

拖車式乾燥機乾燥落花生之研究

Drying Peanuts in a Trailer-type Dryer

國立宜蘭農工專科學校農業機械工程科助教

楊 江 益
Chiang-Yi Yang

國立台灣大學農業機械工程學系所教授

馮 丁 樹
Din-Sue Fon

摘 要

落花生為台灣重要的雜糧作物之一，但乾燥機的使用仍然不甚普遍，以致於常因乾燥及儲藏不良而發霉，引起黃麴毒素的污染。本研究主要在探討落花生在拖車式乾燥機中進行乾燥時之乾燥特性。以45℃之熱風溫度，0.31m/s之平均乾燥風速，對118公分的花生層深度分下、中、上三層以及近風口、中間風口、遠風口三處之水分與溫度變化進行實驗分析。另以乾燥拖車進行乾燥實驗，探討不同花生層厚度對風量固定在220CMM及熱風溫度45℃時的乾燥速率之影響。結果發現：118公分的花生層厚度其上、下層之水分變化差異太大，易造成乾燥效果不均勻。

有關風量對乾燥速率的影響，經室內乾燥試驗結果，若將熱風溫度設定在40℃左右，乾燥之平均風速即使提升至0.44及0.48m/s的風速，不僅兩者結果並無顯著的差異，其乾燥速率與拖車以0.38m/s之平均風速乾燥比較，亦無明顯加快。實驗結果顯示，以拖車式乾燥機乾燥落花生時，在殼層深度不超過80公分下，以45℃的熱風溫度以及0.31m/s的平均風速，皆可在48小時左右完成乾燥，這是相當可行的乾燥條件設定。落花生在乾燥前若加以瀝土處理則乾燥效果會更好。

關鍵詞：落花生，乾燥，拖車式。

ABSTRACT

Peanut is one of the important crops in Taiwan, but more acceptable dryers for peanuts are still to be developed. Normally, incorrect drying and curing always result in mold growth and high contamination of aflatoxin in the grains during storage.

A study on drying characteristics of peanuts in a trailer type dryer was investigated at an air temperature of 45℃ and air flow rate of 220 CMM for a depth of 118cm. Effects of air temperature and drying rate on various layers of peanuts were evaluated. Distribution of air temperature, velocity and peanut moisture contents during drying were measured and discussed. Drying peanuts of 118 cm in depth has shown that high moisture gradients exist in

the grain layers. The air speed ranging from 0.38m/s to 0.48m/s had only little effect on the drying results. With an air temperature of 45 °C controlled to dry through a depth less than 80cm, the quality of the dried peanuts was found highly acceptable to the most local farmers. However, it is most recommended that extra separation operation was needed to remove the attached dirt before peanuts were put in the trailer dryer for drying.

Keywords : Peanuts, Drying, Trail-type.

一、前言

落花生為台灣重要的雜糧作物之一。其用途中約 15 % 供種子用，15-20 % 供榨油，其餘 65-70 % 供食用。根據研究報告指出，花生種子經過 55 天的生長，其莢果中有機物的累積情形為：水分 49.8 %，單糖 0.3 %，雙糖 8.0 %，其他則為脂肪及乾重。當花生之水分含量降低時，其代謝活動即受到抑制。此時種子呈現休眠狀態，可以長期儲藏，不致腐壞或變質（楊，1992）。

由於本省氣候多濕常因乾燥不良及儲藏不當而發霉，其中尤以黃麴毒素的污染最為嚴重。據調查，本省花生及花生醬之污染率最高達 75 %，黃麴毒素的含量高達 30 ~ 750PPB。食用後危害國人健康甚大。黃麴毒素生育的最適溫度為 24 ~ 25 °C，水分含量為 12 ~ 18 %，故花生莢果之水分量須降至 12 % 以下才能安全儲藏。只是目前所使用的乾燥機，多針對稻穀或玉米而設計，農民在使用穀物或玉米乾燥機乾燥落花生時，由於缺乏關於落花生乾燥參數的參考資料，以至於常因為乾燥失當而影響到落花生的品質。故落花生乾燥機的研究開發，為台灣花生農極須解決的問題。

