

低溫乾燥應用於良質米加工上之研究

The Study on the Application of Low Temperature Drying for High Quality Rice Processing

國立中興大學農業機械工程學系教授

國立中興大學農業機械工程學系

國立中興大學農業機械工程學系

研究生

研究助理

盛 中 德

黃 朝 松

黃 明 仕

Chung-Teh Sheng

Chaur-Sung Hwang

Ming-Shi Hwang

摘 要

本研究經由製作一具有高溫、常溫與低溫乾燥功能之試驗系統，進行稻穀乾燥試驗，並以發芽率與碾米率進行米質分析。試驗結果經分析後顯示，當乾燥溫度低於40℃時，連續式與間歇式（乾燥／均化時間為10/70，20/60分鐘）乾燥，在發芽率方面，並無顯著的差異存在；在完整米率方面，前者顯著地較後者低，但亦維持在合理可接受的水準以上（65%以上）。當乾燥溫度高於40℃時，不論連續式或間歇式，其發芽率與完整米率皆急遽下降，因此40℃應為良質米生產中適宜之乾燥溫度。在低溫（30，35℃）乾燥時，提高乾燥／均化時間比，可以有效地提高乾燥速率，且對發芽率與碾米率無顯著不良影響。在相同乾燥速率的要求下，利用低溫同時提高乾燥／均化時間比的方式，與提高乾燥溫度的方式作比較，前者有較高之完整米率。

關鍵詞：發芽率，完整米率，低溫乾燥。

ABSTRACT

A drying system with capabilities of high temperature drying, natural air drying and low temperature drying was constructed. The qualities of dried rice were analyzed using percentage of germination and head yield after milling. As drying temperature below 40℃, the experimental of continuous drying and tempering drying with time ratio of 10/70 and 20/60 showed low head yield for continuous drying, but no difference on percentage of germination. As drying temperature over 40℃, for continuous drying and tempering drying, the percentage of germination and head yield were dropped rapidly. Therefore, 40℃ could be the temperature upper limit on rice drying. In low temperature drying, the drying rate was raised as the time ratio of drying / tempering increased. But there were no distinct influences on

percentage of germination and milling yield. At the same drying rate, the head yield by using lower drying temperature is higher than the higher temperature.

keywords : Percentage of germination, Head yield, Low temperature drying.

一、前言

稻米是本省最重要之農產品，為國人的主要食糧，近年來隨著生活水準提升，稻米的消費型態已由量的需求轉變為質的要求，因此如何改善米質已成為未來生產發展的重點。影響米質的因子有許多，如：稻米品種、產地環境與氣候、栽培管理方法、收穫（方式）、乾燥、貯藏、精米加工作業等；其中有關稻米乾燥對米質的影響與乾燥溫度有很密切的關係。穀物的乾燥因溫度的不同可區分為高溫、常溫與低溫；高溫乾燥之特徵為速度較快、品質較差、風味不佳，胴裂率高和碾米品質較差。常溫與低溫乾燥所需時間較長，但低溫對米質保存的有利特質正好可彌補高溫乾燥的缺點，此即為本研究想探討的重點。研究目的如下：

- (一)針對乾燥溫度、乾燥／均化時間比等因子對稻米品質之影響進行探討。
- (二)經由試驗結果的分析，找出影響稻米品質之主要因子，進而建立本省低溫乾燥之基礎資料。

二、文獻探討

(一)稻穀乾燥的目的、原理與方法

稻穀乾燥乃是將稻穀內多餘的水份除去，以達到下列幾個目的（馮，1978）：

- 1.防止稻穀因化學變化而引起質變。
- 2.防止稻穀因微生物與酵素的作用引起腐敗與變質。
- 3.延長稻穀之貯存期限與市場壽命，調節市場供需的平衡。
- 4.方便其他稻穀加工作業的進行。

穀物與乾燥介質（空氣）間的水蒸氣壓差為穀物進行乾燥之主要動力，此水蒸氣壓差可由下列二種方法獲得，(1)加熱穀物以提高穀物表面之水蒸氣壓；(2)除去外界空氣中之部份水分，以降低穀物外界空氣中之水蒸氣壓。為得到此一水蒸氣

壓差，依所使用溫度的不同可區分為高溫、常溫、低溫三種型式。

1.高溫乾燥(High temperature drying)

高溫乾燥是加熱於空氣，大幅提升空氣之溫度，並將此熱空氣通過穀層，熱空氣與穀物進行熱交換，放熱給穀物提高穀物溫度同時提高了穀物的對應水蒸氣壓。

2.常溫乾燥(Natural temperature drying)

常溫乾燥是利用接近環境溫度的空氣進行穀物乾燥，當外界空氣濕度較低時，可直接以自然空氣進行乾燥；必要時亦可以昇溫 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 方式進行(Sharp, 1982)。

3.低溫乾燥(Cooled air drying)

低溫乾燥是利用除濕的方法除去空氣中的水分，如此空氣在低溫時亦有良好的乾燥潛勢，一般較常使用冷凝除濕方法，將空氣之溫度降至露點(Dew point)以下，如此空氣中之部分水經由凝結而釋出；隨後再適當加熱以提高乾燥潛能進行乾燥。此方法之降溫或升溫之選則需注意參考穀物之平衡含水率。

