

個人電腦應用之一

玉米厚層乾燥對數模式之探討

Applications of Personal Computers --
A Study on Corn Drying Using Logarithmic Model

國立臺灣大學農工研究所研究生

國立臺灣大學農機系副教授

方 焯

馮 丁 樹

Fang, Wei

Fon, Din-Sue

Abstract

Many researchers for years presented complicated models (Thompson et. al., 1968; Henderson, 1968; Bakker-Arkema, 1971; Hamdy & Barre, 1969) in order to simulate the drying process of stationary-bed dryers and, in applications, obtained quite satisfactory results for different purposes. Most of these models applied sophisticated numerical techniques and required large computers as tools in computations. The expense in this respect becomes very critical.

A simplified model has been introduced to cutshort the computing time in an early age, with a decrease of accuracy as a sacrifice. For design or operation purposes, this shortcoming can be neglected, however, especially when the model is applied to an optimization process.

Purpose of this study is to design a personal computer software that can handle corn drying problems on the basis of a logarithmic model developed by Hukill in 1954 and, later, further improved by Baughman, et. al. in 1971. This software, written in BASIC language, is intended to be used on the Apple II series computer, with results directly shown in forms of graphs, which later can be listed out on printer.

Users will finally realize that, in most of cases, the program can be run in a very interactive manner and the results are well arranged in a response to new inputs.

一、前 言

穀物乾燥之模擬，常需經過複雜的演算，一般多借助於電腦設備。如類比 (Analog)、數位

(Digital) 及混合型電腦 (Hybrid Computer)

。然而，由於電腦硬體之發展，以及製造成本的降低，個人電腦在國內已逐漸普遍，雖然其容量有限，但若能善加利用，並以之模擬農產品之乾燥過

程，是有其可供發展的潛力。

以對數模式 (Logarithmic Model) 來模擬厚穀層乾燥，對穀物的種類沒有限制，且計算非常迅速，精確度雖然略低，但誤差仍在一合理範圍內。惟一的缺點在於其輸入與輸出條件，皆為無因次變數，應用上頗不方便，必須另外進行轉換工作。

本文旨在將此不方便的對數模式，利用個人電腦作一擴充，改善其輸入、輸出方式，使之成為實用的型式，並以 BASIC 語言寫成交談式 (Interactive) 程式，利用圖表，讓使用者能更清楚整個乾燥過程之變化。

二、研究目的

1. 利用個人電腦撰寫一適用於厚層穀物之乾燥模式，解決乾燥機械設計時，所需繁複運算之問題。

2. 針對乾燥模式，加以分析，並將結果實際與電腦之硬體結合，發揮其製圖之功能。

3. 提供作業決策過程中，所需之尋優技術，以為乾燥系統建立與策劃之依據。

4. 提供教學上之功能，利用個人電腦交談性，使使用者能方便使用。

三、理論探討

在模擬厚穀層乾燥的諸多模式中，大多是將厚穀層分割成若干薄層，再逐層以薄層乾燥方程式來模擬，不僅複雜且使用頗多的計算機時間。

Hukill (1954) 則直接對整個厚穀床之乾燥過程進行模擬。基本上，Hukill 認為熱空氣所損失之熱量為提供穀體中水分蒸發之主要來源，忽略乾燥過程中穀體本身及其排出水分之顯熱變化，以公式表示如下：

$$G \cdot S_a \frac{\partial T}{\partial y} = \rho_g \cdot L \cdot \frac{\partial M}{\partial t} \quad (1)$$

Hukill 並提出其經驗解：

$$C = 2^{D'} / (2^{D'} + 2^{y'} - 1) \quad (2)$$

其中 G：熱空氣流量率 lb/ft²·hr

S_a：熱空氣比熱 BTU/lb°F

T：熱空氣溫度 °F

y：穀床中某穀層之厚度 ft

S_g：堆積 (Bulk) 密度 lb/ft³

L：水之蒸發潛熱 BTU/lb

M：穀物含水率 乾基%

t：乾燥時間 hr

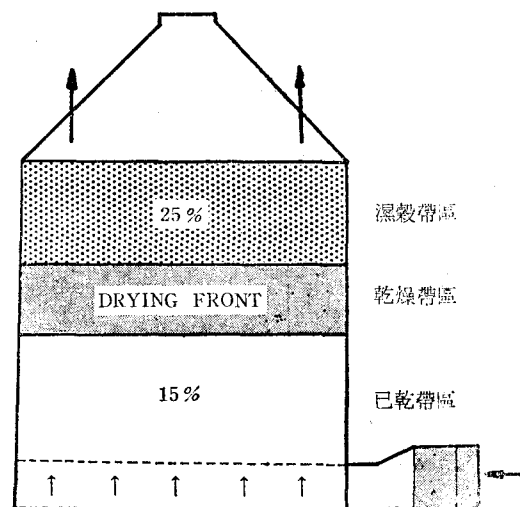
D'：厚度因數 (Depth factor)

y'：時間單元 (Time Unit)

C：水分比 = (M - M_e) / (M₀ - M_e)

