

靜置式稻谷乾燥機應用雙向送風乾燥之研究

Experimental Studies on Rice Drying of Stationary bed by Reversing the Direction of Hot Air

國立臺灣大學農工系講師

馮 丁 樹

Din-Sue Fon

English Summary

The main shortcoming of rice driers with stationary bed that always discourages the buyers is that the grain moisture within grain layers can hardly be reduced to a reasonable uniform range after drying. In general, the extreme moisture contents of rice grains in this type of driers would be four to five percent far from the desirable value, which would consequently induce lots of cracks on grain kernels if more even distribution of grain moisture is expected.

Under such circumstances, both farmers and the Food Bureau men have been annoyed with this problem quite a long time and can not help encouraging the new buyers to choose the circulating type instead, which, nevertheless, still has a long way to become popular here in Taiwan because of its high cost. Therefore, the most economical and feasible way is to remodel the present small portable box-typed driers that fifteen thousand farmers have already owned for now.

To solve this problem, however, we conclude an idea for this shallow bed drying by reversing the hot air directions either upward or downward, which can be controlled intermittently in every two hours. In order to prove that this idea works, we made both laboratory and field drying tests and results were very convincing and satisfactory.

During this experiment, four factors are controlled and each has two levels, to see their influences upon the rice quality and moisture behavior. These four parameters include grain depth (45 cm & 30 cm), air temperature (45°C & 40°C), the reversing period, (one & two hours), and air flow rate (0.05 CMM/kg & 0.15 CMM/kg). In each experiment, the grain moisture and kernel cracks are investigated and besides, grain temperatures are also recorded.

According to the data obtained, we found that the total crack

ratio will be lower than 10%, which will only be one quarter of those using continuous bed drying, as long as the air temperature is not higher than 45°C. It is very obvious that air temperature is a powerful factor in controlling cracks. It would affect, but not much, the moisture gradient throughout the grain bed, too. However, as compared with the one-way drying method, this new method has shown its advantage on controlling the discrepancy of gain moisture. Very uniform moisture distribution in grain bed has been found after drying.

However, the grain depth still plays a restrictive role as it does in the one-way drying method. Generally, the grain depth should not be higher than 45 cm if result is expected to be satisfactory, and the deeper the drying bed, the lower the air temperature should be used. The deep grain layer may not only cause greater discrepancy of moisture distribution, but also increase the crack ratio.

Just as we have expected, high air flow rate will increase the drying rate constantly, because tempering period is involved in this method, however, it will also increase the crack ratio.

In all, according to this experimental result, we know the appropriate operations for wet paddy drying are very important. We must carefully changing the air directions at least every two hours, and gradually decrease the air temperature to 40°C throughout the whole drying period. However, judging by the data we have, we conclude that this two-way drying method might be the best way to improve the present box-typed rice driers in Taiwan and could leave us to utilize the solar energy for drying in future.

一、前 言

谷層靜置之乾燥方式，其最大缺點在於谷物之乾燥層次不均，導致熱風接觸層面過分乾燥而排氣接觸層則難以乾燥之現象。為克服此項缺點，本人經多年參與乾燥機研究所累積之經驗，認為最妥善之方法莫過於設法將熱風之方向以機械方法定時加以倒向。使熱風在某特定時間內得以改變其吹入谷層之方向。亦即進氣口與排氣口之位置約每兩小時更換乙次，如此，使上、下谷層均有機會接觸熱風，並獲得相同程度之乾燥。

此種上下吹風式之乾燥法，其優點包括：

1. 上下谷層乾燥均勻，其整體水分含量之分佈梯度比單向式者為小。

2. 由於熱風交換送入，上下谷層均有同等時間之均化機會。谷粒內部水分因此可獲得充分擴散，

乾燥效率提高，其胴裂率亦大為降低。

3. 增加乾燥作業之彈性，可因狀況需要，將風向作適當轉換。

此種上下吹風式之乾燥觀念在日本曾被引用於菸葉乾燥，但由於菸葉乾燥要求條件較為嚴格，故未見大量採用。國外亦曾有引用在厚層乾燥之構想，但由於其所用谷層甚厚，容易形成夾心層之現象，並未見應用。至於應用於稻谷乾燥方面，則尚未見有文獻記述，本文應為第一手資料。

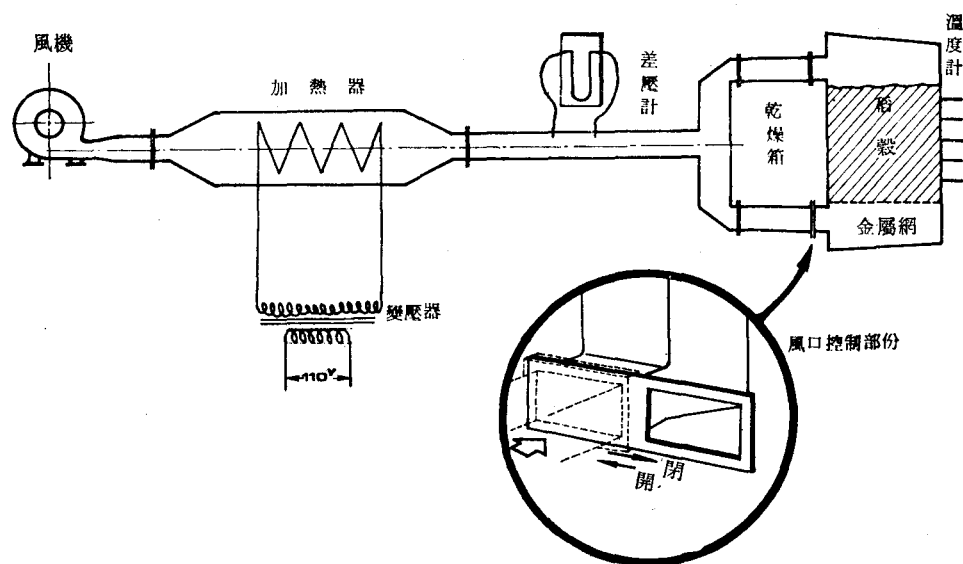
二、研究 目 的

本省目前所用之箱式稻谷烘乾機其基本原理即屬靜置式，由於其稻谷量較少，厚度亦薄（在 30 公分至 40 公分左右），所用之熱風溫度亦不高（45°C 以內），故若採用此種上下通風乾燥方式應屬理想之舉。去年承蒙農發會計劃補助，就現有箱

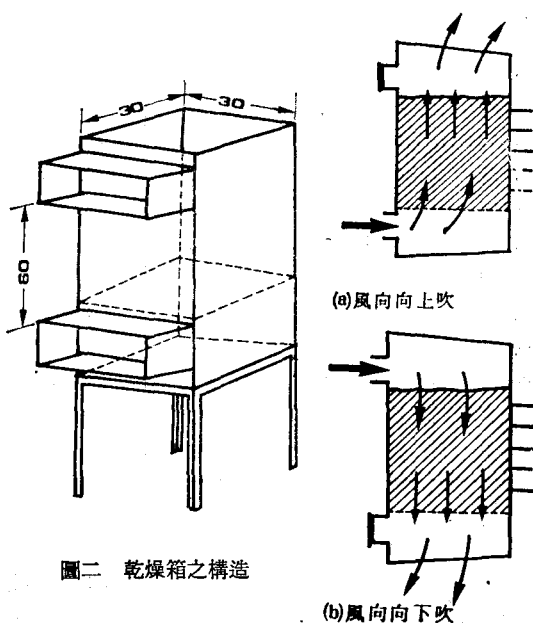
式乾燥機進行改良。筆者即依據此項觀念將箱式乾燥機略加改造並實地試驗，其結果相當滿意，為期證明此種上下通風方式之可行性，筆者乃利用室內乾燥設備進行有關模擬試驗，本文即為關於此種乾燥方式之基本試驗報告，其相關數據可作為將來此種乾燥方式推廣時之參考。

