

水稻濕穀搶救乾燥法之研究

Rice Rapid Drying on Fundamental Research

農業試驗所農機系主任

鄔清標

Ching-piao Wu

黃吉慶

Chi-ching Hwang

林展弘

Chang-hong Lin

一、前言

臺灣南部第一期稻作及北部第二期稻作之收穀時期適逢雨季，並且係高溫多濕的氣候，如南部第一期稻作收穀時期平均氣溫約為 28°C ，空氣濕度約為 75%，北部第二期稻作氣溫則平均約為 20°C ，濕度約為 90%，並且浸過雨水後之稻穀水分含量可高達 30% W. B. 因此所割取之水稻不迅速加以乾燥時，在一兩天之內就會開始發芽，發酵或發霉；為防止是項損失，稻穀之搶救乾燥實屬重要之工作。

所謂「搶救乾燥」是將當天收割之濕穀在當天乾燥到含水量 17% W. B. 然後待天氣放晴時才再晒乾到 13% 含水量以便存庫。因此每次乾燥時間就被一天之收穀量及每次之乾燥量所支配，且米粒的胴裂率與乾燥速度有密切的關係。依現所推行之靜置式乾燥箱，一次乾燥量約為濕穀 600 公斤，乾燥時間為 3~5 小時，比一般乾燥速度快 3~5 倍，對米質之影響極顯著，因此執行搶救乾燥之基本試驗以資探討適宜之乾燥方法。

二、試驗裝置及試驗方法

1. 試驗裝置及方法

試驗裝置如第一圖所示，試驗用穀裝在直徑 40 公分高度 55 公分之圓筒中，用加熱到預定溫度之熱風自筒底向上吹，所加之風量利用筒易擺板測風器預先測定以便計算單位重量稻穀所加之風量及熱量。

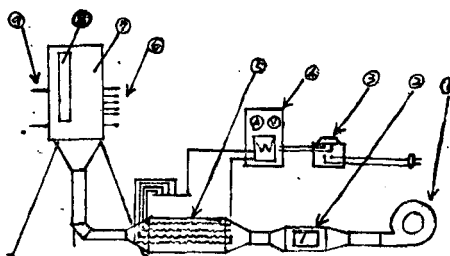


Fig 1. Equipment for Grain Drying on Fundamental Research

- ① blower
- ② measurement of air flow
- ③ transformer
- ④ measurement of electricity
- ⑤ heater
- ⑥ dry bulb thermometer
- ⑦ grains container
- ⑧ inspecting window
- ⑨ wet bulb thermometer

為配合現行靜置式乾燥機之實際情形，將濕穀堆積 20 公分之高度，並分成四層（但不隔開），在試驗進行中每隔 15 分鐘測定一次進出空氣之乾濕球溫度及各層之溫度，每隔 60 分鐘自筒側取樣品約 100 粒，其中 50 粒測定重量後放入 120°C 烘乾箱，經過 2 小時後再測定重量以便計算當時之穀粒水分含量；另 50 粒則用人工將穀殼和米粒剝開分別稱其重量，並在日光燈透視玻璃上檢查米粒之胴裂數，然後放入烘乾箱經 2 小時後分別測定穀殼和米粒之水分含量。

2. 試驗用穀之採取

在晴天割取之水稻，其穀粒水分含量除在長期乾旱下可達到 16% 左右外，普通約為 23~25%，但為使近似於雨天之搶救作業，將割下之稻粒立刻浸入水中經過 6 小時後放在竹籬筐內，使穀粒間之水流失後才放入乾燥筒內開始試驗，因此開始之稻穀之水分含量並非平衡水分含量，但在實際的搶救乾燥工作當中，其穀粒經過雨水及田裡之積水浸過後亦並非保持在平衡水分含量狀態，故用此種方法採取之試料應可代表實際搶救乾燥作業時之稻穀。

3. 熱空氣之濕度變化之推算

經過加熱的空氣相對濕度變化之推算法為在加熱過程視為絕對濕度不變，高溫空氣進入穀層後視為斷熱變化，而依各層之溫度推算通過各層之空氣濕度。

4. 實驗條件

第一實驗之當天氣溫為 29.6°C ，相對濕度為 73%

，加溫至 40°C 後其相對濕度則減到 41%，通風量為濕穀每 1,000kg, $0.5\text{m}^3/\text{sec}$ 各層之溫度及相對濕度之變化及水分含量，胴裂率之變化等，分別示於第二圖至第五圖。