由於(1)式中有M、T兩個因變數，缺乏其他支持條件，故無法得解。Hukill 雖曾提出經驗解，但並不太正確 (Rest & Isaacs, 1968)。Barre & Hamdy (1971) 配合乾燥帶移動率 (Q) 的觀念，獲得M與T間之關係式。

在厚層乾燥過程中，通常乾燥一開始，乾燥帶已然形成，並循空氣流動方向通過穀層，直到乾燥結束為止。在乾燥期間內，總穀層的水分梯度，如圖一所示，大致上可分成三個區帶，即已乾帶、乾燥帶、濕穀帶，其中乾燥帶區內水分、溫度之變化甚大，其他兩區內之變異則不顯著。在已乾帶區內，穀溫大致與空氣溫度相當，含水率則近於其在該空氣狀態下之平衡含水率。由於穀層水分轉移之作用低微，空氣幾乎未發生變化即通過已乾帶而開始在乾燥帶區內吸收穀體排出的水分。進入乾燥帶區後，熱、質交換劇烈，空氣溫度降低，穀物之含水率也降低，但未達其平衡含水率之值。空氣帶走部份水分之後，已達飽和狀態，是以又幾乎不發生變化地通過濕穀帶再行排出。後繼的空氣在乾燥帶中繼續帶走水分，終使乾燥帶區內之穀物水分達到平衡狀態轉變成已乾帶，乾燥帶遂往上移動。



圖一：乾燥帶示意圖

在乾燥帶之前方屬濕穀帶，其含水率近於初始含水率。設在單位截面積內，乾燥帶逐漸往上移動之速率為V，乾燥帶移動率（Q）定義為單位時間、單位截面積內乾燥帶所經過的穀物重量，其值用下式表示：

$$Q = \rho_g \cdot V = \rho_g \cdot \frac{\partial y}{\partial t}$$

$$\begin{aligned} \text{由(1)式 } G \cdot S_a \frac{\partial T}{\partial y} &= \rho_g \cdot L \cdot \frac{\partial M}{\partial t} = \rho_g \cdot L \cdot \frac{\partial M}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} \\ &= L \cdot \frac{\partial M}{\partial y} \left(\rho_g \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \right) \\ &= -Q \cdot L \frac{\partial M}{\partial y} \end{aligned}$$

式中，負號表示溫度與水分梯度方向相反。故M與T的關係式如下：

$$G \cdot S_a \cdot \frac{\partial T}{\partial y} = -Q \cdot L \cdot \frac{\partial M}{\partial y} \quad (3)$$

積分之，

$$\begin{aligned} G \cdot S_a (T_o - T_{out}) &= Q \cdot L (M_o - M_{out}) \\ \therefore Q &= \frac{(T_o - T_{out})}{(M_o - M_{out})} \cdot \frac{G \cdot S_a}{L} \quad (4) \end{aligned}$$

若穀床夠厚，空氣流經穀層之時間夠久，則 M_{out} ， T_{out} 可相當於 M_e ， T_e 。

$$Q = \frac{(T_o - T_e) \cdot G \cdot S_a}{(M_o - M_e) \cdot L} \quad (5)$$

其中：G, S_a , ρ_g , L 定義同前。

T_o ：空氣進入乾燥帶時之溫度。

T_{out} ：空氣離開乾燥帶時之溫度。

T_e ：空氣與穀物之間的最終平衡溫度。

M_o ：空氣進入乾燥帶前，乾燥帶內穀物含水率。

M_{out} ：空氣離開乾燥帶後，乾燥帶內穀物含水率。

M_e ：空氣與穀物之間維持平衡時的平衡含水率。

由(2)式與(3)式得

$$\begin{aligned} G \cdot S_a \cdot \frac{\partial T}{\partial y} &= -QL \frac{\partial M}{\partial y} = \rho_g L \frac{\partial M}{\partial t} \\ \text{故 } \rho_g \cdot \frac{\partial M}{\partial t} &= -Q \cdot \frac{\partial M}{\partial y} \quad (6) \end{aligned}$$

(5)式代入(6)式

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{-G \cdot S_a (T_o - T_e)}{\rho_g \cdot L (M_o - M_e)} \cdot \frac{\partial M}{\partial y} \quad (7)$$

(7)式中只有M一個獨立因變數，故為可解，透

過一些無因次變數的轉換，(7)式可再予以簡化。設

$$\begin{aligned} C &= \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \\ D &= \frac{L \cdot K \cdot \rho_g}{G \cdot S_a} \left(\frac{M_o - M_e}{T_o - T_e} \right) \cdot y \\ \theta &= K \cdot t \end{aligned}$$

則(7)式可簡化如下：

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = \frac{-1}{1 - C(0, \theta)} \frac{\partial C}{\partial D} \quad (8)$$

其中 C：水分比，無單位
D：厚度因數，無單位
 θ ：時間單元，無單位
K：乾燥常數 1/hr

(8)式頓配合一初始條件 (I. C.) 及一邊界條件 (B. C.) 以求解。Hukill 導出乾燥方程式如下，類似於牛頓冷卻定律：

$$\frac{dM}{dt} = -K \cdot (M - M_e)$$

積分之，

$$C = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-Kt) = \exp(-\theta) \quad (9)$$