(二)影響完整米率之乾燥因素

稻米加工廠的經濟效益主要由其碾米率來決定，稻米加工業者將碾米率視為代表稻米品質的一項重要指標；依定義之不同，碾米率可再區分為糙米率、白米率與完整米率，其中又以完整米率最具重要性。影響稻穀完整米的因素很多，如品種、栽培方法、收穫方式乾燥過程、貯藏過程與加工過程等(Siebenmorgen et al., 1992)，其中胴裂是極主要的影響稻穀完整米率因素，而不當的乾燥作業是稻穀產生大量的胴裂的主因。伴敏三(1971)指出大多數稻穀的胴裂產生於乾燥處理結束後72小時；此說明了乾燥均化與貯存過程的初期均為影響稻米完整米率的重要加工過程。

影響胴裂發生的主要原因是乾燥所造成的應力分佈不平衡現象，在乾燥過程中穀粒內部若形

成水分梯度，則相伴有不平衡的應力，此應力隨水份梯度的變大而增大，如此發生胴裂的機率愈大(Craufurd, 1963)。造成不平衡應力的主要因素有：1.穀物內部產生水分梯度(Moisture gradient)(Kunze, 1972)，2.穀物內部產生溫度梯度(Temperature gradient)。

稻穀在乾燥作業中，其乾燥溫度愈高或加熱期間愈長，穀粒內所累積的熱應力愈大，當穀粒內累積的熱應力強度超過稻穀本身強度時即產生胴裂(山口信吉，1976)。另胴裂的發生與乾燥處理結束後，穀物除去內部水分梯度的速率，亦有極密切的關係(Craufurd, 1963)。發生胴裂的稻穀在後續的碾穀與精米等加工作業時，容易造成碎米大幅降低了完整米率，嚴重地影響了稻米的品質。

Henderson (1957)利用不同溫度與濕度之空氣進行稻穀薄層乾燥，其試驗結果顯示，當熱風溫度高於110°F(43.4℃)時，其完整米率即顯著的下降。

Omar and Yamashita (1987)由稻穀的薄層乾燥試驗中，發現最適宜之乾燥溫度為35～45℃之間，當乾燥溫度高於45℃時，稻米品質有急速轉劣的趨勢。

鄭(1992)利用各種不同乾燥條件進行稻穀的乾燥試驗，試驗結果顯示40℃以下之空氣溫度對完整米率幾乎沒有影響，熱風溫度在45℃以上時，隨著溫度的提高完整米率隨之急遽下降。

(二)防止完整米率降低的方法

不當的乾燥處理為完整米率降低的主因之一，要提高完整米率，可經由乾燥作業的改善著手，其可採行的方法有下列幾種(馮，1978)

1.採用常溫或低溫乾燥法

為避免由於乾燥溫度過高，損及完整米率，可採用常溫或低溫的空氣進行乾燥。

2.配合均化作業的實施

為避免稻穀因乾燥速率太快，損及品質，可由降低水分梯度著手，在乾燥作業中應注意配合均化作業的實施。

3.緩慢冷卻加熱過後的稻穀

利用熱風乾燥後的稻穀，尤其是高溫乾燥，為避免因溫度急遽變化而造成胴裂，應採類似均

化的步驟，緩慢冷卻熱稻穀。

4.適度地提高乾燥空氣濕度

Henderson (1957)之稻穀乾燥試驗的結果顯示，當乾燥溫度提高時，需相對利用濕度較高之空氣進行乾燥，才能保持較高之完整米率。

(四)影響稻穀發芽率之乾燥條件

稻穀發芽率的高低，可顯示出其胚芽的活性或稻穀體生物性，為一極佳之米質判斷標準。乾燥期間影響穀物發芽率的條件因素包括乾燥溫度、穀物的初期含水率與暴露在該溫度下之時間等，其中以乾燥的溫度和穀物的初期含水率的影响最為顯著(Ghaly and Sutherland, 1984)。

諸橋準之助(1985)依其試驗結果指出：就發芽率而言，不論是連續式乾燥或間歇式乾燥，乾燥溫應以45℃為上限。

山下律也等人(1987)指出：發芽率為稻穀內在品質的最佳指標。他們利用不同的送風溫度與初含水率進行乾燥試驗，並進行發芽率的測試，結果顯示當稻穀之初含水率在22%～25%之間時，稻穀乾燥作業之送風溫度應以低於45℃最為適宜。

(五)稻米品質的判定

本研究在稻米品質的判定上依據下列特性進行：

1.碾米率

碾米率是稻米加工業者非常重視的一種稻米品質標準，碾米率可分為糙米率、白米率、完整米率三種。

糙米率為碾出之糙米佔稻穀的比率，由下式表示：

$$\text{糙米率}(\%) = \frac{\text{糙米重}}{\text{稻穀重}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

白米率為碾出之白米佔稻穀的比率，由下式表示：

$$\text{白米率}(\%) = \frac{\text{白米重}}{\text{稻穀重}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

完整米率為完整米佔稻穀的比率，可由下式表示：

$$\text{完整米率}(\%) = \frac{\text{完整米重}}{\text{稻穀重}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

2.發芽率

稻穀發芽率的高低與食味的好壞有一種密切

的關係存在，可以利用發芽率的高低代表食味的好壞。稻穀的發芽率以下式表示（行政院農業委員會，1987）：

發芽率(%) = $\frac{\text{發芽稻穀粒數}}{\text{取樣稻穀粒數}} \times 100\% \dots (4)$

三、試驗設備與方法

(一)實驗設備及材料

1.實驗設備與儀器

(1)稻穀乾燥試驗系統：

此乾燥系統（圖 1）可針對乾燥試驗的設定條件，對空氣進行冷卻、除濕或加熱等工作，其溫度控制範圍為 10～65℃，可供低溫、常溫與高溫乾燥試驗使用（黃，1993）。

