

# 鋼皮圓筒倉儲存進口玉米通風之探討(1)—— 預測溫度與冬春季試驗溫度之對照

## Aeration of Imported Shelled Corn Stored in Steel Tank(1)—— Predicted Temperature Versus Experimental Winter and Spring Temperature

遠東工專講師

國立臺灣大學農機系教授兼主任

丁 大 璧

蕭 介 宗

Dah-bih Ding

Jai-tsung Shaw

### 摘 要

本研究以 100 噸的鋼皮圓筒倉散裝儲存進口玉米，探討強制通風時，外界空氣溫濕度影響倉內玉米溫度變化的情形。

本實驗限於現有設備採用  $0.327\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{ton}$  的送風率以自下往上送風方式進行通風作業，於儲存玉米溫度達到  $35^\circ\text{C}$  以上，外界空氣相對濕度低於 80% 啓動風機通風，當外界空氣相對濕度高於 80% 即關閉風機。

由下往上通風時，玉米溫度的變化由下層、中層而上層各有一主要的降溫時期，因此實行強制通風作業時，務必等上層玉米經歷過降溫的主要時期以後，才能確切發揮降溫的效果。

本文推演的玉米通風程式應用在預測鋼皮圓筒倉儲存玉米的通風作業，其結果顯示預測值與測量值略有溫度差異及相位差，這可能是由於太陽輻射熱能，霉菌昆蟲在穀倉的分佈狀態，玉米本身的呼吸熱受溫度的影響，玉米溫度的均勻度，通風管道安置狀況和較大通風量等所造成的綜合影響。

### Abstract

This paper is to study the effect of ambient air temperature and humidity on the temperature changes of shelled corn stored in a 100 tons steel tank with aeration.

This aeration experiment adopted an existing facility with an  $0.327\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{ton}$  airflow rate and an upward pressured type. The fan was operated under the air having a relative humidity below 80% and the stored shelled corn having a temperature higher than  $35^\circ\text{C}$ .

As aerating from the bottom to the top, changes of corn temperature keep a major cooling period from the bottom, the middle and the top

layer. Therefore, for the best result, the aeration time must be long enough to let the corn temperature at the top layer through the major cooling period.

During the aeration, the temperature of shelled corn stored in the steel tank can be predicted by the developed equations.

The difference between the predicted and the measured temperature may be due to the total effects of solar radiation, fungi, and insects distribution, heat of corn respiration affected by temperature, uniformity of corn temperature distribution, aeration duct layouts, and larger airflow rate.

## 一、前言

近年來由於畜牧業發展迅速，每年自國外進口約 300 萬公噸的玉米。為了確保飼料加工之持續不斷，利用倉庫儲存進口玉米以調節供需。由於玉米粒構造不如稻穀、麥類的堅韌，經過輸送之後，容易破碎而產生大量穀塵，而穀粉集中在倉庫中心形成粉柱不利於儲存（廖銘隆等，1983），有必要在本省海島氣候高溫多濕的儲存環境下，探討玉米通風技術，以確保玉米儲存的品質。

將少量的空氣送入玉米層，以維持玉米品質的管理作業，稱為通風（Brooker 等，1974）。通風的目的（蔡致榮，1983）：

(1) 維持穀層溫度均一，防止溫差而導致玉米水分之轉移。

(2) 冷卻穀物，減少霉菌繁殖和蟲類活動。

(3) 散佈薰蒸殺蟲劑，使之進入穀層。

(4) 排除貯存過程中所產生的不良味道。

(5) 除去穀物在收穫時或乾燥後所殘留的餘熱。

為避免倉頂凝結現象，通風的方向可由上而下。自上往下通風，將可迫使中央穀物溫度較高的區域所產生的對流方向改變。進入穀倉的空氣逐漸吸取穀體散熱量，並於穀溫較高的底層排出，因此，鼓風機馬達產生的熱不會增加通風空氣之溫度。蕭（1986），溫度若由下向上通風時，由於穀層表面或倉頂溫度較排出的空氣為低，水汽可能在穀層表面及倉頂凝結。若日夜溫差不大，採用由下往上送風方式亦無大礙，本研究採用由下往上送風方式進行通風作業。一般圓筒倉常溫通風量多採用  $0.104\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{ton}$ （蔡致榮，1983），惟本文限於現有設備則用  $0.327\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{ton}$  的送風率。

## 二、理論分析和應用

在一般的情況下，用來通風冷卻儲存穀物的空氣狀態隨時在改變，為了預測儲存穀物在通風期間溫度的變化，本文將穀堆考慮成由有限數目薄層穀物堆積而成，推演儲存穀物通風時，薄層穀物溫度變化的模式。其假設條件如下：

