

稻穀高溫快速乾燥機之研究

A Preliminary Study on the High Temperature Rice Dryer

國立臺灣大學 農工研究所 研究生

楊 志 成

Chih Chen Yang

摘 要

大多數稻穀乾燥機所使用的熱風溫度都不高，因此乾燥速率較低。本文目的在於尋求高溫乾燥的可行性，並依基本試驗結果設計一種稻穀高溫快速乾燥機。

初步獲得基本試驗結果如下：

1. 在同溫度及風量之下，若加熱時間愈短則熱效率愈高。
2. 不通風的狀況下，稻穀在 $250 \pm 10^\circ\text{C}$ 下間歇加熱乾燥而加熱時間適當時，不產生膠化。稻穀含水率從 36.0% (w. b.) 降至 19.2% (w. b.)，包含均化時間在內僅需 51 分 17 秒。
3. 將穀子間歇曝於火焰下，稻穀含水率從 30.0% (w. b.) 降至 17.1% (w. b.) 包含均化時間在內，僅需 50 分 25 秒，稻穀不膠化。

實驗模型乾燥機之構造與性能：機器包含冷卻部與加熱部。機械內的熱風溫度高達 174°C 。稻穀含水率從 29.4% (w. b.) 經連續三次乾燥，中間無需均化，可降至 21.1% (w. b.)。然後予以 $1\frac{1}{2}$ 小時的均化，再經連續二次處理含水率降至 16.6% (w. b.)。熱風處理時間總共 225 秒（不含 $1\frac{1}{2}$ 小時均化時間），總共降低 12.8% (w. b.) 的含水率。乾燥後的穀子，米質不變壞。

一、目的

臺灣地區每年中南部第一期水稻，東北部第二期水稻，每屆收穫時期常遭雨水為患，農民辛苦血汗所收的稻穀常遭雨水浸濕，發芽、發霉、發熱，損失不貲。過去稻穀乾燥機均採用熱風乾燥，熱風溫度大部份在 45°C 左右，乾燥速率甚慢，約一小時降低 1% (w. b.) 的含水率，本研究的目的是在於探討高溫乾燥的可行性，並依此理論設計與製造出稻穀高溫快速乾燥機，期能提高乾燥速率，並對解決此一問題有所助益。

二、前人的研究

一些亞洲國家諸如印度、巴基斯坦、錫蘭及部份非洲國家，其稻穀乾燥有採用過熱乾燥 (Parboiling Drying) 者，經此法乾燥所獲得的米質均呈膠化狀 (Celatization) 缺乏粘性，顏色較一般經由日晒乾燥所獲得的米為暗。

1972 年菲律賓國際稻米研究中心 Admir U.

Khan 氏設計出兩種稻穀乾燥裝置，現將其裝置簡單說明如下：

1. 採用 350°C 熱砂與稻穀攪拌。稻穀含水率 (Moisture Content) 從 38.0% (d. b.) [27.5% (w. b.)] 降至 20% (d. b.) [16.7% (w. b.)] 僅需 45 秒或者從 27% (d. b.) [21.3% (w. b.)] 降至 16% (d. b.) [13.8% (w. b.)] 所費時間也是 45 秒。如圖 1 所示。經處理後的稻穀其中所含澱粉粒呈

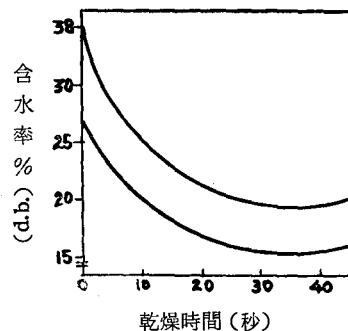


圖 1. 採用 350°C 的熱砂與稻穀混合攪拌所得的乾燥曲線，不同的初期含水率，獲得不同的曲線。

膠化狀，與過熱乾燥法所得的效果相似。稻谷的初期含水率 (Initial Moisture Content) 須限定在 25 % (d. b.) [20.0 % (w. b.)] 的程度，不過其試驗材料是使用已曬乾的稻穀再浸水以獲取所需的初期含水率。

