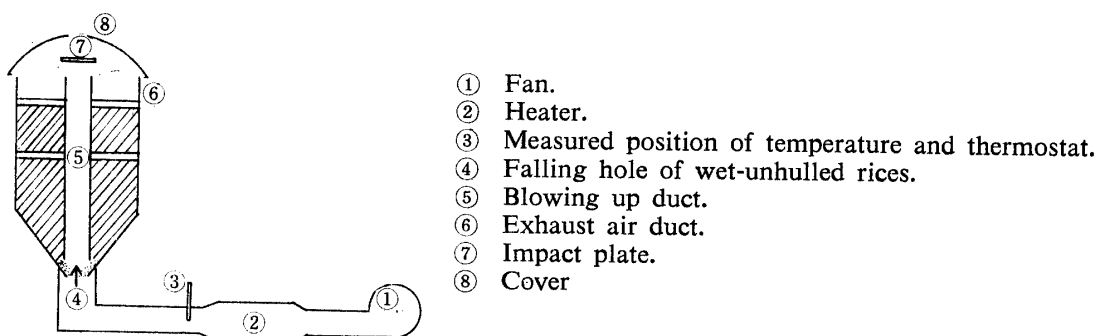


Fig. III-30. Laboratory drying apparatus in the case of blow-up type dryer

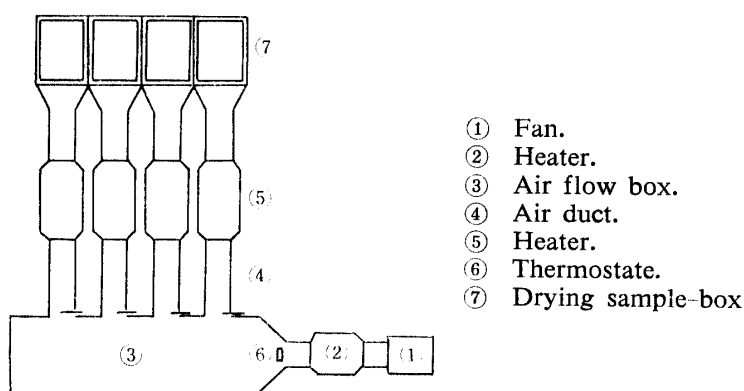


Fig. III-31. Laboratory drying apparatus in the case of deep-bed-dryer

Tab. III-5. Drying conditions in the case of the three dryer types.

drying condition Type of dryer	heat air temperature (°C)	air quantity (m ³ /sec)	wet-sample weight (Kg)	(G/M)	moisture content (%)	
					before	after
Type of deep-bed ventilation drying	30	0.0038	0.2	0.019	18.00	13.5
Type of vibration drying	40	0.0038	0.2	0.019	18.00	13.5
	50	0.0038	0.2	0.019	18.00	13.5
	60	0.0038	0.2	0.019	18.00	13.4
Type of blowing up-circulation drying	45~49	0.0088	2.0	0.0044	18.00	13.7
	58~62	0.0088	2.0	0.0044	18.00	13.6
	80~82	0.0088	2.0	0.0044	18.00	13.9
	100~104	0.0088	2.0	0.0044	18.00	13.9

3. 実験結果

各乾燥型式ごとの乾燥速度および胴割れ発生率は、Tab. III-6 のようである。

4. 考察

(1) 乾燥方式と乾燥速度

粳が静止している場合と粳が移動している場合、この実験の場合のように、風量が重量に比べて多

Tab. III-6 Drying speed and cracking rate in the case of every drying type.

item Type	t (°C)	drying hour (hr-min)	moisture content (mean)		rate of drying (%/hr)	occurrence proportion (%)						in- crease crack- ing (%)
			before (%)	after (%)		before drying			48 hour after drying			
						cracking rate (%)	demi- cracking rate (%)	total (%)	cracking rate (%)	demi- cracking rate (%)	total (%)	
Deep-bed ventilation type	30	2.10	18.0	13.5	2.1				16.0	3.3	19.3	12.3
	40	1.43	18.0	13.5	3.1	2.7	4.3	7.0	24.0	3.7	27.7	20.7
	50	1.21	18.0	13.6	3.6				56.0	4.0	60.0	53.0
	60	1.06	18.0	13.4	4.3				74.0	4.0	78.0	71.0
30	2.05	18.0	13.5	2.2							13.0	0.7
Vibration type	40	1.38	18.0	13.5	3.2	2.7	4.3	7.0	17.0	4.0	21.0	14.0
	50	1.18	18.0	13.4	3.9				48.0	3.0	51.0	44.0
	60	1.02	18.0	13.4	4.5				64.0	3.0	67.0	60.0
	45~47	2.10	18.0	13.7	2.0							12.0
Blow-up circulation type	58~62	1.45	18.0	13.6	3.0	2.7	4.3	7.0	32.0	2.0	34.0	7.03
	80~82	1.19	18.0	13.9	3.4				39.0	2.0	41.0	4.06
	100~104	1.12	18.0	13.9	3.7				70.0	3.0	73.0	6.0

い場合には、乾燥速度差は、毎時 0.1~0.3% である。したがって、穀移動による効果は、乾燥速度で 0.1~0.3% 程度である。

(2) 乾燥方式と胴割れ発生率

同一乾燥速度の場合、穀が移動した場合の方が胴割れ発生率が少ない。その差は 6%~10% (熱風 30°C~60°C において) 程度で、高温ほどその差異が認められた。

(3) 瞬間的な高温は

胴割れの発生には、あまり影響がない。

(4) 乾燥速度と胴割れ

乾燥速度が、毎時 3% を越えると、胴割れが急激に増加したが、乾燥過程で、すでに発生したのか、乾燥後に発生したのか、この実験では追求できなかった。

第 4 節 乾燥と穀の胴割れについて

熱風乾燥を行なう場合、乾燥速度を上げれば、胴割れ米が増加するが、この原因については、十分な研究がない。この試験では、その発生要因を追跡するとともに、現実に種々な乾燥条件で行なった場合の胴割れの発生率を、熱風乾燥という観点から検討した。

I. 熱風乾燥における胴割れ発生要因に関する実験

〔実験 1〕 加熱温度と穀胴割れ

乾燥中、加熱による熱膨張と胴割れとの関係を調べるため、20°C、40°C、60°C で相対湿度 60% の恒温、恒湿状態で、穀を自然乾燥させ、48、72、96 時間後に取り出して胴割れの発生状態を調査した結果は、Tab. III-7 のようである。

〔試験結果の考察〕

20°C~60°C の温度では乾燥中、及び乾燥直後では胴割れの発生は、ほとんど認められない。した

Tab. III-7. Cracking rate in the case of temperature-range 60°C~20°C under constant humidity.

Test No.	T (°C)	R (%)	W ₁ (%)	W ₂ (%)			cracking rate (%)		
				48 hr	72 hr	96 hr	48 hr	72 hr	96 hr
I-1	20	60	15.03	12.11	11.8	11.6	0.2	0.2	0.2
I-2	40	60	15.03	11.60	11.5	11.3	0.2	0.2	0.2
I-3	60	60	15.03	10.70	9.0	8.9	0.2	0.2	0.2

がってこの範囲内の温度では、熱膨張による胴割れは、生じない。

〔実験 II〕 乾燥速度と胴割れの関係

粳の胴割れの生ずる要因が乾燥速度つまり急激な乾燥によって粳内部水分分布の差異が生じ、それによっておこる収縮差によるものであるかを検討するため、温度を一定にして湿度を変えることにより乾燥速度を変えて、胴割れを調査した。

(1) 乾燥温度 40°C で乾燥速度 0.5 (%/hr) 以下の場合

乾燥温度 40°C とし、相対湿度を 80, 60, 40, 20 %の恒湿にして自然乾燥させた場合の、粳玄米の胴割れ増加率と乾燥速度の関係を調査した結果は、Tab. III-8 のようである。

Tab. III-8. Relationship between drying speed and cracking rate in the case of temperature=40°C

Test No.	materials	T (°C)	R (%)	moisture content		θ (hr)	drying rate (%/hr)	cracking rate (%)
				W ₁ (%)	W ₂ (%)			
II-1	unhulled rices	40	80	16.01	16.75	24	—	0.4
II-2	"	40	60	16.08	11.02	24	0.20	0.0
II-3	"	40	40	16.08	9.11	24	0.29	0.0
II-4	"	40	20	16.08	6.26	24	0.41	1.0
II-5	hulled rices	40	20	15.46	5.83	24	0.41	1.2

(2) 乾燥温度 50°C, 乾燥速度 1.0 (%/hr) 以下の場合

乾燥温度 50°C, 相対湿度 60, 40, 20 %の恒湿で自然乾燥させた場合の粳の胴割れと、乾燥速度との関係は、Tab. III-9 のようである。

Tab. III-9. Relationship between drying speed and cracking rate in the case of temperature=50°C.

Test No.	materials	T (°C)	R (%)	moisture content		θ (hr)	drying rate (%/hr)	cracking rate (%)
				W ₁ (%)	W ₂ (%)			
II-6	unhulled rices	50	60	17.87	13.43	12	0.37	0.0
II-7	"	50	40	17.87	11.22	12	0.66	2.3
II-8	"	50	20	17.87	7.93	12	0.83	1.6

(3) 乾燥温度 60°C で乾燥含水率を変えた場合

乾燥温度 60°C で相対湿度 4.0 %で粳を自然乾燥し、各時間ごとに取り出して粳の胴割れを調査した結果は、Tab. III-10 のようである。

(4) 乾燥温度 100°C で乾燥含水率を変えた場合

乾燥温度 100°C で粳を自然乾燥し、各時間毎にとり出して粳胴割れを調査した結果は Tab. III-11

Tab. III-10. Relationship between moisture content after drying and cracking rate in the case of temperature=60°C

Test No.	T (°C)	R (%)	moisture content		θ (hr-min)	drying rate (%/hr)	cracking rate (%)
			W ₁ (%)	W ₂ (%)			
II-10	60	4.0	17.24	14.33	0-30	5.82	1.0
II-11	60	4.0	17.24	12.38	1-00	4.86	2.3
II-12	60	4.0	17.24	10.53	1-30	4.47	2.5
II-13	60	4.0	17.24	8.51	2-00	4.37	7.0

Tab. III-11. Relationship between moisture content after drying and cracking rate in the case of temperature=100°C

Test No.	T (°C)	moisture content		θ (hr-min)	drying rate (%/hr)	cracking rate (%)
		W ₁ (%)	W ₂ (%)			
II-14	100	17.24	15.13	0-10	12.7	0.0
II-15	100	17.24	10.95	0-20	18.8	28.3
II-16	100	17.24	8.04	0-25	20.6	40.6
II-17	100	17.24	6.91	0-30	20.7	54.0

のようである。

〔試験結果の考察〕

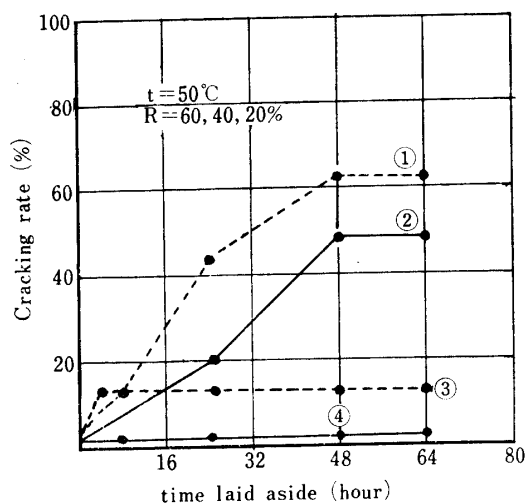
乾燥中および乾燥直後の籾の胴割れの発生は、

(1) 実用熱風温度である 40°C, 50°C で乾燥速度 1.0%/hr 以下では、低含水率になっても胴割れの発生はない。

(2) 温度 60°C で含水率が、10.0%以下になると胴割れの発生が認められ、100°C で含水率 11.0%になれば、胴割れはかなり増加しているところから胴割れの発生は、乾燥含水率と関係があり、乾燥速度が増せば、胴割れ発生の限界含水率は高くなる。

(3) 同一乾燥速度でも、乾燥含水率が低下すれば胴割れ発生は増加する。

(4) 乾燥中、または乾燥直後胴割れがなくても乾燥後胴割れが発生する。



- ① final moisture content W=7.92%-hulled rices
- ② " W=9.72%-unhulled rices
- ③ " W=11.2%-hulled rices
- ④ " W=11.2%-unhulled rices

Fig. III-32. Relationship between time laid aside and cracking rate

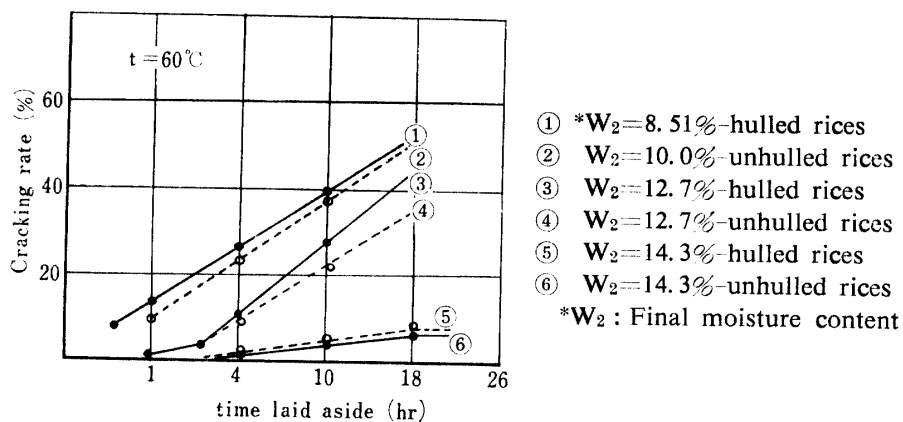


Fig. III-33. Relationship between time laid aside and cracking rate

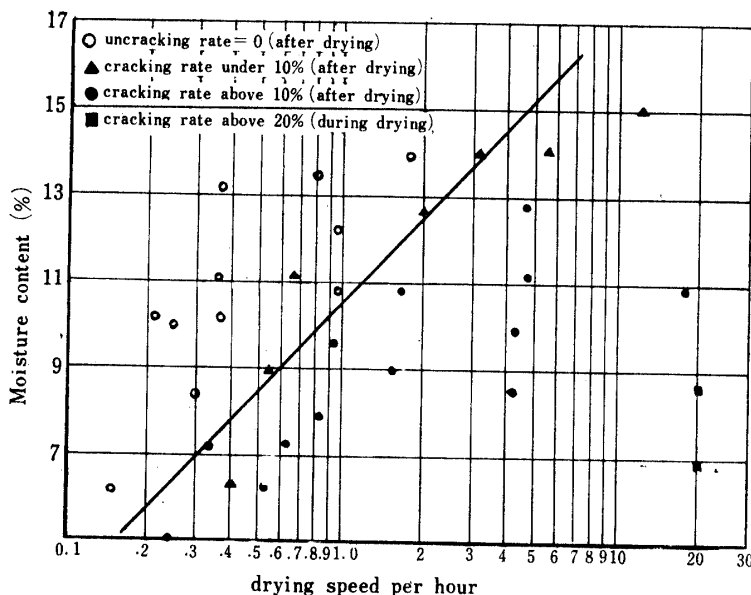


Fig. III-34. Relationship between drying speed, moisture content after drying and cracking rate

〔実験 III〕 乾燥終了後の胴割れの発生

乾燥終了後の籾を室内に放置し、その間における籾胴割れを経時的に調査した。Fig. III-32~Fig. III-33 は、乾燥後の胴割れ発生状況の経過の 1 例を示す。

また乾燥速度および乾燥含水率と乾燥終了後の胴割れ発生状況は、Fig. III-34 に示す。

〔実験結果の考察〕

乾燥後の胴割れは、放置時間の経過と共に増加し、終了後 48 時間以降では増加は認められない。乾燥後の胴割れ発生は、乾燥速度、乾燥含水率の影響が顕著で、Fig. III-34 より、その限界乾燥含水率(W₂)は、次式で示される附近と考えられる。

$$W_2 = 9.5 \log \left(\frac{dw}{d\theta} \right) + 4.0$$

〔実験 IV〕 乾燥後の保存条件と胴割れの発生について

乾燥後室内 (T=4~10°C, R=60%) に自然放置した場合について〔実験 III〕で検討したがこれが

保存条件によって異なるかを試験した。

(1) 含水率 6%程度まで過乾した場合、保存条件と胴割れとの関係

T=40°C, R=20%の恒温, 恒湿状態で 24 時間乾燥した場合, それぞれ高湿状態, 自然状態, 密閉状態で保存し, 24 時間後その胴割れ増加歩合を調査した結果は, Tab. III-12 のようである。

Tab. III-12. Relationship between preservation condition and cracking rate in the case of excessive drying.

Test No.	moisture content (%)			preservation condition			cracking rate (%)
	W ₁	W ₂	pass 24 hour W ₂	T (°C)	R (%)	method of preservation	
IV-1	17.15	6.20	15.93	40	95	open	90.0
IV-2	17.15	5.19	10.29	20	95	open	89.0
IV-3	17.15	6.20	—	4~10	50~60	open	51.5
IV-4	17.15	6.53	6.59	4~10	—	shut	6.2

(2) 含水率 10%程度まで乾燥した場合、保存条件と胴割れの関係

T=90°Cの恒温で 90 分乾燥し含水率 10%程度にしたものを, (1)と同様な保存状態で保存し 20 時間後の胴割れを調査した。保存条件および胴割れ率は, Tab. III-13 のようである。

Tab. III-13. Relationship between preservation condition and cracking rate in the case of moisture content=10%.

Test No.	moisture content (%)			preservation condition			cracking rate (%)
	W ₁	W ₂	pass 20 hour W ₂	T (°C)	R (%)	method of preservation	
IV-5	17.15	10.44	15.06	40	95	open	82.3
IV-6	17.15	10.44	12.52	20	95	open	88.5
IV-7	17.15	10.44	10.52	4~10	50~70	open	69.0
IV-8	17.15	10.44	10.44	4~10	—	shut	4.2

(3) 含水率 14%程度まで乾燥した場合の保存条件と胴割れとの関係

T=40°C, R=20%の恒温, 恒湿で 3 時間乾燥し含水率 14%程度にしたものを, 前と同様な保存状態で放置し, 24 時間後の胴割れを調査した。保存条件および胴割れ率は, Tab. III-14 のようである。

Tab. III-14. Relationship between preservation condition and cracking rate in the case of moisture content=14%.