台中種苗改良繁殖場自民國 77 年開始引進拖車式乾燥機，並利用其乾燥高粱等作物。結果不僅較一般乾燥機更能減少勞力，而且乾燥效果亦相當令人滿意。如果拖車式乾燥機亦能適合於落花生的乾燥，則可增加拖車式乾燥機的使用率，減少勞力消耗及降低成本，使花生農更能有合理的收益。

本文之研究目的仍是針對落花生之乾燥作理論性之探討，並針對拖車式乾燥機乾燥落花生進行實驗，以瞭解其使用性能。

二、文獻探討

熱風溫度

研究落花生之乾燥，熱風溫度、花生含水率以及熱風量是相當重要的參數。當花生進行乾燥時，若過分提高花生粒溫度，則容易增加破損，降低油脂回復性以及蛋白質品質。表 1 所示為熱風溫度對花生品質之影響情形。

儘管文獻中大多建議乾燥溫度為 35 °C，但 Paine(1969) 卻以實驗證明：以平衡含水率 10 % 為基準，顯性加熱提昇溫度 12.5 °C 時，其品質最好；提昇 6.9 °C 時次之；而 13.9 °C 則最差。台灣地區氣候潮濕，相對濕度多在 70 % 以上，若以平衡含水率 10 % 為基準，且大氣溫度為 32.2 °C，此時若採用 Paine(1969) 的建議提昇熱風溫度 12.5 °C，則熱風溫度應可設定為 45 °C。

表 1. 不同熱風溫度對落花生乾燥品質之影響

熱風溫度°C	落花生品質之影響程度	資料來源
35 °C	最佳的熱風乾燥溫度	Woodroof, 1966
> 43.3 °C	會有不良影響	Woodroof, 1966
> 48.8 °C	會產生惡味	Pickett and Holley, 1957
> 54.5 °C	發芽率便會受到傷害	Bailey 等人, 1954
> 57.2 °C	花生便會產生嚴重的惡味	Beasley 與 Dickens, 1963
超過 60 °C	發芽率幾乎完全喪失	李, 1987

含水率

Woodroof(1966) 指出：先將落花生置於田間曝曬一至三天，待含水率降至 18 % 至 24 % 時再行乾燥，其效果最好。但落花生莢果之含水率，若介於 25 % 至 35 % 時，建議穀層之厚度為 3 呎 (91.44cm)；若水分含量超過 35 % 時，則建議之穀層厚度降為 2 呎 (61cm)。在乾燥或儲藏中的落花生，最容易受到黃麴素的污染。黃麴菌生長的最適

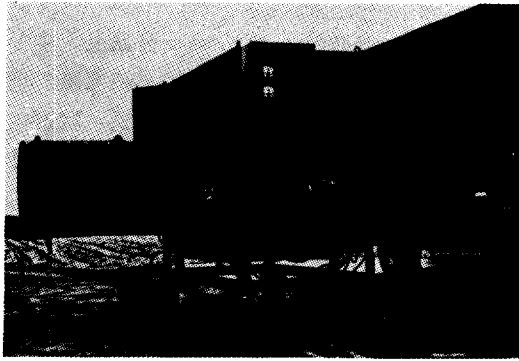


圖 3. 熱風發生裝置

(二) 實驗方法

1. 熱風溫度的設定

由於臺灣的氣候，相對濕度多大於 55%，且剛採收之落花生其莢果水分含量多在 40%~50% 之間。根據文獻的資料，熱風溫度設定在 45℃。室內實驗中，亦將試驗 40℃ 的情況，以作為比較。

2. 乾燥風量的設定

拖車式乾燥機的風量是依 Steele(1974) 的風阻方程式，與熱風產生器的風機特性曲線繪於一圖，兩曲線相交而得。假設花生厚度為 75cm，結果可得風量約為 220CMM，此成為本實驗之設定風量(圖 4)。