2. 採用火焰直接加熱裝置：此法是將稻谷曝於火焰，直接加熱的時間為 40 秒，然後使用 0.5 小時到 2.0 小時的均化 (Tempering) 及熱風乾燥。如此可縮短 50 % 的乾燥時間。此法所獲得的米質顏色轉暗，與過熱乾燥類似。穀內的澱粉粒亦呈膠化狀，缺乏粘性。

1969 年日本農業機械化研究所，伴敏三氏試驗熱風溫度與胴裂率的關係。以高溫的熱風來乾燥稻穀，在熱風溫度為 80 °C 以下的範圍內，若熱風溫度逐漸提高胴裂率也隨之提高，當熱風溫度達 80 °C 時胴裂率幾達 100 %，熱風溫度繼續逐漸提高到 130 °C 時，胴裂率驟降為幾近於零。如圖 2 所示。

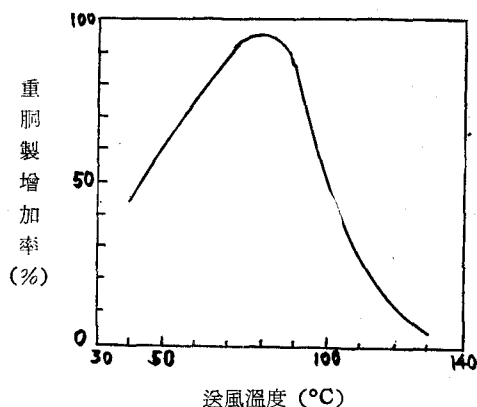


圖 2. 熱風溫度與重胴裂增加率間的關係曲線。稻谷初期含水率為 29 % (w. b.)

附註：該試驗中稻穀初期含水率為 29 % (w. b.)，所得到的米質缺乏粘性，顏色暗，澱粉呈膠化，經碾米煮食有糠味，較一般日晒法差。

三、基本試驗

在上述稻穀高溫乾燥的研究大都着重於獲取過熱乾燥 (Parboiling Drying) 的效果，或可行性的探討。為探討高溫乾燥的可行性，作了如下一系列的基本試驗：

1. 試驗 I.:

探討加熱時間對乾燥過程的影響。

(1) 裝置：如圖 3 及照片所示。

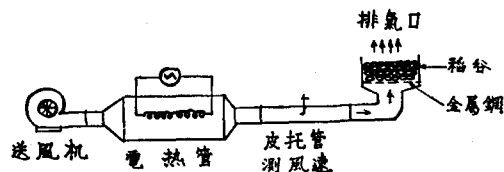
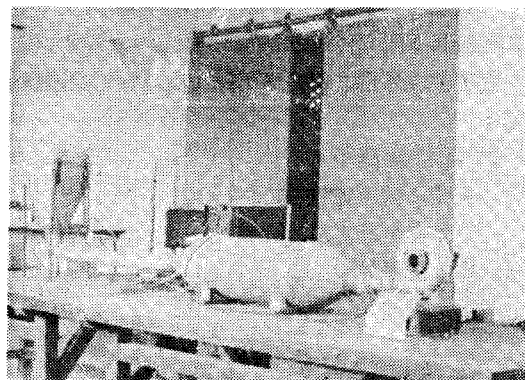


圖 3 試驗裝置



試驗裝置

將風由送風機送入電熱管，熱風風速可由皮托管測出。熱風流經金屬網透過穀層，然後排出。溫度為 69°~76 °C，風量 90 CMM/100 kg 稻穀。

(2) 方法：

- A. 加熱時間固定為 3 分鐘，改變均化所需時間：(a) 加熱風乾燥 3 分鐘，然後均化三個小時，接着再施以熱風乾燥 3 分鐘。如此反覆循環三次。(b) 加熱風乾燥 3 分鐘，然後均化五個小時，接着再施以熱風乾燥 3 分鐘。如此反覆循環三次。
- B. 加熱時間固定為 6 分鐘，改變均化所需時間：(a) 加熱風乾燥 6 分鐘，然後均化三個小時，接着再以熱風乾燥 6 分鐘。如此反覆循環三次。(b) 加熱風乾燥 6 分鐘，然後均化五個小時，接着再施以熱風乾燥 6 分鐘。如此反覆循環三次。

(3) 試驗結果：

- A. 溫度、風量，均化時間相同條件下，其加熱時間短者，熱效率高。如表 4 所示：
- B. 溫度、風量，加熱時間相同條件下，其均化時間長者，熱效率高。如表 4 所示。