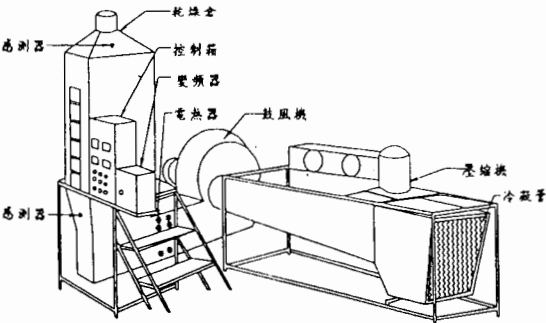


圖 1. 乾燥試驗系統

(2)本實驗所使用之測試儀器主要有：

- a. 電阻式風速計
- b. 對流型熱風烤箱
- c. 多點資料記錄器
- d. 電容式含水率測定儀
- e. 精密電子天平
- f. 磨穀機
- g. 精米機
- h. 振篩機
- i. 植物生長箱

2.實驗材料

實驗所使用材料為台梗 2 號水稻，為避免樣品受貯存後之影響，試驗用稻穀均為由台中區農業改良場提供。

(二)實驗方法

1.實驗設定

(1)穀層厚度：試驗穀層厚度為 15cm，每次實驗需要稻穀容積為 0.054m³，約 30kg 重。

(2)稻穀之最終含水率：設定稻穀最終含水率為 16.3%，d.b.(14%，w.b.)。

(3)通風量之設定：本試驗參考國內靜置式與循環式乾燥機之通風量，在連續通風乾燥試驗中，採用通風量為 60 CMM/t 之設定，在間歇通風乾燥試驗中，則通風量設定為 225 CMM/t。經測試校正，通風量之最大誤差在 2% 以內。

2.乾燥試驗

依據所使用之溫度及均化時間之不同，利用試驗設計原理規劃一 5 × 3 複因子試驗，如表 1，進行溫度與乾燥模式對米質影響之試驗；此外，規劃一 2 × 5 之複因子試驗如表 2，進行低溫乾燥試驗。

表 1. 乾燥試驗條件與乾燥試驗結果

處理代號	設定溫度 (°C)	乾燥溫度 (°C)	實測溫度 (°C)	最初/最終含水率 (%)	乾燥時間 (h)	乾燥速率 (%/h)
1A	25	45~55	24.3~26.9	26.3/14.4	30.83	0.38
1B	30	45~55	28.9~31.5	26.3/14.4	21.50	0.59
1C	35	45~55	34.0~36.9	27.0/14.3	17.50	0.72
1D	40	32~39	39.3~41.7	27.4/14.2	14.83	0.88
1E	45	28~33	44.2~46.9	27.1/14.2	13.50	0.95
1F	55	21~26	53.9~56.3	27.2/14.4	10.83	1.23
2A	25	45~55	24.7~26.5	26.8/14.5	24.33	0.51
2B	30	45~55	28.8~31.3	25.0/14.2	15.00	0.72
2C	35	45~55	34.1~36.6	24.7/14.1	12.33	0.86
2D	40	32~39	38.5~41.6	23.2/14.0	9.67	0.95
2E	45	28~33	44.2~46.8	23.0/14.0	8.33	1.08
2F	55	21~26	54.8~56.8	23.9/14.1	5.67	1.73
3A	25	45~55	24.7~27.0	26.9/14.2	19.00	0.67
3B	30	45~55	29.3~31.5	24.6/13.8	14.00	0.77
3C	35	45~55	34.1~36.8	23.8/14.0	10.00	0.99
3D	40	32~39	39.1~41.7	24.0/14.0	9.00	1.12
3E	45	28~33	44.9~46.2	23.0/14.7	6.00	1.55

註：乾燥/均化時間比
第 1 組：10/70，第 2 組：20/60，第 3 組為連續乾燥。
通風量：間歇式乾燥為 225 CCM/t，連續式乾燥為 60 CMM/t。

3.試驗步驟

(1)每次試驗以 30kg 之新鮮稻穀進行，試驗前先將樣品充分混合，取樣 250g 三次（每個樣品重覆三次）量取含水率；並計算平均值，作為稻穀之最初含水率。同時以三重複每個樣品 100 粒稻穀進行發芽率試驗。

(2)將 30kg 之濕稻置於乾燥倉中，進行乾燥試

驗。連續式乾燥試驗時，每小時量取含水率一次；間歇式乾燥試驗時，於每一乾燥循環加熱通風後隨即取樣量取其含水率，每次循環需 80 分鐘。乾燥試驗將持續進行直到稻穀之含水率降至 14°C (w.b.) 左右為止。

(3) 乾燥作業完成後之稻穀，利用分樣器取 3 kg 之樣品，以塑膠袋密封，靜置 4 天以上，再以分樣器等分為三份，每一份約 1 kg 進行碾米率試驗。其餘稻穀則以尼龍袋裝袋貯存，並進行發芽率試驗，每次重複每個樣品 100 粒。