(1) 穀物的物理性質均一。

(2) 在通風的時間區段  $\Delta t$  內，空氣均勻地通過穀層。

(3) 在通風的時間區段  $\Delta t$  內，薄層穀物與通風空氣達到平衡狀態。

(4) 模擬時間區段  $\Delta t$  內，不考慮外界太陽幅射熱能，外界空氣經由穀倉壁徑向熱傳遞及霉菌昆蟲繁殖活動的生成熱。

(5) 不考慮去濕及吸附平衡含水率等溫曲線間的差異。

(6) 每一薄層穀物之溫度和含水率均一。

參照圖 1，分別考慮薄層穀物與空氣之間的質量平衡，能量平衡，玉米平衡含水率對應空氣的相對濕度之間的對等關係。

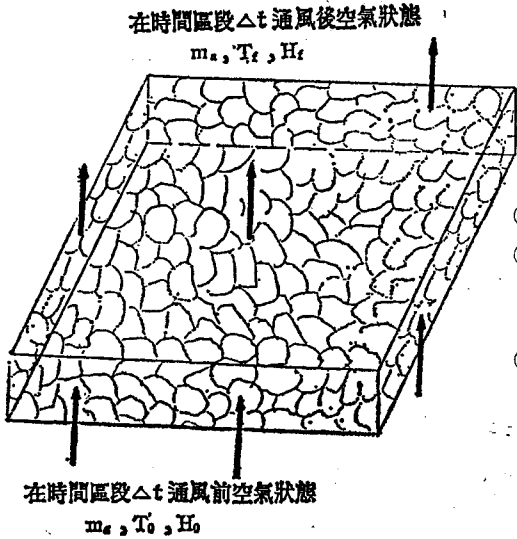
### 2.1 薄層穀物與空氣之間的質量平衡

薄層穀物因通風而損失或獲得的水分可表示為

$$\frac{m_{g1}(M_{D0}-M_{Dt})}{100}$$

$m_{g1}$ ：穀物乾質量，kg

$M_{D0}$ ：在模擬時間區段  $\Delta t$  通風前，薄層穀物的乾基含水率，%



- 薄層玉米的狀態：
- ①在時間區段  $\Delta t$  通風前  $m_{g0}, M_{D0}, G_0$
  - ②在時間區段  $\Delta t$  通風期間，薄層玉米產生的呼吸熱  $m_{g1} \cdot \frac{3278}{D} \cdot \Delta t$
  - ③在時間區段  $\Delta t$  通風後  $m_{g1}, M_{D1}, G_1$

圖 1. 在時間區段  $\Delta t$  通風前後，薄層玉米與空氣的狀態

$M_{D1}$ ：在模擬時間區段  $\Delta t$  通風後，薄層穀物的乾基含水率，%

空氣因通過薄層穀物而獲得或損失的水分可表示為：

$$m_a(H_f - H_0)$$

$m_a$ ：在模擬時間區段  $\Delta t$  內，通過薄層穀物的乾空氣質量，kg

$H_0$ ：在模擬時間區段  $\Delta t$  通過薄層穀物前空氣的濕度比，水汽重 (kg)/每kg乾空氣

$H_f$ ：在模擬時間區段  $\Delta t$  通過薄層穀物後空氣的濕度比，水汽重 (kg)/每kg乾空氣

由質量不減定律，薄層穀物因通風而損失或獲得的水分等於空氣因通過薄層穀物而獲得或損失的水分。因此，薄層穀物與空氣之間水分的質量平衡方程式為：(Thompson, 1972)：

$$\frac{m_{g1}(M_{D0} - M_{D1})}{100} = m_a(H_f - H_0)$$

上式等號兩邊各除以  $m_a$ ，重新整理，可得

$$M_{D1} = M_{D0} - \frac{100(H_f - H_0)}{R} \dots\dots\dots(1)$$

此處  $R = \frac{m_{g1}}{m_a}$

$R$ ：穀物乾質量與乾空氣質量之比

## 2.2 薄層穀物與空氣之間的能量平衡

在時間區段  $\Delta t$  通風前，空氣的熱焓可表示為 (Brooker等,1974)：

$$2324.4m_a [0.24(1.8T_0 + 32) + H_0(1075.4 + 0.81T_0)]$$

$T_0$ ：模擬時間區段  $\Delta t$  前空氣的溫度， $^{\circ}C$

薄層穀物因通風而損失或獲得水分的熱含量可表示為：

$$4184 m_a G_0 (H_f - H_0)$$

$G_0$ ：模擬時間區段  $\Delta t$  前穀物的溫度， $^{\circ}C$

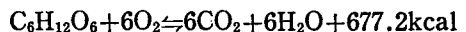
在時間區段  $\Delta t$  通風前，薄層穀物的熱含量可表示為：

$$m_{g0} C_g G_0$$

$m_{g0}$ ：模擬時間區段  $\Delta t$  前穀物質量，kg

$C_g$ ：穀物之比熱， $J/kg-^{\circ}C$  (玉米為  $2027.4 J/kg-^{\circ}C$ )

薄層穀物的呼吸熱可藉着下列碳水化合物的燃燒反應加以計算 (Thompson等, 1968)：



假設有 0.5% 的乾物質在安全儲藏期內，因呼吸作用而產生分解燃燒，則每小時每公斤乾物質的呼吸熱可由下列計算求得 (Thompson等, 1971)：

$$Q_r = \frac{677.2 \frac{\text{kcal}}{\text{mole}} \times 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg dry matter}} \times 0.005 \frac{\text{kg dry matter lost}}{\text{kg dry matter}}}{180 \frac{\text{g}}{\text{mole}} \times 0.252 \frac{\text{kcal}}{\text{Btu}} \times \frac{1}{1054} \frac{\text{Btu}}{\text{J}} \cdot \text{D. days} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{day}}}$$

$$Q_r = \frac{3278}{D} \frac{\text{J}}{\text{h -kg dry matter}}$$

$Q_r$ : 每小時每公斤乾物質的呼吸熱,  $\frac{\text{J}}{\text{h -kg dry matter}}$

D: 穀物的安全儲藏期, 天

因此, 薄層穀物的呼吸熱可表示為:

$$m_{g1} \frac{3278}{D} \cdot \Delta t$$

在模擬時間區段  $\Delta t$  後, 通過薄層穀物之空氣的熱焓可表示為 (Brooker等, 1974):

$$2324.4 m_a [0.24(1.8T_f + 32) + H_f (1075.4 + 0.81T_f)]$$

$T_f$ : 模擬時間區段  $\Delta t$  後空氣的溫度, °C

在時間區段  $\Delta t$  後, 薄層穀物的熱含量可表示為:

$$2324.4 m_a [0.24 (1.8T_o + 32) + H_o (1075.4 + 0.81T_o)] + 4184 m_a G_o (H_f - H_o) + m_{g_o} C_g G_o + \frac{3278}{D} m_{g1} \Delta t = 2324.4 m_a [0.24 (1.8T_f + 32) + H_f (1075.4 + 0.81T_f)] + m_{g_f} C_g G_f \dots (2)$$