Test No.	moisture content (%)			preservation condition			cracking rate (%)
	W ₁	W ₂	pass 24 hour W ₂	T (°C)	R (%)	method of preservation	
IV-9	17.29	14.15	16.88	40	95	open	4.5
IV-10	17.29	13.50	14.88	20	95	open	4.0
IV-11	17.29	13.50	—	4~10	50~70	open	0.0
IV-12	17.29	13.50	13.53	4~10	—	shut	0.0

[実験結果の考察]

乾燥含水率 6%~10% においては, 高湿状態におき吸湿の著しいものは, ほとんど胴割れをおこなっているが密閉して, 吸湿しないものは, 胴割れが少ない。

また温度が低くても吸湿の少ない物は, 吸湿の多いものに比べ胴割れは少ない。このことから, 乾

乾燥後の胴割れの発生要因は吸湿, 冷却作用によるものと考えられ, 特に吸湿による影響が大きいことを示している。

なお含水率 14 % 程度では, 吸湿, 温度変化による胴割れは認められない。

〔実験 V〕 乾燥後の吸湿および冷却が胴割れにおよぼす影響

実験〔IV〕の結果より乾燥後の胴割れは, 粗の密閉処理で防止できることがわかった。実験 V では密閉による胴割れの発生しない原因が, 吸湿防止によるものか, 緩慢な温度変化によるものかを検討する。

(1) 冷却速度が胴割れにおよぼす影響

$T=40^{\circ}\text{C}$, $R=20\%$ の恒温, 恒湿状態で乾燥した粗を吸湿しないように, 直ちに密閉し, これを 1°C , 20°C , 40°C の恒温状態に 48 時間おいてその胴割れを調査した結果は, Tab. III-15 のようである。

Tab. III-15. Relationship between freezing temperature and cracking.

Test No.	freezing temp. ($^{\circ}\text{C}$)	moisture content (%)			drying condition		drying time (hr)	cracking rate (%)
		W_1	W_2	pass 24-hr	t($^{\circ}\text{C}$)	R(%)		
V-1	1	19.02	14.43	14.63	40	20	4	0
V-2	20	19.02	14.43	14.54	40	20	4	0
V-3	40	19.02	14.43	14.43	40	20	4	0
V-4	1	18.58	6.32	5.92	40	20	48	7.0
V-5	20	18.58	6.32	6.14	40	20	48	6.0
V-6	40	18.58	6.32	5.97	40	20	48	5.0

(2) 吸湿が胴割れにおよぼす影響

$T=40^{\circ}\text{C}$, $R=20\%$ の恒温, 恒湿状態で乾燥した粗を温度変化がないように, ただちに 40°C で 95 %, 60 %, 20 % の恒温, 恒湿状態に 48 時間放置して, 胴割れの状態を調査した結果は Tab. III-16 のようである。

Tab. III-16. Relationship between humidity during preservation time and cracking rate.

Test No.	preservation condition		drying time (hr)	moisture content (%)			cracking rate (%)
	T($^{\circ}\text{C}$)	R(%)		W_1	W_2	W_3	
V-7	40	95	4	18.58	14.43	19.62	0
V-8	40	60	4	18.58	14.43	10.68	0
V-9	40	95	48	18.58	6.32	17.48	100
V-10	40	60	48	18.58	6.32	8.32	100
V-11	40	20	48	18.58	6.32	6.30	5

〔実験結果の考察〕

(1) 1.0°C までの冷却温度による胴割れの差異は認められない。したがって冷却は, 胴割れの直接的な要因ではないと考えられる。

(2) 過乾状態での吸湿は胴割れの主要因であると思われる。しかし 14 % 以上の含水率では吸湿しても, 胴割れへの影響はほとんどない。

II. 熱風乾燥と籾の胴割れについて

1. 厚層通気の場合の胴割れ発生状況

厚層堆積層に熱風を通気した場合、各層ごとに、その平均乾燥速度、乾燥含水率も異なるため、胴割れ発生程度もその層位によって異なってくる。

Tab. III-17. Drying conditions in the case of deep-bed ventilation drying of wet-unhulled-rices by heat-air

Test No.	T (°C)	G (Kg/hr)	M (Kg)	H (cm)	W ₁ (%)	θ (hr-min)
I	20	63.44	28.8	60.0	21.0	18-00
II	30	63.44	28.8	60.0	21.5	16-00
III	40	63.44	28.8	60.0	20.1	10-00
IV	50	63.44	28.8	60.0	20.2	8-00
V	60	63.44	28.8	60.0	21.3	8-00

M : sample weight (Kg), T : heat-air temperature(°C)
 H : accumulated height (cm), G : air-quantity (Kg/hr)
 W : initial moisture content (%)
 Q : drying hour (hour-min)

Tab. III-18. Cracking occurrence rate in every bed in the case of deep-bed drying.

Test No.	item	accumulated height (cm)					
		0~20	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60
I T=20°C	W ₂ (%)	11.6	11.8	12.3	12.9	13.8	14.7
	(dw/dθ) (%/hr)	0.52	0.51	0.48	0.44	0.40	0.34
	(m/M)×100 (%)	2.4	2.4	1.5	0.8	0.8	1.0
II T=30°C	(W ₂) (%)	8.9	9.2	9.9	11.7	12.0	13.4
	(dw/dθ) (%/hr)	0.78	0.77	0.73	0.61	0.60	0.51
	(m/M)×100 (%)	9.4	4.4	3.0	1.1	1.5	0.8
III T=40°C	(W ₂) (%)	6.5	7.3	8.1	9.1	11.0	12.0
	(dw/dθ) (%/hr)	1.36	1.28	1.20	1.10	0.91	0.81
	(m/M)×100 (%)	62.4	48.6	35.8	23.8	12.8	9.8
IV T=50°C	(W ₂) (%)	4.8	6.3	7.2	8.2	9.7	11.7
	(dw/dθ) (%/hr)	1.92	1.74	1.63	1.50	1.30	1.03
	(m/M)×100 (%)	94.0	88.8	86.2	72.2	46.6	15.0
V T=60°C	(W ₂) (%)	2.4	3.3	4.4	5.7	7.9	11.7
	(dw/dθ) (%/hr)	2.36	2.25	2.14	1.98	1.70	1.23
	(m/M)×100 (%)	97.3	93.1	93.0	91.8	90.6	53.8

W₂ : Moisture content after drying (wet base)
 (dw/dθ) : Rate of drying (%/hr)
 (m/M) : Ratio of cracking number to investigation number

たとえば、Tab. III-17 に示す条件で、乾燥した場合、それぞれの堆積高さごとにおける乾燥速度および胴割れ発生率を調査した結果は Tab. III-18 のようである。

実験結果より、各層位ごとの乾燥速度、および乾燥含水率と、胴割れ率との関係を、プロットすれば、(熱風温度範囲 20°C~75°C, 乾燥含水率範囲 4.7%~14.8%), Fig. III-35 のようになる。

この結果、胴割れ発生率は各層の位置に関係なく、その位置における平均乾燥速度および乾燥終了時の含水率に影響されると考えられる。この実験の場合、胴割れ率が5%以下になるための条件として

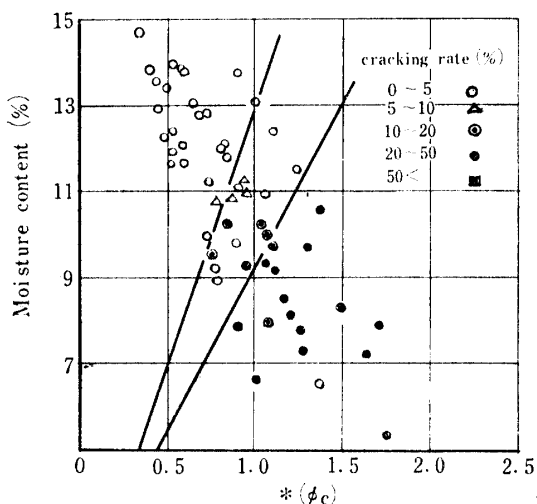


Fig. III-35. Relationship between (ϕ_c) , (final moisture content) and cracking rate in the case of deep-bed ventilation drying by heat-air (range of heat-air temp. $40.0^\circ\text{C} \sim 70.0^\circ\text{C}$)

* ϕ_c : drying rate per hour

$W_2 > 11.7 \left(\frac{dw}{d\theta}\right)$ になる必要があり,
 胴割れ率が 20% 以下になるための条件として
 $W_2 > 7.47 \left(\frac{dw}{d\theta}\right)$ になる必要がある.

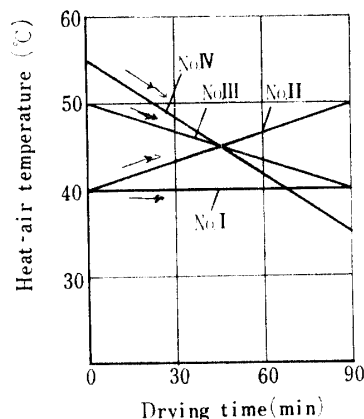


Fig. III-36. Operation of heat-air temperature

2. 熱風温度のコントロールが、胴割れ、および乾燥速度に及ぼす影響

乾燥を能率化し、しかも胴割れ発生を少なくするため、乾燥期間中の熱風温度の調整操作の面から検討する必要がある。その基本的な線として、

- (1) 乾燥はじめから、終了まで同一熱風温度。
- (2) 乾燥はじめは低く、徐々に熱風温度を上げる。
- (3) 乾燥はじめは高く、徐々に熱風温度を下げる。

この三つの型式の熱風温度のコントロールにつき検討した。

(1) 乾燥条件

乾燥条件、および熱風温度の時間的的操作は Tab III-19, および Fig. III-36 のようである。

Tab. III-19. Drying conditions in the case of program control-temperature.

Test No.	control of heat-air temperature	W_1 (%)	W_2 (%)	G/M ($m^3/sec-Kg$)	θ (hr-min)
I	$40^\circ\text{C} \rightarrow 40^\circ\text{C}$ equal temperature	17.5 17.0	14.0 13.5	0.0253	1-30
II	$40^\circ\text{C} \rightarrow 50^\circ\text{C}$ up temperature	17.5 17.0	13.3 12.5	0.0253	1-30
III	$50^\circ\text{C} \rightarrow 40^\circ\text{C}$ down temperature	17.5 17.0	13.4 12.8	0.0253	1-30
IV	$55^\circ\text{C} \rightarrow 35^\circ\text{C}$ down temperature	17.5 17.0	12.8 12.2	0.0253	1-30

Variety of paddy : Nakate Sinsenbon
 G/M : Ratio of air quantity to sample weight

(2) 実験結果および考察

上記乾燥条件における平均乾燥速度、および胴割れ発生率の程度は、Tab. III-20 に示す、

Tab. III-20. Relationship between drying speed, cracking rate and program-control-temperature.

Test No.	drying speed (%/hr)	cracking rate (%)					
		open			shut		
		perfect	demi	total	perfect	demi	total
I	2.3	15	3	18	11	1	12
	2.3	17	3	20	15	2	17
II	2.8	20	5	25	16	3	19
	2.9	19	4	23	17	3	20
III	2.7	37	2	39	29	2	31
	2.8	56	4	60	49	1	50
IV	3.1	50	3	53	37	2	39
	3.2	80	2	82	52	3	55

(1) 温度操作と乾燥速度

この実験の範囲内では乾燥速度は、附加熱量に左右され、熱風操作による差異は認められなかった。しかし生籾からの場合は更に検討する必要がある。

(2) 温度操作と胴割れの発生

熱風 40°C 均一の場合が、最も少ないが、40°C→50°C の場合と、50°C→40°C の場合では胴割れ発生は、明らかに後者の方が少ない。この事は乾燥終了時の籾穀温や籾内水分勾配と胴割れとの間に関係があることを示している。すなわち、胴割れ防止の点から見れば、乾燥の進行と共に、温度は下げた方が好ましい。

(3) 密閉（紙ぶくろ詰め）の効果は多少認められる。

第5節 乾燥後の処理方法が籾品質におよぼす影響

I. は し が き

熱風で急速乾燥された籾の処理について現在、定まった方式による処理はなされていない。第5節においては、乾燥後の処理方法中、特に重要だと思われる熱風乾燥直後の籾すりが籾の品質に及ぼす影響、乾燥後の放冷槽の効果、およびその二つを組み合わせた乾燥後の処理法が、籾品質におよぼす影響について、実験を行ない検討した。

II. 乾燥直後の籾すりが籾品質に及ぼす影響

大量乾燥方式の場合、急速乾燥後、直ちに籾すりを行なえば、作業能率上極めて好都合である。この実験では、乾燥直後のかなり穀温の高い籾について、籾すりを行なった場合の玄米の肌ずれ程度胴割れ、籾脱稈率を測定し、これと放冷後籾すりを行なった場合と比較した。

1. 実験方法

(1) 供試籾の乾燥方法

供試した籾の乾燥方法としては、静止通気乾燥、移動通気乾燥および吹上循環乾燥の三つのタイプで乾燥した。熱風温度は前2型式では、30°C、40°C、50°C、60°C の4段階で、後者の型式として、平均 46°C、60°C、81°C、102°C で行なった。

(2) 籾品質に関する測定項目

(A) 籾の硬度——乾燥直後のものと、放冷したものについて、硬度を測定し、籾すりによる胴割

れや、肌ずれに対する基礎資料とした。

(B) 脱稈率——乾燥直後および放冷後の籾について同一条件における脱稈率を測定し、その脱稈性の難易につき検討した。

(C) 肌ずれ歩合——乾燥直後、および放冷後の籾を同一条件で籾すりを行なった場合ゴムロールによる肌ずれを調査し、玄米の品質および保存性の資料とした。

(D) 胴割れ歩合——乾燥直後直ちに籾すりを行なったものと、放冷後行なったものについて胴割れ歩合を検討した。

2. 実験結果

実験結果、各乾燥条件、および保存条件の相違による籾の硬度、脱稈率、肌ずれ歩合、胴割れ率を測定した結果を Tab. III-21 に示す。

Tab. III-21. Relationship between hulling time and quality of rices after drying

item Type	heat-air temp. (°C)	drying speed (%/hr)	hardness (Kg)		*husking ratio (%)		Hadazure (%)		cracking rate (%)	
			A	B	A	B	A	B	A	B
deep-bed type (layer type)	30	2.1	6.2	7.0	90.3	92.0	19.0	7.8	14.7	12.3
	40	2.6	6.5	6.8	82.3	91.5	22.4	11.8	26.3	20.7
	50	3.3	6.4	6.8	92.0	93.2	25.0	13.2	29.0	53.0
	60	4.1	5.7	6.2	81.5	92.3	23.2	12.0	79.0	71.0
vibration type (fluidized bed type)	30	2.0	5.7	6.8	65.4	92.6	19.6	8.0	11.3	6.7
	40	2.5	6.2	6.8	90.0	92.0	31.2	14.0	15.0	14.0
	50	3.3	6.0	7.5	91.5	93.2	35.8	9.2	27.4	44.0
	60	4.1	5.6	7.0	86.0	93.3	35.8	9.4	62.3	60.0
blow-up type (circulation type)	45~47	2.0	5.8	7.5	86.4	89.9	16.6	5.4	12.0	9.0
	58~62	2.5	7.0	8.0	90.6	94.8	24.4	13.8	25.3	27.0
	80~82	3.1	5.7	6.5	90.6	91.0	21.6	8.0	38.3	34.0
	100~104	4.0	6.2	6.4	94.5	93.5	30.8	8.8	85.0	66.0

A : after drying B : after cooling
* : 48 hours pass after drying

3. 考察

(1) 籾の硬度について

乾燥直後に比べ、放冷すれば、籾の硬度は増大し、その差は、0.8 (kg)~0.4 (kg) 附近である。乾燥形式による籾硬度の有意差は認められないが、乾燥温度が高くなれば、硬度は減少する傾向がある。

(2) 脱稈性について

乾燥直後に比べ、放冷後の籾の方が、脱稈率が高い。また乾燥後の籾水分、および乾燥むらは、脱稈率に影響する。

(3) 肌ずれについて

乾燥直後の籾すりは、肌ずれを多くする。また熱風温度が高いと、同様な傾向がある。

(4) 胴割れ増加率について

乾燥直後の籾すりでは、胴割れが増加する (10~20%)。また乾燥形式ごとでは、籾移動乾燥の方が、胴割れが少ない。

III. 放冷槽における乾燥度合均一化の効果

現在、熱風で急速に乾燥した籾は、放冷槽に一たん貯蔵され、冷却後籾すり行程に入るが、放冷槽

の容量は、その乾燥処理量が増せば、それに比例して増加する必要があるため施設設計上問題がある。この放冷槽のねらいである穀温の放冷が、粳品質に及ぼす影響については、前節でふれたが、もうひとつの目的である乾燥水分の均一化の効果について検討した。

1. 実験方法

静置通風乾燥を行なう場合、必らず下層の乾燥が早く、上層の乾燥が遅いため、乾燥終了時には、上下層でかなりの水分較差が生ずることは、第Ⅱ節で述べた。このように、水分較差のある粳厚層を次の3通りの方法で、放冷槽に充填し、各層の含水率の変化を調査した。

充填方法

- (1) 混合充填——乾燥後の各層の粳を十分に攪はん混合して充填する。
- (2) 乾燥終了時のまま——乾燥後そのままの状態に充填放冷する。
- (3) 反転充填——乾燥後下層、上層を反転して充填放冷する。

2. 実験結果

乾燥直後ならびに、放冷経過時間ごとの各層における含水率の変化を Tab. III-22 に示す。

Tab. III-22. Change of moisture content in storage tank.

