

# 高粱種穗靜置厚層乾燥特性研究

## A Study on Deep-bed Drying of Ear Sorghum

臺灣省農試所農機系

臺灣省種苗繁殖場

臺灣省農試所農機系

臺灣省農試所農機系

陳加忠

游祥芳

賴建洲

曹之祖

Chia-chung Chen

Shang-fang Yu

Chien-chou Lai

Chih-tsu Tsao

### 摘 要

爲設計實用性高粱種穗乾燥設備，在此研究中進行高粱穗乾燥特性試驗。試驗結果顯示此種不規則農產品乾燥熱風之能源利用率低，風壓之分佈極不規則。由不同溫度和風量之乾燥方式得知高粱穗經處理後的萌芽率對於乾燥溫度十分敏感。雙向通風爲解決穀層上下層含水率不均勻問題的唯一方式。此研究所得之結果可爲不規則形狀農產品乾燥設備設計之參考。

### ABSTRACT

In order to design a practical device for the drying of ears sorghum, some investigations had been conducted in this study. Experimental results indicated that the energy utilization of drying air for ear sorghum was pretty low. The pressure distribution of drying air was irregular. Traditional deep-bed stationery drying is then recommended, using two-way drying method to reduce the gradient of grain moisture. Experimental results of drying with different flow rates and temperatures of drying air for each drying stage reveals that the germinating ratio are sensitive to drying temperatures. The design criteria of drying device for agricultural products with irregular shape can be obtained from this study.

### 一、前 言

雜交高粱臺中5號種子發芽率偏低爲此品種推廣之嚴重問題。由於種穗無適用之乾燥設備，以致於只能以人工方式進行晒場曝曬乾燥，因此容易造成乾燥作業無法及時完成。高粱種穗採收時種子含水率約32%，以人力方式晒乾至適合脫莢作業之含水率（18~20%，濕基）則需7至10天，乾燥速率緩慢。加以夜間露水高濕回潮作用，種穗容易變質

，因而影響萌芽率，提高高粱種子成本。爲提高農民水田轉作高粱之收益，急需研製適用之高粱種穗乾燥設備。

本試驗在於利用靜置式乾燥方式，探討風量，乾燥厚度對高粱種穗乾燥之影響，以期能設計一套實用之高粱種穗乾燥設備，並以此瞭解不規則形狀之農產品乾燥特性。

### 二、乾燥理論

穀物本身為一生物體，在潮濕的環境中，其平衡蒸氣壓（ $P_g$ ）小於大氣蒸氣壓（ $P_a$ ）時，穀物將自周圍環境吸收水份。反之，若穀物平衡蒸氣壓大於大氣中水蒸氣壓力，穀物將失去水份。在乾燥作業中，穀物被置於熱風之中，熱量進入穀物內部提高穀溫，也提高穀物之蒸氣壓，而空氣在加熱後其蒸氣壓降低，因此  $P_g$  與  $P_a$  之差異增加，穀物內水份移出之驅動勢（driving force）亦為之增大。隨乾燥作業之進行，穀物逐漸失去水份， $P_g$  與  $P_a$  之差異逐漸減少，直至此趨動勢到達平衡。在此階段之最後含水率通稱為平衡含水率（EMC：Equilibrium Moisture Content）。然而高粱穗之平衡含水率並無文獻參考，高粱穗之乾燥研究亦無前人之研究。

在傳統穀物乾燥中，作業的對象為規則性穀物，定置式乾燥法為主要方式。此方式中熱風自底層進入，自頂端排出。在其通過穀層時，將穀粒內的水份移出（因溫差、壓力差……等交互因素），而轉移至熱風之中。自乾燥作業開始進行後，即有一乾燥帶形成，自底往上逐漸移動。在此乾燥帶中穀物水份自最初含水率降至平衡含水率，熱風因熱量被用以蒸發水份並提高穀溫，其溫度自最初加熱溫度降至與穀粒溫度相等。在薄的穀層或高空氣速率之情況下，乾燥帶往往涵蓋所有穀層。

在此種乾燥過程中，往往假設乾燥作業為一絕熱過程（Adiabatic process），因此在濕氣圖上被視為一種等濕球溫度過程（Wet bulb processing）。

為使加熱空氣通過穀層以進行乾燥作業，風扇之選擇十分重要。由於穀粒本身為緊密堆積，風阻力量大，此風阻通稱為壓力降（pressure drop），風扇之目的即於熱風進口處施以正壓力，使熱風順利通過穀層。