由假設條件(3), 薄層穀物與通風空氣溫度平衡, 即  $G_f = T_f$ 。而薄層穀物因通風而損失或獲得的水分在模擬時間區段  $\Delta t$  通風期間內之值很少, 所以  $m_{g_f} = m_{g_o}$ , (2)式等號左右各除以  $m_a$ , 重新整理可得:

$$T_f = \frac{\text{分子項}}{1004 + 1882.7H_f + R'C_g} \dots (3)$$

$$\text{分子項} = 2324.4 [0.24 (1.8T_o + 32) + H_o (1075.4 + 0.81T_o)] + 4184G_o (H_f - H_o) +$$

$$R'C_g G_o + \frac{3278}{D} R \Delta t - 2324.4 (7.6 + 1075.4H_f)$$

$$\text{此處 } R' = \frac{m_{g_o}}{m_a} = \frac{m_{g_f}}{m_a}$$

$R'$ : 穀物重與乾空氣重之比, 小數

### 2.3 玉米平衡含水率對應空氣相對濕度的對等關係

玉米平衡含水率對應空氣相對濕度可以下式表示 (Thompson等, 1968)

$$RH_{air} = 1 - \exp [-3.82 \times 10^{-5} (1.8T_f + 82) M_{Df}^2] \dots (4)$$

$RH_{air}$ : 空氣的相對濕度, 小數

$M_{Df}$ : 穀物乾基含水率, 小數

玉米平衡含水率對應空氣相對濕度亦可以下式表示 (ASAE D271.2, 1984):

$$RH_{air} = \frac{\frac{H_f \cdot P_{atm}}{0.622 + H_f}}{\ell \cdot \exp\left(\frac{a + bT_{fl} + CT_{fl}^2 + dT_{fl}^3 + eT_{fl}^4}{fT_{fl} - gT_{fl}^2}\right)} \dots\dots\dots (5)$$

其中  $T_{fl} = T_f + 273.16$

$T_{fl}$  : 模擬時間區段  $\Delta t$  後空氣的絕對溫度，  
°K

$P_{atm}$  : 大氣壓力，Pa

a : -27,405.526

b : 97.5413

c : -0.146244

d :  $0.12558 \times 10^{-3}$

e :  $-0.48502 \times 10^{-7}$

f : 4.34903

g :  $0.39381 \times 10^{-2}$

ℓ : 22,105,649.25

(4)式與(5)式表示的玉米平衡含水率對應空氣相對濕度為一體兩面的關係，只是各由不同的條件求得。

(4)式是由玉米溫度及乾基含水率求得，(5)式是由水蒸氣分壓的觀念求得。故(4)式與(5)式為對等關係，兩式相等

$$1 - \exp[-3.82 \times 10^{-5} (1.8T_f + 82) M_{Df}^2]$$

$$= \frac{\frac{H_f \cdot P_{atm}}{0.622 + H_f}}{\ell \cdot \exp\left(\frac{a + bT_{fl} + CT_{fl}^2 + dT_{fl}^3 + eT_{fl}^4}{fT_{fl} - gT_{fl}^2}\right)} \dots\dots\dots (6)$$

式(1),(3),(6)中含有三個未知數  $T_f, H_f, M_{Df}$ ，利用下列程序求得其解

(i) 初步估計  $H_f$  值。

(ii) 由式(3)求得  $T_f$  值。

(iii) 由式(1)求得  $M_{Df}$  值。

(iv) 利用步驟(ii)及(iii)求得之  $T_f, M_{Df}$  值代入式(4)，求得  $RH_{air}$  值。

(v) 利用步驟(ii)及(iii)求得之  $T_f, M_{Df}$  值代入式(5)，求得  $RH_{air}$  值。

(vi) 比較步驟(iv),(v)求得之  $RH_{air}$  值，當此二步驟求得之  $RH_{air}$  之差值小於  $10^{-4}$  值(即式(6)左右兩邊之值趨近於等值時)，此時之  $H_f, T_f, M_{Df}$  即為所求值；跳出程序。

(vii) 否則重新估計  $H_f$  值，再回到步驟(ii)到(vi)。

由上面的程序求得  $H_f, T_f, M_{Df}$  值即為此薄層玉米在下一模擬時間區段  $\Delta t$  之前的乾基含水率  $M_{D0}$ ；此薄層玉米在下一模擬時間區段  $\Delta t$  之前的穀溫  $G_0$  即等於  $T_f$ ；而求得在此模擬時間區段  $\Delta t$  之後，通過的空氣相對濕度  $H_f$ ，乾球溫度  $T_f$  即分別為接下來一薄層玉米在此模擬時間區段  $\Delta t$  之前，空氣的初始相對濕度  $H_0$ ，初始乾球溫度  $T_0$ 。利用上面

