

## 冷熱式乾燥方法應用於濕穀乾燥之可行性與節能評估 Hot and cold-drying method is applied to dry wet rice feasibility and energy assessment

趙有光<sup>1\*</sup>、姜智然<sup>2</sup>  
Zhao, Yu Kuang<sup>1\*</sup> and Brain Chiang<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>國立勤益科技大學冷凍空調與能源系教授

<sup>2</sup>國立勤益科技大學冷凍空調與能源系碩士在職專班

<sup>1\*,2</sup>Department of Refrigeration, Air-Conditioning and Energy Engineering,  
National Chin-Yi University of Technology

<sup>1\*</sup>E-mail: [zhao@ncut.edu.tw](mailto:zhao@ncut.edu.tw)

### 摘要

本文針對循環式稻穀乾燥溫度與水分含量關係進行研究；模擬循環式乾燥機從事室內基本試驗，藉以取得基本數據，進而加以整理、分析，並與實驗對照組(日照陰乾)結果進行比較和印證。最後以試驗值建立乾燥溫度與水分含量之關係，同時建立資料庫，備供日後循環式乾燥機自動化系統設計之參考，以及從業與設計工作者使用。經實物測試冷熱式乾燥方法確可信賴，分析得下列結果：

1. 所建立的循環式水稻乾燥模式的結果可在一定時間內乾燥MR%=18%(db)以下。
2. 原先顧慮進風溫度差過大會造成樣品胴裂並無發生。
3. 依薄層乾燥方程式之推導採二段式乾燥法並增加進風溫度差可縮短乾燥時間。

**關鍵字詞：**EMC%(溼基) 為穀物之平衡含水率、MR% 為穀物之水分比(含水率)、MCWB% 為穀物之初始濕基含水率

### Abstract

This report is aimed to study for the connection between the temperature and moisture content of the circulating type rice dryer. It is to simulate the circulating type rice dryer by engaging in indoor test in order to obtain the basic data, and thus it is analyzed and compared with the results of the experimental control values. Finally, use the validation tests to establish the data among the temperature and moisture content; meanwhile a database will be created and offer the reference of design for the circulating type rice dryer automation systems and it will help build a successful model for designers use in the future. It proves that the mode is reliable by research. The results are the followings:

**Keywords:** Euilibrium moisture content, EMC、MR% Moisture rate、MCWB% Wet basis moisture content

## 一、前言

自從人類養成定時飲食習慣以來，人們一直在尋求保存食物的最佳方法，盡可能使食物保持得長久一些。特別是在食物歉收的情況下，我們如何才能使食物保存得更加長久。傳統的食物保存方法就僅限於一些天然的方法，如醃製、使用天然防腐劑、日晒及自然冷凍法等。雖然其中的很多方法是行之有效的，但並非完美。

今天，雖然這些傳統的方法仍在使用，但由於現代技術之發展，如電、機器和冷凍設備，先進的食物保存方法更注重食物的味道、營養、保存期以及食用方便性。新的挑戰是“如何發展一種方法能使食物長期地保存，而且不改變它的味道、品質、外表和味道呢？如今流行的食物保存方法有很多，如脫水乾燥法、食品裝罐法、真空冷凍乾燥法等，但到底哪一種方法是最佳的呢？稻穀乾燥問題亦是如此。

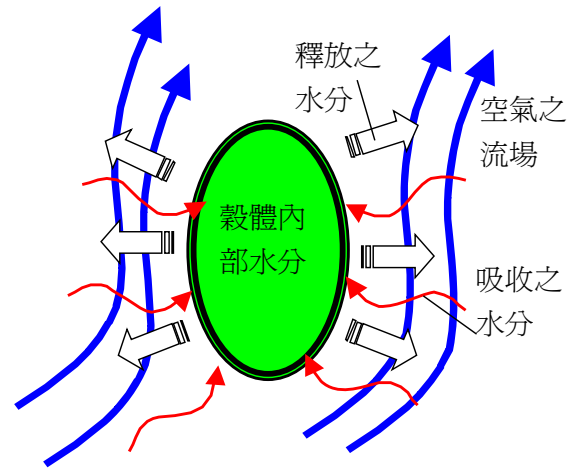
台灣地處亞熱帶，潮濕多雨，作物每年種植兩季，作物因此常需提早收穫，而由於收穫期短，作物之水分含量甚高，必須立即加以處理。以水稻為例，其正常收穫水分約為 25~32%(db)，若遇雨期則達 35%(db)。在此情況下，不但脫粒不易，即使脫粒後，穀粒本身亦極易發芽、發霉、腐爛，以至不堪使用。

