

## 落花生乾燥製程分析

林維新<sup>1\*</sup> 吳信賢<sup>2</sup> 黃子倫<sup>2</sup> 梁敦皓<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立虎尾科技大學機械與電腦輔助工程系 副教授

<sup>2</sup>國立虎尾科技大學機械與電腦輔助工程系 學生

### 摘 要

本文主要針對榨油用落花生之乾燥製程，利用多項式網路建構落花生含水率預測模式，以監測落花生在乾燥過程中之含水率狀況。在本研究中，利用具有自動合成建模技巧之多項式網路，得到落花生乾燥過程中之含水率狀況。本研究證實，多項式網路可以很正確地建立輸入變數（乾燥溫度、初始含水率，乾燥時間）與輸出變數（含水率）間之關係。經由實驗結果證實，只要輸入乾燥條件，便可以很準確地預測得知乾燥過程中之含水率變化狀況。因此，利用多項式網路所建構之含水率預測模式，可以相當有效地使用於落花生乾燥之含水率監控。

**關鍵詞：**乾燥溫度、含水率、多項式網路。

---

\*連繫作者：國立虎尾科技大學機械與電腦輔助工程系，雲林縣虎尾鎮文化路 64 號。

Tel: +886-5-6315306

Fax: +886-5-6315310

E-mail: jasonych@nfu.edu.tw

## 壹、前言

落花生為本省非常重要之雜糧作物之一，其乾燥處理大多以日曬方式進行，而乾燥所需時間則多依收穫季節之天候變化而有所不同；通常春作落花生約需日曬 7 天，而秋作落花生則需 6 至 9 天，其間如碰上陰雨天候，則需延長日曬時間，對落花生乾燥作業的進行極為不便。

日曬乾燥容易受到天候條件的影響，而且乾燥品質也較難掌握，如果在乾燥期間碰上連續陰雨，則更容易發霉而造成黃麴毒素的污染。再加上沒有足夠寬廣之庭院可以曝曬落花生，農民大多佔用道路，將落花生直接灑在馬路上曬乾。結果不僅妨礙交通，造成車輛行駛困難；而且落花生若不幸被車輛輾過的話，亦會發生破碎而影響落花生品質，因此機械乾燥確有其存在與發展之必要性。

落花生乾燥之目的是要降低其含水率，減少重量及體積，防止發霉延長儲藏期限，並利於收穫後之加工作業。落花生之乾燥處理除了含水率必須降低至 10% 以下外，還須注意其乾燥品質；避免乾燥溫度之控制不當，發生過度乾燥、燒焦、破裂之現象。

落花生乾燥主要是利用加熱之低相對濕度空氣，傳遞熱能至乾燥物料，使物料內部產生溫度梯度與內部蒸氣壓力梯度，讓水分由內部擴散到表面而蒸發，只要內部蒸氣壓力高於表面蒸氣壓力時，水分便能夠蒸發出來[1~3]。

國內有關落花生乾燥技術方面之研究，大多是針對農委會農業改良場所開發之靜置式乾燥機或將稻穀乾燥機應用到落花生乾燥的操作條件進行探討[4~7]。本研究則是針對循環式落花生乾燥機之乾燥製程進行探討，將剛自田裡採收完成之落花生，在各種不同乾燥溫度下進行乾燥操作，以瞭解落花生在乾燥過程中之含水率變化。然後利用多項式網路[8~12]建構落花生含水率預測模式，以瞭解落花生在乾燥過程中之含水率狀況。

## 貳、多項式網路(Polynomial network)

由 Ivakhnenko[9] 所開發出來之多項式網路是應用群組方法處理資料 (GMDH) 之技術[10]，利用多項式功能節點，將很複雜之系統分解成較小、較簡單之次系統，然後予以組合成許多層級。同時，輸入數據也被細分成許多組，然後傳輸到各個功能節點。這些節點會利用多項式函數對這些有限數量之輸入數據進行計算，得到一個輸出值，此輸出值會被當做下一層之緊接其後之功能節點之輸入值。

多項式網路之處理方法是同時處理有限數目之訊息，然後迅速將輸入訊息予以歸納以後，立即將輸入訊息傳輸到較高階層，其處理方式很類似於人類之行為[11]。因此，多項式網路可看成是具有特殊等級之生物靈感的機器智慧網路[12]。

