

# 應用墊料處理鴨排泄物之模式建立與分析

## Model Development and Analyses on Beddings for Duck Manure Treatment

國立臺灣大學農機所碩士

畜產所宜蘭分所助理

國立臺灣大學農機系副教授

鍾木壽

黃振芳

林達德

Mu-So Chung

Jeng-Fang Huang

Ta-Te Lin

### 摘 要

本研究以實驗與電腦模擬探討利用通風和鋪設墊料來達到對鴨排泄物的初步乾燥效果，以建立後段進行堆肥處理之基礎，同時提供禽舍飼養管理中以墊料乾燥處理排泄物之作業參考。利用質量平衡原理推導之數學理論模式經由室內實驗結果之驗證，在定性上與定量上兩者均相當吻合。室內實驗結果顯示墊料之含水率受降水量（排泄量）、通風風速、墊料種類等因子影響。細杉木屑較稻殼適用為墊料，於適當的鋪設厚度與強制通風的情形下可以維持較穩定含水率而可延長更換時間。電腦模擬結果則顯示墊料之吸濕容量及通風乾燥時之蒸氣壓差或空氣之相對濕度為影響墊料含水率之重要因子。墊料的厚度在短時間或通風良好時對墊料各層含水率沒有影響，但若就長期蓄積水份而言，則由於高厚度墊料之總吸濕容量較大，其使用之耐久性或更換時間將較低厚度墊料為長。

### ABSTRACT

Presently, facing the problems of labor shortage and environmental pollution from duck production industry in Taiwan, the development of methods for duck manure disposal and mechanization of breeding management is critically needed. This research aims at the analysis of dehydration approach on duck manure disposal by ventilation and the application of beddings. Accompanied with the experimental analysis, a mathematical model was developed to analyze the factors influencing the moisture content of beddings. Nine sets of experiments were performed to examine the time-dependent characteristics of moisture content of beddings. The experiments revealed that fine wood shavings can be used as beddings for duck manure dehydration. Factors concerning dehydration efficacy, such as thickness of bedding layer, bedding materials, ventilation, and wood shaving properties were also examined. The experimental results were also compared with the numerical simulation from the mathematical model. Model verification and sensitivity analysis were performed and finally simulation results were generated to provide information for duck manure management. In the manure dehydration process, it was found that the bedding moisture absorbing capacity and vapor pressure difference are the most decisive factors on the moisture content of beddings.

## 前 言

由於近年來環保意識高漲，家畜禽類生產過程中所造成之污染問題亦漸漸為社會所重視，對於家畜禽類污染防治方法及機械設備的需要因而隨之提高。家禽類由於飼養模式與其排泄物之物理和化學性質不同於家畜類者，處理排泄物之方法及機械設備無法完全由現有應用於家畜類者轉移，故配合及改良目前家禽類飼養模式，減低家禽類排泄物造成之環境污染所需之排泄物處理模式與方法便有待積極研究開發。

乾燥法為處理排泄物的方式之一，其優點為排泄物之臭味可經由乾燥過程而降低且乾燥後固形物之利用性高(Surbrook et al, 1971)。歐美自1960年代以來有關排泄物乾燥法的研究多應用於雞之排泄物處理為主，以配合機械化蛋雞或肉雞之室內飼養管理，應用於鴨之排泄物處理之研究則甚少，主要原因乃由於鴨為水禽之一種，其飼養模式較為粗放，一般鴨農多利用魚塢，河濱來養鴨，排泄物則直接放流於河川而造成水污染等公害。水處理為目前可直接應用於鴨排泄物處理的方式之一，主要以厭氣處理為主，以好氣處理為輔；前者處理廢水中的濃厚部分，而後者處理廢水中的稀釋部分，以使鴨排泄物廢水達到放流的標準（洪與黃，1981）。水處理之優點為目前已是較成熟的應用技術，同時可產生有用的沼氣。但處理設備的投資成本高及沖洗鴨舍之用水量大為其缺點。乾燥法有別於水處理的方式，乃將排泄物中的水份降低以達到降低臭味、處理方便、及將乾燥後的排泄物經堆肥處理後可再利用的目的。

分析比較水處理或乾燥處理方式應用於鴨排泄物處理之優劣（洪，1985；陳，1988；Soble, 1976；Sobel et al, 1988），可以發現廢水處理雖可直接採用現有的技術來解決問題，但因其設備成本高，且其用水量大，所以使用前應作經濟性的考慮。而對於乾燥處理，可藉由通風、墊料(Bedding)、熱能等方式的前處理，再配合堆肥方式的後處理，一面可以減輕排泄物對環境的污染，另一面也可將排泄物再利用；基於經濟、環保等方面的考慮，乾燥處理鴨排泄物的方式，不失為現行解決鴨排泄物問題的好方法。本研究主要探討利用通風和鋪設墊料來達到對鴨排泄物的初步乾燥效果，以建立後段進行

堆肥處理之基礎，同時亦可提供目前廣泛應用於肉雞飼養中以墊料乾燥處理雞糞之參考。

## 文 獻 探 討

### 一、通風乾燥

通風乾燥處理的優點在於其有助於臭味的降低，方便處理，及糞便作堆肥利用時之養份保存較佳等。Sobel(1976)使用強制通風除溼，來達到除臭和除水以減輕處理重量之目的。而影響通風之風速的因子有風扇的尺寸，安放位置和其所吹過之糞槽截面積等等。另外，其研究也指出影響排泄物乾燥效果的因子有空氣的溫度、濕度、流速、糞粒的大小形狀及雞隻密度等。而衡量糞便乾燥系統效率的考慮因素則主要為臭味控制，減少糞便水份及乾燥後的糞便處理是否方便等。關於雞糞之風乾燥處理的模式，Sobel(1972)將其類比於農產品的乾燥或水表面蒸發的模式，再將此模式加以推演而得雞糞平衡含水率的方程式。在其所探討的高床式雞舍中，影響雞糞平衡含水率的因子有室內空氣的溫度、濕度、風速、雞糞的溫度、初含水率和產量，以及雞的飼養密度等。

而關於通風對雞糞臭味控制的方面，Ludington等人(1971)於實驗室中設計十種糞便處理方式，來比較各種方式處理後之雞糞臭味濃度，並分析臭味與糞便含水率的關係。由其結果可得以下的結論：糞便含水率低時有助於減輕其臭味，加木屑墊料及利用通風均有助於糞便之含水率之降低而直接有助於減少糞便及週遭環境之臭味。而再將此結論應用於雞舍現場進行實驗，其結果顯示現場臭味控制，可藉由移除糞便之水份和移去糞便避免其堆積來達成。

Bressler and Bergman(1970)曾用兩段式乾燥處理系統來達到雞糞含水率及臭味降低、雞糞處理自動化與再利用等目的。此方式的特色在於其應用上述的通風乾燥方式，配合自動化機械來達到排泄物乾燥處理一貫作業之目的。兩段式乾燥處理系統之第一階段為直接於禽舍中藉由通風和機械攪拌，使其糞便重量降低至原來的三分之一左右而達到臭味降低及輸送方便的效果。第二階段則為利用刮板和輸送帶，將第一階段處理後的糞便送至乾燥機，使其含水率降至10%左右，以方便儲存或作其他用途。

## 二、墊料乾燥

Sobel等(1988)曾比較與分析加不同的墊料後排泄物含水率改變的情況。結果發現加墊料具有降低糞便含水率和改變糞便處理性(Handling characteristics)的功能。而在衡量墊料性質的好壞時，應考慮密度(Bulk density)和吸濕容量(Moisture absorbing capacity)等兩個因素。其中密度直接影響墊料之貯藏體積，而墊料含水率高者，其密度亦相對為高。吸濕容量的定義為墊料飽和時吸濕所增加的水重對墊料原來的總重之比值，可作為吸濕能力之指標，而吸濕能力的好壞，則影響應用墊料乾燥排泄物之能力及墊料更換之時限。根據Sobel等人實驗結果顯示吸濕能力與墊料的初含水率成線性的關係。在考慮使用不同的墊料時，應注意其密度以及鋪設墊料時吸濕效果、經濟性和衛生等問題。

