

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

最佳(鄉土)教材獎

080116

免電冰箱-汽化熱的研究

學校名稱：苗栗縣苑裡鎮客庄國民小學

作者：  小六 柯懿珊  小六 柳琬茹  小六 鄭閔丰  小五 許藝薰	指導老師：  周珮真  鄭宏國
-------------------------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：汽化熱、保鮮、節能

## 摘要

一則「四年零電費」的新聞引起我們對免電冰箱的好奇，透過探討水、組成材質、盆外環境等因素與盆內溫度的關係，了解(1)水的汽化熱是免電冰箱降溫的主因，但水太多或太少，降溫效果反而不好(2)水溫並不影響最後的降溫效果(3)保水性佳且達到最大含水量的填充物有利於降溫(4)內盆材質的差異未有顯著影響(5)外盆材質具有孔隙降溫效果較佳(6)使用的液體避免含有顆粒雜質，以酒精最佳、純水次之，考量成本，建議使用純水(7)高溫度、低濕度、通風及較大的空氣接觸面積有利於降溫(8)照射太陽不利降溫。「水」有強的氫鍵，汽化熱相當高，應用於免電冰箱有良好的降溫效果，對蔬果保存，具有環保、節能、簡易的實用價值。

## 壹、研究動機

某天在電視上看到一則新聞—日本神級省電達人「四年零電費」，新聞畫面裡介紹一省電妙招「免用電冰箱」，將兩個大小不同的花盆重疊後，在兩者之間填滿碎石，加入水後有保冷的效果！怪了，冰箱怎麼能不用電？我們覺得好奇，因此想進一步探討。經由上網查詢資料，相關研究相當缺乏，因此我們決定[研究免電冰箱的降溫原理及降溫條件](#)。

免電冰箱真的可以不需要用電就能降溫？它的原理是什麼？什麼樣的條件能達到最好的效果？五年級時學習到「熱的傳播」和「保溫的應用」，讓我們知道熱會由高溫傳遞到低溫，以及能達到最好保溫效果的隔熱方法。我們決定以免電冰箱為研究題目，希望能透過實驗，找出免電冰箱的原理，並期望能找出最佳保冷的裝置方式，也期望[在沒有相關設備，如冷氣、保冷袋及沒有電的條件下，創造出一個能降溫保鮮的環境](#)。

## 貳、研究目的

一、探討水與盆內溫度的關係為何？

在溫度、溼度相同的環境下，同體積大小的陶盆及同重量的砂中，依以下條件，觀察陶盆內盆溫度的升降情形及總重量變化。

- (一) 加入不同的水量。
- (二) 加入相同水量但不同溫度的水。

二、探討組成材質的差異與盆內溫度的關係為何？

在溫度、溼度相同的環境下，依以下條件，觀察陶盆內盆溫度的升降情形。

- (一) 同體積大小的陶盆，填入不同材質的填充物。
- (二) 不同材質內盆搭配相同的陶盆外盆。
- (三) 不同材質外盆搭配相同的陶盆內盆，依砂量比例加入水量。
- (四) 加入相同量但不同種類的水溶液。

