

專 論

落花生循環式乾燥機之初步設計研究

Design of a Circulation-type Dryer for Peanuts

中興大學農機系兼任教授

李 廣 武

Kwang-Wu Lee

摘 要

本研究之目的為研製一種適合於本省使用之循環式花生乾燥機，以改善目前日曬的乾燥方法，提高花生品質，防止發霉，而避免黃麴毒素之感染。

設計乾燥機之前，曾測定花生層厚度與風量及靜壓之關係，並進行高溫乾燥試驗，以決定熱風溫度與乾燥時間對於花生品質之影響。

試驗機機體之主要尺寸為全長3100mm，全寬1900mm及全高5250mm，乾燥機本機尺寸為長2000mm，寬1500mm，高4800mm，最大容量為2400公斤，全機由熱風系統、輸送系統、乾燥部、排塵裝置及控制系統等主要部分所構成，乾燥率為每小時0.7~1.0%，依本省落花生收穫時莢果含水率可能高達40%計算，至少須50小時以上才能使水分降至10%以下，而不致損害花生品質。

試驗機完成後曾進行空機運轉試驗，除昇降機所造成的噪音稍大外，一般運轉情形尚稱良好，此外機體太大，尤其高度過高，安裝與運輸均感困難。試驗機完成時，因花生收穫期未到，無法取得生鮮花生進行乾燥試驗，僅能利用已經曬乾過之少量花生倒入乾燥機內循環以觀察花生之輸送情形，發現花生流動不夠順暢，以及花生外殼因擠壓而破裂之情形嚴重。

試驗機經過運轉試驗後雖然發現有若干缺點，但已證明連續式乾燥花生的構想具體可行，最大困難在於輸送系統方面，需要進一步加以改良，以減少花生破損率，乾燥部分應無多大問題，俟輸送系統獲得改善後，應實地進行乾燥試驗，以測定乾燥性能。

Abstract

The project was undertaken during the period between April 1974 and March 1975 the objective of which was to design and build a circulation type dryer for peanuts to replace sun drying method commonly used in Taiwan.

As a first step, the relationship between the thickness of drying layer of peanut and air volume and static pressure is determined. Drying tests are also conducted to investigate the effect of air temperature and drying time on the quality of dried peanuts.

The prototype dryer developed is 3100 mm in length, 1900 mm in width and 5250 mm in height. The holding capacity of the dryer is 2400

kg. Average drying rate is kept at about 0.7-1.0% decrease in moisture content per hour which is considered to be safe for keeping the quality of peanut in drying.

Mechanically the experimental dayer runs satisfactorily with empty load except the conveying system needs some modifications to reduce the noise. Drying tests will be carried out when freshly harvested peanut is available during the next harvest season.

一、研究目的及背景

本研究之目的為探討研製一種適合於本省使用的循環式花生乾燥機之可行性，以期改善目前日晒的乾燥方法，提高花生品質，及防止發霉，而避免黃麴毒素之感染。

花生為臺灣重要雜糧作物之一，全省栽培面積約為五萬公頃，產量在八萬噸以上，其用途除供種子用約佔15%及榨油用15—20%外，其餘65—70%均供食用，但常因乾燥及貯藏不良而發霉，引起黃麴毒素的污染，如利用為原料製造花生糖、花生醬或花生油時，危害國人健康甚大。據調查本省花生及花生醬之污染率最高達百分之五十七，黃麴毒素的含量高達 30—750PPb。黃麴毒素發育最適溫度為 24~25°C，水分為 13~18%，故花生莢果之含水量必須降至12%以下時，才能安全貯藏。

臺灣落花生栽培向以單作為主，約佔80%，其餘20%則與其他作物，如甘蔗、玉米、高粱、茶、果樹、大蒜及豆類等間作。因本省地處亞熱帶，各地均可栽培，且年可栽培春秋二作，春作之播種期在二月上旬至三月中旬，秋作多在六月下旬至八月上旬播種。春作收穫期亦因播種期不同而有差異，臺北、苗栗七至八月，宜蘭、臺中八至十月，嘉義七至十月，臺南十至十一月，屏東八月。

本省收穫落花生的方法視品種及土質而異，土壤砂質淺耕，直立種小量栽培時，可以鋤挖掘，用手拔起震落泥土，摘取莢果；如土壤屬粉性深耕，匍匐種大量栽培時，則須靠近根部割去地上莖莖，用犁或翻開土壤，使根向上曝曬數日乾後，用手摘取莢果，再經晒乾選別後貯藏。剛剛收穫的落花生，莢果之含水量為20~60%，水分之多少與收穫前雨量及土壤含水率有關，一般來說，春作收穫期正值雨季，莢果含水率較高，秋作收穫時適為旱季，莢果含水率較低。乾燥的方法通常是在日光下晒

乾，夏日太陽較強，晒5—7天即可，冬日太陽較弱，宜晒7—12日，若遇雨季則必需利用乾燥機乾燥，但目前臺灣一般用的穀類乾燥機多為針對水稻所設計，尚無適合落花生的乾燥機問世，因此適合本省條件的花生乾燥機亟待開發研究。