為克服此缺點，並延長貯藏期限，收穫後的濕穀應立刻乾燥，使水分降至安全貯存範圍。稻穀若需貯藏一年以上，其水分需降至 13% (db) 以下以減低蟲害、微生物繁殖。若需直接碾米加工，則需降低至 15%(db) 為宜。

國內稻穀乾燥機以循環式為主，其械化程度已達 95% 以上，總推廣台數已超過三萬台。然在技術層面上，仍然須抄襲或仰賴國外之設計資料；現行穀乾燥機皆以燃重油或粗糠為主，不僅耗能亦有環境污染之問題，故其有關自動化濕穀乾燥節能的研究與資料之建立亟待進行。

## 二、穀物乾燥基礎原理及現行主要乾燥方式

1. 稻穀之平衡含水率(濕基)如表(1)：



因為稻穀內部之水蒸氣壓為小於大氣之水蒸氣，穀粒乃自空氣中吸收水分，而因稻穀水蒸氣壓為比環境中之水蒸氣壓高，會對空氣釋放其內部水分。導致平衡含水率(EMC)有此差異之可能原因：

- A. 穀物品種。
- B. 穀物成熟度。
- C. 穀物之經歷過程(水分呈上升或下降之過程)。
- D. 相對溼度測定法及。
- E. 測定平衡水分含量之方式等諸條件之不同所致。
- F. 穀物所在之環境條件。(溫度、溼度、風速等)

表(1)、稻穀之平衡含水率(濕基%)

空氣相對 濕度%	空氣溫度(°C)				
	10	20	30	40	50
10	5.92	5.58	5.31	5.07	4.87
20	7.88	7.44	7.08	6.67	6.51
30	9.39	8.87	8.45	8.09	7.78
40	10.72	10.14	9.66	9.25	8.90
50	11.97	11.33	10.80	10.35	9.96
60	13.22	12.53	11.95	11.46	11.04
70	14.56	13.81	13.18	12.64	12.18
80	16.10	15.28	14.60	14.01	13.51
90	18.18	17.27	16.52	15.87	15.31

2. 稻米含水率與存倉期間之關係如表(2)：

稻米一向被稱國人的主食，其生產主要滿足國內的需求。近年來由於經濟發展和國民所得的提高，國人食米的消費量由民國 61 年每人每年 2020.2 仟公斤降至 99 年的 1063.8 仟公斤，每人每年食米消費量大幅減少了 50%，整體稻米的消費型態已由量的需求轉為質的需求。

現今市場一般皆做為小包裝良質米，使用之稻穀儲存期間不超過半年，其乾燥後含水率約 14~15%。

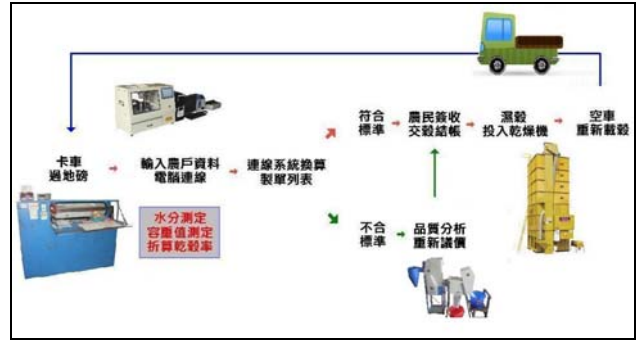
3. 農會現行主要收購及收乾燥方式如圖(1~4)：

近年來政府著手推廣各類型乾燥機，並已開始普遍為農家採用。目前穀類乾燥機以循環型居多，箱型則漸遭淘汰，而以農會為主之乾燥中心也開始在設置之中，機械法乾燥應比傳統日曬法具有更多的優點，除可節省勞力外，乾燥機可縮短乾燥時間且能日夜操作，而且可以任意控制乾燥後之水分，進而確保穀物之品質(100 年全面實施溼穀收購)。

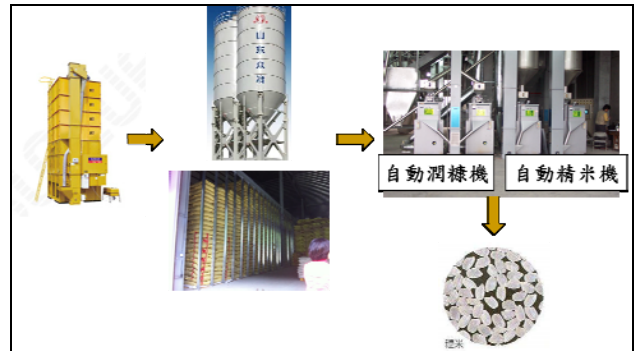
表(2) 、稻米含水率與存倉期間之關係

稻米含水率(%)	存倉溫度(°C)	存倉期間(年)
15	0~10	3
	15	2
	20	1.5
	25	1
16	0~10	3
	10	2.5
	15	1.5
	20	1
18	25	0.5
	0~5	1
	10	0.5
	15~25	儲存困難
20	0~5	0.5
	10~25	儲存困難