第二實驗之當天氣溫為 25.8°C 相對濕度為 88%，為了解溫度之昇高對乾燥之影響，將加溫昇高到 50°C ，通風量則保持濕穀每 1,000kg $0.5\text{m}^3/\text{sec}$ ，但實際所測之結果為

0.57m³/sec, 比預計之風量稍大, 進入穀層時之空氣相對濕度為25%, 各項結果示於第六圖至第九圖。

第三實驗之目的在於適應實際搶救作業, 使每小時之乾燥速度達 8 % 之水分減少率, 並為了解風量對

乾燥之影響, 將加溫與第二實驗保持相同為 50°C, 而風量則增加到濕穀每 1,000 公斤 1.35m³/sec, 當天氣溫 28°C 相對濕度76%, 加溫至 50°C 後相對濕度為24%, 各項試驗結果示於第十圖至第十三圖

Fig.2. (1-a)
Temp-Humidity of Grain Layer

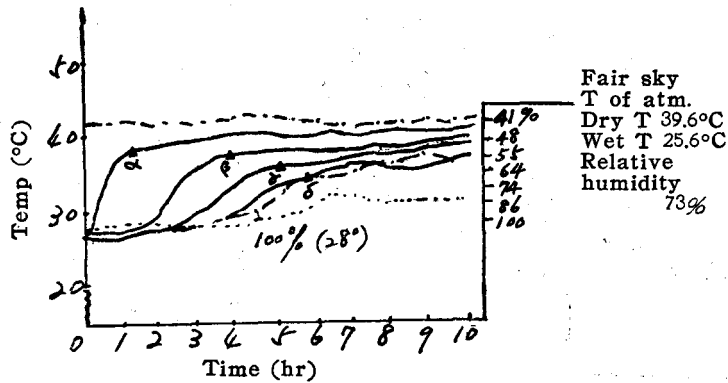


Fig3 (1-b)
Moisture Content of Kernel

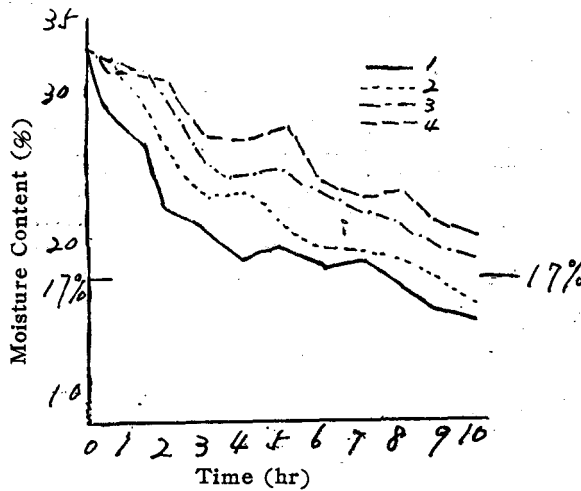