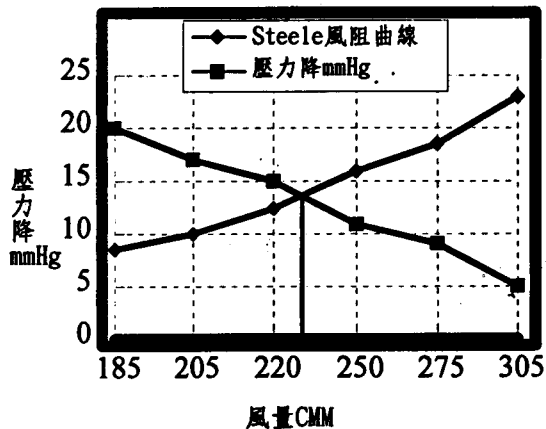


圖 4. 利用風機及花生通風阻力曲線求取通風量

3. 含水率測點與溫度測點的安排

本研究採用的乾燥方式是莢果混合乾燥。分別在距乾燥車底層 10cm、60cm 以及 110cm 等三

層做測點的安排，依序記為下、中、上層。未滿 10cm 則僅測量下、中兩層。溫度與含水率之測點安排如圖 5 所示。每層都有四個溫度測點以九個含水率測點。為明白整個乾燥過程中最慢的乾燥點之乾燥特性，於中央處增加一個溫度測點。整個乾燥車倉其測點的放置原則如下：

- (1) 所取測點盡量避免邊壁與中心可能造成的差異。
- (2) 含水率測點在取樣測量時，盡量避免影響到溫度測點。

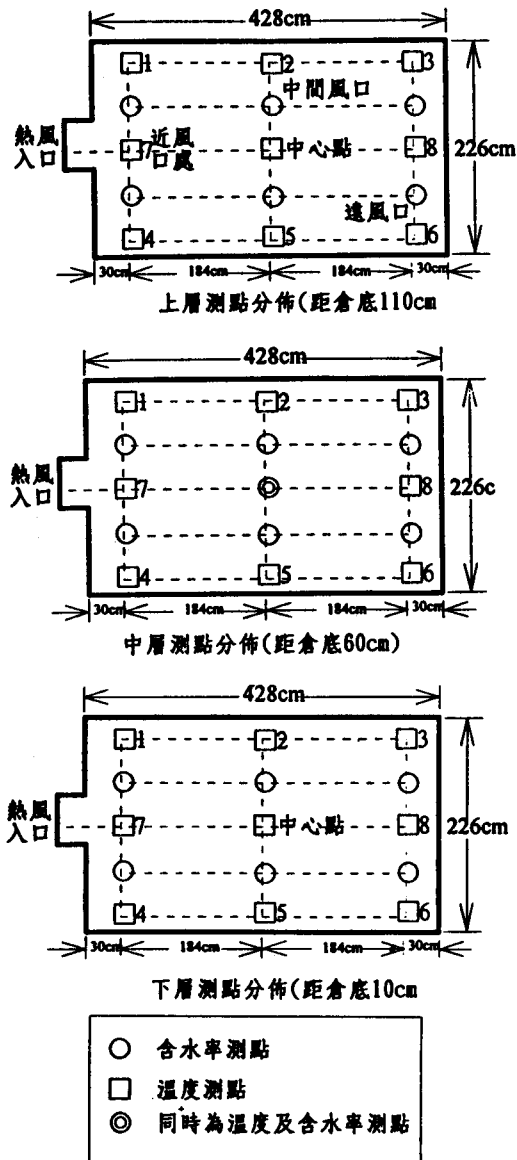


圖 5. 含水率與溫度測點之安排情形

至於室內乾燥試驗裝置，由於純為做乾燥性質之比較，故測點的放置較為簡單。設計為三個乾燥室各一個溫度測點及一個含水率測點。測點的放置原則與拖車式乾燥機相同。溫度測點在乾燥室中央，而含水率測點則放置在乾燥室中央偏上方(如圖1右側所示)。無論拖車式乾燥機或室內乾燥試驗裝置，均以熱偶線(T-Type)為溫度感測器，將感測的溫度資料傳入溫度記錄器中記錄下來。