表 4. 各種不同處理對熱效率的關係

處理	加熱時間	均化時間	熱效率 %
1	3 分鐘	3 小時	28,0
2	6	3	23,3
3	3	5	40,3
4	6	5	27,9

2. 試驗 II :

在不破壞米質之前提下，探討高溫對乾燥速率的影響。

(1) 裝置：如圖 5。

A: B: 為電熱爐

C: 為兩電爐間的間隙。

D: 變壓器。

E: 電線。

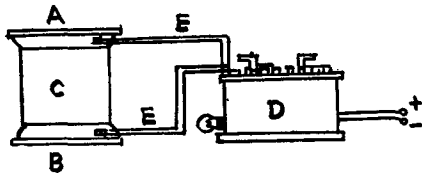


圖 5. 實驗裝置

(2) 方法：使用變壓器 D 作為調節兩電爐間隙 C 內的溫度。間隙 C 中無風進入。以一小金屬網盛少量稻穀進入間隙 C 中受熱作用。間隙 C 內的溫度控制在 $250 \pm 10^\circ\text{C}$ 受熱時間 25~40 秒。採用間歇加熱方式，即加熱後取出冷卻四分二十秒到四分三十五秒之間，然後再加熱 25~40 秒，再取出冷卻，如此反覆循環十次。

(3) 試驗結果：如圖 6 所示。

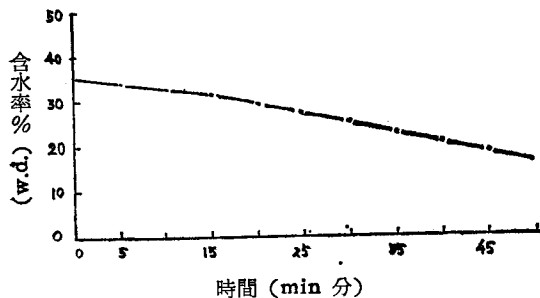


圖 6. $250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 的高溫加熱所獲曲線

穀粒含水率從 36% (w. b.) 降到 19.2% (w. b.) 僅費時 51 分 17 秒 (包含冷卻時間)。經

碾米煮食後，仍具粘性，與一般日晒法同。乾燥後的穀粒浸水後仍可發芽。

3. 試驗 III :

直接用火焰間歇加熱於稻穀：

(1) 方法：於一金屬網上置濕穀，直接置於火焰上加熱約 3~5 秒，然後冷卻約 5 分鐘，再繼續加熱 3~5 秒鐘，然後再冷卻。如此連續反覆循環十次。

(2) 試驗結果：如圖 7 所示。含水率從 30.0% (w. b.) 降至 17.1% 費時 50 分 25 秒，(包

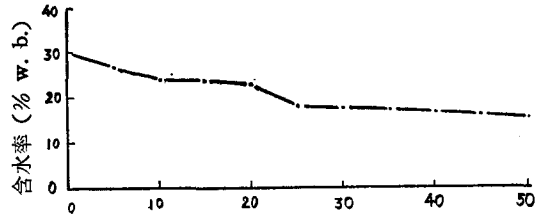


圖 7. 用火焰直接加熱於濕穀上

含冷卻時間)，乾燥後的稻谷，予以碾米煮食，仍具粘性，與日晒法所獲無異，穀子仍可發芽。

四、高溫乾燥機之初步設計

由上述基本試驗得高溫處理濕穀是件可行的辦法只要加熱時間適當，不使其膠化則可提高乾燥速率。根據這些試驗結果，設計了一種稻穀高溫快速乾燥機。

1. 構造：

如圖 8 所示，稻穀自升降機進料處 (1) 進入乾燥機，由升降機 (2) 傳送到漏斗 (3)，漏斗底部裝有迴轉輪，均勻分配稻穀於輸送網帶 (4) 上，以馬達 (13) 帶動鏈條 (14) 以傳動齒輪 (22)，然後帶動網帶，網帶下設有軌道 (10) (如圖 9 所示)，可使網帶順利傳送稻穀通過加熱部 (Heating Section)。