Fig.4 (1-C)
Moisture Content of Kernel & shell

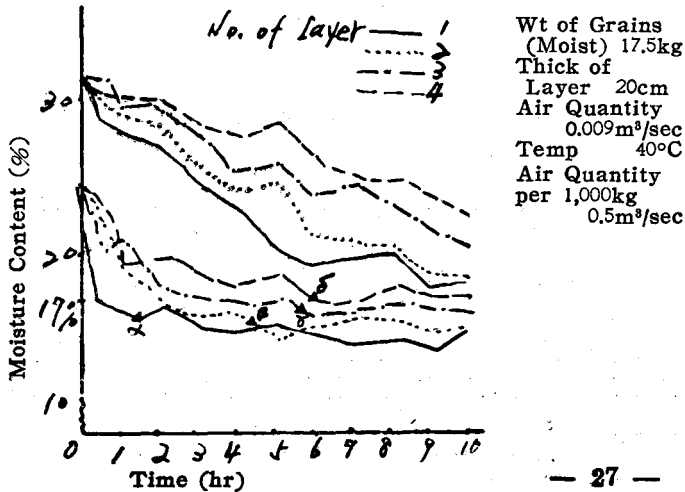


Fig 5 (1-d) Cracking Curve

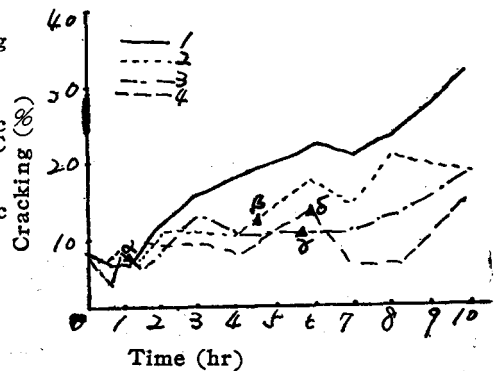


Fig. 6. (2-a)
Temp-Humidity of Grain Layer

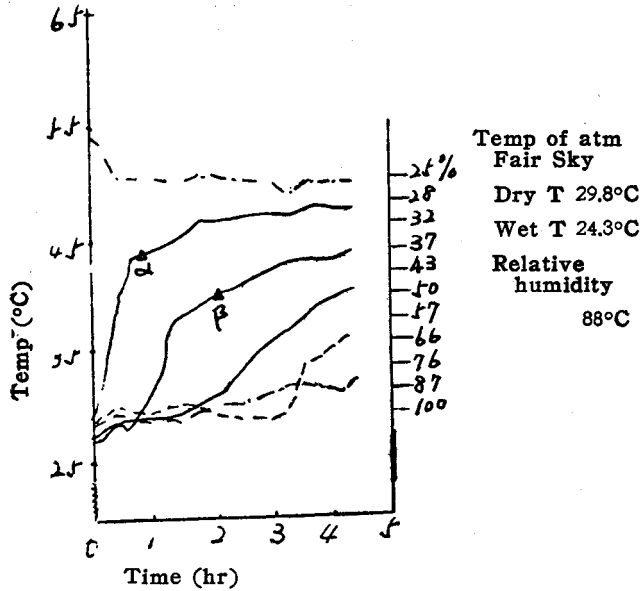


Fig. 7. (2-b)
Moisture Content of kernel

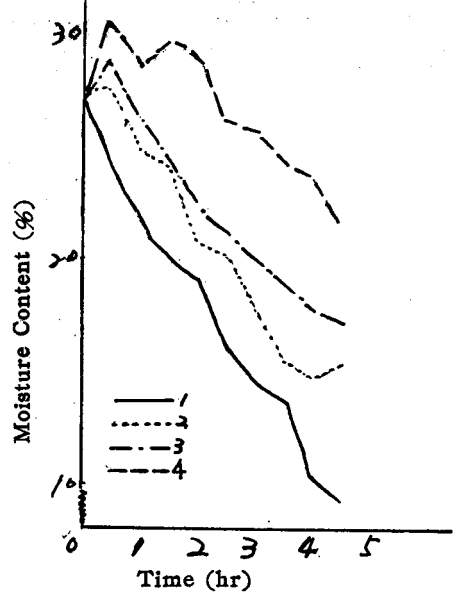


Fig.8 (2-c)
Moisture Content of Kernel & Shell

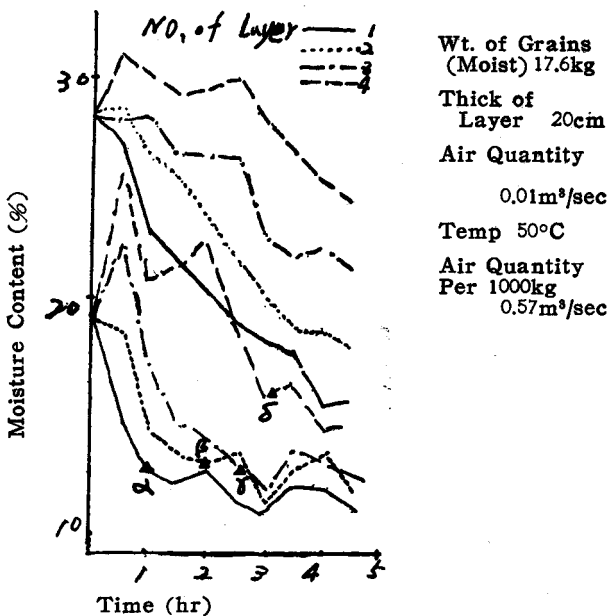
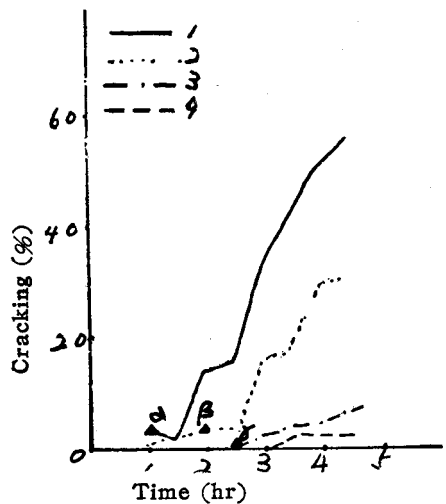