### 三、實驗材料與方法

(一)、材料：採自宿根田區，平均長度25公分，穗柄長約3~5公分。

(二)、設備：

1. 乾燥試備設備：如圖1所示

2. 計測儀器：

0~50kg 磅秤，共立牌風速儀，玻璃溫度計（0~200℃），掛式乾濕球溫度計，溫度自動記錄器（Autodate Logger）40點輸入乙

臺。

3. 大發牌貨櫃式乾燥機。

(三)、試驗方法：

1. 設定加熱溫度：因高粱種子所能忍受之乾燥溫度為40℃，此試驗以溫度自動控制器保持恆溫。

2. 風量的設定：以通風入口之大小分別以(a)全開（46.8CMM）(b)半開（23.4CMM）(c)開五分之一（10.0CMM）。

3. 高粱穗含水率之取樣與測量：在乾燥試驗過程中，為了避免取樣不均勻，採用重量減輕法進行觀察，即在乾燥前先測得該框內穗的淨重後並在間隔時間分別測得淨重，乾燥前後將樣品置於烤箱，得一實際含水率作基準（130℃，36hr），再換算乾燥過程時各階段之含水率變化。

4. 能量需求量之比較：此研究中以每公斤穀層每小時移走之水份所需之熱量為比較基準。

(四)、試驗程序：

1. 自嘉義朴子鄉宿根田中刈取高粱穗，置於冷凍庫中保存，實驗前先取出使其溫度回升，待試驗材料已近於常溫，分別裝於預製之鐵網框中，以自然平整之高度，並取部份材料進行乾燥前含水率及發芽率之測定。

2. 裝設溫度記錄器

將自動記錄器的熱耦線的探針分別接至試驗設備內，情形如圖1。

3. 利用風速儀測量風速以調整各裝置之風量。

4. 開機乾燥之前以自動控制設定溫度，開始進行試驗後，依不同時間間隔量取高粱穗之重量變化。

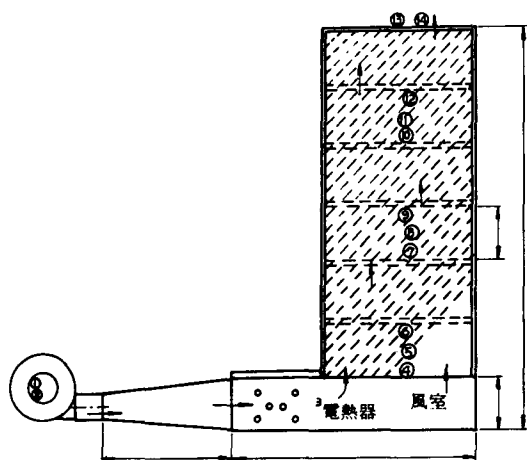
### 四、結果與討論

1. 定溫定風量乾燥

(1) 穀層溫度之變化

最大風量（46.8CMM）時厚層穀溫之變化如圖2。出口熱風溫度（曲線13）之分佈介於底層和中層之間，由此可知熱風熱量並未充份利用而造成能源損失。底層之溫度於第1小時內提升至30與35℃之間，在15小時後才緩慢上升。

最小風量（10.0CMM）之穀溫分佈於圖3。穀層的溫度差距更大。出口熱風溫度介中層（曲線7、8、9）與上層（曲線10、11、12）之間。顯



(1)進風口乾球(2)進風口濕球(3)加熱後入乾燥室前(4)底層底部穗間(5)底層中部穗間(6)底層頂部穗間(7)第三層底部穗間(8)第三層中部穗間(9)第三層頂部穗間(10)第五層底部穗間(11)第五層中部穗間(12)第五層頂部穗間(13)頂層出口處乾球(14)頂層出口處濕球。

