

靜置式小型稻穀乾燥機之改良研究

A Study on the Small-sized Rice Driers with Stationary Drying Bed

臺大農工系講師

馮 丁 樹

D. S. FON

English Summary

After several years' extension projects executed by the government, the rice driers have totaled twenty thousand sets in use in Taiwan. Among of these, most, or 67 % of them, are of the stationary bed or box type, which scattered around the central & northern part of Taiwan. However, the principal defect of this type of driers was that the grain moisture gradients in layers were always great after drying and large crack ratio and broken kernels result as more heat added. Therefore, it does need a little technical improvements to make it work successfully.

Purpose of this project is then to remedy this defect and to reform the traditional one, by using an air direction changing box. Instead of drying the paddy in only one upward direction, the air direction changing box will alternate the aeration directions easily both upward and downward, in every two or three hours.

As long as this apparatus is plugged in, the moisture gradients of the paddy across the whole depth of the drying bed will usually diminish significantly. Also the crack ratio of the dried kernels is thus improved.

According to the recent tests at Tainan, we found, the deviation of the grain moisture across the drying bed was about ± 0.4 % w. b. and increase of the crack ratio was never higher than the upper limit of 10 %. We then conclude that, the drying method we use is quite successful, and worthwhile to recommend the farmers to buy one.

Besides, we have also designed another simple drying machinery specified for the local farmers. This equipment consists of nine units, made of wire nets and angles bent in arch-like. The whole equipment is equipped with a siroco fan; to suck in or press out air through the grain mass. A piece of black cloth covered on the grain surface, serves as a simple solar absorber and transmits the absorbed solar heat to the incoming air. Only by aeration, it can drop 16% w. b. in grain moisture within three days. Although it needs more experiments, however, it also has already been proved to be a simple, efficient and convenient drying apparatus for use in Taiwan.

一、前言

小型稻谷烘乾機目前總計約達兩萬臺，其中循環式約為八千臺，箱式為 12,845 臺。箱式乾燥機所佔之比例甚大，目前箱式乾燥機主要分佈於本省之中北部與宜蘭地區。其中宜蘭佔 44.6%，臺中佔 26%，北部佔 17.6%；農民購置此型機，以自乾作業為多，代乾較少。箱式乾燥機之乾燥容量不大，每批約乾一千公斤左右，但頗適合目前小農之應用。本省農戶平均每戶北部約為 0.9 公頃，田區狹小，每期產量僅及四、五千公斤，採用循環式乾燥機必然形成浪費，改用箱式烘乾機則在五至十日內即可乾完，甚為經濟。

箱式乾燥機在我國發展得很早，遠在十年前，高坂知武教授（註一）即在臺大農工系著手研究，並提供中農公司生產，以解決宜蘭一帶第二期雨季收穫之問題。唯當時人力仍甚充沛，對於機械法乾燥並未引起廣泛注意，這種箱式乾燥機乃告沉寂一段時期。實際上本省乾燥機之推廣應自日本引進靜岡式箱型乾燥機開始，其後有部份廠家進行仿製，再配合政府 64 年度農機化政策之推廣，乾燥機之應用乃於近四、五年來逐漸奠定其基礎。後來循環式乾燥機引進，在性能上比箱式者為佳，其乾燥速率亦較快，但價格昂貴，而且需配合廠房。目前循環式乾燥機每臺價格當為八萬元以上，而箱式者則在二萬元左右，價格相差約 1:4，而乾燥容量上約為 1:3。

由於循環式乾燥機之出現，以及政策重點之推廣，箱式乾燥機之市場優勢漸失。政府決策機構對此型乾燥機亦失去推廣之興趣，究其原因可歸納如下：

1. 箱式乾燥機本具有一種慢速乾燥之特質，不適用於搶救之用。但本省乾燥機之發展，一向以搶救乾燥為主要急務。而搶救乾燥本身即有急乾，速乾之含義在內，與稻谷乾燥之特質大相逕庭。目前有很多農及對乾燥機之使用常存有此種錯誤之觀念，並以乾燥速率之快慢作為評斷乾燥機好壞之標準。因此農友使用此種乾燥機時，常喜歡提高熱風溫度，有些甚至高達 60°C，造成大量碎米。糧食經收人員因而極力反對使用乾燥機乾燥稻谷，決策人員根據此項事實，對於此種乾燥機亦缺乏推廣之興趣。截至目前為止，此種乾燥機已停止補助款，部份