圖(1) 現行循環式乾燥機濕穀乾燥流程



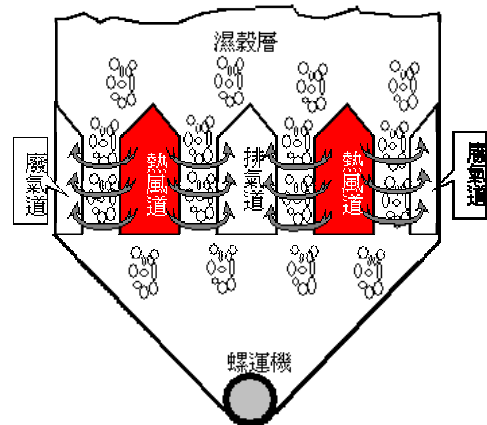
圖(2) 現行循環式乾燥機白米生產流程



圖(3) 宜蘭縣三星地區農會乾燥中心一隅



圖(4) 循環式乾燥機風道示意



#### 4. 現行循環式乾燥機濕穀乾燥所需運轉成本：

##### 實際每單位油耗估算：

- PRO-300 型之單位油耗：(NT\$30 元/L)  
 $9.2 \times 10^{-3} \text{L/KG} \times 30 \text{元/L} = 0.3 \text{元/KG}$  (實際 1.2 元/KG)
- PRO-500e 型之單位油耗：( $\rho=0.8$ )  
 $13.4 \times 10^{-3} \text{L/KG} \times 30 \text{元/L} = 0.42 \text{元/KG}$  (實際 1.3 元/KG)

### 三、系統描述及實驗方式

#### 1. 實際將農戶收割之溼穀分二部份(組)樣品：

- A. 熱冷式循環乾燥方法：260KG
- B. 傳統日照及陰乾：200KG

處理樣品：101 年桃園縣八德市二期稻作

2. 建置之小型模型如圖(5-7)(處理濕穀量：約 300kg)，模擬現行循環式乾燥機濕穀乾燥流程，以每 4HR 以手動切換不同進風條件；同時記錄消耗功率並隨時以水份計抽樣檢驗；最終至樣品達到現行乾燥中心之入倉條件  $MR\% = 18\%$  以下；計算乾燥流程中每單位所需之能耗。