三、材料與方法

本試驗係在實驗室內進行，其乾燥設備如圖一所示。加熱器由送風機，電熱器，自藕變壓器組成。風機為串激馬達帶動之離心式送風機，風量大小可直接以旋轉炭刷角度加以調節。電熱器由兩組電熱絲組成，各組均由一付自藕變壓器控制電壓，其中一組接溫度自動控制，以自動調節熱風溫度。



圖一 乾燥試驗設備配置圖



圖二 乾燥箱之構造

乾燥箱之構造如圖二，截面為 30公分×30 公分，高度為 60 公分。側面高度每間隔 10 公分設一溫度計插孔，以測各層之穀溫。共計有五支插孔，由底向上分別設定為 A, B, C, D, E 等位置，測定時亦利用此插孔插取樣本，以測定各層水分。

風量以皮氏管測定之，皮氏管連接傾斜壓力計，以讀取風壓數值。

其他相關測定之參數則分別說明下：

1. 谷層厚度：為配合實際箱式乾燥機之使用高度，本試驗設定兩種谷層高度，一為 45 公分；一為 30 公分，前者所需之稻谷量約為 25 公斤；後者為 17 公斤。

2. 熱風溫度：分 45°C 與 40°C 兩種水準進行試驗，在實際作業中，45°C 之熱風適於乾燥一般食用穀物；40°C 則適於乾燥種穀。

3. 反向時間：熱風送入穀層之方向改變時間分一小時與兩小時兩種，惟此水準為任意制定者，實際之作業，仍以兩~三小時之反向時間為佳，以減

少人員之照顧時間。

4.風量：箱式乾燥機所採用之風量率平均約在 0.012~0.12 CMM/ 公斤之程度。本試驗中為求統一，乃採用 0.05 CMM/ 公斤為標準。但其中有兩次試驗特別提高上述基準之 2~3 倍，以茲相互比較。

5.稻谷品種：本次試驗所用稻谷為蓬來種，屬嘉南八號，原產地為西螺。據以往資料顯示，蓬來稻比在來稻易脆裂，在同樣狀況下，其胴裂率常比在來稻高出一倍左右。故將來比較時，此項因素需加以考慮。

6.初期含水量之控制：由於稻谷量計有三百餘公斤，為維持其在測定期間不致敗壞，乃利用弧型簡易式乾燥機（見作者之靜置式小型稻谷乾燥機之改良研究一文，農工學報 25(4)期）進行通風，其初期水分含量之變化見表一所示。總計吹風 8 日，平均每日約降低 1.3%，最後品質仍相當優良。且由此簡易通風方式得知，即使在陰雨氣候裏，水分含量仍以每日近 1% 之速率減少，足見此法對兩期乾燥問題之解決仍有其可取之處。此為附帶提示者。

表 1. 濕稻谷初期含水率之變化情形 68 年 6 月

| 日 期 | 13日 | 14日 | 15日 | 16日 | 18日 | 19日 | 20日 | 21日 | 23日 | 25日 | 17日 | 28日 |
|-----------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 氣 候 | 雨 | 雨 | 晴 | 雨 | 晴 | 晴 | 晴 | 晴偶雨 | 晴 | 晴 | 晴雨 | 晴雨 |
| 含 水 率 (%) | 27.8 | 25.5 | 24 | 25.1 | 22.5 | 19.4 | 18.1 | 17.4 | 29.1 | 29.6 | 27.4 | 28.6 |

含水率至 21 日已甚乾，自此以後各次試驗之稻谷均於前一日先行浸水，隔日再行涼乾，故水分含量均顯著增加。

7.樣品之分佈：由於熱風溫度、谷層高度、與通風區間時數等三因數均分別具有二階層之變化，故總計應有 8 組不同處理組合。除此以外，另加兩

組合大風量之處理與兩組連續乾燥方式之處理，以茲比較，總計 12 組，其各組之控制條件如表二。

表 2. 各 組 樣 品 試 驗 時 之 控 制 條 件

| 組 別 | 代 號 | 穀層高度 | 熱風溫度 | 通風區間 | 測定日期 | 大 氣 狀 況 | |
|-----|--|-------|------|-------|----------|---------|--------|
| | | | | | | 乾 球 | 濕 球 |
| 1 | H ₁ T ₁ θ ₁ | 30 cm | 40°C | 1 小 時 | 6 月 19 日 | 30.2°C | 25.6°C |
| 2 | H ₁ T ₁ θ ₂ | 30 cm | 40°C | 2 小 時 | 6 月 18 日 | 29.1°C | 25.2°C |
| 3 | H ₁ T ₂ θ ₁ | 30 cm | 45°C | 1 小 時 | 6 月 21 日 | 30.7°C | 26.3°C |
| 4 | H ₁ T ₂ θ ₂ | 30 cm | 45°C | 2 小 時 | 6 月 20 日 | 29.2°C | 25.6°C |
| 5 | H ₂ T ₁ θ ₁ | 45 cm | 40°C | 1 小 時 | 6 月 16 日 | 25.2°C | 23.5°C |
| 6 | H ₂ T ₁ θ ₂ | 45 cm | 40°C | 2 小 時 | 6 月 14 日 | 25.7°C | 23.8°C |
| 7 | H ₂ T ₂ θ ₁ | 45 cm | 45°C | 1 小 時 | 6 月 14 日 | 24.5°C | 23°C |
| 8 | H ₂ T ₂ θ ₂ | 45 cm | 45°C | 2 小 時 | 6 月 13 日 | 22.9°C | 21.1°C |
| 9 | H ₂ T ₁ θ ₂ P | 45 cm | 40°C | 2 小 時 | 6 月 25 日 | 29.4°C | 26.3°C |
| 10 | H ₂ T ₂ θ ₂ P | 45 cm | 45°C | 2 小 時 | 6 月 23 日 | 30.8°C | 25.9°C |
| 11 | H ₂ T ₂ C | 45 cm | 45°C | 連續向上 | 6 月 27 日 | 30.4°C | 26.9°C |
| 12 | H ₁ T ₂ C | 30 cm | 45°C | 連續向上 | 6 月 28 日 | 30.6°C | 26.8°C |

註：表中 H：穀層高度，T：熱風溫度，θ 熱風方向轉換時間，C：連續通風（不換向），P：風量比其他處理加倍。

8.樣品之處理：各樣品先放入攪拌器迴轉十數次，取出稱重後，再放入乾燥箱內鋪平。開始乾燥前先取樣品測其初期含水率、胴裂率。乾燥過程中

，每隔一小時或兩小時將風向轉換乙次，在轉換風向前，先記錄各層之穀溫以及進、排氣溫度，停機轉換時，則同時取樣，以測定含水率。取樣時，以

取樣鐘爲之。

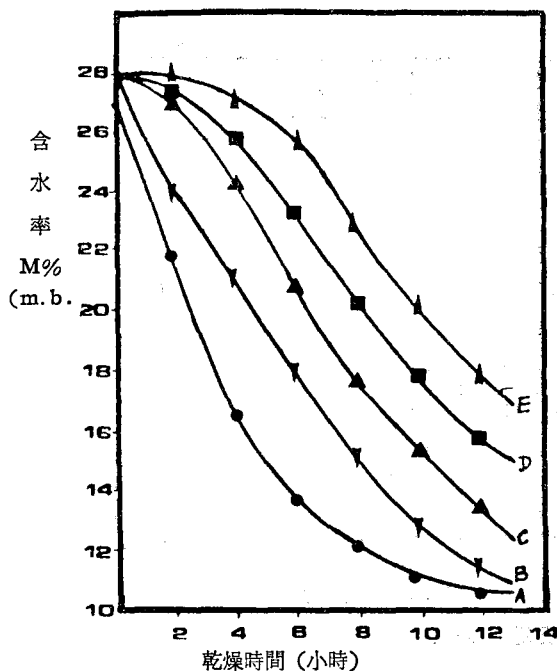
9. 水分測定：稻谷乾燥期間之含水率均以紅外線水分測定器爲之。每次測定約需十五分鐘。