廠商亦減少或甚至停止製造。

2. 箱式乾燥機為厚層乾燥之型式，因此上下層稻谷之乾燥度不易均勻。上層若欲完全乾燥，則底層有過乾之虞。為使其乾燥均勻，通常在乾燥中途必須加以攪拌，增加甚多麻煩，尤其在攪拌過程中或進出倉期間，灰塵甚多，農友深以為苦。

雖然箱式乾燥機有上述兩種缺點，但事實上只需略加改善即可解決泰半之缺陷。以目前本省農業之耕作型態而言，箱式乾燥機確仍有其可取之處，茲將其優點說明如下：

1. 構造簡單，收藏容易，所佔空間甚小。
2. 容量較小，適合於小農制之使用。
3. 價格低廉，固定成本低。
4. 各種不規則形狀之穀粒均可乾燥，不限於稻穀，因此可作多元目標使用。
5. 可配合其他簡易能源應用。
6. 耗油量少，消耗能源最低。

權衡其利弊得知，箱式乾燥機仍有其存在推廣之價值，我們不能昧著良心說循環式乾燥機好即直接推廣而不考慮其價錢之昂貴。事實上，成本一項在推廣上是一個決定因素。

目前箱式乾燥機之缺點在技術上並非不可克服，只是近年來乾燥機工廠發展雖速，但仍以與日本技術合作或模仿為居多，廠商因此很難有技術性之突破，解決當前之困難，以適合本省地區之使用。當然，機械實用價值之肯定並非單方面技術解決即可完成，事實上仍然需要政府政策與農民使用習慣相互配合方可成事。目前箱式乾燥機無法滿足糧局人員之要求，主要仍然以人為因素居多。一般言農友均求速心切，因此常將熱風溫度過份提高，以致碎米增加。這種情形若不得政府多方勸導，並從收谷標準加以限制，可能任何型式乾燥機都會或多或少遭遇同樣困難。

二、試驗研究目的

本研究將由技術方面改變舊有箱型乾燥機之風向、結構與乾燥觀念，使箱式乾燥機能克服其先天上谷層乾燥不均之缺點，提高乾燥機之效率及乾燥物之品質，使其成為更適合本省農家使用之乾燥機。

此外，在能源之利用上亦希望有較新的突破，

註一：高坂知武教授為農工系教授，現已退休。

使箱式乾燥機本身亦能利用部份太陽能，解決農民在晴天收穫時，棄置乾燥機不用之心理。

三、材料與方法

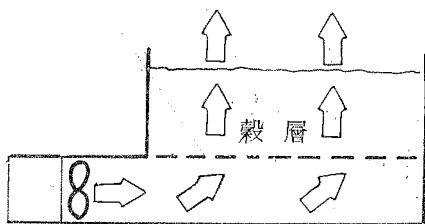
本計劃主要分兩部份進行，其一為就現有之箱式乾燥機進行改良，增添部份機件，以改善其功能；其二為重新設計，設計一套適合本省使用之簡易通風乾燥機械。但不論改良或重新設計，其基本考慮有四項：

- ①維持可隨時拆卸之特性，利於運搬與貯藏。
- ②成本須低廉。
- ③不需高深技術即可製造。
- ④乾燥、通風或利用太陽能等隨時可用。

茲就各部份進行之情形分別說明如下：

(一)改善部份：(往復通風型箱式乾燥機)

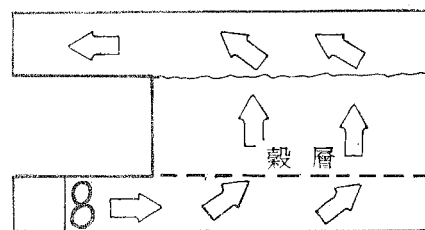
1.觀念：舊有箱式乾燥機均採用單向由下往上送風，其結構原理如圖(一)所示。此時由於谷層靜置