以多項式學習模式建構技術所建構之多項式網路可以用來表示輸入和輸出變數間之複雜而不確定的關係[8]，基本上，多項式網路是由許多不同之多項式功能節點所組成，並由這些節點組織成具有不同層級之架構。最佳的網路構造、層級數目和功能節點型式會依據預測平方誤差 (PSE)法則自動地產生。換句話說，多項式學習模式建構技術會自動地合成最佳的網路構造，不像大多數之迴歸分析或神經網路，需要由使用者定義網路之層級。

另外，在多項式網路合成過程中，不需要像迴歸分析或神經網路之交互調整處理，而且多項式網路之預測精度遠高於神經網路[8]。

多項式網路是非常有力而優越之歸納學習工具，可以由輸入資料庫自動地合成網路模式，產生輸出值。利用多項式網路建構技術進行合成處理所得到之模式，為一強健而簡潔之演算工具。所建構網路之功能元件係數、網路元件數目、網路元件型式和網路連結，都會自動地由資料學習得到。

每一節點元件都是由代數型之多項式方程式表示，其型式為

$$y_0 = w_0 + \sum_{i=1}^m w_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m w_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (1)$$

在此， $x_i, x_j, x_k$  為輸入， $y_0$  為輸出，而  $w_0, w_i, w_{ij}, w_{ijk}$  則為多項式功能節點之係數。

在本研究中，許多不同型式之多項式功能節點將被使用在建構含水率預測模式之多項式學習網路中。這些多項式方程式之每一項並不會完全出現，多項式網路建構技術會將一些對於求解不重要之項去掉。任何節點之輸出可以輸入鄰近之下一層級，並且可與原始輸入變數結合。網路將被一層一層地合成，直到網路模式收斂到滿足 PSE 規則才停止。

合成多項式學習網路時，要輸入訓練資料，使用多項式學習網路合成演算法則[12]，依據最小預測平方誤差 (Predicted Square Error, PSE) 之法則來決定最佳之網路結構。

PSE 是對於獨立資料(未當做訓練資料庫)之網路期望平方誤差的啟發式量測，PSE 定義為

$$PSE = FSE + KP \quad (2)$$

在此，FSE 是以訓練資料建構網路時之模式配合平方誤差，FSE 可以表示為

$$FSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)^2 \quad (3)$$

在此，N 為訓練資料之數目， $\bar{y}_i$  為訓練組合之期望值， $y_i$  是從網路得到之預測值。

KP 為 Complexity Penalty。KP 之值可由下式求出，即

$$KP = CPM \frac{2\sigma_p^2 K}{N} \quad (4)$$

在此，K、N 和  $\sigma_p^2$  由合成網路之訓練資料庫得到，CPM 為 Complexity Penalty Multiplier，K 為係數之總數目，N 為訓練資料數目而  $\sigma_p^2$  為前一預測模式與真正模式間之誤差變異數。當 N 增加而  $\sigma_p^2$  減小時，以多項式網路建構技術配合訓練資料時，將會具有較高之可信度，而且網路結構也可以較複雜一點。

在式(2) 中，配合精確度會隨著 FSE 之減小而增加。在正常情況下，愈複雜之網路，當其 FSE

值愈小時，其配合精確度會愈高。換句話說，網路愈複雜時，KP 值會愈大。因此，PSE 規則會在模式複雜度和模式精確度之間產生一個折衷，在網路合成和計算時，最佳網路是指具有最小 PSE 值之網路。另外，CPM 可用來調整模式複雜度和精確度間之均衡。當 PSE 規則中之 CPM 值增加時，較複雜之網路將被拋棄。相反地，當 CPM 值減小時，較複雜之網路將被採用。