三、探討盆外環境差異對盆內溫度的關係為何？

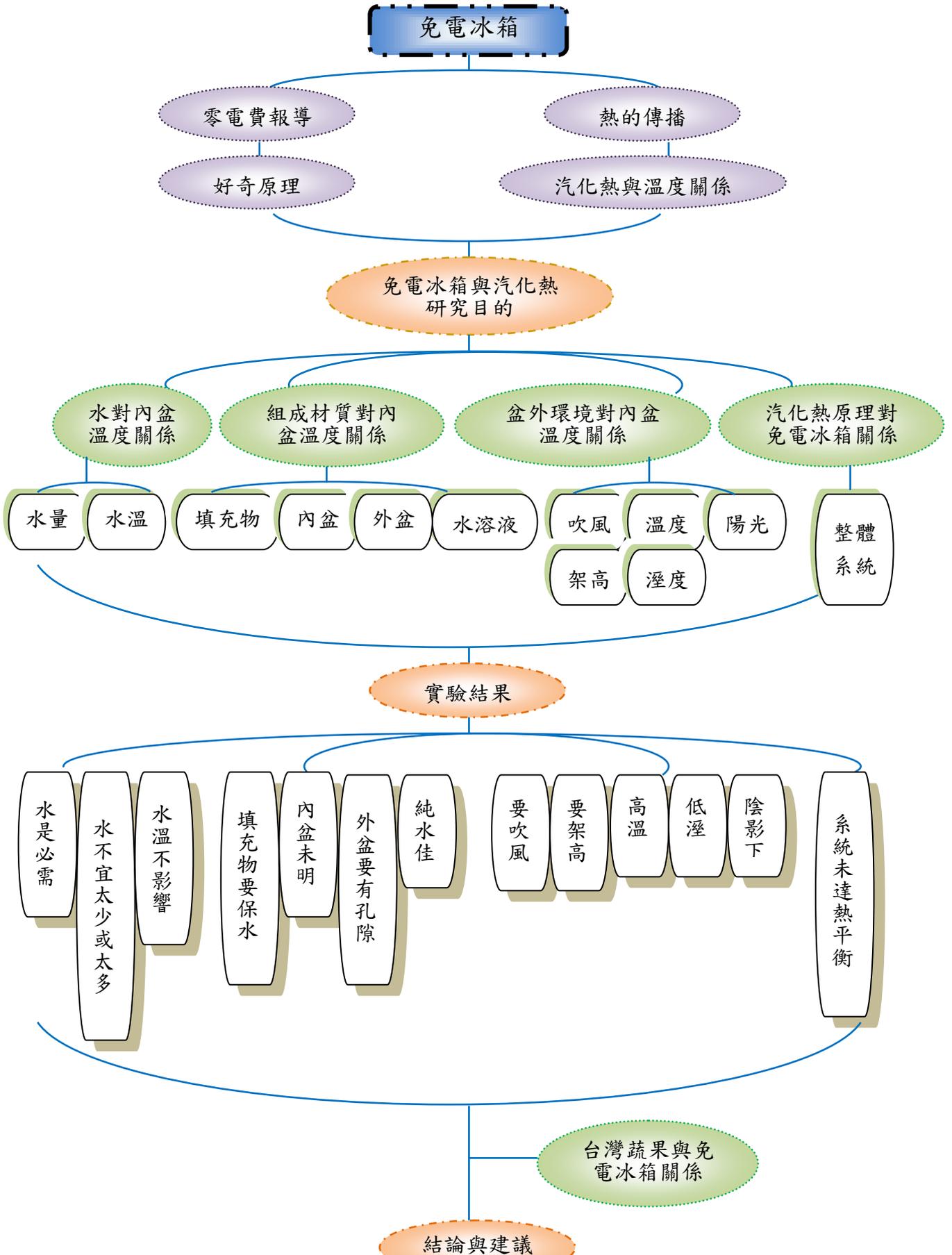
依以下條件，觀察陶盆內盆溫度的升降情形。

- (一) 有無吹風及有無架高的差異，其他條件相同。
- (二) 在不同溫度、濕度的環境下，其他條件相同。
- (三) 戶外陽光照射及陰影下，其他條件相同。

四、參考文獻及網路資料，探討汽化熱相關原理與免電冰箱的關係，並以熱力學角度分析。

五、參考文獻及網路資料，探討台灣蔬果的保鮮溫度及免電冰箱的應用價值。