二、花生之乾燥特性

1. 平衡含水量

作物之平衡含水量隨空氣之溫度與相對濕度而定，花生之平衡含水率如圖一（莢果）及圖二（種仁）所示。

根據 Young 氏 (1976) 之試驗結果發現史密斯方程式 (Smith equation) 在相對濕度超過30%之情況下，預測花生種仁及外殼之平衡含水率甚為準確：

$$M = A - B \ln(1 - rh)$$

式中 M = 平衡含水率，%

rh = 相對濕度，%

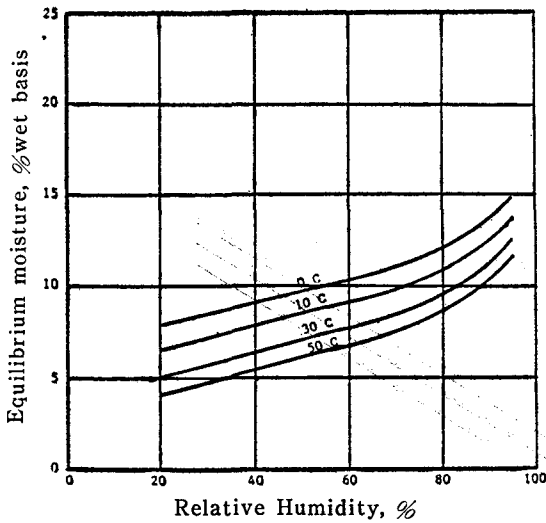
A, B = 常數，依材料、含水量及溫度而異

下表為常數 A 與 B 在 15°C 時，去濕平衡及吸濕平衡之數值

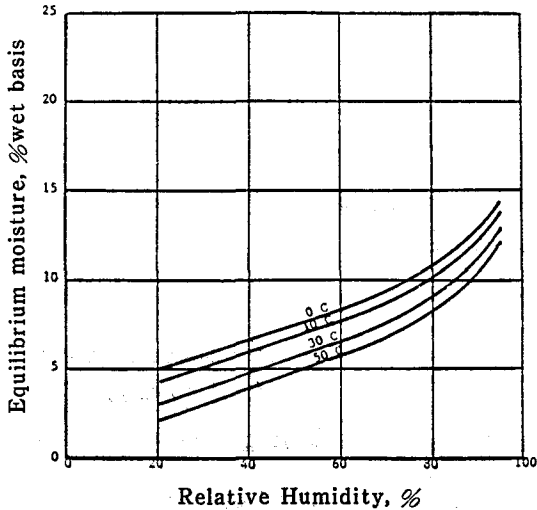
	去濕平衡		吸濕平衡	
	A	B	A	B
種仁	0.01448	0.06302	0.00098	0.06567
外殼	0.07003	0.08514	0.02370	0.08199

2. 花生對空氣之阻力

為了選擇適當的送風機，以供給適量之空氣流通過花生層起見，必須先對空氣通過花生所受的阻力有所瞭解。阻力之大小與風量之分佈直接受花生層厚度及密度影響，Steele 氏 (1974) 曾測定各種不同空氣流速通過花生層時所產生的靜壓差，其試驗結果如圖三所示，由圖可知當含水量低時，含



圖一 花生 (莢果) 之平衡含水量



圖二 花生 (種仁) 之平衡含水量

水率對風量之影響甚小，但含水率高時其影響亦明顯增加。

Steele 氏所得之空氣速度與花生厚度關係公式如下：

$$V = 0.0184 \left(\frac{\Delta P}{RL} \right)^{0.618}$$

式中 V = 流經花生層之空氣速度， $m^3/sec \cdot m^2$

ΔP = 通過花生層之壓力降，Pa

L = 花生層厚度，m

R = 含水率修正常數，由花生之乾基含水量率決定

$$= 0.962 + 0.00392M$$

3. 乾燥所需熱量

花生乾燥機所使用燃料之選擇，在於取得方便而成本低廉，例如電熱既乾淨又方便，但其費用較高，而且可能造成瞬間尖峯負載，殊不經濟。

花生乾燥機之加熱器所需熱量可由空氣速度及所需升高溫度計算出來，如下式所示：

$$Q = mC_p \Delta t$$

式中 Q = 加熱器所需熱量，kw

m = 空氣之流量，kg/sec

C_p = 空氣之比熱，kJ/kg·K

Δt = 升高之溫度，K

在大氣壓力下，上式可寫為

$$Q = (1.2 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}) V \Delta t$$

式中 V = 風量， m^3/sec

效舉例說明，假設一靜置式花生乾燥拖車之截面積為 $10m^2$ ，花生層厚度為 $1.5m$ ，空氣流速為 $10m^3/min \cdot m^2$ ，如圖四所示，通過花生層之風量為

$$\begin{aligned} V &= 10m^2 \times 1.5m \times 10 \frac{m^3}{min \cdot m^2} \times \frac{1}{60} \frac{min}{sec} \\ &= 2.5 \frac{m^3}{sec} \end{aligned}$$