H cm	mix filling up				un-changed			reverse filling up			
	moisture content after drying	cooling hour (hr-min)			moisture content after drying	cooling hour (hr-min)		moisture content after drying	cooling hour (hr-min)		
		3-00	14-00	22-00		17-00	24-00		2-30	19-00	24-00
0~5	11.2	14.5	14.8	14.4	7.7	11.6	11.1	8.5	11.4	12.9	11.6
5~10	11.8	14.4	14.9	14.8	8.0	12.0	11.5	8.7	11.3	12.8	11.4
10~15	12.0	14.5	14.8	14.5	8.3	11.6	11.4	9.1	11.1	12.5	11.4
15~20	12.6	14.6	14.6	14.9	8.8	11.9	11.3	9.3	12.0	12.5	11.4
20~25	13.0	14.5	14.9	15.1	9.1	12.8	12.3	10.0	12.0	12.3	11.4
25~30	13.6	14.9	14.2	15.4	9.2	12.8	12.7	10.6	11.9	12.2	11.2
30~35	14.7	14.5	15.0	14.7	9.9	13.2	12.4	10.9	12.0	12.1	11.3
35~40	15.4	13.7	13.7	14.8	10.1	13.3	12.6	11.5	12.4	12.0	11.2
40~45	15.6	13.9	14.5	15.1	11.0	14.2	13.4	12.4	12.2	12.0	11.2
45~50	16.0	13.9	14.9	14.9	11.5	14.3	13.7	13.0	13.2	12.2	11.1
50~55	16.9	13.9	14.5	14.9	12.4	14.6	13.6	13.3	13.0	11.6	11.3
55~60	17.5	14.4	14.4	14.8	13.0	14.3	13.4	14.3	13.2	11.6	10.4
Average	14.20 6.3	14.30 1.0	14.60 1.3	14.85 1.0	9.92 5.3	13.05 3.0	12.45 2.6	10.96 4.8	12.14 2.1	12.19 1.3	11.24 0.8

Variety of paddy : Nakate Sinsenbon

3. 考察

(1) 乾燥度合均一化の効果

乾燥直後、および放冷24時間後の水分較差は、混合充填で、6.3%が、1.0%に、乾燥状態のままでの放冷の場合5.3%が2.6%に、反転充填の場合が4.8%が、0.8%、とかなり均一化の効果がある。したがってそのままの放冷の場合でも1.5%~2.0%の水分変化は、充分考えられる。

(2) 放冷時間と水分変化

放冷槽内での水分較差の時間的变化から混合、および反転充填の場合には、放冷5時間程度で較差は、急激に少なくなり、以後あまり変化しない。乾燥状態のまま放冷した場合は、20時間程度まで、経過時間に比例して減少する。

IV. 乾燥後の処理作業の方法が胴割れに及ぼす影響

(II), (III)において, 乾燥直後の粳すりの可否, 放冷貯蔵の効果について調査したが, ここではその処理作業の方法とそれによって生ずる胴割れ歩合とを比較した.

1. 乾燥および処理作業の方法

乾燥後の処理作業順序および保存条件は Tab. III-23 に, また乾燥条件は, Tab. III-24 に示す.

Tab. III-23. Order of treatment operation and preservation condition.

Test No.	drying-type	order of treatment operation	storing methods
I II III IV	deep-bed type T=40°C	drying→storage→hulling drying→storage→hulling drying→storage→hulling drying→storage→hulling	preservation in storage tank during 24 hr. scattered storing shut tight storage packing grain storage
V VI	blow-up circulated type	drying→hulling→storage drying→hulling→storage	shut tight storage packing grain storage
VII VIII IX X	blow-up circulated type	drying→storage→hulling drying→storage→hulling drying→storage→hulling drying→storage→hulling	preservation in storage tank during 24 hr. scattered storing shut tight storage packing grain storage

Tab. IV-24. Drying conditions.

Test No.	type of drying	heat-air temp. (°C)	heat-air quantity (kg/hr)	sample weight (kg)	drying time (hr-min)	moisture content (W. B)		drying speed per hour (%)
						before	after	
I~IV	deep-bed drying	40°C	48.0	56.0	9-00	23.3	14.1	1.02
V-X	blow-up drying	130°C~79°C mean. 90°C	60.5	370.0	6-33	23.2	14.6	1.31

2. 測定結果および考察

各処理区ごとの乾燥粳の胴割れ発生率は, Tab. III-25 のようである.

Tab. III-25. Relationship between method of treatment and cracking rate.

Cracking rate	Test No.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
	perfect		16.1	23.0	15.0	15.0	9.5	18.0	14.0	19.3	13.2
demi		3.6	3.5	2.0	4.0	10.5	8.0	8.1	11.2	5.0	5.0
total		19.7	26.5	17.0	19.0	20.0	26.0	22.1	30.5	18.2	24.1

この結果, 貯蔵方法としては, 密閉貯蔵方式が胴割れ発生率が最も少なく, バラ貯蔵が多い. また乾燥→粳すりの方法は, 乾燥→貯蔵に比べ2%内外胴割れ発生が多い.

V. 摘 要

(1) 乾燥後の粳の処理方法としては, 乾燥→粳すり→玄米貯蔵の方式が最も能率的であるが, 乾燥直後の粳すりは, 乾燥程度の不均一, 粳の硬度が低いため脱稈率が悪く, 肌ずれ米や, 胴割れ米が生じやすい欠陥が判明した. 粳すりロールのかたさ, およびロール間隙の検討が必要となる.

(2) 乾燥後直ちに, 急冷却は, 胴割れ発生の増加を促す. 過乾米に対しては, 断熱, 密閉の効果

があり、未乾米に対しては、微換気、放冷の必要がある。

(3) 放冷槽における効果は、乾燥水分較差の均一化と放冷による胴割れ防止であるが、その程度については、更にくわしい実験が必要である。

第4章 小麦の厚層通気乾燥に関する研究

厚く堆積された麦充填層に強制通気して乾燥を行なう場合、その全体を通じての蒸発水分量、上層下層の乾燥むらなどは、いずれも、乾燥条件（送風量、熱風条件、含水率）に左右される。この実験では、風量、重量比の範囲を現在使用されている状態にあわせ、実際上の尺度で実施した。したがって従来あまり行なわれていない恒率乾燥期間における乾燥速度、および厚層における減率期間の乾燥速度を、実験的に求めた。

I. 実験装置、および乾燥条件

実験装置としては、籾に使用したものを、そのまま使用した。(Fig. II-1 参照) 乾燥条件は、Tab. IV-1 に示すが、熱風温度は 40°C, 50°C, 60°C の3段階で送風量は、44.4 kg/hr の一定とし堆積高さを 10, 20, 30, 40, 50, 60 cm, の6段階で行なった。

Tab. IV-1. Drying conditions in the case of wheat grains.

Test No.	heat-air condition			Initial moisture content	sample weight (kg)	volume (m ³)	air-quantity G (kg/hr)
	t(°C)	tw(°C)	(Hw-H)(kg/kg)	W(%)			
I	40.0	19.5	6.0×10^{-3}	17.5	6.6~19.6	0.009~0.054	44.42
II	50.0	24.3	8.8×10^{-3}	17.2	6.6~19.6	0.009~0.054	44.42
III	60.0	28.5	12.8×10^{-3}	16.3	6.6~19.6	0.009~0.054	44.42

Variety of wheat : No. 16. Norin
size of drying floor : $0.3^m \times 0.3^m = 0.09 m^2$

II. 実験結果

堆積高さごと (10, 20, 30, 40, 50, 60 cm) の蒸発水分量を各乾燥条件ごとに実測した結果を Tab. IV-2~Tab. IV-4 に示す。

Tab. IV-2. Relationship between accumulated height and vaporizing weight of moisture content (Kg/hr) in the case of temperature=40°C

Test No.	drying. hour (hr-min)	accumulated height (cm)					
		10	20	30	40	50	60
No. 1 t=40°C tw=19.5°C G=44.4 kg/hr W=17.5 (%)	1-00	142	171	174	164	154	144
	2-00	78	140	170	170	169	160
	3-00	57	114	156	166	172	169
	4-00	42	97	139	159	170	174
	5-00	36	80	127	160	165	172
	6-00	28	65	112	144	160	165
	7-00	22	51	92	126	143	155
	8-00	19	44	81	110	130	142
	9-00	15	35	64	95	118	128
	10-00	11	26	53	80	100	115
	11-00	9	21	42	68	91	101
	12-00	7	18	33	55	78	89

Tab. IV-3. Relationship between accumulated height and vaporizing weight of moisture content (Kg/hr) in the case of temperature=50°C.

Test No.	drying hour (hr-min)	accumulated height (cm)					
		10	20	30	40	50	60
No. 2 t=50.0°C tw=24.3(°C) G=44.4 kg/hr W=17.2 (%)	1-00	205	249	234	214	194	174
	2-00	115	216	241	231	221	212
	3-00	66	166	236	246	246	245
	4-00	50	130	210	245	250	251
	5-00	39	100	175	237	249	251
	6-00	26	71	141	206	226	236
	7-00	19	53	104	172	202	221
	8-00	15	40	81	138	182	200
	9-00	12	29	67	117	162	188
	10-00	10	25	54	110	142	190
	11-00	8	22	42	84	125	151
	12-00	7	18	38	63	104	137

Tab. IV-4. Relationship between accumulated height and vaporizing weight of moisture content (Kg/hr) in the case of temperature=60°C

Test No.	drying hour (hr-min)	accumulated height (cm)					
		10	20	30	40	50	60
No. 3 t=60.0(°C) tw=28.5(°C) G=44.4(kg/hr) W=16.3 (%)	1-00	307	360	348	321	297	264
	2-00	128	330	366	367	360	355
	3-00	80	236	343	370	370	370
	4-00	45	139	272	336	359	370
	5-00	30	84	181	267	300	338
	6-00	25	62	134	220	259	296
	7-00	20	51	103	180	223	260
	8-00	18	39	78	140	200	231
	9-00	15	34	62	114	178	202
	10-00	10	23	48	92	158	185
	11-00	10	22	43	79	141	170
	12-00	5	17	32	63	122	158

III. 実験結果および考察

1. 厚層通気乾燥における麦の乾燥特性曲線

Test. No. 1, 2, 3 について, 各乾量基準含水率と, 乾燥速度の関係を求めた結果は, Fig. IV-1 ~ Fig. IV-3 のようである. すなわち麦厚層における含水率 (W) 対乾燥速度の関係は, 3つのタイプに分類される.

(A) $G/M_d > 8.0$ の場合—— $W \sim \phi_d$ 曲線は上方に凹となり, 乾燥特性曲線の形式としては「IV」型となる. 恒率乾燥期間は, 存在しない.

(B) $5.0 < G/M_d < 8.0$ の場合—— $W \sim \phi_d$ は, 直線となり, 乾燥特性曲線は, 「I」型, または「III」型で, 限界含水率は存在する.

(C) $G/M_d < 5.0$ の場合——恒率乾燥期間が存在し, 限界含水率 (湿量基準) は, 18%~17%

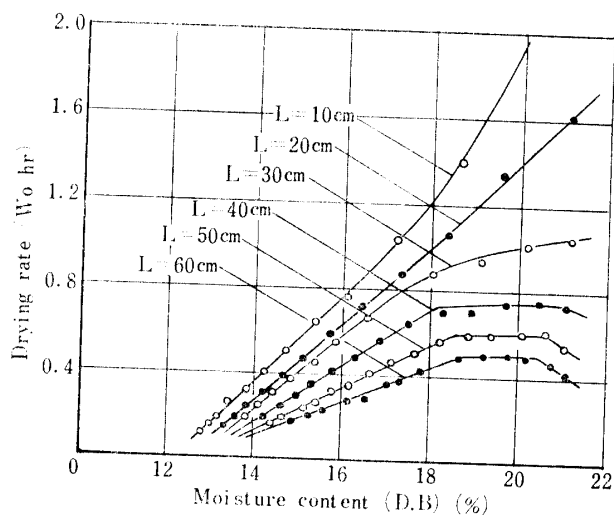


Fig. IV-1. Drying characteristic curves of deep-bed drying on wheat grains (drying condition t=40°C)

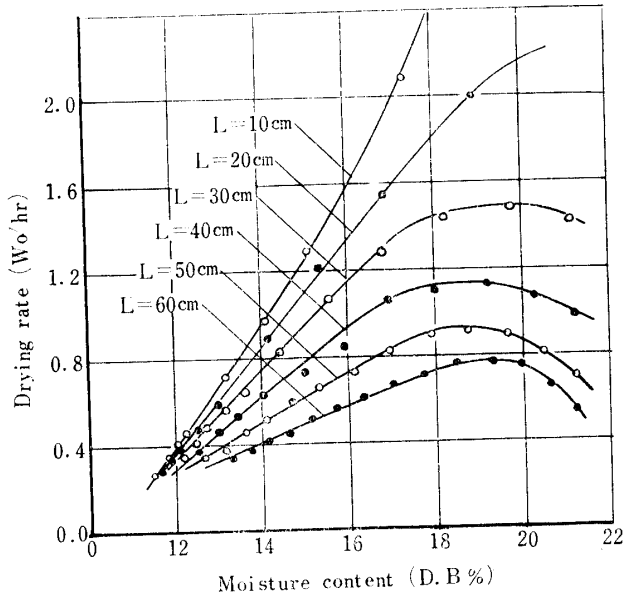


Fig. IV-2. Drying characteristic curves of deep-bed drying on wheat grains (drying condition $t=50^{\circ}\text{C}$)

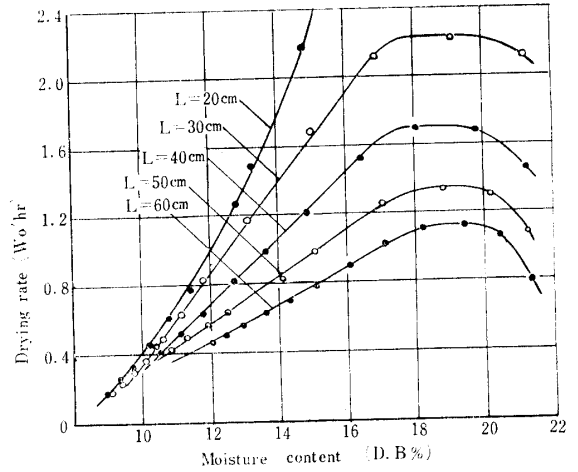


Fig. IV-3. Drying characteristic curves of deep-bed drying on wheat grains (drying condition $t=60^{\circ}\text{C}$)

附近にあるが、熱風温度が高いほど、限界含水率は低下する。静置式乾燥法は、ほとんどこの場合である。

2. 厚層通気における恒率乾燥速度

(1) 各乾燥条件と恒率乾燥速度の測定結果

各乾燥条件において、恒率期間における乾燥速度 (ϕ_c)、および限界含水率 (W_c) を実験結果より算定した結果は、Tab. IV-5 に示す。

Tab. IV-5. Experimental values of constant-rate-drying speed in the case of wheat grains.

Test No.	heated air condition			accumulated height (cm)	G/Md (kg/hr-kg)	ϕ_c (%/hr)	W_c (%)
	t(°C)	(t-tw)(°C)	(Hw-H)(kg/kg)				
I	40	20.5	6.0×10^{-3}	30	2.706	1.05	20.2
				40	2.029	0.76	18.5
				50	1.623	0.62	18.5
				60	1.353	0.52	18.7
II	50	25.7	8.8×10^{-3}	30	2.706	1.47	17.5
				40	2.029	1.13	16.9
				50	1.623	0.92	17.8
				60	1.353	0.77	18.5
III	60	28.0	12.8×10^{-3}	30	2.706	2.24	17.2
				40	2.027	1.70	17.3
				50	1.623	1.36	17.9
				60	1.353	1.13	18.2

W_c : Critical moisture content
 G/Md : ratio of air quantity to dry-material weight
 ϕ_c : constant-rate-drying speed

(2) 恒率乾燥速度係数 (Kc) の算定

(A) 恒率乾燥速度の近似式

前述の如くの場合と同様に恒率乾燥速度 (ϕ_c) は比較的低温の場合には、近似的に、次の一般式で与えられる。

$$\phi_c = \frac{G_0 C_H (1 - e^{-Nt})(t - t_w)}{\gamma_w M_d}$$

または、

$$\phi_c = \frac{G_0 (1 - e^{-Nt})(H_w - H_1)}{M_d} \quad \text{--- (IV-1)}$$

G_0 ; 送風量 kg/hr

C_H ; 空気湿り比熱 $kcal/kg^\circ C$

Nt ; 移動単位数

γ_w ; 蒸発潜熱

また $(1 - e^{-Nt}) = R/R_{max} = K_c$ とおき、 K_c を恒率乾燥速度係数とすれば、(IV-1)、式は、次のようになる。

$$\phi_c = K_c \cdot \frac{G_0}{M_d} (H_w - H_1) = K_c \frac{G_0}{M_d} \cdot \frac{C_H}{\gamma_w} (t - t_w)$$

R ; 恒率期間における蒸発水分量 (kg/hr)

$R_{max} = G_0(H_w - H_1)$ (kg/hr)

(B) 熱風条件を異にした場合の [ϕ_c] と [G/M_d] との関係

実験結果より、恒率期間における乾燥速度と風量乾重比 (G/M_d) とを、同一熱風条件でプロットすれば、Fig. IV-4 のようになり、各熱風条件ごとに、次の実験式が与えられる。

一般式 ($\phi_c = \alpha \cdot G/M_d$)

$t = 60^\circ C, t_w = 28.5^\circ C, \phi_c = 0.820 G/M_d$

$t = 50^\circ C, t_w = 21.0^\circ C, \phi_c = 0.549 G/M_d$

$t = 40^\circ C, t_w = 13.0^\circ C, \phi_c = 0.381 G/M_d$

--- (IV-2)

(IV-2) 式より常数 α と乾燥条件 ($t - t_w$) との関係は、

$$\alpha = 0.026(t - t_w) \quad \text{--- (IV-3)}$$

したがって、(IV-2)、(IV-3) 式より

$$\phi_c = 0.026(t - t_w) G/M_d \quad \text{--- (IV-4)}$$

(C) [G/M_d] を異にした場合の [ϕ_c] と ($H_w - H_1$) との関係

Fig. IV-5 は、同一 G/M_d 条件における ($H_w - H_1$) と ϕ_c との関係をプロットしたもので、 $\phi_c = \beta \cdot (H_w - H_1)$ なる一般式で与えられる。常数 β と G/M_d との

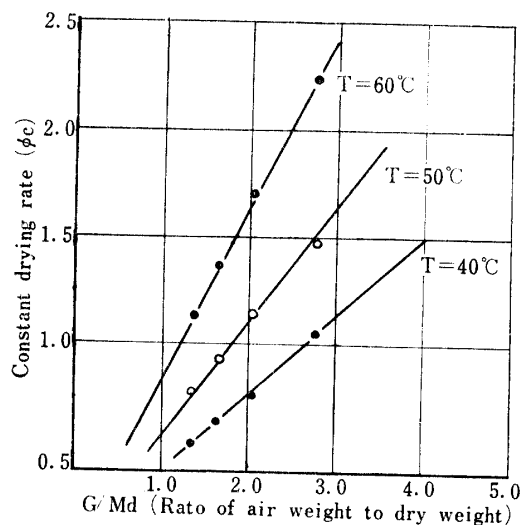


Fig. IV-4. Relationship between ϕ_c and G/M_d for term of constant-rate drying of wheat grains.