程序的7個步驟再一次求得  $H_f, T_f, M_{Df}$ ，一直到此一模擬時間區段  $\Delta t$ ，通風空氣越過所有穀層之後；再由下一模擬時間區段  $\Delta t$ ，空氣的初始狀態來尋求在下一模擬時間區段  $\Delta t$  後，所有的薄層玉米溫度，依此程序步驟，反覆的計算即可求得在整個模擬時間內，各薄層玉米在各個時間的溫度狀態。

### 三、實驗設備與方法

#### 3.1 實驗設備及儀器

本文係以位於高雄小港糖廠的100噸鋼皮圓筒倉作為通風試驗倉，本次試驗實際儲存量為80噸的進口美國玉米，並在進倉時施放好達勝殺蟲劑。試驗所使用主要儀器備設有：

(1) 鋼皮圓筒倉(直徑5.32m，高7.69m)及鼓風機(軸流式1馬力)，如圖2。

(2) 自動溫度資料記錄器(FOSS THERMO-SCAN UNIVERSAL 20900，準確度  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )，如圖3。

(3) 靜壓量管(管徑0.5cm，長120cm)，如圖4。

(4) 直空取樣機(Probe-A-Vac Pneumatic Grain Sampler, CarGill Inc.)

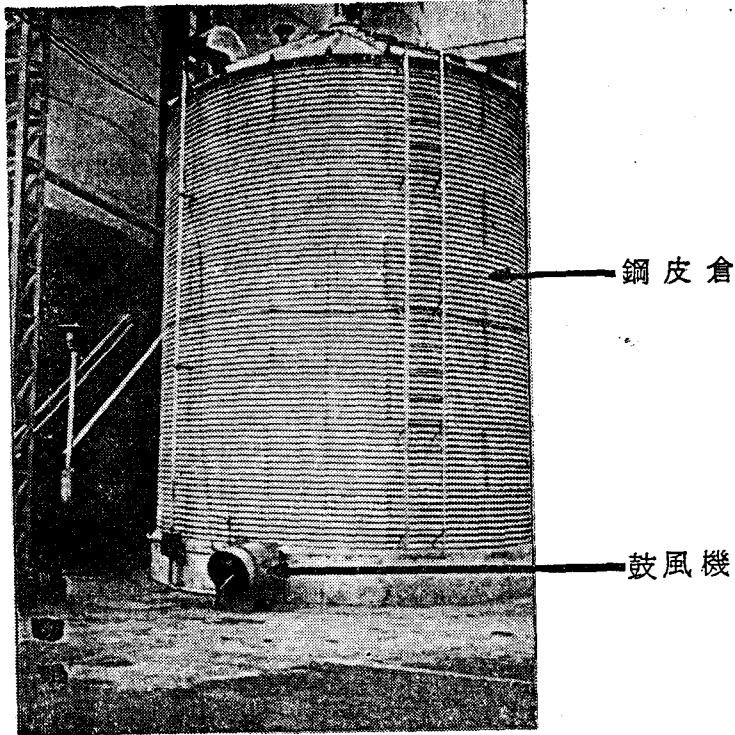


圖 2. 鋼皮圓筒倉及鼓風機



圖 3. 自動溫度資料記錄儀器及相對濕度記錄儀器

### 3.2 實驗步驟

#### 3.2.1 通風量的測定及通風方法

於鼓風機起動半小時後，以自製靜壓量管如圖 4 在穀層深度 90cm 及 2cm 處量得靜壓差 1.5mm 水柱高，即每單位深度壓力降為  $16.7\text{Pa/m}$ ，經由圖 5 估算單位面積的通風量為  $0.0195\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ ，再乘以穀倉截面積  $22.23\text{m}^2$  求得風量為  $26.16\text{m}^3/\text{min}$ ，再除以穀物總重量得到通風量  $0.327\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{ton}$ 。本試驗所用的通風管道成 V 字形安排，如圖 6 所示。通風管道的大小為 60cm 寬，60cm 深的正方形截面，長度 400cm。通風方法係採用自下往上壓送式的通風方式，於儲存穀物溫度達到  $35^\circ\text{C}$  以上，外界空氣相對濕度小於 80% 時啟動風機通風，當外界空氣相對濕度高於 80% 即關閉風機。