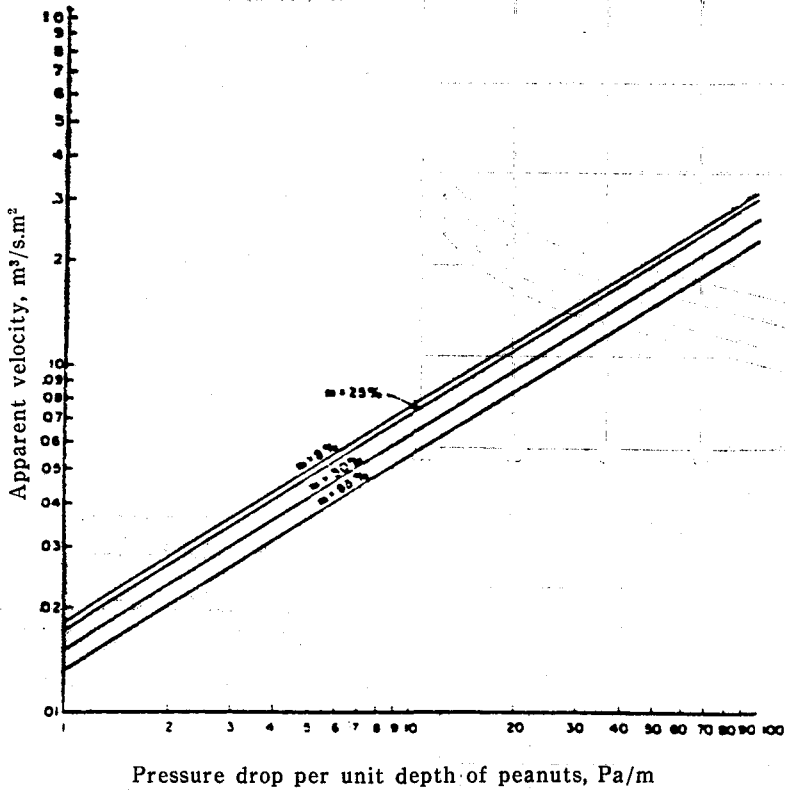
若溫度升高 $10^\circ C$ ，則加熱器所需熱量為

$$\begin{aligned} Q &= 1.2 \text{ kJ/m}^3 \text{ K} \times 2.5 \text{ m}^3/\text{sec} \times 10 \text{ K} \\ &= 30 \text{ kw} \end{aligned}$$

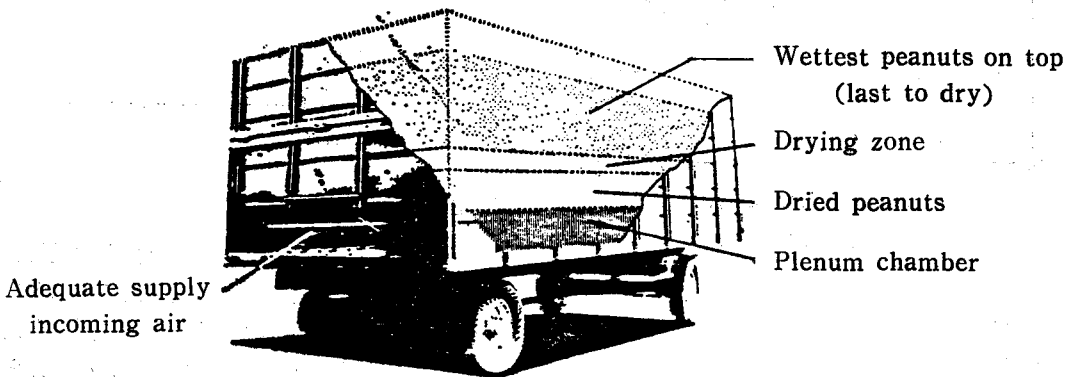
4. 能量消耗

乾燥花生時所消耗之能量端視花生的最初含水量，空氣流速以及大氣情況而定。大多數花生生產地區，白天乾燥花生時均不必加熱，但在晚上大多數相對濕度較高時，才需要加熱空氣，以防止發霉。

送風機所消耗的能量隨空氣流量增加而增加，並與乾燥時間成正比。加熱器所需能量，在保持一定溫度之情況下，亦隨空氣流量而增加，並與加熱器操作時間長短成正比。乾燥所需之總能量依大氣狀況、空氣流量、溫度變化及花生最初含水量率而定。Blankinship and Chew 兩氏 (1979) 試驗結果顯示乾燥含水量 50% (濕基) 之花生所需能量為含水量 25% 花生之 2.5 倍。



圖三 花生對空氣流之阻力



圖四 拖車式花生乾燥機之剖面圖

減少花生乾燥所需能量之方法包括：(1)降低空氣流量；(2)送風機及加熱器之操作採取間歇方式；(3)部分乾燥空氣加以循環使用。依據前人研究，間歇式運轉送風機及加熱器，可以減少低至中度含水率之花生乾燥所需能量，而乾燥時間不必延長太多。

5.花生薄層乾燥模式

Young and Whitaker (1971) 曾研究花生

薄層乾燥的數學模式，以期找出與實驗數值最為吻合之方程式。所謂薄層乾燥，係指每一粒花生莢果在乾燥時均與加熱空氣直接充分接觸，而不受其他莢果之影響，如圖五表示乾燥空氣溫度對於單層花生乾燥速率之影響，乾燥曲線之斜度，即所謂乾燥係數，則隨空氣溫度之增加而增加，可由下式求得