4. 水分測定法

含水率的測定方法，是參考 ASAE 第 410.1 號之標準，但採用乾基計算含水率。先以分樣器取得均勻之隨機樣本。接著分別以下列公式測定花生殼與花生仁之含水率：

$$\text{果殼含水率}(\%) = \frac{\text{最初含水率} - \text{乾物重}}{\text{乾物重}} \times 100$$

$$\text{果仁含水率}(\%) = \frac{\text{最初果仁含水率} - \text{乾物重}}{\text{乾物重}} \times 100$$

$$\text{莢果含水率}(\%) = \frac{\text{最初莢果含水率} - \text{總乾物重}}{\text{總乾物重}} \times 100$$

為了使體積縮減率的誤差減至最小，取樣的量為每個培養皿放十顆大小及形狀相似的落花生(果殼、果仁分開)。接著將分開後的落花生在 $130 \pm 3^\circ\text{C}$ 的溫度下，以烤箱烘烤 6 小時。

5. 風量的測量

風量是以日本 IET 風速計量測，誤差值為 $\pm 3\%$ 。拖車式乾燥機是以熱風產生器出口之風門處測風量；至於通過花生層風量的測量，則以風速計於花生層的最上層分八點進行測定；另外在室內乾燥試驗裝置的部分，風量的校正則是以風機冷風入口處做校正。量測點在整流板至乾燥處之間。

6. 落花生乾燥前的處理

實車試驗的落花生是將剛採收的落花生直接放入乾燥車倉內乾燥。乾燥前有否瀟土，則視農民的要求而定。至於室內乾燥試驗，是先將購買剛採收之落花生，置於 4°C 之冷藏庫中冷藏。實驗前取出置於室內，待落花生之溫度回昇至室溫後，再將其投入乾燥箱內乾燥。放置時，並預留取樣層，以便取樣測量落花生之性質。

7. 分析方法

本研究對花生層溫度以及含水量分佈情形的探討，是以上、中、下層以及遠風口、中間風口、近風口分析。由於考慮到乾燥車倉的中央處含土量很高，可能影響到分析結果，故測點採 1 與 4 一組，2 與 5 一組，3 與 6 一組等三組作比較。最後，綜合各分析資料的結果，判斷拖車式乾燥機乾燥落花生的最佳乾燥條件。

(三) 實驗步驟

1. 實車試驗：

- (1) 由種苗場與農戶接洽試驗日期。
- (2) 完成試驗器材的設置。
- (3) 開機乾燥後六小時，取樣測量第一筆資料，以後每隔四小時取樣測量一次。量測的資料有溫度、含水率、風量以及相對濕度。
- (4) 以乾燥前後花生層的高度降，計算體積縮減率。

2. 室內乾燥試驗：

- (1) 重複實車試驗的步驟(3)。但取樣間隔為 6 小時。
- (2) 以乾燥前後花生層的高度降，計算體積縮減率。

四、結果與討論

(一) 乾燥溫度變化

拖車或乾燥機乾燥落花生之溫度變化曲線如圖 6 所示，上、中層的溫度在 10 小時內便已達到

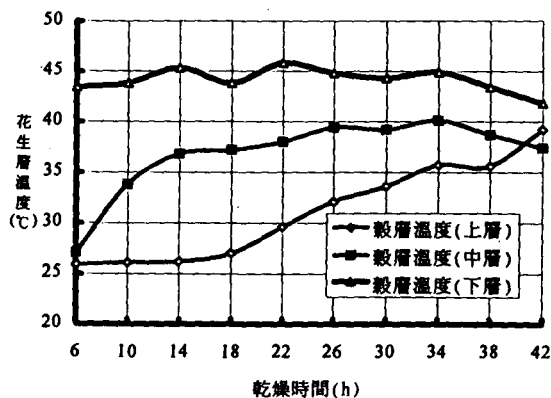


圖 6. 乾燥花生之各層溫度變化情形
(殼層厚度 118cm，熱風溫度 45°C ，風量 220CCM)

令人滿意的乾燥溫度；而上層在乾燥過程中為前10小時是維持在25℃，幾乎沒有乾燥效果，反而容易造成黃麴毒素的污染，對落花生的品質有不利的影響，故在乾燥時應盡量避免採用。由圖6亦可看出：三層的溫度最後將趨近40℃左右。因為熱偶線(T-TYPE)有±0.5℃的誤差，所以在乾燥42小時時產生2℃左右的震盪，當為難免。至乾燥於均勻度方面，可由圖7看出。其均勻度甚為良好，前後之溫度差約在兩度左右，而愈近乾燥後期，其前後之溫度分佈愈為均勻。