## 理論模式之建立

在關於鴨排泄物之乾燥處理方法中，本研究探討者為使用強制通風和鋪設墊料的方式，來達到乾燥的效果。其中強制通風有助於增加排泄物或墊料中水份的蒸發速率，而墊料可吸收排泄物的水份，以降低排泄物的水份，達到降低臭味的功能。然而隨著時間的增長，若不斷由排泄物中吸收水份，墊料的含水率也逐漸地升高，最終其含水率達到飽和，屆時墊料將無法再使用而需要加以更換，然若於墊料吸收排泄物水份之期間亦能藉由通風自墊料移除水份，則墊料可視為水份暫存之緩衝而可維持較長之使用時間。所以在使用墊料來對鴨排泄物作乾燥處理時，墊料含水率隨時間變化的情形，實在有深入探討的必要。而其中會影響墊料含水率的因子如排泄物的量、環境中之溫濕度、墊料的種類與特性(包含初含水率、密度、吸濕容量、擴散係數、厚度等)、風速，以及時間等(Sobel, 1971; Sobel, 1976)均有必要深入研究而予以定量之分析。

本模式之建立主要乃在探討上述因子於既定條件下，不同墊料之含水率隨時間變化的情形為何，及在何時達到飽和含水率等問題，以作為應用墊料及通風乾燥處理方法決策參考。因此本理論模式建立的目的是主要有二：

1. 建立鴨排泄物利用墊料和通風作乾燥處理時之基本數學模式，以使我们進一步了解應用

墊料乾燥排泄物之一般特性。

2. 於模式建立後，利用電腦模擬預測各影響墊料含水率因子對墊料含水率變化之影響程度與趨勢，同時與室內實驗結果相互印證，以提供應用墊料與通風乾燥處理鴨排泄物之實際作業參考。

### 一、系統定義與基本假設

於目前常見鋪設墊料的肉雞雞舍中，或是尚在實驗階段之鋪設墊料鴨舍中，家禽排泄物排放在墊料的上面，排泄物中的水份部份被墊料所吸收，另外部份水份則會因蒸發而散失，墊料本身的含水率乃因外界環境影響而隨時間變化。為探討墊料含水率之變化及其影響因子，本研究中以由實際狀況簡化而定義之等高度墊料一維層狀系統為基本數學模式推導之依據，所定義之系統表面，即墊料表面會受降水量(亦即模擬鴨的排泄量)和水份蒸發的影響，使其含水率會隨時間而變化；而內部的水份則藉由滲透與擴散的輸送作用達成質量平衡。由實際系統簡化以建立本模式的基本假設主要有以下數項：

1. 墊料中的含水量僅受降水(排泄)量、水份蒸發、滲透與擴散輸送等因素的影響。
2. 由於鴨排泄物之含水率甚高(鍾, 1991)排放於表面之固形物對於水份輸送之影響在本模式中暫不予考慮。
3. 水份在墊料表面蒸發的情形與其在自由水平面的蒸發情形一樣。(Sobel, 1976)。
4. 墊料內各部分的密度與初含水率皆為均勻分佈。
5. 周圍環境的溫度與濕度(蒸氣壓差)維持定值。
6. 墊料的含水率有最大和最小值的限制。其中最大值為墊料的飽和含水率。而最小值乃指墊料的平衡含水率。

### 二、系統組成

在所設定的系統中，為解析系統內各個部分之間的相互關係，並進而找出其關係方程式，墊料被分割為如圖1所示之一維層狀系統。墊料首先被等高度分割成數(N)層，每層皆成一個塊狀的次系統，並且在各層中將影響墊料含水率的因子皆考慮進去，然後依質量平衡原理進行分析。

在討論個別塊狀次系統內的輸送現象時，我們將其歸類為滲透(Permeation)輸送及擴散(Diffusion)輸送兩種來考慮。所謂滲透輸送即指靠水份本身的

重量經由墊料孔隙進行之輸送現象，但因墊料本身具吸收水份的功能，所以只有當水份在某一層墊料達到飽和後（亦即其吸收水量已超過該層的吸濕容量），才會往下一層繼續輸送。而擴散輸送則為在墊料的各層含水率不同時，因含水率的差異而產生之輸送現象，我們在本模式中應用Fick's擴散定律來描述此種輸送現象(Kumar et al, 1982)，因此水份之擴散輸送速率與水份在墊料中的擴散係數與各層墊料之含水率差成正比關係。

圖 1 同時顯示層狀系統中頂層、中間層與下層根據質量平衡原理指出各影響含水率之因子，系統被分割為 N 層，在上面表層影響含水率之因子有降水（排泄）量、表面蒸發及對第二層之滲透與擴散輸送，因此表面第一層之含水量可以下面(1)式計算：

$$\Delta M(1,t) = W(t) - E(t) - P(1,t,\Delta t) - D(1,t) \quad (1)$$

其中  $\Delta M(1,t)$  表第一層於時間  $t$  時水份增加量， $W(t)$  為時間  $t$  時之表層降水量， $E(t)$  為時間  $t$  時之青層蒸發量， $P(1,t,\Delta t)$  為第一層對第二層於時間  $t-\Delta t$  時之滲透輸送量，此處以  $t-\Delta t$  時之數值計算主要乃基於實際進行數值計算時滲透輸送之  $P(1,t)$  值必須依  $\Delta M(1,t)$  之值決定， $D(1,t)$  為第一層對第二層於時間  $t$  時之擴散輸送量。

中間層(第 2~(N-1)層)之含水量則分別受對上一層與下一層之滲透與擴散輸送影響，其含水量則以(2)式計算：

$$\Delta M(n,t) = P(n-1,t,\Delta t) - P(n,t,\Delta t) + D(n-1,t) - D(n,t) \quad (2)$$

其中  $P(n,t,\Delta t)$  為第  $n$  層對第  $n+1$  層於時間  $t-\Delta t$  時之滲透輸送量， $D(n,t)$  為第  $n$  層對第  $n+1$  層於時間  $t$  時之擴散輸送量。

底層(第 N 層)僅考慮受上一層之滲透與擴散輸送影響，其含水量以(3)式計算：

$$\Delta M(1,t) = P(N-1,t,\Delta t) + D(N-1,t) \quad (3)$$

對於各層墊料於不同時間之總水份增加量  $M(n,t)$  計算則是依下式計算：

$$\Delta M(n,t) = M(n,t-\Delta t) + M(n,t) \quad (4)$$

有關滲透輸送  $P(n,t)$  之計算必須同時考慮墊料之吸濕容量，在本模式中我們假設當墊料未到達其吸濕容量時，所有水份均為墊料吸收而不致滲透至下層，因此各層  $P(n,t)$  值的存在與否乃與該層的總吸水量是否超過其吸濕容量有關，所以在求  $P(n,t)$  時須先將該層當時的總吸水量與吸濕容量作比較。

設  $\theta$  為墊料每單位重量之吸濕容量，而  $\omega$  為單層墊料於起始時之重量，則  $P(n,t)$  之值由下列(5)式所決定：

$$P(n,t) = \begin{cases} M(n,t) - \theta \cdot \omega & \text{當 } M(n,t) > \theta \cdot \omega \\ 0 & \text{當 } M(n,t) \leq \theta \cdot \omega \end{cases} \quad (5)$$