4. 品質檢定試驗

(1) 發芽率試驗

根據國際種子檢定規則進行稻穀的發芽率試驗（行政院農業委員會，1987）。

(2) 碾米率試驗

依據下列步驟進行：

a. 調整碾穀機 (McGill Sheller) 兩脫穀輪之間隙為 0.025 英寸 (0.635mm)，倒入 1 kg 之稻穀進行碾穀試驗，因一次碾穀之效率僅為 70%，故每批稻穀須進行二次碾穀，隨後量取所得糙米之重量，並依照(1)式計算糙米率，每一試驗進行三個重複。

b. 調整碾穀機 (THM-1) 之兩膠輪之間隙為 2mm，與 (a.) 相同之步驟，進行碾穀試驗。

c. 調整精米機 (McGill NO.2 Miller) 之精米壓力為 3.5kgw，進行精米試驗，時間 30 秒，每批糙米在經歷二次精米作業後，利用 35 號篩網去除夾雜之粉塵，量取白米之重量，並依(2)式計算白米率。

d. 調整精米機 (VP-30T) 之精白度為第 4 級，流量為第 3 級，亦利用 35 號篩網去除夾雜之粉塵，量取白米之重量，並計算白米率。

e. 利用振篩機，將小於 10 號篩網 (2mm) 之碎米篩選出來，量取完整之重量，依(3)式計算完整米率。

四、結果與討論

(一) 乾燥試驗之結果

乾燥過程中，當乾燥溫度高、與循環實際通風時間長、通風量大、初含水率高時，乾燥速率較快。本研究就乾燥溫度與乾燥均化時間比對乾

燥速率的影響進行探討。

1. 乾燥溫度對乾燥速率之影響

表 1 表示間歇式乾燥（乾燥／均化時間為 10 分鐘／70 分鐘與 20 分鐘／60 分鐘）與連續式乾燥試驗結果。乾燥溫度為影響乾燥速率的主要因素，由圖 2 可知乾燥速率穩定地隨溫度上升而增加，由表 1 可知最小之平均乾燥速率為 $0.38\%/\text{h}$ ，最大為 $1.73\%/\text{h}$ ，最大者約為最小者之 4.5 倍，乾燥速率的改變明顯地受溫度、乾燥均化時間比與含水率所影響；間歇式 10／70 與 20／60 的兩直接迴歸式斜率相近，兩種間歇式乾燥模式之效果相當，約為 $0.0285\%/\text{h}^{\circ}\text{C}$ ，連續式則為 $0.044\%/\text{h}^{\circ}\text{C}$ ，以連續式乾燥效果明顯大於間歇式。本試驗中，固定每次循環時間為 80 分鐘，由圖 2 可知，在相同的乾燥溫度下，連續式乾燥之乾燥速率明顯地高於間歇式乾燥，因此隨著每循環乾燥通風時間的增長，全程乾燥速率亦隨之提高，乾燥／均化時間 20／60 之乾燥速率即明顯地較 10／70 為快。

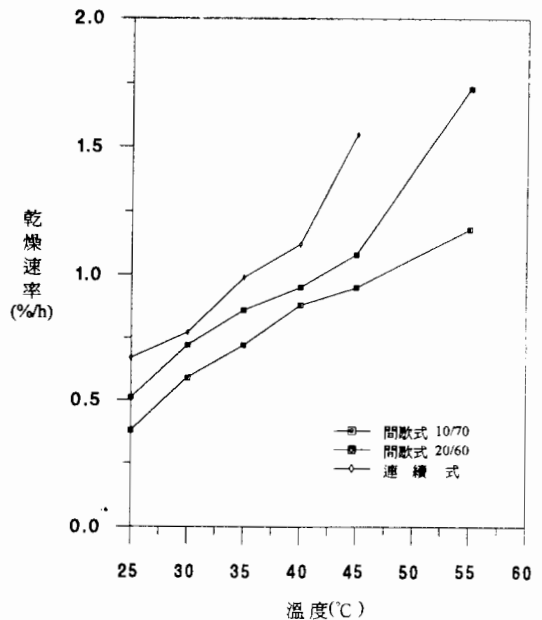


圖 2. 乾燥速率與乾燥溫度之關係

2. 乾燥／均化時間對乾燥速率之影響

探討在低溫時，利用提高乾燥／均化時間比方式來增快乾燥速率對米質是否有負面的影響。

固定試驗乾燥、設定溫度為30與35℃，乾燥／均化時間由10分鐘／70分鐘逐次改變至30分鐘／50分鐘，其結果列於表2。由表中可知，當每循

表3為間歇式乾燥(乾燥／均化時間為10分鐘／70分鐘與20分鐘／60分鐘)與連續式乾燥試驗所得之米質數據。

表 2. 低溫燥試之驗設定與試驗結果

處理代號	乾燥／均化時間比	實測溫度(℃)	最初／最終含水率(%)	乾燥時間(h)	乾燥速率(%/h)
4A	10/70	29.3~31.2	27.3/14.4	21.50	0.59
4B	15/65	28.9~31.5	26.2/14.2	17.58	0.68
4C	20/60	29.1~31.7	25.0/14.2	15.00	0.72
4D	25/55	29.3~31.1	25.8/14.2	13.75	0.84
4E	30/50	29.4~31.1	26.0/14.0	12.50	0.96
5A	10/70	34.7~37.0	27.0/14.4	18.83	0.72
5B	15/65	34.3~36.5	26.1/14.1	17.58	0.80
5C	20/60	34.1~36.8	24.7/14.1	12.33	0.86
5D	25/55	33.7~37.2	25.8/14.2	9.75	1.20
5E	30/50	34.9~36.2	26.3/14.2	8.50	1.42