$$K = 33730e^{-(4003/T)}$$

式中 K = 花生莢果之乾燥係數，假設花生為一

球體, hr^{-1}

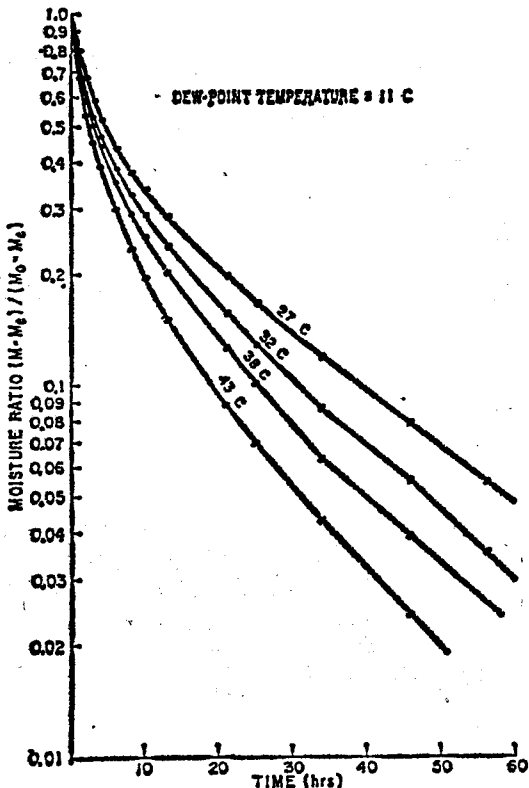
T = 乾燥空氣之絕對溫度, K

6. 溫度與相對濕度對花生乾燥後品質之影響

乾燥速率對花生之品質有密切關係, 所謂品質包括種皮之脫落及脫殼時所產生的種仁破裂等, 如以上所述在薄層乾燥時, 溫度升高時由於乾燥係數之增加與乾燥空氣相對濕度之降低, 而使乾燥速率隨之增加, 因降低乾燥空氣之相對濕度結果使平衡含水量降低, 因此乾燥勢差增加。

Glover (1977) 利用濕空氣圖畫出花生乾燥最適當的空氣溫度與相對濕度範圍圖, 如圖六所示, 當大氣之相對濕度高時, 如夜晚或潮濕天氣, 乾燥溫度可提高若干度, 以降低相對濕度, 而增加乾燥速度; 當相對濕度低時, 則空氣不必加熱, 使用常溫通風即可。

乾燥空氣之溫度與花生之氣味也有關係, 根據 Beasley 與 Dickens (1963) 試驗結果證明乾燥溫度超過 $35^{\circ}C$ 時, 花生即會變味, 尤其當花生之含水量在 20—30% 範圍內遇到高溫時, 變味之程度最為嚴重。

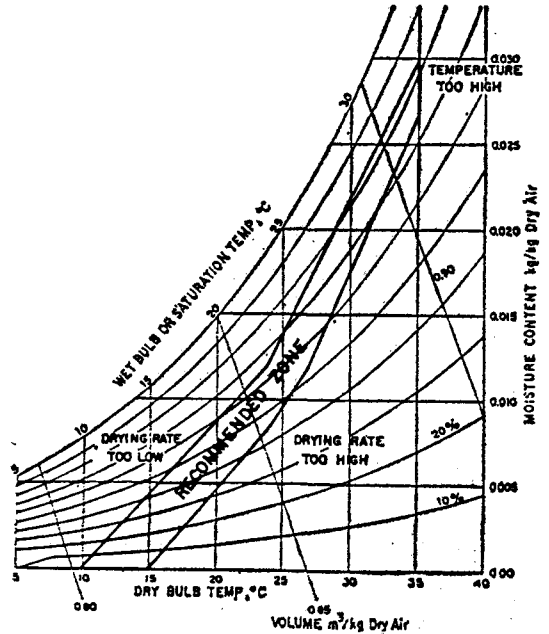


圖五 熱風溫度對於花生薄層乾燥之影響

7. 花生之比熱

比熱數值代表花生在不同溫度及含水量下所能貯藏之能量大小, 假設花生之溫度在乾燥過程中有所變化, 則花生所貯藏的能量會影響乾燥所需之能量。

Young 及 Whitaker (1973) 導出大粒種 (Virginia 型) 花生之比熱公式如下



圖六 以濕空氣圖表示乾燥最適當之空氣溫度與相對濕度範圍

$$C_{pk} = (-0.125 + 0.00167T)(1 - m) + C_{pw} \cdot m$$

$$\text{及 } C_{ph} = 0.170(1 - m) + C_{pw} \cdot m$$

式中 C_{pk} = 花生種仁之比熱, cal/gK

C_{ph} = 花生外殼之比熱, cal/gK

C_{pw} = 水之比熱, cal/gK

T = 絕對溫度, K

m = 花生之含水量, 濕基

根據 Wright and Porterfield (1970) 的研究結果, 小粒種花生 (Spanish 型) 之比熱與上式數值頗為相似。

8. 乾燥對花生發芽率之影響

Bailey (1954) 試驗顯示當剛收穫之花生經過 $49^{\circ}C$ 或更高之溫度乾燥後會完全失去發芽力。

9. 結論：乾燥作業為花生加工處理過程中最重要的一環，乾燥良否不但決定花生的最終含水率，而且對花生的氣味、品質及種子品質均有極大的影響，歸納前人研究結果，乾燥花生最適當的條件應為：

- a. 控制乾燥空氣溫度，防止花生種仁的溫度不超過35°C。
- b. 控制相對濕度以維持花生水份之乾減率不超過每小時0.5%。
- c. 當花生種仁之含水率降至7~10%，即應停止乾燥。