初始條件：C(D, 0) = 1

邊界條件：C(0, θ) = exp(- θ) (10)

將(10)式代入(8)式，得

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial \theta} &= \frac{-1}{1 - e^{-\theta}} \frac{\partial C}{\partial D} \\ \therefore 0 &= \frac{\partial C}{\partial \theta} + \frac{1}{1 - e^{-\theta}} \frac{\partial C}{\partial D} \quad (11) \end{aligned}$$

由於C為D, θ 的函數，故全微分式為：

$$\frac{dC}{d\theta} = \frac{\partial C}{\partial \theta} + \frac{\partial C}{\partial D} \frac{dD}{d\theta} \quad (12)$$

(11)式與(12)式相比較，可得

$$\frac{dC}{d\theta} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{dD}{d\theta} = \frac{1}{1 - e^{-\theta}} \quad (14)$$

因此，(8)式的偏微分方程式，可縮減成(13)式與(14)式之兩個常微分方程式。

式(13)的常微分方程式，定義着D - θ 範圍上的線羣，在各曲線上的每一點之C值相同。式(14)表示在D - θ 範圍內通過(D, θ)點的曲線之斜率。式(13)與式(14)所定義的線羣即為式(8)的特徵線羣。

由(14)式積分之，

$$D = \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{1 - e^{-\theta}} = \ln \left(\frac{e^{\theta} - 1}{e^{\theta_0} - 1} \right) \quad (15)$$

式(15)即為D-θ範圍內的特徵線羣方程式，θ₀為該線在θ軸上之截距。由(13)式知，沿特徵線羣，C值不改變，故(8)式的解可單純的視為其邊界條件沿此些線羣的延伸。已知邊界條件：

$$\begin{aligned} C(0, \theta) &= e^{-\theta} \quad \text{則} \\ C(D, \theta) &= e^{-\theta_0} \end{aligned} \quad (16)$$

(16)式代入(15)式，可得

$$\begin{aligned} D &= \ell_n \frac{e^{-\theta} - 1}{\frac{1}{C(D, \theta)} - 1} \\ \therefore e^{\theta_0} &= \frac{e^{-\theta} - 1}{1 - C(D, \theta)} = \frac{C(D, \theta) \cdot (e^{-\theta} - 1)}{1 - C(D, \theta)} \end{aligned}$$

$$\text{故 } C(D, \theta) = \frac{e^{\theta_0}}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \quad (17)$$

乾燥過程中熱風溫度之變化，大體上與水分之變化相似。

由式(1)與式(3)，消去M可得

$$-Q \cdot \frac{\partial T}{\partial y} = \rho_e \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (18)$$

將(18)式改寫成無因次變數型式，可得

$$\frac{\partial T_R}{\partial \theta} = \frac{-1}{1 - T_R(D, 0)} \cdot \frac{\partial T_R}{\partial D}$$

其中 $T_R = (T - T_e) / (T_0 - T_e)$

初始條件： $T_R(0, \theta) = 1$

邊界條件： $T_R(D, 0) = e^{-D}$

依相同之分析，可得

$$T_R = \frac{e^{\theta_0}}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \quad (19)$$

(17)式與(19)式即構成了對數模式。經由輸入θ與D即可得知在某時刻、某厚度的穀物其水分比(C)及溫度比(T_R)。

對數模式除了描述溫度與水分之變化外，尚可由此推演出其他相關之現象，其主要者有：(a) 厚度D、時間θ時之乾燥率：

就(17)式C對θ微分

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial \theta} &= e^{\theta_0} \cdot (-e^{-\theta}) \cdot (e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1)^{-2} \\ &= \frac{-e^{\theta_0} \cdot e^{-\theta}}{(e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1)^2} \end{aligned} \quad (20)$$

又 $C = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$ ， $\theta = K \cdot t$

故 $\frac{\partial C}{\partial \theta} = \frac{\partial M}{\partial t} \cdot \frac{1}{K(M_0 - M_e)}$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = K \cdot (M_0 - M_e) \cdot \frac{\partial C}{\partial \theta}$$

(b) 厚度D₁至D₂間的平均乾燥率：

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial C}{\partial \theta} \right|_{\text{平均}} &= \frac{1}{D_2 - D_1} \int_{D_1}^{D_2} \frac{\partial C}{\partial \theta} \cdot dD \\ &= \frac{e^{\theta_0}}{D_2 - D_1} \left(\frac{1}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} - \frac{1}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

由底層至厚度D間之平均乾燥率

D₁ = 0, D₂ = D 代入(21)式，

$$\left. \frac{\partial C}{\partial \theta} \right|_{\text{平均}} = \frac{1}{D} \left(\frac{e^{\theta_0}}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} - 1 \right) \quad (22)$$

$$\left. \frac{\partial M}{\partial t} \right|_{\text{平均}} = K \cdot (M_0 - M_e) \cdot \left. \frac{\partial C}{\partial \theta} \right|_{\text{平均}}$$

