

高水分種子粃の熱風乾燥について

松 岡 孝 尚

(農学部機械工学研究室)

On the Heated Air Drying of High Moisture Rice Seed

Takahisa MATSUOKA

Laboratory of Mechanical Engineering Faculty of Agriculture

Abstract: The influence of drying conditions on the germination of rice seed was studied as to find the safty drying conditions of high moisture rice seed. The germination was found to be strongly dependent on drying air temperature as higher initial moisture content, and so the drying time had effect on the germination in the cace of higher initial moisture content and higher drying air temperature. It is assumed that the critical drying air temperature to maintain the germination percentage above 90% is about 45—50°C. But in practical operations of drying apparatus, it is necessary to give full consideration to the difference of the critical drying air temperature as a sort of grain, the variation of drying air temperature, the uniformity of inital moisture content and difference of interval of aeration cycle etc.. Therefore it should be established the more safty conditions drying the high moisture rice seed.

The coefficient of drying rate of rough rice were measured in a wide range of drying conditions. Consequently it can be expressed the coefficient of drying rate as a function of drying air temperature and it seems that there is no effect of initial moisture content and drying air rate.

緒 言

従来、水稻種子粃の生産は、刈取、運搬、架掛けなどの手作業を中心として行われてきたが、このような方法は重労働であり、しかも種子粃を扱う上で重要な混種防止に過大な注意を払わなければならない。そこで、これらの作業の省力化を図るために、自脱型採種用コンバインが開発され、これに対応して高水分種子粃の処理技術に関する研究が行われている。^{1,2)}この技術の要点は二つに分けられ、その一つはコンバイン収穫と損傷粃の発生の関係であり、いま一つは高水分粃の人工乾燥と発芽力との関係である。しかし、種子の生命維持現象は極めて複雑であり、その厳密な評価が困難であるため、このような物理的負荷（機械的あるいは熱的作用）と種子の生理との関係は十分に解明されているとは言えないようである。

ところで、種子は一般に含水率が高いほど熱の影響を多く受けると言われており、高水分種子粃の熱風乾燥には格別の注意が必要である。とくに、西南暖地における早稲粃は収穫時の水分が高いため、採種用コンバインを導入するためには安全且つ合理的な乾燥法が検討されなければならない。そこで本報では、高水分種子粃の熱風乾燥法に関する基礎資料を得ることを目的として、熱的作用が種子の生理に及ぼす影響について2・3の実験を行った。種子粃の乾燥操作が最も能率的に且つ安全に行われるためには、粃の生命が維持できる限界乾燥条件を知る必要がある。したがって、ここでは種々の乾燥条件において生粃の乾燥実験を行い、発芽率との関係を調べた。また、同時に薄層における高水分粃の乾燥特性についても若干の検討を加えた。