有關擴散輸送之計算可根據Fick's擴散定律推導，由於擴散速率乃與呈擴散狀態的兩側濃度差成正比，在本模式中濃度差即為墊料上下兩層之含水率差。若設  $\Theta(n,t)$  為第  $n$  層墊料於時間  $t$  時之含水率，依據濕基含水率之定義  $\Theta(n,t)$  可由下式計算：

$$\Theta(n,t) = \frac{M(n,t) + \Theta(n,0) \cdot \omega}{M(n,t) + \omega} \times 100\% \quad (6)$$

其中  $\Theta(n,0)$  為墊料之初含水率。而擴散輸送  $D(n,t)$  之值則可以Fick's擴散定律之離散表示式計算：

$$D(n,t) = d \cdot (\Theta(n,t-\Delta t) - \Theta(n-1,t-\Delta t)) \cdot \Delta t \quad (7)$$

其中  $d$  為墊料之水份擴散係數， $\Delta t$  為時間之微小增量。

在第(1)式中之第一層墊料之  $\Delta M(1,t)$  計算式中包含表層之蒸發量計算，我們沿用Sobel氏(1976)引用水表面的蒸發程式所求得之經驗方程式計算  $E(t)$  值，原式經單位換算後得：

$$e = 0.0753 \cdot (0.44 + 0.264 \cdot v) \cdot (\Psi_s - \Psi_d) \quad (8)$$

其中  $e$  為單位時間內之單位面積水份蒸發量 ( $\text{cm}^3 / (\text{Hr} \cdot \text{cm}^2)$ )  $v$  為通過墊料表面之風速 ( $\text{m}/\text{Hr}$ )， $\Psi_s$  為空氣之飽和蒸氣壓值 ( $\text{mm Hg}$ )， $\Psi_d$  為空氣之露點飽和蒸氣壓值 ( $\text{mm Hg}$ )。而第一層之水份總蒸發量  $E(t)$  則可以下式計算：

$$E(t) = e \cdot A \cdot \Delta t \cdot \rho \quad (9)$$

其中  $A$  為墊料的頂層表面積， $\rho$  為水之密度。

降水量（排泄量）之計算視實際狀況而設定，在本研究中為配合室內實驗之驗證  $W(t)$  乃採定量的模式，而於進行模式之電腦模擬時在程式中設定。

$\Psi_s$  及  $\Psi_d$  值為空氣相對濕度及乾球溫度之函數，於固定相對濕度及乾球溫度下可以由空氣線圖 (Psychrometric chart) 中查得，在進行電腦模擬時則於程式中直接輸入乾球溫度及相對濕度，經由空

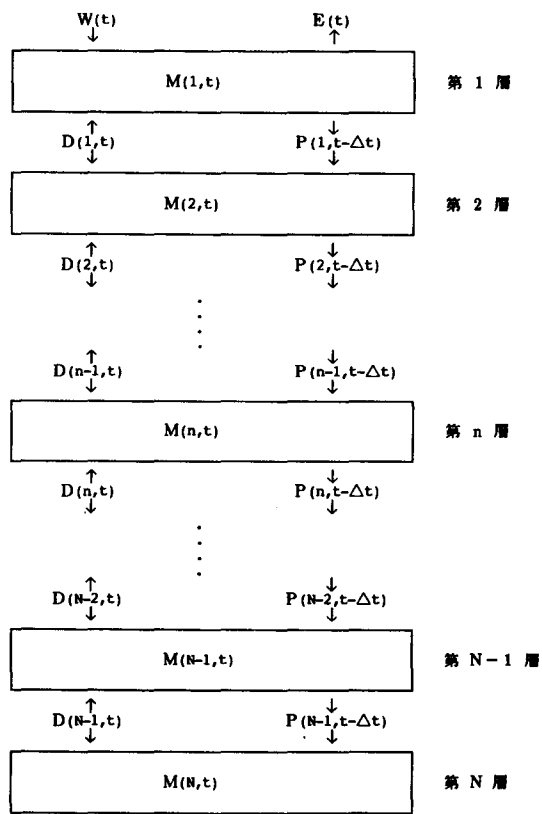


圖 1 墊料一維層狀系統之分割與質量平衡示意圖

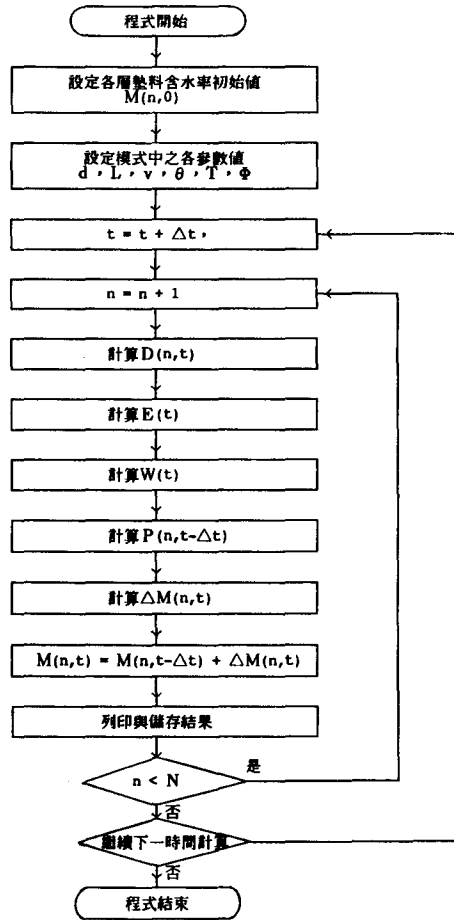


圖 2 電腦模擬程式流程圖

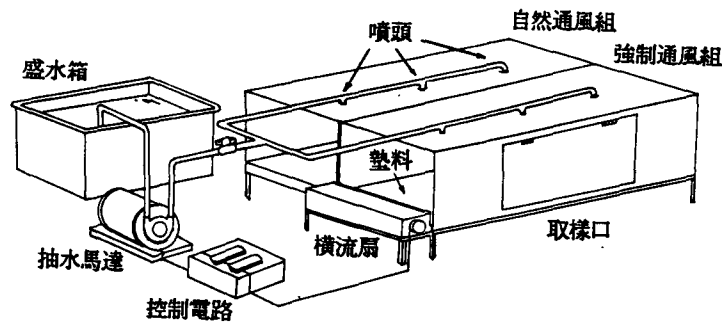


圖 3 室內實驗設備組成示意圖

氣線圖之迴歸方程式計算出 $\Psi_s$ 及 $\Psi_d$ 值(馮與方, 1986), 兩者之差即所謂之蒸氣壓差。由(8)式中可知此蒸氣壓差及通風之風速為影響蒸發量之主要因子。

### 三、電腦模擬與模式驗證

應用(1)至(9)式可求得各層墊料在不同的時間之含水率, 計算時墊料被等分割為N層, 由(1)-(3)式分別計算出微小時間增量 $\Delta t$ 內各層墊料所增加之水份, 再以(4)及(6)式計算出各層於不同時間之濕基含水率 $\Theta(n,t)$ 。如此依序計算各時間之各層含水率至程式結束, 圖2所示為電腦模擬程式之流程圖。為驗證電腦模式之正確性同時實際觀察於控制條件下墊料含水率之變化, 我們設計了一套室內試驗設備將試驗的結果與理論模擬的結果進行比較分析, 當所建立的模型經驗證無誤後, 再如表1所示設定模擬分析時所用之參數基準值, 分別對各參數進行靈敏度分析(Sensitivity analysis), 亦即在其他參數不變條件下, 調整某一特定的參數, 觀察結果隨其變化的情形 (Law and Kelton, 1982), 以了解該參數對墊料含水率的影響性, 進而作為往後利用墊料來對鴨排泄物作乾燥處理時的參考。