# 參、研究架構



## 肆、研究設備及器材

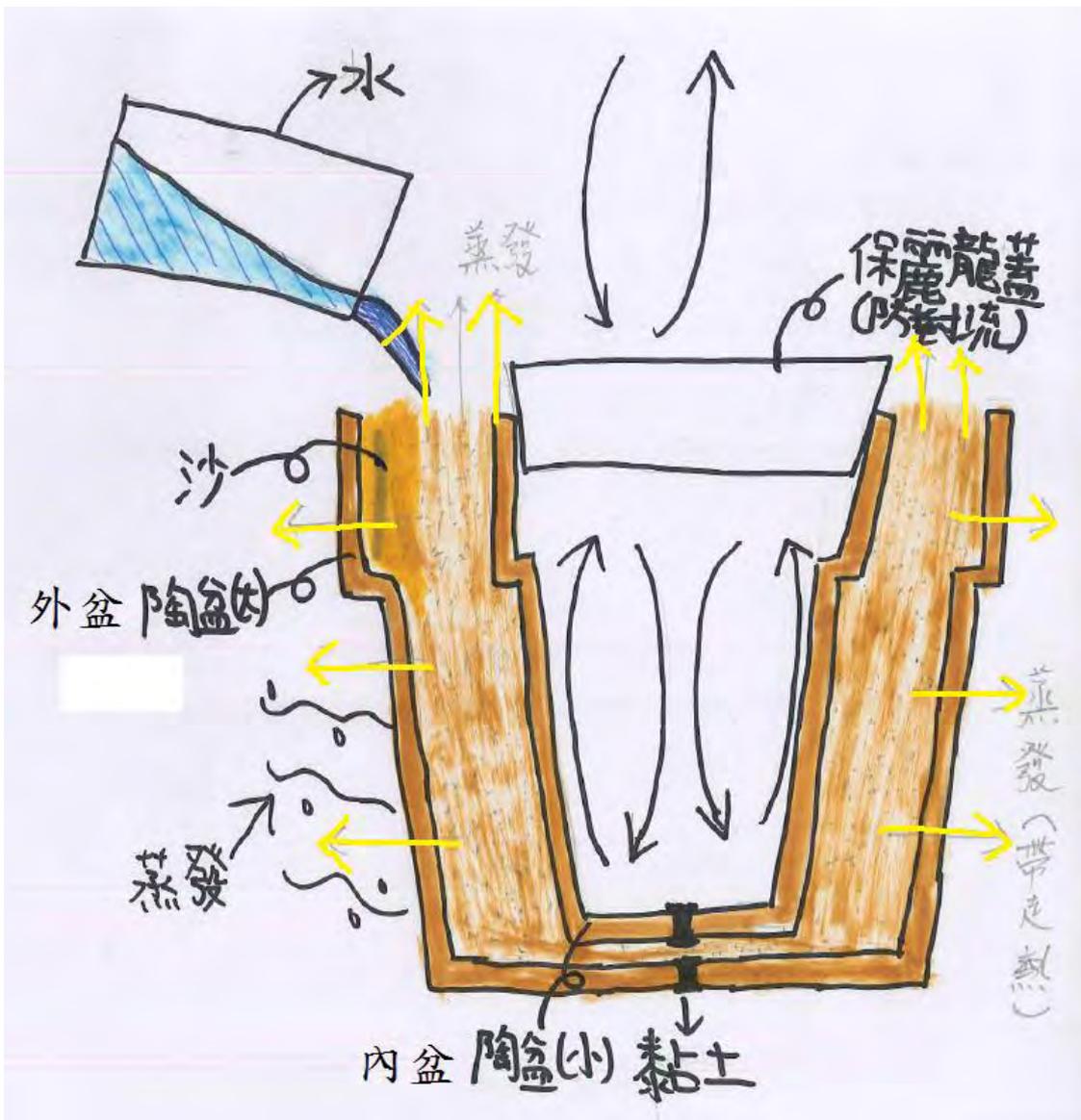
### 一、研究設備：

陶盆、砂、紅外線溫度計、乾溼溫度計、除濕機、保溫燈（鹵素燈）、烤箱、吹風機、黏土  
電子秤、酒精、小蘇打水、汽水、土、吸水布、報紙、碎石、塑膠袋、鐵罐、鋁罐、塑膠盆  
紙箱、量杯、篩子、塑膠盒、托盤、保麗龍板、保麗龍切割器、紙杯、上漆陶盆、鹽、碼表  
三腳架、風扇、玻璃杯、塑膠杯、鹽水、地下水、逆滲透水、簡易風力計、數位溫度計

