

個人電腦應用之二

NTU-DRY 靜置式厚層玉米粒乾燥系統模擬程式之研究

Applications of Personal Computers (II)

—A Study on the Simulation of a Stationary Drying System of Shelled Corn

國立臺灣大學農機系研究助理

國立臺灣大學農機系副教授

方 煒

馮 丁 樹

Fang Wei

Fon Din-Sue

摘 要

玉米乾燥模式的建立，以應用在大型電腦為多。近年來，由於電腦硬體的發展與製造成本的降低，個人電腦已相當普遍，故尋求一適用於個人電腦使用的乾燥軟體，甚為必要。

本文旨在為靜置式厚層玉米粒乾燥問題設計一專業軟體——NTU-DRY，用以模擬玉米粒的乾燥過程中各項參數，諸如：穀溫、含水率、空氣相對溫度及質變率之變化情形。依據資料驗證結果得知，由程式模擬所得之數據相當準確。

本軟體可作為研究者、設計者或教育方面人員使用之工具，並期望由此研究出發，在未來電腦應用上，提供一個新的方向，以提高農業機械化之層次，促進農業現代化。

Abstract

Most of the grain drying models were built up on large computers. But thanks to the rapid development of computer hardware and its low manufacture cost, personal computers come into market everywhere. Simulations of grain drying on personal computers becomes possible. Therefore, development of suitable software programs for this purpose is quite necessary.

Purpose of this study is to provide a special software-- NTU-DRY, in simulating shelled corn drying problems. The predicted values, such as: grain moisture content, grain temperature, drying air relative humidity and deterioration rate, were found satisfactory.

This program package is specially designed, and can be served as a tool, for those researchers, designers and educational personnel who intend to find a new direction for future applications of personal computers on agricultural mechanization.

一、前言

利用電腦模仿實況(Real World)系統進行測試，再由測試結果獲得期望的資料，稱為電腦模擬(Computer Simulation)。幾乎各種實況系統都可用電腦從事模擬；愈是複雜的系統愈是能夠發揮其特性。尤其是對一些不能經由實驗，或實驗成本高昂，或耗時甚多的系統，電腦模擬幾乎成了最後的一項法寶。

電腦模擬分析之工作，一般可供下列用途：

1. 描述現有的系統。
2. 探討假想的系統。
3. 設計一個改進的系統。

從模式的模擬作業中，較容易「觀察」整個系統的變動，並收集適切的資料，以供分析。此外，電腦模擬尚具有兩大優點：

1. 分析者可控制系統參數，而非受系統控制。
2. 在模擬之運用上，可得一很大的時間壓縮(Time Compression)，節省作業時間。

電腦模擬應用在穀物乾燥方面，早已相當普遍，尤以玉米為然。其有關文獻大致齊備，模式建立較易。惟前人之工作大體皆放在大型電腦之應用上。(Bakker-Arkema, 1974; Bloome & Shove, 1971; Morey, 1976; Pierce & Thompson, 1979; Sabbah 1968; Thompson 1968; 1972; Troeger & Hukill, 1971) 而本研究則將整套模擬程式建立於個人電腦上。選擇使用個人電腦基於三項主因：

1. 使用交談(Interactive)式溝通，可控制系統參數，方便對各變因作不同之輸入，較具彈性與實用性(所謂「交談式」的定義是：文字式的交談，而非平常所說用嘴巴的對話)。

2. 個人電腦因價格低、維護易，其流行早是世界的趨勢，本省亦已相當普及。

3. 建立的模擬程式可方便地存於磁片上，利於攜行，頗具流通性。

本研究之目的包括下列五項：

1. 利用個人電腦寫成一名稱為 NTU-DRY 之交談程式，以供乾燥機設計之參考，並為學校教學方面提供一實用之學習軟體。

2. 模擬靜置式厚層玉米粒通風、乾燥之過程。

3. 利用模擬程式探討乾燥過程中各項變因之影響。

二、玉米粒乾燥之背景

自推行稻田轉作政策以來，玉米為主要之轉作對象，玉米之乾燥問題亦隨之發生。尤其本省氣候潮濕，且一年兩作，收穫後之玉米穗水分相當高，穗乾與粒乾作業須配合進行。粒乾方式，以採循環式居多，亦有配合穗乾設備而採用靜置式者，分箱型或貨櫃型兩種。

在美國，玉米粒之乾燥以靜置圓倉為主，其優點有：損傷率低、燃料省而熱效率高，且管理費用低，但乾燥時間長、穀層乾燥程度上下不易均勻，需於乾燥中或乾燥後，進行混合攪拌。

雖然如此，在穀物乾燥之模擬過程上，仍以靜置式者為基礎，再由此推演至其他方式之模擬。對於一般圓倉之玉米粒乾燥模擬工作，一般採用定層分段方式進行分析。亦即在某特定穀層厚度之下，將其細分成若干薄層，使每層厚度趨於薄層乾燥狀況，以利用有關薄層理論與文獻進行分析。NTU-DRY 模式採用相同之處理方式。