### 試驗設備與方法

由於在鋪設墊料之鴨舍中直接量測墊料含水率之變化無法適當控制影響因子, 為驗證模式之正確性同時觀察墊料吸水之一般特性, 我們在實驗室中設計了一套簡易之實驗設備。圖3所示為此實驗設備之示意圖, 此套實驗設備之組成分別包含了七十公升之盛水箱、抽水馬達、水管、噴頭、作強制通風用之橫流扇、組合成之塑膠箱二座及定時噴水控制電路等(鍾, 1991)。墊料以等高度鋪設於平行並列之兩個塑膠箱中, 塑膠箱兩端開口, 其中一組一端安裝橫流扇作強制通風, 另一組則不安裝橫流扇為自然通風之對照組。每組塑膠箱中各安裝了三個噴頭以抽水馬達及控制電路定時定量噴水以模擬鴨排泄物之掉落於墊料上。裝設於塑膠箱上方之噴頭

高度經過設計使所噴灑出之水霧能平均分佈於塑膠箱中之整個墊料平面。

水量之定時定量控制乃由電磁開關、斷電延遲器、數位可程式定時器組成, 圖4所示為控制電路之線路圖。此簡易控制電路一天最多可控制六次循環, 每一次相隔最短的時間為一分鐘, 且每天可重覆進行相同循環。控制電路可分為主電路和定時電路。主電路乃指電磁開關與馬達連接的電路部分, 其電壓為110V; 而控制電路乃指電磁開關與定時器、斷電延遲器之連接部分。由於電磁開關的觸發接點為220V, 所以本控制電路又可分為110V和220V兩部分。在110V部分, 風扇與斷電延遲器乃一同並聯於數位可程式定時器, 使三者可以對實驗設備作時間上的控制。控制電路的設計邏輯為每次噴嘴噴水前, 橫流扇會先停止, 等到噴完水後, 橫流扇又會繼續運轉。其中噴嘴可設定為等時間間隔噴水一次, 而噴水量的多寡, 則由調整斷電延遲器的延遲時間來控制。在本研究之九組室內實驗中噴水之控制被設定為每六小時噴灑一次, 每次噴水量則為實驗總降水量對噴灑次數之等分。

應用墊料來加強乾燥鴨排泄物的效果時, 墊料的含水率會隨時間逐漸地升高, 最終會因吸濕容量達到飽合而失去了其除濕的功能。因此本實驗旨在探討影響墊料含水率的因子如墊料種類、風速以及降水量等對墊料含水率影響, 並進而驗證上述之理論模式的正確性。根據上述的目的, 本實驗共設計成9組, 其中基準組乃指其風速、降水量及時間為某一定值, 而其它的比較組除了某一因子不同外, 其餘因子的值皆與基準值一樣(第8、9組因有特殊設計的考慮除外)。茲將各組分述如下:

1. 細杉木屑墊料基準組
2. 細杉木屑墊料高降水量組
3. 細杉木屑墊料高風速組
4. 細杉木屑墊料低風速組
5. 細杉木屑墊料低降水量組
6. 稻殼墊料基準組

#### 7.稻殼墊料降水量組

#### 8.細杉木屑墊料高厚度組

#### 9.細杉木屑墊料長時間組

上述的組別，可根據其變異因子分成以下幾組比較分析：1，2，5組為比較降水量（排泄量）的影響，第1，3，4組為比較風速的影響，第1，5，6，7為比較墊料種類的影響，第2，8組為比較墊料厚度的影響，而第9組則為探討墊料長時間使用的可行性。在各組實驗中又可由兩個塑膠箱中取得強制通風與自然通風因子影響下之實驗數據以相互對照，同時作為每次實驗中環境條件差異參考(Allison and Bishop, 1977)。

實驗進行前首先將與墊料等高之取樣用塑膠套管若干個平分成六組置於箱子的底部，每一組均對應一個噴頭。而後將墊料等高度平鋪在箱子的底部，同時將套筒內的空間填滿與套筒外齊平成一水平面。其次根據實驗控制的預設條件，調整定時器，斷電延遲器及風扇，使其降水量的多寡和頻率，以及風速，可在實驗過程中依控制條件來進行。而在實驗過程中，吾人可在每次噴水前後約六分鐘，從塑膠箱中取出套管樣本，然後再將塑膠片插入套管中間的縫隙，以將套筒中之墊料分成上（中）下兩（三）半部，再將各部份分別倒入培養皿中量測其重量，而後放入103°C烤箱的烘烤五小時後，隨即依序取出稱重，即可求得當時之含水率的值(Sobel, 1971)。在各組實驗中我們可於不同的條件下，得到強制通風與自然通風之各層墊料含水率隨時間變化的情形，此結果將用以探討在不同參數條件下，各參數墊料含水率的影響。另外則將結果與前述的理論模式所得的模擬結果作比較，以驗證理論模式的正確性。

## 結果與討論

### 一、室內實驗結果與討論

實驗結果依前述實驗組編號分別圖示於圖5至圖14，圖中每一個數據點至少為四個樣本之平均值

，圖中分別繪出各組實驗之自然通風組與強制通風組實驗結果，同時墊料含水率亦分別以上層與下層含水率列出。圖中墊料含水率有急劇變化部份通常對應於實驗中設定噴水之前後。以下分別就降水量、風速、墊料種類及墊料厚度等影響因子進行分析比較，各組實驗之實驗時間除第9組外均為24小時，其降水量的基準值為5215 g/(m<sup>2</sup> · day)，約為鴨排泄量的4.5倍。風速的基準值為4.45 m/s。上述基準值的設定，乃為使墊料的含水率在實驗的時間範圍內（24小時）有明顯地變化，以方便各組作比較。茲依其性質分類加以分析討論：

#### 1.降水量之影響：

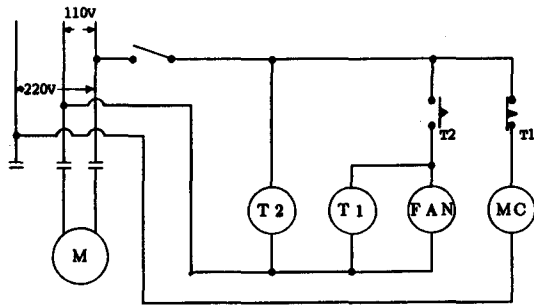
圖5，6及9（第1，2，5組）所示為不同降水量情形下墊料含水率隨時間變化之比較，各組降水依序分別為5125，6396及1737g/(m<sup>2</sup> · day)。由圖中結果可知第2組因降水量大，所以不僅頂層鋪料含水率於12小時左右即逐漸趨於飽和，而且其底層含水率也於同時急劇升高。而在第1組中，其頂層含水率有明顯上升的趨勢，底層則否（僅上升1~2%）。而在1，2組中，強制風與自然通風之頂層的含水率相差不大，約僅差6%而已。在第5組中，由於降水量很小，強制通風組之頂底層的含水率幾乎維持與原來的一樣，而自然通風組則僅上升12%左右。由上述的比較分析可知在一定的強制通風情況下，墊料潮濕的程度受降水量大小之明顯影響，降水量大時，上下兩層墊料的含水率皆明顯地上升；降水量小時，則上層墊料的含水率皆明顯地上升，而下層墊料的含水率幾乎不受影響。

#### 2.風速之影響：

圖5，7及8（第1，3，4組）所示為不同風速下墊料含水率隨時間之變化情形，各組之風速依序分別為4.4，7.2及1.7m/s。由圖中可見在一定的降水量下，墊料頂層含水率會因強制通風的風速加大而降低（比較第1，3，5組）。另外，除非風速相當大，如第3組的7.2m/sce，會使強制和自然通風兩組含水率產生較大差異(15%)，否則在較低風

表 1 模式中各參數的符號、名稱以及其基準值

參數符號	參數名稱	基準值
W(t)	降水量	465 g
d	墊料水份擴散係數	0.2 g/(%·Hr.)
N	墊料分割層數	60 層
v	通過墊料表面之風速	7200 m/Hr.
$\theta$	墊料每單位重量之吸濕容量	6.0 g 水/g 墊料
$\Delta\Psi$	蒸氣壓差	2.00 mm Hg
L	墊料厚度	3.0 cm