加熱部係利用加熱爐 (12) 將瓦斯燃燒所得的熱氣集中輸入加熱部，此時溫度高達 174°C 左右。另外如圖 9 所示，利用電熱管 (9) 發熱配以送風機 (6) 產生熱風，由通風口 (7) 經風向導板 (8) 送至穀層，形成熱風強制對流 (Forced Convection)。熱風溫度自加熱部前至後端熱風出口 (11) 形成梯度遞降 (Gradient)，使稻穀迅速受熱風作用約 (40~45 秒)，其所含水分擴散蒸發，完成第一階段受熱乾燥，此時穀溫仍在安全範圍，生命力未被破壞。

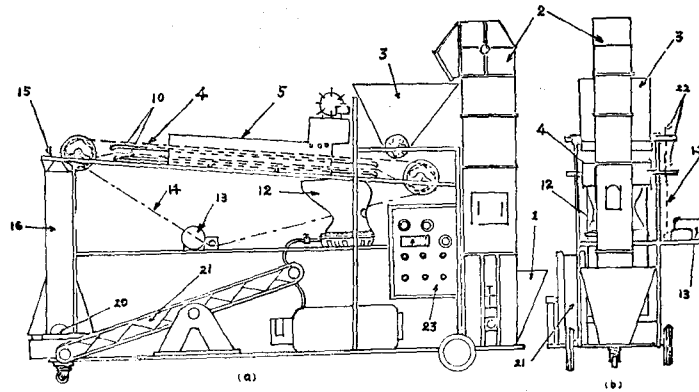


圖 8. 稻谷高溫快速乾燥機構造圖

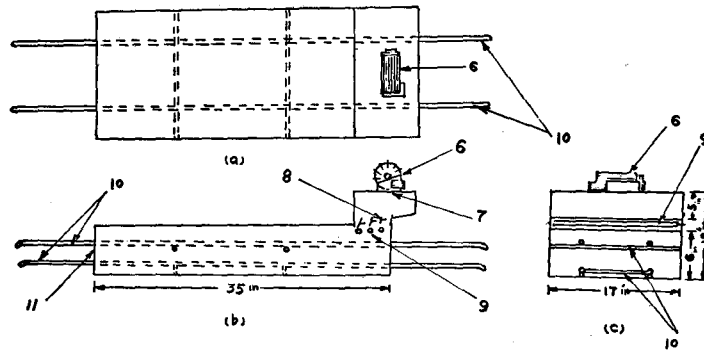


圖 9. 乾燥機加熱裝置

稻穀由輸送網帶經加熱部後，繼續傳動至冷卻部 (Cooling Section) (16)，到頂端冷風出口 (15) 時 (如圖 10 所示)，在冷卻裝置中形成落體，進入冷卻部；冷卻部底端裝有送風機 (17) 兩部，分設兩側底下，冷風由進風口 (18) 經風向導板 (19) 對稻穀

落體作逆吹，此時稻穀含水分在受熱風作用後，迅速擴散而蒸發，繼之受冷風作用使含水率繼續降低，稻穀溫度亦逐漸遞降，而完成第二段風乾乾燥。

冷卻部產生冷風逆吹時，同時具選別作用 (Sorting)，使稻穀中的夾雜物受風吹而迅自冷風出口 (15) 分離。經過乾燥後的稻穀則由稻穀出口 (20) 分離。(21) 為輸送帶，(23) 為控制盤。

2. 試驗結果：

如圖 11 所示，穀子從初期含水率 29.4% (w. b.) 經過連續三次乾燥後 (即連續通過本機械三次) 含水率降到 21.1% (w. b.)，其間未經均化，總胴裂率為 7~9%。若每次乾燥中間均施以均化，則胴裂當可再降低。

稻穀連續三次乾燥後即進入減率乾燥期 (Falling-Rate Drying)，如施予 1~3 小時均化，可加速乾燥速率。經過 1.5 小時的均化後再施以連續兩次乾燥，此時含水率降到 16.6% (w. b.)。經五次循環 (5 passes) 總共加熱時間二百二十五秒，總共降低含水率 12.8% (w. b.)。

