

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高職組 農業及生物科技科

第一名

091401

麵糰發酵箱濕度控制系統之改良

學校名稱：國立民雄高級農工職業學校

作者：	指導老師：
職一 黃菀亭	王俊雄
職一 黃靜宜	吳輝男
職二 朱盈璋	

關鍵詞：麵糰發酵、相對濕度、超音波霧化

## 得獎感言



哇！想不到真的如同指導老師說的！我們的成績不會太差！能得到第一名真的滿心歡喜呀！其實能得到這個獎，要感謝最辛苦的指導老師，從我們發現發酵箱有嚴重的結露後，主任馬上帶領我們這個問題進行探討並尋找最佳解答。

我們開始針對這問題討論並進行實驗，在實驗的過程中有許多不如我們預期的理想，實驗是一直修改再修改，我們也曾經想放棄這個實驗，但是因為有老師在我們身邊陪伴與鼓勵著我們，就是這股動力讓我們有力量進續往前邁步，果然皇天不負苦心人，在我們不斷一直的實驗和探討下，我們找到最佳解答啦，後續也針對這問題並進行改良。因為有老師的指導下，我們的問題一直尋求到答案，也是老師犧牲他自己休息的時間來陪伴我們一起找出答案，如果沒有老師的帶領下，我們今天也不會有這麼好的成績！對我們的指導老師有說不完感謝，我們想跟指導老師獻上最忠誠的感謝，您辛苦了！

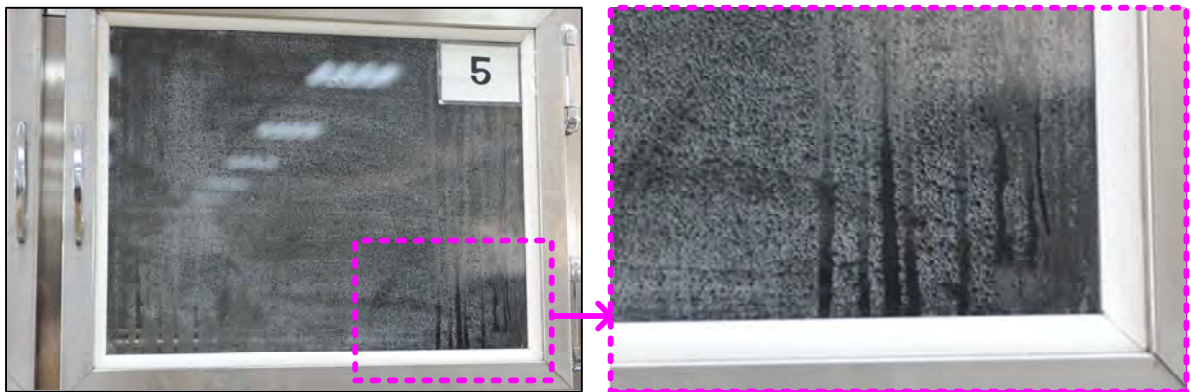
在這過程中，最重要的不是名次，而是我們實驗過程中所得到的收穫，如果沒做實驗我們也不知道原來發酵箱都是利用熱水來增濕，才會導致嚴重的結露現象，我們也是先學到我們還沒修過的統計學，說實在好難！還好這個問題我們有解出來，真是好險好險，最重要就是我們學到一個 TEAM 的精神，如果不是大家一起同心協力找出問題並尋求解決方法，今天的我們也不會有這樣的好成績！

## 壹、摘要

學校現有發酵箱使用時，都會出現明顯的結露現象。經拆解發現第一、二、三代發酵箱皆利用熱水來增濕，其缺點是增濕速率慢，增濕水槽就算停止加熱，熱水仍會持續釋放出水蒸氣，因此，仍會繼續上升，導致相對濕度過高。目前較新型的液壓噴霧型發酵箱，雖未使用熱水來增濕，但仍有相對濕度過高之問題存在，且造成水資源的浪費。本研究是利用超音波霧化方式，自行設計組裝濕度控制系統，並安裝在各類型發酵箱上，皆可明顯改善相對濕度過高之缺點，而且「省水、省電」之改良成效相當顯著。最後，以超音波霧化型發酵箱實際製作麵包，由「嗜好評分品評」結果顯示，消費者在外觀、風味、咬感、整體感等之喜好程度，改良後皆優於改良前。

## 貳、研究動機

我們發現學校實習用的發酵箱內有明顯的結露現象，如下圖所示。但是教科書中的麵包發酵條件：基本發酵之相對濕度為 75%；最後發酵之相對濕度為 85%。我們懷疑學校實習用的發酵箱，其濕度控制是否有問題？



## 參、研究目的

1. 探討現有發酵箱濕度過高之原因。
2. 尋求解決相對濕度過高問題之方法。
3. 設計改良具實用價值之濕度控制系統。

## 肆、研究設備與材料

### 一、研究設備



濕度計  
Center 313  
(Taiwan)



濕度計  
Testo 174H  
(Germany)



風速計  
Testo 405V1  
(Germany)



超音波起霧器  
Whirl Best WB-P2425  
(Taiwan)



游標卡尺  
Mitutoyo 150AL  
(Japan)



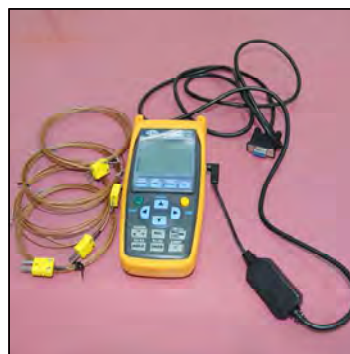
濕度開關  
Galltec Mess HG Mini  
(Germany)



瓦時計  
Prova WM-02  
(Taiwan)



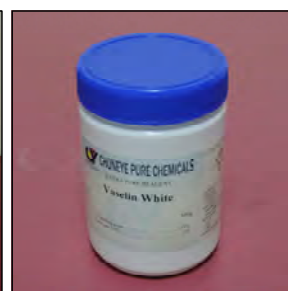
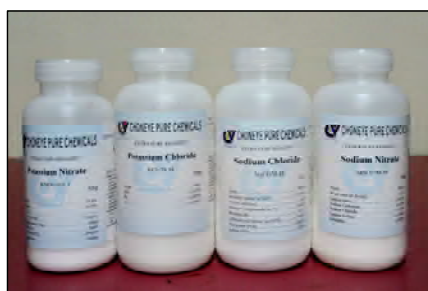
恆溫箱  
Wisoom 721  
(Taiwan)



溫度計  
YS 947D  
(Taiwan)

### 二、材料

1.  $\text{KNO}_3$
2.  $\text{KCl}$
3.  $\text{NaCl}$
4.  $\text{NaNO}_3$
5. Waselin White  
(Choneye, Taiwan)



## 伍、研究過程與方法

### 一、文獻探討

#### (一) 麵糰發酵<sup>(4)(7)(8)(12)</sup>

麵包製作之基本發酵條件：溫度 28°C，相對濕度 75%；最後發酵條件：溫度 38°C，相對濕度 85%。麵糰之發酵條件會影響麵包品質，以最後發酵為例，相對濕度太高時，水滴凝結在麵糰表面，造成麵包表皮韌性大，且多泡易碎裂，麵包扁平不挺。

#### (二) 飽和蒸氣壓<sup>(1)</sup>

若液體處於一密閉的容器內，蒸發速率與凝結速率，最後會達到一個動態平衡，液面上的蒸氣壓固定，此蒸氣壓稱為該液體的飽和蒸氣壓。通常在一定的溫度下，每一種純溶劑都會有固定的飽和蒸氣壓，溫度升高，液體分子動能增加，其飽和蒸氣壓也會隨之增加。

#### (三) 相對濕度<sup>(3)(11)</sup>

相對溼度(Relative humidity；RH)之定義：在某一定溫度壓力下，空氣中「實際水蒸氣壓」與「飽和水蒸氣壓」之比值，以百分率表示之。

$$\text{相對濕度(\%)} = \frac{\text{實際水蒸氣壓}}{\text{飽和水蒸氣壓}} \times 100\%$$

#### (四) 超音波霧化器<sup>(2)(14)</sup>

超音波霧化是利用電子震盪原理，產生高頻率震波的聚焦作用，而使液體形成超音波噴泉，使液體激烈震盪形成氣泡，因壓力差而使氣泡爆裂，其瞬間的衝擊力使液體呈現微粒狀發散之霧氣，此即霧化現象。超音波震盪之霧氣性質與液體種類、震盪頻率、超音波束強度有密切關係。超音波霧化器所產生的霧化粒徑非常微小，僅約為 5~10μm。

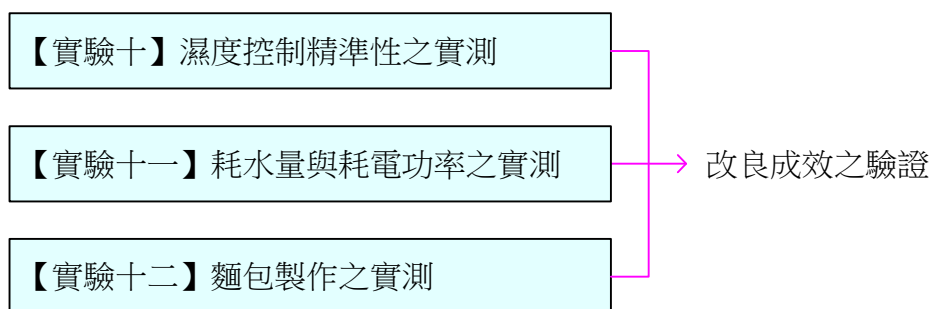
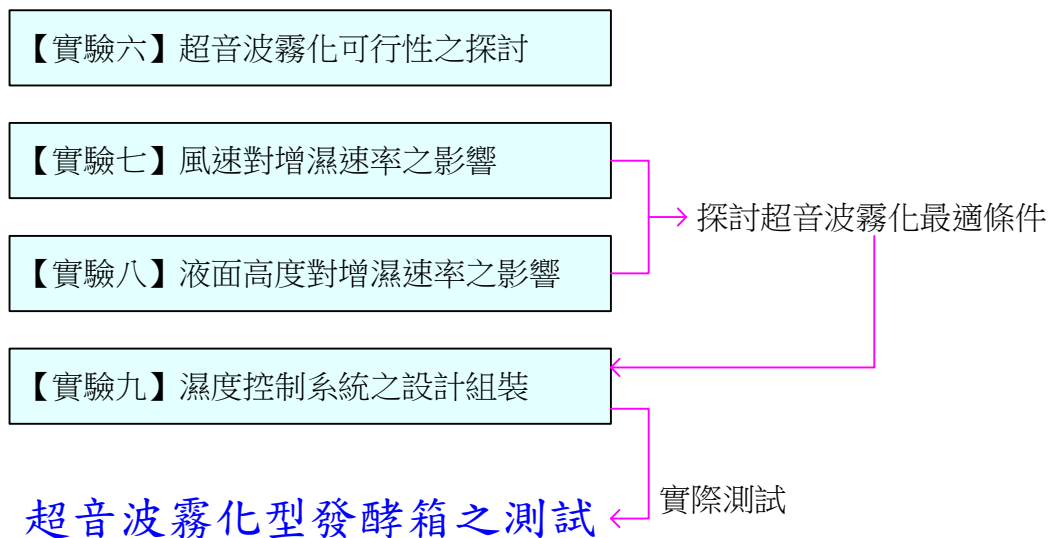
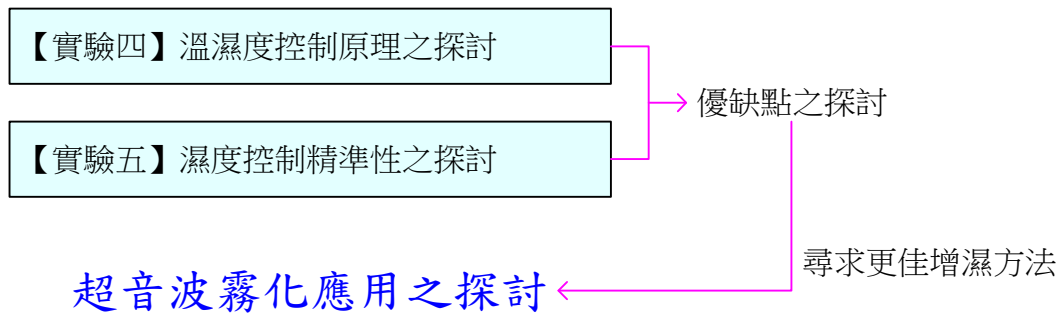
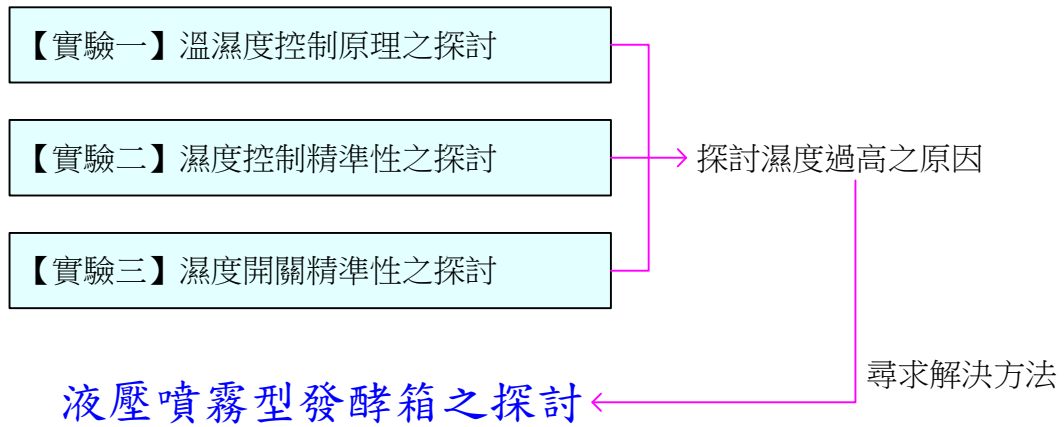
#### (五) 發酵箱溫濕度控制<sup>(11)</sup>