## 參、實驗方法

落花生乾燥試驗是將落花生自田裡採收回來以後，利用清水清洗乾淨，並將落葉、雜物及發育不良之落花生去除，然後置於網籃中讓落花生外表之水份自然滴乾。

乾燥試驗分為兩個部份，第一部分為落花生之初始含水率試驗，依據含水率測試標準[5~7]，取出 100 公克重之落花生，將殼與仁分開以後，一齊置於烤箱中，使用攝氏 130 度之溫度烘烤 6 小時以後取出，利用電子天平秤其重量，然後計算落花生之初始含水率，其計算公式為

$$C_i = \frac{W_A - W_B}{W_A} \times 100\% \quad (5)$$

式中

$C_i$  為初始含水率 (%)

$W_A$  為烘乾前之落花生重量 (g)

$W_B$  為烘乾後之落花生重量 (g)



圖 1 落花生乾燥試驗設備

第二部份為乾燥試驗，取出重量為 2000 公克

之落花生，將其置於 圖 1 所示之乾燥機內，分別使用攝氏 65、55 及 45 度之溫度進行乾燥試驗。此乾燥機在落花生乾燥過程中會每隔半小時旋轉一次，使落花生翻轉，以便乾燥均勻。在乾燥過程中每隔 1 小時將落花生取出，利用電子天平測量其重量，以計算落花生在乾燥過程中之含水率。本試驗之含水率為濕基含水率，其計算公式為

$$C_D = \frac{W_C \times C_i - (W_C - W_D)}{W_C} \times 100\% \quad (6)$$

式中

$C_D$  為濕基含水率 (%)

$W_C$  為乾燥前之落花生總重量 (g)

$W_D$  為乾燥過程中之落花生總重量 (g)

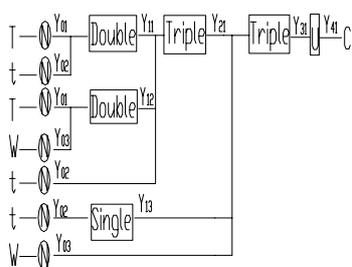


圖 2 多項式網路

乾燥試驗完成以後，利用多項式網路建構含水率預測模式，以分析乾燥過程中之含水率變化。為驗證預測模式之準確性，分別使用攝氏 60 及 50 度之乾燥溫度進行乾燥試驗，所得到之數據將作為模式驗證之用。經分析得到之多項式網路如圖 1 所示，各節點之方程式如附錄所示。

### 肆、結果與討論

圖 3 至圖 5 所示為落花生分別在攝氏 65、55 及 45 度進行乾燥試驗時之含水率變化曲線，由圖 3 至圖 5 可看出，實驗結果與模式預測值非常接近，經計算其均方根誤差為 0.012，顯示利用預測模式可以很準確地預測得知乾燥過程中之含水率變化。

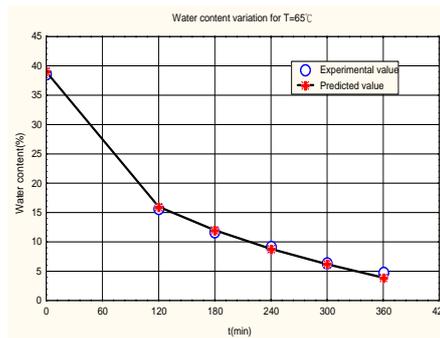


圖 3 乾燥溫度為攝氏 65 度時之含水率變化曲線

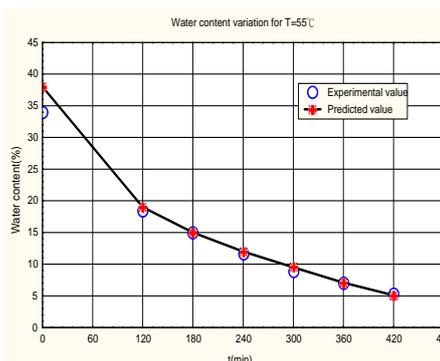


圖 4 乾燥溫度為攝氏 55 度時之含水率變化曲線

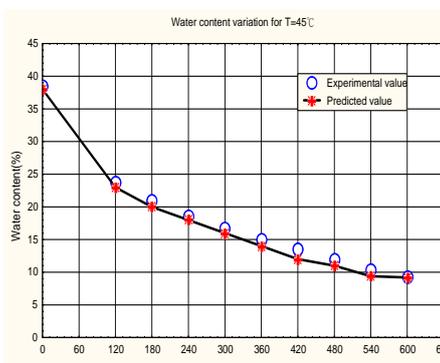


圖 5 乾燥溫度為攝氏 45 度時含水率變化曲線

圖 5 與圖 6 為落花生分別在攝氏 60 度與 50 度進行乾燥試驗時之含水率變化曲線，由圖 5 與圖 6 亦可看出，實驗值與預測值非常接近，經計算其均方根誤差為 0.013，再次驗證預測模式之準確性。