実験装置および方法

1. 実験装置 Fig. 1 に実験装置の概略図を示す。ブロウ①により送られた空気は、ヒータ③に

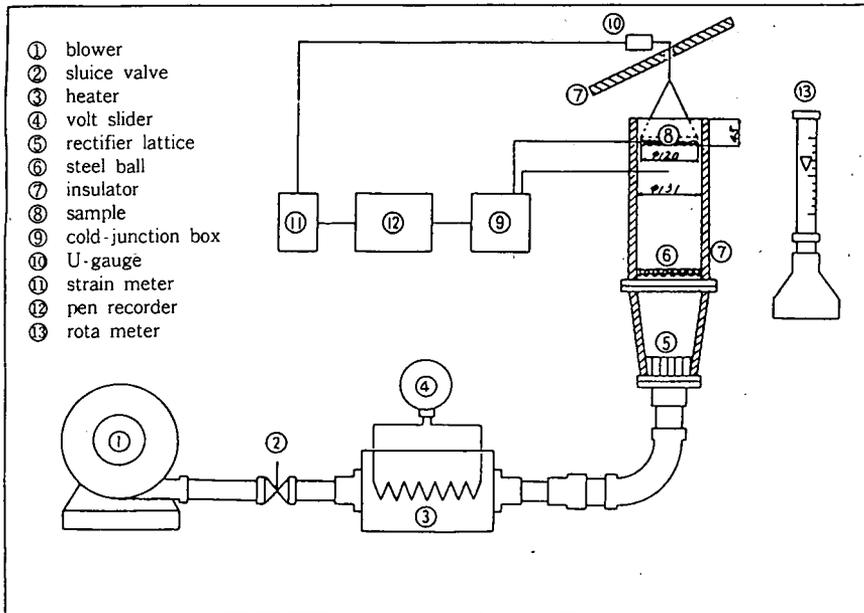


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

より熱せられ、整流格子⑤および鋼球層⑥を通して粉乾燥部に送られる。风量調節はロータメータ⑬を空気出口に接続してスルースバルブ②によって行った。また、空気温度は粉乾燥部の直前に設けたT熱電対により計測し、ボルトスライダ④でヒータの電圧を調節して通風温度の設定をした。試料粉は金網製試料容器⑧に、約12gを粉が重ならないように一層の状態に並べ、Uゲージ⑩に吊した。また、粉の重量変化はUゲージからストレインメータ⑪に接続し、ペンレコーダ⑫に記録させた。なお、熱風によりUゲージの基準点が変わるのを防ぐため、熱風の出口とUゲージとの間に断熱材⑦を設けた。さらに、粉の重量測定誤差をできるだけ小さくするため、ストレインメータはオートバランス式のものを用い、乾燥終了後、直ちにアルミニウム製蓋付容器に粉を移し、精密天秤により重量測定を行った。なお、乾燥中における粉温の変化は、素線径0.1mmのT熱電対を粉粒子に挿入してペンレコーダに記録した。

2. 供試粉および実験条件 供試粉は、1981年8月高知県産コシヒカリ(初期含水率: 30% w.b.)および1981年10月香川県産セトホマレ(初期含水率: 24% w.b.)である。これらの粉は圃場にて手抜き収穫し、選別を行った後、自然乾燥あるいは吸湿させ、含水率20~30% w.b.の試料をつくった。また、粉の水分を均一にするため、それらをビニール袋に入れ、7~10日間冷蔵庫の中に放置した後実験に供した。乾燥条件は、通風温度を20, 30, 40, 45, 50, 55, 60, 65°C、乾燥時間を10, 20, 30, 60, 90, 120分とし、これらを粉の初期含水率22~30% w.b.とともに組合せて実験を行った。

3. 発芽試験法 種子の発芽力を迅速に知る方法として、化学的方法あるいは電気的方法さらには胚の生長による検定法などがある³⁾。しかし、種子の生死を判別する方法として発芽試験法が最も一般的であり、且つ確実な方法であると思われるので、ここでは種々の乾燥条件で乾燥した粉の生命維持割合を発芽試験によって判定した。発芽試験法にはいくつかの考え方があり、各試験研究機関によって独自の方法がとられているようである。本実験では、国際種子検査規定に準じて行ったが、この規定では判定日数が長すぎて、カビ等により試験結果が乱れ易い欠点があるので、ここでは高知県農事試験場等で行われている締切日数を採用し、発芽勢および発芽率の日数をそれぞれ4日と7日とした。なお、発芽の判定基準は、諸橋ら(1977)⁴⁾による基準を採用した。

ところで、収穫直後の粉には休眠の深さが異なる種子が混在していると言われ、⁵⁾本実験のように収穫直後の粉に対する発芽試験結果が要求される場合には休眠覚醒を行う必要がある。この処理法についてはいくつかの研究が進められている^{6,7,8,9)}が、未だ確立された方法がないようである。ここでは、高知県農事試験場で行われた試験結果(未発表)より、50°C—5日間の乾熱処理を採用した。なお、乾燥実験終了後の粉は含水率が十分に低くなっていないので、50°Cに耐えられると思われる含水率(12~13% w.b.)まで室内で自然乾燥したのち、休眠覚醒の処理を行った。

結果および考察

1. 乾燥条件と発芽力 種子の生命維持機構には、穀物の種類、品種による特性とともにその他数多くの因子が関与しており、いかなる状態において、いかなる環境条件にまで耐えられるかそれらの限界値を厳密に把握することは極めて困難であると思われる。したがって、このような問題に関して、作物生理学の分野においても十分に解明されているとは言えないようである。

ところで、種子が熱によって生命を失う現象は、熱による蛋白質の凝固現象とよく似ており、水分が多いほど熱の影響を大きく受けることが知られている。したがって、種子粉の乾燥操作において、種子の生命に関与する主たる因子は、通風温度、粉の初期含水率および熱にさらされる時間であると思われる。このような観点から、高水分粉の乾燥実験を行い、発芽率との関係を調べた。

通風温度と粉の発芽率との関係を乾燥時間をパラメータとして、初期含水率を変えて Fig. 2~

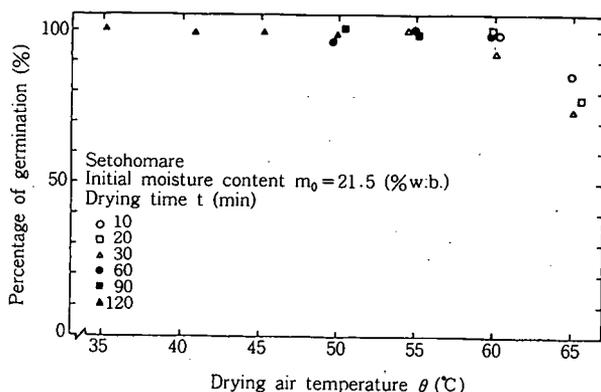


Fig. 2. Effect of drying air temperature on percentage of germination.