註：乾燥之設定溫度第4組為30℃，第5組為35℃。
通風量：225 CMH/t。

環中之通風時間增加時，乾燥速率即快速增加(圖3)，平均乾燥速率之改變深受初始含水率所影響，圖3上的A點正好是初始含水率最低的地方，

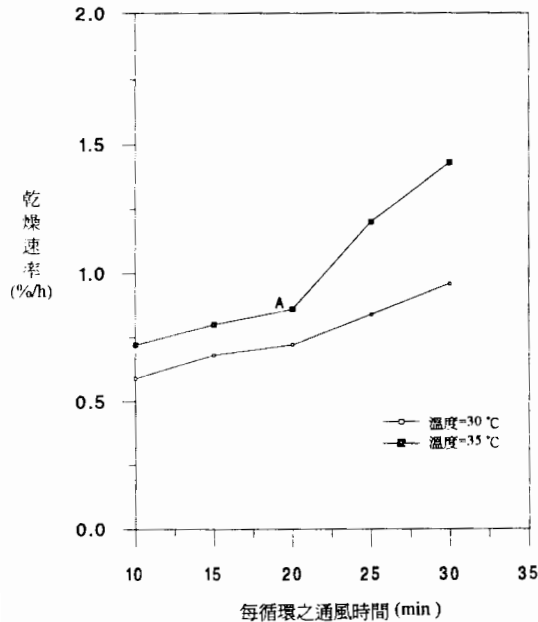


圖 3. 乾燥速率與每循環實際通風時間之關係

此點初始含水率為24.7%，其他各點之初始含水率均在25.8%以上。

(二)米質分析

1.乾燥溫度與乾燥模式對米質之影響

表 3. 間歇式與連續式乾燥試驗之米質分析

處理代號	實測溫度(℃)	乾燥／均化時間比(分鐘)	碾米率(%)		發芽率(%)	
			白米率(%)	完整米率(%)	乾燥前	乾燥後
1A	24.3~26.9	10/70	72.2	68.9	99	99
1B	28.9~31.5	10/70	71.8	69.6	99	100
1C	34.0~36.9	10/70	72.4	68.9	100	97
1D	39.3~41.7	10/70	71.6	68.6	98	99
1E	44.2~46.9	10/70	71.0	66.8	97	94
1F	53.9~56.3	10/70	70.0	57.3	98	86
2A	24.7~26.5	20/60	71.3	69.1	99	100
2B	28.8~31.3	20/60	71.9	68.3	99	99
2C	34.1~36.6	20/60	72.2	69.0	98	98
2D	38.5~41.6	20/60	71.7	68.3	97	96
2E	44.2~46.8	20/60	71.0	66.5	100	95
2F	54.8~56.8	20/60	70.8	52.3	97	78
3A	24.7~27.0	連續乾燥	71.1	69.1	97	100
3B	29.3~31.5	連續乾燥	71.7	68.2	99	98
3C	34.1~36.8	連續乾燥	72.0	66.7	98	99
3D	39.1~41.7	連續乾燥	72.3	65.6	100	94
3E	44.9~46.2	連續乾燥	71.6	57.8	98	84

(1)對白米率之影響：

針對間歇式與循環式乾燥白米率進行變異數分析。分析結果主要效應之F值為3.421， $p<0.05$ ，顯示間歇式與循環式乾燥間之白米率有顯著的差異。在乾燥溫度與通風模式二因子中，乾燥溫度之F值為4.915達顯著標準，而通風模式則未達顯著性，即每循環實際通風時間對白米率影響並不顯著，由此結果可知，乾燥溫度是造成白米率產生變異的主要因素，連續乾燥試驗之平均白米率為71.74%標準誤差(S.D.)為0.45%；間歇式乾燥通風比10／70時，平均白米率為71.5%，S.D.為0.542%；通風比為20／60時之平均白米率為71.5%，S.D.為0.883%。由各試驗之平均白米率可看出，不同乾燥模式對白米率並無顯著影響。若只針對乾燥溫度低於40℃時之白米率進行變異數分析時，溫度對白米率的影響亦不顯著，但各試驗白米率之S.D.分別降低為0.447%，0.36%與0.377%。

(2)對完整米之影響：

間歇式乾燥(乾燥／均化時間比為10／70，20／60)與連續式乾燥之完整米率與乾燥溫度之關

係如圖 4 所示，由圖中可以看出當乾燥溫度升高至 40℃ 以上時，完整米率隨著乾燥溫度的提高有急遽下降的趨勢；且連續式乾燥之完整米率明顯的較間歇式乾燥之完整米率低。當乾燥溫度低於 45℃ 時，將乾燥／均化時間比由 10／70 改變為 20／60 時，兩者之完整米率並無顯著差異存在，但當乾燥溫度高於 45℃ 時，前者之完整米率明顯高於後者。