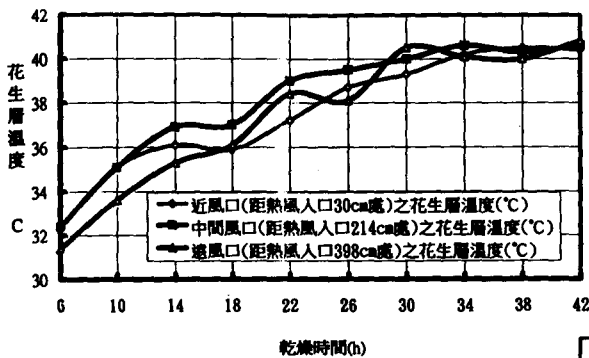


圖 7. 乾燥拖車上，各區段處之溫度變化情形

含水量之變化

以乾燥速率對拖車式乾燥機乾燥落花生時之均勻度進行分析時發覺在圖8中之三個風口其乾燥曲線幾乎是要重疊在一起。也就是說以乾燥速率來考慮拖車式乾燥機乾燥落花生時之均勻度，在同一水平面上是可以被接受的。

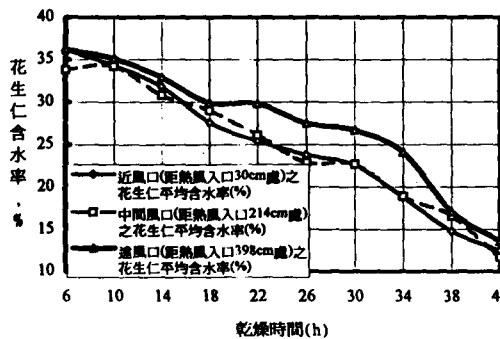


圖 8. 拖車乾燥時各處花生果仁之含水量變化情形

在研究落花生莢果混合乾燥時，花生仁與花生殼含水量變化的相關性是非常重要的。因為花生殼含水量關係到從花生仁中蒸發出來的水分是否可以透過花生殼進入空氣中。圖9為上、中、下三層花生仁含水量對花生殼含水率的變化情形，表2為莢及果仁間含水量之關係。

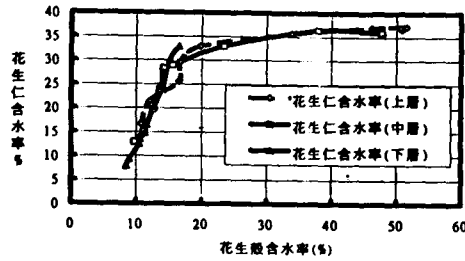


圖 9. 拖車乾燥時各層花生仁及花生殼之水分變化關係

表 2. 拖車乾燥期間，上、中、下三層莢、果含水量之關係

花生層位置	莢、果仁間之含水量關係	相關係數	適用範圍及說明
下層	$y = -21.1 + 3.268x$	0.987	果殼含水量低於18%
中層	$y = -18.8 + 3.133x$	0.952	果殼含水量低於16%
上層	$y = -0.76 + 1.699x$	0.939	果殼含水量低於20%

(註) 試驗條件：相對溫度77%、熱風設定45℃、風量設定220CMM
 y = 果仁含水量(乾基), % x = 果殼含水量(乾基), %

儘管試驗所得之曲線是指數曲線，但截取曲線中段接近線的部分發覺：中層與上層的落花生在花生殼含水量乾燥至16%至18%之間時，花生仁含水量即對應成直線下降。更可由表1之斜率知道，當果殼含水量降至18%以下時，果仁含水量即以每小時1%左右的速率下降，下降的速率雖然以下層最快，但兩者相差不大。至於上層，在花生殼含水量乾燥至20%時，花生仁含水量與花生殼含水量之間亦有線性關係出現。但其下降斜率較為緩和。此乃由於下、中層之花生仁含水量與花生殼含水量成線性關係時，其花生粒溫度都在40℃左右；而上層之花生仁含水量與花生殼含水量成線性關係時，其花生粒溫度只有35℃左右。故18%之花生殼含水量可以用來做為拖車式乾燥機乾燥落花生時，莢果混合乾燥之乾燥速率指標。在乾燥過程中越早使花生殼含水量下降18%