3. 送風條件：以東元窗型冷氣 MW-2658(5000Kcal/hr) 改裝以提供冷熱進風。

4. 另一參考對照組以傳統日照及陰乾之乾燥方式 (處理濕穀量：200kg)。

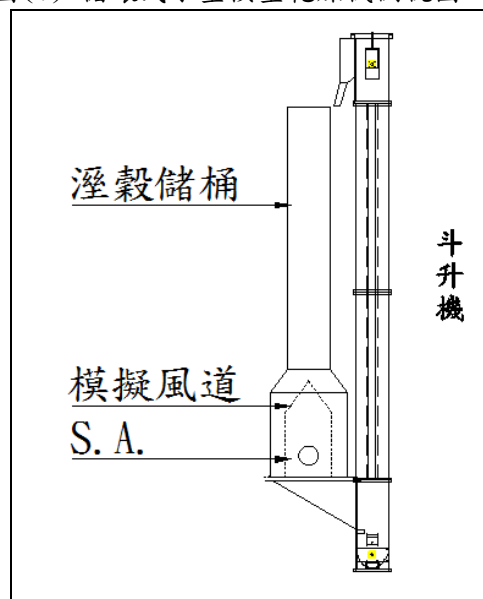
圖(5) 循環式小型模型乾燥機



圖(6) 模型-循環式小型乾燥機



圖(7) 循環式小型模型乾燥機側視圖

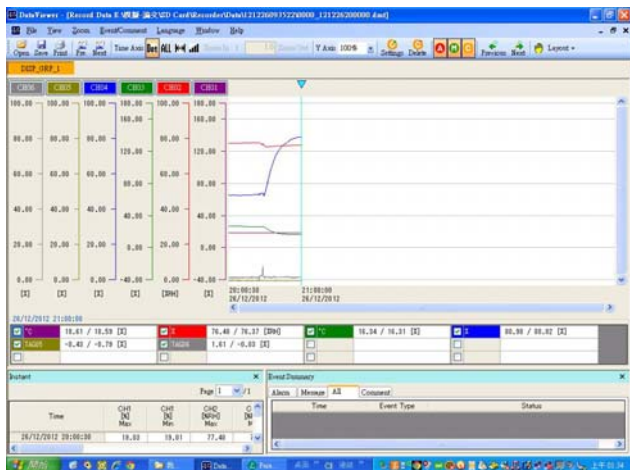


### 5. 量測及記錄方法

#### A: 多點電子式記錄器(久德 TOHO TRM-20):

- i. 溼穀儲桶頂溫度 - 1 點
- ii. 溼穀儲桶頂溼度 - 1 點
- iii. 溼穀儲桶底溫度 - 1 點
- iv. 溼穀儲桶底溼度 - 1 點
- v. 溼穀儲桶頂壓力 - 1 點
- vi. 溼穀儲桶底壓力 - 1 點

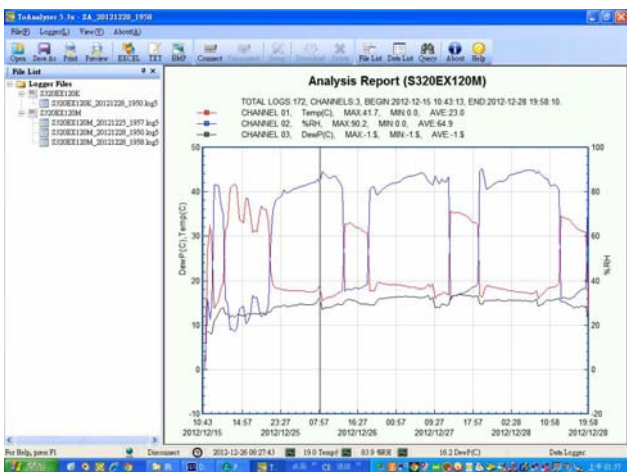
圖(8)



**B: 電子式溫溼度記錄器(JETEC JS-320):**

- i. 入風道溫溼度周期取樣記錄
- ii. 環境(參考)溫溼度周期取樣記錄

圖(9)



**C: 破壞式水份計(SHIZUOKAQB靜岡 CTR-500E)**

- i. 2-4 小時取樣 3 組/次, 並記錄

圖(10)



**D: WH METER (S2-800WH-33)**

- i. 隨時記錄設備消耗 KW 值(斗升機未計)

圖(10)



**E: 味度計(TOYO MA-30A)**

- i. 乾燥完成後以味度計測量白米之食味度

圖(11)



**四、 結果與討論**

實際完成乾燥程序後, 將二組測試樣本及各農會現今量產之相關數據作下劃各項之評比:

- A: 建置成本—不在此文討論
- B: 運轉成本—如下表(表3)
- C: 乾燥時間—如下表(表3)
- D: 成品率—如下表(表3)
- E: 口感味度—如下表(表3)
- F: 實際口感—如下表(表3)

表(3) 、完成品各項評比

	A: 建置 成本	B: 運轉成 本	C: 乾燥時 間	D: 成 品 率	E: 口 感 味 度	F: 實 際 口 感
現行循環型穀類乾燥機		0.3~0.4 元/KG (柴油以 30元/L 計)	24~36HR	65%		
熱冷式乾燥方法		0.365元 /KG (電價以 2.4元 /KWH 計)	36HR	61%	68	缺少高溫碳燒香味
傳統日照及陰乾		0 不計人 工	72HR以上	63%	67	缺少高溫碳燒香味

### 參考文獻

1. 馮丁樹。1988。循環式稻乾燥機之系統模擬及其在個人電腦上之應用。國科會專題研究成果報告。台大農機系發行。
2. 馮丁樹、陳貽倫。1975。稻穀乾燥理論之探討與高溫間歇通風乾燥之研究。農業工程學報 21(2):1-12。
3. 馮丁樹、陳貽倫。1976。台灣省現有大型稻穀乾燥設備之性能試驗與應用分析。農業工程學報 22(2):19-45。
4. 張森富。1988。Modification of Henderson's EMC model and EMC isotherms of local paddy and corn. 農業工程學報 34(1):16-39.
5. U.S. Grains Council 20 F Street NW, Suite 600 Washington, DC 20001。Http://www.grains.org

### 五. 誌謝

本研究所需相關資源繁雜，由於八德農會、龍潭農會、三星農會、池上農會及三久公司、佳昌公司梁總經理、東延公司劉董事長、健祐科技的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。