FAN: 橫流扇  
M: 馬達  
MC: 電磁閉鎖  
T1: 斷電延遲器  
T2: 數位可程式定時器

圖 4 室內實驗裝置控制電路線路圖

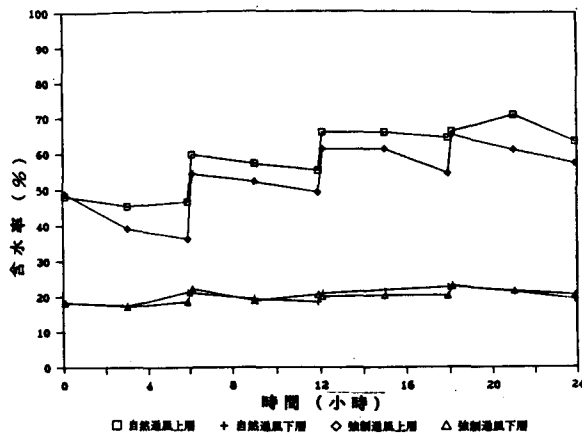


圖 5 室內實驗墊料含水率隨時間變化情形  
— 細杉木屑墊料基準組

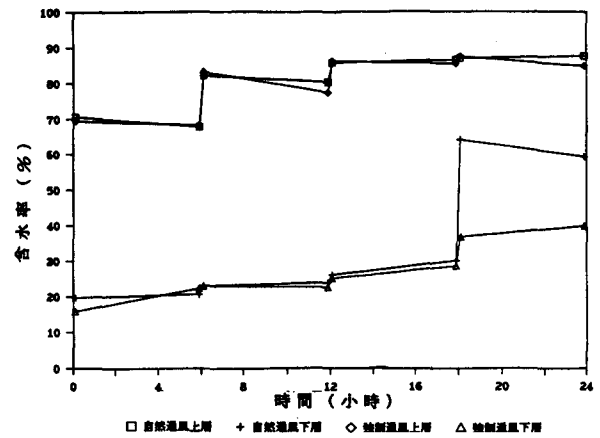


圖 6 室內實驗墊料含水率隨時間變化情形  
— 細杉木屑墊料高降水量組

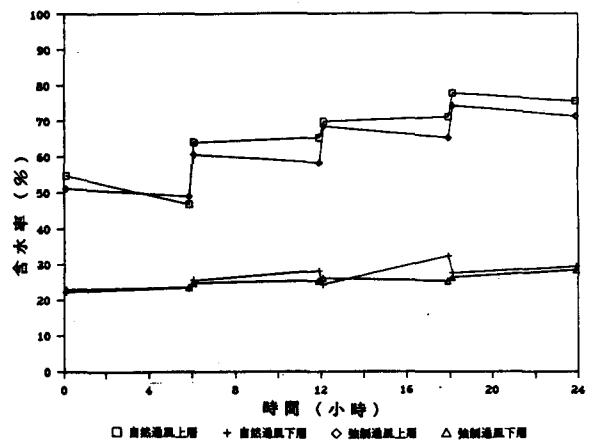


圖 7 室內實驗墊料含水率隨時間變化情形  
— 細杉木屑墊料高風速組

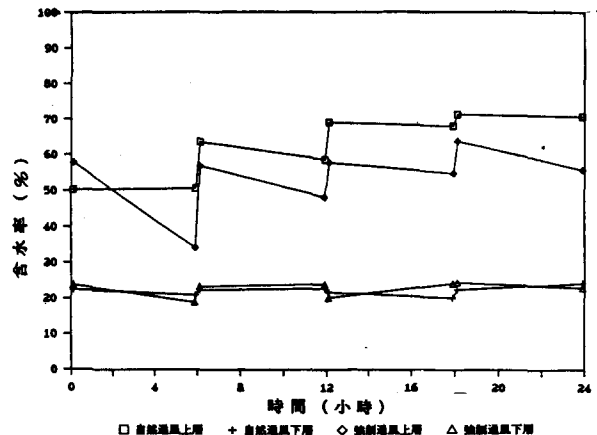


圖 8 室內實驗墊料含水率隨時間變化情形  
— 細杉木屑墊料低風速組



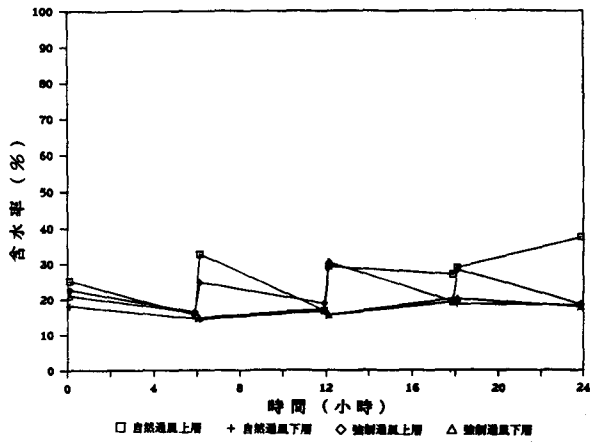


圖 9 室內實驗墊料含水率隨時間變化情形  
— 細杉木屑墊料低降水量組

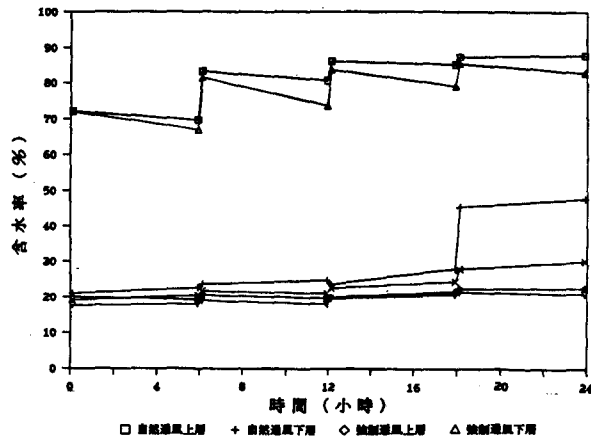


圖 12 室內實驗墊料含水率隨時間變化情形  
— 細杉木屑墊料高厚度組

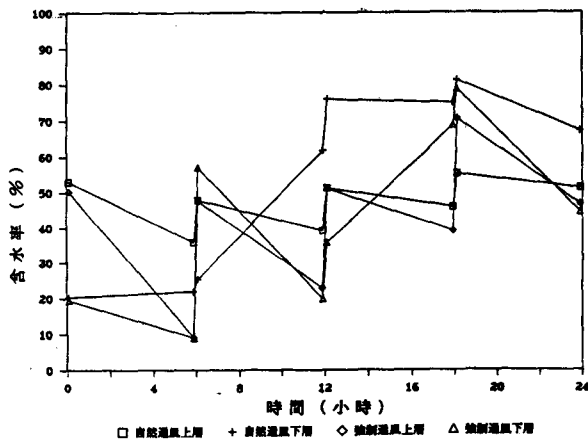


圖 10 室內實驗墊料含水率隨時間變化情形  
— 稻殼墊料基準組

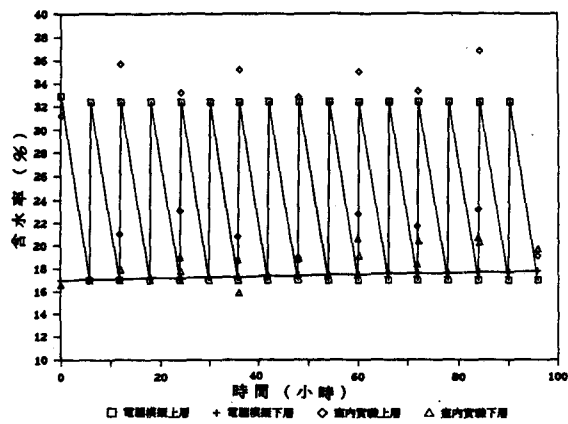


圖 13 細杉木屑墊料長時間組自然通風實驗結果  
與電腦模擬結果之比較

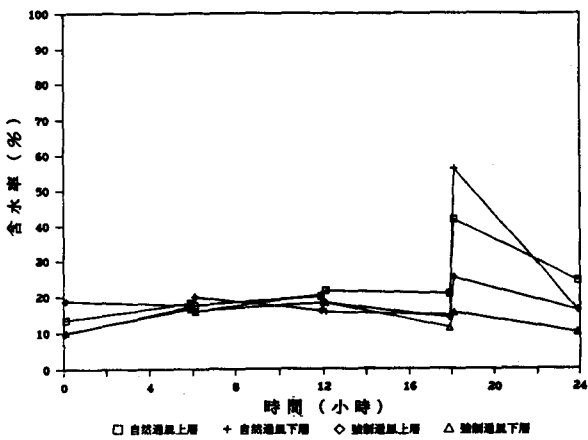


圖 11 室內實驗墊料含水率隨時間變化情形  
— 稻殼墊料低降水量組

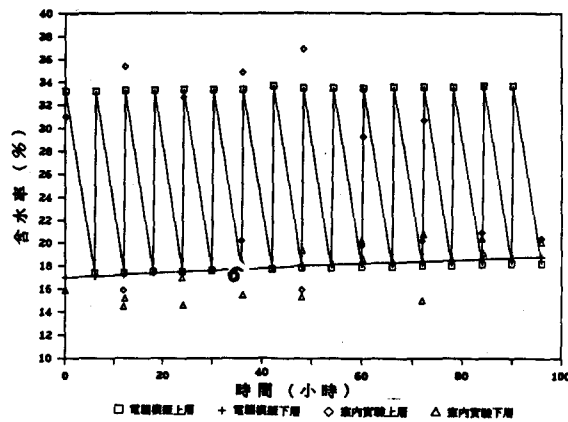


圖 14 細杉木屑墊料長時間組強制通風實驗結果  
與電腦模擬結果之比較

速時(第1及4組),通風對含水率之影響有限(如第1組與第4組之強制通風與自然通風差異值為6.2%及4.3%)。由上述的分析可得以下的結論:強制通風時風速對墊料含水率之影響並非成線性關係,在低風速時強制通風所產生的乾燥效果與自然通風者比較起來差異不大,而為使通風效果能顯著,通風之風速必需提升至一定風速值以上。

### 3. 墊料種類之影響:

有關墊料種類之比較主要以細杉木屑與稻殼於兩種降水量之情形下進行比實驗,圖5,9,10,及11(第1,5,6及7組)所示為實驗結果,其中第1,6組為較高降水量時兩種墊料之比較,第5,7組為較低降水量時之比較。對較高降水量( $5125 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ )而言由於稻殼本身的孔隙度較大,以及其吸濕容量較小,所以其底層之含水率比起杉木屑而言,於短時間內便急劇上升(從第6小時開始快速增高),且其底層的含水率比頂層來得高。而杉木屑除頂層之含水率有顯著變化,其底層則無,所以吸濕的續久能力得以延長。而於較低降水量( $1737 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ )之情形當降水量累積到一定值時(第18小時),稻殼之頂底層的含水率會明顯地升高,而細杉木屑除了在自然通風的頂層部分,有持續地升高外,其餘尚還變化不大。由以上的比較可知就墊料之使用耐久性而言,細杉木屑顯然較稻殼適合為墊料以吸收鴨排泄物中的水份。