對於發酵箱濕度控制之相關文獻非常少，食品工業發展研究所曾研發麵糰發酵箱溫濕度控制技術，經由電路控制的改良，以及加濕裝置之改良，提高溫濕度控制的精確度，將傳統發酵箱之濕度控制精確度，由誤差±17% 改良為誤差±4%，將溫度控制之精確度由±4°C改良為誤差±2.5°C。(※ 移轉技術須付費)



## 二、研究架構

### 現有發酵箱之探討



### 三、研究方法

## 現有發酵箱之探討

為了解決學校現有發酵箱之相對濕度過高問題，我們必須先瞭解其關鍵點到底出現在那裡？

### 【實驗一】溫濕度控制原理之探討

**前言：**目前學校實習用之各類型發酵箱，在發酵過程中皆有結露現象，想要得到正確答案，我們必須先瞭解發酵箱的溫濕度控制原理。

**步驟：**

1. 學校現有發酵箱共有三大類型（依購置年份自行分為第一、二、三代）拆解觀察。
2. 探討各類型發酵箱之溫濕度控制原理。

**結果：**

1. 第一代發酵箱（圖1）
  - (1) 溫度控制系統：有乾熱加熱器，有溫度感測器。
  - (2) 濕度控制系統：增濕水槽與乾熱共用同一組加熱器，有溫度感測器，無濕度感測器。

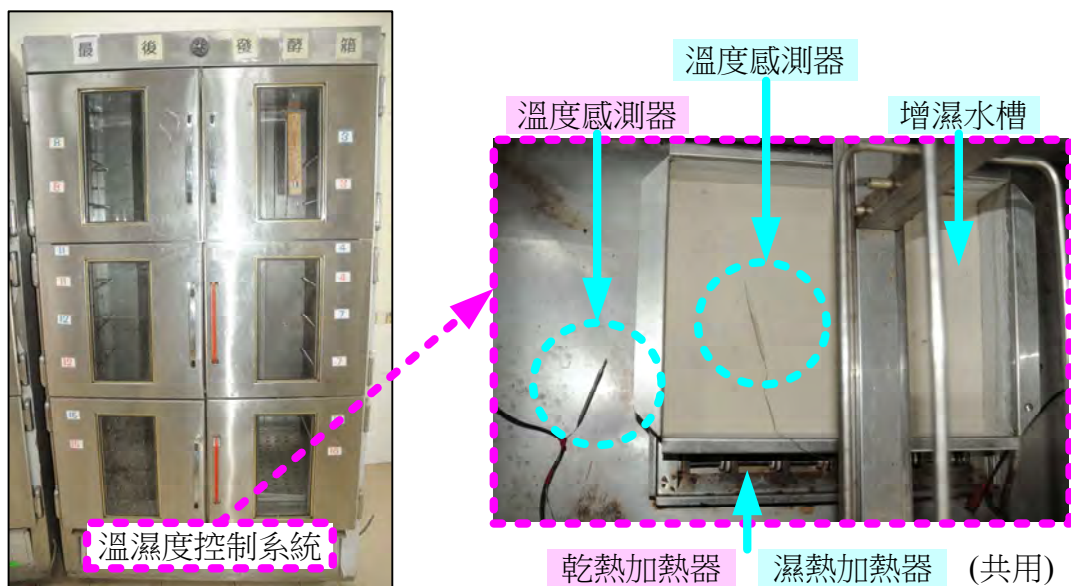


圖1 第一代發酵箱之溫濕度控制構造

2. 第二代發酵箱（圖2）

- (1) 溫度控制系統：有乾熱加熱器，有溫度感測器。
- (2) 濕度控制系統：增濕水槽有加熱器，有溫度感測器，無濕度感測器。

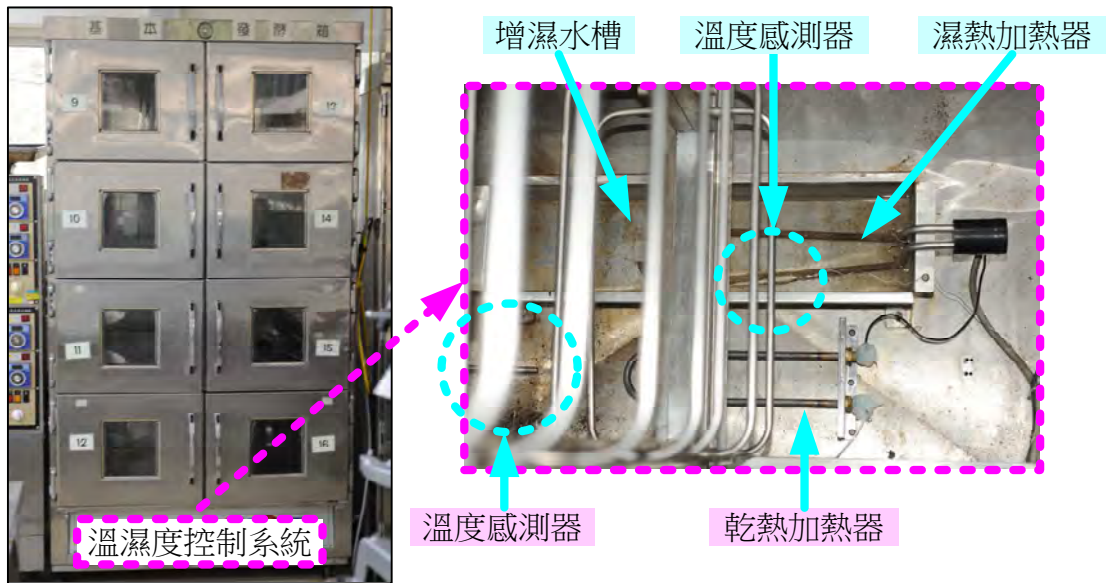


圖2 第二代發酵箱之溫濕度控制構造

### 3. 第三代發酵箱 (圖3)

- (1) 溫度控制系統：有乾熱加熱器，有溫度感測器。
- (2) 濕度控制系統：增濕水槽有加熱器，有濕度感測器（濕度開關）。

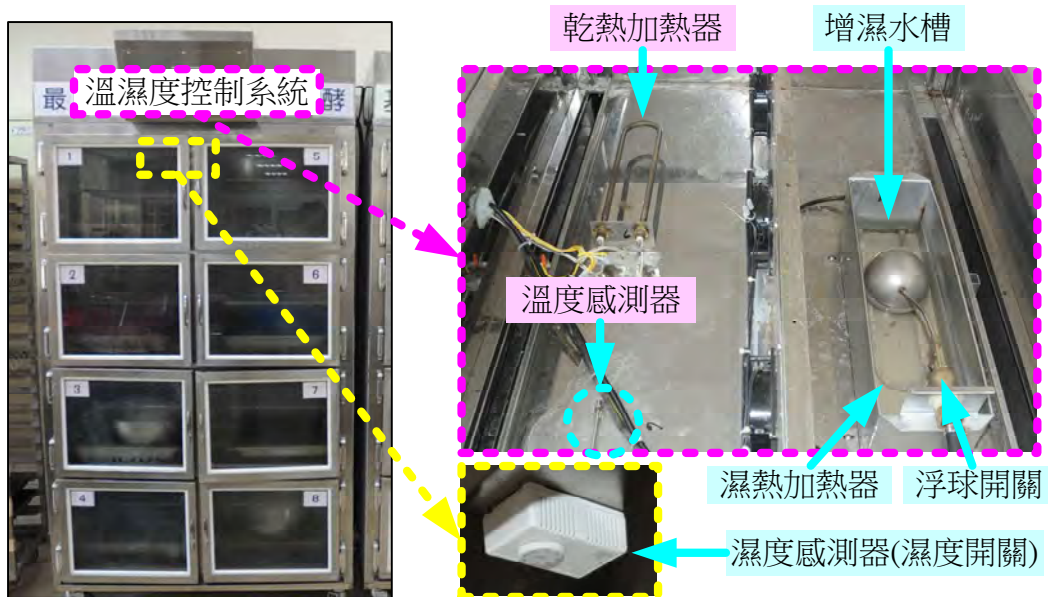


圖3 第三代發酵箱之溫濕度控制構造

#### 討論：

1. 第一、二代發酵箱完全沒有濕度感測器，濕度是仰賴熱水提供，增濕水槽加熱與否，完全依靠溫度感測器來決定。第三代發酵箱雖有濕度感測器，但也是利用熱水的蒸氣來增濕。
2. 第一、二、三代發酵箱，若使用未經軟化處理的水，則加熱器長期使用會產生「鍋垢」阻礙熱傳導，如下圖所示。





## 【實驗二】濕度控制精準性之探討

**前言**：推測現有發酵箱濕度控制不準，導致嚴重結露現象。

**步驟**：

### A. 濕度計之校正<sup>(6)(9)</sup>

1. 於20°C恆溫箱內，分別以KNO<sub>3</sub>、NaNO<sub>3</sub>飽和鹽溶液進行濕度計之校正。（實驗三重複）
2. 以參考文獻之飽和鹽溶液相對濕度值為「標準值」，濕度計讀數為「量測值」，利用SigmaPlot軟體求出濕度校正方程式。