左右，乾燥速率越快。

(三) 溫度對花生殼乾燥速率之影響

由前節所述，既然花生殼含水率是花生仁乾燥的一項重要的指標，則可以籍由花生層溫度對花生殼的含水率的影響，來探討花生層溫度對拖車式乾燥機乾燥落花生時乾燥速率之影響。圖 10 中之曲線及數據顯示：在上、中層之花生殼部份，其含水率都在排氣溫度約 27°C 左右時發生急遽變化。等到花生層溫度接近 37°C 時，花生殼含水率的變化就變得很緩慢。我們也發現上、中層在 27°C 至 37°C 之間的乾燥曲線，其斜率是相當接近的。由此提供一個很重要的資訊就是，若能將花生層的溫度儘快提升至 27°C，使花生層的溫度上升至 37°C，將有可能節省落花生的乾燥時間。為達此目的及配合花生殼需先行乾燥方能乾至果仁部位的情形，乾燥初期可採高溫（如 50°C）乾燥，使果殼含水率提前下降至 18% 以下，當有助於乾燥速率的提昇。此點亦是將來開發拖車式乾燥機乾燥落花生之自動化系統時的一項重要的溫控參考數據。由圖 10 的曲線可以假設：以堆積乾燥曲線來描述落花生乾燥時之水分變化情形是可行的。

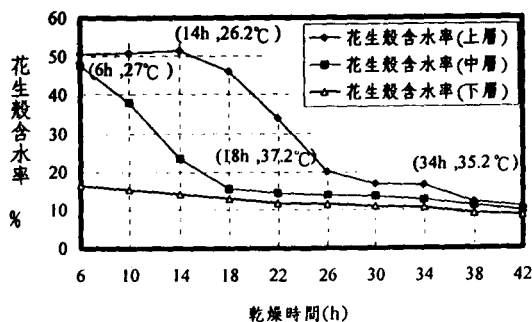


圖 10. 乾燥期間花生殼之水分變化情形

(四) 花生層厚度之影響

拖車式乾燥機乾燥落花生時的厚度設定，可由圖 11 的曲線來判斷。花生莢果堆積厚度 118 公分以下時僅需 48 小時，最濕層果仁含水率便可降至 12% 以下。但層間含水率最大差距為 5.17%，平均差異為 3.61%，顯示乾燥效果並不均勻。圖中，上層落花生的花生仁含水率，在整個乾燥過

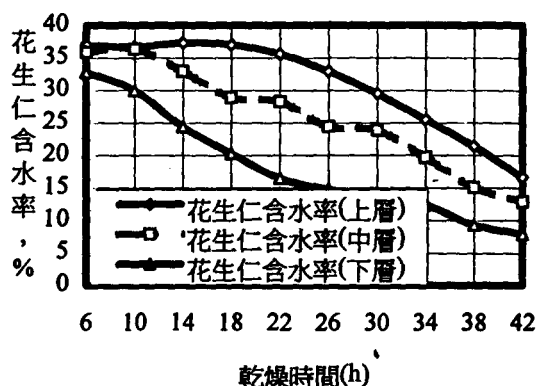


圖 11. 乾燥期間花生仁部份含水率之變化

中，其前 24 個小時的乾燥效果並不十分明顯。亦即以現有之風量，利用 118cm 的花生層厚度乾燥可能太厚。所以以二分法取 60cm 測點與 110cm 測點的中間值 85cm 為參考指標做實車試驗。以拖車乾燥機進行實地田間測試結果如表 3 所示。由幾次實車試驗顯示，雖 80cm 左右之花生層厚度可以節省乾燥時間，但是乾燥過程中有局部發霉的現象，反而在 75cm 以下時，乾燥時間不但明顯縮短，乾燥過程中亦無發霉的現象。故以 75cm 為花生層厚度的指標是相當可行的。