為使模式簡化，細分後各區段內之穀物須符合下述各項之假設：

1. 圓倉之橫斷面方向穀層所受之風量均相等。
2. 各區段內之穀物為均質，其物理特性如含水率、溫度、濕度等相關性質均相同。
3. 不考慮穀物乾燥過程中，穀體體積之變化，因此，其壓力降及變化梯度維持不變。
4. 圓倉外殼與穀物間無熱傳遞現象，因此圓倉本身為一絕緣良好之容器，乾燥期間不受外氣冷熱之影響。

三、NTU-DRY 模式之基本功能

NTU-DRY 模式之發展，係針對教育與實際研究人員之所需加以發展而成。故程式內綜合許多學者所提出之薄層乾燥理論。使用者可在程式交談中，由其所提供之菜單(Menu)上作適當選擇，並就相同條件下進行各項處理方式之結果比較。

除乾燥模式本身所具有之高度選擇彈性外，NTU-DRY 模式尚具有下列特殊功能：

- (1) 通風量可作彈性輸入：通風量可直接輸入，或由設定之風機特性中求得適當值。熱風溫度因通過風機後所增加之溫度亦會自動演算。

- (2) 氣象資料可作變動性輸入，可以逐日或逐時為單位重覆輸入運算。氣象資料可另存在氣象檔案

中，由程式自動取出運算。

(3)NTU-DRY 亦可作為儲藏通風之模擬，並探討其有關之玉米品質之變化。

四、乾燥基本模式

NTU-DRY 之基本模式係由多層薄層之乾燥情形累加而成。如圖 1 所示，即為單位截面積內，厚度 δx 的穀層所構成之元件(element)。由此元件再進行一連串的疊合。在不同時間下熱風通過元件後的水分及熱量將產生變化。由此進而瞭解玉米在乾燥過程中水分含量及穀溫的變化情形。

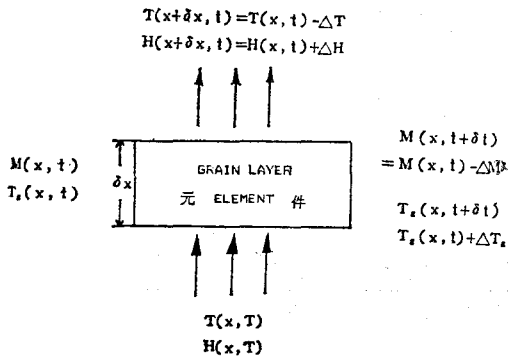


圖 1 乾燥元件層之熱、質傳遞解析圖

熱風係由底層進入，經過 Δt 時間區間後通過該層，進入一元件層。在此過程中，空氣中的水分將增加 ΔH ，溫度則降低 ΔT 。玉米粒方面，穀溫增加 ΔT_g ，而含水量減少了 ΔM 。其中涉及空氣與穀物量之熱量與質量傳遞以及穀體內部水分之擴散速率問題，茲說明如下：

1. 空氣狀態公式：

$$P_s = \exp[54.639 - 12301.69/Tr - 5.16923 \ln(Tr)] \dots\dots\dots (1)$$

當 $491.67 \leq Tr \leq 672^\circ R$

$$P_v = 23.63H / (1 + 1.608H) \dots\dots\dots (2)$$

$$H = 0.6219P_v / (14.696 - P_v) \dots\dots\dots (3)$$

$$V = 53.35Tr / [144(14.696 - P_v)] \dots\dots\dots (4)$$

$$rh = P_v / p_s \dots\dots\dots (5)$$

- 其中， P_s ：飽和蒸汽壓 psi
- P_v ：蒸汽壓 psi
- H ：絕對濕度 $lbH_{20}/lb\text{dryair}$
- V ：比容 ft^3/lb
- rh ：相對濕度，小數
- Tr ：熱風溫度 $^\circ R$

2. 穀物及乾燥空氣間之質量平衡

$$M\ell = M_i + (H_i - H\ell)100/R \dots\dots\dots (6)$$

其中， $R = WG/WA = \text{玉米粒重(磅) / 空氣重(磅)} \dots\dots\dots (7)$

$$WG = (37.86)\delta x / (1 - M_i) = \text{玉米粒重(磅) / ft}^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$WA = 60(\text{cfm})\delta t / V = \text{空氣重(磅) / ft}^2 \dots\dots\dots (9)$$

M ：含水率% (乾基)

註標： i = 乾燥空氣 (熱風) 通過前之狀態。

ℓ = 熱風通過後之狀態。

3. 穀物及乾燥空氣間之能量平衡

$$T\ell = [(0.24 + 0.45H_i)T_i + RT_g + (H_i - H\ell)(1092.8 - T_g)] / [(0.24 + 0.45H\ell) + R] \dots\dots\dots (10)$$

其中， $T_i\ell$ ：熱風溫度 $^\circ F$

T_g ：穀溫 $^\circ F$

4. 穀物及乾燥空氣間之水份平衡狀態

$$rh = 1 - \exp[-3.82 \times 10^{-5}(T\ell + 50)Me^2] \dots\dots\dots (11)$$

其中， Me ：為玉米之平衡含水率 (小數)