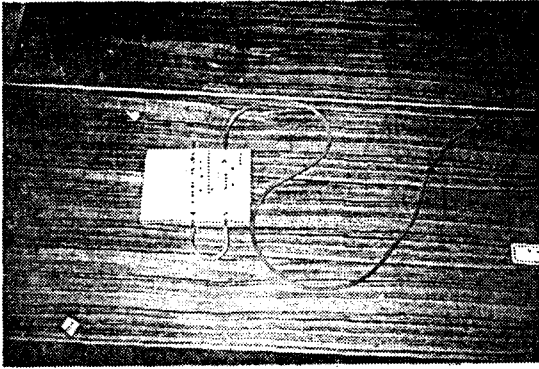


圖 4. 靜壓量管

#### 3.2.2 儲存玉米溫度測量位置及方法

儲存玉米溫度量測位置如圖 6 所示。通風期間每隔 1 小時記錄溫度一次。

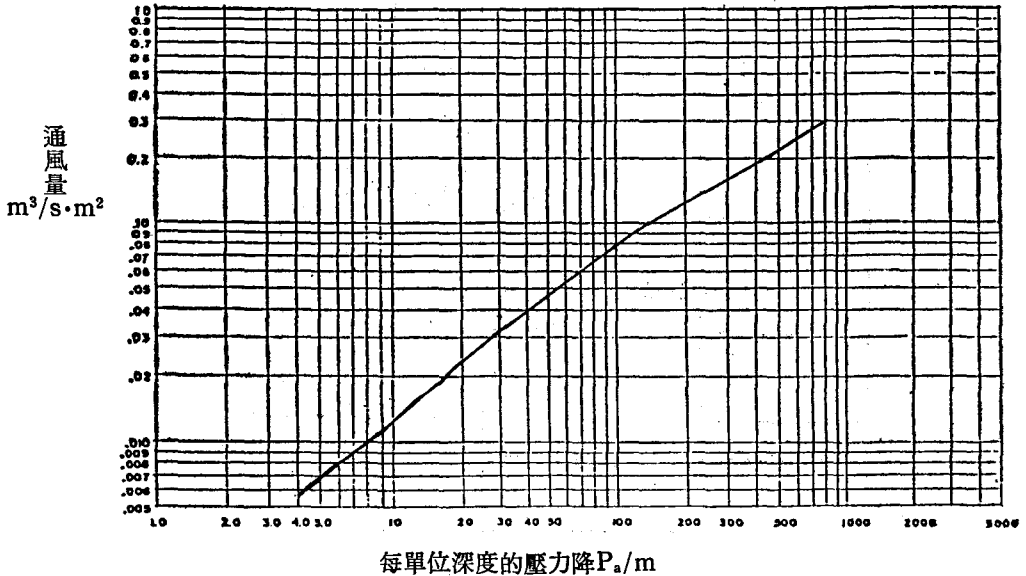


圖 5. 玉米粒對氣流之阻力 (Brooker 等 1974)

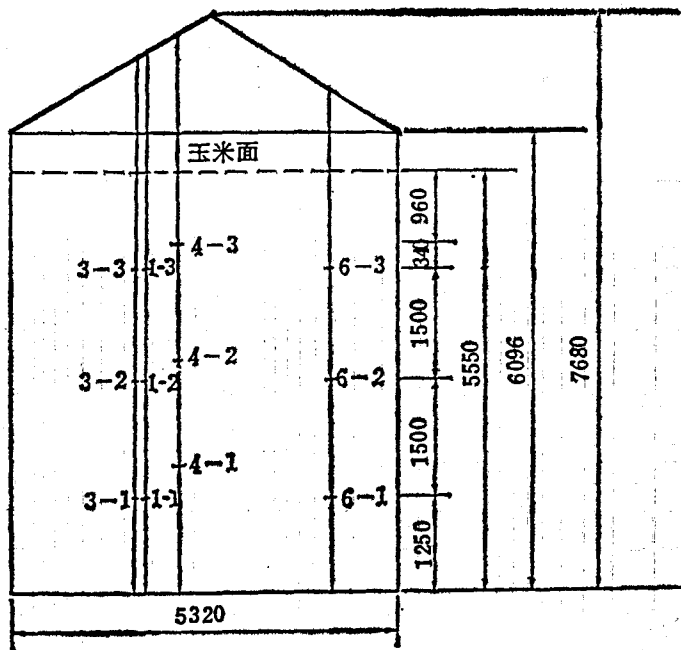
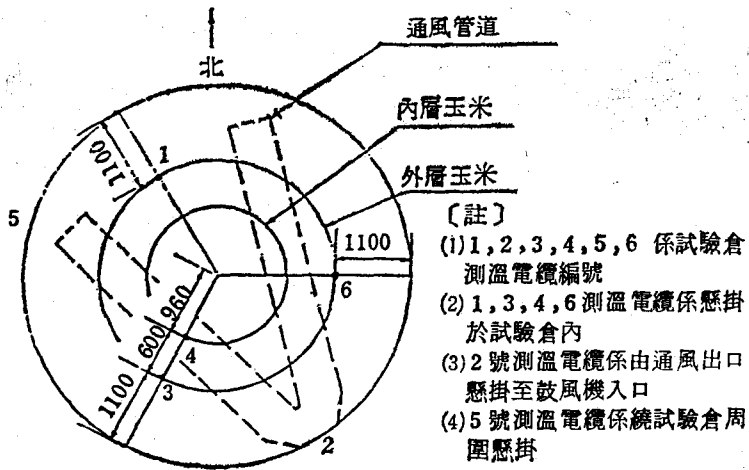


圖 6. 100噸鋼皮圓筒倉各測溫點和通風管分佈圖



#### 四、結果與討論

自73年12月至74年4月，進行10次通風試驗。表1為本研究期間的通風時間記錄。限篇幅，本文僅將第8次通風試驗結果敘述於下，其他試驗結果參看丁氏（1985）論文。

表1 通風時間記錄

編號	通風起始時間					通風結束時間				
	年	月	日	時	分	年	月	日	時	分
1	74.	02.	11.	13	: 15	74.	02.	11.	19	: 15
2	74.	02.	12.	10	: 00	74.	02.	12.	19	: 00
3	74.	02.	14.	09	: 00	74.	02.	14.	22	: 10
4	74.	02.	15.	09	: 00	74.	02.	15.	13	: 00
5	74.	02.	22.	11	: 00	74.	02.	22.	20	: 00
6	74.	02.	27.	09	: 10	74.	02.	27.	20	: 00
7	74.	03.	01.	08	: 00	74.	03.	01.	16	: 00
8	74.	03.	11.	14	: 00	74.	03.	12.	19	: 00
9	74.	03.	26.	08	: 00	74.	03.	26.	21	: 50
10	74.	03.	28.	10	: 00	74.	03.	28.	21	: 50