### 二、實驗環境設計：

- (一) 獨立小房間：使用學校檔案室約 1~2 坪空間，減少不必要的干擾因素。
- (二) 溫度控制：使用保溫燈讓實驗空間維持相對穩定的溫度。
- (三) 濕度控制：使用除濕機讓實驗空間維持相對穩定的濕度。

### 三、自製保冷裝置：免電冰箱



## 伍、研究過程與結果

### 一、研究一：水在免電冰箱中對溫度的影響

想法：從日本省電達人的陶盆保冷裝置發想，在不確定原理之下，我們推測水是陶盆可以降溫的主因，因此我們決定以水為操作變因設計實驗探討水的水量及水溫對盆內溫度的影響。

#### (一) 實驗(一)▶不同水量對盆內溫度的影響

操作變因：水量。

實驗組：水量 100cc、200 cc、300 cc、400 cc、500 cc、600 cc、700 cc、800 cc，計 8 組  
對照組：不加水，進行 1 組實驗。

控制變因：環境溫度約 25°C、水質逆滲透純水、水溫 21°C、溼度約 60%、砂量 2000g、內外盆材質及大小相同。

#### 1. 實驗流程：

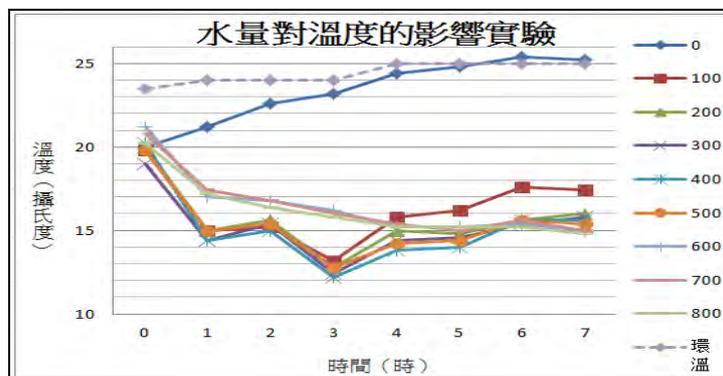
- (1) 將內外盆使用吹風機吹 10 分鐘、於室溫下自然冷卻，確保無多餘水分的影響。
- (2) 將 2000g 乾燥砂平均填入內外盆之間，再分別均勻加入實驗組設計的水量。
- (3) 放置於獨立小房間內，以保溫燈維持溫度約 25°C，以除濕機維持溼度約 60%，並每小時以紅外線溫度計測量紀錄內盆溫度。
- (4) 7 小時後倒出盆間的砂，觀察砂潮濕情形。