三、基本試驗

1. 風量與靜壓之關係

1.1. 試驗裝置：使用6'×6'靜置式箱型乾燥機為乾燥裝置，試驗風管係依據 CNS 國家標準鼓風機試驗法設計。

1.1. 試驗方法：測定項目包括花生含水率及密度，送風機轉速、風量、風管靜壓、花生層靜

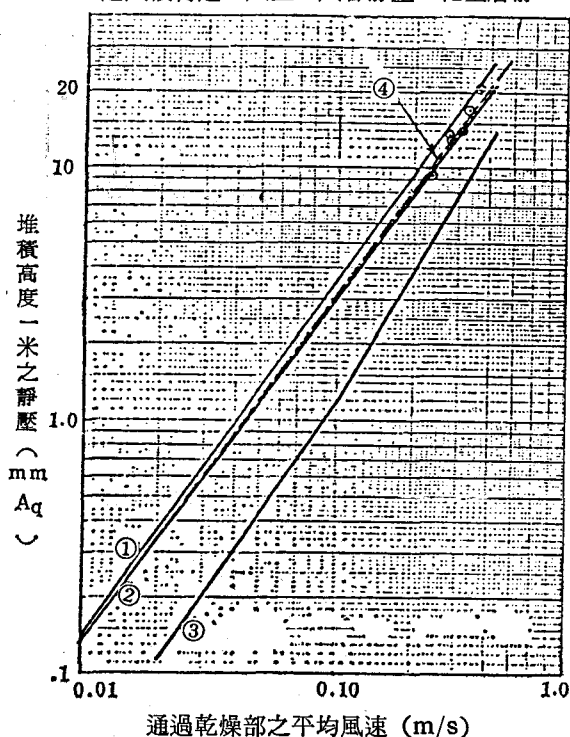
壓及調壓室靜壓等。試驗時以花生層厚度，送風機轉速及火爐之開關為變數，來測量各試驗項目之定數值。

1.3. 試驗結果：根據試驗所得數據繪成堆積高度為1m時之靜壓與通過乾燥層平均風速之關係圖（圖七），及不同堆積高度所產生之靜壓與風量之關係圖（圖八），測定結果顯示送風阻力曲線大致和文獻資料一致。

1.4. 結論：為保持乾燥後花生品質不變，須使用較低熱風溫度進行乾燥時，必須增大風量，但風量增大，熱的損失亦必相對增加，故必須設計較大之乾燥室。

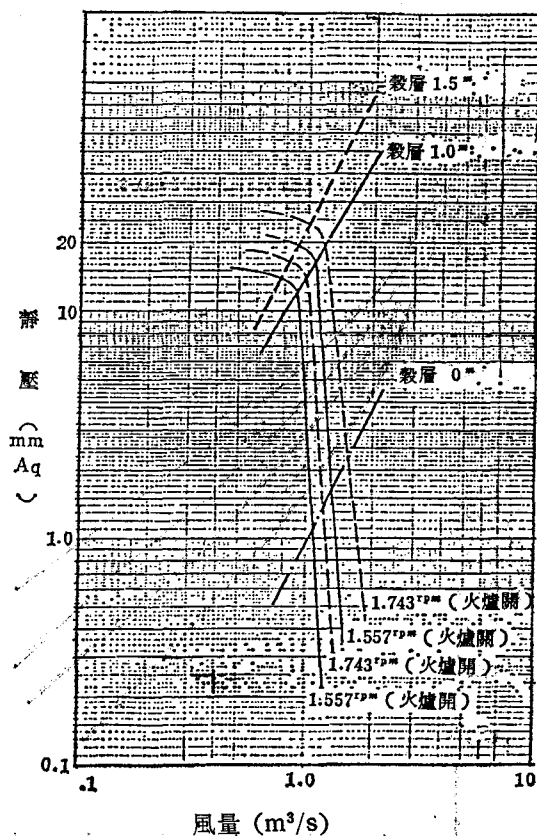
2. 高溫乾燥試驗

2.1. 試驗目的：觀察落花生乾燥時所能承受之最高溫度，檢視乾燥後落花生之外殼及種皮破裂情形，並測定其發芽率。



圖七 花生乾燥層高度1米時之靜壓

- ①日本（含水率種仁68%外殼74%）
- ②日本（含水率種仁13%，外殼21%）
- ③美國（含水率種仁4.4%，密度224kg/m³）
- ④本試驗數值（含水率種仁5.3%，外殼9.8%，密度265kg/m³）



圖八 花生不同堆積厚度乾燥層對於熱風所產生之靜壓

2.2. 供試材料：試驗用落花生係產自雲林縣黑粘土壤之小粒種，收穫及脫莢均為人工，故挾帶泥土及雜物甚多，乾燥前須加清選，乾燥試驗係在收穫後次日進行。

2.3. 試驗方法：

2.3.1. 乾燥裝置：將莢果平鋪在箱式乾燥機底層成一薄層，使每一莢果均能與熱風充分接觸，且在進行乾燥中時常加以翻動，以求乾燥度均勻。

2.3.2. 乾燥條件：第一次乾燥處理之溫度分為 60°C 、 70°C 、 80°C 及 90°C 四種，乾燥時間為60min、120min及180min三種。第二次乾燥係在第一次乾燥後4天進行，乾燥溫度一律為 42°C ，乾燥至最終含水率降至10%以下時即行停止。