(c) 厚度D₁至D₂間的平均水分比：

$$\begin{aligned} \bar{C} &= \frac{1}{D_2 - D_1} \int_{D_1}^{D_2} C \cdot dD = \frac{1}{D_2 - D_1} \\ &\int_{D_1}^{D_2} \frac{e^{\theta_0}}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \cdot dD \\ &= \frac{1}{D_2 - D_1} \ell_n \left[\frac{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \right] \end{aligned} \quad (23)$$

由底層至厚度D間的平均水分比

D₁ = 0, D₂ = D 代入(23)式

$$\bar{C} = \frac{1}{D} \cdot \ell_n \left(\frac{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \right) \quad (24)$$

已知 $\bar{C} = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$

故 $M = (M_0 - M_e) \cdot \bar{C} + M_e$

厚度D處，乾燥至平均含水率為C時，所須的乾燥時間：

$$\text{由(24)式 } CD = \ell_n \left[\frac{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \right]$$

$$e^{\theta} = \frac{e^{\theta_0} - 1}{e^{CD} - 1}$$

$$\theta = \ell_n \left[\frac{e^{\theta_0} - 1}{e^{CD} - 1} \right] \quad (25)$$

若 $\bar{C} \cdot D > 7$ 則 $e^{CD} \gg 1$, $e^{\theta} \gg 1$

$$\theta = D(1 - C)$$

已知 $\theta = K \cdot t$

故 $t = \theta / K$

(e) 厚度D、時間θ時的乾燥效率：

$$\eta = \frac{T_0 - T}{T_0 - T_e} = 1 - T_R = 1 - \frac{e^{\theta_0}}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \quad (26)$$

(f) 厚度D、時間區間θ內的平均乾燥效率：

$$\begin{aligned} \eta \Big|_{\text{平均}} &= \frac{1}{\theta} \int_0^{\theta} \eta \cdot d\theta = \frac{1}{\theta} \int_0^{\theta} \\ &\left(1 - \frac{e^{\theta_0}}{e^{\theta_0} + e^{-\theta} - 1} \right) \cdot d\theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\theta} \left[\theta - \ln(e^D + e^\theta - 1) \right]_0^\theta \\
&= 1 - \frac{1}{\theta} \left[\ln(e^D + e^\theta - 1) \right]_0^\theta \\
&= 1 - \frac{1}{\theta} \cdot \ln \left[\frac{e^D + e^\theta - 1}{e^D} \right] \quad (27)
\end{aligned}$$

(g) 乾燥帶的厚度及其移動速率：

假設乾燥帶定義在水分比 0.05 至 0.95 所包括的範圍內，則由圖二可知，乾燥時間在 θ_0 之後，其厚度約有 6 個厚度因數 (D)。時間單元在 0 至 θ_0 之間為乾燥帶形成期，厚度一直在增加。 θ_0 為 $C=0.05$ 時在 θ 軸上的截距，是以 $\theta_0=3$ ，其計算公式如下：

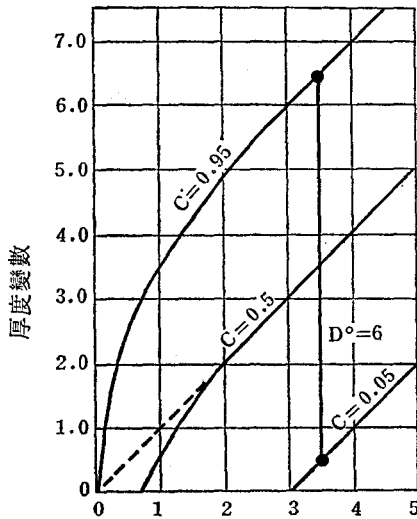
$$\begin{aligned}
C(D, \theta) &= e^{-\theta} \\
\theta_0 &= -\ln \cdot C \quad (28)
\end{aligned}$$

$$\text{又 } C = \frac{e^D}{e^D + e^\theta - 1}$$

$$C \cdot (e^D + e^\theta - 1) = e^D$$

$$(1 - C) \cdot e^D = (e^\theta - 1) \cdot C$$

$$D = \ln \left[\frac{C \cdot (e^\theta - 1)}{1 - C} \right] \quad (29)$$



圖二：乾燥帶之形成及其厚度

設乾燥帶內水分比定義為 C_1 (低) 至 C_2 (高)，且乾燥時間為 θ ，其乾燥帶之厚度為 ΔD ，可由 (29) 式得知：

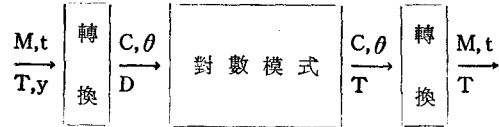
$$\begin{aligned}
\Delta D &= D_2 - D_1 = \ln \left[\frac{C_2(e^\theta - 1)}{1 - C_2} \right] \\
&\quad - \ln \left[\frac{C_1(e^\theta - 1)}{1 - C_1} \right] = \ln \left[\frac{(1 - C_1) \cdot C_2}{(1 - C_2) \cdot C_1} \right] \quad (30)
\end{aligned}$$