圖7至圖12為自74年3月11日中午2時至3月12日晚上7時連續29小時通風期間各測溫點測得玉米溫度變化的記錄。

如圖7所示，在連續29小時通風期間外界空氣及試驗倉西北側外層各測溫度變化，由圖中可以看出，在通風期間外界空氣的溫度變化不定，但約略呈現餘弦函數的圖形。在通風期間的最初2小時內，由於外界空氣溫度低於下層玉米的溫度，當空氣通過下層玉米後，便將下層玉米溫度冷卻下來。空氣繼續穿過中層玉米時，中層玉米溫度略為增加，這可能由於空氣穿過下層玉米獲得下層玉米的加熱致使空氣的溫度高於中層玉米溫度，造成玉米溫度回昇現象；或者可能由於空氣穿過下層玉米的加熱而使空氣的溫度約略與中層玉米溫度相等，由於玉米本身的呼吸熱及霉菌昆蟲活動的生成熱致使中層玉米溫度產生回昇現象。當空氣穿過上層玉米時將上層玉米溫度冷卻下來。在通風的第2小時至第7小時期間內，外界空氣低於下層玉米溫度，下層玉米因空氣的冷卻作用而溫度逐漸下降，反過來說，

空氣因下層玉米的加熱作用溫度增加，在空氣通過下層玉米到達中層玉米之前，不斷地獲得各薄層玉米的加熱作用，致使空氣到達中層玉米前的溫度可能已經高於中層玉米，或約略與中層玉米溫度相等

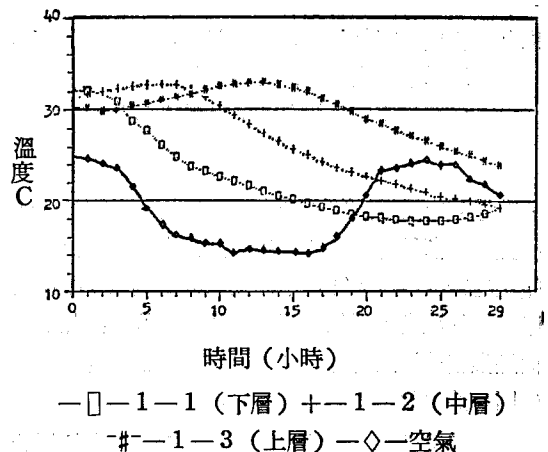
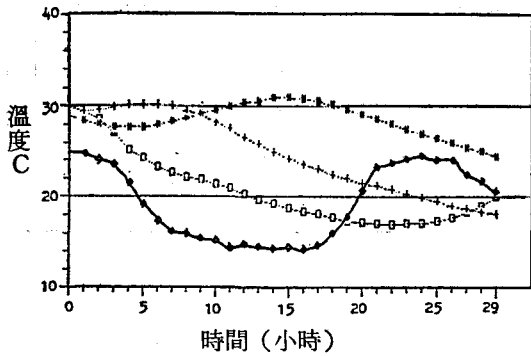


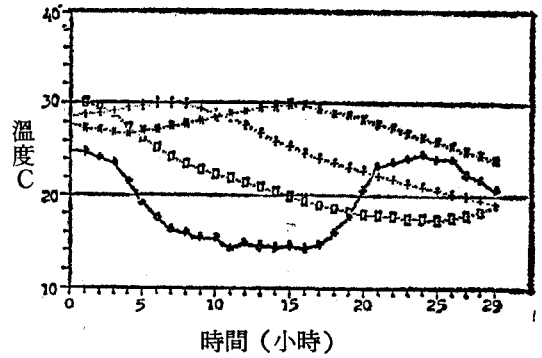
圖7. 自民國74年3月11日14時至3月12日19時通風期間外界空氣及試驗倉西北側外層第1條測溫線各測溫點溫度變化



—□—3—1—+ (下層) +—1—3—2 (中層)  
—#—3—4 (上層) —◇—空氣

圖 8. 自民國74年3月11日14時至3月12日19時連續29小時通風期間外界空氣及試驗倉西南側外層第3條測溫線各測溫點溫度

度仍然低於中層玉米，故當空氣穿越過中層玉米時，中層玉米因冷卻空氣的作用而溫度降低。同樣地，在冷卻空氣到達上層玉米前，不斷地經過中層玉米與上層玉米之間各層玉米的加熱而溫度增加，其溫度高於上層玉米溫度，對上層玉米而言是屬於通風加溫過程，故上層玉米的溫度上昇。

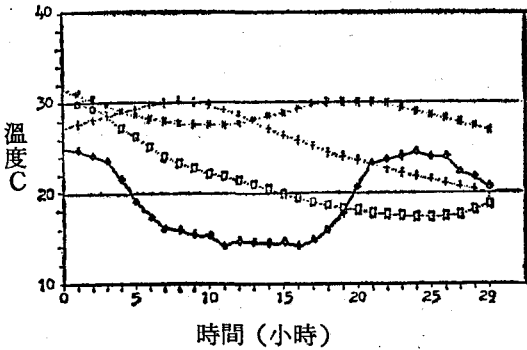


—□—6—1 +—6—2 —#—6—3  
—◇—空氣

圖 10. 自民國74年3月11日14時至3月12日19時連續29小時通風期間外界空氣及試驗倉東側離倉壁110公分第6條測溫線各測溫點溫度變化

在通風的第13小時至第19小時期間內，空氣仍低於下層玉米溫度，下層玉米溫度因而繼續下降。空氣亦以低於中層玉米溫度到達中層玉米位置，以通風冷卻中層玉米。在空氣通過中層玉米到達上層玉米之前，雖然不斷地經過中層玉米與上層玉米之間各薄層玉米的加熱而溫度增加，但其溫度仍然低於上層玉米溫度，故當空氣穿越過上層玉米時，上層玉米的溫度因冷卻空氣的作用而下降。