### B. 第二代發酵箱濕度控制之測定

1. 將濕度計置放在發酵箱中心區域，發酵箱空氣溫度設定 38°C；增濕水槽設定 85%，啟動發酵箱之電源，開始記錄發酵箱之濕度變化過程。（每分鐘記錄一次，實驗三重複）
2. 以電腦讀取濕度之數值，並分別代入校正方程式修正之。

### C. 第三代發酵箱濕度控制之測定

1. 將濕度計置放在發酵箱中心區域，溫度設定 38°C；相對濕度設定 85%，啟動發酵箱之電源，開始記錄發酵箱之濕度變化過程。（每分鐘記錄一次，實驗三重複）
2. 以電腦讀取濕度之數值，並代入校正方程式修正之。

**結果**：

1. 濕度計之相對濕度「量測值」與飽和鹽溶液「標準值」之關係（含校正方程式），如圖 4 所示。
2. 第二代發酵箱相對濕度（已校正）之變化，如圖 5 所示。
3. 第三代發酵箱相對濕度（已校正）之變化，如圖 6 所示。

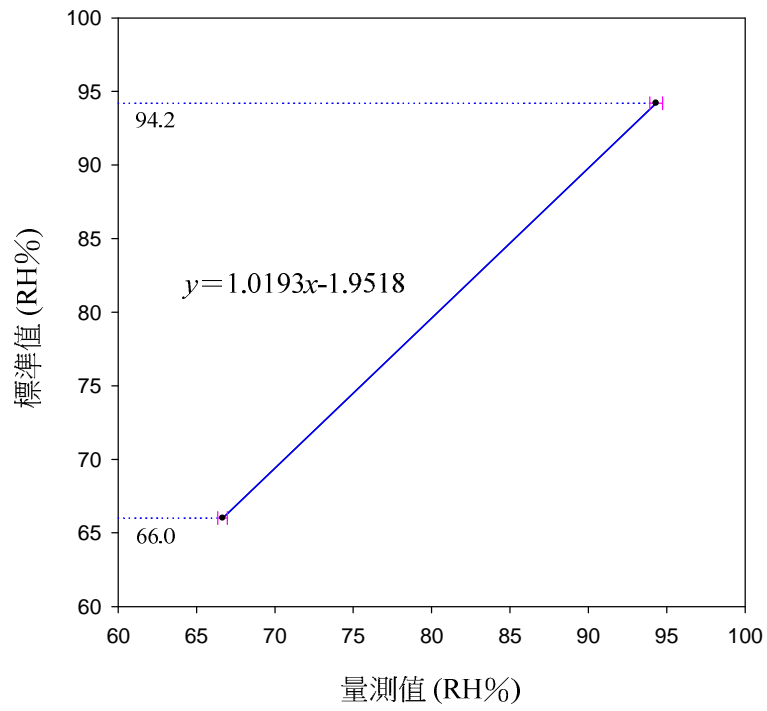


圖 4 相對濕度量測值與標準值之關係

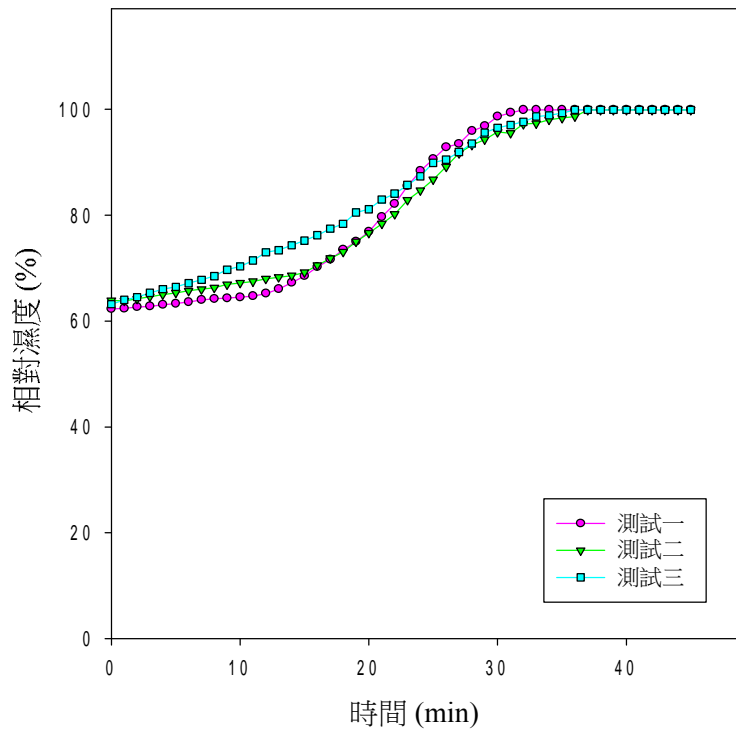


圖 5 第二代發酵箱相對濕度之變化

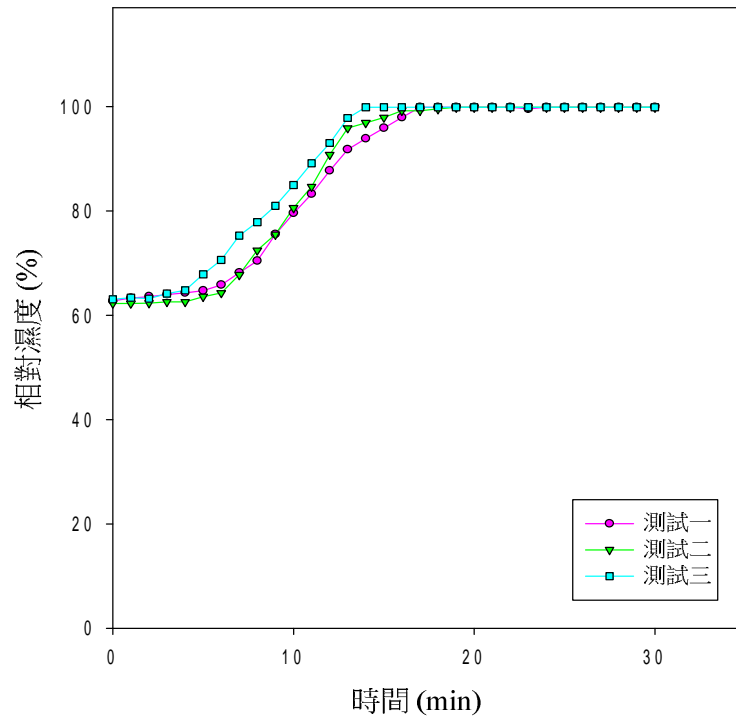


圖 6 第三代發酵箱相對濕度之變化

**討論：**

1. 由於第二代發酵箱是利用熱水的蒸氣來增濕，相對濕度明顯過高。平日進行麵糰基本發酵時，熱水還會影響溫度控制。
2. 第三代發酵箱也是利用熱水的蒸氣來增濕，雖然有濕度開關，但相對濕度仍然過高。
3. 過去食品工業發展研究所之研究<sup>(11)</sup>亦顯示，傳統發酵箱之相對濕度控制誤差甚大。這表示發酵箱相對濕度過高，是一個普遍性的問題。

**【實驗三】濕度開關精準性之探討**

**前言：**第三代發酵箱雖具有濕度開關，卻無法有效控制濕度，推測可能原因：(一)濕度開關之精準性不佳。(二)增濕水槽之熱水溫度居高不下。

**步驟：**

1. 使用玻璃乾燥器分別裝 $KNO_3$ 、 $KCl$ 、 $NaCl$ 、 $NaNO_3$ 飽和鹽溶液，於 $20^{\circ}C$ 恆溫箱中靜置1天，接縫處皆塗抹凡士林以確保其密封性。
2. 濕度開關先以逆時針方向轉動(%RH數值遞增)，再以順時針方向轉動(%RH數值遞減)，並記錄濕度開關ON/OFF點之數值。
3. 將飽和鹽溶液相對濕度之「標準值」，與濕度開關順時針、逆時針轉動之「測量值」進行比較。

**結果：**由表 1、圖 7 顯示，以順時針或逆時針轉動濕度開關，其測量值與飽和鹽溶液之標準值都很接近(約 $\pm 3\%RH$ )。

表1 飽和鹽溶液之標準值與濕度開關之測量值

飽和鹽溶液之標準值 (%RH)		濕度開關之測量值 (%RH)	
		順時針轉	逆時針轉
KNO <sub>3</sub>	66.0	62	68
KCl	75.5	72	77
NaCl	85.1	82	87
NaNO <sub>3</sub>	94.2	91	96

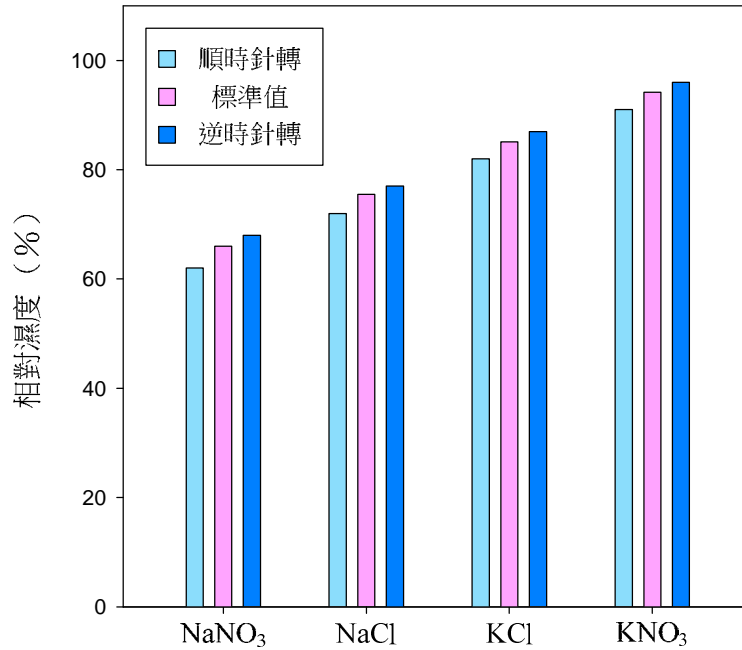


圖7 飽和鹽溶液之標準值與濕度開關之測量值

討論：

1. 將第三代發酵箱內之濕度開關拆卸觀察，發現為德國製濕度開關，上網查詢此型號之原廠資料，得知其精密度為±3%RH。我們的實驗結果與原廠之資料相近，證明此濕度開關沒問題。




**Galltec Mess- und Regeltechnik GmbH**  
D-71145 Bondorf · Germany  
Tel. +49 (0)7457-9453-0 · Fax +49 (0)7457-3758  
E-Mail: sensoren@galltec.de · Internet: www.galltec-mela.de