### 伍、結論與建議

經由上述實驗及分析結果，可以得到下列結論：

- 一、利用多項式網路所建構之含水率預測模式，可以很準確地預測得知乾燥過程中之含水率變

化。

- 二、利用落花生乾燥機連續烘乾時，可以非常快速地將落花生含水率降低到 10% 以下，例如以攝氏 45 度之溫度進行烘乾時，只要 9 小時便可以將水分降低到 10%；使用攝氏 65 度烘乾時，乾燥速率更快，只要 4 小時便可以。
- 三、本研究僅針對落花生之乾燥速率進行探討，未來將探討落花生在各種乾燥速率下乾燥時之發芽率，以便尋找出乾燥速率最快而發芽率可以接受之乾燥條件。

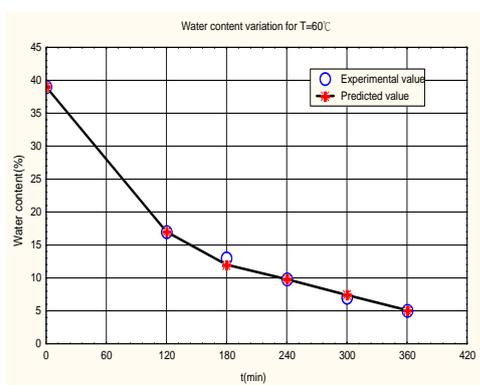


圖 6 乾燥溫度為攝氏 60 度時之含水率變化曲線

## 陸、誌謝

本論文承蒙國科會與允全機械有限公司之經費援助，始得以順利完成。在實驗過程中，允全機械有限公司之技術指導，使得實驗能夠順利進行，在此特予以致謝。

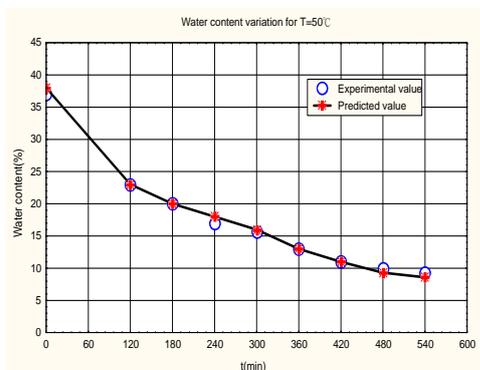


圖 7 乾燥溫度為攝氏 50 度時之含水率變化曲線

## 參考文獻

1. 陳加忠，曹之祖，賴建洲，落花生平衡相對濕度物性之研究中華農業研究，40(2)，145-160 (1991)。
2. 陳加忠，曹之祖，賴建洲，乾燥溫度對落花生等溫水份平衡性影響性之研究，中華農業研究，40(3)，262-273，(1991)。
3. 周明賢，氣動輸送循環式落花生乾燥機之研究，碩士論文，國立中興大學農業機械工程研究所 (1993)。
4. 雷震寰，落花生分段式熱風乾燥方法之研究，碩士論文，國立中興大學農業機械工程研究所 (1993)。
5. 尤瓊琦，陳俊明，雷震寰，落花生乾燥之研究，農林學報，43(3)，43-53，(1994)。
6. 尤瓊琦，陳俊明，雷震寰，落花生分段式熱風乾燥 (I) 含水率變化之探討，農林學報，44(3)，45-60，(1995)。
7. 陳俊明，尤瓊琦，雷震寰，落花生分段式熱風乾燥 (II) 乾減率變化之探討，農林學報，45(2)，59-72，(1996)。
8. Montgomery, G. J. and Drake, K. C., "Abductive reasoning network", Neurocomputing, 2, pp. 97-104 (1991).
9. Ivakhnenko, A. G., "Polynomial theory of complex system", IEEE Transaction on System, Man and Cybenetics, 1(4), pp. 364-378 (1971).
10. Tarlows, S. J., "The GMDH algorithm", Self-Organizing Methods in Modeling: GMDH Type Algorithm, Ed. By Farlow, S. J., Marcel Dekker, New York (1984).
11. Miller, G. A. "The magic number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information", The Psychological Review, 63, pp. 81-97 (1956).
12. Barron, R. L., Mucciardi, A. N., Cook, F. J., "Adaptive learning networks: development and application in the United States of algorithms