在乾燥初期 (0 至 θ_0 時間內) 乾燥帶正在形成。 $D_1=0$ 故上式可改為

$$\Delta D = \ln \left[\frac{C_2(e^\theta - 1)}{1 - C_2} \right] \quad (31)$$

四、對數模式之建立

由 (27)、(29) 至 (30) 式可知，公式本身皆以無因次的變數表示。在使用上較為不便。為此，必須將實際之數值先進行轉換，俟正確數值獲得後，復轉換回實際數值，其觀念如下：



圖三：新對數模式示意圖

因此，欲知穀層厚度 y 處，乾燥 t 小時之後的含水率值，只須輸入 t ， y 及初始水分值及空氣條件便可轉換成 D ， θ ，透過對數模式之計算公式得出 C 值，再轉換得到真正的含水率。

本模式除配合上列所述各項公式外，尚須配合玉米粒之乾燥特性及空氣之熱力學特性，其中較為重要者敘述如下：

1. 水之汽化潛熱， L_s ，BTU/lb

$$L_s = 1075.8965 - 0.56983(T_f - 32) \quad (32)$$

T_f = 熱風乾球溫度 °F

2. 比熱， S_a ，BTU/lb，°F

$$S_a = 0.2405 + 0.448 A_h \quad (33)$$

A_h = 空氣絕對濕度 lb H₂O/lb 乾空氣

3. 玉米粒平衡含水率， M_e ，乾基 (小數)

$$M_e = \left[\frac{\ln(1 - rh)}{(-3.8198 \times 10^{-5})(T_f + 50)} \right]^{1/2} \quad (34)$$

(Thompson, 1967)

rh = 相對濕度，小數

4. 乾燥常數， K ，hr⁻¹ (玉米粒)

$$K = 1941e^{-5023/(T_f + 459.69)} \quad (35)$$

5. 堆積密度， ρ_s ，lb/ft³

$$\rho_s = [48.191363497 + 0.349436983 \times M_w + 0.0100198933 \times M_w^2] / 1.25 \quad (36)$$

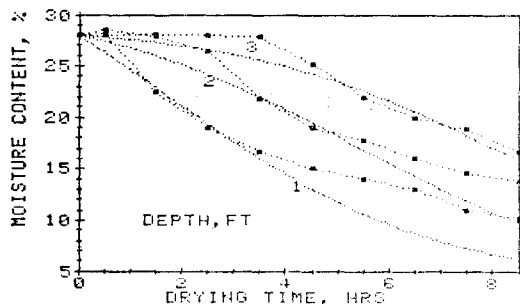
M_w = 玉米粒水分含量，小數

五、模式的驗證

Baughman, Hamdy & Barre (1971) 發展的對數模式，可適用於各種不同的穀物。本文中以玉米粒為對象，透過各經驗方程式，將原模式中無因次的輸入、輸出條件轉換成實際為人們所熟悉

的變數，基於經驗方程式本身的誤差，原對數模式推導時的各項假設，以及實際實驗數據量測時的種種誤差，欲期完全精確地預測乾燥過程之種種變化，顯然不可能，但只要預測值在一合理的誤差範圍內，且能有一正確的變化趨勢，則模式的建立仍是可行的。

本文採 ALLEN (1960) 的實驗數據以為驗證的根本，其操作條件為：積床厚 3 呎，熱風溫度 130°F，相對濕度 9.1%，初始含水率 28% DB，風量率 270 lb/ft²·hr，本文配合其操作條件執行之結果，如圖中虛線所示，方塊點為實驗值。除底層有過乾之預測外，乾燥時間在 5 小時以後，穀床厚度 3 呎的部份，預測值與實驗值之誤差不超過 ± 1%。由此可知，對數模式在穀床愈厚，乾燥時間愈久的乾燥條件下，愈能準確的模擬。



圖四：對數模式的驗證
(實驗值摘自 ALLEN, 1960)
■ 實驗值
..... 預測值

六、程式之應用

本程式係以 Apple II 個人電腦之培基語言寫成。由於篇幅關係，程式原稿存於作者處（臺北市舟山路 136 號），有意者可來信索取。

程式開始時，顯現如圖五之螢幕。內容包括乾燥時所需之各項常數。常數之更換可直接按下該項號碼為之。項目中，包括熱風溫度，相對濕度、穀層厚度、厚度區間，總乾燥時間、時間區間、風量率及最初穀溫等項。變化橫軸可為穀層厚度，亦可為乾燥時間，縱橫則有圖六中所列之前九項可供挑選，其中包括：

```
*****
**          DEEP BED          **
**    NEW LOGARITHMIC MODEL    **
**      N.T.U. -- .A.M.E      **
*****
THE FOLLOWING CONSTANTS ARE SET:
```

1. HOT AIR TEMP..... (C) 50
2. REL. HUMIDITY..... (%) 30
3. INIT. GRAIN MC..... (WB%) 30
4. TOTAL GRAIN DEPTH... (M) 4
5. DEPH INCREMENT..... (M) .5
6. TOTAL DRYING TIME... (HRS) 60
7. TIME INCREMENT..... (HRS) 2
8. AIRFLOW RATE.... (CMM/M²) 20
9. INIT. GRAIN TEMP.... (C) 30