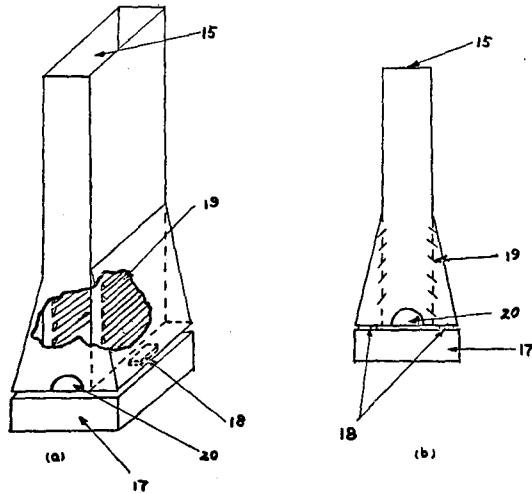


圖 10. 乾燥機冷卻裝置

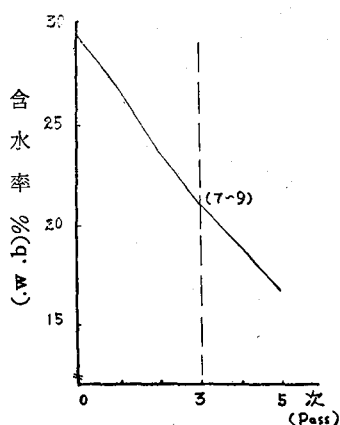


圖 11. 乾燥機乾燥特性曲線

經乾燥後的稻穀予以碾米煮食，與一般日晒法所得之米質無異，仍具粘性，無糠味。若將稻穀浸水，仍可發芽。

五、結 論

稻穀乾燥機採用高溫度可加速乾燥速率，米質仍

可保持不變，惟問題仍多，有待今後繼續研究。

誌謝：本文的完成要感謝朋友的幫忙以及我的指導教授蘇昭山博士及彭添松教授大力斧正，謹此申謝。

參 考 文 獻

1. 沈國文 穀物品質與機械作業之關係 農工學報 第二卷第三期
2. 邱健人 食品乾燥 食品科學文摘
3. 楊志成 稻谷乾燥均化現象的初步探討 (未發表)
4. DAIZO KUNII & OCTAVE LEVENSPIEL Fluidization Engineering
5. HALL Drying Farm Crops
6. F. W. BAKKER-ARKEMA Better Quality Grain Through the Use of A Concurrent Flow Dryer with Concurrent Flow Cooling
7. 仲敏三 人工乾燥における米の胴割れに関する實驗的研究 日本農業機械研究所報告第8號
8. 渡邊鐵四郎 農産物の通風乾燥法 博友社
9. 化學工業協會 粉體裝置工學 日刊工業新聞社

Summary

The air temperature adopted for conventional rice dryers is about 45 °C, and their drying rate are considered relatively low. The objectives of this study are:

- 1) to investigate the feasibility of high temperature drying system, and
 - 2) to try to design a rice dryer using high air temperature based on the data obtained.
- The preliminary results have been obtained from three experiments as following:

Experiment I. The shorter the dryine time, the higher the thermal efficiency we got by intermittently ventilation method.

Experiment II: Without using areation, the rough rice was heated intermittently by the temperature controlled at 250°±10°C The drying time was so short that no gelatination of the kernels was observed. The moisture content of roueh rice decreased from 36% (w. b.) to 19.2% (w. b.) in 51 minutes and 17 seconds (including cooling and tempering time). The dried rough rice still preserves the germinability under the test.

Experiment III: By exposing the rough rice to a direct flame intermittently, we we got rather high drying rate of the grain. The moisture content of rough rice is decreased from 30% (w. b.) to 17.1% (w. b.) in 50 minutes and 25 seconds (including cooling and tempering time). The exposing time was controlled within 3-5 seconds that no gelatinized rice was inspected. There was no significant difference between direct-flame-dried and sun-dried rice on their taste according to a panel test.

A pilot model dryer including a heating section and a cooling section was constructed. The air temperature adopted for the dryer was as high as 174°C. Without tempering the rough rice, we could reduce the moisture content of rough rice from 29.4% (w. b.) to 21.1% (w. b.) by letting the rice going through the dryer 3 passes continuously. Then, after 1½ hour-tempering, the moisture content of rice was further reduced to 16.6% (w. b.) by letting the rice going through the dryer 2 passes continuously. In 225 seconds of heating time, the total moisture content removed from the rough rice was 12.8% (w. b.). The treated rough rice could germinate and no gelatination occurred.