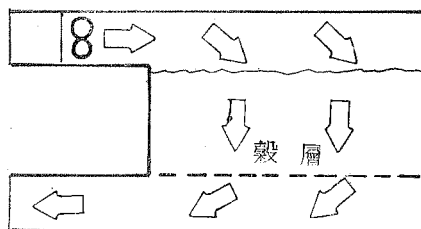
圖一、單向送風之乾燥原理

於多孔板上，厚度為 30 至 40 公分，故熱風先與底層稻谷遭遇，使底層稻谷先行乾燥，而頂層則因上升濕氣凝結，水分無法降低。因此上下谷層之水分含量差異甚大，據試驗，乾燥中途此項差異最大達 11 度之多，至末期方逐漸縮小，但仍有 2 至 3 度之差異。因此乾燥期間必須加以攪拌，方能獲得較均勻之乾燥。

為克服上項作業之缺點，本計劃乃改為上下通風方法，利用風向之變化達成均勻乾燥之目的，其概念原理如圖(二)所示。此時風向在某一段時間由底層往上吹送，如圖(二 a)；在另一段時間內，則改由上層往下吹送，如圖(二 b)。兩種送風方式每隔 2 至 3 小時更換一次，直至上下層完全乾燥為止。



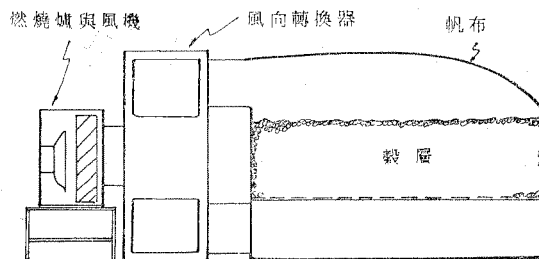
a) 向上送風



b) 向下送風

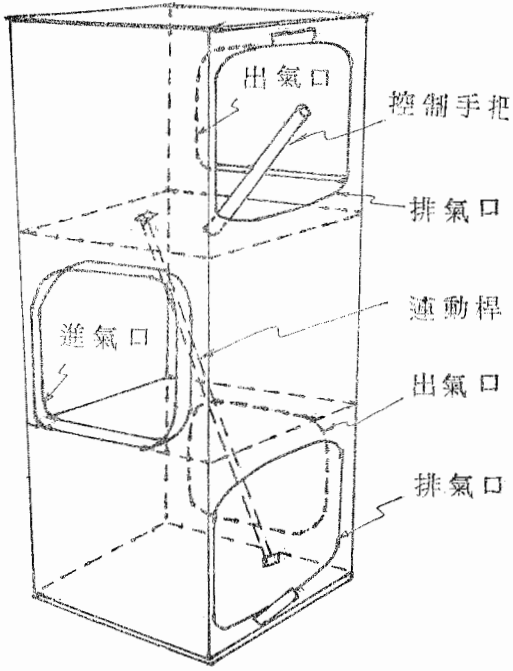
圖二、往復送風之原理

2.作法：利用順光一心號一坪半箱式乾燥機乙臺，進行改善，其頂部以 PE 帆布遮蓋。整個結構係由原乾燥機附加風管，帆布與風向轉換器等部份所組成如圖(三)。風管與帆布連接，此種帆布不透水，故雖在雨天作業亦無阻碍，亦不會漏至谷層內部。帆布四周可裝上拉鍊，以便乾燥期間檢查濕谷乾燥情形。帆布與乾燥機之接合以易拆易裝為原則，目前係採用鉗槽法，以塑膠軟管將帆布壓入 U 型槽內，拆裝簡單迅速為其特點。

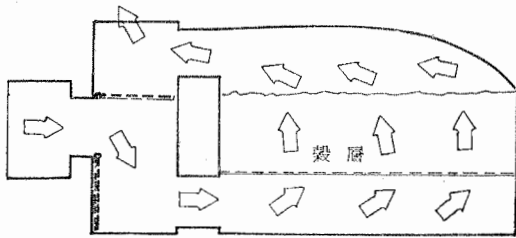


圖三、往復式改良乾燥機之組合

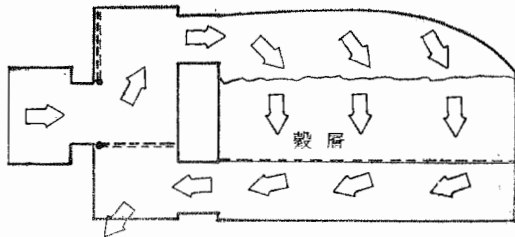
風向轉換器主要功用係將送風方向轉換，其更換動作則以手動控制。只要鬆去暗扣，操作連動排氣門，即可將風向立即轉換。排氣口在送風機之右側(面順風向)，故進氣方向與排氣方向垂直。其構造如圖(四)。排氣口有兩付，但一個開啓另一個必須關閉。進氣口分兩道，由閘門居中控制。其操作圖如圖(五)所示。