TO ACCEPT, PRESS RETURN
TO CHANGE, ENTER ITEM NO. ? 1

圖五：對數模式之主螢幕，可更改資料輸入

```
*****
**          MAIN GATE          **
*****
STOP! PICK ONE TO GO...
```

1. FIND MOISUTRE CONTENT.
2. FIND MEAN MOISTURE.
3. FIND TEMPERATURE.
4. FIND DRYING RATE.
5. FIND MEAN DRYING RATE.
6. FIND DRYING EFFICIENCY.
7. FIND MEAN DRYING EFFICIENCY.
8. FIND DRYING TIME.
9. FIND DEPH OF DRYING ZONE
10. TO TICKET OFFICE.

SELECT (1:10) ?

圖六：功能選擇螢幕

1. 穀物水分變化 (分乾基與濕基變化)。
2. 果積平均含水率。
3. 穀體溫度變化。
4. 乾燥速率。
5. 累積平均乾燥速率。
6. 各層乾燥效率。
7. 累積平均乾燥效率。
8. 穀層中某點乾燥時間。
9. 乾燥帶厚度。

上述項目依前面所導之理論公式演算而得。其結果與資料可選擇文字顯示與圖形顯示兩種，在列表機列印之情形亦然。圖七為文字資料顯示。亦可如圖八—十五直接圖形列印，其品質與繪圖機相去不遠，一般之 Epson 或 Okidata 列表機即可勝任。

 ** 1. FIND MOISUTRE CONTENT. **

DEPTH= .5 M (5.093 FACTOR) 時間區間

1	2	3	4	5
34.88	34.643	34.181	33.301	31.7
29.018	25.083	20.307	15.683	12.088
9.741	8.379	7.642	7.257	7.061
6.962	6.912	6.887	6.875	6.869

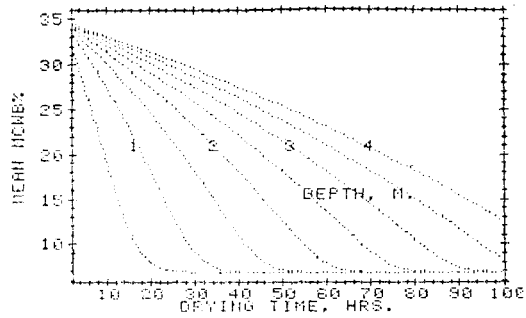
DEPTH= 1 M (10.186 FACTOR)

1	2	3	4	5
34.999	34.998	34.995	34.989	34.977
34.953	34.906	34.812	34.627	34.262
33.562	32.263	30.011	26.524	21.971
17.189	13.186	10.425	8.764	7.846

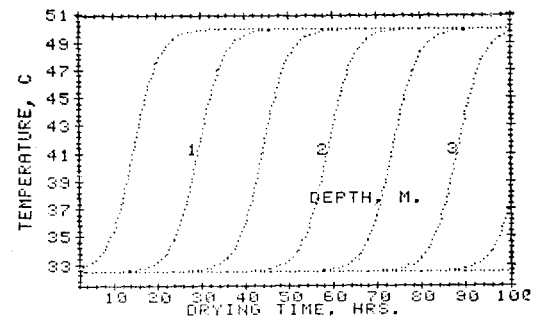
DEPTH= 2 M (20.372 FACTOR)

1	2	3	4	5
35	35	35	35	35
35	35	35	35	35
35	35	35	35	34.999
34.998	34.996	34.993	34.985	34.971
34.942	34.883	34.768	34.539	34.093
33.243	31.693	29.082	25.22	20.485
15.849	12.209	9.817	8.421	7.664