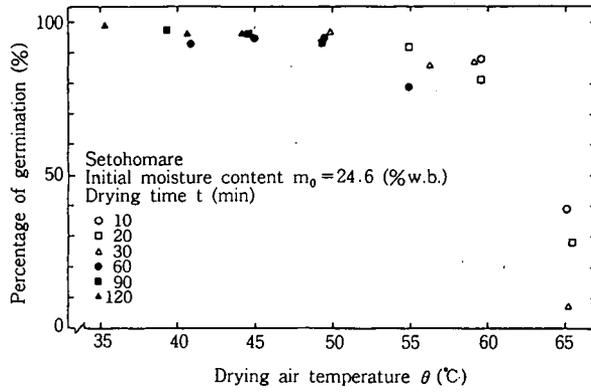


Fig. 3. Effect of drying air temperature on percentage of germination.

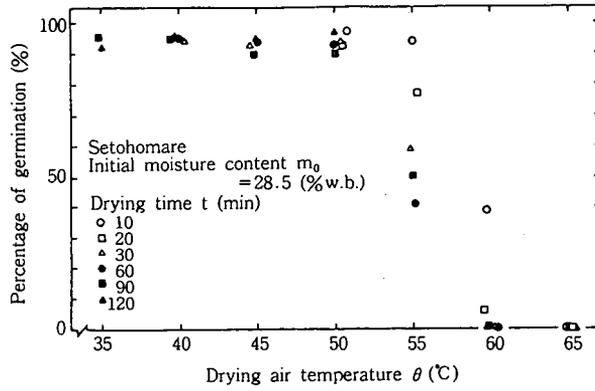


Fig. 4. Effect of drying air temperature on percentage of germination.

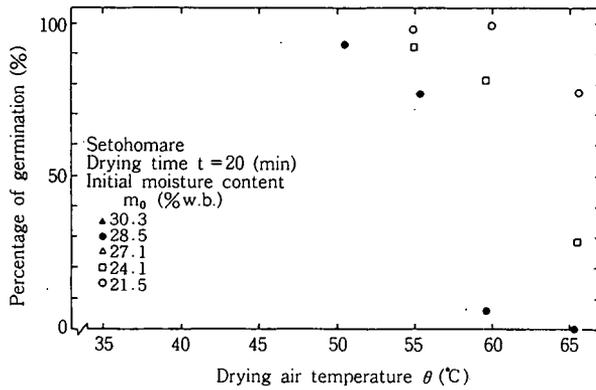


Fig. 5. Effect of drying air temperature on percentage of germination.

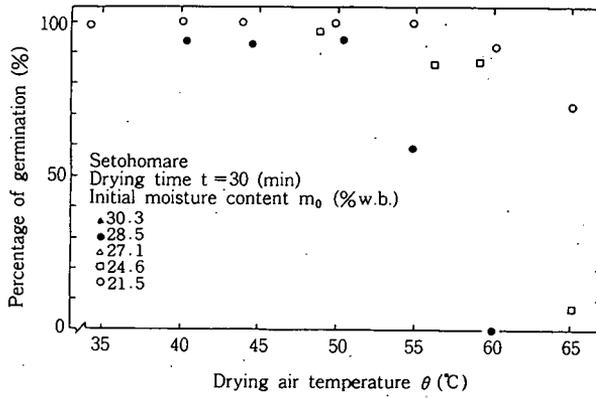


Fig. 6. Effect of drying air temperature on percentage of germination.

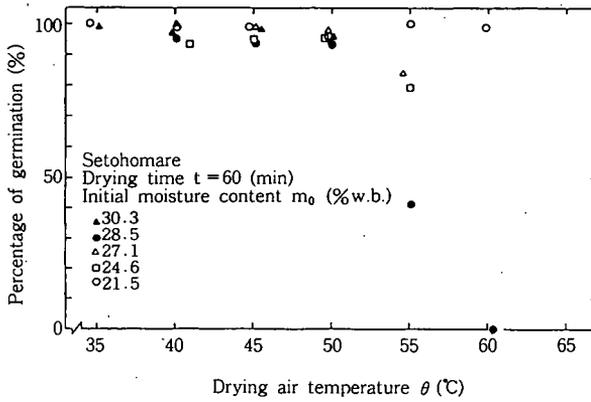


Fig. 7. Effect of drying air temperature on percentage of germination.