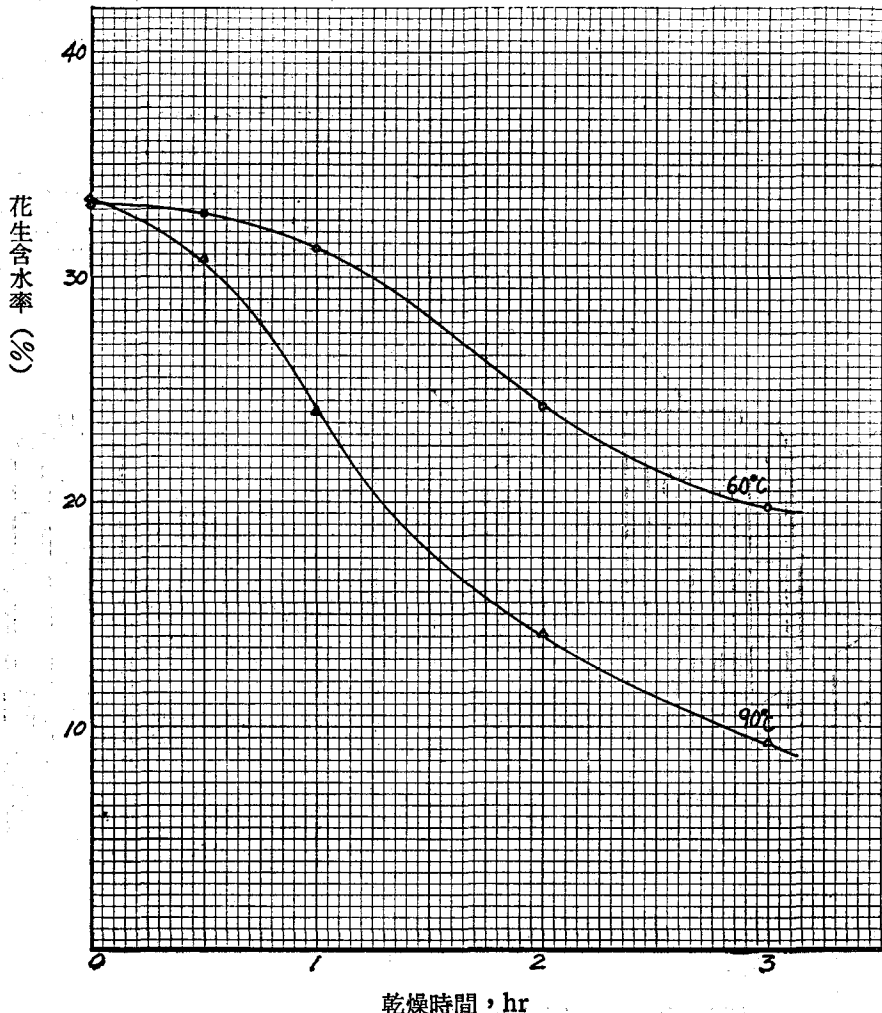
2.3.3. 水分測定：採用赤外線水分測定儀，每次取種仁若干粒，放入粉碎機打碎後，取5 gm為樣品測定其含水量，烘乾溫度在 100°C 至 105°C 之間，至水分完全乾燥為止，由儀器上直接讀出含水率，每一測定重複三次，取其平均值為準。

2.3.4. 外殼及種皮破裂情形：乾燥後30日，每一處理取莢果100粒，檢視其外殼有無裂開，然後予以剝殼，觀察種皮有無破裂現象。

2.3.5. 發芽率測定：乾燥後30天每一處理取種仁400粒，由砂土法進行發芽試驗。

2.4. 試驗結果及分析

2.4.1. 乾燥曲線：各種溫度下，含水率之變化曲線如圖九所示，由乾燥曲線之斜率可知，乾燥速度隨熱風溫度而增加。



圖九 花生之乾燥曲線

2.4.2. 外殼及種皮破裂情形：乾燥溫度在 60°C 至 90°C 之間，檢查外殼結果均未發現有破裂情形，但剝殼後檢視種仁時發現種皮均有輕微起皺現象，但尚無破裂者。溫度一定時，乾燥時間長，起皺情形越顯著，而且起皺程度隨乾燥溫度之升高有明顯增加。

2.4.3. 發芽率測定：由下表可知，乾燥溫度在60°C 以上時經乾燥後之花生幾乎完全喪失發芽能力。

處理 (°C—min)	含水率 (%)	發芽率 (%)
60—60	8.7	6.25
60—120	8.9	2.25
60—180	8.6	0
70—60	8.6	0.75
70—120	8.6	0
70—180	8.6	0
80—60	8.6	0
80—120	8.6	0
80—180	8.6	0
90—60	8.7	0
90—120	8.7	0
90—180	8.5	0