10. 胴裂率：以乾燥後之胴裂率減去乾燥前之胴裂率，卽爲胴裂實際增加率。爲求客觀起見，本試驗之胴裂增加率以全胴裂爲準，卽凡米粒內部有微痕或半痕以上者，均歸納爲全胴裂率，取一百粒剝其外殼，在燈下檢視之。

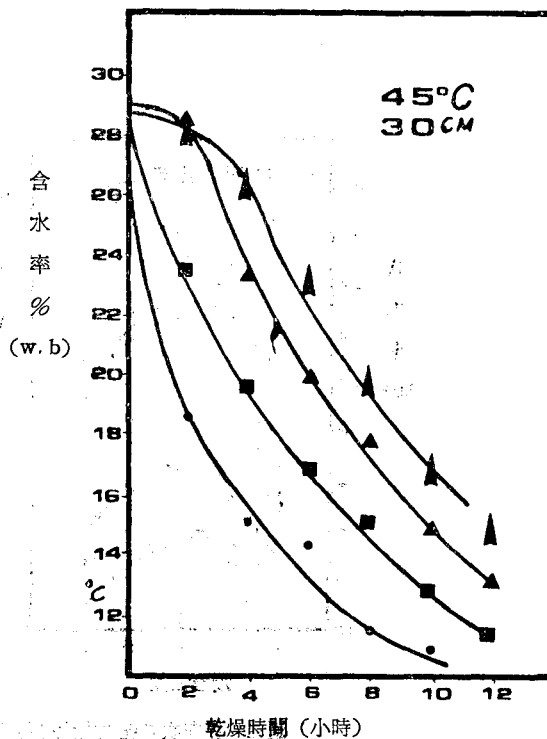
四、結果與討論

(一) 水分含量之變化

前文已提及，熱風換向乾燥方式具有均化作用以及平均乾燥之優點。前者可增進乾燥效率，減低米粒胴裂；後者却可使稻谷最終含水率更爲均勻。在一般厚層乾燥中，水分含量之差異相當明顯。圖三與圖四爲穀層 45 cm 與 30 cm，熱風溫度 45°C 下，連續單向通風所得之結果。其上下層水分相差很大。此時靠近熱風側之 A 層水分下降甚速，而上層 E 之水分則有一段時間停滯後再緩慢下降。穀層愈厚，此項差異愈爲顯著。以圖三爲例，至 12 小時後，上下層水分差達 16.8%，若欲上層水分亦達 13% 以內，其所需時間尙要八小時以上。



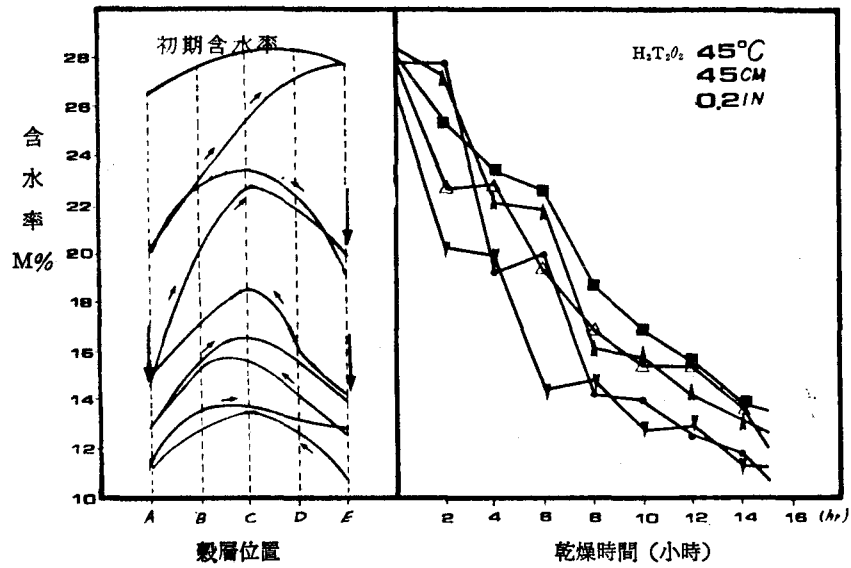
圖三 單向吹風(向上)之乾燥水分變化曲線 (45°C, 45cm)



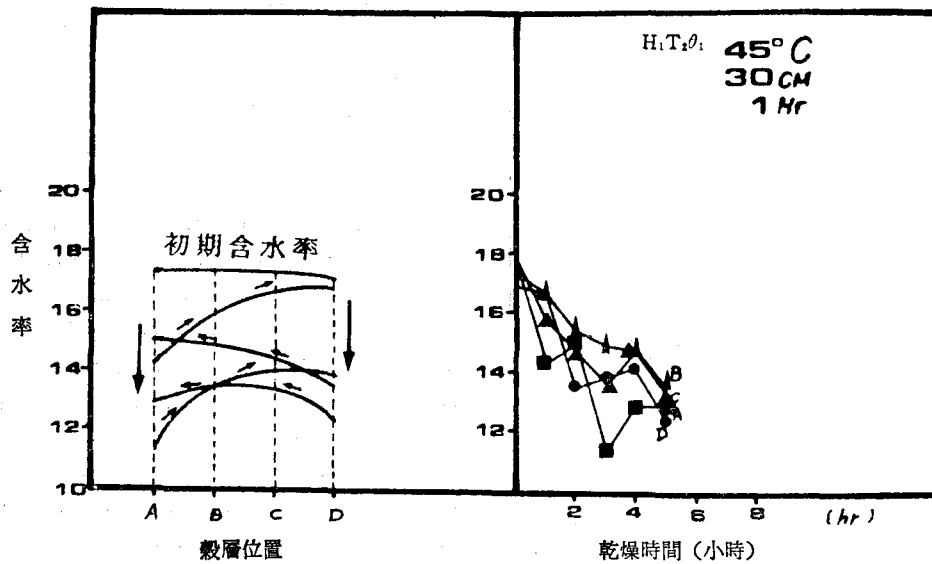
圖四 單向吹風乾燥之水分變化曲線(之二)

利用換向乾燥方式時，A 與 E 及 B 與 D 層之水分變化將更接近，此時 C 層水分變爲最高者。圖五與圖六則分別與圖三、圖四相同條件下之反覆風向乾燥之水分變化圖。茲利用圖三與圖五水分圖加以合併如圖七，以說明實際反覆過程中，水分之變化特性。