related to GMDH, self-organizing methods in modeling: GMDH type algorithms”, ed. by Farlow, S. J., Marcel-Dekker, Inc., New York(1984).

### 附錄

$$Y_{01} = -6.92 + 0.129 * T$$

$$Y_{02} = -1.64 + 0.00642 * t$$

$$Y_{03} = -6.35 + 0.00709 * W$$

$$Y_{11} = -0.331 - 0.558 * Y_{01} - 0.588 * Y_{02} - 0.0911 * Y_{01}^2 + 0.352 * Y_{02}^2 - 0.137 * Y_{01} * Y_{02} + 0.173 * Y_{01}^3 - 0.152 * Y_{02}^3$$

$$Y_{12} = -0.0376 - 0.0629 * Y_{01} + 1.1 * Y_{02} + 0.357 * Y_{01}^2 - 0.027 * Y_{02}^2 + 0.0644 * Y_{01} * Y_{02} + 0.283 * Y_{01}^3 + 0.0287 * Y_{02}^3$$

$$Y_{13} = -0.444 - 0.558 * Y_{02} + 0.453 * Y_{02}^2 - 0.115 * Y_{02}^3$$

$$Y_{21} = 0.959 * Y_{11} + 0.288 * Y_{12} + 0.079 * Y_{02} + 1.09 * Y_{11}^2 + 1.63 * Y_{12}^2 - 0.231 * Y_{02}^2 - 2.65 * Y_{11} * Y_{12} - 0.348 * Y_{11} * Y_{02} + 0.223 * Y_{12} * Y_{02} - 0.56 * Y_{11} * Y_{12} * Y_{02} - 0.182 * Y_{11}^3 - 0.236 * Y_{12}^3 + 0.131 * Y_{02}^3$$

$$Y_{31} = 0.0548 + 1.14 * Y_{21} - 0.106 * Y_{13} - 0.153 * Y_{03} + 0.427 * Y_{21}^2 + 0.254 * Y_{13}^2 - 0.186 * Y_{03}^2 - 0.95 * Y_{21} * Y_{13} + 0.139 * Y_{21} * Y_{03} + 0.115 * Y_{13} * Y_{03} + 0.0961 * Y_{13}^3 + 0.0112 * Y_{03}^3$$

$$Y_{41} = 0.16 + 0.102 * Y_{31}$$

## Drying process analysis of peanut

Lin Wei-Shin<sup>1\*</sup> Wu Hsin-Hsien<sup>2</sup> Huang Tzu-Lun<sup>2</sup> Liang Tun-Hao<sup>2</sup>

Associate professor, Department of Mechanical and Computer-Aided Engineering, National Formosa University

Student, Department of Mechanical and Computer-Aided Engineering, National Formosa University

### Abstract

This article is pointed to the drying process of the peanut. In order to monitoring the water content of the peanut during the drying process, the polynomial network is used to construct a water content prediction model.

The polynomial network is constituted with several function nodes; these function nodes can be self-organizing into the optimal network structures according to the predicted square error (PSE) criteria.

It is shown that the polynomial network can correctly correlate the input variables (drying temperature, initial water content and drying time) with the output variable (water content). Based on the water content prediction model constructed, the water content of the peanuts can be predicted with reasonable accuracy if the drying conditions are given and it is also consistent with the experimental results very well.

**Key Words:** Drying temperature, water content, polynomial network.

---

\*Corresponding Author: Department of Mechanical and Computer-Aided Engineering, National Formosa University NO. 64, Wen-Hua Road, Hu Wei, Yun Lin, 63208, Taiwan.

Tel: +886-5-6315306

Fax: +886-5-6315310

E-mail: jasonych@nfu.edu.tw