表一 玉米粒諸平衡含水率方程式適用範圍

方程式名稱	相對溼度 %	空氣溫度 $^\circ F$	參考文獻
KELVIN	> 95		1
LANGMUIR			1
B. E. T.	< 50		11
HARKINS-JURA	45--90	50--155	10, 11
SMITH	45--90	50--155	10
HENDERSON	20--60	40--155	10, 11
THOMPSON	20--90	32--122	8
CHUNG-PFOST	20--90	50--155	8, 11
STROHMAN-YOERGER	15--80	40--140	5, 6
SABBAH	20--80	32--70	6
CHEN	10--100	35--120	17
DERGER	0--100	40--140	1, 4

上式為 Thompson 平衡含水率方程式，在此僅列為代表。實際上，可依操作條件之不同選擇各家不同平衡含水率方程式中之合適者。筆者綜合各家理論，半理論或經驗的平衡含水率方程式，依其適用範圍整理如表一，可供使用者參考。

以上為 Thompson 平衡模式之主體，本程式以此架構再配合薄層乾燥方程式及吸濕方程式來修正原平衡模式所得之含水率值以得一較正確之預測。

5. 乾燥方程式

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \text{一適當的乾燥方程式} \dots (12)$$

或 一適當的吸濕方程式

在此，乾燥方程式方面，Misra (1978) 建議下式

$$MR = \exp(-kt^N) \dots (13)$$

$$\text{其中 } K = \exp[-7.1735 + 1.2793 \ln(T_f) + 0.0007 Va]$$

$$N = 0.0811 \ln(RH) + 0.0078 M_0$$

t = 乾燥時間，小時

M₀ = 初始含水率，% 乾基

T_f = 熱風溫度 °F

Va = 風量率 cfm/ft²

RH = 相對濕度，%

上式亦僅為代表，筆者依各乾燥方程式之適用範圍整理如表二，可供使用者參考。

表二 玉米粒諸乾燥方程式及其適用範圍

方程式名稱	空氣溫度	溼度	風速 FT/MIN	初始含水率 DB %	參考文獻
HUKILL	/	/	/	/	15
MISRA-BROOKER	36-160 F	RH 3-83 %	5-459	18-60 %	18
HUIZHEN-MOREY	27-116 C	RH 5-40 %	0.1-0.5*	23-36 %	17
PABIS-HENDERSON 球	95-200 F	RH 14-90 %	/	/	13
PABIS-HENDERSON 磚	100-160 F	/	/	/	14
THOMPSON	160-300 F	/	20-60	23-50 %	24, 25
SABBAH	32- 70 F	RH 22-80 %	168	38-41 %	9, 24
TROEGER	90-160 F	RH 0-80 %	20-160	21-42 %	26
SCHUEERMAN- MÜHLAVER	176-392 F	/	90-180	45-65 %	24

表三 玉米粒諸吸濕方程式及其適用範圍

方程式名稱	空氣溫度 F	相對溼度 %	風速 FT/MIN	初始含水率 DB %	參考文獻
DEL-GIUDICE	60-105	60-100	10	/	5
MISRA-BROOKER	36-160	3- 83	5-75	7.75-24.5	8, 18
THOMPSON	50-110	90-100	/	23-50	25

Misra(1980)建議吸濕方程式如下：

$$MR = \exp(-kt^N) \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{其中 } K = \exp(-8.5122 + 1.2178 \ln(T_f) + 8.64 M_0)$$

$$N = 2.1876 - 1.67 \text{ rh}$$

M_0 = 初始含水率, 小數乾基

rh = 相對濕度, 小數

T_f = 熱風溫度, °F

t = 乾燥時間, 小時

各吸濕方程式之適用範圍如表三。

在程式操作上, 各元件層由兩項因素控制: 一為元件層數; 一為時間區間。元件層數決定空氣進入第一層元件後, 所需重覆操作之次數。在固定厚度下元件層數愈多, 理論上愈趨近薄層乾燥, 但甚耗時。本程式係以20層為最高限制。時間區間之長短決定第二次迴圈之計算, 直到乾燥條件滿足為止。有關本程式之乾燥作業流程如圖2所示。開始時, 先決定風量率及其他乾燥參數, 然後進入兩道迴