### 4. 墊料厚度之影響:

第2,8組為比較墊料厚度之影響,為使墊料各層的含水率有明顯的變化以方便比較,此兩組實驗所使用的降水量為高降水量( $16396 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ )而非基準值。其中第2組(厚度3分分)分成兩層,而第8組(厚度4.5分分)分成3層,且第2組的上、下層乃與第8組的上、中層相比較。圖6與12為此兩組實驗之結果,由圖可見兩組的結果相近,因此顯示墊料的厚度在短時間或通風良好時對墊料各層含水率沒有影響,但若就長期蓄積水份而言,則由於高厚度墊料之總吸濕容量較大,其使用之耐久

性或更換時間將較低厚度墊料為長,此種現象可印證於實際鋪設墊料之鴨舍現場實驗結果(鍾,1991)。

### 5. 長時間使用的可行性:

第9組實驗之目的為探討墊料在一定降水量時長期使用之可行性。實驗影響因子的設定乃設計為儘量接近於禽舍之實際條件,以模擬實際狀況:如降水量設定為 $2172 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ ,約為每天鴨排泄量的二倍,風速為 $2.0 \text{ m/s}$ 等。圖13與14分別為以細杉木屑墊料進行96小時實驗的結果,由圖中可知無論是自然通風組或是強制通風組在96小時的實驗時間內,墊料之含水率均隨噴頭噴水時間作規律性的跳動變化,最終皆可維持在初含水率值左右,顯示進入墊料之總水量與蒸散之水份約為等量,意即以細杉木屑為墊料由於其吸濕容量等性質足以在實驗所設定之降水量下,配合水份蒸散環境條件使其不致造成濕透或水份飽和之情形,因此利用細杉木屑為鴨舍之墊料以目前室內實驗結果顯示,應不致有短時間濕透需立即更換情形而可以較長期使用。

### 二、電腦模擬驗證與分析

圖13及14以第9組實驗為例同時繪出以數學模式進行電腦模擬之結果,以與室內實驗結果進行比較,從而驗證理論模式與電腦模擬程式的正確性。在所有9組實驗中,電腦模擬的結果乃根據各組室內實驗所測得或設定的參數,代入電腦模擬程式中所求得。在這9組數據中室內實驗與電腦模擬的結果相比較,除了第5,7組,因其噴水量較小,受限於實驗設備本身的精確性,而在實驗的末期所得的結果差異較大,其他各組其墊料含水率隨時間的變化的趨勢與含水率值都相差不大,墊料含水率實驗與模擬值之差異均在4%之內。由於在定性上實驗數值與電腦模擬結果在趨勢上相吻合,而定量上兩者之誤差亦在應用上可接受之範圍,因此顯示數學模式的基本架構應是正確的。而造成實驗與電腦模擬結果差異之原因則在實驗上可能包含了實驗設備本身所造成的誤差如噴水量分佈的均勻性、定量噴水的控制誤差及取樣所造成的誤差等,在電腦模擬

方面則由於理論基本假設的理想狀況與實際狀況的差異、模擬時所使用的參數的準確性等可能造成差異。就數學模式之應用而言，電腦模擬除可以預測不同條件下墊料含水率對時間之變化情形，同時亦可以由模擬結果對影響墊料含水率的因子進行分析，以得知各因子對墊料含水率的影響程度差異，進而作為使用墊料作鴨排泄物乾燥處理時或是應用於目前鋪設墊料之禽舍中的飼養管理作業之參考。以下即以電腦模擬對各重要參數進行靈敏度分析所得結果分項說明：

圖15至18依序分別為調整降水量為232, 465, 930及1960 g/(m<sup>2</sup>·day)而其他參數維持如表1中之基準數值所得之電腦模擬結果。由結果發現降水量的多寡，對各層墊料的含水率有決定性的影響，降水量大時各層的含水率都會明顯地上升，甚至達到其飽和含水率；而降水量少，僅在頂層的部分會有明顯地變化，底層的部分幾乎不受影響，此說明了於飼養管理時家禽之飼養密度，甚至飲水與排泄物之含水率均為應用墊料處理排泄物之重要因子。