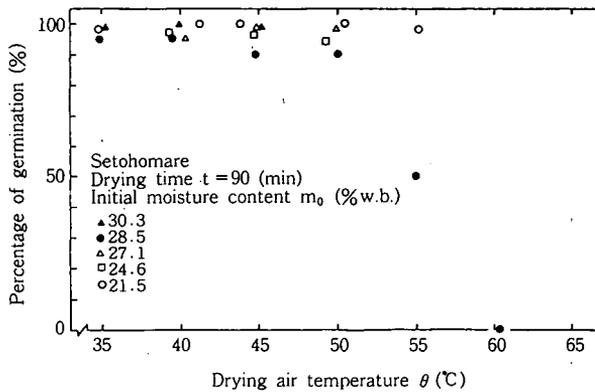


Fig. 8. Effect of drying air temperature on percentage of germination.

Fig. 4 に示した。また同様に、初期含水率をパラメータとして乾燥時間を変えて Fig. 5～Fig. 8 に示した。これらの結果から、通風温度が高いほど発芽率は低下し、また初期含水率が高いほど通風温度の影響を大きく受けるのがわかった。つぎに、乾燥時間と発芽率との関係を通風温度をパラメータとして、初期含水率を変えて Fig. 9～Fig. 11 に示した。これらの関係からも前述の結果と同様なことが言えるが、さらに加えて、含水率が高い粗に対して通風温度が高い場合には、乾燥時間が発芽率に大きく影響を及ぼすと言える。すなわち、含水率、通風温度がともに高い場合でも、乾燥時間が短かければ発芽率は低下しないことを示している。

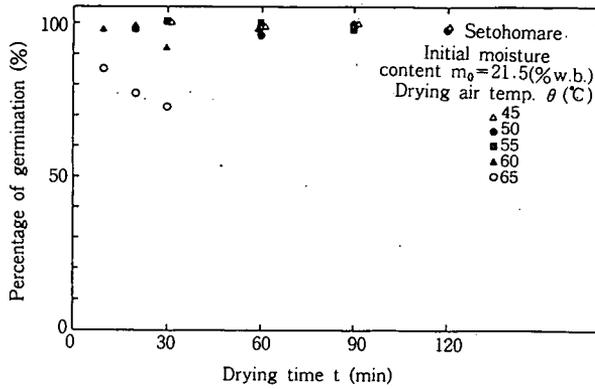


Fig. 9. Effect of drying time on percentage of germination.

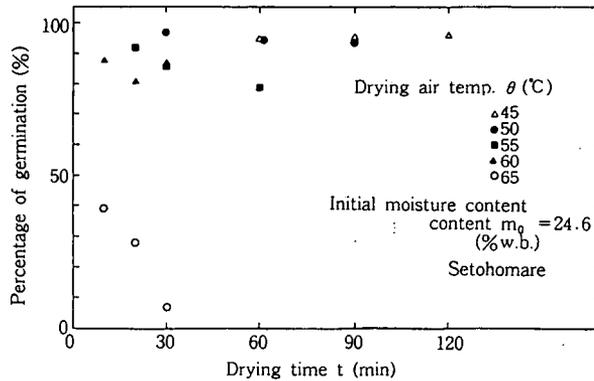


Fig. 10. Effect of drying time on percentage of germination.

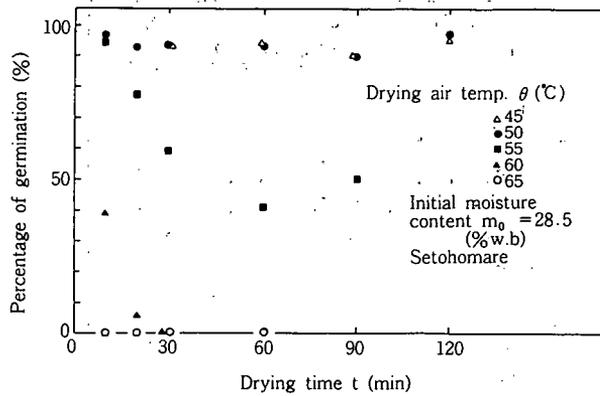


Fig. 11. Effect of drying time on percentage of germination.