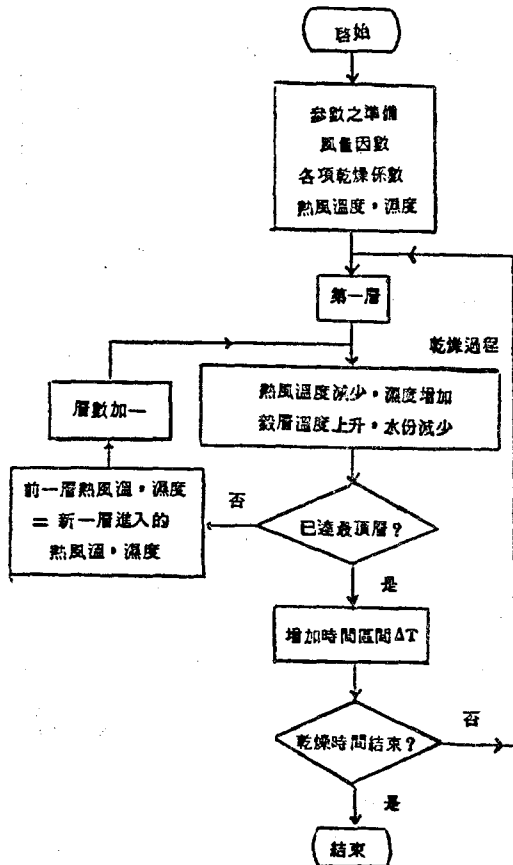


圖2 乾燥解析流程圖

圈內計算。

首先經由厚度迴圈, 由底層到頂層, 再經由時間迴圈, 由乾燥開始到終了之程式執行動作。模擬的過程不斷地在元件中依序進行, 當所有元件皆計算完畢, 則整個步驟將在下一個時間區間內重覆, 直到抵達乾燥終了時間為止。

五、通氣量之運算

通氣量之大小, 須於基本模式執行之前, 先行決定。程式允許使用者自由設定, 亦允許就現有資料進行運算。後者之通氣量與風機之特性, 圓倉之直徑及穀層高度有關, 必須利用 Shedd 穀物阻力曲線, 與風機之特性曲線兩者交點求取作用點。其結果如圖3所示。

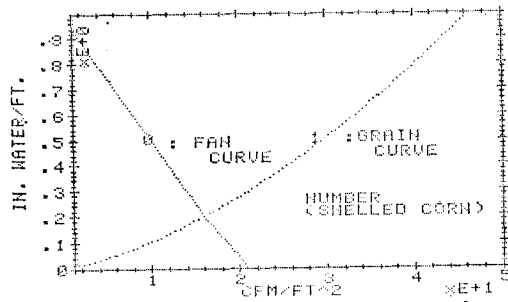


圖3 利用風機特性曲線與Shedd阻力曲線求風量率

六、系統結構之介紹

使用本套軟體, 必須具備下列電腦設備, 如圖4所示:

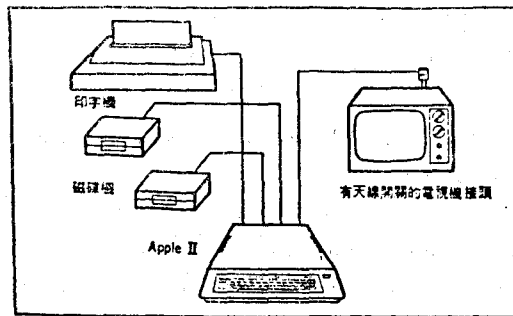


圖4 典型的機件連接圖

1. 一部至少48K 的 Apple II, Apple II Plus 或 Apple II e 個人電腦。
2. 一至二部軟式磁碟機 (Flopy Disk Driver)。

3.螢幕 (監視器 Monitor)。

4.印表機 (Printer)。

NTU-DRY 程式結構如圖 5，箭頭方向表示資料的存取或指令的流動。其中包括：三個主要程

式檔 (主、輔繪圖程式)，一個操作常數檔，三個資料檔 (平均、逐層乾燥資料、氣象資料) 及一個繪圖數據檔。

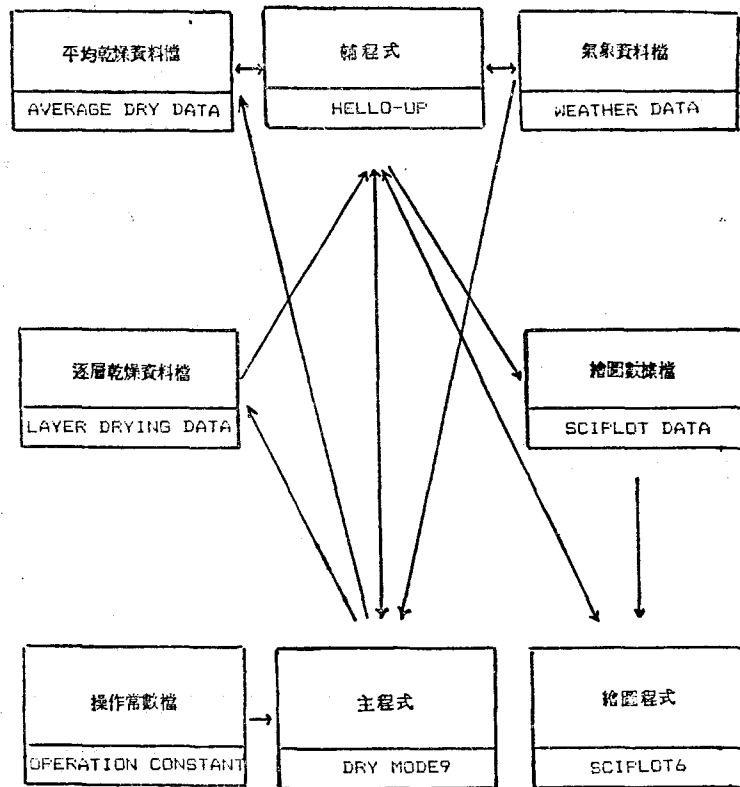


圖 5 NTU-DRY 程式之檔案結構圖

程式經執行，首先進入輔程式，如圖 6 所示之流程圖顯示，進入控制表後，此處包含一簡單的使用說明，並允許處理資料檔案，為繪圖作準備 (將資料檔轉換成繪圖數據建立數據檔) 以及進入主程式執行乾燥模擬，進入繪圖程式執行繪圖或結束程式之執行。