2.5. 結論：落花生不適宜用高溫乾燥，最適溫度可能必須維持在一般文獻中所述以不超過 40°C 為宜。

四、循環式花生乾燥機之初步設計

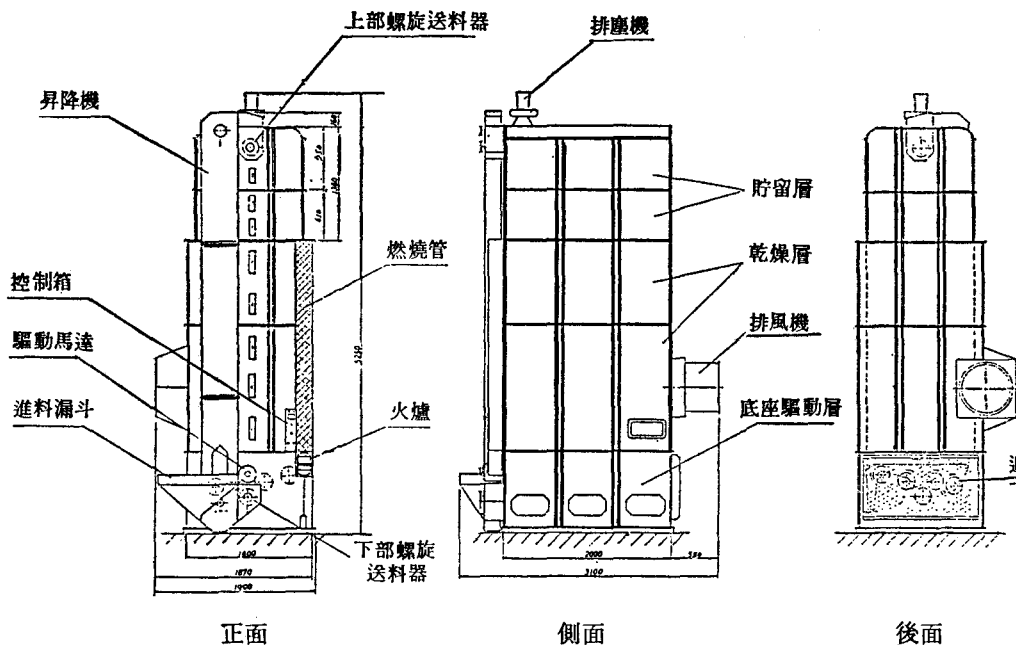
1. 考慮條件

1.1. 結構：儘量利用本省現有之循環式水稻及雜糧乾燥機之組件，以求製造方便，降低生產成本。

1.2. 容量：以一公頃平均收穫量為準，故入料量以每批最少 2200 公斤，最多 2400 公斤為目標。

1.3 乾燥速度：依照本省花生收割時之含水量及天氣條件，乾燥時間無法在 50 小時以內完成，因此一方面要提高熱能效率，一方面必需提高風量來達到乾燥速度，以便控制品質，而使風味不致變化。本省落花生收穫時莢果含水率可能高達 40% 以上，以每小時乾減率為 0.7~1.0% 計算，至少須 50 小時以上才能使水分降至 10% 以下。

2. 構造：試驗機之外觀及內部構造分別如圖十及圖十一所示，乾燥過程為落花生由昇降機之進料口進入，經由昇降機提昇到上部的螺旋送料器，將



圖十 循環式花生乾燥機（試驗機）之外觀圖

花生落入乾燥部及貯留部，分別加以乾燥及調質，於是落花生以間歇循環方式在乾燥層除去水分，經過乾燥部之落花生經由迴轉閥定量控制落下量，落下之花生由下部螺旋送料器送到昇降機，再提昇到上部螺旋器後送入貯留部，如此反復循環乾燥至花生達到預定之水分為止，全部乾燥完畢之落花生經迴轉閥，下部螺旋送料器及昇降機後被排出。

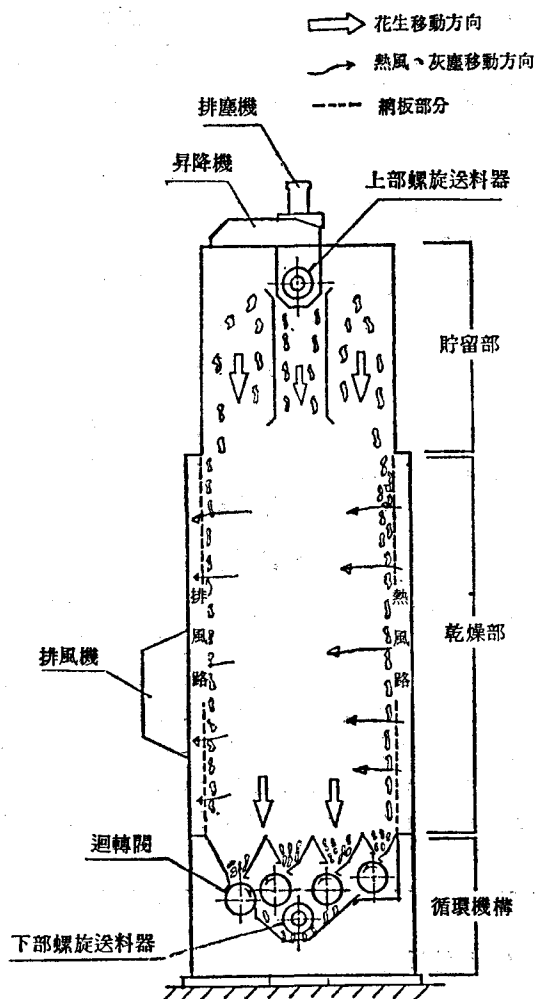
- 2.1. 機體：主要尺寸為全長 3100mm，全寬1900及全高 5250mm。乾燥機本體尺寸為長 2000mm，寬1500mm，高4800mm。
- 2.2. 熱風系統：採用蒸發式燃燒器，利用電磁邦浦控制燃料流量，最大 7l/hr，最小 1l/hr。排風系統為全密閉吸引式，乾燥時只有排風，沒有送風，採用單一的大型排風機，使機體內部成為完全負壓，即機體內的壓力比機體外的大氣壓力低，灰塵不會由機體的四周洩出，保持環境的乾淨。排風機之直徑為 580mm，所需動力馬達為 $\frac{3}{4}$ 馬力，轉速為 1740rpm。
- 2.3. 輸送系統：包括昇降機，下料閥，上部及下部螺旋送料器等，昇降機為皮帶漏斗式，所需馬達為 $\frac{1}{2}$ 馬力，減速機馬達為 $\frac{1}{3}$ 馬力。
- 2.4. 乾燥部：通風面積為 5m²，通風距離即乾燥層厚度為 1.3m，乾燥部容積為 6.5m³。
- 2.5. 排塵裝置：包括排塵機，排風管等，排塵機馬達為 $\frac{1}{4}$ 馬力，排塵機裝在乾燥機之頂層，當落花生每次被循環至上部送料器時，灰塵及雜物立即被排出機外。
- 2.6. 控制系統：採用溫度自動控制器，可調整至任何所需設定溫度，使熱風溫度保持一定，不受外氣溫度之影響。