圖一 研究一實驗(一)實驗流程圖示

#### 2. 實驗結果：

表一 實驗(一)實驗結果

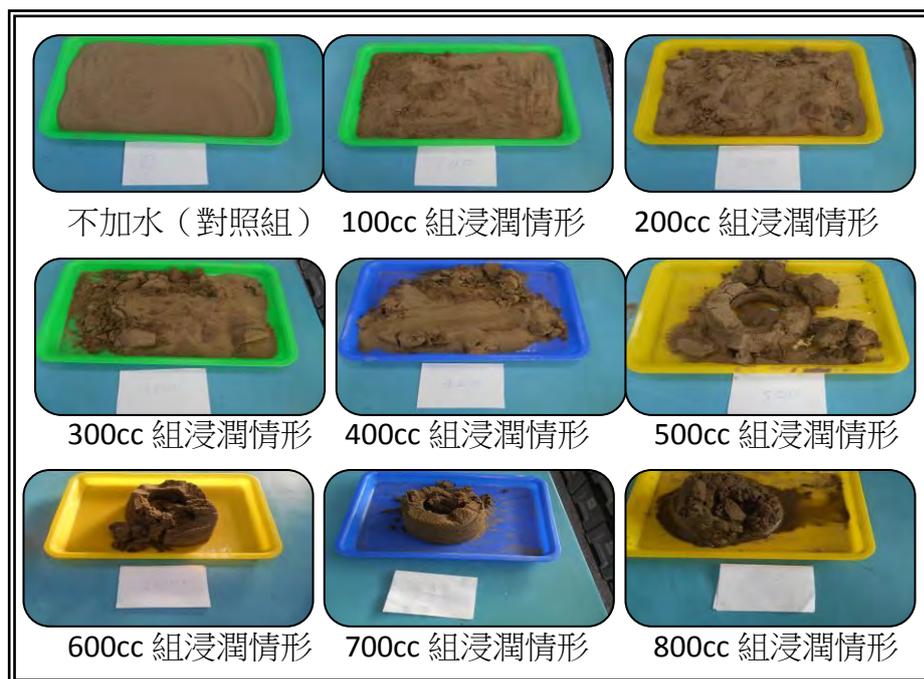


- (1) 除 0 cc 組溫度每小時逐漸升高，趨近環境溫度外，其餘各組皆有降溫。

- (2) 100cc~500cc 各組，在前 3 小時溫度皆有下降的趨勢，但第 3 小時出現觀測到的最低溫後，溫度出現明顯回升的情形，其中 100 cc 組回升情形又更為顯著。
- (3) 600cc~800cc 各組，溫度依時間逐漸降低，並無明顯溫度回升的現象。

3.實驗發現：

- (1) 0 cc組最低溫就是起始溫度 20°C，此溫度與常溫下的陶盆及砂溫度相當，實驗過程中盆內溫度逐漸趨近環境溫度 25°C，過程中完全沒有降溫現象。
- (2) 100 cc~500 cc各組，量測到的最低溫出現在第三小時，之後溫度會稍有回升，至第七小時與環境溫度仍有 7.6~8.6°C 的差距。
- (3) 600~800 cc各組，量測到的最低溫出現在最後一次紀錄的第 7 小時，並無出現溫度回升現象；加水 800 cc時，內盆有浮起現象。
- (4) 實驗後將砂倒出，加水量不同造成砂溼潤的程度不一，100 cc組，砂僅少許溼潤，盆底部乾燥；200 cc組，砂有些許結塊情形，盆底部乾燥；300 cc~400 cc 各組，砂結塊較多，盆色澤變深，但觸摸起來沒有潮濕的感覺；500 cc~800 cc 各組，砂大部分結塊，僅少許會散開，盆色更深，手感溼潤。
- (5) 200cc~500cc 各組的 4 條溫度曲線接近一致；600cc~800cc 各組的 3 條溫度曲線接近一致；100cc 的溫度曲線一開始接近 200~500cc 各組的曲線，但在第 4 小時後溫度升高，走勢往上升高。



圖二 研究一實驗(一)各組實驗後砂浸潤情形圖

4.實驗結果推測：

- (1) 0 cc 的對照組，盆內沒有顯著降溫的情形，因此確認水是盆內降溫的主要因素，經討論及資料蒐集，我們推論水蒸發的汽化熱是導致盆內降溫的主因。
- (2) 100cc~500cc 各組，在第 3 小時後溫度回升，其中 100cc 組回升幅度明顯大於其他組，從圖二觀察，推測是 100cc 組經蒸發後水量不足，影響免電冰箱的降溫