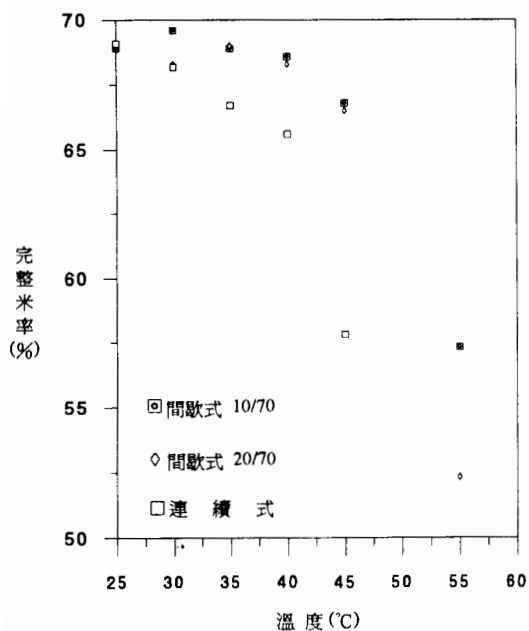


圖 4. 完整米率與乾燥溫度之關係

針對不同乾燥模式之完整米率進行變異數分析得知，不論乾燥溫度高於 40℃ 或是低於 40℃，乾燥溫度與每循環實際通風時間對完整米率均有顯著的影响，其中連續乾燥試驗之平均完整米率為 65.5%，其標準誤差 (S.D.) 為 4.69%，間歇式通風比 10／70 時之平均完整米率為 66.7%，S.D. 為 4.68%，當通風比 20／60 時之平均完整米率為 65.6%，S.D. 為 6.57%。當乾燥溫度為 25℃～55℃ 時，主要效應、乾燥溫度與乾燥通風時間之 F 值分別為 113.11、111.77 和 115.78，均達顯著標準，而當乾燥溫度低於 40℃ 時，其 F 值分別變成 16.61、11.09 與 24.88，亦均達顯著標準 (P<0.05)。另由圖 4 亦可以看出，在相同乾燥模式下，溫度的效應是顯著的；由各試驗之平均完整

米率及 F 值可以看出不同乾燥模式對完整米率有影響。而當乾燥溫度降至 40℃ 以下時，完整米率雖依然有顯著差異存在，但由其 F 值大幅縮小，可推論其變異程度已顯著地降低，此亦可由各試驗完整米率之 S.D. 分別降低為 1.56%，0.42%，0.435% 看出。若僅針對間歇式乾燥之完整米率進行變異數分析，結果顯示當乾燥溫度在 40℃ 以下時，乾燥溫度與乾燥／均化時間比之改變對完整米率無顯著的影响。

由上述分析可以看出，完整米之變異主要來自不同乾燥模式之影響，其中以連續式乾燥對完整米率最具負面效應，因此在乾燥作業中，加入適當的均化作業有其必要性，如此可有效地降低稻穀內部之水分梯度，舒緩內應力，進而避免完整米率的下降。此結果亦進一步強化在高溫乾燥中均質作業的重要性。

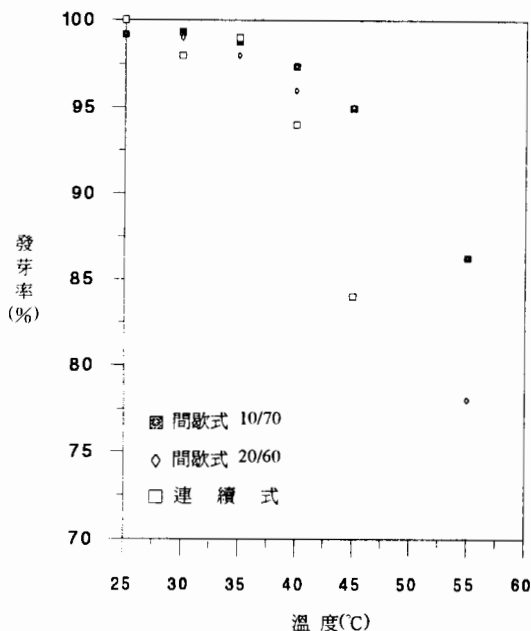


圖 5. 發芽率與乾燥溫度之關係

(3) 對發芽率之影響

圖 5 表示間歇式乾燥與連續式乾燥試驗之發芽率與乾燥溫度之關係，由圖中可以看出，當乾燥溫度棒於 40℃ 時，發芽率即明顯下降。針對間歇式乾燥 (乾燥／均化時間比為 10／70, 20／60) 與連續式乾燥試驗的發芽率進行變異數分析，當乾燥溫度介於 25～45℃ 時，主要效應、乾燥溫

度、通風時間等之 F 值分別為 46.31、59.67 與 19.54，均達顯著標準，因此乾燥溫度與每循環實際通風時間長短對發芽率皆有顯著的影響。連續式乾燥之平均發芽率為 95%，標準誤差 (S.D.) 為 6.56%，間歇式乾燥當乾燥／均化時間比為 10／70 時之平均發芽率為 95.8%，S.D. 為 5.27%，乾燥／均化時間比為 20／60 時之平均發芽率為 94.88%，S.D. 為 7.63%，由圖 5 可以明顯地看出在相同乾燥模式下，溫度效應是顯著的。

另外針對乾燥溫度低於 40℃ 的情況進行變異數分析，乾燥溫度之 F 值降為 9.62，仍達顯著標準，但乾燥／均化時間比之 F 值僅為 1.96，未達顯著標準，由於乾燥溫度與乾燥／均化時間比之交感反應是顯著的 (F 值為 3.95)，每循環實際通風時間之不同是否影響稻穀之發芽率，必須視所採用的乾燥溫度而定。各試驗之平均發芽率分別為 97.75%，98.75%，98.25%，而 S.D. 分別降低為 2.63%，1.258% 與 1.708%，此時發芽率皆符合健康種子 95% 發芽率之要求 [山下律也 (1989)]。

由以上的討論可知，影響稻穀發芽率的主要因素為乾燥溫度，乾燥模式的影響隨溫度的上升而顯現，連續通風之影響最為明顯，因此若以不影響稻穀發芽率為乾燥作業的考量重點，則 40℃ 應為稻穀乾燥之上限。