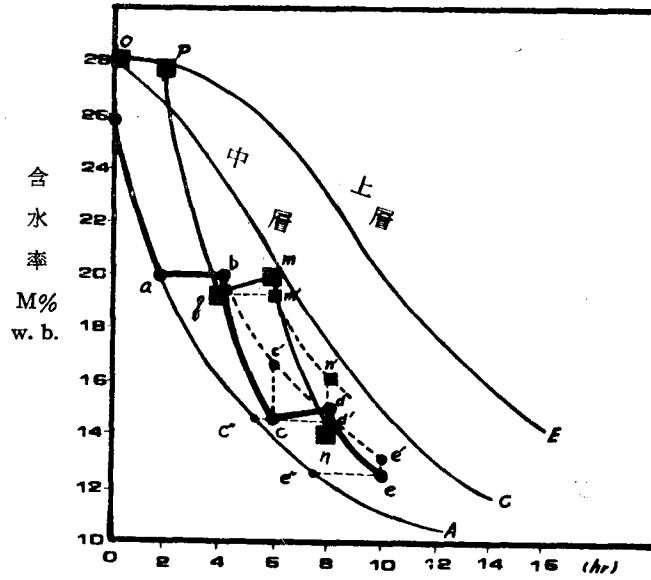
圖七中僅列出 A、C、E 三層之水分曲線。根據每兩小時更換風向之操作，A 層至 a 點後，卽因反向作用而維持一定水分至 b 點。此時，E 層開始自 a' 點平行 \overline{Oa} 弧線下降至 q 點 (各點可與圖六相印證)。經過 b (或 q，即 4 小時後)，A 層又重新恢復乾燥，此時若依平行 \overline{ac} 弧段，則應降至 c'，但實際依圖六中之 A 線所示，已降至 c 點，顯然 \overline{bc} 段水分降低率遠比正常者爲速。易言之，c'c 之水分差應屬均化作用所導致之結果。在 E 層內，q 處並不維持一定至 m'，實際上比 q 點之水分爲高 (m 點)，此卽爲回潮現象。唯此項回潮與其他回潮現象略有不同，由於時間短暫，故此種回潮僅係部份水分凝結於殼殼部份，水分並未實際侵入米粒，故在下次乾燥時，此項水分立即蒸發，使水分下降率更爲迅速，如 mn 線與 m'n' 線是，其間水分率差達兩度以上。此種回潮現象在 A 層中亦常發生，如 6~8 小時區，cd 線之變化是。



圖五 雙向吹風乾燥之水分變化曲線 (之一) (箭頭為吹風方向)



圖六 雙向吹風乾燥之水分變化曲線 (之二)

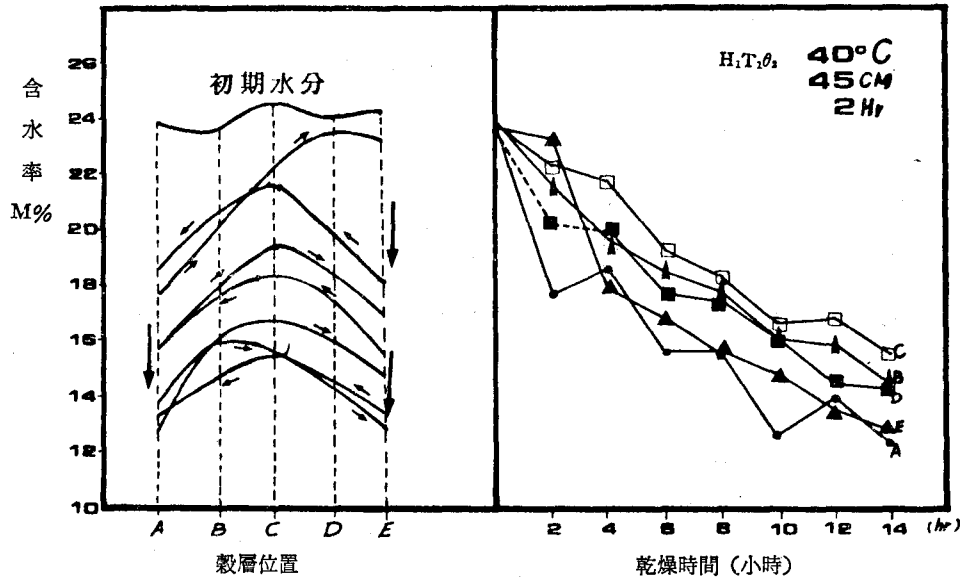


圖七 雙向吹風與單向吹風乾燥之水分關係

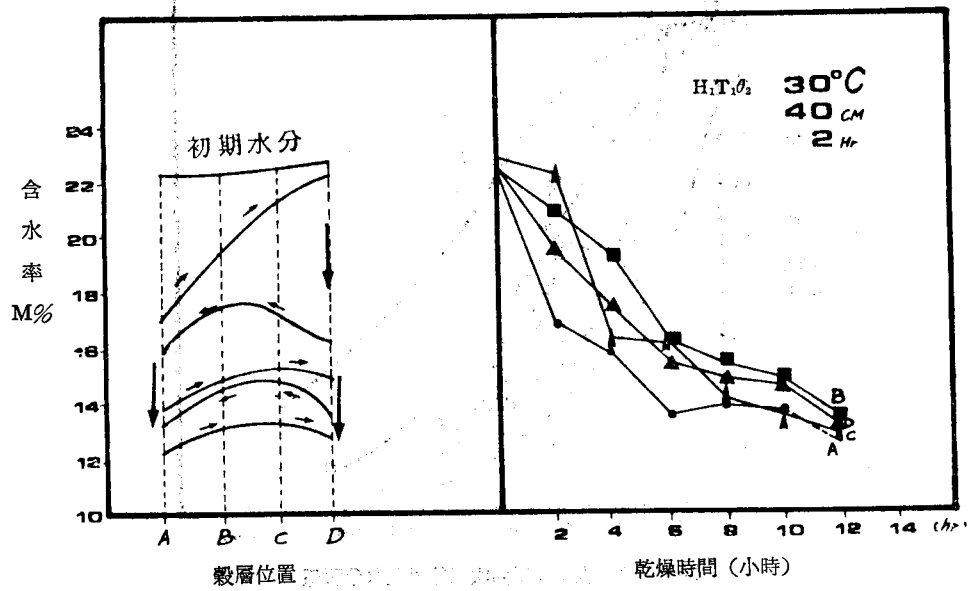
大體上言，風向反覆之乾燥方式，其水分特性圖均可依圖七之模式加以解說。A、E層之水分變化顯然均在C層與單向A層之變化範圍內。故理論上，整個乾燥層之水分差異應比單向乾燥者縮小一