在通風的第19小時至第29小時期間內，空氣溫度高於下層玉米溫度，在空氣未到達下層玉米之前已經被倉底至下層玉米之間各薄層玉米冷卻，致空氣在通風的第19小時至第26小時是以低於下層玉米溫度的狀況下到達下層玉米，促使下層玉米溫度下降，而在第26小時至第29小時期間內空氣的溫度在到達下層玉米時已經略高於下層玉米，由於通風加溫過程促使下層玉米溫度上昇。因此，在通風的第19小時至第29小時期間因前述原因而造成下層玉米溫度產生相位差的回昇現象。穿越過下層玉米的空氣在到達中層玉米及上層玉米前已被下層玉米至中層玉米及中層玉米至上層玉米之間各薄層玉米冷卻



—□—4—1 (下層) +—4—2 (中層)  
—#—4—3 (上層) —◇—空氣

圖 9. 自民國74年3月11日14時至3月12日19時連續29小時通風期間外界空氣及試驗倉西南側內層第4測溫線各測溫點溫度變化

。在空氣穿過中層玉米的期間，由於玉米本身的呼吸熱及霉菌昆蟲活動的生成熱致使中層玉米溫度繼續產生回昇現象。穿過中層玉米的空氣溫度高於上層玉米的溫度，再加上可能由於玉米的呼吸熱及霉菌昆蟲繁殖活動的生成熱，致使上層玉米的溫度產生回昇的現象。

在通風的第7小時至第13小時期間，空氣低於下層的玉米溫度，下層玉米溫度因冷卻空氣的作用而降低。在空氣到達中層玉米前，經過下層玉米與中層玉米之間各層玉米的加熱而溫度增加，但其溫

，致使空氣以通風冷却過程分別穿越過中層玉米及上層玉米，促使中層玉米及上層玉米溫度分別下降。

圖 8 至圖 10 通風結果的說明類似於圖 7 的說明，其間的差異在於玉米溫度的均勻度，霉菌昆蟲的分佈並不一致，通風管道的安置狀況等因素所造成。在此連續 29 小時的通風期間，隨著通風方向由下往上吹，冷却帶亦由下而上。

由圖 11 至圖 13 係通風期間，由本文推演的薄層玉米通風模式應用在鋼皮圓筒倉儲存玉米的通風作業中，各層預測溫度平均值與測量溫度值之比較。在此係將儲存玉米由下至上考慮成相等高度之二十層玉米之堆積，以測溫點 3-1, 4-1, 6-1 三點所在平面考慮為下層穀物，其溫度為測溫點 3-1, 4-1, 6-1 三測溫點測得溫度之平均值。以測溫點 3-2, 4-2, 6-2 三測溫點所在平面考慮為中層穀物，其溫度為測溫點 3-2, 4-2, 6-2 三測溫點測得溫度之平均值。以測溫點 3-3, 4-3, 6-3 測溫點所在平面考慮為上層穀物，其溫度為測溫點 3-3, 4-3, 6-3 三測溫點測得溫度之平均值。其餘各層的溫度係以此上、中、下層穀物溫度為基準，採用線性內插或線性外插法求得。由圖形的結果顯示預測值與測量值略有溫度差及相位差，這可能是由於太陽幅射熱能，霉菌昆蟲在穀倉的分佈狀態，玉米本身的呼吸熱受溫度的影響，玉米溫度的均勻度及通風管道安置狀況及較大的通風量等所造成的綜合影響，因為通風量較大，致使在通風的時間區段  $\Delta t$  內，薄層穀物未能與通風空氣達到平衡狀態。