$T = 60^\circ C, t_w = 28.5^\circ C (\phi_c) = 0.820 G/M_d$

$T = 50^\circ C, t_w = 21.0^\circ C (\phi_c) = 0.549 G/M_d$

$T = 40^\circ C, t_w = 13.0^\circ C (\phi_c) = 0.381 G/M_d$

関係は、Fig. V-5 より、

$$\beta = 0.66 \frac{G}{M_d} \quad \text{--- (IV-5)}$$

したがって、 $\phi_c = 0.66 \frac{G}{M_d} (H_w - H_1)$ となる。すなわち、 $R/R_{\max} = K_c \doteq 0.66$ として与えられる。

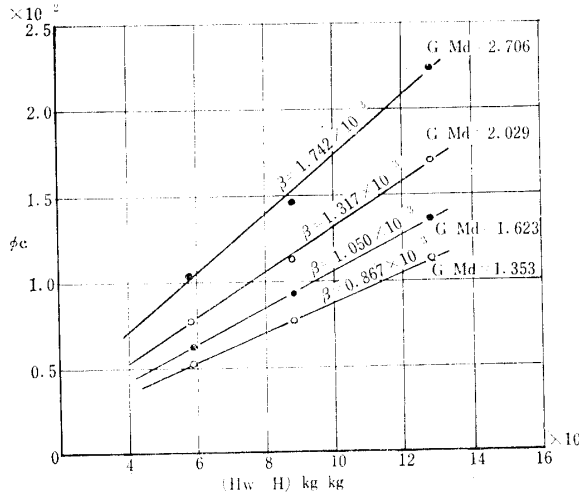


Fig. IV-5. Relationship between ϕ_c and $(H_w - H)$ of wheat grains at different ratio of air weight to dry sample weight

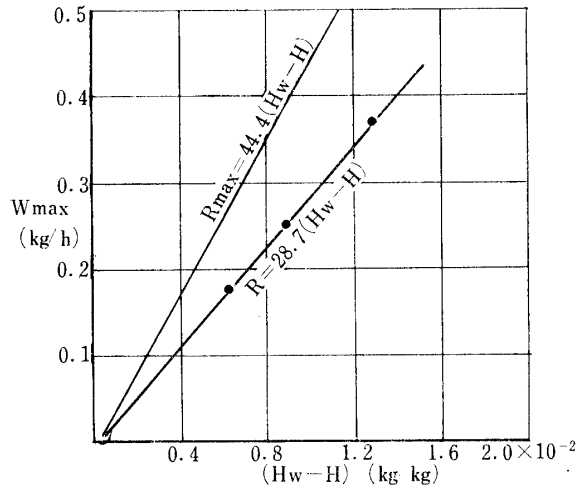


Fig. IV-6. Relationship between R_{\max} and $(H_w - H)$ of wheat grains

(D) 各熱風条件と恒率期間における水分乾燥速度 $R(kg/hr)$ との関係

厚堆積された麦層に強制通気した場合、その恒率乾燥期間における毎時最大水分蒸発量 (R) は、 (G/M_d) に関係なく、ひとつの極限值が存在する。熱風条件と R を実験結果よりプロットすれば、Fig. -6 のようになる。したがって

$$R \doteq 28.7 (H_w - H_1) \quad \text{--- (IV-6)}$$

$$R/R_{\max} = \frac{28.7(H_w - H_1)}{44.4(H_w - H_1)} = 0.64 \quad \text{--- (IV-7)}$$

すなわち小麦の厚層通気の場合の恒率乾燥速度 (ϕ_c) は、

$$\phi_c = K_d \frac{G}{M_d} (H_w - H_1) = 0.64 \frac{G}{M_d} (H_w - H_1) \quad \text{--- (IV-8)}$$

以上 (A), (B), (C), (D) 各項で求めた結果、小麦における乾燥速度係数 (K_c) は、 $40^\circ C \sim 60^\circ C$ の範囲においては、 $0.66 \sim 0.64$ と見なされる。これに乾燥条件を入れて、恒率乾燥速度を算定する。

(3) 厚層通気乾燥の場合に生ずる吸湿現象について

厚層通気乾燥を行なう時、蒸発水分量は、乾燥初期は少なく、経過時間と共に、増大し恒率乾燥期間へと移行する現象がみられる。この現象の主な原因として、従来流入熱量の一部が材料加熱のために消費されるためと考えられている。

しかし各堆積層ごとの蒸発水分量を調べた結果、厚層におけるこの現象の主原因は、材料加熱による熱量の消費よりむしろ、厚層上部における吸湿が主原因であることが判明した。実験による各層の

Tab. IV-6. Relationship between moisture weight by absorption and drying condition.

Test No.	heat-air temperature		Md/G					maximum water-vapor weight (g)
	t(°C)	tw(°C)	0.247	0.370	0.493	0.617	0.740	
I	40.0	19.5	—	—	10 *(5.74)	20 (11.49)	30 (17.24)	174
II	50.0	24.3	—	17 (6.77)	37 (14.72)	57 (22.71)	77 (30.67)	251
III	60.0	28.5	—	22 (5.95)	49 (13.24)	73 (19.73)	106 (28.67)	370

* ratio of moisture weight by absorption to maximum water-vapor weight per hour.

水分の時間的变化は、いったん蒸発した水分が上層の低穀温層中で再び吸湿される過程を示している。そして吸湿量は、熱風温度及び G/M_d により異なる。

Tab. IV-5 の実験結果より、各乾燥条件ごとに吸湿水分量を算出した結果を IV-6 に示す。

(A) 吸湿量 [Y] と乾量風量比 (M_d/G) との関係

Tab. IV-6 で明らかなように、吸湿水分量は堆積高さ (M_d/G) に比例して増大する。すなわち一定条件下では、次の一般式で表わされる。

$$Y/R = \alpha \left\{ \left(\frac{M_d}{G} \right) - C \right\}$$

ここで R は (M_d/G) における恒率乾燥速度を示す。各熱風条件ごとの (Y/R)~(M_d/G) 直線および係数 α 、常数 C は、Fig. IV-7 に示す。

(B) 最大乾燥速度になるまでの時間 (θ_b) と堆積量との関係

Fig. IV-8 は、熱風温度 40°C の場合、各堆積量ごとの蒸散水分の時間的变化を示したものである。これによると最大乾燥速度 (R) に達するまでに要する乾燥時間 (θ_b) は、堆積高さ、すなわち、

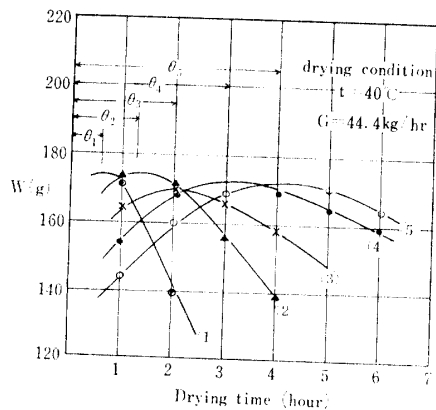


Fig. IV-8. Relationship between W (vaporized moisture content) and drying time of wheat grains.

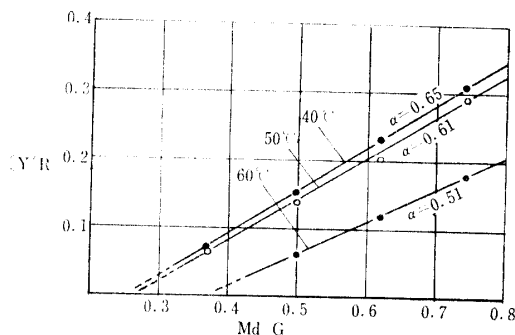


Fig. IV-7. Relationship between (Y/R) and (M_d/G) of wheat grains
(Y) : Moisture weight by absorption
(R) : Maximum vaporized moisture content

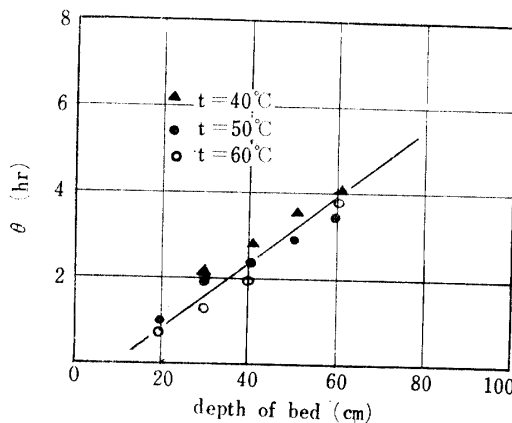


Fig. IV-9. Relationship between (θ) and depth of bed. (θ) : the time elapsed until maximum drying rate

(M_d/G) によって異なり, (M_d/G) が大になれば, (θ_b) も長くなる. 乾燥開始後, (θ_d) までの過程は, 前述した蒸発水分の再吸着, および材料加温に熱量を要するためである. 実験結果より, 堆積高さ (θ_b) とを比較すれば, Fig. IV-9 のようになり, 近似的に (θ_b) と (M_d/G) との間には,

$$\theta_b \doteq 6.50 \left\{ \left(\frac{M_d}{G} \right) - 0.123 \right\} \quad \text{— (IV-9)}$$

の関係がある. (θ_b) は, (M_d/G) に比例し, ($M_d/G < 0.123$) では, [θ_b]=0, つまり, 乾燥はじめて, 最大乾燥速度となる. したがって, この熱風条件下では, 吸湿現象が認められるのは, (M_d/G) が 0.265 以上で, それ以下の, $0.123 < M_d/G < 0.265$ の範囲では, 材料加温のみの影響が, 乾燥速度に作用するものと考えられる.

3. 厚層通気における減率乾燥速度

(1) 減率乾燥速度勾配 (K_d) の実験値

前述のように, 減率期間における乾燥速度 [ϕ_d] は, $\phi_d = K_d \cdot F$ (F は自由含水率) で表わされるが 実験結果より求めた K_d を Tab. IV-7 に示す.

Tab. IV-7. Experimental values in the case of each drying condition

Test No.	heated air condition		(G/Md)			
	t(°C)	(H _w -H)	1.356	1.623	2.092	2.706
I	40	6.0×10^{-3}	0.08	0.102	0.133	0.181
II	50	8.8×10^{-3}	0.09	0.115	0.150	0.210
III	60	12.8×10^{-3}	0.116	0.140	0.186	0.260

従って [K_d] と [G/M_d] との間には次の関係が認められた.

$t = 40^\circ\text{C}$, ($H_w - H_1$) = 6.0×10^{-3} の場合

$$[K_d] = 0.073 \{ (G/M_d) - 0.24 \}$$

$t = 50^\circ\text{C}$, ($H_w - H_1$) = 8.8×10^{-3} の場合

$$[K_d] = 0.084 \{ (G/M_d) - 0.24 \}$$

$t = 60^\circ\text{C}$, ($H_w - H_1$) = 12.8×10^{-3} の場合

$$[K_d] = 0.104 \{ (G/M_d) - 0.24 \}$$

— (IV-10)

(2) 小麦における減率乾燥速度の近似算定式

(IV-10) 式における [K_d] と [G/M_d] との実験式よりその実験係数 (β) と絶対湿度差 ($H_w - H_1$) との関係をプロットすれば, Fig. IV-10 のようで, 次の実験式で示される.

$$\beta = 34.0(H_w - H_2)^{1.46} + 0.054 \quad \text{— (IV-11)}$$

(IV-10), (IV-11) 式より, K_d の一般式として, (IV-12) 式が成立する.

$$K_d = \{ 34.0(H_w - H_1)^{1.46} + 0.054 \} (G/M_d - 0.24) \quad \text{— (IV-12)}$$

したがって含水率 W における減率乾燥速度は熱風条件 ($H_w - H$), 送风量 (G), 材料乾燥重量 (M_d) が与えられれば, (IV-13) 式で算定できる.

$$\begin{aligned} \phi_d &= K_d(W - W_e) \\ &= \{ 34.0(H_w - H_1)^{1.46} + 0.054 \} (G/M_d - 0.24) (W - W_e) \quad \text{— (IV-13)} \end{aligned}$$

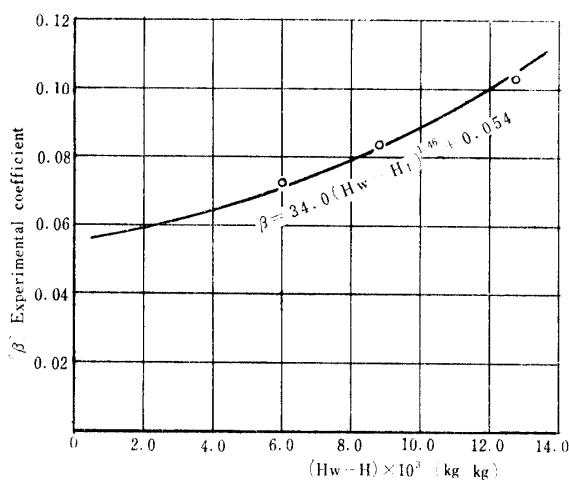


Fig. IV-10. Relationship between (β) (coefficient of ratio of air weight to dry weight) and (H_w-H_1)

(3) 減率乾燥速度 (ϕ_d) と、恒率乾燥速度 (ϕ_c) との関係

厚層通気の場合、平衡含水率の算定が困難であるので、 $\phi_d = K_d \cdot F$ における自由含水率 [F] の測定も複雑である。従来この種の乾燥特性曲線を示す物質に対しては、次の経験法則がしばしば利用されている。すなわち、乾燥条件 [I] の場合の恒率乾燥速度、および減率期間において含水比 W のときの乾燥速度を、それぞれ ϕ_{c1} 、 ϕ_{d1} とし、乾燥条件 [II] の場合のそれぞれを、 ϕ_{c2} 、 ϕ_{d2} とすれば、

$$\frac{\phi_{d1}}{\phi_{d2}} = \frac{\phi_{c1}}{\phi_{c2}} \quad \therefore \phi_{d2} = \phi_{d1} \frac{\phi_{c2}}{\phi_{c1}} \quad \text{--- (IV-14)}$$

Tab. IV-8 は各乾燥条件ごとの、 ϕ_c/ϕ_d を示したものである。

Tab. IV-8. Relationship between (ϕ_c) and (ϕ_d) in the case of each drying condition.

Test No.	heat-air condition		G/Md	drying speed		Kd	ϕ_c/ϕ_d	
	t(°C)	Hw-H(°C)		ϕ_c	* $\phi_d(16.0\%)$			
I	60	12.8×10^{-3}	2.706	2.24	1.96	0.260	1.14	
			2.029	1.70	1.40			0.186
			1.623	1.36	1.10			0.140
			1.353	1.14	0.90			0.116
II	50	8.8×10^{-3}	2.706	1.47	1.15	0.210	1.28	
			2.029	1.13	0.91			0.150
			1.623	0.91	0.72			0.115
			1.353	0.76	0.59			0.090
III	40	6.0×10^{-3}	2.706	0.913	0.65	0.181	1.40	
			2.029	0.682	0.55			0.133
			1.623	0.550	0.35			0.102
			1.353	0.459	0.28			0.08

* ϕ_d : drying speed in the case of moisture content=16%.