圖四、風向轉換器之透視圖



a). 閘門往下，風由下往上吹



b). 閘門往上，風由上往下吹

圖五、閘門控制風向之觀念

(二)重新設計部份：(弧型吸排兩用乾燥機)

1.設計觀念：不論箱式或循環式乾燥機，目前雖在本省推廣甚多臺數，但極大多數之農民實際並未考慮到固定成本的問題，一般農民所重視者，仍以使用成本為先。故擁有乾燥機之農民在晴天季節裏，仍然寧可利用傳統日晒法而不願以乾燥機乾燥。這種情形在南部尤其普遍，有些甚至在第二期作

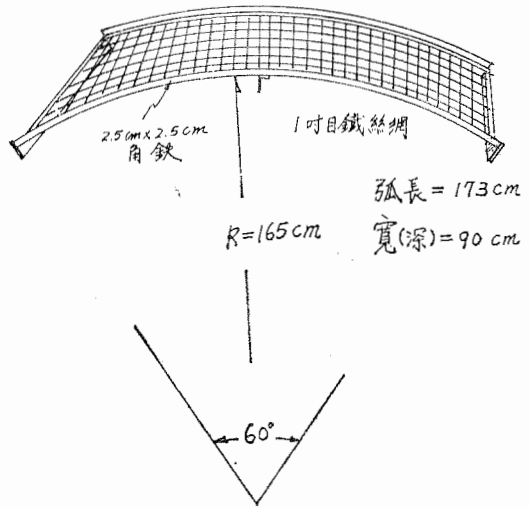
裏均未開機乾燥。當然節省油料是最大理由，另一原因則是對機械之組合，開機不習慣，仍然不如清理晒場，鋪地晒穀來得簡單方便。為此，新式乾燥機械之設計必須遵循兩條原則進行：

①必須堅固耐用，零件愈少愈佳，且可迅速組合。

②必須太陽能與常溫通風方式合併應用。

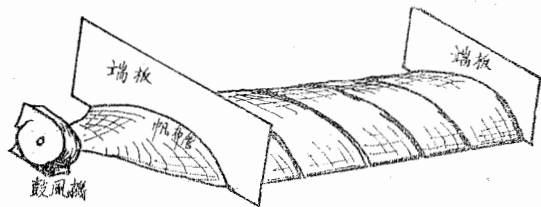
為此，本計劃重新設計一種通風，乾燥兼用型，使其可行常溫通風，亦可以太陽能乾燥。

2.作法：此種弧型吸排兩用乾燥機為許多相同之拱式基本單元並排組成，每一單元之結構如圖(六)



圖六、弧型單元尺寸

所示。其尺寸為 90 cm × 173 cm 彎成 R=165 cm 之圓弧而成。其四周為一吋角鐵，中間為一吋網目鋪成。每一單元之面積約有半坪。使用時，可將各單元排成一行，上覆一層尼龍網，網目 10~12 目，以不透過穀粒為準。其上再鋪以待乾之濕谷，兩側各加一隔板。隔板一端以風管與風機相連。風機採用 Siroco Fan, 1/2 馬力至 1 馬力。其安放情形如圖(七)所示。