主程式為本乾燥模擬系統之主體，其流程圖如圖 7 所示，在項目表中設定初始條件一欄，允許更改各預先設定的操作條件。包括：乾燥倉尺寸，熱風狀態，玉米狀態及數量、風機馬力、風壓與風量大小、輔熱量多寡，夾雜物含量、總乾燥時間、時間區間、厚度區間之設定及平衡含水率、乾燥方程式，吸濕方程式之選擇等，如圖 8 所示。

所有設定一經確認即可進入乾燥模擬，程式中允許對薄層與厚層玉米粒分別進行模擬，其模擬結

果如圖 9 與圖 10 所示，可直接存入資料檔中，顯示於螢幕上，或由印表機印出。

詳細的程式操作說明，請洽作者 (臺北市舟山路 136 號)。

七、模擬結果與驗證

本軟體係綜合許多學者所提之各種乾燥理論方程式所組成，是以程式的驗證亦針對此些方程式就兩方向來進行，一為薄層乾燥，一為厚層乾燥。

(一)薄層乾燥之驗證：

本文中配合 Flood (1972); Troger (1971); Westerman (1973); 以及 Misra (1980) 等人之實驗數據、驗證如下：

圖 11a,b,c 所示為薄層乾燥方程式在各操作條件下之預測值與實驗值之關係圖，各操作條件列於

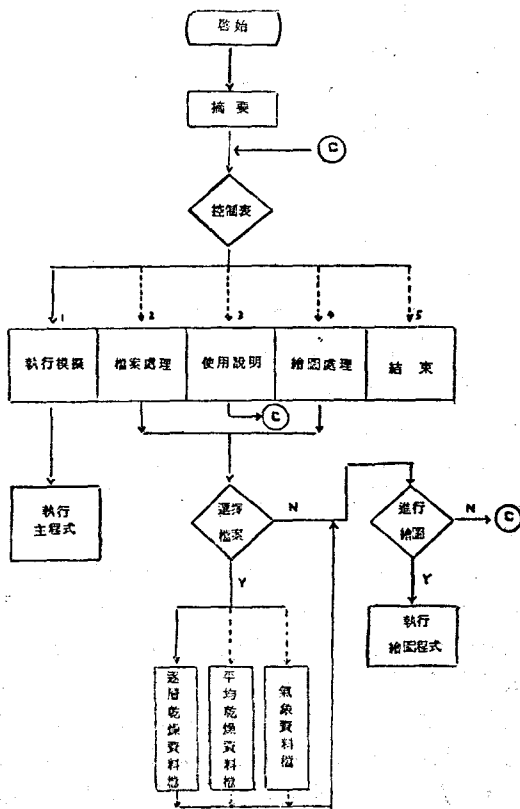


圖 6 輔程式流程圖

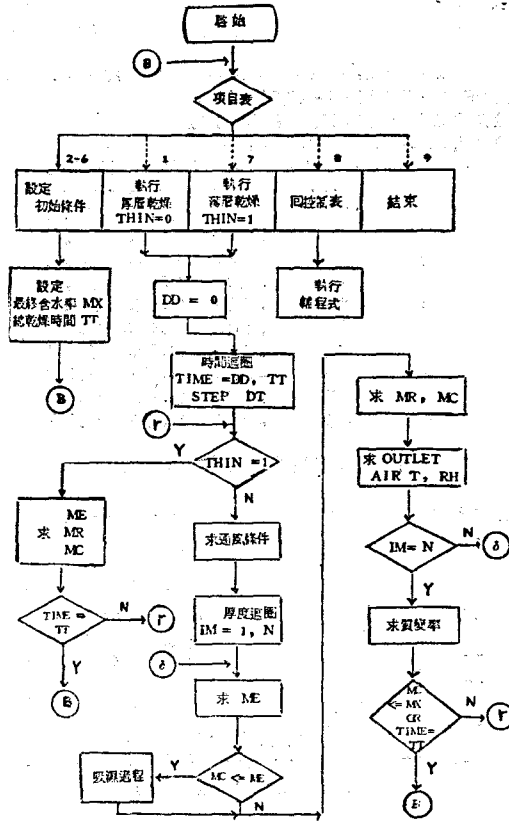


圖 7 主程式流程圖

```

*****
**                               **
**      MAIN CONTROL             **
**                               **
** CODE=0-(301)-4-(20)-(010)   **
**                               **
*****
YOU MAY CHOOSE FROM THE FOLLOWING--

1. TO ENTER DRYING OPERATION.
2. TO CHANGE BIN & FAN DATA.
3. TO CHANGE TIME & CONTROL MODE.
4. TO CHANGE AIR & GRAIN DATA.
5. TO CHANGE THE DRYING MODE DATA.
6. TO RE-ENTER THE DRYING MODE.
7. TO ENTER THIN LAYER DRYING.
8. TO ENTER THE CONTROL MODE.
9. TO QUIT.

SELECT: ?2