Fig.9 (2-d)
Cracking Curve



四、試驗結果及檢討

稻谷之一般乾燥溫度及速度為熱風溫度 35°C，濕度30~35%，一小時水分減少率為0.5~1.0%為宜，但在臺灣夏季白天之氣溫已達到 35°C，而濕度則高到65~70%，因此為使空氣濕度減至30~35%則必須採用高溫之熱風，又在晴天收割之稻谷水分含量為

25%，作業中由於田間積水而經過泡水後以及在下雨時所割之稻谷則，待穀粒間之水排除後其水分含量約在30%左右，因此假若依 0.5~1.0%小時之乾燥速率乾燥到17%就約需13~26小時，無法達到搶救目的，故必須提高到每小時 3%以上始可在4~5小時以內乾燥到17%，在此種條件之下檢討各次試驗之結果如下：

Fig. 10 (3-a)
Temp-Humidity of Grain Layer

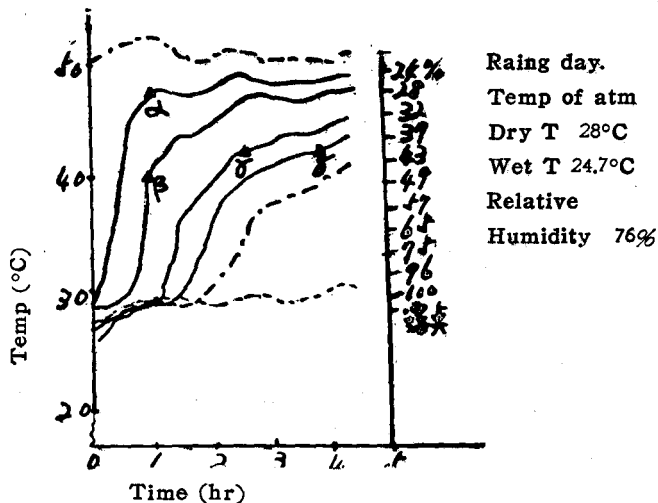


Fig. 11 (3-d)
Moisture Content of Kernel

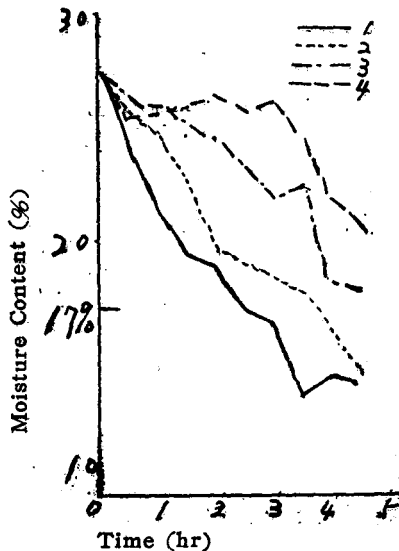


Fig. 12. (3-c)
Moisture Content of kernel & shell

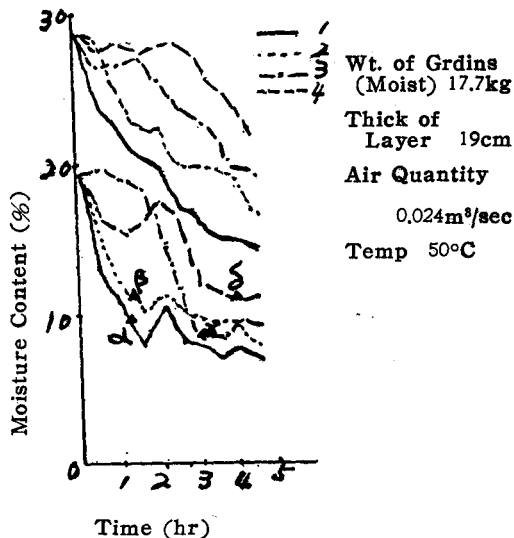
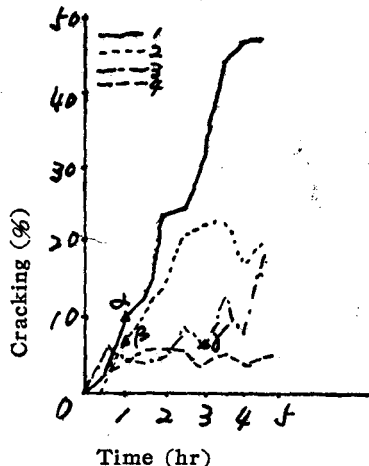