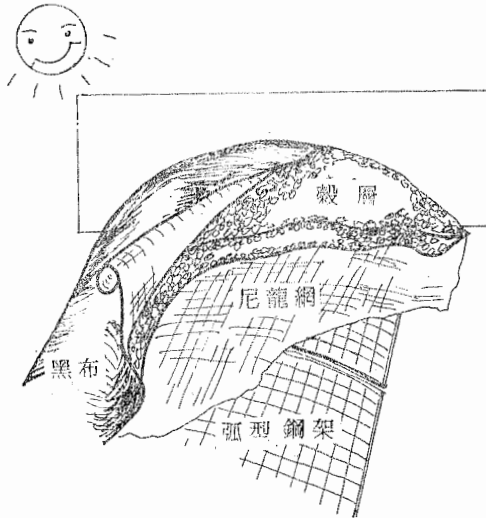


圖七、各單元鋪設後之外貌

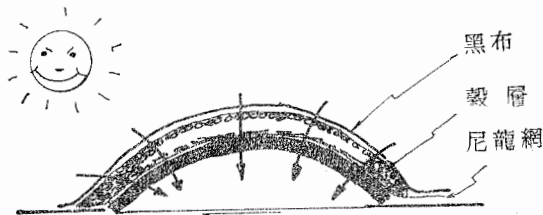
由於各單元數目組成不定，穀層厚度亦可因實

際谷量加以調整。依本設計之資料顯示，每一單元高度 10 公分時，約可貯存 200 公斤之稻谷，若安排九單元成一行，則應可收約 1800 公斤之稻谷，為數亦相當可觀。以目前每農戶平均不足一甲地而言，只需放至 20 公分即足以貯放四千公斤之稻谷，其數量已足夠。

本設計最大之特點是可以充份利用太陽能，其法係在稻谷層面上覆蓋一層可透氣之黑布，谷層底層墊一層尼龍網，其層次如圖八所示，太陽直射之



a. 各層構造



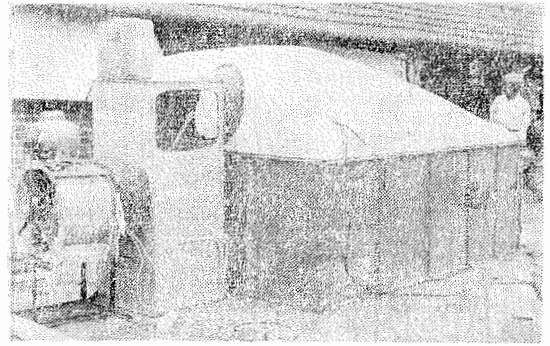
b. 空氣自外吸入

圖八、濕谷安放之層次

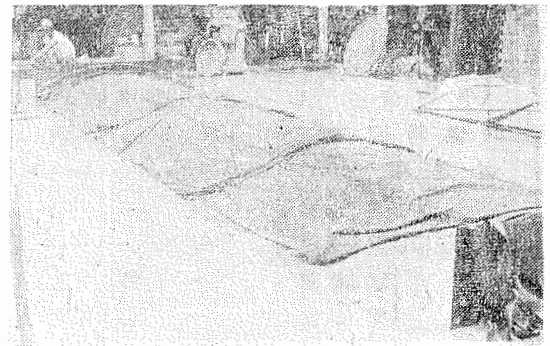
熱量由黑布吸收。此時風機改用吸引之方法，將外界空氣先吸入稻谷層，再經過風機排出。因此新鮮空氣進入穀層前將先經由黑布加熱。在中午時分，經過黑布後之空氣有時可高達 45°C 左右。此種太陽能利用方法可防止太陽直射稻谷，保護稻谷乾燥品質。

(三) 測定

上述兩種機型完成製造後，即於五月十八日南下至臺南縣下營鄉進行實地試驗。總共試驗三次，由於適逢雨季，大部份是陰天，故太陽能部份之測定無法按計劃進行，但仍施以常溫通風試驗。往復通風型箱式乾燥機之裝配如圖九所示，弧型吸排用



圖九、往復式箱型乾燥機之試驗情形



圖十、弧型吸排用乾燥機之試驗情形

乾燥機之試驗情形則如圖十。各種溫度係利用 12 點多點溫度記錄器記錄；含水率則採用紅外線水分測定器測定之。採樣點分四區，每區依上、中、下分別採樣。

四、結果與討論

(一) 改良部份——往復式箱型乾燥機

此次試驗所用稻谷均為蓬萊稻。第一次濕谷重 960 公斤（初期含水率 22.3%），第二次濕谷重 1010 公斤（含水率 26%）；第三次 1080 公斤（含水率 27%）。有關資料如表一。第一次共乾燥 16 小時，乾燥速率每小時為 0.73%，第二次因收穫較早，青粒很多，故乾燥時間特長，總計由 26% 乾至 12.4%，共耗 20.5 小時乾減率每小時為 0.65%。第一次乾燥前已經耙晒過，故初期含水率較低。總計，在此乾燥過程中，通風方向共反覆五次，平均每每次間隔時間為 2.7 小時（試驗時，夜間反覆時間較長），大體上經乾燥後之各層水分含量相當均勻，標準差在 $\pm 1.3\%$ 內。