```

圖 8 乾燥常數與功能選擇表

TIME= 4 HRS. AIR TEMP= 123 F.
CODE=0-(301)-4-(20)-(000)

LAY	DEPTH	MOISTURE	AIR	GRAIN		
-ER	FT.	MCWB%	MCDB%	R.H.%	TEMP, F	DET.%
0	0	28	38.9	13.8	60	0
1	1	16.6	19.9	100	79.9	.188
2	2	27.9	38.8	99.9	80	2.28
3	2.9	28	38.9	98.6	80.4	2.29
4	3.9	27.8	38.4	100	80.3	2.25
5	4.9	27.9	38.7	99.9	80.5	2.27
6	5.9	28	38.9	98.3	81	2.28
7	6.8	27.8	38.5	100	80.7	2.25
8	7.8	27.9	38.7	99.9	80.9	2.27
9	8.8	28	38.9	98.6	81.3	2.28
10	9.8	27.8	38.6	100	81.1	2.25
AVERAGE=		26.9	36.8		80.6	XE-2

--GO ON <RET> OR BREAK ?--

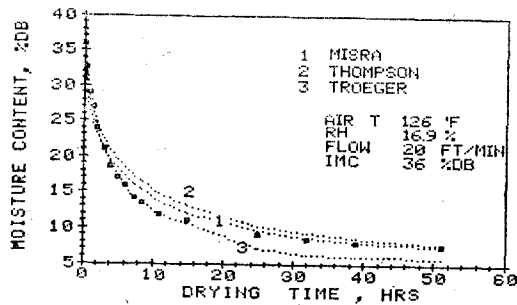
圖 9 厚層乾燥之部份模擬結果
(最後一項為質變率)

```

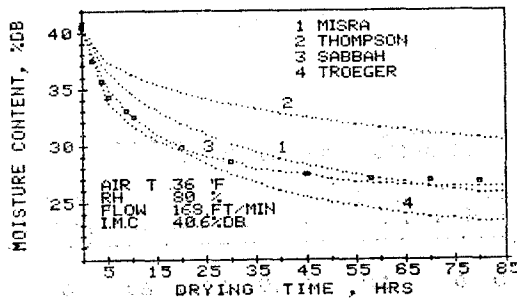
*****
**          THIN LAYER DRYING DATA          **
**          *****                          **
CODE=0-(301)-4-(20)-(000)
AIR TEMP= 120F.  RH= 15%.
AIR VEL.= 64FPM.  EMC= 5%MCDB.
NO. TIME,HR MR MCWB% MCDB%
-----
0      0      1      28      38.8
1      4      .430  16.3  19.5
2      8      .272  12.4  14.2
3     12      .206  10.7  12.0
4     16      .169   9.70 10.7
5     20      .145   9.03 9.92
6     24      .128   8.54 9.34
7     28      .039   5.96 6.33
8     32      .023   5.47 5.79
9     36      .016   5.26 5.56

```

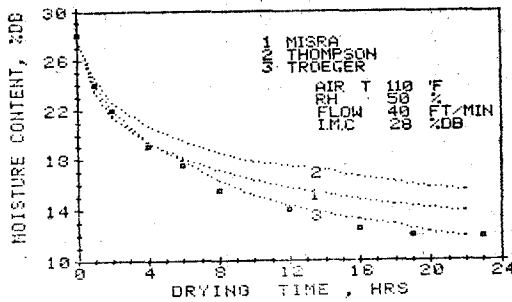
圖10 薄層乾燥之部份模擬結果



a 高溫低風量時



b 低溫高風量時



c 中溫中風量

圖11 薄層乾燥方程式之驗證與比較

圖上。

圖11a中，操作條件中溫度一項比Thompson方程式(曲線2)之適用範圍低，風量率一項則處於Troeger方程式(曲線3)之適用範圍邊緣；見表二，是以皆有偏差；以Misra方程式(曲線1)為最適當。(各方程式之適用範圍請參閱表二)。

圖11b中操作條件之溫度一項在Misra方程式(曲線1)之適用範圍邊緣，比Thompson方程式(曲線2)之適用範圍低(見表二)。又相對濕度、風量率、初始含水率等也達Troeger方程式(曲線4)之適用範圍邊緣，是以皆有偏差；只有Sabbah方程式(曲線3)能有一較佳之符合。由本圖可知Thompson方程式非常不適用於低溫範圍；在低溫時以Sabbah方程式來模擬較為理想。

圖11c中，Thompson方程式(曲線2)之偏差仍大，但與圖11b中曲線2之偏差相比，本圖之預測值仍佳；此乃因本圖操作條件中溫度一項較近於該方程式之適用範圍。本圖之操作皆符合Misra及Troeger方程式(曲線1、3)。然而，Troeger方程式仍較優於Misra方程式。利用此種方式之比較，吾人可得知在進入厚層乾燥的模擬時應先選擇何種乾燥方程式以得較佳之預測結果。