倍。

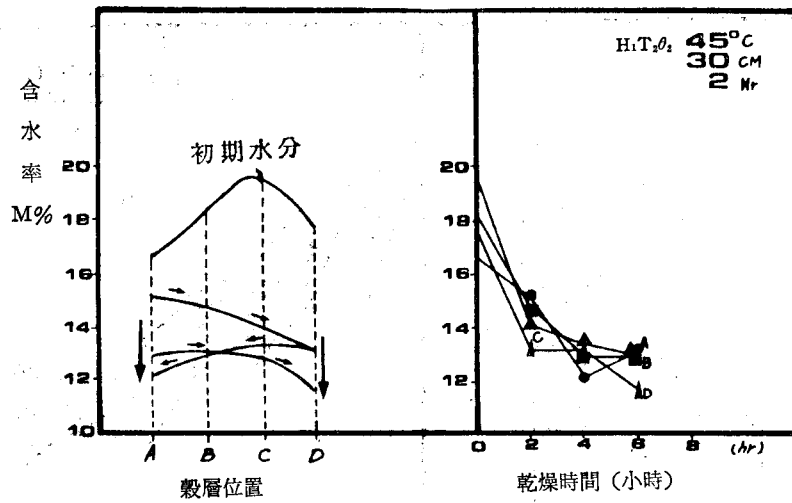
其他各處理下之谷層水分變化情形，參照圖八至圖十五。



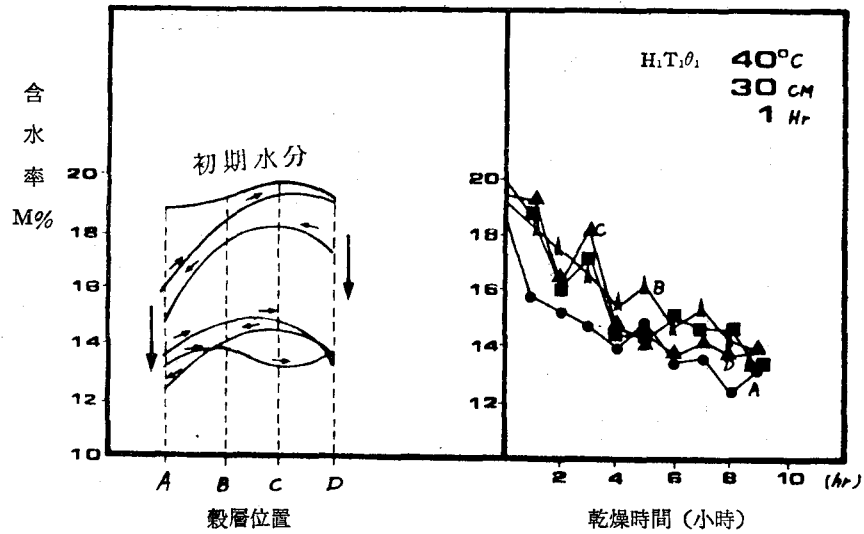
圖八 雙向吹風乾燥之水分變化曲線 (之三)



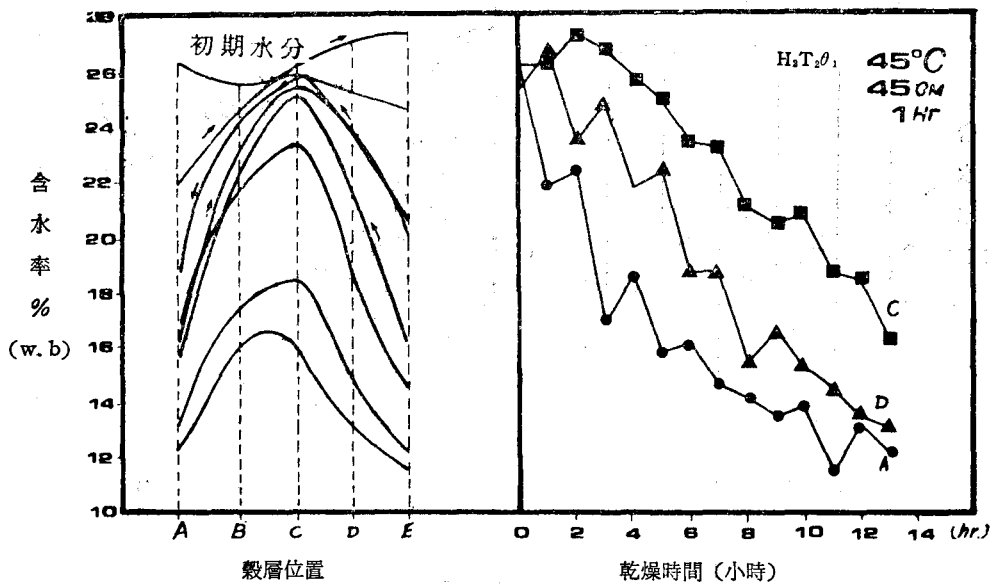
圖九 雙向吹風乾燥之水分變化曲線 (之四)



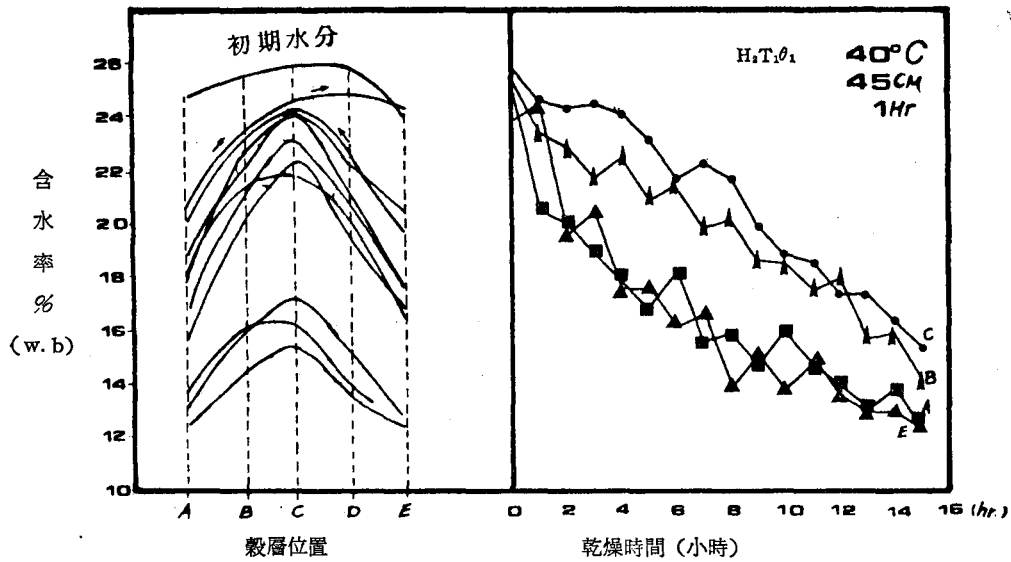
圖十 雙向吹風乾燥之水分變化曲線 (之五)