---

**Technical Data**

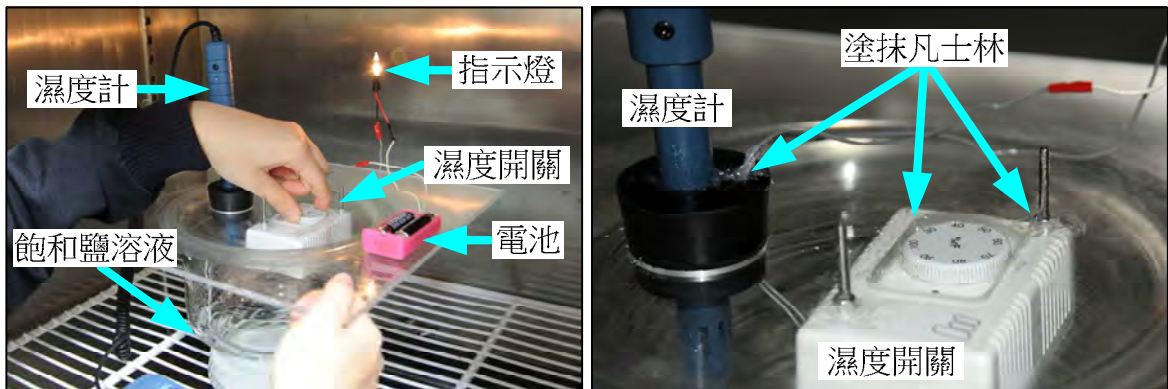
scale range .....	30...100%rh
measuring accuracy .....	±3.0%rh
range of operation .....	35...95%rh



HGMini

CE

2. 轉動濕度開關時，ON/OFF點即為相對濕度之測定值，但ON/OFF點觸動聲非常微弱，經測試改良增加指示燈之後，才很明確判斷出ON/OFF點。



3. 初步推測相對濕度過高之主因，可能是增濕水槽之熱水所造成。我們實際測量發現，熱水溫度可達95°C以上，且增濕水槽旁又有乾熱加熱器，水溫下降緩慢。
4. 熱水增濕之缺點：
- (1) 水的比熱大，升溫或降溫之速率皆緩慢。
  - (2) 水的溫度愈高，水蒸氣壓愈大。
5. 當濕度開關到達設定值時，雖可立即控制增濕水槽停止加熱，但熱水無法馬上降溫，仍會產生大量水蒸氣，發酵箱繼續處於增濕狀態，進而導致相對濕度過高。

## 液壓噴霧型發酵箱之探討

目前我們使用的發酵箱都是利用熱水蒸氣來增濕，想要解決相對濕度過高的問題，應該尋求其他增濕方式。

### 【實驗四】溫濕度控制原理之探討

**前言：**上網搜尋發現，較新型的液壓噴霧發酵箱，溫度與濕度可單獨控制。接著，我們找到鄰近大學有購置液壓噴霧型發酵箱，因此，我們想進一步瞭解其增濕原理。

**步驟：**將液壓噴霧型發酵箱拆解觀察，探討液壓噴霧型發酵箱之濕度控制原理。

**結果：**

1. 溫度控制系統：有乾熱加熱器、溫度感測器，如圖8所示。
2. 濕度控制系統：有液壓噴霧、濕度感測器（濕度開關），如圖8所示。



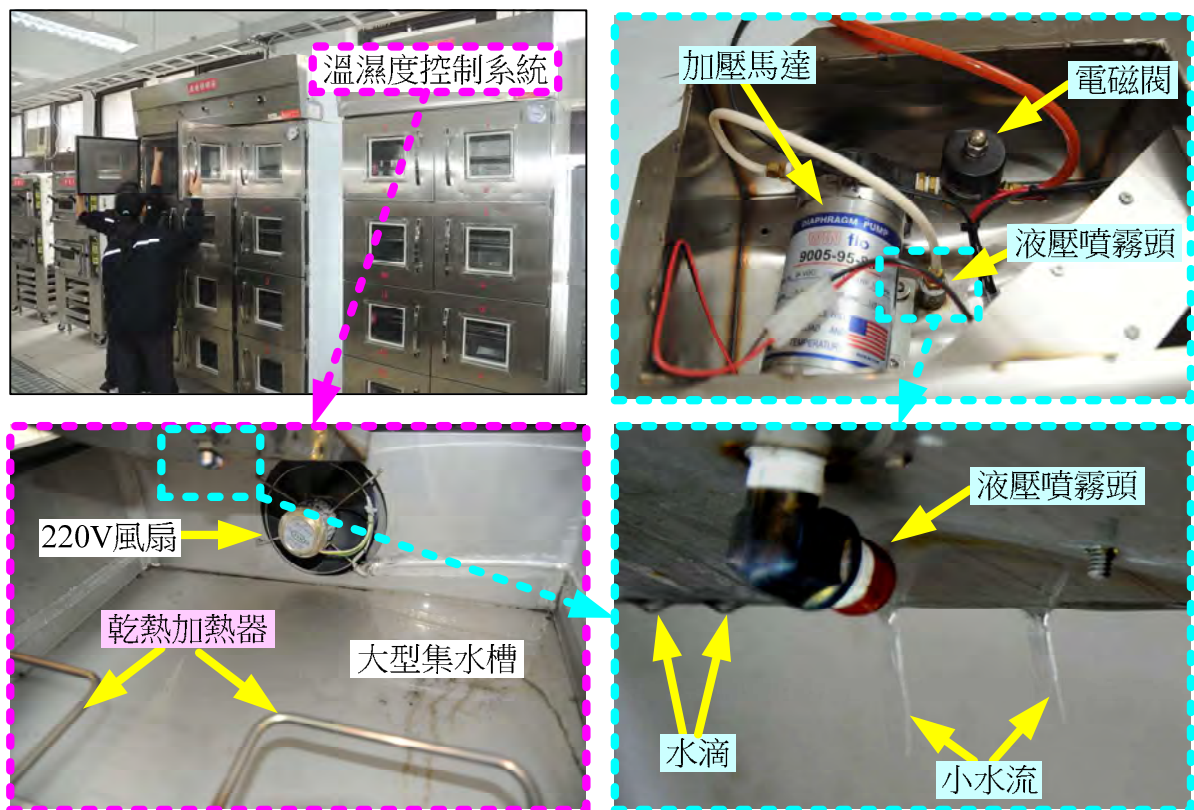


圖 8 液壓噴霧型發酵箱之溫濕度控制構造

#### 討論：

##### 1. 此型發酵箱之優點：

- (1) 溫度、濕度可單獨控制，增濕過程沒有熱水影響溫度之問題。
- (2) 採用液壓噴霧，濕度可迅速上升。
- (3) 當濕度到達設定值時，可立即停止噴霧。

##### 2. 此型發酵箱之缺點：

- (1) 產生霧滴之粒徑較大，約  $25\sim 50\mu\text{m}$ 。（資料來源：翰寧股份有限公司）
- (2) 噴霧過程中會形成許多小水滴（甚至小水流），持續滴落在噴霧頭下方的大型集水槽，溢流水會由排水管排出，造成水資源的浪費。

### 【實驗五】濕度控制精準性之探討

**前言：**測試液壓噴霧型發酵箱濕度控制系統之精準性。

#### 步驟：

1. 將濕度計置放在發酵箱中心區域，溫度設定  $38^{\circ}\text{C}$ ；相對濕度設定 85%，啟動發酵箱之電源，開始記錄發酵箱之濕度變化過程。（每分鐘記錄一次，實驗三重複）
2. 以電腦讀取相對濕度之數值，並代入校正方程式修正之。

#### 結果：

1. 液壓噴霧型發酵箱相對濕度（已校正）之變化，如圖 9 所示。

2. 由圖 9 顯示，相對濕度可迅速上升，但相對濕度仍然過高。

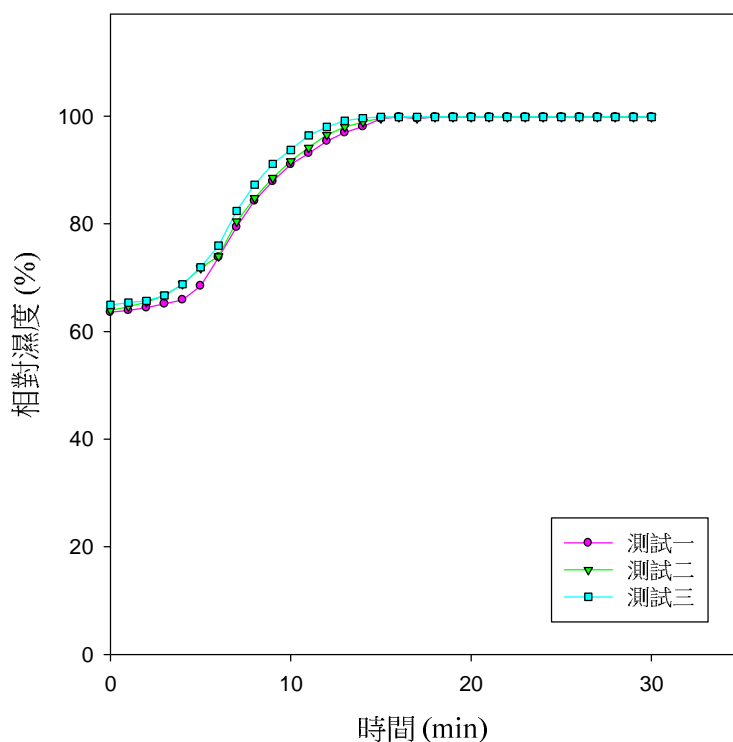


圖 9 液壓噴霧型發酵箱之濕度變化

**討論：**

1. 此型發酵箱之相對濕度可迅速上升，濕度到達設定值時，確實可立即停止噴霧。但是相對濕度仍繼續上升，最後還是產生結露現象。
2. 推論濕度仍繼續上升之原因：
  - (1) 此型發酵箱之霧滴生成量多，風扇排氣量大，所以濕度上升速率迅速，但濕度開關（毛髮式）之感測元件靈敏度不足，發酵箱相對濕度之「實際值」遙遙領先濕度開關之「偵測值」，所以濕度開關到達「設定值」啟動時，實際相對濕度早已經過高了。
  - (2) 噴霧頭下方的水槽面積過大，經熱風吹拂慢慢蒸發產生水蒸氣。

各型發酵箱水槽面積之比較：

發酵箱	第二代	第三代	噴霧型
水槽面積 (cm <sup>2</sup> )	938	322	7595

- (3) 產生霧滴（液態）之粒徑較大，未完全蒸發為水蒸氣（氣態），霧滴附著在發酵箱內壁，再經熱風吹拂陸續蒸發產生水蒸氣。

## 超音波霧化應用之探討

液壓噴霧型發酵箱仍然未解決濕度過高之問題，我們得尋求其他更佳之增濕方式。

### 【實驗六】超音波霧化可行性之探討

**前言：**我們想探討以「超音波霧化」增濕之可行性。

**步驟：**

1. 分別測試 A、B、C 三種型式超音波霧化器之霧化效果。
2. 以濕度計測試水槽上方 30cm 處相對濕度之變化情形。
3. 使用瓦時計測定超音波霧化器（2.5MHz）之耗電功率。

**結果：**

1. 三種超音波霧化器（A、B、C 型）皆可正常造霧。但 A 型霧化器使用幾分鐘後即毀損，如圖 10 所示。而 B 型霧化器使用幾次後，因操作不慎（無水狀態下通電啟動）也造成過熱毀損。
2. 水槽上方 30cm 處之相對濕度逐漸上升。
3. 超音波霧化器之耗電功率約 21.3~21.7W。



圖 10 超音波霧化器之測試

**討論：**

1. 詢問霧化器供應商（惠柏國際有限公司）得知，A 型超音波霧化器必須加裝風扇氣冷式散熱，否則易因溫度過高導致電阻燒毀，但加裝風扇就會增加電能消耗，故本研究不採用。
2. 因 B 型超音波霧化器是以水冷式散熱，必須置入水面下運作，若不慎在無水狀態下運作，也會造成霧化器毀損，故本研究也不採用。