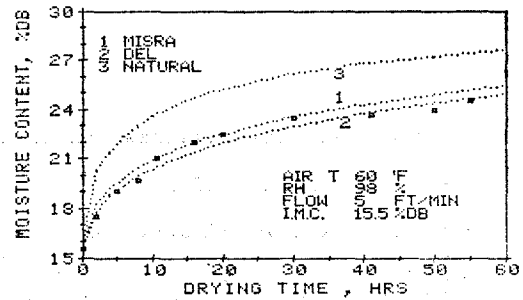


圖12 回潮吸濕方程式之驗證

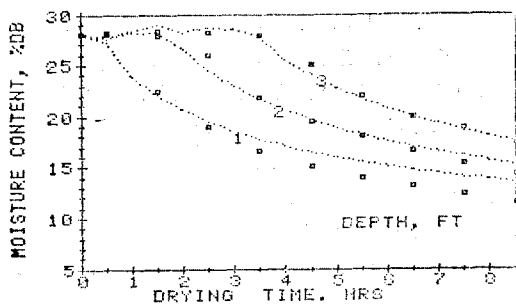
圖12為吸濕方程式與實驗值之比較，由於玉米粒回潮時有滯後效應(Hysteresis)存在，所以不能直接以乾燥方程式模擬吸濕現象。圖12為三條不同的吸濕方程式所得之結果。Thompson吸濕方程式(曲線3)明顯的較不適用於本操作條件；而Del方程式(曲線2)，則較適用於吸濕過程之後期，Misra方程式(曲線1)適合於前期使用。

(二)厚層乾燥之驗證

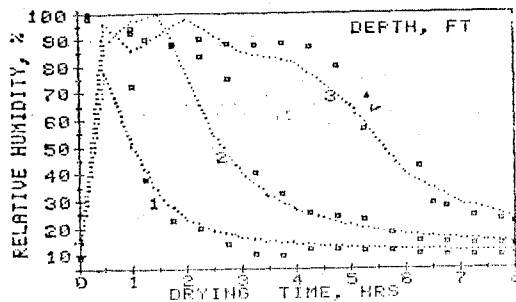
Allen, J. R. (1960) 在實驗室以小型乾燥倉

的實驗數據來驗證其模式。本文採其相同數據來印證 NTU-DRY 厚層乾燥模式。其操作條件如下：熱風溫度130°F，絕對濕度 0.008 lbH₂O/lb dry air、風量率120 lb/hr、乾燥倉底面直徑9吋，穀層厚3呎（相當於相對濕度 9.1%的熱風、風量率 68.4cfm/ft²，穀溫 60°F，初始含水率28%乾基之條件）。

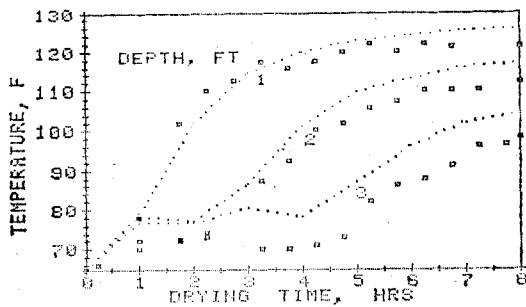
驗證過程中，操作條件如上所述，利用NTU-DRY程式分別選擇Misra 乾燥方式，Thompson 平衡含水率方程式及其吸濕方程式為架構進行模擬（註：本架構與 Allen 所用之模式無關）。時間區間為 0.5 小時，厚度區間為 0.5 呎。其預測結果如下：



a 水分含量之變化



b 空氣相對濕度之變化



c 穀溫之變化

圖13 玉米厚層乾燥之實驗值與 NTU-DRY 模擬值比較

1. 含水率的預測：

上、中、下三層穀物之含水率變化如圖13a 所示。除底層的乾燥速率預測值比實際的稍緩外，其他各層之水分預測值與實驗值均甚接近。

2. 空氣相對濕度的預測

乾燥初期相對濕度的變化波動頗大，如圖13 b。若時間區間取得太大，則很難表現初期之變化過程。圖中在 0.2 小時之後，實驗值已達95%以上的相對濕度，而取 0.5 小時的時間區間就無從了解此變化。但對整個過程的變化預測結果仍十分令人滿意。

3. 穀溫之預測：

如圖13c 所示，在頂層的穀溫預測值有較大的偏差。此乃因模式中假設穀體與周圍之空氣溫度雖維持平衡而導出的方程式本身的誤差，歸因於假設的簡略。雖由顯示之整體結果可知在穀溫預測方面仍有其正面之價值。

(三) 元件厚度之探討

程式中假設厚穀層為許多薄層之累積，能正確的描述薄層乾燥變化，便能了解整個厚穀層的變化，但各薄層乾燥方程式之導出，其先決條件是假設穀層僅為一顆穀粒的厚度，而厚穀層欲分割成各薄層僅為一顆粒厚，在計算機時間的使用上頗不經濟，是以應尋求一適當的厚度，使能兼顧經濟性與精確度。