圖 1. 高粱穗厚層乾燥試驗設備

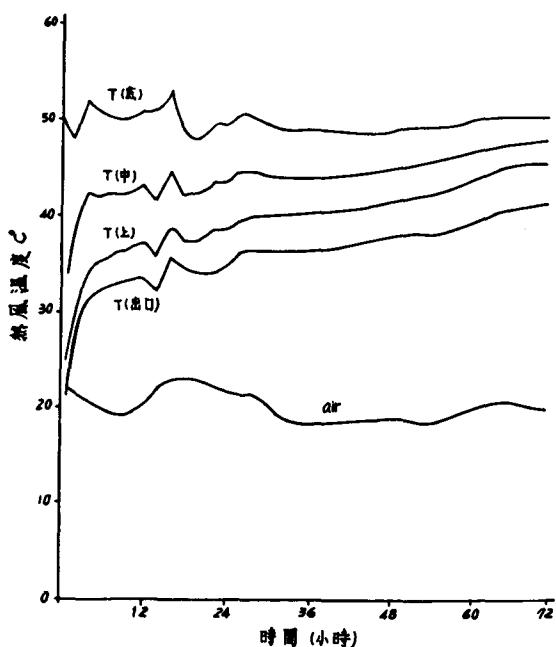


圖 4. 玉米穗厚層乾燥各層溫度之變化  
( $Q = 10.0 \text{ CMM}$ )

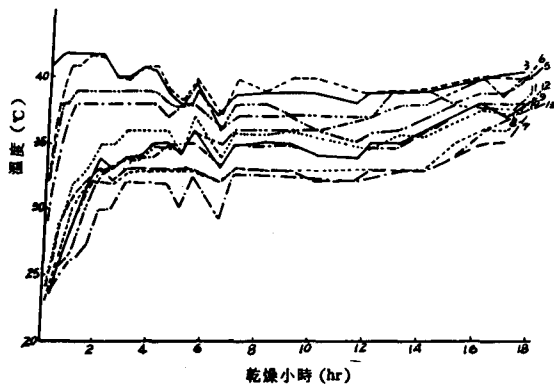


圖 2. 高粱穗厚層乾燥各層溫度之變化  
( $Q = 46.8 \text{ CMM}$ )

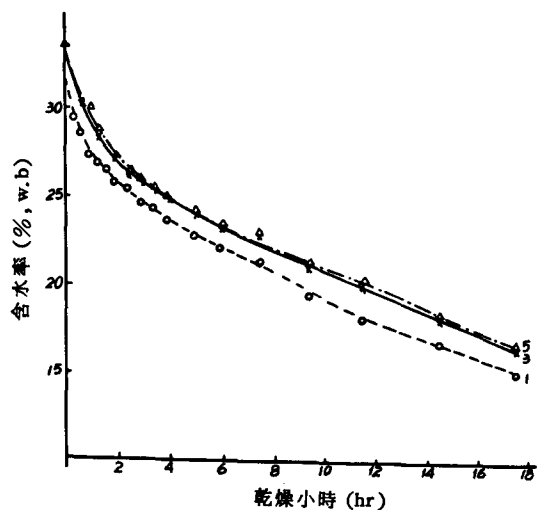


圖 5. 厚層乾燥含水率之變化  
( $Q = 46.8 \text{ CMM}$ )

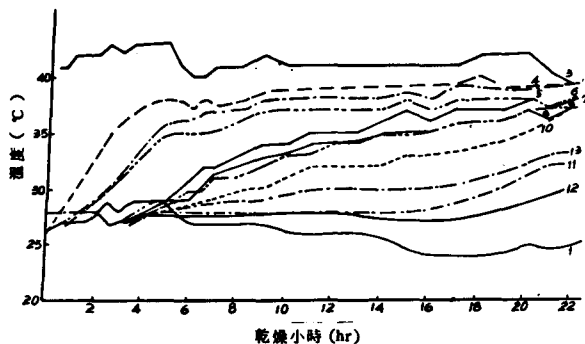


圖 3. 高粱穗厚層乾燥各層溫度之變化  
( $Q = 10.0 \text{ CMM}$ )

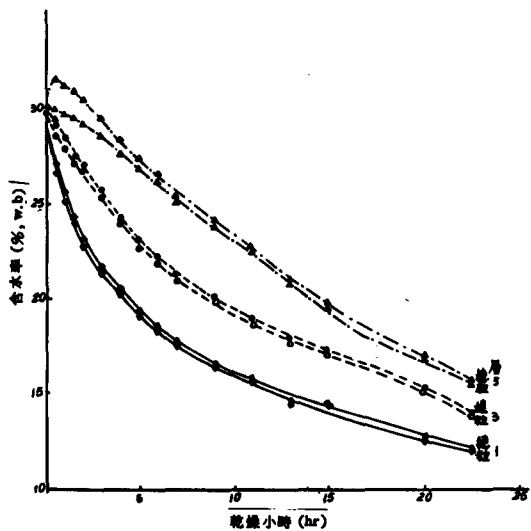


圖 6. 厚層乾燥含水率之變化  
( $Q = 10.0 \text{ CMM}$ )