表 3. 不同花生層厚度之試驗結果

日期	地點	花生層厚度 (cm)	乾燥時間 (h)	乾燥過程中有無發霉的現象
80.06.22	台中	64	45	無
80.06.23	台中	63	45	無
80.06.23	台中	50	45	無
80.06.23	台中	68	50	無
80.10.29	台中	118	61	切斷水分提前2%,局部發霉
80.10.29	台中	86	53	局部發霉
80.12.06	元長鄉	62	36	切斷水分提前5%,無
80.12.18	元長鄉	75	41	無
80.12.21	元長鄉	84	58	局部發霉

(五) 風量之影響

根據上節的推論，設定花生層厚度為 75cm 應屬合理之舉。根據張 (1987) 對容積風量比的定義（即總風量對整體花生體積之比值），可因此對这台拖車乾燥機獲得一特定比值，其值應為 $0.52\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$ 。利用此值，對室內模擬之風量作一比較。經室內乾燥裝置進行不同單位容積風量對

莢果混合乾燥的實驗，結果發現容積風量比在0.52與 $0.58\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$ 間時，其對落花生的乾燥速率並無太大的影響(圖12)。若以此容積風量比換算為拖車式乾燥機所使用的風量，則應分別為220至336CMM。亦即，在使用拖車式乾燥機乾燥落花生時，風量若設定在220至366CMM之間並無法明顯提升乾燥效果。所以對拖車乾燥機之風量仍然採用220CMM。表4為利用此風量對不同厚度的落花生進行乾燥試驗。其單位容積風量比在0.32至 $0.75\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$ 的範圍，但對乾燥速率的影響並不顯著。

表4. 花生殼層厚度對果仁乾燥速率的影響(註1)

花生層深度(cm)	相對濕度(RH) %	單位容積風量比(註2)	初含水率(%)	乾燥時間(h)	末含水率(%)	乾燥速率(%/h)	瀘土
50	88	0.758	39.9	36	16	0.65	未瀘
62	82	0.611	36.6	36	16	0.58	已瀘
63	88	0.601	39.7	36	16	0.66	已瀘
65	85	0.583	36.5	40	16	0.51	未瀘
68	88	0.557	40.1	41	16	0.59	未瀘
75	80	0.505	36.2	37	16	0.55	已瀘
84	83	0.461	36.3	39	16	0.52	未瀘
118	77	0.321	37.2	42	16	0.50	未瀘

註1: 溫度設定:45°C、風量設定:220CMM

註2: 單位為 $\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$ 。

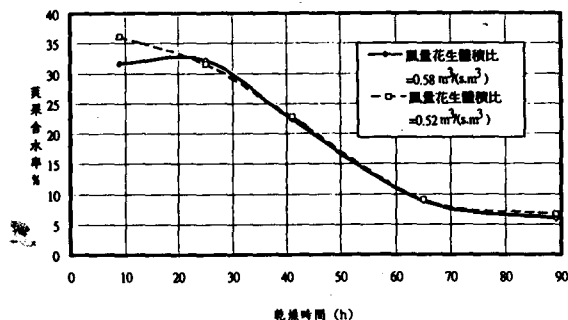


圖12. 不同容積風量對莢果乾燥速率之影響

(A) 熱風溫度之影響

拖車式乾燥機是以燃燒高級柴油提升熱風溫度。如果將熱風溫度降低，則可以節省燃油的消耗，降低成本。但熱風溫度對乾燥過程常有顯著之效果。圖13是採用不同溫度設定之乾燥的情形。第一種方式係於初始採用30°C行實車試驗。但24小時後仍無法發揮乾燥的效果，其次將溫度提升至35°C，但經14小時後乾燥速率仍然緩慢。

最後在溫度提升至45°C方完成乾燥。另一次試驗完全以45°C熱風進行實驗，結果20小時後即開始下降，約比前者提早12小時(兩次實驗分別在80年12月5日及12月21日進行)。足以證明45°C熱風溫度應為花生之合適乾燥溫度(圖13)。