通風時平均風速的大小，主要對較上層之墊料含水率造成影響(鍾，1991)。頂層墊料之含水率隨時間可能因通風乾燥的影響而下降，而下降的幅度乃取決於平均風速的大小；風速小時蒸發率小，則墊料頂層之含水率可能逐漸地增加至飽和含水率，進而影響下一層的含水率；而風速大時水份蒸發較快因此墊料頂層含水率增加有限，而對下一層的含水率幾近於沒有影響。風速之大小對墊料頂層之含水率並不成線性關係。

墊料之吸濕容量與本身的飽和含水率有關，且對各層含水率值大小的分佈情況有影響。吸容濕量大之墊料其飽和含水率通常亦大，反之亦然。且吸濕容量大時，較易造成墊料各層之含水率的分佈不均勻，亦即下層部分較不容易受降水量的影響。而如果墊料之吸濕容量小時（如稻殼），則含水率的分佈較均勻，且其下層的含水率有可能因累積會大於頂層的含水率，因此吸濕容量小之墊料較會產生

墊料濕透的情形。

圖19為蒸汽壓差設定為基準值兩倍(4.01 mm Hg)而其他參數值為表1基準值所得之電腦模擬結果。與圖6比較可以發現蒸氣壓差對通風乾燥的效果影響甚大，尤其對上層的墊料更是明顯。當蒸氣壓差大時即使風速小，但所得的通風乾燥效果卻有可能同於風速大而蒸氣壓差小的情形。而根據空氣線圖得知，空氣的蒸氣壓乃與其溫濕度有關，在一定的溫度下蒸氣壓差乃取決於空氣的相對濕度，空氣的相對濕度低，則蒸氣壓差大，反之則小。所以若能選擇在蒸氣壓差較大時，即空氣之相對濕度較低時進行通風乾燥，則有助於通風乾燥效果。反之若於空氣相對濕度高時進行通風乾燥，即使在通風風速高時之乾燥效果亦將受到限制。

### 三、鴨舍現場初步實驗結果

由室內實驗與電腦模擬所得之分析結果最後期望被應用於實際鴨舍之飼養管理與排泄物處理上。圖20為於畜產試驗所宜蘭分所進行墊料乾燥處理鴨排泄物之初步實驗結果，實驗中分別於籠式飼養之菜鴨與土番鴨籠下鋪設細木屑墊料，同時以每秒二公尺左右之風速進行通風乾燥(鍾，1991)。在為期七天之現場實驗中菜鴨與土番鴨之排泄物分別由87%及84%之高含水率逐漸下降到45%至65%之間，而此含水率已達到於次一階段進行堆肥處理之要求，顯示應用墊料與通風的確在應用上足以使鴨排泄物之含水率顯著下降，達到初步乾燥之效果。

## 結論與建議

從室由試驗的結果，對墊料含水率的影響因子可以歸納結論如下：

一、就降水量（排泄物量）之影響而言，在強制通風的情況下，墊料潮濕的程度乃視其降水量的大小而定，降水量大時上下兩層墊料的含水率皆明顯地上升，而降水量小時，則可能僅上層墊料的含水率明顯上升，而下層墊料的含水率幾乎不受影響。

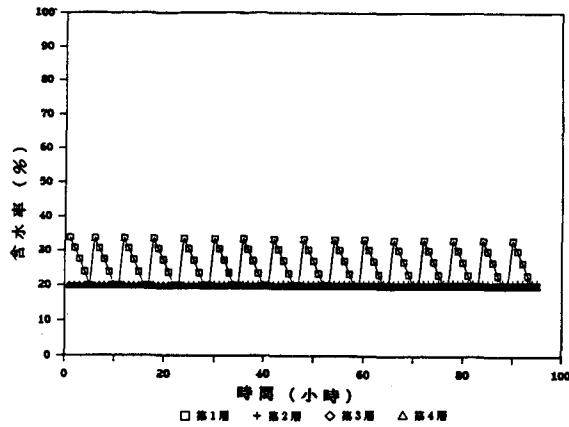


圖 15 降水量之電腦模擬靈敏度分析—降水量為  $232 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$  時墊料各層含水率之變化

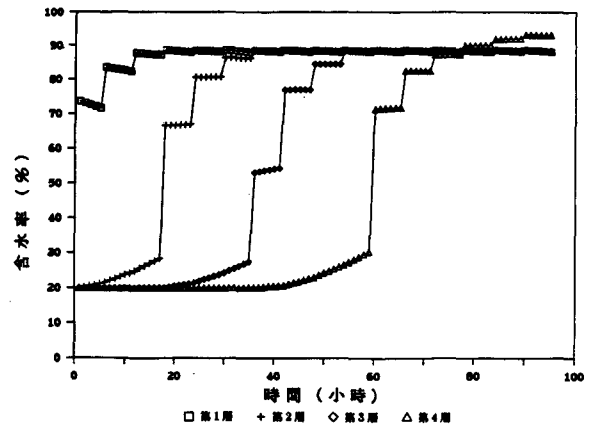


圖 18 降水量之電腦模擬靈敏度分析—降水量為  $1860 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$  時墊料各層含水率之變化

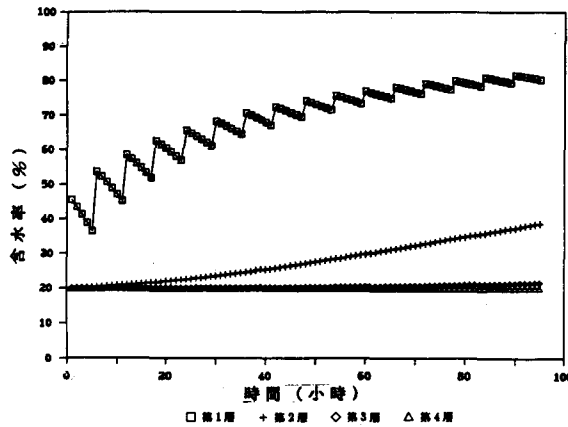


圖 16 降水量之電腦模擬靈敏度分析—降水量為  $465 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$  時墊料各層含水率之變化

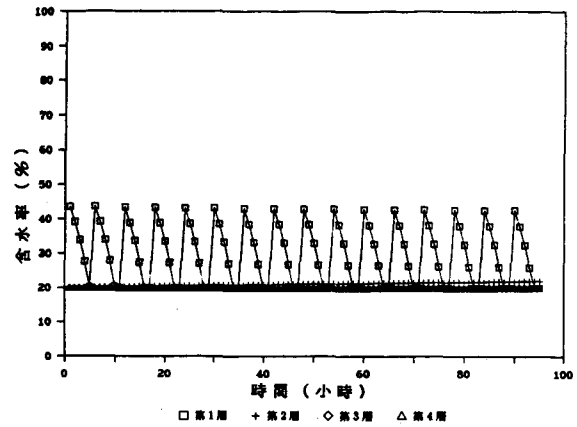


圖 19 蒸氣壓差之電腦模擬靈敏度分析—蒸氣壓差為  $4.01 \text{ mm Hg}$  時墊料各層含水率之變化

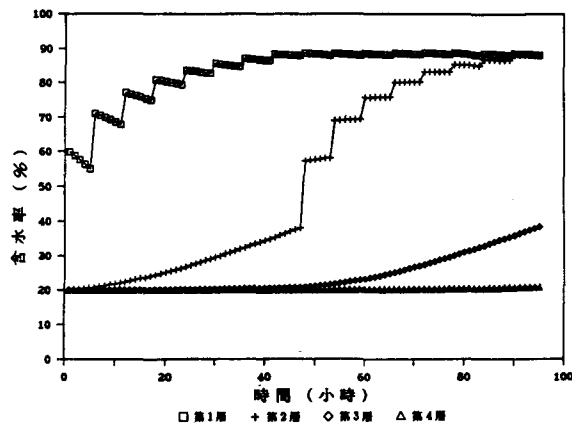


圖 17 降水量之電腦模擬靈敏度分析—降水量為  $930 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$  時墊料各層含水率之變化