- 而 C 型超音波霧化器與 B 型類似，但額外增加無水自動斷電裝置，若是水量不足就會自動斷電，較不易發生過熱毀損現象，故本研究決定採用 C 型霧化器。
- 超音波霧化之優勢是霧滴粒徑微小（霧滴粒徑約  $3\mu\text{m}$ ，資料來源：惠柏國際有限公司）、省水、省電。因此，利用超音波霧化來增濕是可行的。

### 【實驗七】風速對增濕速率之影響

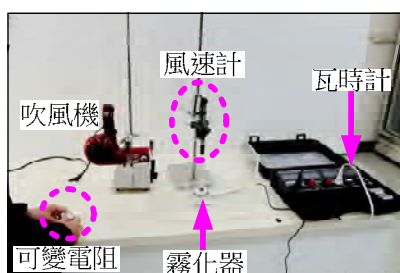
**前言：**由【實驗六】發現超音波霧化產生之霧氣會累積在水槽上方，我們必須外加風扇將霧氣吹出。

**步驟：**

- 以壓克力為材料，自製超音波霧化增濕水槽。



- 將吹風機架設在自製壓克力霧化水槽一端，將水槽置於第二代發酵箱（未開電源）右下方，濕度計置於左上方，量測相對濕度上升至 85% 之時間（當作濕度上升速率之量化指標）。
- 以吹風機串聯可變電阻，調整不同電阻（自訂刻度 1~7），使吹風機產生不同風量（設定冷風）。
- 在固定距離（吹風機口至霧化器正上方）下，調整可變電阻（刻度 1~7），以「風速計」測定吹風機產生之風速；以「瓦時計」測定吹風機之耗電功率。



**結果：**

- 當可變電阻刻度 1→2，相對濕度上升至 85% 之時間明顯縮短；刻度大於 2 之後，時間無明顯差異。如圖 11 所示。
- 當可變電阻刻度遞增，風速隨之遞增，並呈現明顯的線性關係，如圖 12 所示。
- 當可變電阻刻度遞增，耗電功率隨之遞增，並呈現明顯的線性關係，如圖 13 所示。

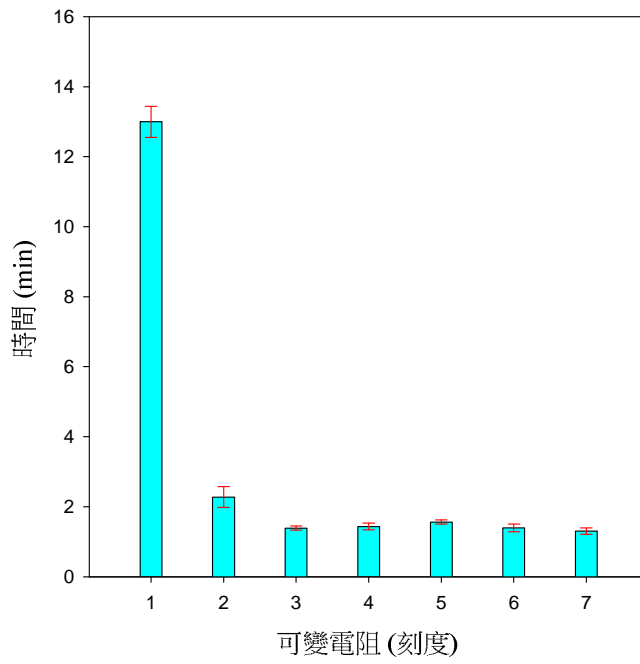


圖 11 可變電阻刻度與相對濕度上升至 85%時間之關係

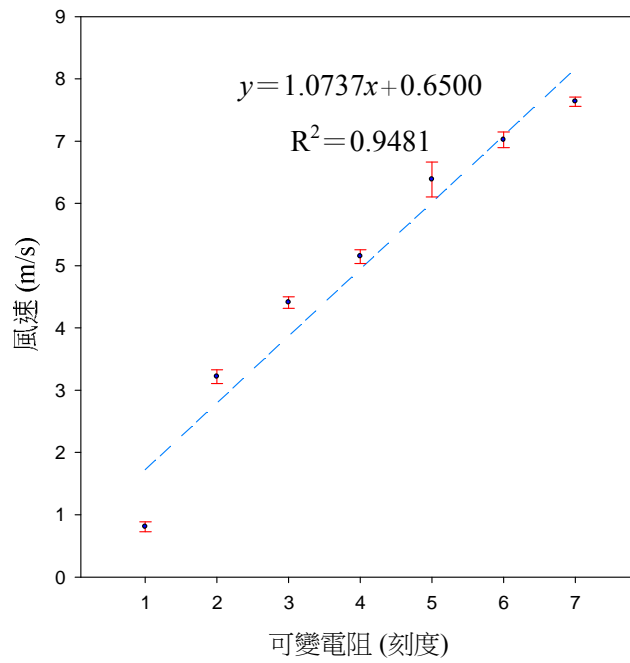


圖 12 可變電阻刻度與風速之關係



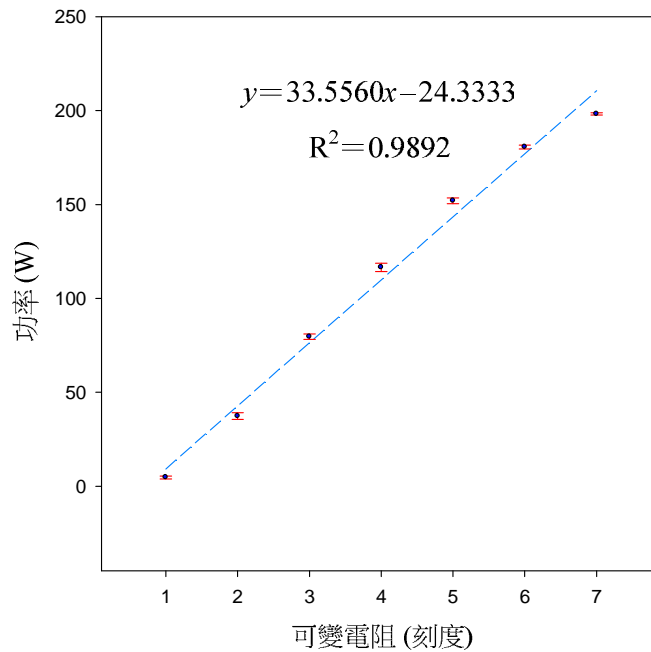
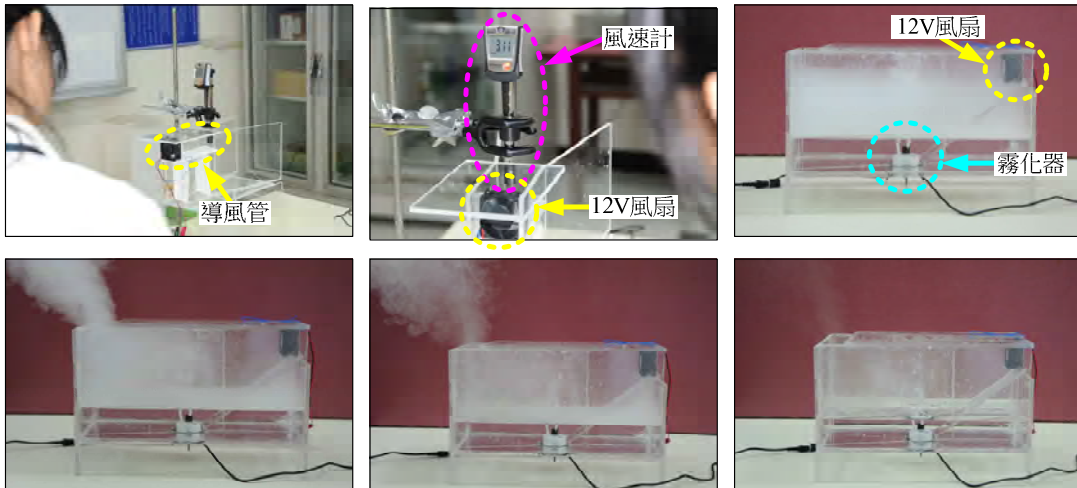


圖 13 可變電阻刻度與耗電功率之關係

**討論：**

1. 風扇之風速約 3m/s 是較佳條件，大於 3m/s 對於濕度上升速率並沒有明顯助益，反而耗電功率不斷遞增。
2. 我們初步選擇 12V，4cm×4cm 風扇進行測試，測得風速約 0.8~1.7m/s，風速並未達到 3m/s。但此風扇之耗電功率僅 5.5~5.6W。
3. 經過討論後，增加導風管設計，預期集中風力可增加風速，經實驗測得風速約 2.8~3.1m/s。因此考量風速、功率、體積等因素，本研究決定採用此 12V 風扇進行實驗。



**【實驗八】液面高度對增濕速率之影響**

**前言：**由【實驗六】發現霧化水槽液面高度，似乎會影響起霧量，我們有必要探討霧化水槽液面高度之最佳條件。

**步驟：**

1. 利用游標卡尺測量標示霧化水槽液面高度（由水槽底面起）。
2. 將起霧水槽置於第二代發酵箱（未開電源）右下方，濕度計置於左上方，量測相對濕度上升至 85% 之時間（當成起霧量之量化指標）。

**結果：**霧化水槽液面高度 3~5cm 相對濕度上升至 85% 之時間明顯較短；液面高度若再增加，相對濕度上升時間則變長，如圖 14 所示。

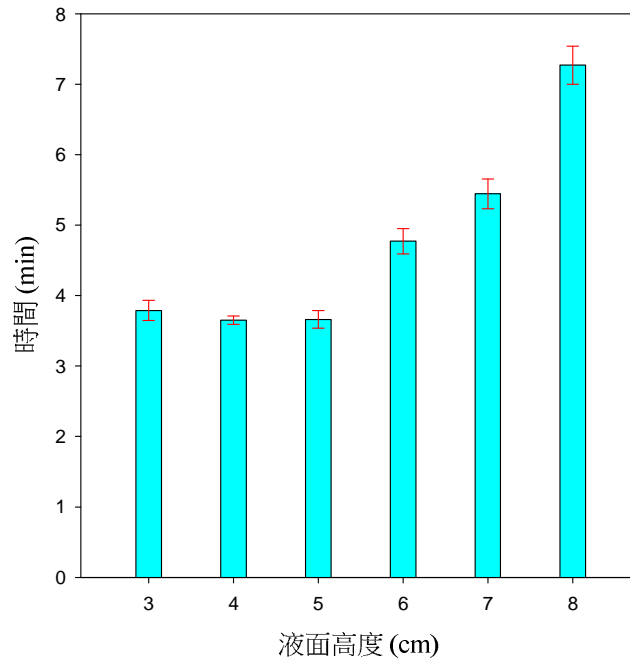


圖 14 液面高度與濕度上升時間之關係

**討論：**

1. 液面高度不可太低，否則霧化過程中液面持續下降時，會造成無水自動斷電，故本實驗最低液面高度為 3cm。
2. 液面高度最佳範圍約 3~5cm，後續研究之霧化水槽液面高度，依據此實驗結果設定為 3~5cm。

## 【實驗九】濕度控制系統之設計組裝

**前言：**自行設計組裝超音波霧化型濕度控制系統，預期可實際應用在各類型之發酵箱上。

**步驟：**

1. 自行設計電路圖，並組裝成「超音波霧化型濕度控制系統」，應用此濕度控制系統之發酵箱，我們自行簡稱為「改良型」發酵箱。
2. 保留原有溫度控制系統，分別套用超音波霧化型濕度控制系統在第二代、第三代、噴霧型發酵箱上進行測試。（第一、二代發酵箱構造類似，僅以第二代進行測試）