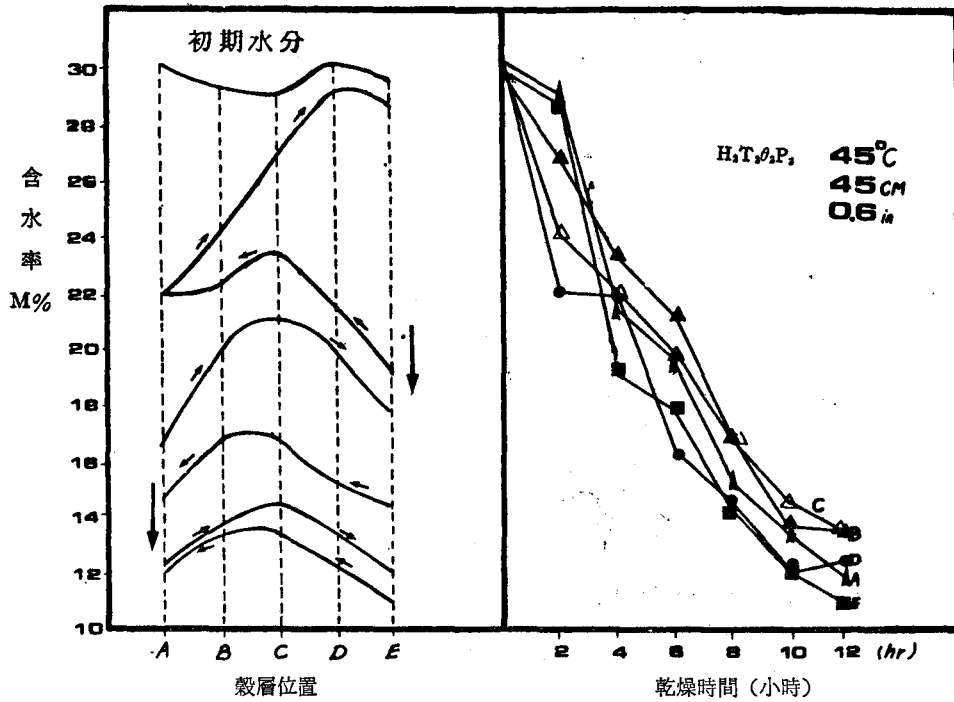
圖十一 雙向吹風乾燥之水分變化曲線，反覆時間一小時（之一）



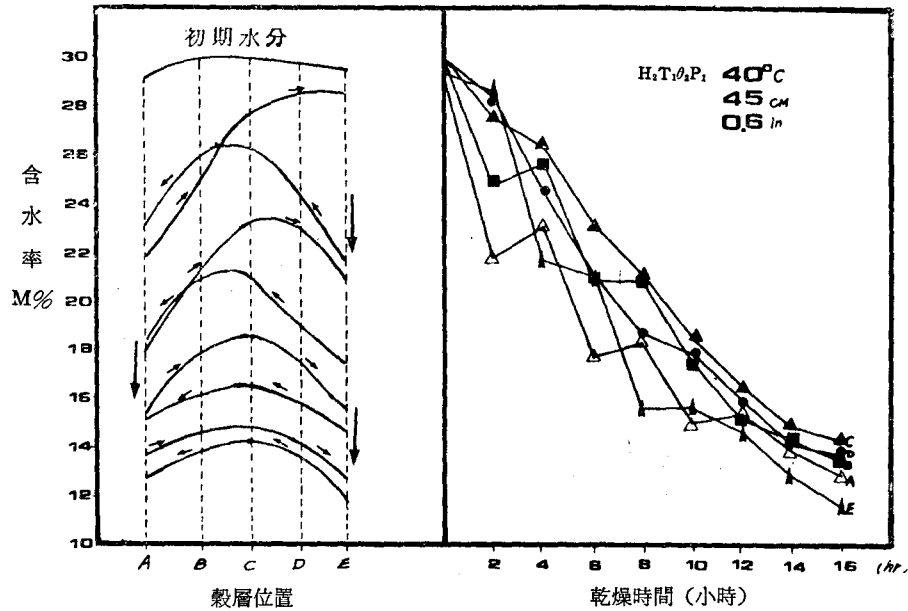
圖十二 雙向吹風乾燥之水分變化曲線，反覆時間一小時（之二）



圖十三 雙向吹風乾燥之水分變化曲線，反覆時間一小時（之三）



圖十四 雙向通風乾燥曲線（風量增加三倍，熱風 $45^\circ C$ ）



圖十五 雙向通風乾燥曲線 (風量增加三倍、熱風 40°C)

有關各變數對水分含量變化之情形可參照表三。其中變異係數之百分數值可表示谷層內部水分分佈之範圍。另有一欄為乾燥八小時後之水分佈情形。由於谷層經過八小時乾燥後，無論任何處理，其受熱之機會均等，故可作為一個比較基準。茲將各因數之影響情形歸納如表四，並說明如下：

1. 谷層厚度：谷層厚度雖以 30 公分與 45 公分進行試驗，惟其結果仍非完全決定於此項因素。大體上言，厚度高者，其水分分佈範圍較寬廣，不

均勻之程度愈為增加，由表四中之兩項 Cv 值比較，厚度 45 公分之水分變異量約為 30 公分者之三倍左右，顯然這種變化已非等比量所可模擬。故為求乾燥期間，谷層水分之均勻度，稻谷堆積高度仍以少量為原則。在乾燥速率方面，由於受初期含水率之高低影響甚大，故表四中之分析雖然 45 公分者高於 30 公分者，但由於初期水分差達 10 % 以上，故很難判斷出其影響程度。

表 3. 各處理下之水分含量變化情形

| 處理代號 | 初期含水率 w. b. % (d. b. %) | 最終含水率 w. b. % (d. b. %) | 變異係數 C _v r % | 八小時終了含水率 w. b. % (d. b. %) | 變異係數 C _v (^{8H}) % | 八小時乾燥速率 %/h (d. b.) | 全程乾燥速率 %/h (d. b.) | 全胴裂率 % |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|--------------------------|-----------|
| H ₁ T ₁ θ ₁ | 19.4 (24.1) | 13.5±0.35 (15.6) | 2.6 | 14.5±0.76 (17.0) | 5.2 | 0.89 | 0.85 | 4.5 |
| H ₁ T ₁ θ ₂ | 22.5 (29) | 13.1±0.30 (15.1) | 2.3 | 14.5±0.70 (17.0) | 4.8 | 1.50 | 1.16 | 9.5 |
| H ₁ T ₂ θ ₁ | 17.4 (21.1) | 13.0±0.55 (15.0) | 4.2 | 13.3±0.42 (15.3) | 3.2 | 1.16 | 1.16 | 5.7 |
| H ₁ T ₂ θ ₂ | 18.1 (22.1) | 12.7±0.67 (14.6) | 5.3 | 12.7±0.67 (14.6) | 5.3 | 1.50 | 1.50 | 7.9 |
| H ₂ T ₁ θ ₁ | 25.1 (33.5) | 13.5±1.31 (15.6) | 9.7 | 17.94±3.15 (21.9) | 17.6 | 1.95 | 1.19 | 8 |

| | | | | | | | | |
|--|----------------|---------------------|------|---------------------|------|------|------|------|
| H ₂ T ₁ θ ₂ | 24 (31,6) | 14.1±1.05 (16.4) | 7.4 | 16.9±1.29 (20.3) | 7.6 | 1.41 | 1.09 | 7.1 |
| H ₂ T ₂ θ ₁ | 25.5 (34.2) | 13.8±2.2 (16.0) | 16 | 16.6±3.18 (19.9) | 19.2 | 1.79 | 1.40 | 15 |
| H ₂ T ₂ θ ₂ | 27.8 (38.5) | 12.1±1.11 (13.8) | 9.2 | 16.2±17.6 (19.3) | 10.9 | 2.40 | 1.65 | (52) |
| H ₂ T ₁ θ ₂ P | 29.6 (42.1) | 13.2±1.03 (15.2) | 7.8 | 18.9±2.24 (23.3) | 11.9 | 2.35 | 1.68 | 20.8 |
| H ₂ T ₂ θ ₂ P | 29.1 (41.0) | 12.5±1.1 (14.3) | 8.8 | 15.5±1.17 (18.3) | 7.5 | 2.84 | 2.43 | 43 |
| H ₂ T ₂ C | 27.4 (37.7) | 13.14±2.7 (15.1) | 20.5 | 17.2±4.35 (20.8) | 25.3 | 2.11 | 1.74 | 40.5 |
| H ₁ T ₂ C | 28.6 (40) | 12.4±2.04 (14.1) | 16.5 | 16.2±3.5 (19.3) | 21.6 | 2.6 | 2.16 | 31.1 |