以上の結果から、90%以上の発芽率を維持する限界を、粉の初期含水率と通風温度との関係で表わした。(Fig. 12) 図中(A)における限界通風温度は、富山農試(1976)¹⁰⁾と比較してわずか

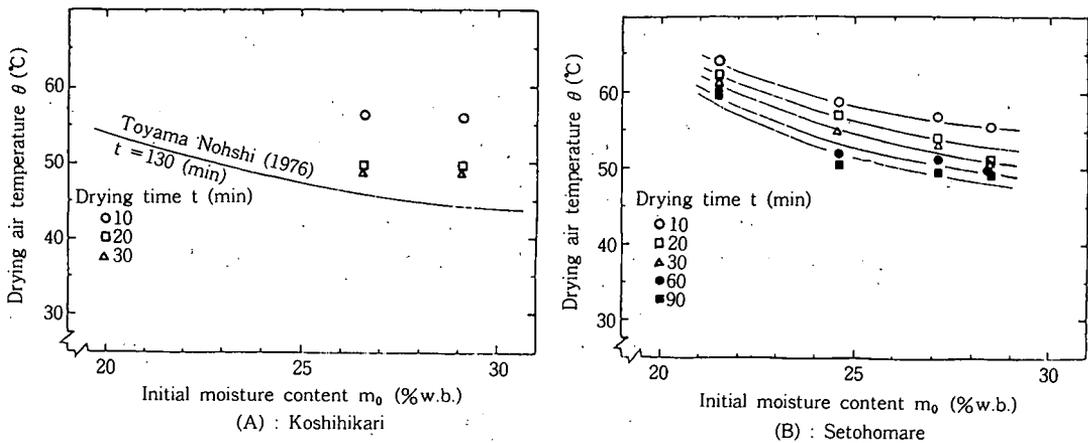


Fig. 12. Relation between initial moisture content and drying air temperature to maintain percentage of germination

に高いが、乾燥時間の違いを考慮すれば、ほぼ近似しているものと思われる。また、図中(B)には、粉の初期含水率が高いほど、乾燥時間が長いほど通風温度を低くしなければならないことが明確に示されている。さらに、(A)コシヒカリ、(B)セトホマレを比較すれば、品種により限界通風温度はわずかに異なるように思われるが、品種間の違いについてはより多くのデータが必要であり、今後さらに検討を要する。なお、乾燥中における通風温度と粉粒子温度を測定し、Fig. 13 に示した。これらの温度差は2~3℃以下で、ごく初期を除いてほぼ一定であり、例えば初期含水率 28.5% w.b. の粉に対して通風温度が50℃のとき、粉粒子温度は約48℃であった。以上の結果から、高水分粉に対して90%以上の発芽率を維持する限界温度は、ほぼ45~50℃に存在するものと推定される。

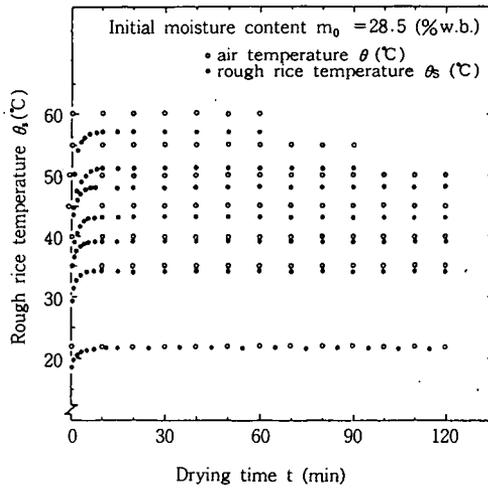


Fig. 13. Changes of rough rice temperature during heated air drying.

しかし、実際の乾燥機による操作においては、通風温度の変動、初期含水率のむら、籾の張り込み量による通風・貯留サイクルの違い等を考慮しなければならないであろう。

2. 薄層籾の乾燥特性 薄層籾の乾燥特性については、従来より数多くの研究がなされており、中馬ら (1969)¹¹⁾、村田 (1973)¹²⁾、大塚ら (1975)¹³⁾、山沢ら (1971)¹⁴⁾ により多くの成果が得られている。籾の乾燥特性にかかわる重要な因子である乾燥速度係数 (乾燥定数) についても、いくつかの報告が見られるが、それらの値は測定者により幾分異なっている。この原因として、籾の水分調整等による保水状態の違いや乾燥過程における籾の重量測定の精度等が考えられる。したがっ