效果，因此對免電冰箱定期加水，以保持足夠水份是必要的。

- (3) 100cc~500cc 各組的低溫比 600cc~800cc 各組來得低，推測水量過多，超過砂的含水量，會使砂石間的孔隙被水填滿，減少接觸空氣的面積，減少蒸發效果。
- (4) 實驗(一)礙於器材數量的因素，實驗分成兩天進行，第一天出現溫度明顯回升的現象，第二天並沒有，推想是因為保溫燈擺放距離遠近的影響，為了釐清這樣的現象，我們決定進行改善實驗：1.添購足夠的盆組，在同一天進行實驗，避免其他不確定因素影響。2.待環境溫度約 25°C 時操作，在不使用保溫燈的情形下，觀察是否有溫度回升的現象。
- (5) 實驗過程中，發現每次量測溫度時，各盆溫度會有 1~2 度間的差異，因此會量測 6 次取出現較多次的度數紀錄。為改善此現象，討論後聯想到課程「熱的傳播」單元中，學到熱會有對流的現象，所以認為內盆的熱對流造成盆內溫度的變動，因此將設計保麗龍蓋子蓋住內盆來進行後續實驗。
- (6) 依照曲線推測，700cc 以上水量過多，100cc 過少，500cc~600cc 可達低溫且濕潤持續較久，因此推測砂的吸水量應在 500cc~600cc 左右，將進行實驗(一)-2 驗證。

## (二) 實驗(一)-1▶ 不同水量對盆內溫度的影響--第二次實驗

### 1. 實驗改進說明：

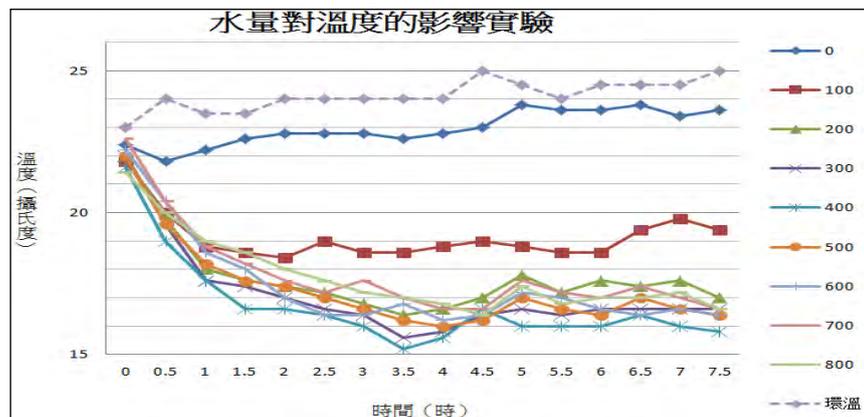
- (1) 添購盆組，讓九組同時進行實驗，降低環境因素影響。
- (2) 待環境溫度約 25°C 時操作，不使用保溫燈，觀察是否有溫度回升現象。
- (3) 使用保麗龍蓋蓋住內盆，降低空氣對流作用的影響。
- (4) 量測實驗前、實驗後的重量，更深入了解各組蒸發作用的情形。
- (5) 觀察紀錄時間縮短至 30 分鐘紀錄一次內盆溫度。



圖三 研究一實驗(一)-1 改善實驗圖示

### 2. 實驗結果：

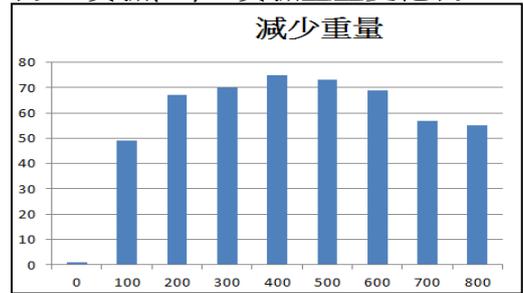
表二 水量對溫度的影響第二次實驗結果



表三 實驗(一)-1 實驗重量變化數據表

水量(ml)	0	100	200	300	400	500	600	700	800
起始重量(g)	3479	3472	3670	3691	3795	3766	3866	4088	4272
最後重量(g)	3478	3423	3603	3621	3720	3693	3797	4031	4217
減少重量(g)	1	49	67	70	75	73	69	57	55