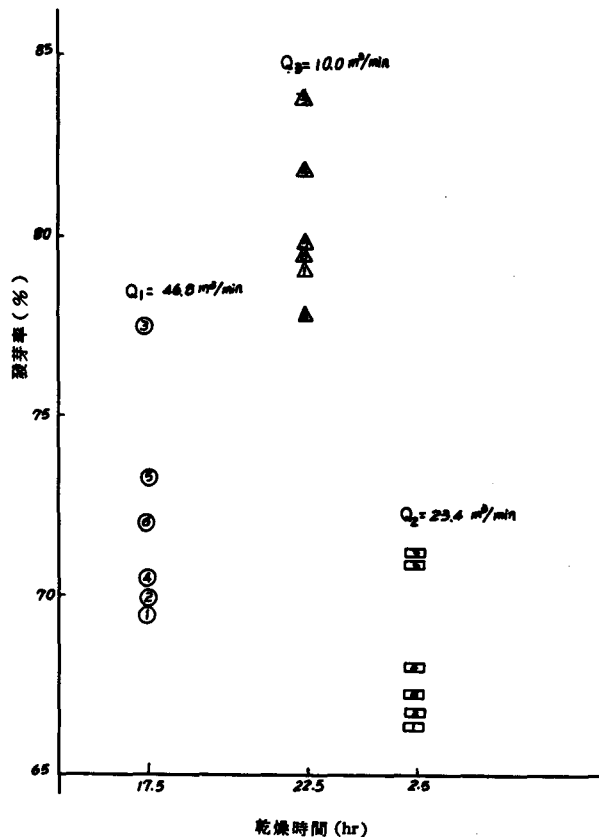


圖 8. 厚層乾燥與發芽之關係

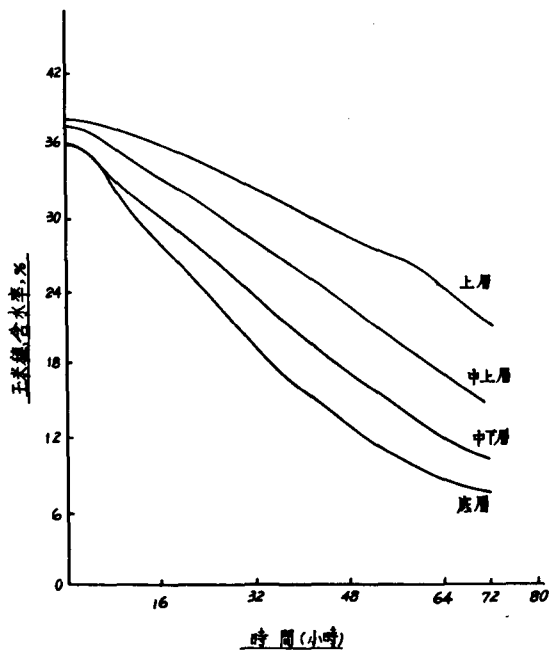


圖 7. 玉米穗乾燥各層含水率之變化

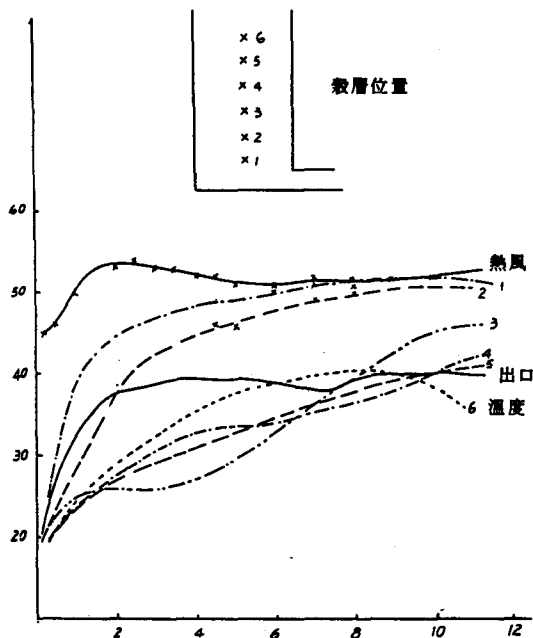


圖 9.  $50^\circ\text{C}$  乾燥熱風溫度對數層溫度之影響

示此熱風所帶能量被利用比例比大風量時為高。在最初 6hr 之內，中、上層穀溫增加有限，乾燥作用不良，此為厚層乾燥作業低風量應解決之問題。

規則性農產品厚層乾燥各層溫度之分佈以玉米穗為代表進行比較（馮氏，1986）。由圖 4 熱風溫度為 50°C，出口溫度遠低於中層和上層，顯示熱風能量被各層農產品陸續吸收，因此被利用之比例極高，與不規則農產品乾燥比較，其能源損失比例少。