Fig. 13 (3-d) Cracking Curve



1. 風量，溫度對乾燥速度之影響

a. 用40°C熱風，風量為每1,000公斤每秒0.5立方公尺的情況之下實施乾燥時，前四小時之平均乾燥速度約為 2.5%/小時，第四小時以後平均約為1%/小時，所以經過10小時之後只有下半層可以乾燥到17%以下，顯然無法達到目的。

b. 用50°C熱風，風量為每1,000公斤0.57m³/秒時，前三小時之平均乾燥速度為4%/小時，後三小時之平均乾燥速度為1.5%/小時經過六小時後水分含量下三層可達17%以下，但第四層（表層）仍舊無法達

到17%以下，並且第一層與第四層之水分含量差距竟達6%之巨，因此對第一層而言，顯然已過乾，須降低溫度，而對第四層而言仍未達到目的，故在後半段之時間內似應降低溫度，增加風量。

c. 用50°C熱風風量為每1,000公斤1.37m³/秒時，全層之全四小時以內平均乾燥速度為3%/小時，前二小時之平均乾燥速度為4%/小時，後二小時之平均乾燥速度為2%/小時，經四小時後下三層水分含量可達17%以下，但第四層還是無法達到17%，並且第一層已達到14%~18%。

d. 由上列三項試驗得知，由於上下層乾燥速度之差異致使乾燥速度雖提高至3%/小時，還是無法使全層乾燥到17%，至於提高溫度及增加風量對乾燥之影響，比較實驗一及實驗二之各圖可以顯明地看出提高溫度，由於空氣之相對濕度降低，可大量吸收水分，因此可以提高很大的乾燥速度，但提高溫度對上下層之乾燥速度差也愈大，如第七圖所示，第一層與第四層之各水分含量在 4.5 小時之後相差 12 %之多。增加風量則，比較實驗 2 及實驗 3 之各圖可以推測，對平均乾燥速度之提高未有顯著之效果，但對各層之乾燥速度之差異可以減少。

2. 穀殼水分含量對乾燥之影響

由各次試驗之乾燥曲線得知，穀粒和米粒之乾燥速度曲線均很相似，並且穀殼之乾燥曲線都成反 S 曲線，乾燥進行時間短促，由此可以推測，穀殼之性質有如尼龍網或臘質之絲網包殼，在網絲之間可以保持大量的水分，但殼質本身並無吸收水分之性質，對水分之移動沒有太大之阻力，殼內外水分之轉位並沒有很大的差異，因此雖在殼之部份附有很多水分但米粒之水分仍舊可向外移動，使外殼部分未乾之前，米粒之乾燥作用依然可以進行，並且外殼部分之水分蒸發可以防止米粒暴露在高溫空氣之中，從各圖中濕度表及穀殼水分含量表得知，穀殼未乾前穀層溫度未能上昇，而穀殼水分接近平衡水分含量時穀層溫度也隨之昇高到平衡溫度。

3. 胴裂之發生

a. 胴裂發生之時期

對照穀粒水分含量曲線及溫濕度表時可以了解，外殼溫度接近平衡時穀粒水分大致均到達22~23%，從此以後繼續送入熱風就開始發生胴裂，在此所指的是米粒內發生裂痕而不關其裂痕之大小均視為胴裂。

至於外殼溫度接近平衡之時期即為外殼水分接近平衡水分之時期，因此可以推測，外殼水分接近平衡之後米粒受到較高溫度之熱風繼續乾燥則將引起胴裂，如圖中 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 諸點所示，至於發生胴裂之原因需另作試驗探討始可了解。