表四 實驗(一)-1 實驗重量變化表



- (1) 0 cc 組幾乎沒有降溫現象，並逐漸趨近室溫，與實驗一結果大致相同。
- (2) 100cc 組在第 1 小時後降溫幅度明顯縮小，維持比室溫低約 6°C 左右。
- (3) 200 cc~600cc 各組，約在第 3.5~4 小時出現最低溫，後續溫度穩定或略有回升，300 cc~600cc 各組大致維持在 17°C 以下，200 cc、700 cc、800 cc 組略高於 17°C。
- (4) 100 cc~800cc 各組皆有重量減少情形，推論是蒸發掉的水重，其中 200 cc~600 cc 各組減少的重量較多，100 cc、700 cc、800 cc 組較少，0 cc 組幾乎沒有減少。

3. 實驗發現與推測：

- (1) 第二次實驗中，九組間溫度曲線走勢的差異性較第一次實驗來得小，推測是因第一次實驗分兩天操作，受到其他因素影響所造成，如溫度、濕度等。
- (2) 第二次實驗並無發生溫度明顯回升的現象，推測保溫燈擺放距離過近是造成第一次實驗 100cc~500cc 組溫度回升現象主因，推論外界熱源會影響盆內溫度。
- (3) 內盆使用保麗龍蓋後，測得的溫度穩定性較好，有利實驗數據的正確性。
- (4) 100 cc、700 cc、800 cc 三組減少重量較少，推論水量過多、過少都不利於水的蒸發，而 200 cc~600cc 組減少重量較多，測得的最低溫也較低。

(三) **實驗(一)-2** 砂的含水量測試

1. 實驗流程：

- (1) 利用烤箱將砂烘乾，確保砂完全乾燥。
- (2) 取 2000g 的乾燥砂泡入 1000cc 的逆滲透水中，浸泡 24 小時。
- (3) 使用濾網過濾多餘水分，測量多餘水分並紀錄，重複 3 次實驗。



圖四 研究一實驗(一)-2 圖示

2. 實驗結果：

表五 2000g 砂的含水量

項目	第一次	第二次	第三次	平均
吸水量	510cc	500 cc	520cc	510 cc

### 3.實驗發現：

- (1) 砂倒入水中時，會有冒泡泡的現象產生，顯示砂間有空隙並含有空氣。
- (2) 2000g 砂吸水的飽和量平均約 510 cc，對照實驗一，600cc 以上各組降溫效果變差且蒸發掉的水量也下降，推論水量太多會造成砂間空隙被水填滿影響蒸發。
- (3) 依據實驗(一)-1、實驗(一)-2 的結果，水量過多或過少都可能造成降溫效果不佳的情況，後續實驗加入的水量以本次實驗結果的平均值 510cc 為依據。

### (四) **實驗(二)**▶ 不同水溫的水對盆內溫度的影響

操作變因：水溫。

實驗組：在盆間加入溫度分別為 2°C、40°C、80°C 的水。

對照組：在盆間加入常溫下的水 17°C。

控制變因：環境溫度約 25~26°C、水質逆滲透純水、水量 510cc、砂量 2000g、溼度約 60%、內外盆材質及大小相同。

#### 1.實驗流程：

- (1) 秤出 2000g 砂，將砂平均填入內外盆之間，再分別加入四組實驗設計水溫的水
- (2) 以保麗龍材質的蓋子塞緊內盆，放置獨立小房間內，以保溫燈控制室溫。
- (3) 每半小時以紅外線溫度計測量內盆溫度。