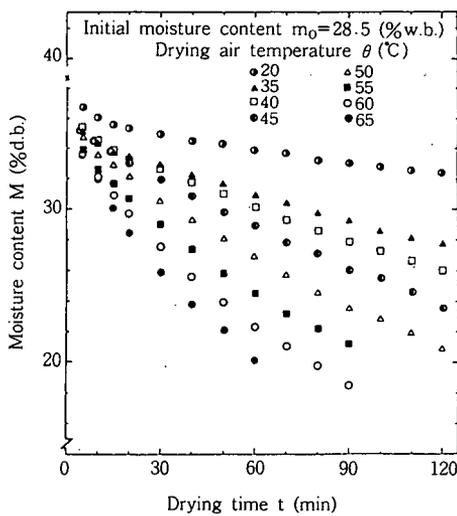


Fig. 14. Drying curves.

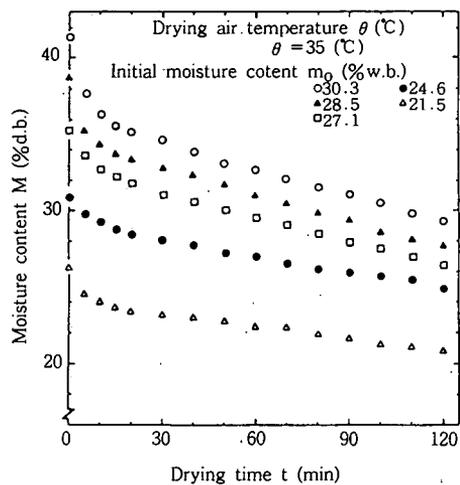


Fig. 15. Drying curves.

て、ここではとくにこれらの点に注意し、乾燥速度係数を幅広い条件下において実験的に求め、既往値と比較した。

Fig. 14 および Fig. 15 は、それぞれ通風温度と籾の初期含水率をパラメータとして表わした乾燥曲線である。籾の乾燥速度は通風温度により大きく異なるが、初期含水率の影響は極めて少ないことがわかる。

籾の乾燥方程式には、適用条件によりいくつかの論があるが、ここでは Henderson (1954)¹⁵⁾ による次式を用いる。

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = A e^{-Kt} \quad (1)$$

測定結果を式(1)により整理し、相対含水比を縦軸に、時間を横軸にとり片対数紙上に表わせば Fig. 16 に示すように、その後はゆるやかな直線となる。この直線の勾配が乾燥速度係数である。

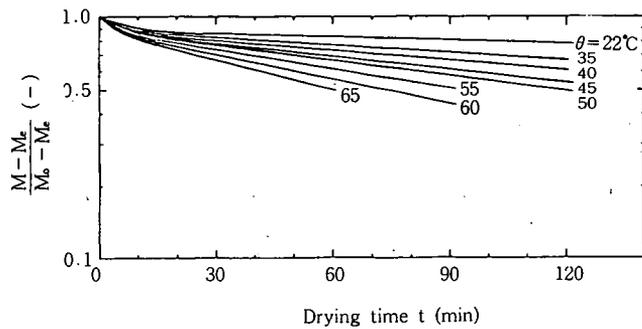


Fig. 16. Drying data for $m = 28.5$ (%w.b.).

ごく初期の部分は、主として籾の稈の乾燥が行われる過程であると思われ、この直線部の勾配を K_1 として、通風温度との関係をプロットし Fig. 17 に示した。この過程は、極めて短時間であり、

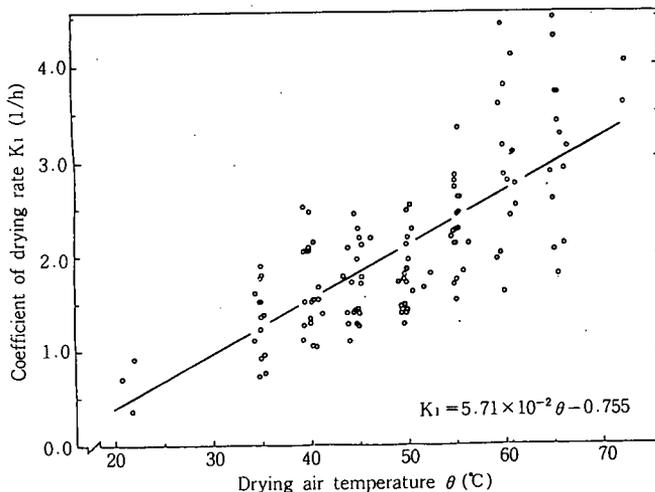


Fig. 17. Coefficient of drying rate of rough rice at the initial drying period.