この結果 [ϕ_c/ϕ_d] の値は [G/Md] 及び熱風条件の影響も少ないものと見做される。従って麦厚層通気乾燥において乾燥条件 [I] の場合と乾燥条件 [II] の場合とでは、 $\phi_{c1}/\phi_{c2} = \phi_{d1}/\phi_{d2}$ の関係が近似的に成立すると考えて差支えない。

すなわち、麦厚層通気乾燥の場合、ある条件における減率乾燥速度を近似的に、決定する場合、任

意の条件における乾燥特性曲線があれば、その条件における恒率 (ϕ_{c1})、および減率乾燥速度 (ϕ_{d1}) を求め、また決定すべき乾燥条件における恒率乾燥速度 (ϕ_{c2}) を (IV-8) 式より求め、これを (V-14) 式に代入することにより、期待条件における、減率乾燥速度 (ϕ_{d2}) を算出する。

4. 麦厚層通気乾燥における乾燥所要時間

(1) 減率乾燥期間における乾燥時間

含水比 W_1 から、充填層平均含水比 W_2 まで乾燥するに要する時間を算定する場合、 $\phi_d \sim W$ 直線が X 軸を切る点の含水比 (W_c) が、各乾燥条件ごとに判明している場合には、次式で示されることは、籾の場合と同様である

$$\theta = \frac{1}{K_d} \log \frac{(W_1 - W_c)}{(W_2 - W_c)}$$

しかし実際の場合 (W_c) の推定が困難な場合が多く特に穀類の厚層の場合は、多くの実験の上に裏付けされないと、相当の誤差が生ずる。したがってこの場合は、限界含水比 (W_c) を用いて算定する。

含水比 (W_2) における減率乾燥速度を ϕ_{d2} とすれば

$$\phi_{d2} = \phi_c - K_d (W_c - W_2)$$

したがって、 W_c から W_2 まで乾燥するに要する時間 $[\theta_d]$ は

$$\begin{aligned} [\theta_d] &= \int d\theta = \int \frac{dW}{\phi_c - K_d W} = \frac{1}{K_d} \log(\theta_c - KW) \\ &= \frac{1}{K_d} \log\{\phi_c - (W_c - W_2)\} \end{aligned} \quad \text{--- (IV-15)}$$

(2) 恒率乾燥期間における乾燥所要時間

乾燥前含水率 W_1 から、限界含水率 W_c まで乾燥するに要する時間 $[\theta_c]$ は (IV-16) 式で示される。

$$\begin{aligned} [\theta_c] &= (W_1 - W_c) / \phi_c \\ &= W_1 - W_c / \{0.64 G / M_d (H_w - H_1)\} \end{aligned} \quad \text{--- (IV-16)}$$

(3) 麦厚層通気における乾燥所要時間

含水率 (W_1) から (W_2) まで乾燥するに要する全乾燥所要時間 $[\theta]$ は、IV-17 式で与えられる。

$$\begin{aligned} [\theta] &= [\theta_c] + [\theta_d] \\ &= \frac{W_1 - W_c}{\phi_c} + \frac{1}{K_d} \log\{\phi_c - (W_c - W_2)\} \end{aligned} \quad \text{--- (IV-17)}$$

小麦厚層通気の場合の限界含水率 W_c は、Tab. IV-5 に示すように、全層平均含水率 18.5~17.0 % (乾量基準) 附近であり、堆積量が増せば多少高くなる。

5. 摘 要

(1) 厚層通気乾燥における乾燥特性曲線

$G/M_d > 5.0$ では、恒率乾燥期間は、認められず、 $G/M_d > 8.0$ では、 $\phi_c \sim W$ 曲線は、上方に凹型、 $5.0 < G/M_d < 8.0$ の場合は、 $\phi_c \sim W$ 曲線は直線となる。 $G/M_d < 5.0$ の場合、その乾燥特性曲線の型式は、[I] 型となり、減率乾燥期間における乾燥速度は、含水比に比例して減少する。

(2) 小麦厚層通気乾燥における恒率乾燥速度 (ϕ_c) は、次式で与えられる。

$$\phi_c = 0.64 \text{ G/M}_d(\text{H}_w - \text{H}_1)$$

(3) 厚層通気乾燥において、乾燥初期上層部に吸湿が生ずるが、その吸湿量と (M_d/G) との関係は、次の一般式で与えられる。

$$Y/R = \alpha \left\{ \left(\frac{\text{M}_d}{\text{G}} \right) - C \right\}$$

Y; 吸湿量

R; 恒率乾燥速度

(4) 小麦の厚層通気乾燥において、減率期間における乾燥速度は、 $\phi_d = \text{K}_d (\text{W} - \text{W}_0)$ で示さるが、減率乾燥速度勾配 (K_d) は、近似的に次の関係式が成立する。

$$\text{K}_d = \{34.0(\text{H}_w - \text{H})^{1.46} + 0.054\} \{(G/\text{M}_d) - 0.24\}$$

(5) 小麦厚層通気乾燥において、恒率乾燥速度と減率乾燥速度の比 ϕ_c/ϕ_d は、略一定である。

(6) 小麦厚層通気乾燥の場合、含水比 W_1 から W_2 までの乾燥所要時間は、次の式で表わされる。

$$\theta = \frac{\text{W}_1 - \text{W}_c}{\phi_c} + \frac{1}{\text{K}_d} \log \{ \phi_c - (\text{W}_c - \text{W}_2) \} \text{ (hr)}$$

第5章 除虫菊の熱風乾燥に関する研究

第1節 は し が き

5月初旬、除虫菊の収穫のシーズンに入る頃は、瀬戸内の農家にとって最も心配なのは降雨である。従来、摘花した除虫菊は天日により乾燥していたが収穫後、降雨でもあるとよほど、通気でもよくなると一夜にして、たちまち醗酵し、まっ白な花弁は、黄褐色に変貌し、取り引き価値は、半減する。

除虫菊の人工乾燥に関する試験は、これが限定された地帯でのみ栽培されているため、現在まとまったものはない。

この研究は、昭和34年から39年までに実施した除虫菊の乾燥に関する試験をまとめたもので、熱風乾燥のほか、参考として常温通風乾燥や天日乾燥も合わせて記載した。除虫菊の人工乾燥に対する制約は、熱風温度を、 70°C 以上にあげないこと (有効ピレトリン含有量が低下するため)、花弁をできるだけ、脱落させず、また変色させないこと、(取り引価格の決定が主としてその花の充実程度や外観に左右されるため)、できるだけ経済的に乾燥できること、などである。

第2節 除虫菊の厚層通気乾燥に関する実験

I. は し が き

除虫菊花のうち必要なものは、その頭状花群の中にあるピレトリンであり、舌状花は、不必要のほずであるが、実際取引される場合の価格の決定は、主として外観による充実度色沢などにより決定される。そして舌状花が脱落したもの、および変色したものは、不良品として、安価に取扱われる。したがって、除虫菊の乾燥においては、穀類の場合のように、それ自体を、吹上げたり、攪はんしたりする乾燥方式は、花弁の脱落を伴うので、不適當で、それ自体の移動が少ない熱風通気乾燥法か、あるいはバンド式連続乾燥法に限られる。この実験では、この乾燥型式で乾燥を行なう場合の基礎実験として、各堆積高さや熱風条件を変えた場合の乾燥速度や水分の較差などにつき検討した。

II. 実験装置および乾燥条件

実験装置は、第2章の初の場合と同様で、Fig. II-1 に示す装置を使用した。この実験当時は、風量自動調節装置が未完のため、入口シャッターを手動により調節した。

乾燥条件は、Tab. V-1 に示す。熱風温度は、実用的と考えられる $40^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 、供試量は、風量重量比で、 $11.9\sim 142.0$ [$\text{kg}/\text{kg}\cdot\text{hr}$] の間を、12段階に分け（1段階の堆積高さ 5cm 、生重で 0.7kg ）で実施した。

乾燥材料は、品種広系1号で収穫直後のもの（含水率約 79% ）を供試した。

Tab. V-1. Drying conditions in the case of deep-bed ventilation drying by heat-air (Pyrethrums.)

Test No.	heat-air temperature ($^{\circ}\text{C}$)		humidity condition		air quantity (%)	Initial moisture content (%)		sample weight		area of bed (m^2)
	t_1	t_w	H	Hw		W(%)	Wd	M	Md	
III-1	40.0	20.4	0.0142	0.0204	99.9	78.8	3.713	1.4×6	0.297×6	0.09
III-2	50.0	25.5	0.0103	0.0205	99.9	78.8	3.713	1.4×6	0.297×6	0.09
III-3	60.0	28.5	0.0111	0.0250	99.9	78.8	3.713	1.4×6	0.297×6	0.09
III-4	70.0	30.0	0.0095	0.0270	99.9	78.8	3.713	1.4×6	0.297×6	0.09

t_1 : Dry bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$)

t_w : Wet bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$)

H : Absolute humidity (kg/kg)

Hw : Saturated absolute humidity (kg/kg)

W : Moisture content (wet base) (%)

Wd : Moisture content (dry base)

M : Wet-sample weight (kg)

Md : Dry-sample weight (kg)

III. 実験結果および考察

1. 厚層通気乾燥における除虫菊の乾燥特性について

(1) 乾燥条件および乾燥特性曲線

乾燥条件 Tab. V-1 で乾燥した場合の乾燥特性曲線は、Fig. V-1~Fig. V-4 のようである。

一般的に乾燥特性曲線は恒率乾燥期間と、減率乾燥期間より成り、減率乾燥期間における乾燥速度は、含水率に比例して減少する。

(2) 堆積量（風量重量比）を異にした場合の乾燥特性曲線の型式

同一熱風条件で乾燥した場合、堆積量が増すことにより、Fig. V-5 に示すように、I~VIIIの型式に分けられる。

Iは堆積量が最も少ない時の状態で、第1章で述べた乾燥特性曲線に相当する。堆積量が増せば、IIからIIIの状態に移行する。III~Vは乾燥初期から減率乾燥の状態ではいるが、この場合は、減率乾燥1期と、2期とが区別される。減率乾燥1期は、主として舌状花と頭状花との乾燥速度が合成された結果生ずるもので、2期は主として頭状花だけの乾燥が主となっている期間と思われる。VIは恒率乾燥、減率1期、2期より成り、堆積量が更に増し、VIIの状態になれば恒率乾燥期間から、直ちに減率乾燥期間の2期に移行し、堆積量が更に増加すれば、VIIIの状態になる。この関係は、熱風条件も多少影響する。

(3) 熱風条件を異にした場合の乾燥特性曲線の型式

Fig. V-6 は同一堆積量 ($G/M=11.9\text{ kg}\cdot\text{hr}/\text{kg}$) において、熱風温度を異にした場合の乾燥特性曲線である。

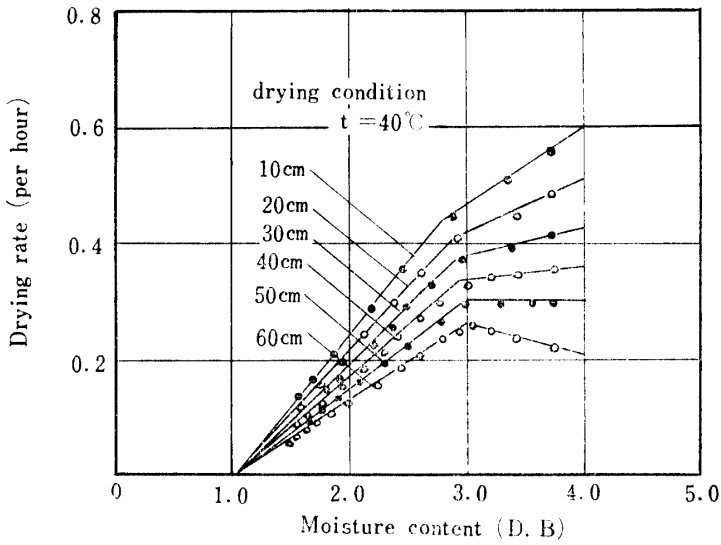


Fig. V-1. Drying characteristic curves in the case of each accumulated height of Pyrethrums. heat-air temperature=40°C

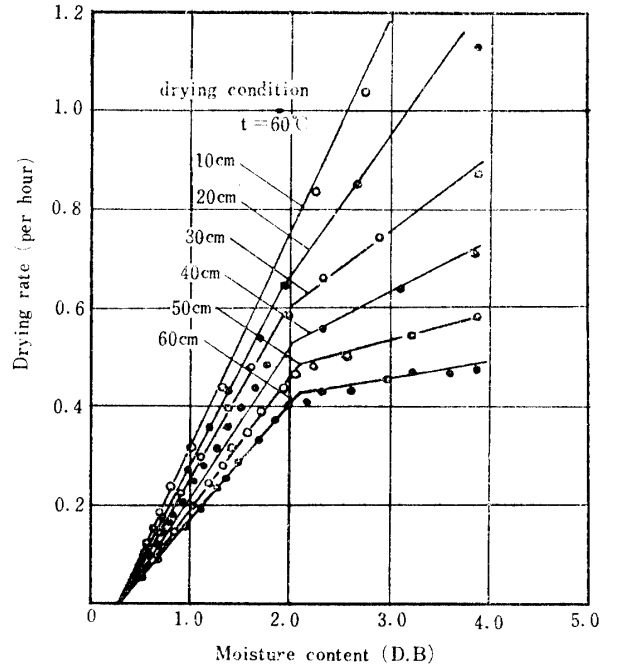


Fig. V-3. Drying characteristic curves of Pyrethrums. heat-air temperature=60°C

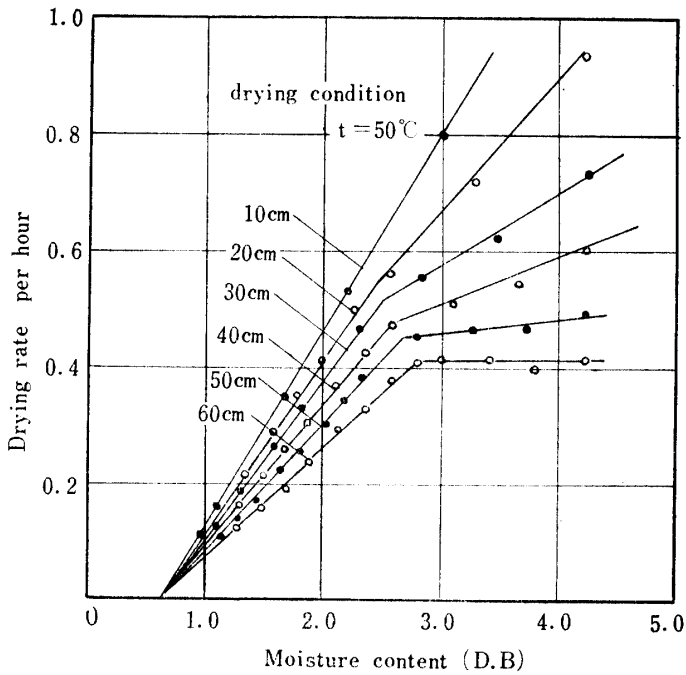


Fig. V-2. Drying characteristic curves of Pyrethrums. heat-air temperature=50°C

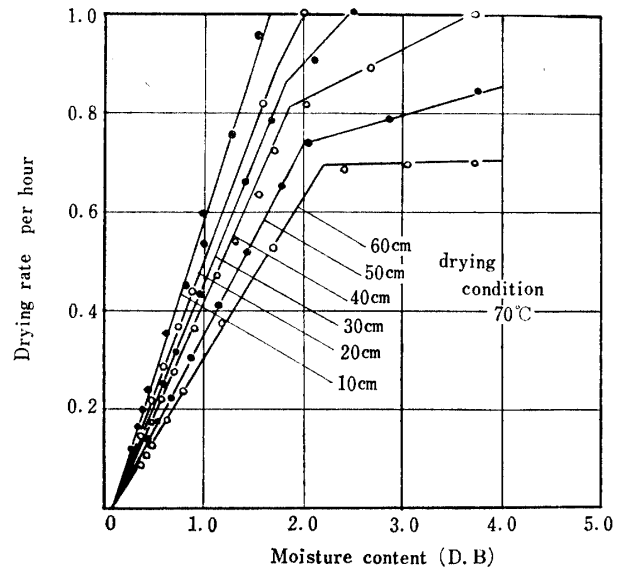


Fig. V-4. Drying characteristic curves of Pyrethrums. heat-air temperature=70°C

これによると、(A). 恒率乾燥速度 (ϕ_c), 減率乾燥速度 (ϕ_d), は, 熱風温度に比例して増大する,
 (B). 限界含水率 (W_c), 平衡含水率 (W_e) は, 熱風温度が高くなるにつれて, 低下する,

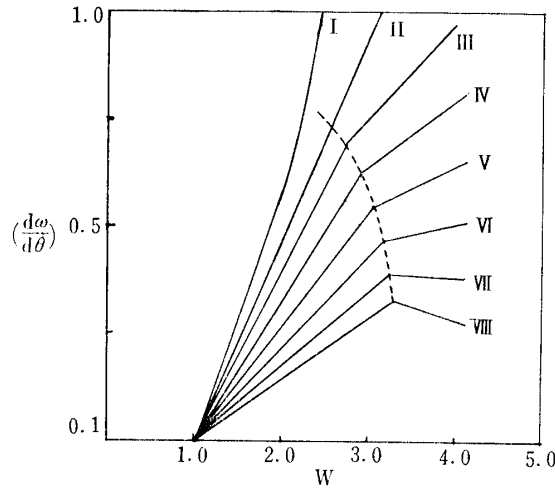


Fig. V-5. Types of drying characteristic curves in the case of various (G/Md) of Pyrethrums.
G/Md : ratio of air quantity to dry sample weight

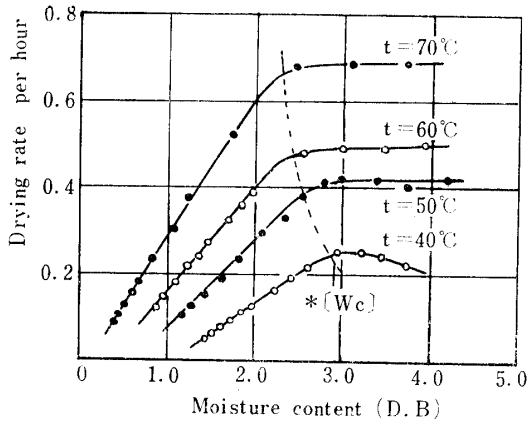


Fig. V-6. Relationship between moisture content and drying rate per hour in the case of each temperature. (G/Md)=11.9
* Wc : critical moisture content

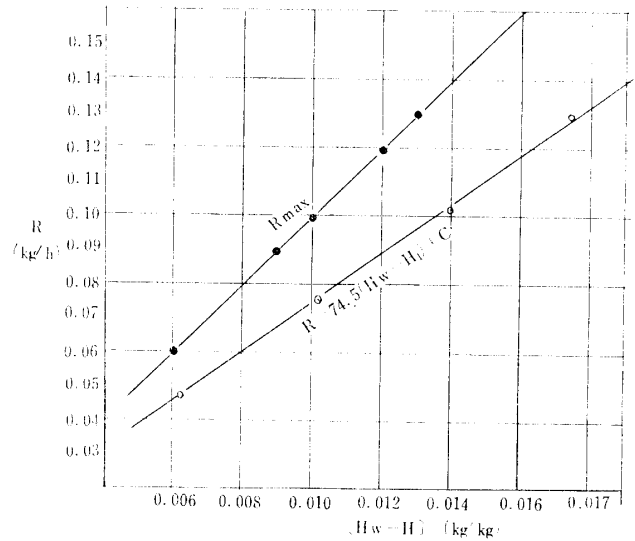


Fig. V-7. Relationship between [R] and [Hw-H] in the period of constant rate drying.
[R] : Vaporized moisture content per hour (kg).
[Rmax] : Theoretical vaporized moisture content per hour.