註：括號內為乾基含水率。

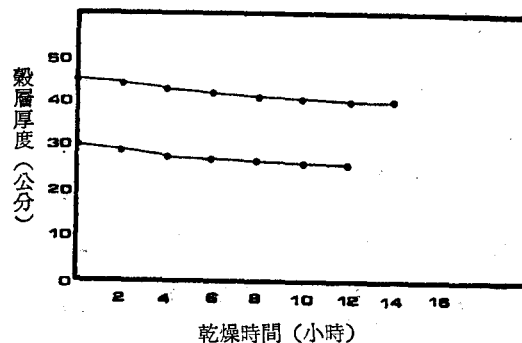
表4. 各因數對水分分佈之影響比較

| | 初期含水率 d. b. % | 變異係數 C _v (%) | 8小時變異 C _v (8H) % | 總乾燥速率 %/h | 8小時乾燥速率 %/h | 8小時內之水分變化 %, d. b. | 全胴裂增加率 % | |
|--------------|------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------|-----------------------|-------------|-------------------------|
| 穀高層度 | 30cm | 24.1±3.51 | 3.6 | 4.6 | 1.16±0.27 | 1.26±0.30 | 8.1±2.7 | 6.9±2.23 |
| | 45cm | 34.5±2.9 | 10.1 | 13.8 | 1.33±0.25 | 1.89±0.41 | 15.1±3.27 | 20.5±2.10 (10) |
| 熱風溫度 | 40°C | 29.6±4.1 | 5.5 | 8.8 | 1.07±0.15 | 1.44±0.44 | 11.49±3.47 | 7.3±2.1 |
| | 45°C | 29.0±8.7 | 8.7 | 9.7 | 1.43±0.21 | 1.71±0.53 | 11.7±6.2 | 20.2±21.6 (9.5±4.9) |
| 往覆時間 (小時) | 1 hr. | 28.2±6.6 | 8.13 | 11.3 | 1.15±0.23 | 1.45±0.51 | 10.69±5.0 | 8.3±4.7 |
| | 2 hr. | 30.3±6.8 | 6.05 | 7.2 | 1.35±0.27 | 1.70±0.47 | 12.5±4.9 | 19.1±21.9 (8.1±1.22) |
| 風量 | 正常 | 35.1 | 8.3 | 9.2 | 1.37 | 1.91 | 15.3 | 29.6 (7.1) |
| | 加強 | 41.6 | 8.3 | 9.7 | 2.01 | 2.60 | 20.8 | 31.9 |
| 乾方燥式 | 連續 | 38.9 | 18.5 | 23.5 | 1.95 | 2.36 | 18.8 | 45.8 |
| | 反覆 | 34.5 | 10.6 | 13.8 | 1.33 | 1.89 | 15.1 | 20.5±21 (10.0) |

註：括號內為損棄 H₂T₂O₂ 特殊值計算者。

乾燥過程中，通常稻谷體積會逐漸縮減或壓實，故高度並非一成不變。圖十六所示即為兩種高度下，隨乾燥之進行，逐漸降低之情形，一般估計，扣除實際取樣量，其高度降低率約在 10 % 左右。因此，在同樣設定條件下，乾燥後半期之風量常會產生變化。

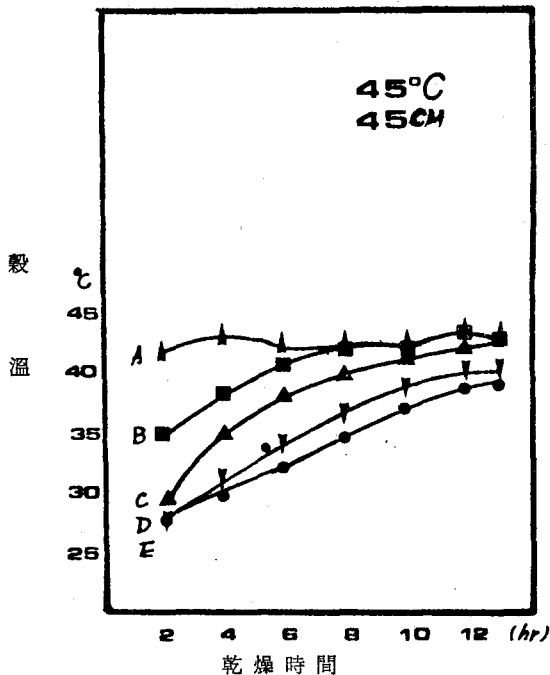
2. 熱風溫度之影響：熱風溫度為一項敏感之因素，一般之觀念是，熱風溫度愈高，水分乾減率愈大，而水分分佈差異亦愈大。此陳述可由表四中之統計數值獲得證明。雖然如此，實際影響最大者為



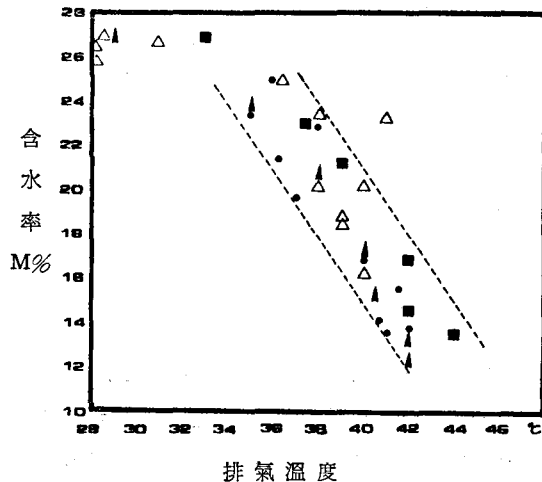
圖十六 乾燥期間穀層厚度縮減之情形

乾減率與脗裂率兩者，後者將於下節論列。故未來乾燥操作之考慮，主要可能要自此兩項影響取得一均衡點。

嚴格言，影響水分含量變化者並非完全歸於熱風溫度，實際上應為各層之稻谷溫度。由圖十七知，熱風雖於 45°C，但各穀層溫度則不盡相同，隨乾燥之進行，穀溫會逐漸與熱風溫度接近，通常穀溫與熱風溫度愈接近，即顯示乾燥作業已趨尾聲。因此，由穀溫之高低，可略微預測乾燥過程，圖十八為穀溫與含水率之關係。



圖十七 乾燥期間，各層穀溫變化情形



圖十八 乾燥期間，排氣溫度與含水率間之關係

3. 往覆時間之影響：

一小時與兩小時之轉換時間，理論上並無差別，但由表四之資料顯示，兩小時轉換方式反而比一小時者為優，無論就水分分佈或乾減速率方面比較，均如此。此項結果對未來之實際操作相當重要。因為時間過短時，反覆次數頻繁，徒增管理不便。實際上應用，可能每三小時反覆一次亦不致有影響，因為初期三小時之乾燥，水分約降至 18 % 左右，對脗裂尚不致產生大變化。惟仍有待進一次實驗證明。

4. 風量：

風量多寡，對水分分佈範圍影響不大，但對乾燥速率則有決定性之影響。由圖十五、十六與圖六、九相對比較可知，共者形像大略相似。惟在乾燥末期，風量愈大，愈趨直線變化。

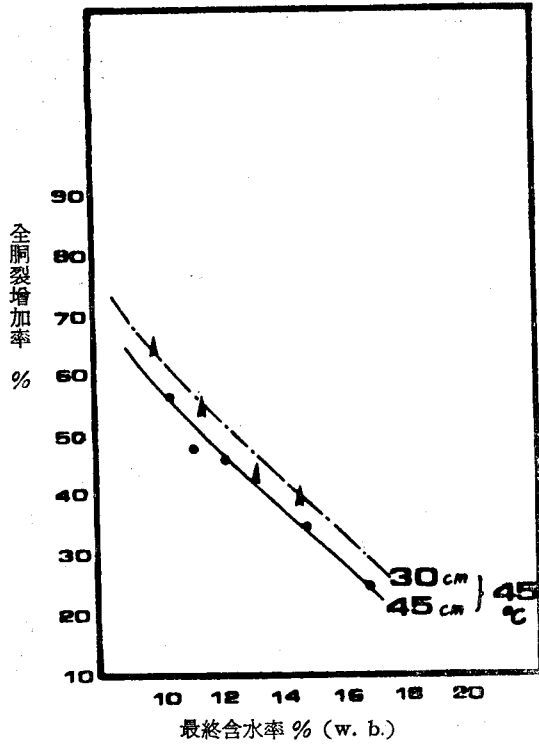
5. 乾燥方式之影響：

為證明往覆乾燥方式比舊式單向者為優，本節乃針對此項目的實地進行試驗。由表四中最後一項之資料可知，單向通風乾燥方式所導致之不均勻度約為往覆通風方式之兩倍，此點與前節理論分析部份大略相符。此次試驗中，單向通風乾燥之速率較高，但其初期含水率亦較高，因此，影響之因素較難判斷。