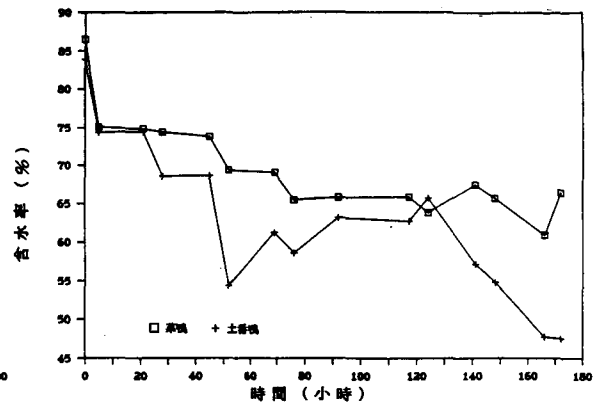


圖 20 鋪設細木屑墊料之鴨舍現場實驗所測得之鴨排泄物含水率隨時間變化情形

二就風速之影響而言，在某一定風速值範圍內，強制通風所產生的乾燥效果與自然通風者比較起來差異不大。風速與乾燥效果並不成線性關係。若要求得良好的通風乾燥效果，必須將通風風速提升到一定風速值以上。而此風速值又與空氣的溫濕度相關。

三就墊料種類而言，因稻殼的吸濕容量較小和其孔隙度較大，所以稻殼較細杉木屑不適合用於作墊料以吸收鴨排泄物中的水份。

四細杉木屑於適當的鋪設厚度與強制通風的情形下可以維持較穩定含水率而可延長更換時間。

至於理論模擬分析部分，經其與室內試驗結果定性與定量比較後，可以肯定以質量平衡原理為推演基礎之理論模式基本架構應是正確的。另外藉由對重要參數作靈敏度分析，可使我們了解各因子對墊料含水率的影響。而從電腦模擬與靈敏度分析的結果我們可以發現影響墊料含水率的要因有：

一墊料的吸濕容量大可減低濕透的情形，因此有助於墊料的長期使用。

二對墊料作強制通風乾燥時，其通風效果的好壞與蒸氣壓差（相對濕度大小）有密切的關係；同樣風速時若其蒸氣壓差越大（相對濕度越小），則其通風效果越好。

三墊料厚度對墊料含水率的影響，乃與墊料具有的吸濕容量是否足夠吸收降水量有關。墊料的厚度在短時間或通風良好時對墊料下層含水率沒有顯著影響，但若就長期蓄積水分而言，則由於高厚度墊料之總吸濕容量較大，其使用之耐久性或更換時間將較低厚度墊料為長。

在本研究中所分析之墊料與通風對鴨排泄物乾燥處理之影響僅止於初步之室內試驗，理論模式亦僅限於一維之分析，對於未來應用於家禽舍中排泄物乾燥處理時，可利用上述有關的結論，配合飼養管理條件，以求最佳的乾燥處理效果。另外在理論模式上應可繼續擴充為二維模式及應用隨機理論更逼近模擬禽舍中之狀況。現場飼養實驗亦有待將

來繼續進行以印證本研究所得之結論。

## 誌 謝

本研究承蒙行政院農業委會補助，計畫編號：79農建-7.1-糧-34(4)，特此致謝。

## 參考文獻

- 林崧銘。1989。控制電路(I)－順序控制。九版，P.133-144。台北：全華科技圖書公司。
- 洪嘉謨。1985。廢物處理－畜牧要覽家禽篇。初版，P.527-541。台北：中國畜牧協會。
- 洪嘉謨、黃瓊姿。1981。太陽能(塑膠房)乾燥豬糞應用之研究。畜產研究14(1)：1-13。
- 陳鑫益。1988。探討防止養鴨環境污染之模式。台灣省畜產試驗所研究報告。
- 馮丁樹、方煒。1986。空氣線圖之電腦模擬。農業工程學報32(4)：49-63。
- 鍾木壽。1991。鴨排泄物乾燥處理方法之研究——(I)墊料與通風處理之探討與模式建立。碩士論文。台北：國立臺灣大學農業機械工程研究所。
- Allison, J.M. and Bishop, G.R. 1977. Drying caged layer waste. Trans. ASAE 20(2)：390-392.
- APHA, (AWWA, WPCE). 1981. Standard Method for the Examination of Water and Waste Water. 15th ed. P.90-95.
- Bresslir, G.O. and Bergman, E.L. 1970. Soliving the poultry manure problem economically through dehydration. Livestock Waste Management Paper No.3951：81-84.
- Law, A.M. and Kelton, W.D. 1982. Simulation Modelling and Analysis. New York：McGraw-Hill Book Company.
- Ludington, A.T., Sobel, A.T. and Gormal B. 1971. Control of odors through manure

- management. Trans. ASAE 14(4): 771-774.
- Kumar, A., Blaisdell, J.L. and Herum, F.L. 1982. Generalized analytical model for moisture diffusion in a composite cylindrical body. Trans. ASAE 25(3): 752-758.
- Nesheim, M.C. 1972. Evaluation of dehydrated poultry manures as a potential poultry feed ingredient. Proceedings of the 1972 Cornell Agricultural Waste Management Conference. P.301-310.
- Reider, W.G. and Busby, H.R. 1989. Introducing Engineering Modeling Emphasizing Differential Models and Computer Simulations. New York: John Wiley & Sons.
- Sobel, A.T. 1971. Removal of Water from Animal Manures-Part2: Effects of Velocity on Air Drying. Cornell University Research Report, U.S.A. AWM71-04: 1-3.
- Sobel, A.T. 1976. The High Rise System of Manure Management. Cornell University Research Report, U.S.A. AW-M76-01: 1-49.
- Sobel, A.T., Ludington, D.C., and Yow, K.V. 1988. Alter Diary Manure Characteristics for solid Handling by the addition of Bedding. International Agrophysics. 4(1-2): 31-48.
- Surbrook, T.C., Sheppard, C.C., Boyd, J.S., Zindel, H.C., and Flegal, C.J. 1971. Drying poultry waste. In Livestock Waste Management and Pollution Abatement. ASAE, St. Joseph, Michigan.

### 符號說明

- A : 墊料的頂層表面積, ( $\text{cm}^2$ )。
- $D(n, t)$  : 第n層對第n+1層於時間t時之擴散輸送量, (g)。
- d : 墊料之水份擴散係數, ( $\text{g}/(\% \cdot \text{Hr.})$ )。
- $E(t)$  : 時間t時之表層蒸發量, (g)。
- e : 單位時間內之單位面積水份蒸發量, ( $\text{cm 水}/(\text{Hr. cm}^2)$ )。
- L : 墊料厚度, (cm)。
- $\Delta M(n, t)$  : 第n層於時間t時之水份增加量, (g)。
- $M(n, t)$  : 第n層於時間t時之總含水量, (g)。
- $P(n, t)$  : 第n層對第n+1層於時間t時之滲透輸送量, (g)。
- $\Delta t$  : 時間之微小增量, (Hr.)。
- v : 通過墊料表面之風速, ( $\text{m}/\text{Hr.}$ )。
- $W(t)$  : 時間t時之表層降水量(排泄量), (g)。
- $\Theta(n, t)$  : 第n層於時間t時之濕基含水率, (%)。
- $\theta$  : 墊料每單位重量之吸濕容量, ( $\text{g 水}/\text{g 墊料}$ )。
- $\omega$  : 單層墊料於起始時之重量, (g)。
- $\Psi_s$  : 空氣之飽和蒸氣壓值, (mm Hg)。
- $\Psi_d$  : 空氣之露點飽和蒸氣壓值, (mm Hg)。
- $\Delta \Psi$  : 蒸氣壓差, (mm Hg)。
- $\rho$  : 水之密度, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

收稿日期：民國 80 年 9 月 26 日

接受日期：民國 80 年 10 月 9 日