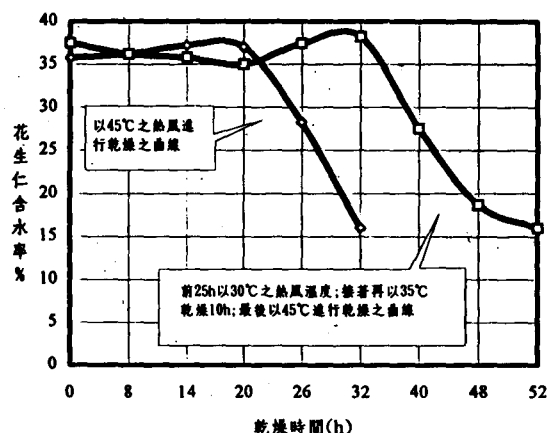


圖13. 不同熱風溫度對乾燥速率之影響

(B) 瀘土作業之影響

落花生收穫時，常附帶許多土壤，這種土壤若不先去除，常會影響乾燥效果。故瀘土作業對以拖車式乾燥機乾燥落花生的過程甚為重要。瀘土作業有助於熱風能均勻地分佈到每個花生粒，其正面的效果是可以預期的。如表4所示，瀘土後的落花生，如果其花生層厚度是在75cm以內，不但完成乾燥的時間都很接近，而且乾燥時間也較之未瀘土者短，乾燥效果更能为農民所接受。故為提昇乾燥效果，在人力及時間可以許可的情形下，最好都能在乾燥前先進行瀘土作業。如此更有助於縮短乾燥時間以及降成本。

五、結 論

1. 以45°C之熱風溫度，單位體積風量比在0.32至 $0.75\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$ 之範圍內，乾燥落花生是相當可行的方法。而單位容積風量比介於0.5至 $0.6\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$ 之間時，對整體乾燥速率並無顯著之影響。
2. 花生莢果堆積厚度118公分以下時僅需48小時，最濕層果仁含水率便可降至12%以下。但層間含水率最大差距為5.17%，平均差異為3.61

%，顯示乾燥效果並不均勻。一般言，花生在乾燥前若先瀘土，其乾燥效果較均勻。若花生層厚度不超過 80cm，其效果亦較為良好。

六、謝 誌

實驗進行期間承蒙農林廳種苗改良繁殖場多方的協助。並提供許多寶貴的經驗，謹此致謝。

七、參考文獻

1. 李廣武。1987。落花生循環式乾燥機之初步設計研究。農工學報 33(3):1-?。
2. 張漢聖。1987。落花生乾燥方法之研究。農工學報 33(1):3-11。
3. 楊江益。1992。拖車式乾燥機乾燥落花生之研究。碩士論文。台北：國立台灣大學農業機械工程學研究所。
4. Bailey, W. K., T. A. Pickett and J. G. Futral. 1954. Rapid curing adversely affects quality of peanuts. Georgia Agri. Expt. Sta. Bull. IS261.

5. Beasley, E. O. and J. W. Dickens. 1963. Engineering research in peanut curing. N. C. Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. No. 155.
6. Dickens, J. W. 1957. Observations related to the flavor of bulb-curing peanuts. Proceedings Association of southern Agricultural Workers. 54:37-38.
7. Paine, M. D. 1969. Constant wet-dry bulb differential controller used for peanut dryer control. Trans. of the ASAE 12(6):741-744.
8. Pickett, T. A., and D. T. Holley. 1957. Shrinkage in curing peanuts. Ga. Exp. Sta. Paper No. NS. 315.
9. Steele, J. L. 1974. Resistance of peanuts to airflow. Trans. of the ASAE 13(3):573-577.
10. Woodroof, J. G. 1966. Peanuts, Production, Processing. 3rd ed. P. 97-99. AVI Publishing Co., Westport, Conn.

收稿日期：民國 84 年 12 月 20 日

修正日期：民國 85 年 3 月 25 日

接受日期：民國 85 年 4 月 15 日

專營土木、水利、建築等工程

啓城營造有限公司

地 址：雲林縣北港鎮民樂路 149 巷 22 號

電 話：(05)7823558