b. 乾燥速度與胴裂率之關係。

根據以上三項試驗共十二點試驗結果選擇乾燥速度及胴裂率發生速度可以容易看出的七點加以整理。

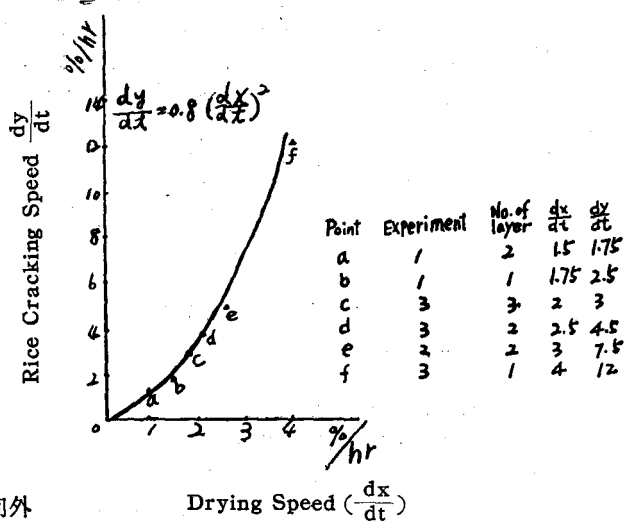
可作成第十四圖，並可得到近似式為：

$$\frac{dy}{dt} = 0.8 \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \quad \frac{dy}{dt} : \text{胴裂率增加速度}$$

$\frac{dx}{dt}$: 乾燥速度。

因此，為減少胴裂率，極須注意乾燥速度不可驟快，所以在乾燥歷程，為避免下層之乾燥過度以及速度之過高，應時常攪拌，或使穀粒經常流動為宜。

Fig. 14 $\frac{dy}{dt} - \frac{dx}{dt}$ Curve



五、摘 要

1. 空氣相對濕度須降至25%始可在每 1,000 公斤濕穀送風 1.35m³/sec 的狀況之下，達到平均乾燥速度3%/hr。

2. 高溫除供給穀子蒸發水分所需之潛熱外，可降低空氣相對濕度而促使乾燥時間之縮短，但上下層之乾燥速度差將增大。大風量對縮短乾燥時間之影響不如高溫之顯著，但對上下層之乾燥速度之平均化有良好之影響，在此次試驗後可顯明看出。

3. 由於上下層乾燥速度之差異，不經常攪拌穀層則，下層將過乾，而上層則在四至五小時的預定時間內仍舊無法乾燥。

4. 穀殼之性質，依水份之變化情形可以推測有似尼龍網之組織，網絲之間可以保持大量之水分，但殼質本身並無吸收水分之性質。所以穀粒之水分含量達到22%左右時，穀殼之水分含量就已經接近平衡水分含量，從此之後繼續送熱風則穀層溫度將接近平衡溫度而使米粒在較高溫的狀態下乾燥，由是就開始發生胴裂。

5. 乾燥速度和胴裂率增加速度之間有近似，

$$\frac{dy}{dt} = 0.8 \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \text{ 之關係。故過份之乾燥及乾燥速度}$$

過高將引起多量之胸裂。

六、誌 謝

本試驗承臺大高坂知武教授、東大細川明教授之指導，又本著作之完成得國家長期發展科學委員會之補助於此一併誌謝。

七、參考文獻

1. 東京大學農工教室

農業機械實驗便覽：養賢堂 1966

2. 渡邊鐵四郎：通風乾燥機の使ひ方：新農林社 1962
3. 大澤一郎：設備工學講座工空氣調和設備
小林陽太郎：共立出版社 1963
4. Carl W. Hall: *Drying Farm Crops.*
5. S. M. Henderson, R. L. Perry: *Agricultural Process. Engineering*

Summary

1. The atmosphere relative humidity must be lowered under 25%, the air quantity be above 1.95m³/sec per 1,000kg, of moist grains, and the atmosphere temperature excess 15°C. then the drying speed can reach 3% of moisture content per hour.
2. The phenomena that can be obviously checked in these experiments are that hot air, besides supplying quantity of heat for evaporating grains inner water, can shorten the drying period, but increasing the difference of the drying speeds between the top and the bottom layers; while air quantity can not influence drying speed as much as temperature does but can equalize the drying speed of the top and bottom layer.
3. Due to the difference of drying speed, within 4-5 hours during the operation, if grains invarious layers do not be mixed frequently, the grains in the bottom layer will be dried excess the expecting moisture content while grains in the top layer are still in the moist state.
4. Chaffs like nylon web, can hold the water in the web eyes but cannot absorb the water to the inner part of the fibers. In drying operation, when grains moisture content lowers down about 22%, the chaffs moisture content approaches the stable state. After this moment, if hot air blows continuously, the temperature of the grain layer will approach the stable state and the rice cracking begins.
5. Formula of the relationship between the grain's drying speed and the cracking speed seems to be:

$$\frac{dy}{dt} = 0.8 \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 \quad \text{where} \quad \frac{dy}{dt}: \text{cracking speed}$$
$$\frac{dx}{dt}: \text{drying speed}$$

So, the high drying speed lead to the high cracking speed.

6. Chaffs colour changes when the moisture content of the chaffs approaches the stable state.