結果：

1. 自行設計電路圖，如圖 15 所示。

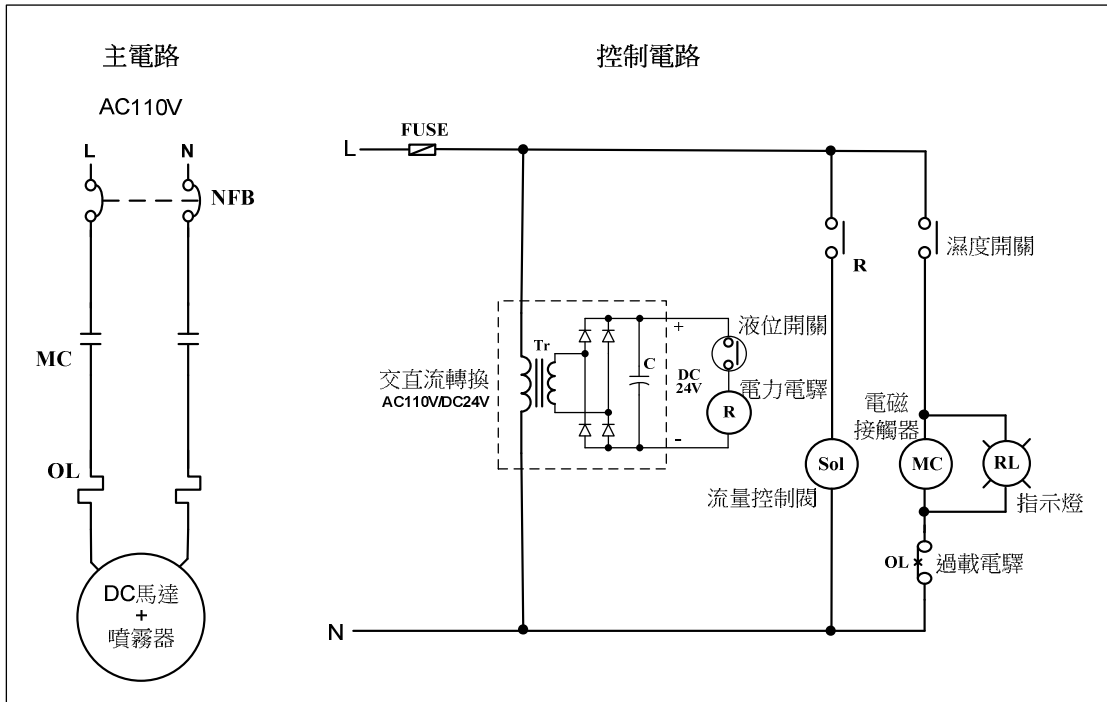


圖 15 超音波霧化型濕度控制系統電路圖

2. 組裝完成之超音波霧化型濕度控制系統，在實驗室測試正常，如圖 16 所示。

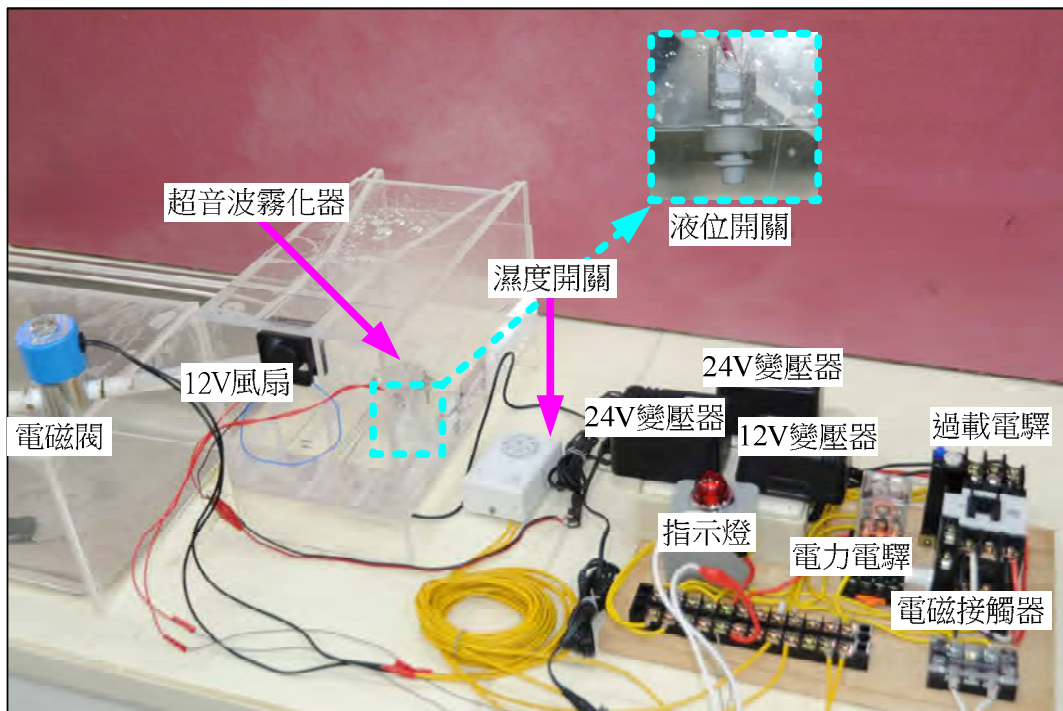


圖 16 超音波霧化型濕度控制系統

3. 將超音波霧化型濕度控制系統安裝在第二代、第三代、噴霧型發酵箱上，皆運作正常，如圖 17、圖 18、圖 19 所示。

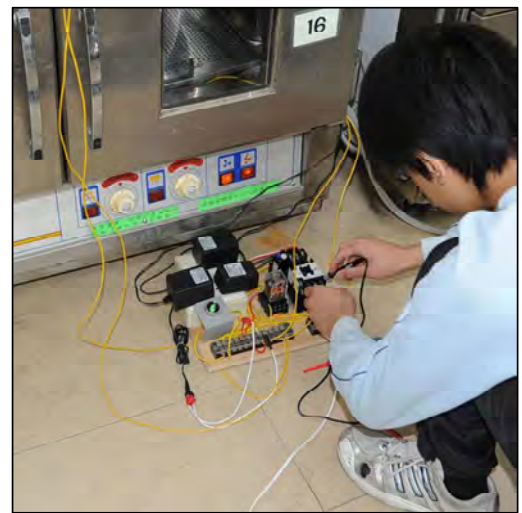
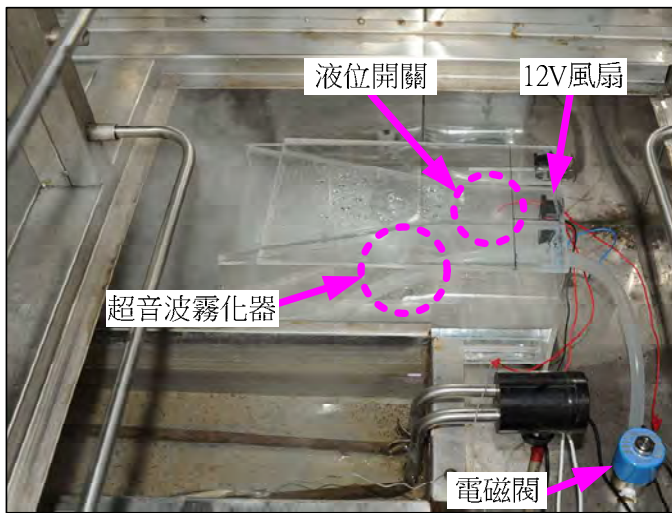


圖 17 超音波霧化型濕度控制系統安裝在第二代發酵箱

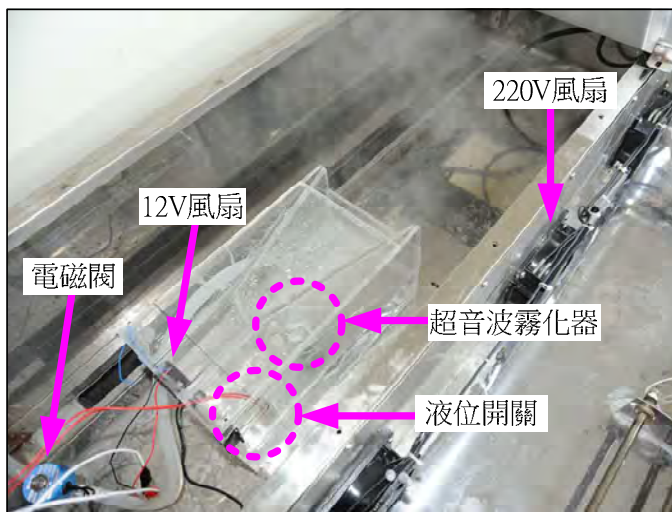


圖 18 超音波霧化型濕度控制系統安裝在第三代發酵箱

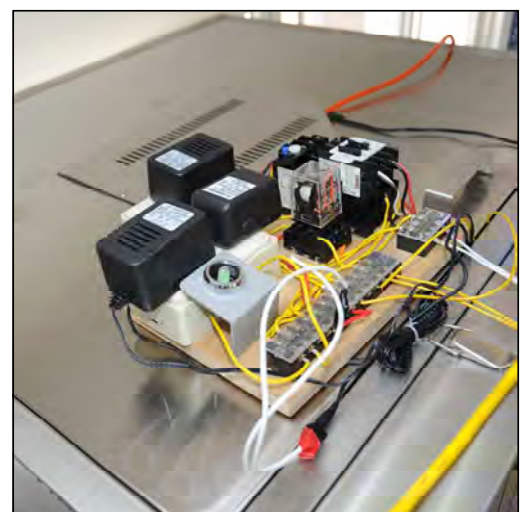
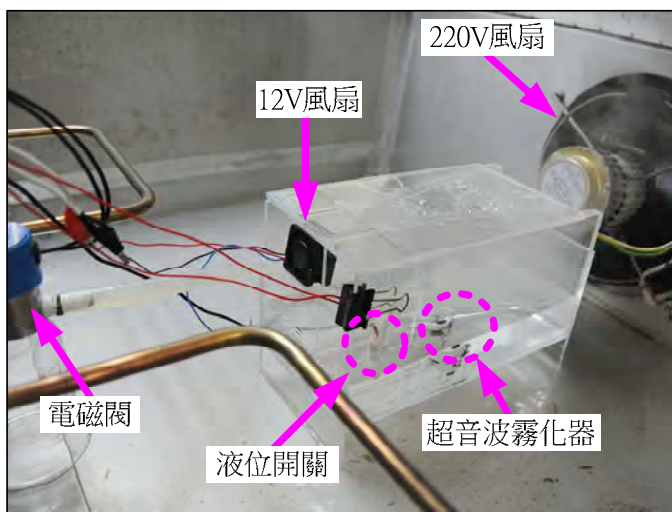