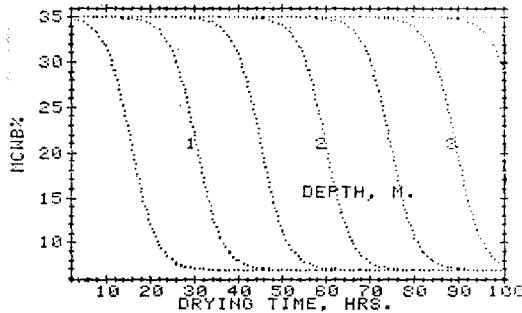
圖七：以列表機將資料文字列印之情形



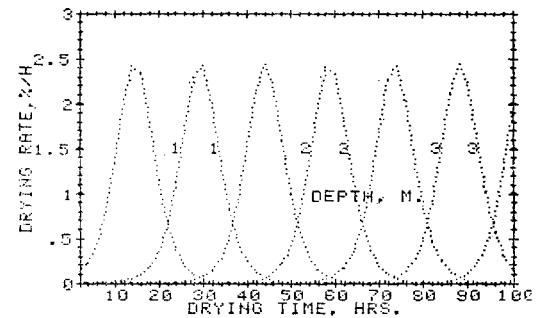
圖十：各層累積平均含水率之變化情形



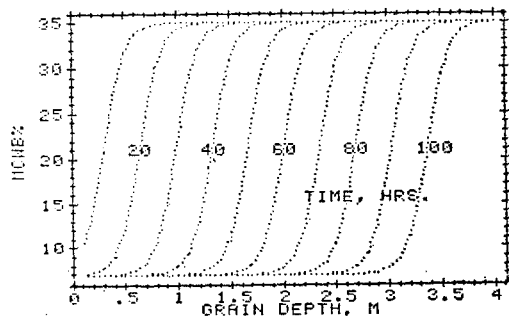
圖十一：穀體溫度之變化情形



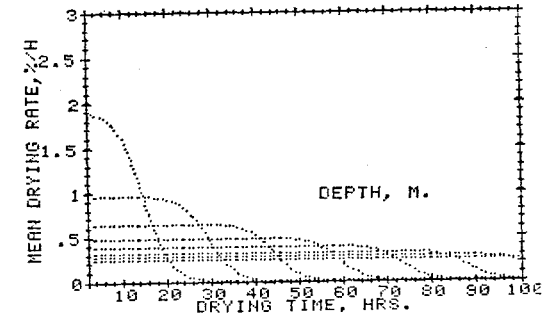
圖八：以乾燥時間為橫軸，水分變化情形



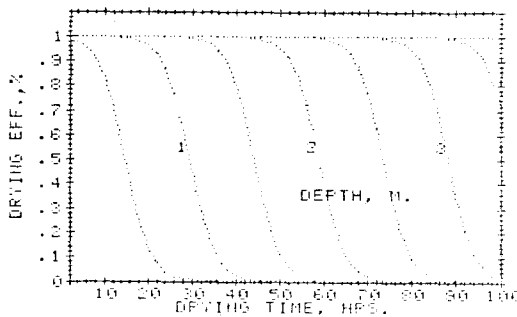
圖十二：各層乾燥速率之變化情形



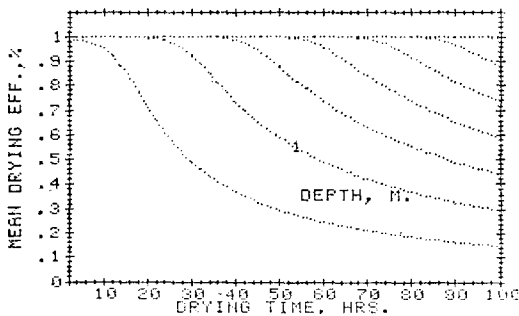
圖九：以穀層厚度為橫軸，水分變化情形



圖十三：累積至各層平均乾燥速率之變化情形



圖十四：乾燥效率之變化



圖十五：累積至該層層之平均乾燥效率變化

```
*****
**      B. FIND DRYING TIME.      **
*****
```

```
INPUT GRAIN DEPTH <M> 1.2
INPUT MEAN M.C. <%DB> 32.5
```

```
DRYING TIME =7.863 HR
```

圖十六：立即式求得各位置所需之乾燥時間

```
*****
**      9. FIND DEPTH OF DRYING ZONE **
*****
```

```
DEFINE MOISTURE RATIO IN ZONE
  UPPER RATIO=.95
  LOWER RATIO=.05
```

```
TIME <HR>=25
```

```
ZONE FORMING TIME =8.644 HR
```

```
ZONE IN .735 M TO 1.493 M
```

```
ZONE DEPTH=.758 M
```

圖十七：立即式求得乾燥帶之厚度

圖八為以圖五之資料為基礎，所繪之穀分含水率變化情形。橫軸為乾燥經歷之時間，圖線以厚度區間為單位，逐層顯示。圖九為相同情況，但橫軸為穀層厚度，各線以乾燥時間為區隔，逐層顯示。

圖十為自底層累積而上，至該層之平均水分含量。最上層所示即為整個穀層之平均水分含量變化情形。

圖十一為穀物溫度變化情形，其變化趨勢與圖八之水分變化大致相同，但增減之方向相反。

圖十二為各層乾燥速率之變化情形。由此變化趨勢觀之，各層乾燥速率之變化情況大致相同，惟最高點發生之時間依序不同。由此亦可了解乾燥帶隨時間，往上前進之情形。

圖十三所示為累積乾燥速率之變化情形。其最後層之平均值為一常數。第一層變化最大，依序轉小，終趨穩定。是一個變化甚為有趣之圖形。

圖十四所示為乾燥效率之變化，其趨勢與圖八之情形完全相同。圖十五為其累積平均值變化之情形，就整體而言，總乾燥效率值在乾燥前期將維持一定數。乾燥後期逐漸下降，因為減率乾燥現象愈明顯之緣故。

圖十六為第八項功能。由穀層位置及乾後最終水分推測所需乾燥時間。利用此項功能，隨時可查得各狀態下之乾燥時間，十分方便。圖十七所示之內容主要在求乾燥帶之實際厚度。乾燥帶厚度與乾燥時間與風量有關係，但亦受水分比之上下值所限制。