設定各項初始條件同前，先以薄層乾燥進行模擬，求得一顆穀粒厚的薄層乾燥變化，再設定穀層厚度為 0.3 呎，並設定層數為 1 進行厚層乾燥模擬，依次更改厚度至 1 呎。比較各種厚度下之預測值與薄層模擬預測值間之差異，由圖14可知，以 0.5 呎為一厚度區間，其誤差是可接受的。厚度在 0.5 呎以下之預測值由於非常接近單一穀粒厚之預測值，是以未繪出。

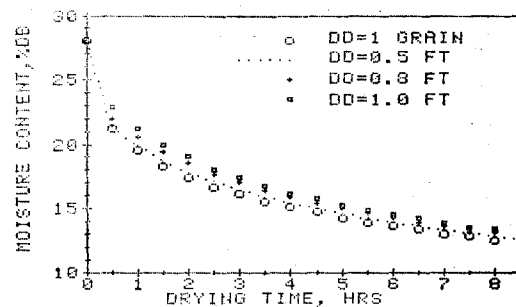


圖14 不同厚度下含水率的預測值

四、時間區間之探討

採用不同的時間區間進行模擬，將得不同的預測值，亦即有不同程度的誤差產生。區間太小，浪費計算機時間，太大則不能表現出乾燥變化的過程。是以欲期正確的表示變化情形，又希望將誤差減至一合理的範圍以內，則適當時間區間的決定是必要的。

乾燥作業之各項操作條件，隨空氣、穀物的狀況而不同，所以時間區間的決定應是頗具彈性的。本文在此提供一個方法用以決定適當的時間區間。

執行厚層模擬之前先行薄層模擬，採相同的初始條件以所需的乾燥時間為參考值，再視穀層厚度乘上一係數，即可得適當的厚層模擬之時間區間。當厚度在3呎以下時，係數可採0.06，其他厚度時之係數值。由於缺乏實驗值，是以有待進一步的研究。

對穀溫及含水率之預測，可採相同的時間區間，而欲更正確的描述相對濕度的變化過程，其時間區間可採前者時間區間之一半。

八、結 論

玉米為近年來轉作雜糧之主要對象之一，其乾燥問題亦隨之產生。故如何利用國外詳盡之乾燥資料，配合國內蓬勃的個人電腦應用，模擬玉米乾燥之過程，是為本研究之最終目的。以往乾燥之試驗，須倚賴繁複之試驗程序。利用電腦進行乾燥模擬，則快速而精確，更為設計與決策者不可或缺之工具。

NTU-DRY 程式即是依據此觀念設計而成。軟體本身有很好之適應性，有極佳之交談功能，以行參數更換及功能選擇，所獲得之資料可儲存，以供繪圖、比較。

NTU-DRY 程式係以靜置式玉米乾燥為主要對象，未來仍可加以修改，使之配合往後通風乾燥之模擬，並進而探討循環式乾燥機之模擬。模擬項目包括空氣之溫度，濕度與穀層之溫度、水分含量等之變化等。

NTU-DRY 程式最大之特性是給予使用者相當大之選擇彈性。使用者可依熱風溫度之適當範圍選擇其最適之薄層乾燥公式，使其預測值更趨精確。因此，亦可供為教材或教育上之用途。風機之配合亦有甚具彈性之選擇，使風機本身之特性與乾燥之過程能相互連繫。整個乾燥系統之設計有連貫之

優點。

九、誌 謝

本計畫承農委會74年農建-4·11產植-92(7)計畫經費補助，始克完成，謹誌謝忱。

十、參考文獻：

1. 馮丁樹譯。1978. 穀物乾燥。臺北市徐氏基金會編號1377.
2. Air resistance equation 1982. Agricultural Engineers Yearbook. 322.
3. Allen, J. R. 1960. Application of grain drying theory to the drying of maize and rice. J. Agric. Eng. Res. 5(4): 363-385.
4. Bakker-Arkema, F. W., L. E. Lerew, S. F. Deboer, and M. G. Roth. 1974. Grain dryer simulation. Mich. Exp. Stn. Res. Rep. 224.
5. Baughman, G. R., M. Y. Hamdy, and H. J. Barre. 1973. Experimental study and simulation of concurrent-flow dryers. Trans. ASAE. 14(4): 890-894.
6. Bloome, P. D. and G. C. Shove. 1971. Near equilibrium simulation of shelled corn drying. Trans. ASAE. 10(4): 709-712.
7. Din. Sue. Fon. 1983. Management strategies for corn production and drying systems. Unpublished Ph. D. dissertation. Iowa State University, Ames, Iowa.
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. Gustafson, R. J. and G. E. Hall. 1974. Equilibrium moisture content of shelled corn from 50 to 155°F. Trans. ASAE. 10(5): 120-124.
11. Hall, C. W. and J. H. Rodriquz Arias. 1953. Equilibrium moisture content of shelled corn. Agric. Eng. 39(8): 466-470.
12. Henderson, S. M. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. Trans. ASAE. 17: 1167-1170.
13. Henderson, S. M. and S. Pabis. 1961. Grain drying [theory I. Temperature effect on drying coefficient. J. Agric. Eng. Res. 6(3): 169-174.

(文轉第93頁)