圖 19 超音波霧化型濕度控制系統安裝在噴霧型發酵箱

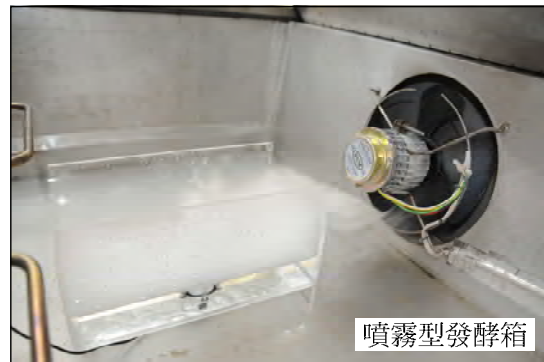
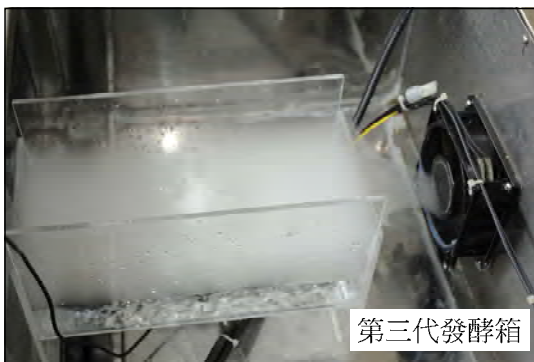


討論：

1. 超音波霧化型濕度控制系統應用在各類型之發酵箱上，預期可發揮效益如下表所示：

發酵箱	主要缺點	預期效益
第一代 第二代	1. 濕度上升緩慢（熱水蒸氣） 2. 無濕度感測器（不可立即停止增濕） 3. 耗電功率較高（熱水加熱器）	1. 濕度上升迅速（超音波霧化） 2. 具濕度感測器（可立即停止增濕） 3. 耗電功率較低（超音波霧化器）
第三代	1. 濕度上升緩慢（熱水蒸氣） 2. 具濕度感測器（不可立即停止增濕） 3. 耗電功率較高（熱水加熱器）	
噴霧型	1. 液壓噴霧耗水量高（霧滴粒徑較大） 2. 耗電功率高中等（加壓馬達）	

2. 若將超音波霧化型濕度控制系統之 12V 小風扇及導流板移除，增濕水槽可簡化如下圖，利用發酵箱原有 220V 風扇，霧氣仍可正式傳送。未來若針對特定類型發酵箱之特性，考量材質、外形、大小等因素，此濕度控制系統之效益應該會更顯著。



## 超音波霧化型發酵箱之測試

自製的超音波霧化型濕度控制系統，到底改良成效如何？必須在各類型之發酵箱上進行實測，才能知道其實用性。

### 【實驗十】濕度控制精準性之實測

前言：實際測試超音波霧化型濕度控制系統之精準性，是否優於各類型發酵箱？

步驟：

1. 將超音波霧化型濕度控制系統安裝於第三代發酵箱，取代原有濕度控制系統。
2. 將濕度計置放在發酵箱中心區域，溫度設定 38°C；相對濕度設定 85%，啟動發酵箱之電源，開始記錄發酵箱之濕度變化過程。（每分鐘記錄一次，實驗三重複）
2. 以電腦讀取相對濕度之數值，並代入校正方程式修正之。

結果：



1. 應用超音波霧化型濕度控制系統之發酵箱，其相對濕度之變化，如圖 20 所示。
2. 此改良型相對濕度可迅速上升，並可維持在 85%附近波動。

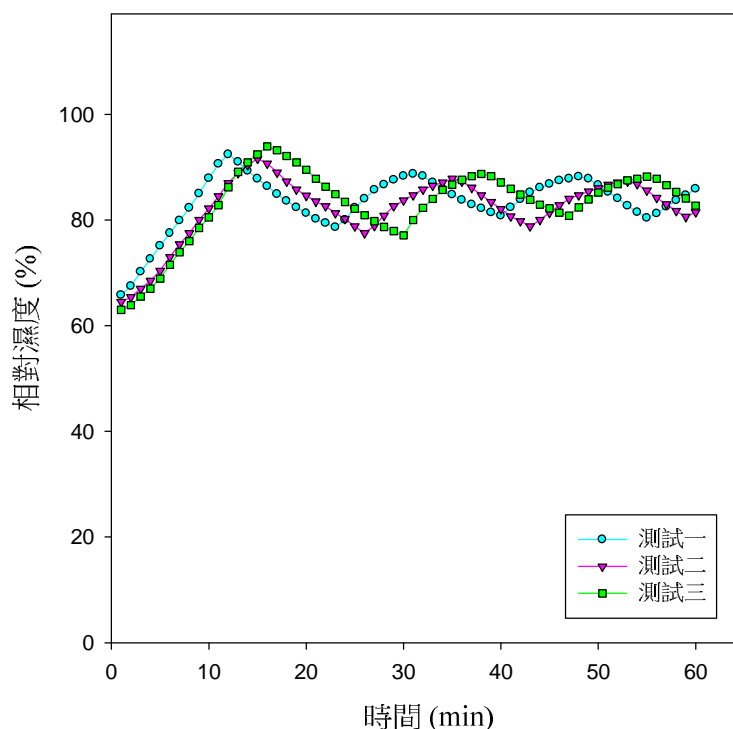


圖 20 液壓噴霧型發酵箱之濕度變化

#### 討論：

1. 自製超音波霧化型濕度控制系統採用之濕度開關(與第三代、噴霧型發酵箱皆同型)，能有效地控制相對濕度，且沒有結露現象產生。
2. 推論可有效控制濕度之原因：
  - (1) 因霧滴生成量適度，濕度上升速率較緩和，發酵箱相對濕度之「實際值」與濕度開關之「偵測值」較接近，故可有效地控制相對濕度。
  - (2) 產生霧滴(液態)之粒徑較小，較易蒸發為水蒸氣(氣態)，霧滴附著在發酵箱內壁之情形較不易發生。

### 【實驗十一】耗水量與耗電功率之實測

**前言：**自製的超音波霧化型濕度控制系統之耗水量與耗電功率，預期可低於各類型發酵箱。

#### 步驟：

##### A. 耗水量之實測

1. 分別測定液壓噴霧型與超音波霧化型發酵箱之耗水量。(實驗三重複)
  - (1) 液壓噴霧型發酵箱啟動噴霧，以水管收集噴霧頭之排水 10 分鐘。
  - (2) 超音波霧化型發酵箱啟動霧化 10 分鐘，以電子稱測量其減少之重量。
2. 將 10 分鐘之耗水量，換算為每小時之耗水量。



## B. 耗電功率之實測

1. 切換各類型發酵箱耗電元件之運作。
2. 分別以瓦時計測定改良前後之耗電功率。

**結果：**

1. 由圖 21 顯示，改良型之耗水量明顯低於噴霧型。

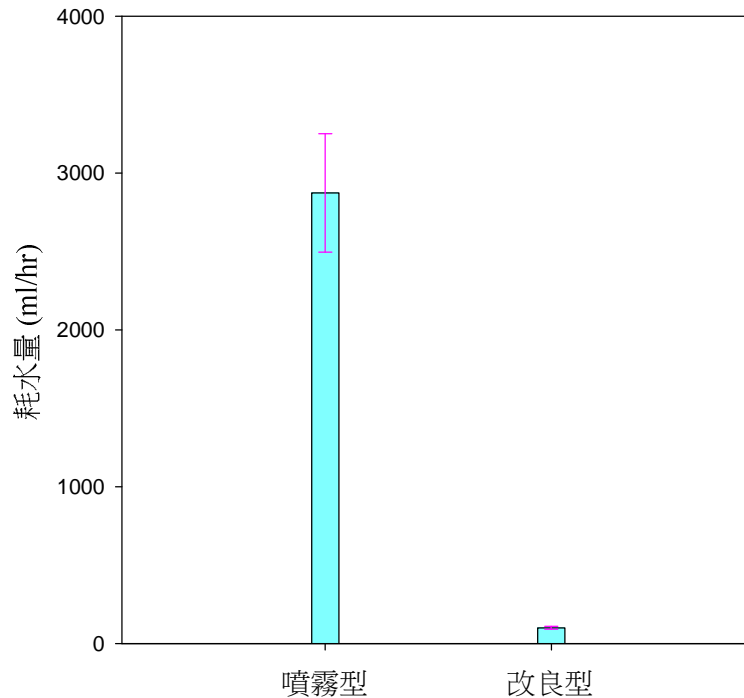


圖 21 噴霧型與改良型耗水量之比較

2. 由表 2、圖 22 顯示，各類型發酵箱改良後之耗電功率皆低於改良前。

表 2 各類型發酵箱改良前後之耗電功率之比較

發酵箱	耗電功率(W)						合計	
	加熱器	霧化器	220V 風扇	12V 風扇	電磁閥	加壓馬達		
第二代	改良前	1133.0		27.0			1160.0	
	改良後		21.4	27.0	5.6	8.5	62.5	
第三代	改良前	1079.0		47.1			1126.1	
	改良後		21.4	47.1	5.6	8.5	82.6	
噴霧型	改良前			102.6		10.7	27.1	140.4
	改良後		21.4	102.6		8.5		132.5

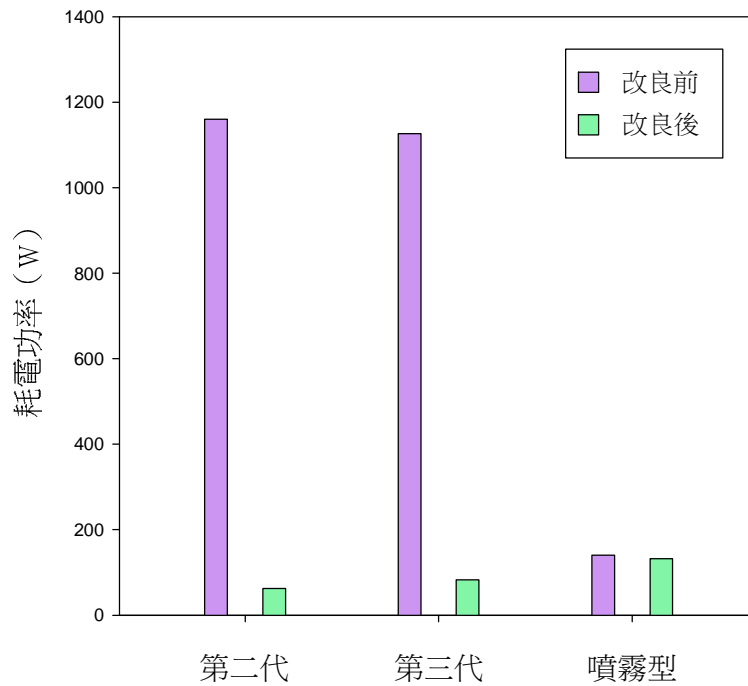
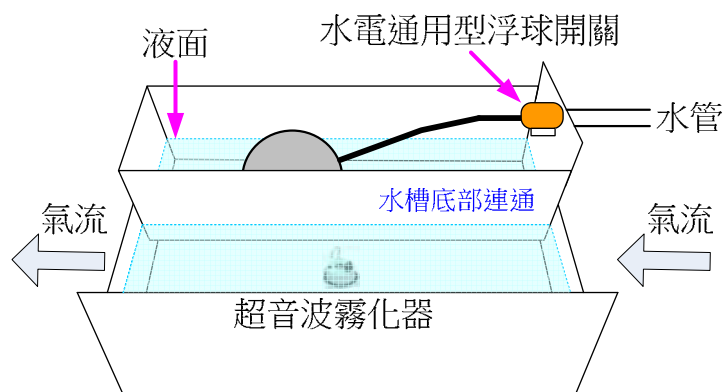
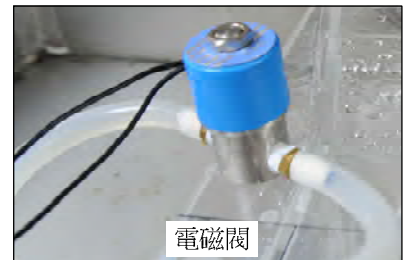
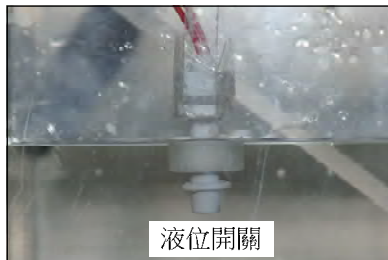