## (2) 含水率之變化

三種風量對高粱穗乾燥時含水率遞減之影響如圖 5，隨著風量之遞減，層間含水率之差距也隨之加大。風量最大時（46.8CMM），第三、五穀層之含水率相近，風量為 23.4CMM 時，各層含水率之差異性逐漸增大，風量最小時（圖 6），此差距性更加顯著，在小風量，上層的含水率有先增加而後減少的現象。由此可知風量與穀層溫度對於乾燥效果的影響極大。

玉米穗厚層乾燥之含水率變化曲線（馮氏，1986）。如圖 7 所示不同層含水率之差距近乎相等，與高粱穗之不規則差距性相比，可知規則性農產品乾燥過程中含水率之遞減隨層間距離較具規則性。

## (3) 發芽率

厚層乾燥中，各層發芽率於圖 8。最小風量時發芽最高。比較六穀層的發芽率，二種風量都有類似之趨勢。底層的發芽率最低，此原因可能因熱風之直接接觸時間較長所影響。中層之發芽率最好。上層之發芽率低於中層，此原因可能受到乾燥初期部分回潮引起催芽作用而降低了發芽率。

## (4) 熱能需求量

厚層乾燥的熱能需求量列於表 1。大風量（46.8CMM）的耗費熱量為小風量（10.0CMM）的 3.3 倍。因此大風量厚層乾燥作業並不經濟。

表一、厚層乾燥方式之熱量需求量

| 厚度 (cm)       | 46.8   | 23.4   | 10.0   |
|---------------|--------|--------|--------|
| 熱能需求量 (kj/kg) | 60,950 | 43,702 | 18,534 |

## (5) 風壓損失

對厚層高粱穗各層不同位置進行風壓量測，數值差異極大，最高與最低值差距高達 30 倍。此原因可解釋為不規則農產品堆疊時分佈不均勻，熱風容易自空隙逸出，因此不具規則性。在乾燥風量設計

時，風壓需求條件比規則性農產品尤低。

## 2. 變溫變風量乾燥

在實際作業時，為達到良好作業條件，實驗前先調整熱風之風量與溫度。在乾燥初期，以大風量和高溫（高於定溫 40°C）之作業條件進行乾燥作業。使高粱穗穗軸中所含水份迅速蒸發逸出為強風所帶走。另一方面高溫高風量應可使穀層溫度迅速提高與均勻分佈。在各層穀溫都已提昇至 40°C 之後，溫度與風量需要降低，以維持穀層溫度而持續進行乾燥作業，並減少能源浪費。

以 50°C 之溫度進行全程乾燥試驗時，穀層之溫度分佈如圖 9。中、上層之溫度增加仍屬有限，但是發芽率降低却十分顯著（上、中、下層之發芽率分別為 50.0、46.5 與 32.0%），可知高粱粒的發芽率對於溫度十分敏感。

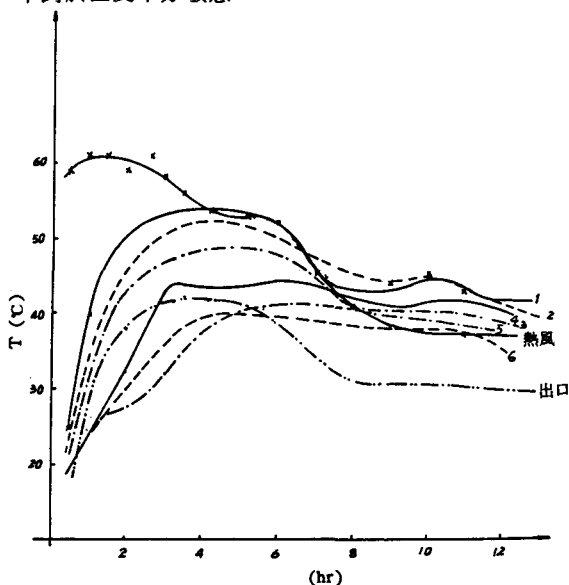


圖 10. 不同階段熱風溫度對穀層溫度之影響

以熱風 60°C 乾燥六小時後，再調整為 40°C 之乾燥溫度，其穀層溫度分佈如圖 10。穀層 1 之溫度增加迅速，2、3 層在 2 小時後也到達 40°C，但是穀層 4、5 與 6 之增加有限，對於提高乾燥效果並無顯著改良。穀層 1 之發芽率因溫度影響而降低。