2. 厚層通気乾燥における恒率乾燥速度

(1) 恒率乾燥速度係数 [Kd]

乾燥条件 Tab. V-1 において、恒率期間における水分乾燥速度 R (kg/hr) および、その熱風における理論水分乾燥速度 R_{max} (kg/hr) と熱風条件 (H_w-H₁) との関係は、Fig. V-7 のようである。したがって、R と (H_w-H₁) との間には近似的に次の実験式が成立する。

$$R \approx 74.5 (H_w - H_1) \quad \text{--- (V-1)}$$

H_w ; 飽和空気絶対湿度 (kg/kg)

H₁ ; 熱風空気絶対湿度 (kg/kg)

従って除虫菊の厚層通気乾燥における恒率乾燥速度係数 K_d は次の様になる。

$$K_d = R/R_{\max} = \frac{74.5(H_w - H_1)}{99.9(H_w - H_1)} \doteq 0.746 \quad - (V-2)$$

(2) 除虫菊における恒率乾燥速度 $(dw/d\theta)_c$ について

厚層通気乾燥において、恒率乾燥速度 $(dw/d\theta)_c$ を求めるには、

$$\left(\frac{dw}{d\theta}\right)_c = K_d \frac{G}{\rho_s V} \Delta H$$

なる式に乾燥条件、および K_d を代入して算定する。(第2章, 2-(1) 参照)

G ; 空気の質量風量 (kg/hr)

ΔH ; $(H_w - H_1)$ 絶対湿度較差 (kg/kg)

ρ_s ; 乾燥材料の充填密度 (kg/m³)

V ; 供試材料容積 (m³)

除虫菊の恒率乾燥速度係数 $K_d=0.746$ として乾燥条件 Tab. V-1 における恒率乾燥速度を求めた結果を実験結果と比較すれば、Tab. V-2 のようになり、実験結果とよく一致する。

Tab. V-2. Constant-rate-drying-speed in the case of deep-bed-ventilation-drying by heat-air (Pyrethrums.)

Test No.	heat-air temperature (°C)	(t-t _w)	(H _w -H ₁)	dry-sample weight (kg)	air quantity (kg/hr)	values of drying speed $\left(\frac{dw}{d\theta}\right)$	
						calculated values	measured values
III-1	40	20.4	0.0062	1.782	99.9	0.263	0.255
III-2	50	25.5	0.0102	1.782	99.9	0.427	0.420
III-3	60	28.5	0.0139	1.782	99.9	0.581	0.571
III-4	70	30.0	0.0175	1.782	99.9	0.732	0.730

(3) 乾燥条件と恒率乾燥速度

乾燥条件、すなわち熱風温度 $(t-t_w)$ または、 $(H_w - H_1)$ 、風量乾重比 $[G/M_d]$ 、が異なった場合

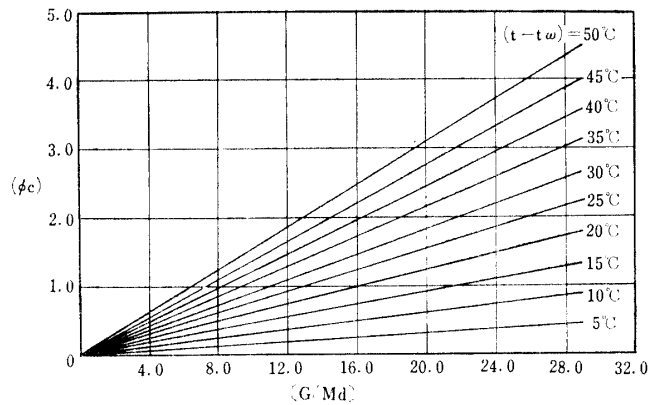


Fig. V-8. Relationship between speed of constant-rate drying and G/M_d in the case of various heat air temperatures

G/M_d : ratio of air quantity to dry sample weight
 ϕ_c : speed of constant-rate drying

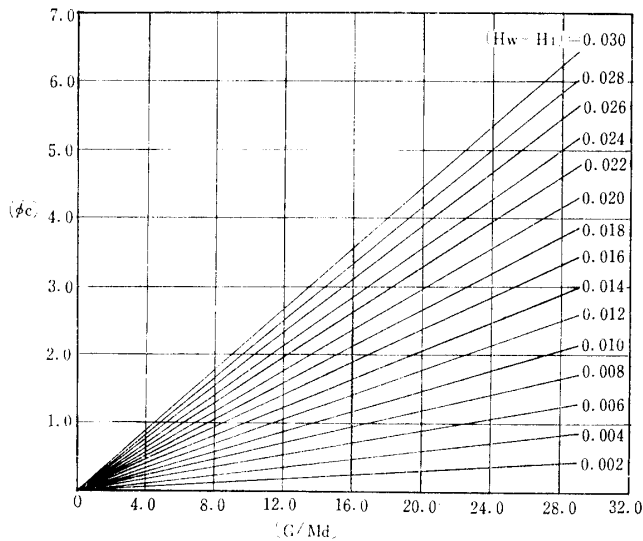


Fig. V-9. Relationship between speed of constant-rate drying and G/M_d in the case of various absolute humidities (Pyrethrums)

における除虫菊の乾燥速度(含水比/時間)との関係を図示すれば, Fig. V-8, Fig. V-9 のようである. この結果与えられた乾燥条件のうち, 送風量 (G), 含水比 (W), 熱風条件がわかれば, 恒率乾燥速度は Fig. V-8, Fig. V-9 より算定できる.

3. 減率乾燥期間における乾燥速度

Fig. V-1 ~ Fig. V-4 より, 減率乾燥期間における乾燥速度は, 含水率に比例して低下すると見做される. この減率期間は, 例外なく二つの期間に分けられる. そこで初期の減率乾燥期間を減率乾燥1期, 後期のそれを減率乾燥2期とする.

減率乾燥1期は, 花卉からの水分蒸発と, 頭状花からの水分蒸発の合成された期間と考えられ,

2期は, 花卉等は, すでに乾燥し, 主として頭状花単独の乾燥期間と思われる.

(1) 減率乾燥速度勾配 [K_{d1}] [K_{d2}]

減率期間における1期, および2期の乾燥速度勾配をそれぞれ [K_{d1}], [K_{d2}] とすれば, その期間における乾燥速度 [φ_{d1}], [φ_{d2}] は次式で表わされる.

$$\begin{aligned} \phi_{d1} &= K_{d1}(W - W_a) + \phi_a \\ \phi_{d2} &= K_{d2}(W - W_c) \end{aligned}$$

したがって
$$K_{d1} = \frac{(\phi_c - \phi_a)}{(W_c - W_a)} \quad \text{--- (V-3)}$$

$$K_{d2} = \frac{\phi_a}{(W_a - W_c)} \quad \text{--- (V-4)}$$

ここで W_a ; 1期より2期に移行する時の含水率
 ϕ_a ; 含水率 W_a における乾燥速度

実験結果より, 各乾燥条件における [K_{d1}], [K_{d2}] の値と風量乾重比 G/M_d との関係を, Fig. V-10, Fig. V-11 に示す.

[K_{d1}] と [G/M_d] の関係を実験式で表わせば,

$$\left. \begin{aligned} t=50^\circ\text{C}, K_{d1} &= 1.2(G/M_d - 88.0)^{1.46} \times 10^{-4} \\ t=60^\circ\text{C}, K_{d1} &= 1.2(G/M_d - 77.0)^{1.47} \times 10^{-4} \\ t=70^\circ\text{C}, K_{d1} &= 1.2(G/M_d - 50.0)^{1.48} \times 10^{-4} \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (V-5)}$$

したがって $t=70^\circ\text{C}$ においては, $G/M_d=50.0$, 60°C においては, $G/M_d=77.0$, 50°C においては $G/M_d=88.0$ において $K_{d1}=0$ となり, 減率1期の段階は存在せず, 恒率乾燥から直ちに減率乾燥2期に移行すると考えて差支えない. また Fig. V-11 に示すように, [K_{d2}] と $(t-t_w)$ との間には, それぞれの (G/M_d) に対して, $[K_{d2}] = \beta(t-t_w)$ の関係が認められた.

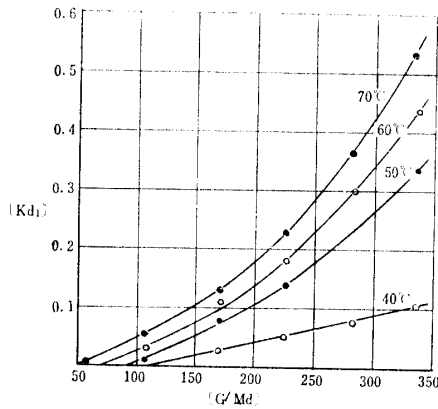


Fig. V-10. Relationship between $[Kd_1]$ and $[G/M_d]$ in the case of each heat-air temperature.

$[Kd_1]$: Gradient of drying-speed in the 1st period of decreasing rate drying.

この係数 β は, $[G/M_d]$ によって異なるが, その関係をプロットしたのが, Fig. V-12 である.

係数 β と風量乾量比 (G/M_d) の間には, 次の実験式が近似的に成立する.

$$\beta \doteq (0.203 \frac{G}{M_d} + 6.4) \times 10^{-3} \quad \text{--- (V-6)}$$

したがって, (V-6) 式より $[Kd_2]$ は (V-7) 式で示される.

$$[Kd_2] \doteq (0.203 \left(\frac{G}{M_d} \right) + 6.4) (t - t_w) \times 10^{-3} \quad \text{--- (V-7)}$$

すなわち除虫菊における減率2期の速度勾配 $[Kd_2]$ は, (G/M_d) , $(t - t_w)$ に一次的に比例する. このことは, 減率2期における乾燥速度は, 恒率乾燥速度にほぼ比例することを示している.

(2) 限界含水率 (W_c), 転移含水率 (W_a), および平衡含水率 (W_e)

除虫菊の厚層通気における減率乾燥期間では, 1期, 2期に分かれるため, 1期から2期に移行する点における含水率を転移含水率 (W_a) とする. 各乾燥条件における W_a , および W_e の値を前記乾燥特性曲線から求めた結果は, Fig. V-13, Fig. V-14 のようである. この図でわかるように, W_a は, 熱風温度が高くなれば上り, また G/M_d が小になればなるほど高含水比になる. 各温度条件ごとの, W_a と (G/M_d) との関係を実験式で表わせば, 次式のようなになる.

$$\begin{aligned} t=40^\circ\text{C}, W_a &= 3.18 - 0.012(G/M_d)^{0.65} \\ t=50^\circ\text{C}, W_a &= 3.0 - 0.012(G/M_d)^{0.71} \\ t=60^\circ\text{C}, W_a &= 2.7 - 0.010(G/M_d)^{0.74} \\ t=70^\circ\text{C}, W_a &= 2.4 - 0.019(G/M_d)^{0.64} \end{aligned} \quad \text{--- (V-8)}$$

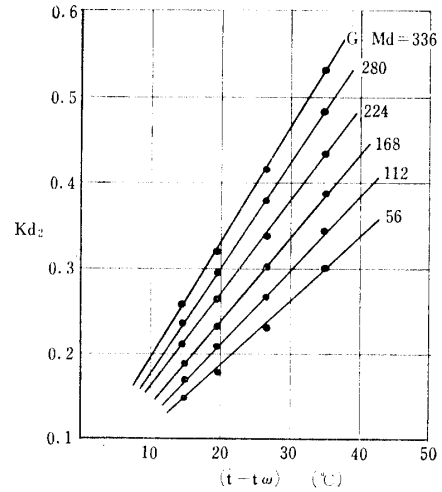


Fig. V-11. Relationship between $[Kd_2]$ and $(t - t_w)$ in the case of each (G/M_d)

$[Kd_2]$: Gradient of drying-speed in the 2nd period of decreasing rate drying

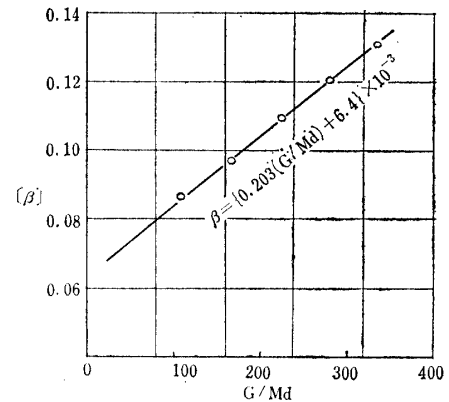


Fig. V-12. Relationship between $[\beta]$ and $[G/M_d]$ $[\beta]$: experimental coefficient

(G/M_d) が、ある値以下になれば、W_a は、限界含水比 (W_c) に等しくなるが、右辺の第 1 項の数は、W_a=W_c になる場合の各温度ごとの、含水比を示す。

平衡含水比 (W_e) と (t-t_w) との関係曲線から、近似実験式は、

$$W_e = 4.10 (t-t_w)^{-2.0} \quad \text{--- (V-9)}$$

で与えられる。

限界含水率 W_c については、G/M_d<100 の場合は存在せず、乾燥初期から直ちに、減率乾燥期間となる。G/M_d<100 の場合、すなわち実用的厚層通気の場合における W_c と (t-t_w) との関係を、Fig. V-15 に示す。また限界含水比 (W_c) は次の実験式で表わされる。

$$[W_c] \doteq 132(t-t_w)^{-1.6} + 2.0 \quad \text{--- (V-10)}$$

したがって減率乾燥速度勾配は $K_d = \frac{\phi_a}{W_a - W_e}$ で表わされるので、W_a、W_e を上記実験式より算定することによっても求まる。

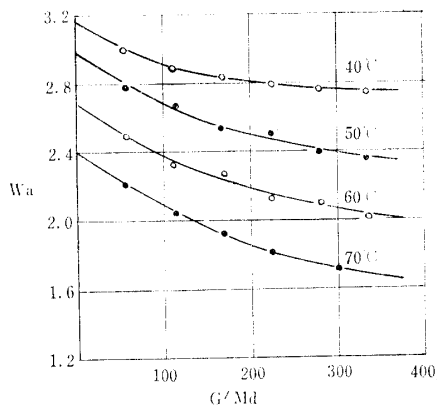


Fig. V-13. Relationship between W_a (transited-moisture-content) and [G/M_d] in the case of each heat-air temperature

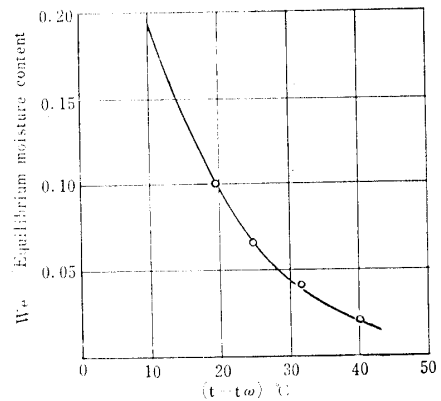


Fig. V-14. Relationship between (W_e) and (t-t_w) in the case of deep-bed-drying (Pyrethrums)

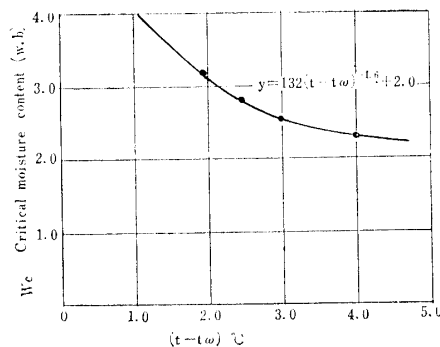


Fig. V-15. Relationship between W_c and (t-t_w) of Pyrethrums

4. 厚層通気乾燥における乾燥時間の算定

除虫菊の厚層通気乾燥の場合における乾燥時間を算定する場合、次の 3 つの段階について考える必要がある。

- ① G/M_d>50 で、恒率乾燥から直ちに減率乾燥の 2 期に移行する場合。

② $G/M_d < 50$ で、恒率乾燥から減率乾燥1期、2期を経過する場合。

③ $G/M_d < 150$ で、乾燥後直ちに、減率乾燥1期、2期を経過する場合。

(1) 恒率乾燥→減率乾燥2期の場合

この場合は、主として静置式厚層通気乾燥を行なう場合で、最も実用的なケースであり、乾燥時間 $[\theta_1]$ は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \frac{1}{K_{d2}} \log \frac{W_c - W_e}{W - W_e} + \frac{W_1 - W_c}{\phi_c} \\ &= \frac{1}{K_{d2}} \left\{ \frac{W_0 - W_e}{W - W_e} + \log \frac{W_c - W_e}{W - W_e} \right\} \quad \text{--- (V-11)}\end{aligned}$$

$K_{d2} = \{0.2(G/M_d) + 6.4\} (t - t_w) \times 10^{-3}$; 減率乾燥速度勾配

$W_e = 4.1(t - t_w)^{-2.0}$; 平衡含水率

$W_c = 132(t - t_w)^{-1.6} + 2.0$; 限界含水率

W_1 ; 乾燥前含水率

W ; 乾燥後含水率

(2) 恒率乾燥→減率乾燥1期→減率乾燥2期の場合

風量乾重比 50~150 で通気乾燥を行なった場合にみられる乾燥特性曲線の型式である。乾燥所要時間 $[\theta_2]$ のうち、恒率期間を $[\theta_c]$ 、減率1期を $[\theta_{d1}]$ 、減率2期を $[\theta_{d2}]$ とすれば、それぞれの期間の乾燥時間は次のようである。

(A) 乾燥前含水率 (W) より、限界含水率 (W_e) までの所要時間。

$$[\theta_c] = \frac{W - W_e}{\phi_c}$$

(B) 限界含水率 (W_e) より転移含水率 (W_a) までの所要時間。

減率1期において、ある含水率 (W_n) における減率乾燥速度 $[\phi_{dn}]$ は、

$$\phi_{dn} = \phi_c - K_{d1}(W_c - W_1) = \phi_c - K_{d1} \cdot F$$

$$\therefore (W_c - W_1) = F$$

したがって W_c から W_a までの乾燥所要時間 (θ_{d1}) は、

$$[\theta_{d1}] = \int_{W_c}^{W_a} \frac{dw}{\phi_c - K_{d1}F} = \frac{1}{K_{d1}} \log \{ \phi_c - K_{d1}(W_c - W_a) \} \quad \text{--- (V-12)}$$

(C) 転移含水率 (W_a) より、乾燥含水率 (W_0) までの所要時間

$$[\theta_{d2}] = \frac{1}{K_{d2}} \log \frac{W_a - W_e}{W_0 - W_e}$$

全乾燥所要時間 $[\theta_2]$

$$\begin{aligned}[\theta_2] &= [\theta_c] + [\theta_{d1}] + [\theta_{d2}] \\ &= \frac{W - W_e}{\phi_c} + \frac{1}{K_{d1}} \log \{ \phi_c - K_{d1}(W_c - W_a) \} + \frac{1}{K_{d2}} \log \frac{W_a - W_e}{W_0 - W_e} \quad \text{--- (V-13)}\end{aligned}$$

(3) 減率乾燥 1 期→減率乾燥 2 期の場合

薄層に堆積して連続的通気乾燥を行なう場合に生ずる乾燥特性曲線の型式である。減率乾燥 1 期の或る含水率 W_1 から転移含水率 $[W_a]$ まで乾燥するに要する所要時間 $[\theta_{d1}]$ は、

$$[\theta_{d1}] = \frac{1}{K_{d1}} \log \{\phi_c - K_{d1}(W_c - W_a)\} - \frac{1}{K_{d1}} \log \{\phi_c - K_{d1}(W_c - W_1)\} \quad - (V-14)$$

右辺の中、左項は、 $W_c \rightarrow W_a$ までに要する時間、右項は、 $(W_c \rightarrow W_1)$ までに要する時間であるから $(W_1 - W_a)$ までに要する時間は (V-14) 式で、与えられる。

したがって W_1 から W_0 まで乾燥するに要する全体の所要時間 $[\theta_3]$ は、

$$\begin{aligned} [\theta_3] &= [\theta_{d1}] + [\theta_{d2}] \\ &= \frac{1}{K_{d1}} [\log \{\phi_c - K_{d1}(W_c - W_a)\} - \log \{\phi_c - K_{d1}(W_c - W_1)\}] \\ &\quad + \frac{1}{K_{d2}} \log \left(\frac{W_a - W_e}{W_1 - W_e} \right) \quad - (V-15) \end{aligned}$$

以上、3つの型式の場合の乾燥所要時間算定式 (V-11), (V-13), (V-15) 式において、各乾燥条件、すなわち熱風温度 (T), 湿度 (H), 送風量 (G), 乾燥前含水率 (W), 乾燥重量 (M) が既知であれば、次の値を式に代入することにより、所要乾燥時間を算定できる。

ϕ_c ; 恒率乾燥速度は、Fig. V-8, Fig. V-9.