以上所述為本文所提程式所能顯示之功能。利用功能指示可直接作為一般設計乾燥機之參考。更可因不同之乾燥條件之運作，預測乾燥機之性能。

七、結 論

個人電腦之使用，目前大部份均以玩電腦遊戲之方式相待，故很少農機或加工方面之軟體可供使用。有些研究人員則認為模擬的工作非較大電腦莫屬。事實上，Apple II 八位元之電腦已充分足以應付農機方面所需處理之問題。本文利用前人所提之對數乾燥模式，進行綜合整理、運用，並設法將整個軟體表現於交談性很強之培基語言上。同時，充分利用 Apple II 本身高解析頁，隨時繪製成圖表。此項配合，不但操作簡易，並可省却數值分析與計算上諸麻煩。

本文現以玉米粒之乾燥為例，將來可擴充至其他穀類之乾燥問題，使其功能更為增強。

九、誌謝

本文承農委員 74 年農建-4.1-產植-92 (7) 計畫項下補助，方得順利完成，謹誌謝意。有關程式之內容與操作手冊，有意者，請直接與作者聯繫。

十、中文摘要

許多學者經多年之研究，提出了不少複雜的模式 (Thompson et, al., 1968; Henderson, 1968; Bakker-Arkema, 1971; Hamdy & Barre, 1969……) 以模擬厚穀層之乾燥狀況，在實際操作上，均有甚滿意的結果。惟這些模式大部份借助較為複雜的數值方法以及大型的電腦設備以供運算，其所使用的計算機時間甚可觀。因此，便有人嘗試以較簡化的數學模式來模擬厚穀層乾燥。此模式由於過程簡化之結果其準確性較差，但其在實際應用、分析或設計上，仍有其參考之價值，或可為其他複雜模式之先導模式，作為尋優 (Optimization) 作業之基準。

本文乃利用 1954 年 Hukill 所提對數模式之構想，配合 1971 年 Baughaman 等人的理論，以培基語言，寫成一極為實用之玉米乾燥過程所需之分析軟體，應用於目前十分普遍之 Apple 個人電腦上。使分析結果能有效地以圖表顯示，供作參考。

由於軟體本身有充分的交談性，在使用上，可將生手使用時所遭遇之困擾減至最小的程度。只要更改乾燥過程所需之常數，程式可迅速反應所要之答案與圖形。

十一、參考文獻

1. Bakker-Arkema, F. W., L. E. Lerew. and R. C. Brook. 1978. Cereal grain drying. Am. Assoc. of Cereal Chemists., St. Paul, MN.
2. Barre, H. J., G. R. Baughaman, and M. Y. Hamdy. 1971. Application of the logarithmic model to crossflow deep-bed grain drying. Trans. ASAE 14(6): 1061-1064.
3. Barwick, A. J., K. A. Jordan. and A. D. Longhouse. 1967. Accuracy in computer evaluation of moist air properties. Trans. ASAE 10(5): 579-585.
4. Baughman, G. R., M. Y. Hamdy. and H. J. Barre. 1971. Analog computer simulation of deep bed drying of grain. Trans. ASAE. 14(6): 1058-1060.
5. Brooker, D. B. 1967. Mathematical model of the psychrometric chart. Trans. ASAE 10(4): 558-560,563.
6. Chau, K. V. 1980. Some new empirical equations for properties of moist air, Trans. ASAE 23(5): 1266-1271.
7. Crank, J. 1975. The mathematics of diffusion. Oxford Univ. Press., Ely House, London.
8. Equilibrium moisture content of grains and seeds. 1982 Agricultural Engineers Yearbook. 316-318.
9. Flood, C. A., Sabbah, M. A., D. Meeker. and R. M. Peart. 1972, Simulation of a natural-air drying system. Trans. ASAE 15(1): 156-162.
10. Hukill, W. V. 1947. Basic principles in drying corn and grain sorghum, Agri. Eng. 28(8): 335-338,340
11. Hukill, W. V. 1954. Grain drying with unheated air. Agric. Eng. 35(6): 393-395,405.
12. Pabis, S. and S. M. Henderson. 1962. Grain drying theory: III. The air/grain temperature relationship. J. Agric. Eng. Res. 7(1): 21-26.
13. Sabbah, M. A., H. M. Keener. and G. E. Meyer. 1979. Simulation of solar drying of shelled corn using the logarithmic Model. Trans. ASAE. 22(3): 637-643.
14. Steffe, J. F., and R. P. Singh. 1982. Diffusion coefficients for predicting rice drying behaviour. J. Agric. Eng. Res. 27, 489-493.
15. Thompson, T. L., R. M. Pert. and G. H. Foster. 1968. Mathematical simulation of corn drying-A New Model. Trans. ASAE, 11 (4): 582-586.
16. Rest D. J. V., and G. W. Isaacs. 1968. Exposed-layer drying rate of grain. Trans. ASAE. 11(2): 236-237, 239.
17. Wratten, F. T, W. D. Poole, J. L. Chesness, S. Bal, and V. Ramarao. 1969. Physical and thermal properties of rough rice. Trans. ASAE. 33(26): 801-803.