以 60°C 熱風乾燥 3 小時後，50°C 熱風乾燥 3 小時，最後以 40°C 完成乾燥，此乾燥過程之溫度變化如圖 11。此種方式對於提高穀層溫度之效果最佳。在發芽率方面，上中層的發芽率為 75.3 與 68.3%，但是下層之發芽率降至 33.5%。若能以雙方通風方式，減少穀層長期置於熱風之時間，發芽率應有改

善。綜合有關研究最佳之乾燥作業應用流程建議如下：

雙向通風：60°C（3小時），50°C（3小時），40°C（餘程），雙向通風上下風向改變之間隔可設為1.5小時。

熱風乾燥溫度，乾燥時間對高粱種穗發芽率之影響，需要進一步之探討，以瞭解在大於40°C之乾燥空氣而不影響發芽率的忍受乾燥期限。

#### 四、靜置式乾燥機性能探討

利用現有靜置式乾燥機進行高粱穗乾燥，穀層高度為120公分，因穀層內數據取樣不易，含水率之變化唯有量取表層之樣本。

##### (1)穀層變化

典型穀溫之變化如圖12。此分佈與厚層乾燥之溫度分佈相同。

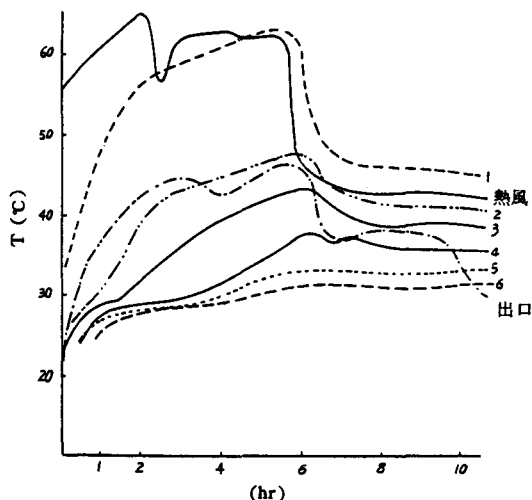


圖11. 不同階段熱風溫度對穀層溫度之影響

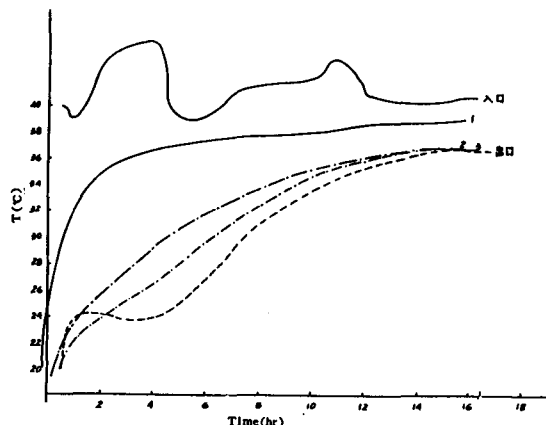


圖12 靜置式乾燥機穀層溫度變化

##### (2)各穀層穀溫分佈均勻性

為比較穀層溫度之分佈是否因入風口之距離而有所不同，各穀層有六抽樣點（任意值），以三穀層高度（固定項）取得之溫度，依序進行變方分析，結果均顯示穀物溫度只因穀層高低而不同，同穀層之間，溫度十分均勻，無顯著之差異存在。

##### (3)含水率

在最初含水率極高27%之狀況下，需要二十小時才能到達所需之脫粒含水率。在頂層最後含水率為21.1%時，中層為17.8%，底層為15.9%含水率的差異性極大。因此利用雙向通風為唯一可行之道。