K_{d1} ; 減率乾燥 1 期における減率乾燥速度勾配 Fig. V-12.

K_{d2} ; 減率乾燥 2 期における減率乾燥速度勾配 Fig. V-11.

W_e ; 平衡含水比 Fig. V-14.

W_c ; 限界含水比 Fig. V-15.

W_a ; 転移含水比 Fig. V-13.

5. 摘 要

(1) 厚層通気乾燥における除虫菊の乾燥特性・除虫菊花が、花卉、花房の複合体であるので、その全体からの乾燥特性曲線は、減率期間が 1 期、2 期に分かれ堆積が増せば [I] 型の乾燥特性曲線を示す。

(2) 除虫菊の厚層通気乾燥における恒率乾燥速度 (ϕ_c) は近似的に

$$\phi_c = K_c \frac{G}{M_d} (H_w - H)$$

で表わされる。実験より、 $K_d = 0.746$ が得られた。

(3) 同上の減率乾燥速度勾配 $[K_{d1}]$, $[K_{d2}]$ については、次の算定式を得た。

$$K_{d1} = 1.2(G/M_d - C)^{1.46} \times 10^{-4}$$

ここで C は $K_{d1} = 0$ のときにおける (G/M_d) の値で $t = 50^\circ C$ で 88.0, $t = 60^\circ C$ で 77.0, $t = 70^\circ C$ で 50.0 である。

$$K_{d2} = \{0.203(G/M_d) + 6.4\} \{t - t_w\} \times 10^{-3}$$

(4) 除虫菊の厚層通気乾燥の場合、限界含水比 (W_c), 平衡含水比 (W_e), 転移含水比 (W_a) についてそれぞれ次の関係式を得た。

$$[W_c] = 132(t - t_w)^{-1.6} + 2.0$$

$$[W_e] = 4.10(t - t_w)^{-2.0}$$

$$[W_a] = c - 0.012(G/M)^{0.65 \sim 0.740}$$

c の値は $t=40^{\circ}C$ で 3.18
 $t=50^{\circ}C$ で 3.0
 $t=60^{\circ}C$ で 2.7
 $t=70^{\circ}C$ で 2.4

(5) 除虫菊の厚層通気乾燥における減率乾燥速度 (ϕ_c) の一般式は、次のようである。

$$\phi_{d1} = \{0.203(G/M_d) + 6.4\} (t - t_w) (W_a - W_e) \times 10^{-3} + 1.2(G/M_d - c)^{1.46} \times 10^{-4} (W - W_a)$$

$$\phi_{d2} = \{0.203(G/M_d) + 6.4\} (t - t_w) \{W_a - 4.10(t - t_w)^{-2.0}\}$$

(6) 除虫菊厚層通気における乾燥所要時間 $[\theta]$ は、一般的に次式で表わされる。(含水比 W_1 から W_2 まで乾燥する場合)

$$[\theta] = \frac{W_1 + W_c}{\phi_c} + \frac{1}{K_{d1}} \log\{\phi_c - K_{d1}(W_c - W_a)\} + \left\{ \frac{1}{K_{d2}} \log\left(\frac{W_a - W_e}{W_2 - W_e}\right) \right\}$$

なお摘要中における記号は、

- ϕ_c ; 恒率乾燥速度
- ϕ_d ; 減率乾燥速度
- K_c ; 恒率乾燥速度係数
- K_d ; 減率乾燥速度勾配
- $(H_w - H_1)$; 熱風における絶対湿度差
- $(t - t_w)$; 乾球, 湿球温度差

第3節 除虫菊の熱風乾燥実用試験

1. 4段式順乾々燥機 (試作機) による除虫菊乾燥試験

乾燥むらを少なくし、乾燥効率をあげるため、乾燥した下層のものから順次取り出していく順乾型乾燥機を試作してその能率や乾燥経費を検討した。

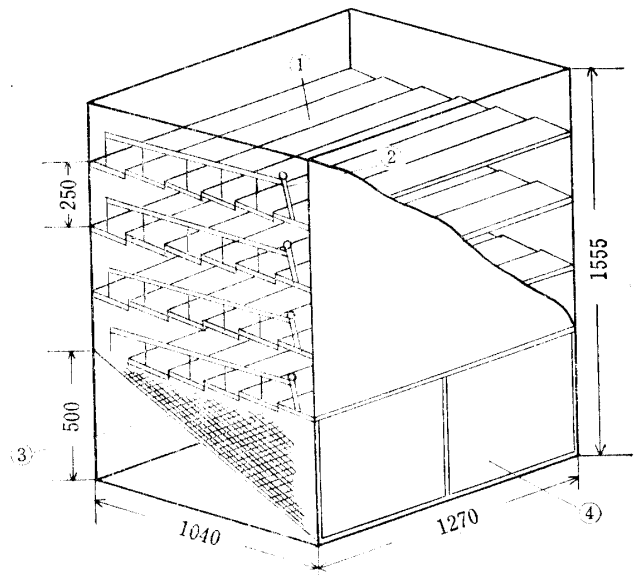
1. 試作乾燥機の構造

乾燥機の構造の概要は、Fig. V-16 に示す。機構の主な点は、堅形の順乾方式を採用し、4段式で、1段の実容積は、縦×横×高さ、 $1000\text{ mm} \times 1200\text{ mm} \times 220\text{ mm}$ で側面の手動レバーで操作し、順次落下させる。回転網は、1段6枚で、1枚の中 168 mm 、長さ 1000 mm の金網張りで、手動レバーで 90° 度回転する。上段から投入された除虫菊は乾燥の進行とともに、順次下段に攪はんされつつ、移行し、乾燥終了したものは、下部傾斜金網を通じてとり出す。

2. 試験概要

(1) 試験期日および場所

昭和34年5月～6月



① Rotary net ② Hand lever
 ③ Slope net ④ put-out-door

Fig. V-16. the four-step-ordered drying machine especially made

広島県，因島市広島県立農業試験場島嶼部支場

(2) 試験方法

4段型順乾方式による乾燥方法で，実施し乾燥したものから，順次取出し，取出しと同時に上段に未乾燥除虫菊を投入した。供試除虫菊は，品種は広系1号，含水率72%~74%の収穫直後のものを使用し，乾燥用として，軸流型送風機（風量 $0.8\text{ m}^3/\text{sec}$ ）および，灯油バーナー火炉を使用した。

3. 試験結果

(1) 乾燥条件

試験実施中の乾燥条件のうち，平均熱風温度，排気温度の変化，および各ブロックの乾燥時間の状況は，Tab. V-3 のようである。

Tab. V-3. Drying conditions during operating the dryer.
(position and heat air temperature)

supplied operation	drying hour (hr-min)	drying position				heat-air temperature (°C)	range of exhaust air temperature (°C)
		first	second	third	fourth		
No. 1. supplied	2-30	—	—	—	1	—	—
No. 2. supplied	3-30			2	1	45~40	10.3~ 5.8
No. 3. supplied	1-15		3	2	1	42~38	8.2~ 6.3
No. 4. supplied	4-15	4	3	2	1	40~35	14.1~12.9
No. 5. supplied	3-10	5	4	3	2	35~38	13.0~ 5.8
No. 6. supplied	3-20	6	5	4	3	38~35	8.7~ 5.0
No. 7. supplied	2-30	7	6	5	4	35~37	10.0~ 5.7
No. 8. supplied	2-45	8	7	6	5	38~30	7.5~ 5.0
No. 9. supplied	3-20	9	8	7	6	30~34	6.8~ 5.0
No. 10. supplied	2-10	10	9	8	7	40~45	8.0~ 5.9
No. 11. supplied	1-30	11	10	9	8	48~55	10.0~ 6.5
No. 12. supplied	2-00	12	11	10	9	52~53	11.3~ 6.8
No. 13. supplied	1-30	13	12	11	10	50~42	10.4~ 5.9

(2) 乾燥能率

順乾方式による除虫菊花の各段毎の乾燥時間，および取出し時の含水率を調査した結果は，Tab. V-4 のようである。

この結果による乾燥能率および乾燥経費を算定すれば，Tab. V-5，および Tab. V-6 のようである。

4. 考察および摘要

(1) 乾燥処理量は，静置式熱風乾燥法に比し，約1.8倍で，乾燥むらは，3.0~4.0%程度である。

Tab. V-4. Drying time and moisture content.

Test No.	sample weight (kg)	drying time (hr-min)				dry-sample weight (kg)	final moisture content (W. B) (%)
		first	second	third	fourth		
1	37.5	—	—	—	—	—	—
2	30.3	—	—	7-00	9-30	13.00	20.8
3	30.3	—	—	—	3-00	11.25	19.2
4	26.0	—	5-30	3-10	3-10	10.91	25.6
5	30.0	4-15	3-10	3-20	2-20	10.13	15.2
6	30.0	3-10	3-20	2-30	2-45	11.87	18.0
7	30.0	3-20	2-30	2-45	3-10	10.97	19.0
8	30.0	2-30	2-45	3-20	2-10	10.80	19.2
9	30.0	2.45	3.20	2.10	1.30	10.88	19.3
10	30.0	3.20	2.10	1.30	2.00	11.56	20.7
11	30.0	2.10	1.30	2.00	1.30	9.45	12.2
12	30.0	1.30	2.00	1.30	—	12.86	16.8
13	30.0	2.00	1.30	—	—	13.73	34.2
	30.0	1.30	—	—	—	18.13	50.3

Tab. V-5. Drying-efficiency.

drying time (hr-min)	average heat-air temperature (°C)	drying volume (wet sample) (kg)	initial moisture content (%)	final moisture content (%)	average drying rate (%/hr)	treating quantity (kg/hr-m ²)
21-30	37.0	210	73.0	17.7	5.5	7.4

Tab. V-6. Drying-cost.

drying time (hr-min)	expending quantity of fuel (l)	cost of fuel (yen)	cost of electric (yen)	total (yen)	treating quantity (kg)	drying-cost per 100 kg. (yen)
21-30	16.6	(gasoline) 415 (heavy oil) 282	49	(gasoline) 46.4 (heavy oil) 331	210	221~158

(2) 乾燥直接経費は、生 100 kg 当り、220~160 円程度で、この試験の場合、平均乾燥熱効率 は、50~55%程度であった。

(3) 乾燥作業初期と終期において乾燥能率が悪くなるので、小規模用には、不適當である。

II. 定置式乾燥機による熱風乾燥試験

1. 試験条件

- (1) 供試乾燥機. 3.3 m² 型静置式乾燥機. 軸流送風機 (直径 480 mm)
- (2) 供試除虫菊. 広系 1 号
- (3) 試験期日, および場所

Tab. V-7. Drying condition in the case of deep bed dryer.

test No.	heat-air temperature (°C)	air quantity (m ³ /sec)	natural air condition		drying time (hr-min)	initial moisture content (%)	wet-sample weight (kg)
			temperature (°C)	humidity (%)			
I	80.0	1.2	28.5	65.0	4-30	70.9	165
II	70.0	1.2	29.0	71.5	5-30	71.8	165

Tab. V-8. Drying efficiency and cost.

Test No.	heat air temperature (°C)	drying time (hr-min)	weight (kg)		drying speed (%/hr)	treating quantity (kg/hr-m ²)	expending quantity of fuel (l)	thermal efficiency (%)	drying-cost per 100 kg (wet weight)		
			before	after					cost of fuel (Yen)	cost of electric power (Yen)	total (Yen)
I	80	4-30	165.0	48.4	13.8	1.11	21.6	34.0	131 l × 20 = 262	6	268
II	70	5-30	165.0	51.7	11.8	9.1	17.3	41.8	10.5 l × 20 = 210	7	217

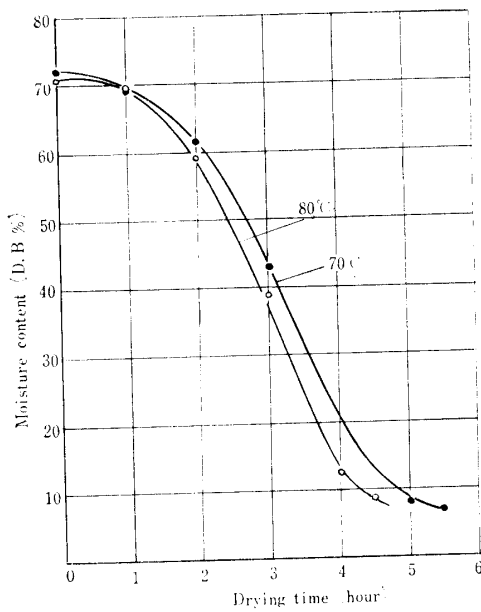


Fig. V-17. Moisture content versus drying hour curves in the case of layer type dryer with heat-air-ventilation-drying

昭和39年5月 広島県因島市 広島農試島嶼部支場

(4) 乾燥条件

2. 試験結果

(1) 含水率の時間的变化

含水率の時間的变化は、Fig. V-17 に示す。

(2) 乾燥能率および経費を Tab. V-8 に示す。

3. 考察

(1) 乾燥過程において、最大含水率較差は30%に達し、このため乾燥終了時に過乾部分が生じた。この種の乾燥型式では、乾燥過程において攪はんの必要性がある。

(2) 熱効率の低下の原因の大部分は、乾燥終期での、低効率である。この種の型式では平均含水率30%をすぎると、熱効率は急激に減少するので、排気熱風の再利用の必要がある。

(3) 熱風 80°C 以上での乾燥は、過乾燥を生じた除虫菊花の品質に悪影響がある。

III. 常温通風乾燥試験

1. 試験条件

(1) 供試乾燥機. 3.3 m² 型静置式乾燥機, 軸流送風機 (直径 480 mm)

(2) 供試除虫菊. 広系1号, 含水率 75.2% (湿量基準)

(3) 試験期日および場所

昭和35年5~6月. 広島県因島市, 広島農試島嶼部支場

(4) 供試量

Tab. V-9. method of supply.

item	first	second	third	total
supply amount (kg)	122 (Kg)	87.3 (kg)	88.9 (kg)	298.2 (kg)
accumulated height (cm)	15 (cm)	21 (cm)	25 (cm)	---

(5) 乾燥条件

送風量 : $1.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 静 压 : $5\sim 10 \text{ mm}$ 外気温度 : $13.6^\circ\text{C}\sim 30.5^\circ\text{C}$
 外気湿度 : $50.0\%\sim 9.7\%$ 乾燥時間 : 延 62 時間

2. 試験結果

(1) 含水率の時間的変化および外気条件

乾燥延時間と、含水率(湿量基準)との関係は、Fig. V-18, 乾燥時における外気温度および外気相対湿度の関係は、Fig. V-19 に示す。

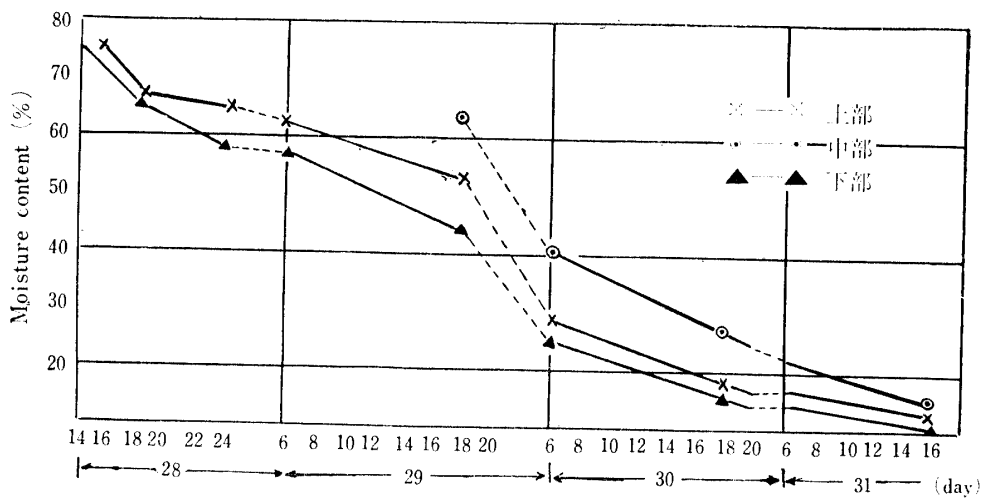


Fig. V-18. Relationship between drying time and moisture content in the case of ventilation dryer by natural air