第二次試驗時，時間較長，風向約反覆 8 次，平均每 2.3 小時反轉一次。此次由於溫度控制情況較佳，因此水分含量比第一次均勻，平均在 $12.4 \pm$

表一、第一、二次稻谷乾燥之水分變化

項 目	第 一 次	第 二 次	
試 驗 日 期	68年 5月19日	68年 5月20日	
大 氣 溫 度 °C	乾 球 25°C	25°C	
	混 球 23°C	23°C	
熱 風 溫 度 °C	45~50	45°C	
初 期 含 水 率 w. b. %	22.4%	26%	
乾 變 化 後 水 分 含 量 %	前 部 (近火爐)	上 層 11.8%	12.6%
		中 層 11.4%	12.5%
		下 層 12.3%	12.5%
	後 部 (遠炎爐)	上 層 11.3%	11.8%
		中 層 13.2%	12.4%
		下 層 14.8%	12.2%
平 均 含 水 率	12.5% ± 1.3%	12.4% ± 0.4%	
總 乾 燥 時 間 hr.	16	20.5	
乾 燥 速 率 %/hr.	0.73	0.65	
耗 油 量	23l	28.4l	
乾 燥 前 / 後 稻 谷 重, 公 斤	960/855	1010/854	
胴 裂 率 %	試 驗 前	—	輕: 5 重: 3
	乾 燥 後	—	輕: 15 重: 5
風 向 轉 換 次 數	5 次	8 次	

± 0.4 %間，水分梯度之分佈情形不比循環式乾燥相差。胴裂率方面，重胴裂增加率為 3 %，輕胴裂增加率為 10 %，遠比舊式箱型乾燥機為佳。

第三次試驗未正式列入記錄，有關資料如表二所示。所有水分樣品均以上層為準，結果發生甚大之偏差，由於此次乾燥經物主要求乾至 15 度即可，故試驗人員僅乾至表層水分為 15 %時即行停機，但結果發現中層之水分含量有一層仍然甚高，達 19.2%。經檢討其原因有三項；其一、為乾燥僅

表二、第三次試驗之表層水分變化 (取樣上層)

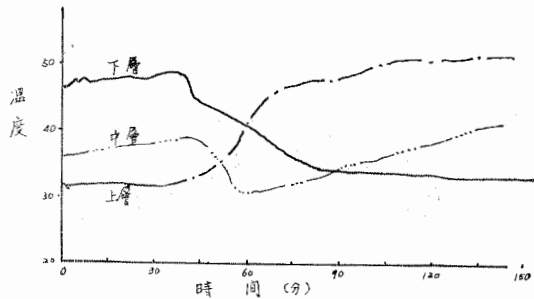
項 目	前 (近爐)	中 間	後 面	平均 值
乾 燥 前 含 水 率 %				27%
各 化 期 內 水 分 變 化	10:00	27%	27%	27%
	12:30	21.5%	21.4%	23%
	3:30	23.5%	19.8%	18.3%
	6:30	15.0%	16.0%	15.0%
	10:30	15.8%	—	15.3%
隔 日 中 心 層 取 樣	19.4%	19.3%	19.0%	19.2%

註：試驗日期：68年 5月11日上午~ 5月21日下午
熱風溫度：50°C

及半途，中心部份仍未及乾燥；其二、所用之溫度過高，約在 50°C 左右，乾燥層之厚度縮小；其三、由於風向轉換器，帆布管加入之關係，原來阻力徒增，風量減小。由上述三種試驗知，乾燥時間均長，其原因應在此。將來除應由風路阻力再加改善，或加大馬力或改換皮帶輪即可改正。不過最重要者，乾燥溫度仍應低於 50°C 為佳。