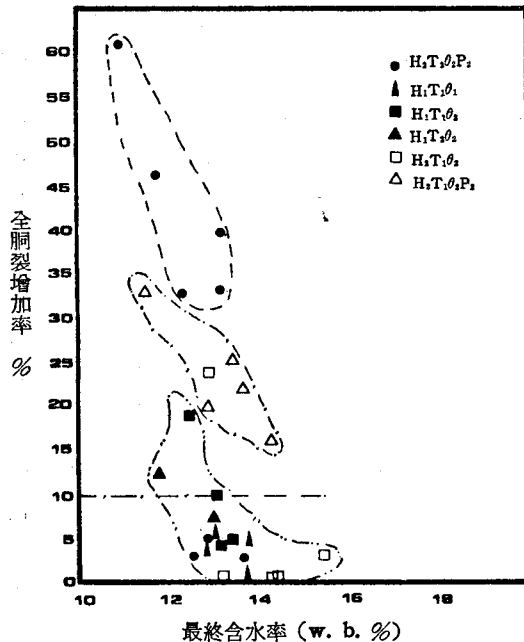
(二) 脗裂率之變化

乾燥期間，脗裂率之變化為最重要之因素。目前雖無學者確切研究脗裂率與碎米率間之關係，但一般咸信，脗裂率愈高，碎米率愈大。因此，本節討論乃以全脗裂為主，所謂全脗裂率即為重脗裂數與輕脗裂數之總和。由於肉眼判別脗裂容易，但判別重脗裂與輕脗裂則較為主觀，故本研究仍以全脗裂為對象。

在八個處理中，因 H_2 T_2 θ_2 所產生脗裂數高達 52 %，其原因不外乎熱風溫度高與厚度大等因素交雜而成，但由於脗裂率增長過大。在統計數字中，有遮蔽其他資料之嫌疑，故在表四最右欄中，有括號特別指出拋棄此項資料時之結果。一般言，穀層厚度愈大，為達到某特定水分值（如 13 %），需有一半部份低於 13 %。因此所造成之脗裂也多。很顯然水分含量與脗裂率有密切關係。根據本試驗分層核計脗裂率之結果，其間之關係如圖十九。同樣熱風溫度下，各層水分含量愈低，其脗裂率愈增加。水分低於 10 % (w. b.) 以下，脗裂率可高達 60 % 以上。而厚度 30 公分者之脗裂率則比 45 公分者為高。



圖十九 稻穀乾燥後，各層含水率與胴裂率間之關係



圖二十 各處理乾燥終了時，其最終水分與全胴裂增加率之關係

在前面八項處理中，除 $H_2T_2\theta_2$ 與 $H_2T_2\theta_1$ 兩項外，其餘六項處理所得之全胴裂增加率均小於 70%，這在已往之箱式乾燥機中是件不可能的事，即使循環型乾燥機欲達到此標準（目前以重胴裂 10% 為標準）亦有困難。由此可知往覆通風乾燥方式有其獨特之優點。當然，乾燥溫度仍是一項決定因素。溫度一旦超過 45°C ，即會產生巨大變化。

反覆時間之長短，對胴裂率似乎沒有顯著影響，但風量之增加，除增加馬力外，對胴裂率之增加却無比顯著。由圖二十可知，由於風量之增加，胴裂情形幾乎可以分成明顯之三族羣，最高者為高溫高風量者，其次為低溫 (40°C) 高風量者，其餘八組處理除 $H_2T_2\theta_2$ 外，均在 15% 以內。足見風量增加對胴裂所產生之影響。

至於單向送風與反覆送風，兩者之比較，亦極為明顯。若不考慮 $H_2T_2\theta_2$ 處理時，前者之胴裂率約在後者之四倍以上，不可謂不高。僅憑此項統計數字比較，即可判定反覆送風乾燥方式之優點所在。

五、建 議

利用往覆風向乾燥稻穀是一種嶄新的觀念，以往很少人專注於此方面之研究。事實上這種乾燥方式最適合配置於目前之箱式乾燥機上，以改善其乾燥不均之缺點。本試驗乃就穀層厚度、熱風溫度、反覆時間，以及風量等因素進行比較試驗。並就水分含量之變化以及胴裂率之影響進行分析。經此項室內試驗結果顯示，利用往覆通風乾燥之方法，對稻谷之乾燥品質有極佳之維護效果，其胴裂增加率且可減少至 10% 以內，此項運用對穀層不厚 (45 公分以內)，熱風溫度不高 (45°C 以內) 之情況最為適合。這種情況即為本省所推廣之小型箱式稻穀乾燥機之作業條件。

為此，筆者曾於去年針對此原理將箱式乾燥機進行改良試驗，經實地試驗結果，有相當令人鼓舞之成績。而且，其改良部份甚為簡單，只需花少許之附加費用，即可進行改良。無論如何，箱式乾燥機之改良至目前為止可說已經有突破之進展，並達實用化之程度。

目前希望此種改良型箱式乾燥機能進一步推廣，使本省現有一萬五千餘台之此類型乾燥機均能循此方式加以改善，這點必須依靠廠商與政府政策上之配合方能有事半功倍之效果。

由於此類型乾燥機之操作溫度不得高於 45°C 此種條件若能配合太陽能源之應用，必可獲得最經濟之架構。一方面溫度低不會傷害米質，而另一方面，獲致低溫熱風之太陽能取熱裝置，其成本亦低廉。故未來實應朝此方面繼續研究，如此農產品乾燥事業未來必有坦途。

六、中文摘要

靜置式乾燥最大之缺點是穀層乾燥不易均勻。目前雖部份改成稻穀循環乾燥方式，但價格昂貴，難以普及。因此，就現有箱式乾燥機加以改良，實未失為一種經濟可行之方法。

為達此目的，往復通風乾燥方式可說是最佳之答案。往復通風方式係穀物靜置，而熱風之方向則定時以機械方式加以反向，使上下穀層均能獲得均勻之乾燥效果。此種反覆風向之觀念應用於稻穀乾燥可謂第一次。其基本應用條件是在熱風溫度不能過高，穀層厚度不能過大之場合，方可獲得優良之效果。而此項條件又頗適合於箱式乾燥。

本試驗主要目的乃在瞭解往復通風乾燥方式應用於稻谷乾燥時之各項因素變化。並依熱風溫度 (45°C, 40°C)，穀層高度 (50 公分, 45 公分)、反覆時間 (1 小時, 2 小時) 以及風量之大小等因素加以控制，再逐步討論各因素對水分含量分佈與胴裂率之影響。

由試驗資料可知，只要溫度不超過 45°C，全

胴裂之增加率將低於 10%，約僅及單向通風乾燥方式之四分之一。在水分佈上，水分差異則僅及單向者之一半，均勻度甚為良好。

稻穀之堆積高度應低於 45 公分，以 30 公分為最佳。厚度過大，水分差異變大，胴裂率也增高。此外，風量增大，雖可增加乾燥速率，但胴裂率相對增加。

根據本試驗所得資料顯示，往復通風乾燥方式應為目前靜置乾燥之較佳方式，但其反覆時間不應過短，適當之時間應在二至三小時左右。

七、謝 啓

本試驗係在農發會 68 (AMF)-6.1-009 (b) B 計畫下完成，試驗期間，承蒙鄭元良、張家振、朱肇豐等三位助理以及學生林文輝與袁寶山等人之協助，在此一併致謝。

八、參考文獻

1. C. W. Hall *Drying Farm Crops* AVI CO. 1974
2. D. B. Brooker *Drying Cereal Grains* AVI 1974
3. 馮丁樹 靜置式小型稻穀乾燥機之改良研究 農工學報 25(4) 1979
4. 關昌揚譯 農業機械實驗 徐氏基金會

歡 迎 會 員 先 生

多 多 投 稿