㊦ 乾燥／均化時間比對米質之影響

固定乾燥溫度為 30 與 35℃，每循環所需時間為 80 分鐘，並將乾燥／均化時間比逐次地由 10 分鐘／70 分鐘增加到 30 分鐘／50 分鐘，進行試驗，其米質分析之結果如表 4。在低溫的情況下，利用提高乾燥／均化時間來提高乾燥速率，對白米率、完整米率與發芽率都沒有顯著的影響。經變異數分析得知，在低溫的情況下，乾燥溫度 (30，35℃) 與實際通風時間 (10～30 分鐘) 對白米率、完整米率與發芽率的影響都不顯著；在溫度為 30℃ 時，其米質檢定指標之平均質分別為 71.94%，69.54%，98.4%，而其 S.D. 值則分別為 0.336%，0.73%，1.342%；當溫度為 35℃ 之時，米質指標之平均值分別為 71.78%，69.04% 與 97.6%，各項指標之 S.D. 值分別為 0.502%，0.23% 與 0.548%，低溫時，可利用增長每循環實際通風時間的方式來增快乾燥速率而不影響稻米

品質，此表示在良質米的乾燥中，可利用較低的乾燥溫度配合通風時間的增長，得到較佳的乾燥速率且可維持良好之稻米品質。

表 4. 低溫乾燥之米質分析

處理 代號	實測 溫度 (℃)	乾燥／均化 時間比 (分鐘)	碾米率(%)		發芽率(%)	
			白米率 (%)	完整米率 (%)	乾燥前	乾燥後
4A	29.3~31.2	10/70	71.8	69.6	99	100
4B	28.9~31.5	15/65	72.5	70.2	98	97
4C	29.1~31.0	20/60	71.9	68.3	99	99
4D	28.8~31.7	25/55	71.6	69.9	100	99
4E	29.4~31.1	30/50	71.9	69.7	98	97
5A	34.7~37.0	10/70	72.4	68.9	100	97
5B	34.3~36.5	15/65	71.6	69.1	97	97
5C	34.1~36.6	20/60	72.2	69.0	98	98
5D	33.7~37.2	25/55	71.2	69.4	99	98
5E	34.9~36.2	30/50	71.5	68.8	97	98

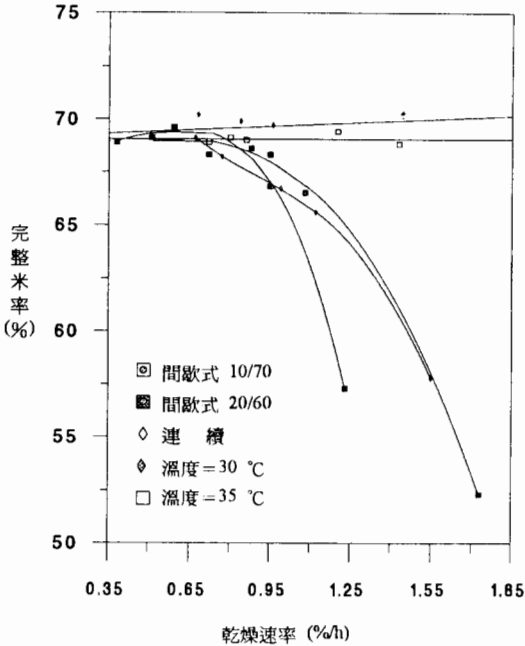


圖 6. 完整米與乾燥速率之關係

稻穀之完整米率會隨乾燥速率的增快而下降，台灣農業機械年鑑 (1988) 之稻穀乾燥機械檢測法規定乾燥速率應在 0.7～1.0 %／h 之間。鄭 (1992) 提出，送風溫度在 45℃ 以上時，乾燥速率應以 0.8 %／h 為上限。由本試驗之結果可知，提高乾燥溫度與增長每循環實際通風時間，皆可以提高乾燥速率 (圖 2，3)。若利用提高乾燥溫度的方式來提高乾燥速率，當乾燥速率高於 0.9 %／h 以上時，完整米率即有明顯的下降趨勢，此結果

與鄭君之研究結果相近。當乾燥溫度固定在 30 與 35℃時，經由加長每循環實際通風時間長度以提高乾燥速率，試驗顯示當平均乾燥速率提高至 1.43 %/h 時，對完整米率仍無顯著影響。由於高於 40℃之乾燥溫度為造成完整米率下降的主要因素，在相同乾燥速率的要求下，利用低於 40℃之乾燥溫度配合加長每循環實際通風時間的方式，與提高乾燥溫度的方式比較，前者有較高之完整米率(圖 6)。

就發芽率而言，溫度為影響稻穀發芽率之主要因素，當乾燥溫度控制在 40℃以下時，乾燥溫度與每循環之實際通風時間的改變對稻穀的發芽率並不會造成影響，此結果與 Ghaly and Sutherland (1984) 提出之試驗結果相符。

五、結 論

1. 在本試驗的條件範圍內，白米率主要受乾燥溫度的影響，每循環之實際通風時間長短對白米率並無顯著影響；當乾燥溫度低於 40℃時，白米率並不會因為這兩個因子的改變而產生明顯的變異。完整米率受乾燥溫度的影響極為顯著，當乾燥溫度高於 40℃時，完整米率隨著乾燥溫度的提高而有急遽下降的趨勢；當乾燥溫度在 40℃以下時，乾燥溫度的改變對完整米率的影響並不顯著。