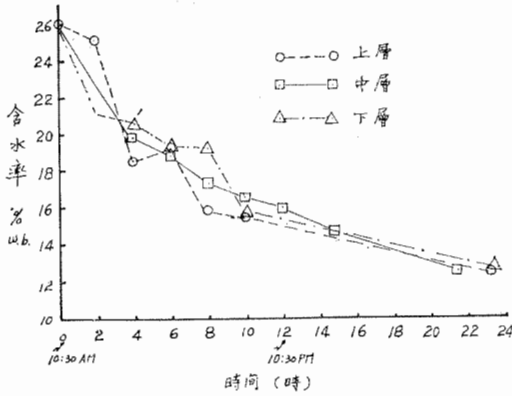
大體上言，此種改良型往復乾燥機最大之優點乃在於不需利用人工或攪拌機械即可達成相當良好之均勻度。由表一所示；第一次溫度較高，但差異仍在 ± 1.3 % 以內，而第二次試驗之成果更為理想，差異僅及 ± 0.4 %，顯然，只要控制妥當即可獲得甚佳之成績。

在胴裂方面，本機係風向往復之乾燥形式。每次以 2 小時操作，故理論上，上層與底層之稻谷分別各有兩小時乾燥而兩小時均化之機會。這種間歇乾燥之方式即為循環式所秉持之基本理論，因此可以大大減低胴裂現象。由穀溫之變化圖可知 (圖十一)：各谷層溫度在風向改變後即產生劇烈變化，此項變化約在半小時後方漸趨穩定。在乾燥前期，上、下層溫度差達 20°C 以上；乾燥末期，此項差距縮小至 5°C~10°C 左右，中層之溫度則呈波浪型變化。



圖十一、熱風方向改變後之各層谷溫變化

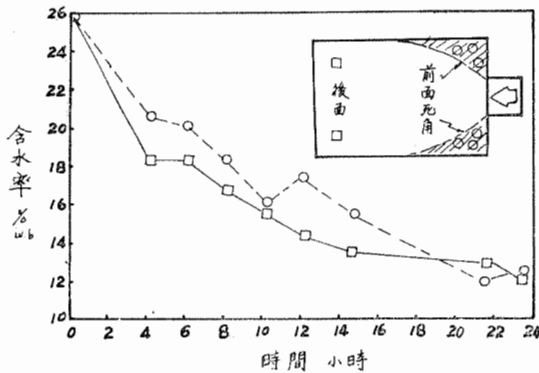
各層水分變化方面，上層與下層大致呈相同之趨勢 (如圖十二)，在乾燥初期，水分明顯地呈梯階式下降。甚至有時在次一循環中，反而有回潮現象。這種回潮純是水分凝結所造成，惟大部份均附着於稻粒表面，並未滲入內部。故第二循環乾燥時，立即降低甚多；以上層為例，第一個兩小時內僅降 0.9 %，但至第二個兩小時內，則降低 6.6 %，第三個兩小時反有增加，但到第四個小時區內，則又降 3.3 %。這種趨勢與下層之水分變化大致相同。但在中層部份之水分則隨時間逐漸下降，並無明



圖十二 谷層含水率之變化

顯之梯階現象存在。故若能以中層水分含量之變化作為判斷指標，對於整個乾燥過程即可有效地加以掌握。

就箱面之水平分佈而言，通常在近燃燒爐兩側邊部份之各層水分含量較高，尤其在乾燥初期，這種現象更為顯著。由圖十三知，即使乾至最後，其水分含量亦相差在 0.5 % 左右。因此，將來若欲獲得更均勻之水分分佈，應設法在風力分佈方面，加以改善。



圖十三 乾燥層前後部之水分變化

綜觀上述各節所論，就水分含量分佈，胴裂率等項目與傳統舊式比較，一切均比後者之性能為佳。在同樣溫度下，舊式乾燥機之重胴裂平均約在 30% 以上，水分含量之分佈上下層差在 5 % 以上。以此數字與本試驗比較，當可獲得客觀之結論。雖然此次試驗之乾燥時間並未縮短，但這與濕谷所含之青粒有關。同時由於利用原機，故在風管及換向器之阻力下，風量亦減低。溫度因此很難控制在 45°C 以內，否則極易熄火。未來仍應朝加強風量方面加以再更善，使其更臻實用。

(二)新設計部份——弧型吸排兩用乾燥機

此種弧型簡易乾燥機在南部試驗期間，因逢雨期，雖偶有陽光，但甚為短暫，測定期間，亦歷經一日之大雨。為此，在下雨期間，將風機之口改向，由谷堆內向外通風，並於谷堆外加蓋塑膠布。此時因屬正壓力，故塑膠布乃自動懸浮於谷層表面上數公分，不必另加支撐，風雨不侵，甚為方便。