稗の保水状態から雰囲気の影響を受け易く、また測定誤差を生じ易いためにバラツキが大きい、ほぼ温度と一次関係にあることがわかる。

Fig. 16 におけるゆるやかな直線部は、主として玄米からの内部拡散による乾燥過程であり、この勾配Kが籾の乾燥速度係数として従来より求められているものである。通風温度を絶対温度の逆数 $1/T$ で表わし、Kとの関係を片対数紙上にプロットすれば、Fig. 18 に示すように極めて

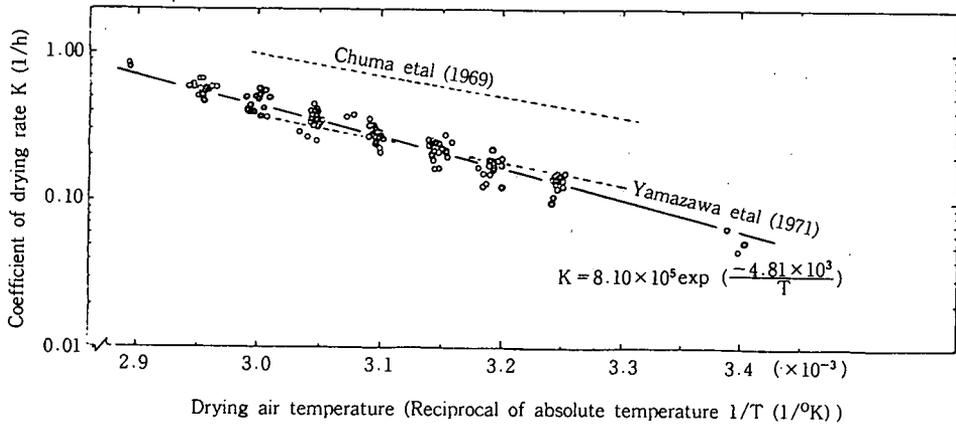


Fig. 18. Coefficient of drying rate of rough rice.

高い相関をもった直線が得られた。このプロットの回帰式は次のように表わされる。

$$K = 8.10 \times 10^5 \exp \left(- \frac{4.81 \times 10^3}{T} \right) \quad (2)$$

この結果は、中馬ら(1969)¹⁶⁾よりも幾分低く、山沢ら(1971)¹⁷⁾と勾配はわずかに異なるが、

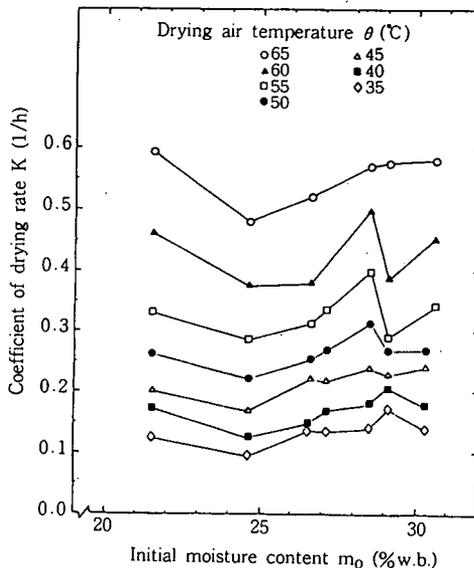


Fig. 19. Relation between initial moisture content and coefficient of drying rate.

極めて近似している。Fig. 19 は粃の初期含水率と乾燥速度係数との関係を示したものである。この結果から、21.5~30% w.b. の範囲において乾燥速度係数に対する初期含水率の影響はほとんどないものと判断される。また、乾燥速度係数に対する風速の影響は Fig. 20 に示すように8.5~30cm/s の範囲においてほとんど認められなかった。すなわち、これは粃の乾燥過程が玄米の内部拡散に支配されていることを示すものである。

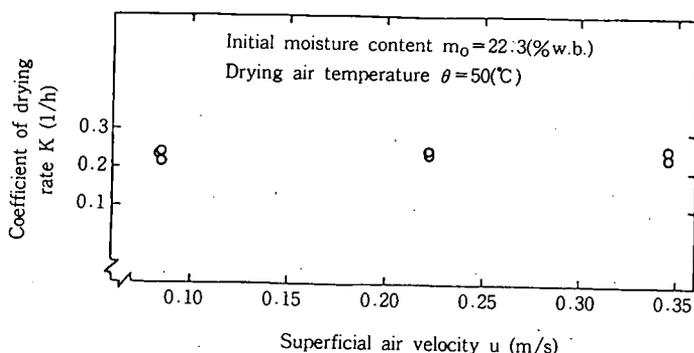


Fig. 20. Relation between superficial air velocity and coefficient of drying rate.