##### (4)發芽率

經定置式乾燥機處理後之高粱粒，其發芽率並顯著無影響，可知此型乾燥機在發芽效果方面可適用。

#### 六、不規則農產品之乾燥特性

傳統的農產品乾燥的作業對象均為形狀規則之穀物如玉米粒、高粱粒、稻穀等。在乾燥作業時，由於穀粒間堆積緊密，風阻係數大，乾燥空氣所携之熱能為穀粒吸收之比例極高，熱效率較高。在風扇之配置設計時，風壓之條件十分重要，以用以克服穀物之風阻。不規則之農產品（如高粱穗、蒜頭、藥草等）之乾燥特性與規則性外形之穀物差異極大。由於農產品堆疊時空隙大，熱風容易自空隙逸出，因而熱能為穀物吸收的比例較低，而且由於穀溫不易提高，乾燥效率差。風壓之需求條件之重要性反而不如規則性穀物。綜合上述條件，不規則農產品乾燥作業之要求在於縮短穀物加溫所需之時間而不耗費過多的熱源。所以適用的作業條件如下：一方面在不影響品質的溫度極限下，以高風量高溫進行初期乾燥作業，而再逐漸降低乾燥空氣的風量和溫度。而在初期高風量過程中，可以以熱風回收方式減少能源浪費，在風扇設計時，風量之要求可以降低風速，加大入口面積，以減少電力之需求。另一方面，農產品之堆積不可太厚，以免降低熱效率。綜合上述條件，多層每層淺積之農產品，為最佳之工作對象。泛用型之乾燥設備應能具備上述條件。

## 結 論

1. 由高粱穗乾燥研究可知不規則農產品其熱風量之

有效應用比規則性農產品尤少。能源損失比例大。  
。風壓分佈極不均勻。

- 2.傳統式厚層靜置乾燥方式為高粱穗乾燥之可行方式。為減少靜置式厚層乾燥上下層含水率的差異性，雙向風方式為一可行之改良方式，但將增加進出倉之作業問題，此為實用性高粱種穗乾燥設備設計之留存問題。
- 3.大於40℃之熱風溫度，在不影響發芽率的條件下，高粱種穗所能忍受之乾燥時間期限，應有詳細之研究。
- 4.不規則農產品之乾燥特性與規則性之穀物差異極大，由高粱穗的乾燥特性可提供此類農產品泛用型乾燥機之設計參考。

### 參考文獻

- 1.馮丁樹，1985，飼料玉米乾燥特性之研究，中

國農業工程學報31卷1期，pp. 37-55。

- 2.馮丁樹，1986，高粱與玉米穗乾燥處理與調製機械化試驗研究——換向式通風乾燥玉米穗之研究，七十五年農機研究發展與示範推廣報告，臺省政府農林廳，pp. 128-138。
- 3.陳加忠、賴建洲、曹之祖，1989，高粱穗乾燥模式之研究，中華農業研究 38(2):261-275。
4. Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W. and C. W. Hall. 1974. Drying cereal grains, AVI pub. Conn.

收稿日期：民國79年 9月17日

修正日期：民國79年10月26日

接受日期：民國79年11月 5日

(上接第114頁)

### 謝 誌

本試驗承行政院農業委員會79農建一 7.1—糧—99(1)計畫之經費補助，由合作廠商裕農農機股份有限公司提供一部表演用之插秧機作為改造之用，計畫執行期間承本場吳場長育郎，作物環境課課長鄭榮賢等全力支持與指導及農機研究室同仁陳秀文、游景昌、章正忠、梁明傑、黃龍等先生之協助，文稿承行政院農業委員會謝清祿先生斧正，謹此致謝。

### 參 考 文 獻

1. 王明茂 1983 動力水田深層施肥機之改良與示範，本場試驗報告
2. 王明茂 1984 動力水田深層施肥機之改良與示範，農機研究發展與示範推廣報告 72年度
3. 王明茂 1985 插秧機附掛深層施肥機改良與

李明堆 示範，農機研究發展與示範推廣報告 74年度

4. 農機化研究中心 1986 力虎牌 LF-2 型深層施肥機，新型農機具性能測定報告彙編 NO. 154
5. 西川吉和 1987 施肥田植機による水稻の隔條中央施肥法，土肥誌 57(1)
6. 農林廳肥料技術小組 1987 作物施肥手冊——水稻，指導員手冊181A—土肥 7
7. 前田忠信 1990 側條と深層基肥による水稻の生育調節，農及園 65(6)
8. 植田榮藏 1990 高生産省力の稲作に關する實證調査，技術と普及

收稿日期：民國79年 9月13日

修正日期：民國79年10月26日

接受日期：民國79年11月 8日