在晴天時，則外加集熱用黑布，並採用抽風方式。在試驗期間，濕谷約 1000 公斤，分鋪於九個弧型單元上，厚度 5 至 10 公分，風機為 $\frac{1}{2}$ 馬力。濕谷初期含水率 26 %，由 5 月 19 日晚十時開始通風，其有關資料如表三。

表三、弧型吸排送風式乾燥機之測定結果

時 間	水 分 變 化	
	表 層	中 層
5 月 19 日 10 時 AM	26%	26%
5 月 20 日 9 AM	25.2%	—
5 月 21 日 4 PM	20%	—
5 月 22 日 8 AM	—	21.3%

註：天氣陰雨

由試驗資料得知，通風乾燥曾歷三日，但水分則自 26 % 降至 20 %。若能在艷陽日，則乾燥速率當更加快速。本試驗曾邀請下營鄉當地之農民參觀，並加評價，(如圖十四)，農民咸認為是一項簡單而便捷之方法。由於當時農民已受雨困數日，故有許多農友均希望能立即購置此套機械。



圖十四 弧型簡易乾燥機試驗時當地農民參觀之情形

五、建 議

稻谷乾燥機推廣已五、六年，臺數亦漸增多，但無論型式與結構，仍脫離不了仿造，由本省地區

自行研究發展者反而較少。不過由於區域之要求與使用情況不同，亦會產生不適應之現象。一般言，箱式乾燥機本僅用於低溫乾燥之場合，但本省則因常遇雨期關係，農民將之用於快速乾燥，提高熱風溫度，以致造成大量胴裂碎米。因此建議政府在此方面，應以政策進行宣導，並嚴訂箱谷品質標準。另一方面，更應鼓勵國內從事乾燥機之研究，使乾燥機更臻實用。

本研究之重點主要是利用往復換向通風乾燥之方法，改良舊有箱式乾燥機之缺點。根據試驗結果，不但水分含量之分佈獲得相當程度之改善（最大差異在1%內），而且胴裂率亦降低至10%以內之水準，實不失為一種實用之改善方法，而改良費用在七千元以內，甚為低廉。改善時，只需添加裝置，故甚為容易，目前全省已有一萬五千餘臺箱式乾燥機，故只需政府提供些微補助費，當可全面改善稻米品質，對國家或農民，俾益均大。

此外，弧型吸排兩用乾燥機也是一種簡便、實用之機型。無論通風，太陽能乾燥均可用，尤其容量之伸縮性甚大，頗適合農家之用。其造價在五千元以內，動力僅需一部馬力多翼形鼓風機。很值得臺灣農村進一步推廣。

六、中文摘要

多年來稻谷烘乾機重點計劃推廣之結果，已使本省乾燥機之臺數增至兩萬餘臺，其中箱式乾燥機之臺數最多，約佔67%，遍及本省中北部地區。

但箱式乾燥機最大之缺點是水分含量上下層分配不均，火力若稍加大，即容易造成碎米。技術上，有待進一步改善之必要。

本計劃乃針對上項缺失，對舊式箱型乾燥機之單向往上送風方式加以改良，採用上、下往復通風乾燥之方式，每隔二至四小時風向改變一次，使上下谷層水分含量之差異減至最低程度，胴裂率亦相對降低。依據試驗結果，最終含水率之標準差在±0.4%內。胴裂增加率亦未超過10%，效果甚為滿意，頗值得進一步推廣。

此外為簡化乾燥設備，並利用常溫通風或太陽能進行乾燥，本計劃亦設計一套弧型吸排兩用乾燥機，陰天採用常溫通風，晴天則利用太陽能乾燥。此種乾燥裝置由九個單元拼成，不需鏈接，拆裝十分簡便。頗適合農家之用。

七、謝 啓

此報告係農發會68(AMF)-6.1-009(b)B計劃下完成，在此並感謝林華火與曾瑞雄兩技術員及陳旺盛、朱肇豐等兩位研究助理之協助。

八、參 考 文 獻

1. C. W. Hall Drying Farm Crops AVI Co. 1971.
2. D. B Brooker Drying Cereal Grains AVI Co. 1974
3. 馮丁樹、賈精石、全省現有小型稻谷乾燥機之使用調查分析 臺大農工系 1978.