2. 連續式乾燥所得之完整米率明顯地低於間歇式乾燥所得之完整米率；但若乾燥溫度保持在 40℃以下時，其完整米率均可保持在 65 % 以上，在乾燥過程中，適當的均化可以減緩完整米率受損。

3. 提高乾燥溫度與增長每循環之實際通風時間均可提高乾燥速率。在相同乾燥速率的要求下，利用低於 40℃之乾燥溫度配合加長每循環實際通風時間的方式與提高乾燥溫度的方式比較，前者有較高之完整米率。

4. 影響稻穀發芽率的主要因素是乾燥溫度，當乾燥溫度提高至 40℃時，稻穀之發芽率即有明顯下降趨勢；若將乾燥溫度控制在 40℃以下時，稻穀發芽率的變異性並不大。

5. 無論以完整米率或發芽率做為判斷稻米品質的指標，乾燥溫度皆為主要的影響因素，在本研究的試驗條件範圍內，乾燥溫度應以不超過 40℃為

宜。並可經由增長每循環之實際通風時間長度，提升乾燥速率。

六、建 議

1. 本試驗僅對常溫時乾燥溫度與每循環實際通風時間長短對米質的影響進行試驗；至於其他的影響因素諸如通風量與濕度之影響程度尚有待進一步研究。

2. 本試驗在常溫時(30, 35℃)增長每循環(80分鐘)之實際通風時間由 10 分鐘漸次增加至 30 分鐘，並未發現對米質有顯著的影響；而連續式乾燥對稻米品質卻有明顯之影響，30 分鐘至 80 分鐘之間尚有一極大的空間待進一步深入探討。

七、參考文獻

1. 行政院農業委員會。1987。國際種子檢查規則。台灣省政府農林廳。
2. 財團法人機械化研究發展中心。1988。台灣農業機械年鑑。
3. 馮丁樹。1978。穀物乾燥。徐氏基金會。
4. 黃朝松。1993。低溫乾燥對良質米品質之影響。台中：中興大學農業機械工程學研究所。
5. 鄭孫寧。1992。乾燥條件對稻穀碾米率之影響。碩士論文。台北：台灣大學農業機械工程學研究所。
6. 山口信吉。1976。胴割れの發生機構。日本農業機械學會農業機械部會研討會資料 NO.2。
7. 山下律也，金鑽，徐潤琪。1987。品質保持の穀物乾燥法。第 46 回農業機械學會年次大會講演要旨。
8. 山下律也。1989。米の調質と貯藏 - ポストハベスト新技術 - 稻と米 - 品質を生ガす -。農林水產情報協會。
9. 伴 敏三。1971。人工乾燥いねける米の胴裂わい關する實驗的研究 NO.8 報告。日本農業機械化研究所。
10. 諸橋準之助。1985。カギば乾燥初開の送風溫度，機械化農業。1985.(9)：11-14。
11. Craufurd, R. Q. 1963. Sorption and Desorption in Raw Paddy. Journal of the Science of Food and Agriculture Vol. 14(10):744-750.

12. Ghaly, T. F., and J. W. Sutherland. 1984. Heat Damage to Grain and Seeds. Journal of Agricultural Engineering Research Vol. 30:337-345.
13. Henderson, S. M. 1957. Milled Rice Yield. California Agricultur. July.
14. Kunze, Q. R. 1972. Moisture Adsorption Related to the Tensile Strength of Rice. American Association of Cereal Chemists. Vol. 49:684-696.
15. Siebenmorgen, T. J., P. A. Counce and M. F. Kocher. 1992. Correlation of Head Rice Yield with Individual Kernel Moisture Content Distribution at Harvest. Transactions of the ASAE. Vol. 35(6):1879-1884.
16. Sharp, J. R. 1982. A Review of Low Temperature Drying Simulation Models. Journal of Agricultural Engineering Research. Vol. 27(3): 169-190.
17. Omar, S. J. and R. Yamashita. 1987. Rice Drying, Husking and Milling-part I Drying-Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. Vol.18(2):43-46.

收稿日期：民國 84 年 2 月 22 日

修正日期：民國 84 年 10 月 17 日

接受日期：民國 84 年 10 月 26 日

(上接第 87 頁)

- C. J. Bern. 1986. Performance of farm-type moisture meters. Transactions of the ASAE 29:1118-1123.
10. Krutchkoff, R. G. 1967. Classical and inverse regression method of calibration. Technometrics, 9(3): 425-439.
11. Myers, R. H. 1986. Classical and modern regression with application. PWS and Kent Publ. Boston USA.
12. Pausen, M. R., L. D. Hill and B. L. Dixon. 1983. Moisture meter-to-oven comparisons for Illinois corn. Transactions of the ASAE 26:576-583.
13. Rawlings, J. O. 1988. Applied regression analysis: A research tool. Wadsworth & Brooks, Pacific Grove, California.
14. Williams, P. C. and K. Norris. 1987. Near-Infrared technology in the agricultural and food industries, St. Paul, MN. American Association of Cereal Chemists, Inc.
15. Williams, P. C. 1987. Variables affecting Near-Infrared reflectance spectroscopic analysis. In Near-Infrared technology in the Agricultural and Food Industries, ed. P. C. Williams, 143-168. St Paul, MN. American Association of Cereal Chemists, Inc.

收稿日期：民國 84 年 9 月 4 日

接受日期：民國 84 年 10 月 27 日