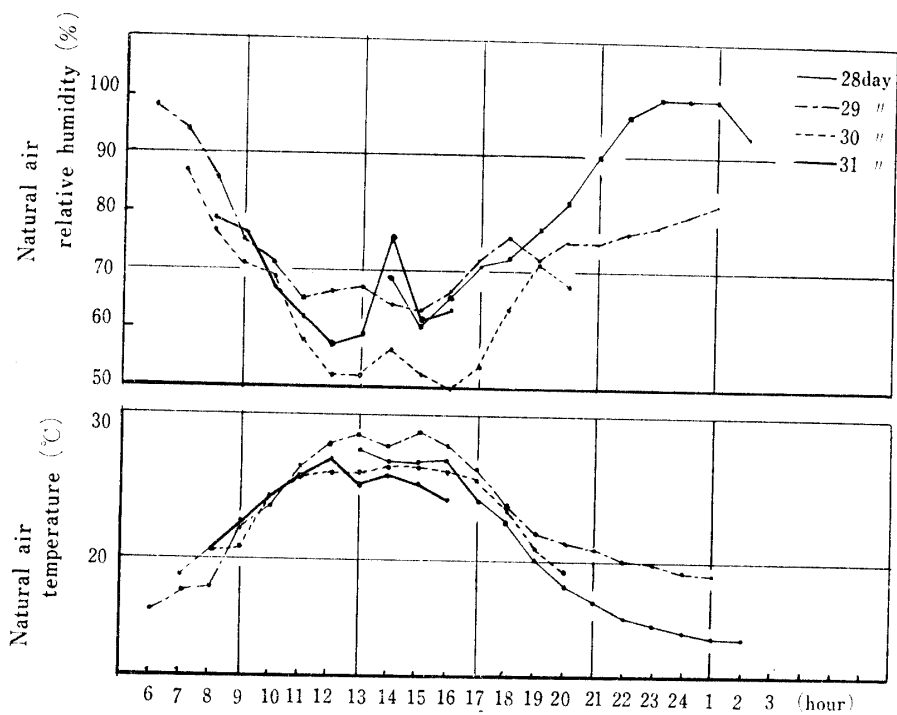


Fig. V-19. Natural air conditions during drying

IV. 天日乾燥試験

1. 試験条件

- (1) 供試材料 除虫菊広系1号,
含水率 74.0%~75.2%
- (2) 乾燥方法 むしろに生除虫菊 3.75 kg を均一にひろげ天日乾燥する.
- (3) 外気条件

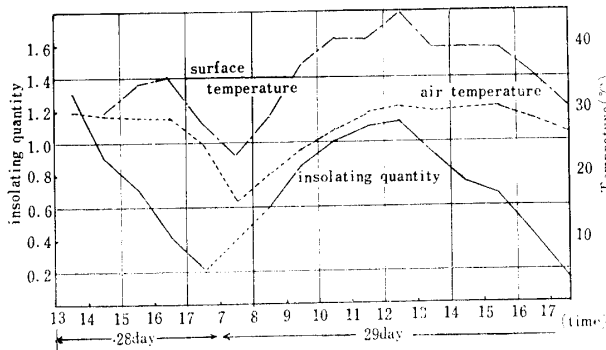


Fig. V-20. Drying condition in the case of drying in the sun

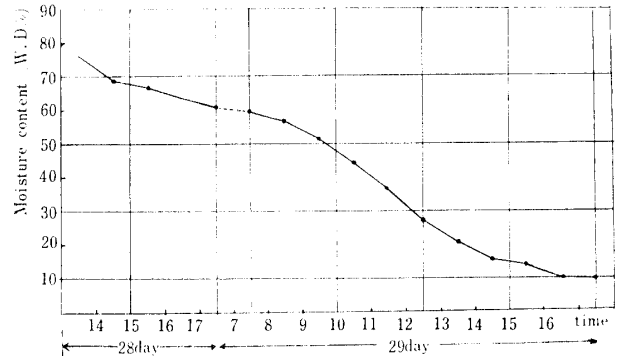


Fig. V-21. Relationship between moisture content and drying time in the case of drying in the sun

2. 試験結果および考察

天日乾燥における含水率の時間的变化は、Fig. V-21 のように毎時乾燥速度は、晴天日で 4.0%/hr (湿量基準含水率) 程度である。すなわち摘花直後の生から、完全乾燥までには、晴天日で2日を要する。

Tab. V-10. Efficiency and cost in the case of natural-air-drying.

drying condition		total drying time (hr-min)	sample weight (kg)	initial moisture content (%)	final moisture content (%)	drying speed per hour	treating quantity (kg/hr-m ²)	drying expense	
T(°C)	H(%)							cost of electric power (Yen)	per 100 kg (Yen)
20	75	62-00	298.2	75.2	13.1	1.00	1.46	278	93

第 6 章 要 約

この研究における第1報は、1959年から、実施した農産物の熱風乾燥法に関する研究の中、各農産物の乾燥特性、および生籾、小麦、除虫菊の熱風乾燥法についての実験結果を集録したものである。

本報は次の4つの項目についての研究結果を記載した。

- I. 各農産物の乾燥特性曲線および乾燥速度.
- II. 生籾の熱風乾燥法に関する研究.
- III. 小麦の厚層通気乾燥に関する研究.
- IV. 除虫菊の熱風乾燥に関する研究.

各研究項目ごとに研究結果を要約すれば、次のようである。

I. 各農産物の乾燥特性曲線および乾燥速度

(1) 対称農産物としては、生粳、イ草、除虫菊、レンゲ、エンバク、クローバー、切干しかんしょ、輪切りこんにゃく、をとりあげ、実用熱風温度の範囲でその乾燥特性曲線を求めた。

(2) 供試した農産物の乾燥特性の形式は、実用熱風温度の範囲では、[I]型に属す。すなわち乾燥速度は、含水比に比例して減少する。

(3) 乾燥速度勾配は、農産物により異なりそれと熱風温度との関係は、 $K_d = \alpha(t - t_w)^n + b$ の一般式で示される。各農産物の α , n の値について求めた結果は、本文 Chap. 2 の Tab. II-14 に記載した。

(4) 同一材料でも、その部位により、乾燥速度が異なるため未乾、過乾が生ずるので、その部位ごとの乾燥速度差を比較した。

II. 粳の熱風乾燥に関する研究

この章では次の項目について研究を行なった。

1. 生粳の厚層通気乾燥に関する基礎的実験
2. 乾燥方法が乾燥速度および粳胴割れに及ぼす影響
3. 乾燥と粳の胴割れについて
4. 乾燥後の処理法が粳品質に及ぼす影響

第1節では、生粳厚層通気乾燥における乾燥特性を明らかにし、与えられた乾燥条件（熱風温度、送風量、堆積量、含水率）から、恒率乾燥速度、減率期間乾燥速度を算定する近似算定式を導いた。また乾燥むらについてはその含水率較差と送風量、温度の関係について検討した。

第2節では、乾燥方法を3つのタイプに分け、そのそれぞれについて乾燥速度を比較した。

第3節では、熱風乾燥における粳胴割れの発生要因を追求した結果、乾燥後の吸湿が、その発生を促す要因であることが判明した。また熱風条件および乾燥速度と胴割れ発生率を実験より求めた。

第4節では熱風乾燥を行なった粳について乾燥後の処理方法を粳すり時期、貯蔵放冷、処理作業方法の面から検討した。

III. 小麦の厚層通気乾燥に関する研究

(1) 小麦厚層通気乾燥における乾燥特性曲線を $40^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ の熱風温度範囲で求めた。その結果減率乾燥速度は (G/M_d) にかかわらず、含水比に比例して減少するとの結果を得た。

(2) 小麦における恒率乾燥速度、および減率乾燥速度勾配は、近似的に次式で表わされることを実験的に求めた。

$$\phi_c = 0.64(G/M_d)(H_w - H_1) \quad (\text{IV-8}) \text{ 式参照}$$

$$K_d = \{34.0(H_w - H_1)^{1.46} + 0.054\} \{(G/M_d) - 0.24\} \quad (\text{IV-12}) \text{ 式参照}$$

(3) 小麦厚層通気乾燥において、乾燥初期の上層部吸湿は (M_d/G) に比例して増加するとの結果を得た。

(4) 小麦厚層通気乾燥において、含水率 W_1 から W_2 まで乾燥するに要する時間は、次式で求められることの結果を得た。

$$\theta = \frac{(W_1 - W_e)}{\phi_c} + \frac{1}{K_d} \log\{\phi_c - (W_c - W_2)\} \quad (\text{IV-17}) \text{ 式参照}$$

IV. 除虫菊の熱風乾燥に関する研究

除虫菊を通気乾燥する場合、堆積量、送風量、熱風温度をかえた場合の乾燥特性曲線を実験的に求めた。その結果から、恒率期間における乾燥速度は

$$\phi_c = 0.746(G/M_d)(H_w - H_t) \quad (V-12) \text{ 式参照}$$

減率乾燥速度勾配は、減率乾燥 1 期が

$$K_{d1} \doteq 1.2(G/M_d - C)^{1.46} \times 10^{-4}$$

減率 2 期が

$$K_{d2} \doteq \{0.203(G/M_d) + 6.4\}(t - t_w) \times 10^{-3}$$

なる近似式を得た。(Chap. 5 (V-5) (V-7) 式参照)

また ϕ_c , および K_{d1} , K_{d2} より, 乾燥所要時間を求める算定式を導いた。また実用的試験として次の 4 つの項目について試験を行ない, その乾燥能率, 経費を調査検討した。

- (1) 試作した 4 段順乾乾燥機による除虫菊の熱風乾燥試験
- (2) 静置式乾燥機による熱風乾燥試験
- (3) 常温通風乾燥試験
- (4) 天日乾燥試験

文 献

- 1) BROWNE, D. A. : *J. Agric. Engng. Res.*, **7**, 4, 288-290 (1962)
- 2) BROOKER, D. B. : *Transaction of the ASAE.*, **1**, 72-77 (1961)
- 3) DAY, C. L. : *Transaction of the ASAE.*, **6**, 199, 201 (1963)
- 4) FINNEY, E. E., MOHSEENIN, N. N. and HAVANESIAN, J. D. : *J. Agric. Engng. Res.*, **7**, 4, 62-68 (1962)
- 5) 藤田重文・他 : 化学工学 (III), 乾燥, 302-349 (1964)
- 6) 平岡正勝 : 化学機械技術, **9**, 41-60 (1957)
- 7) 市村一男・中山元司 : 農電研究所報, **1**, 77-97 (1960)
- 8) 居垣千尋 : 農業機械学会誌, **17**, 4, 55 (1955)
- 9) 亀井三郎 : 化学機械の理論と計算, 564 (1959)
- 10) 亀井三郎 : 空気の調湿および乾燥, 318 (1960)
- 11) 桐栄良三 : 化学工学, **28**, 6, 458-467 (1964)
- 12) 同 上 : 日本機械学会誌, **65**, 523, 1473-1479 (1962)
- 13) 近藤万太郎・岡村保 : 農学研究, **19**, 143-152 (1932)
- 14) MOTTHEUS, J. : *J. Agric. Engng. Res.*, **3**, 1, 207-220 (1963)
- 15) PABIS, S. and HENDERSON, S. H. : *J. Agric. Engng. Res.*, **7**, 1, 21-26 (1962)
- 16) PABIS, S. and HENDERSON, S. H. : *J. Agric. Engng. Res.*, **7**, 2, 85-89 (1962)
- 17) 三島咲夫 : 空気調和機械, 330 (1963)
- 18) 宮内鉦也他 : 温度測定並自動制御, 392 (1954)
- 19) 岡村 保 : 農学研究, **27**, 166-194 (1937)
- 20) SCHAPER, L. A., ISSACS, G. W. and DALE, A. C. : *Transaction of the ASAE.*, **4**, 2, 140-141 (1961)
- 21) SIMMENDS, W. H. C., WARD, G. T. and MCLWEN, E. : *Trans. Inst. Chem. Engrs. part 1-4*, **31**, 265-288 (1953) ; **32**, 116-129 (1954)
- 22) THOMAS, A. M. : *J. Agric. Engng. Res.*, **7**, 4, 328-341 (1962)
- 23) 内田俊一・亀井三郎・八田四郎 : 化学工学, 401-403, 447-480, 481-550 (1962)
- 24) WANG, J. K. and HALL, C. W. : *Transactions of the ASAE.*, **4**, 1, 33-36 (1961)
- 25) WARNER, M. G. R. and BROWN, D. A. : *J. Agric. Engng. Res.*, **7**, 4, 359-366 (1962)
- 27) 渡辺鉦四郎・清水浩 : 農業機械学会誌, **12**, 3-4, 11-20 (1951)

Summary

This is the first paper published on the drying of farm products by heat-air, based on the results obtained by the studies which have been executed since 1959 on some features of farm-products-drying and on the heat-air drying method applied on wet unhulled rices, wheat grains and pyrethrums,

The following four items were studied.

1. The drying-feature-curves and the drying-speed of the respective farm products.
2. The heat-air drying of the wet unhulled rices
3. The deep-bed ventilation drying of the wheat grains
4. The heat-air drying of the pyrethrums

The results obtained of the items mentioned above are summarized as follows:

- I. The drying-feature-curves and the drying-speed of the respective farm products
 - (1) Such farm products as wet unhulled rices; rushes; pyrethrums; milk vetches; oats; clovers; sweet potatoes, cut slenderly; and sliced konnyaku were used as the experimental materials, with the confirmation of the drying-feature-curves within the margin of the practicability of the heat-air temperature.
 - (2) The drying-feature of the examined farm products was revealed to be belonging to Type-1, in which the drying-speed decreases in proportion to their moisture-contents.
 - (3) The drying-speed grade of the farm products (Kd) differs respectively, and the relations between Kd and the heat-air temperature are to be shown in the following general formula; namely $(Kd) = \alpha(t - t_w)^n + b$.

The value of (α) or (n) experimentally ascertained concerning the products is shown in the Table II-14 in the text, respectively.

- (4) The drying-speed of the respective products was examined comparatively under the various drying conditions, for the reason that excess or lack of drying may be caused by the possible disparity of the drying-speed which is to be brought forth by the shift of the drying region even in case of the identical material.
- II. The heat-air drying of the wet unhulled rices

The following items were studied.

 - (a) Some basic experiments on the deep-bed ventilation drying of the wet unhulled rices
 - (b) The effects of the respective drying method on the drying-speed and the wet-unhulled-rice-cracks.
 - (c) The drying and the wet-unhulled-rice-cracks
 - (d) The effects of the treatments after drying on the unhulled-rice qualities
 1. The drying features of the wet unhulled rices in case of the deep-bed ventilation drying were revealed; and basing on the given drying conditions (heat-air temperature, air quantity, material weight, moisture content) an approximation formula calculating the constant-rate drying-speed and the decreasing-rate drying-speed, was conducted, while as to the unevenness of the drying degrees, the relationship between the moisture-content range, air quantity and temperature was examined.
 2. The drying-methods were assorted into three types, the drying speed of the respective type being compared with that of others.
 3. From the examinations of the factors of the cracking up of the unhulled rices during the drying with heat-air, it was proved that the absorption of moisture after drying was the primary cause.

Besides, the relationship between the cracking-rate, heat-air conditions and the drying-speed was put under inquiry.
 4. As to the wet unhulled rices treated with the heat-air drying, the proper and effective treatments after drying were researched from the three view points; namely, hulling time, storage-cooling and working treatment.
- III. The deep-bed ventilation drying of the wheat grains
 1. The drying-feature-curves in the deep-bed ventilation drying of the wheat grains were researched within the heat-air temperature ranging from 40°C to 60°C. As the result it

was ascertained that irrespective of (G/Md) the drying-speed of the decreasing-rate-drying decreases in proportion to the moisture content.

2. In case of the wheat grains, the constant-rate-drying speed and the decreasing-rate-drying grade were to be approximately given by the following formulas.

$$\phi_c = 0.64(G/Md) (H_w - H) \dots \text{see chap. 4, 8th formula.}$$

$$Kd = \{34.0(H_w - H)^{1.46} + 0.054\} \{(G/Md) - 0.24\} \dots \text{see chap. 4, 12th formula.}$$

3. In case of the deep-bed ventilation drying of the wheat grains it was ascertained that at the beginning of the drying, the moisture absorption in the upper parts increased in proportion to the increase of Md/G .
4. In case of the deep-bed ventilation drying of the wheat grains the time required to dry up the grains from W_1 (moisture content) to W_2 was to be obtained by the following formula.

$$\theta = \left(\frac{W_1 - W_e}{\phi_c} \right) + \frac{1}{Kd} \log \{ \phi_c - (W_c - W_2) \} \dots \text{see chap. 4, 17th formula.}$$

IV. The heat-air drying of the pyrethrums

In this case, the drying-feature-curve of pyrethrums was investigated, varying the following conditions respectively, namely the accumulation heights of the pyrethrums, the sending air quantity, and the heat-air temperature.

The drying-speed in the constant-rate-drying period was ascertained as follows:

$$\phi_c = 0.746 G/Md (H_w - H) \dots \text{see chap. 5, 12th formula.}$$

The speed grade of the decreasing-rate-drying was to be revealed by the following approximation formula in case of the first period:

$$Kd_1 \doteq 1.2(G/Md - C)^{1.46} \times 10^{-4}, \text{ and in the second period:}$$

$$Kd_2 \doteq \{0.203(G/Md) + 6.4\} (t - t_w) \times 10^{-3} \dots \text{see chap. 5, 5th and 7th formulas.}$$

Besides, basing on ϕ_c , Kd_1 and Kd_2 , the formula to calculate the time necessary for the drying was conducted.

The drying efficiency and the expenses necessary for putting it into practical use were researched on the four items:

1. The heat-air drying tests of pyrethrums with the use of the four-step-ordered drying machine especially made for this experiment
2. The heat-air drying tests by the layer-type dryer
3. The drying tests by the ventilation dryer with natural air
4. The drying tests by the sunlight