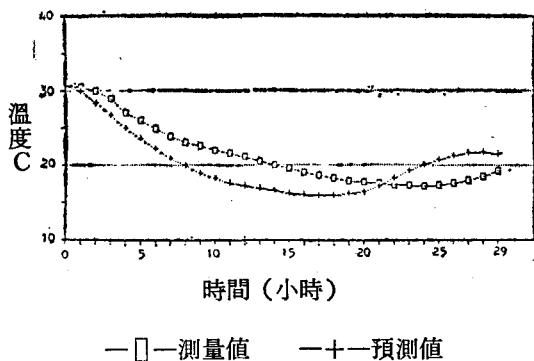


圖 11. 自民國 74 年 3 月 11 日 14 時至 3 月 12 日 19 時連續 29 小時通風期間，試驗倉下層玉米平均測量溫度與預測溫度的比較

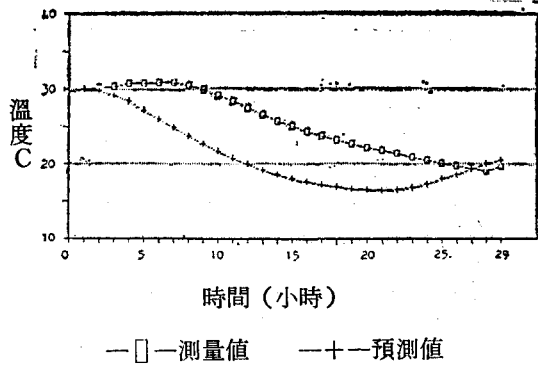


圖 12. 自民國 74 年 3 月 11 日 14 時至 3 月 12 日 19 時連續 29 小時通風期間，試驗倉中層玉米平均測量溫度與預測溫度的比較

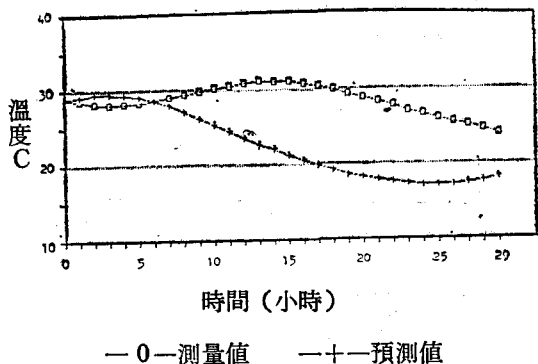


圖 13. 自民國 74 年 3 月 11 日 14 時至 3 月 12 日 19 時連續 29 小時通風期間，試驗倉上層玉米平均測量溫度與預測溫度的比較

## 五、結論與建議

本研究在臺糖小港廠以 100 噸級鋼皮圓筒倉（實際貯存量為 80 噸）進行通風作業，所得結論與建議如下：

1. 由下往上通風時，玉米溫度的變化由下層，中層而上層各有一主要的降溫時期，因此實行強制通風作業時，務必等上層玉米經歷過降溫的主要時期以後，才能確切發揮通風降溫的效果，並且避免表面凝結而導致穀倉表層玉米中心部分發霉的現象。

2. 通風期間，由本研究推演的薄層玉米通風模式應用在鋼皮圓筒倉儲存玉米的通風作業，其結果顯示預測值與測量值略有溫度差異及相位差，這可能是由於太陽幅射熱能，霉菌昆蟲在穀倉的分佈狀

態，玉米本身的呼吸熱受溫度的影響，玉米溫度的均勻度及通風管道安置狀況及較大通風量等所造成的綜合影響。因為通風量較大，致使在通風的時間區段 $\Delta t$ 內，薄層穀物未能與通風空氣達到平衡狀態。

3. 本研究進行期間為本省之冬、春兩季天氣情況。今後尚欲進行通風試驗，宜利用夏、秋兩季時節進行，以完成全年的通風作業。

4. 本試驗採用自下往上壓送式單向送風方式，今後可進行雙向式通風試驗。

5. 為有效控制穀溫不使穀溫因昆蟲微生物之影響而快速增高，應採用機動通風方式，但為避免人為疏忽影響機動通風之時效，今後宜推行自動化通風之作業，有關自動化通風系統的研究宜加速進行之。

6. 為增進量測溫度之準確性，宜增加測溫點。

### 參 考 文 獻

1. 丁大壁，1985。通風對鋼皮圓筒倉儲存玉米溫濕度之影響。國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文，臺大農機系。
2. 廖銘隆、陳樹功、錢明賽、袁國芳，1983。雜糧儲存方法比較試驗——進口玉米與省產玉米圓筒倉儲存。研究報告第311號，食品工業發展研究所，新竹，臺灣。

灣。

3. 蔡致榮，1983。強制通風對散裝貯藏稻穀溫度變化的影響。國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文，臺大農機系。
3. 蕭介宗，1986。鋼皮和水泥圓筒倉用於儲存進口玉米之研究。中國農業工程學報32卷第1期：8—35。
5. ASAE Data: ASAE D 271. 2, 1984. American Society of Agricultural Engineers. 2950 Niles Rd. St. Joseph, M149085-9659, U.S.A.
6. Brooker, D. B., F. W. Bakker-Arkema and C. W. Hall, 1974. Drying Cereal Grains. AVI Publishing Company, INC. Westport, Connecticut, U.S.A.
7. Thompson, T. L., R. M. Peart and G.H. Foster, 1968. Mathematical Simulation of Corn Drying-A New Model. TRANSACTIONS of the ASAE 11(4):582-586.
8. Thompson, T. L., 1972. Temporary Storage of High-moisture Shelled Corn Using Continuous Aeration. TRANSACTIONS of the ASAE 15 (2): 333-337.
9. Thompson, T. L., L. G. Villa and O. E. Cross, 1971. Simulated and Experimental Performance of Temperature-Control Systems for Chilled High-Moisture Grain Storage. TRANSACTIONS of the ASAE 14 (3): 554-560.

(文接第50頁)

- 1977。結球野菜收穫機的開發研究。農業機械學會誌39：163-170。
6. 唐橋需、井上喬二郎、澤村宣志。1981。結球野菜收穫機的開發研究。農事試驗場研究報告33：19-56。
7. 唐橋需、伊藤茂昭。1983。結球野菜收穫機の開發研究。農業機械學會誌45(1)：71-77。
8. Parsons, S. D. and G. E. Rehkugler. 1966. Physical properties of cabbage Plants as related to mechanical harvesting. Transactions of ASAE 9(6): 866-867.
9. Rehkugler, G.E., E.S. Shepardson and J. G. Pollock. 1969. Development of a cabbage harvester. Transactions of the ASAE 12(2): 153-157.
10. Shepardson, E. S., J. G. Pollock and G. E. Rehkugler. 1974. Research and development of a lettuce harvester. Transactions of the ASAE 17(2): 212-216.
11. Shigley, J. E. and J. J. Uicker. 1980. Theory of machines and mechanisms. McGraw-Hill Book Company, U. S. A.
12. Stout, B. A., F. W. Bakker-Arkema and S. K. Ries. 1966. Developing a mechanical cabbage harvester. Transactions of the ASAE 9(6): 860-861.
13. Wright, F. S. and W. E. Splinter. 1966. Development of a mechanical cabbage harvester. Transactions of the ASAE 9(6): 862-865.