3. 試驗機運轉試驗

試驗機完成後，按照普通循環式乾燥機操作步驟進行空機運轉試驗，一般運轉情形尚稱順利，但有下列兩項缺點：

- (1) 機體太大，尤其高度過高，安裝與運輸均感困難。
- (2) 昇降機所造成的噪音太大。

試驗機完成時，因花生收穫期未到，無法取得生鮮落花生進行乾燥試驗，僅能利用去年已經晒乾



圖十一 試驗機內部構造圖

之少量花生，倒入乾燥機內循環，以觀察花生之輸送情形，結果亦發現有下列兩個缺點：

- (1) 花生流動困難，入料時間可能延長。
- (2) 花生外殼因擠壓而破裂之情形嚴重。

五、討論與建議

本研究所完成之一部試驗機，經過運轉試驗後雖然發現有若干缺點，但已證明連續式乾燥花生的構想具體可行，最大困難在於輸送系統方面，需要進一步加以改良，以減少花生破損率，並且乾燥部分應無太多問題，下列各項工作應繼續進行。

- (1) 機體高度可酌予適當降低。

(2)昇降機傳動鏈條可改用皮帶傳動，降低噪音，杓子可採用塑膠代用品，減少重量及磨擦。

(3)測定花生外殼所能承受之最大壓力，以及含水率對於承受壓力之影響，以供改進破損率之參考。

(4)入料可由現有的昇降機所附進料漏斗改為由側面入料，以增加入料速度，減少入料時間，並可減少擠壓。

(5)俟輸送系統獲得改善後，應實地進行乾燥試驗，以測定乾燥性能。

六、誌 謝

本研究承國科會 HSC74-0401-E005-03 號計劃補助經費，得以順利進行，並由三久工業機械公司協助製造試驗機，在此敬致謝意。

七、參考文獻

1. Young, I. H. 1976. Evaluation of models to describe sorption and desorption equilibrium moisture content isotherms of Virginia-type peanuts. *Trans. ASAE* 19: 146-150, 155.
2. Steele, J. L. 1974. Resistance of peanuts to air flow. *Trans. ASAE* 17: 573-577.
3. Blankenship, P. D. and V. Chew. 1979. Peanut

drying energy consumption. *Peanut Sci.* 6:10-13

4. Young, J. H. and T. B. Whitaker. 1971. Evaluation of the diffusion equation for describing thin-layer drying of peanuts in the hull. *Trans. ASAE* 14: 309-312.
5. Glover, J. W. 1977. Mechanical peanut curing. North Carolina Agric. Ext. Serv. Folder No. PPG 20.
6. Beasley, E. O. and J. W. Dickens. 1963. Engineering research in peanut curing. North Carolina State Univ. Agric. Expt. Sta. Tech. Bull. 155.
7. Young, J. H. and T. B. Whitaker. 1973. Specific heat of peanuts by differential scanning calorimetry. *Trans. ASAE* 16: 522-524
8. Wright, M. E. and J. G. Porterfield. 1970. Specific heat of Spanish peanuts. *Trans. ASAE* 13: 508-510.
9. Bailey, W. K., Pickett, T. A. and Futral, J. G. 1954. Rapid curing adversely affects quality of peanuts. *Georgia Agric. Expt. Sta. Bull.* IS261.

(文接第16頁)

1972. Commercial Cooling of Fruits and vegetables. California Ag. Exp. Sta. Manual 43, Dec. 1972.
- ⑧ Perry, R. L. and R. M. Perkins 1968. Hydrocooling Sweet Corn. ASAE Paper No. 68-880, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- ⑩ Soule, J., G. E. Yost, and A.H. Bennett, 1969, Experimental Forced-air Precooling of Florida Citrus Fruit, USDA ARS, Marketing Research Report No. 845.
- ⑪ Thompson, J.F., and Y. L. Chen. 1986. Energy Use in Hydrocooling stone Fruits. ASAE Paper No. 86-6556, ASAE, Chicago, IL
- ⑫ Thompson, J.F., and Y. L. Chen. 1987. Comparative Energy Use of Vacuum, Hydro and Forced-air Coolers For Fruits and Vegetables. For presentation at the International Institute for Refrigeration in Vienna
- ⑬ Thompson, J. F., Y. L. Chen, T. R. Rumsey. 1986. Energy Use in Vacuum Coolers for Fresh Market Vegetables. ASAE Paper No. 86-6010, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- ⑭ Zahradnik, J. W. and L. E. Reinhart. 1972. In-stack hydrocooling of Apples. *Transactions of the ASAE* 15 (1): 141-145.