結 言

水稻種子粃生産の機械化のために、粃種用コンバインが開発され、高水分種子粃の迅速かつ安全な人工乾燥法が確立される必要が生じた。ここでは、熱風乾燥法に関して、高水分種子粃に適した乾燥条件を知るため、乾燥条件が発芽力に及ぼす影響を実験的に調べた。その結果、粃の初期含水率が高いほど、通風温度の影響を強く受け、また、初期含水率が高く、通風温度が高いほど乾燥時間の影響を受けて発芽率が急激に低下することがわかった。このように、種子粃は含水率が高いほど熱に対して抵抗が弱いことから、とくに西南地域における早稲種子粃の収穫時の水分が高い(30% w.b.以上)での乾燥条件の設定に注意を要する。また、本実験の結果から、高水分種子粃に対して、発芽率を90%以上に維持するための限界温度はほぼ45~50°Cであると推定された。しかし、実際の乾燥操作においては、品種による限界温度の違い、通風温度の変動、初期含水率のむらおよび通風・貯留サイクルの時間間隔の違い等を考慮する必要がある、より安全な条件設定がなされなければならないと考えられる。

また、前述の実験過程において、粃の乾燥速度係数を求めることができたので、従来のデータと比較検討した。実験材料は、収穫直後の生粃を用い、含水率および通風温度について、幅広い実験条件にわたって測定を行った。その結果、粃の乾燥速度係数は通風温度の関数で表わされ、粃初期含水率と風速の影響はほとんど認められなかった。

記 号

A: 定数

[-]

K, K_i : 乾燥速度係数	[1/hr]
M : 含水率	[% d. b.]
M_e : 平衡含水率	[% d. b.]
M_o : 初期含水率	[% d. b.]
m_o : 初期含水率	[% w. b.]
T : 絶対温度	[K]
t : 時間	[min]
u : 風速	[m/s]
θ : 空気温度	[°C]
θ_s : 籾の温度	[°C]

文 献

- 1) 笠原正行・猪原明成, 水稻種子のもみの乾燥に関する研究, 農機学会第40回総会講演要旨, P. 125 (1981)。
- 2) 農林水産技術会議事務局, 水稻種子籾の収穫調整機械化技術, 実用化技術レポート No. 52, 14—18 (1978)。
- 3) 田口亮平, 作物生理学, P. 77—79, 養賢堂, 東京 (1960)。
- 4) 諸橋準之助・藤塚昭吾・市川儀夫, 種子生産のコンバイン収穫方式に関する研究 (第2報), 農機学会第36回総会講演要旨, P. 105 (1977)。
- 5) 前出4)
- 6) 阿部真三・佐々木武彦, 水稻種子の休眠覚醒に対する乾熱処理効果, 日作紀, 44 (別号2), 146—147 (1975)。
- 7) 河野芳樹・竹内節男・川原田璋・太田保夫, 水稻種子の高温処理による休眠覚醒と無気呼吸との関係, 日作紀, 44 (2), 194—198 (1975)。
- 8) 諸橋準之助・屋豊一, 変温によるイネ種子の休眠覚醒について, 日作紀, 47 (別号1), 141—142 (1978)。
- 9) 太田保夫・中山正義, 発芽抑制物質と稲種子の休眠性に関する研究, 日作紀, 40 (別号1), 145—146 (1971)。
- 10) 前出2)
- 11) 中馬豊・村田敏・岩元睦夫, 穀類の乾燥に関する基礎的実験, 農機誌, 31 (3), 250—255 (1969)。
- 12) 村田敏, 薄層理論による籾の混合層乾燥特性の解析, 九大農芸誌, 27 (3, 4), 259—280 (1973)。
- 13) 大塚寛治・村田敏・中馬豊, 薄層籾の熱風乾燥に関する一実験式, 農機誌, 37 (3), 331—338 (1975)。
- 14) 山沢新吾・吉崎繁・前川孝昭・園部和彦, 農産物の乾燥に関する基礎的研究 (第2報), 農機誌, 33 (3), 279—287 (1971)。
- 15) Henderson, S. M., Grain drying theory, I. Temperature effect on drying coefficient. J. Agric. Engng., 6 (3), 169—173 (1961)。
- 16) 前出8)
- 17) 前出14)

(昭和59年9月25日受理)

(昭和59年12月8日発行)