圖 22 各類型發酵箱改良前後耗電功率之比較

**討論：**

1. 雖然改良式濕度控制系統使用相同的超音波霧化器，但是各類型發酵箱上原本之風扇耗電功率：第二代 < 第三代 < 噴霧型；所以改良後之耗電功率不同。
2. 若針對各類型發酵箱之實際狀況，設計大小適度的增濕水槽（如下圖），液位控制可改用水電通用型浮球開關，取代小型液位開關及電磁閥，不僅節省硬體成本，更可降低耗電功率（以瓦時計測得電磁閥之耗電功率約 8.5W）。



增濕水槽之構想圖

## 【實驗十二】麵包製作之實測

**前言**：利用超音波霧化型濕度控制系統之發酵箱，實際進行麵包製作，驗收改良成果。

**步驟**：

1. 以第三代發酵箱（現有 2 台）進行麵包製作之實測（其中 1 台發酵箱，安裝超音波霧化型濕度控制系統；簡稱為「改良型」）。
2. 麵包出爐後，進行拍攝及「嗜好評分品評」<sup>(10)</sup>（項目：外觀、風味、咬感、整體感）。

**結果**：

1. 由圖 23 顯示，使用改良型發酵箱製作之麵包，其「嗜好評分品評」結果，皆優於第三代發酵箱製作之麵包。
2. 由圖 24 顯示，使用改良型發酵箱製作之麵包，其麵糰表面、麵包底部沒有沾黏現象；側面平整挺立；表皮平整光滑。使用第三代發酵箱製作之麵包，則反之。

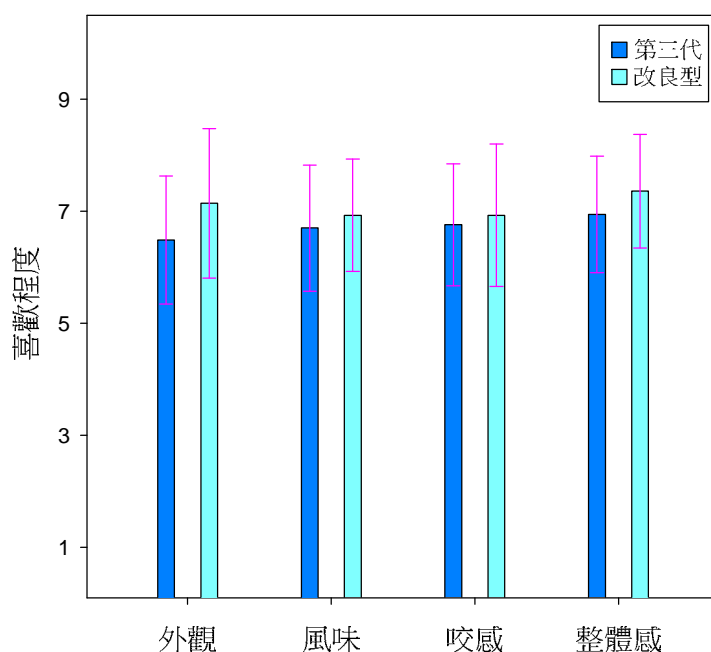


圖 23 發酵箱改良前後麵包品評之結果

**討論**：

1. 由麵糰發酵的相關資料<sup>(4)(7)(8)(12)</sup>得知最後發酵之相對濕度太高，水滴會凝結在麵糰表面，造成麵包表皮韌性大，且多泡易碎裂，麵包扁平不挺。本實驗不僅驗證此現象，更能有效解決相對濕度太高的問題。
2. 由「嗜好評分品評」結果顯示，消費者對於改良型發酵箱製作之麵包，其喜好程度是優於改良前。











第三代發酵箱	改良型發酵箱
	
產生結露現象	沒有結露現象
	
麵糰會沾黏	麵糰不沾黏
	
底部出現沾黏	底部不會沾黏
	
側面皺褶不挺	側面平整挺立
	
表皮多泡易碎裂	表皮較平整光滑

圖 24 發酵箱改良前後麵糰及麵包之差異



## 陸、研究結論

### 一、實驗結論

#### 現有發酵箱之探討

1. 第一、二代發酵箱完全沒有濕度感測器，濕度是仰賴熱水提供，增濕水槽加熱與否，完全依靠溫度感測器來決定。第三代發酵箱雖有濕度感測器，但利用熱水的蒸氣來提昇濕度，平常使用時其增濕速率就很慢。
2. 測試第二、三代發酵箱之濕度變化，結果其相對濕度都過高。
3. 由德國原廠資料與我們實驗結果顯示，此濕度開關之精密度約 $\pm 3\%RH$ ，不至於造成太大的誤差。相對濕度過高之原因，是熱水會持續釋放大量水蒸氣所致。

#### 液壓噴霧型發酵箱之探討

4. 液壓噴霧型發酵箱之優點是濕度上升迅速，當濕度到達設定值時，可立即停止噴霧。缺點是產生霧滴之粒徑較大，噴霧過程中會形成許多小水滴（甚至小水流），造成水資源的浪費。
5. 測試液壓噴霧型發酵箱之濕度變化，結果其相對濕度還是過高。

#### 超音波霧化應用之探討

6. 超音波霧化與液壓噴霧相比，其優勢是霧滴粒徑小、省水、省電。經初步測試，利用超音波霧化來增濕是可行的。
7. 風扇之風速約  $3m/s$  是較佳條件，大於  $3m/s$  對於濕度上升速率並沒有明顯助益，反而耗電功率不斷遞增。以  $12V$  風扇配合導風管設計，測得風速約  $2.8\sim 3.1m/s$ 。考量風速、功率、體積等因素，本研究決定採用  $12V$  風扇。
1. 霧化水槽液面高度最佳範圍約  $3\sim 5cm$ ，相對濕度上升至  $85\%$  之時間明顯較短，後續研究依據此實驗結果設定水位。
9. 自製的超音波霧化型濕度控制系統，在實驗室內測試皆正常運作，我們研擬將此套系統應用在各類型之發酵箱上。

#### 超音波霧化型發酵箱之測試

10. 自製超音波霧化型濕度控制系統採用之濕度開關（與第三代、噴霧型發酵箱皆同型），能有效地控制相對濕度，且沒有結露現象產生。
11. 改良型之耗水量及耗電功率皆低於改良前。
12. 使用改良型發酵箱製作之麵包，其麵糰表面、麵包底部沒有沾黏現象；側面平整挺立；表皮平整光滑。由「嗜好評分品評」結果顯示，消費者對於改良型發酵箱製作之麵包，其喜好程度是優於改良前。

## 二、具體貢獻

1. 超音波霧化型濕度控制系統可有效改善第一、二、三代及噴霧型發酵箱相對濕度過高之缺點。
2. 超音波霧化型濕度控制系統「省水」、「省電」，可達到節能省碳之理想。

發酵箱類型	主要缺點	達成效益
第一、二、三代	1. 濕度上升緩慢 2. 無法立即停止增濕 （濕度嚴重失控→結露） 3. 耗電功率高 （約 1100~1200W）	1. 濕度上升迅速 2. 可立即停止增濕 （無結露） 3. 耗電功率低 （約 60~80W）
噴霧型	1. 液壓噴霧耗水量高 （霧氣粒徑較大） 2. 耗電功率高於超音波霧化	1. 超音波霧化耗水量低 （霧氣粒徑較小） 2. 耗電功率低於噴霧型

## 三、未來展望

1. 本校第一、二代發酵箱已使用多年，雖然早就超過報廢年限，但各類型發酵箱之價格高昂，如下表所示。且發酵箱之不銹鋼材質、結構、外型皆十分良好，考量珍惜資源避免浪費，若花費三千多元添購零組件，應用此套濕度控制系統改良舊型發酵箱，其效能還可超越液壓噴霧型發酵箱。

發酵箱類型	價格（元）	購置時間	備註
第一代	58,500	民國 84 年	耐用年限 5 年
第二代	62,000	民國 87 年	耐用年限 5 年
第三代	73,900	民國 98 年	耐用年限 5 年
噴霧型	85,000	民國 100 年詢價	

2. 此套濕度控制系統，亦可推廣到各校、產業界改良舊型發酵箱，更進一步應用在新型發酵箱之研究開發，發揮省水、省電之效能。

## 四、相關課程之應用

科目名稱	教學單元	作品應用部分
化學	液體	飽和蒸氣壓
穀類加工	麵包製作	相對濕度
基本電學實習 II	低壓電機控制配線及裝置	電路設計組裝

## 柒、參考資料

1. 王俊雄、郭坤鵬（2001）。化學Ⅱ，初版，p46~47。台南市：復文書局。
2. 沈聖智、王郁仁、程榮勝、鄧吉雄、葉建賢、李聰瑞、蔡明杰（2006）。微機電式霧化器之研發與應用。機械工業雜誌，282（9），P46~49。
3. 孫朝棟（1990）。食品工程學，修訂版，p306~315。台北市：藝軒書局。
4. 徐華強、黃登訓、謝健一、顧德材（1990）。實用麵包製作技術，九版，p321~328，p335~339。台北縣：中華穀類研究所。
5. 國立台灣大學化學系普化實驗教學示範網站。溫度計之校正及可溶性物質分子量之測定。（<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/~genchem99/lab-demo.html>）
6. 陳加忠、曹之祖。相對溼度計標準校正裝置之製作試驗。中華農業研究，41（4），p371~381。
7. 陳在旁、莊榮輝、張金祺、蔡英敏、陳坤地、陳麗瑄（2008）。烘焙食品理論與實務，三版，p84~87。台北市：合慶書局。
8. 陳惠添、劉發勇（2008）。穀類加工，初版，p194~203。台南市：復文書局。
9. 陸慈宏（2003）。相對溼度計校正與量測不確定度之研究，p3，p13。國立中興大學生物產業機電研究所碩士論文。
10. 彭秋妹、王家仁（1992）。食品官能簡查手冊，p1~14。新竹市：食品工業發展研究所。
11. 曾琳祥（1997）。發酵箱溫濕度控制。「食品新興製造系統整合及關鍵技術研發(1/4)」計畫成果可移轉項目。（<http://www.firdi.org.tw/original/tranitem/tran2-3.htm>）
12. 黃明利、劉美琴（2005）。實用烘焙食品，三版，p59~61。台南市：復文書局。
13. 黃錦華、郭塗註（2009）。基本電學實習Ⅱ，初版，p184~202；p214~215；p300~305。台北市：華興文化事業有限公司。
14. 蘇春熺。運用超音波造霧與慣性衝擊系統進行粒徑篩選之研究。產學合作暨成果發表專刊，p1~8。國立台北科技大學。

## 【評語】 091401

1. 實驗結果深具實用價值。
2. 能用正確的科學方法統計分析結果。
3. 能整合跨領域知識充份表達作品欲達成之目的。
4. 解決問題之實驗設計及方法合理並能按步完成。
5. 團隊表達能力佳。
6. 實驗記錄完整詳實。