圖五 研究一實驗(二)圖示

#### 2.實驗結果：

表六 不同水溫對溫度的影響第一次實驗結果



- (1) 2°C組，內盆起始溫度很不穩定，量測到 2.2~14.2°C，溫度一直上升，2~3 小時後漸趨穩定，與環境溫度約有 10~11°C 的降幅。
- (2) 17°C組，溫度變動幅度區間介於 10.6~16°C 之間，最低溫出現在第 0.5 小時。
- (3) 40°C組，起始溫度 28.8°C，之後溫度一直下降，最低溫 14°C 出現在第 2 小時。
- (4) 80°C組，內盆起始溫度很不穩定，量測到 58~32°C，之後溫度一直下降，最低溫出現在第 4 小時。

3.實驗發現：

- (1) 一開始加入的水溫不論溫度高低，經過 2~3 小時後，溫度會有趨近的情形。
- (2) 17°C組最低溫出現在第 0.5 小時；40°C組則出現在第 2 小時；80°C組則出現在第 4 小時，發現加入的水溫越高，出現最低溫的時間越晚。
- (3) 4 條溫度曲線隨著時間走勢漸趨於一致。

4.實驗結果推測：

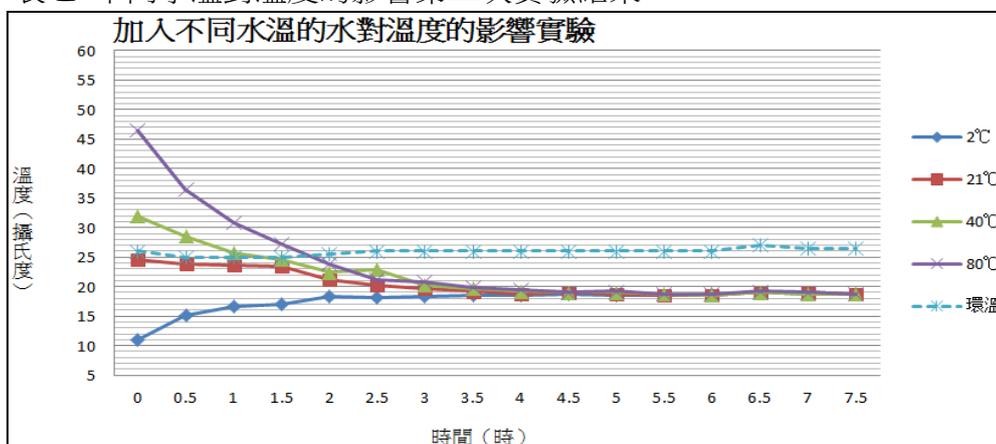
- (1) 溫度差越大，熱傳遞作用會越大。隨著盆溫、水溫及砂的溫度及外在環境會先趨於熱平衡，熱傳遞作用隨著溫差變小後，汽化熱降溫的現象才會明顯。
- (2) 加入不同水溫的水，並不影響最後穩定時的溫度。

(五) **實驗(二)** ▶ 不同水溫的水對盆內溫度的影響-第二次實驗

想法：為了解各盆重量的變化，及不使用保溫燈的差異，因此進行了第二次實驗。

1.實驗結果：

表七 不同水溫對溫度的影響第二次實驗結果



表九 實驗二第二次實驗重量變化表

表八 實驗二第二次實驗重量變化數據表

初始水溫	2°C	21°C	40°C	80°C
減少重量(g)	55	70	73	82



## 2.第二次實驗發現：

- (1) 溫度曲線與第一次實驗結果相似，4 條溫度曲線隨著時間走勢漸趨於一致。
- (2) 80°C 組的降溫幅度最大，實驗減少的水重也最多；2°C 組則是溫度升高，實驗減少的水重最少。

## 3.第二次實驗結果與推測：

- (1) 第二次實驗的溫度曲線與第一次相比較，溫度變動沒有那麼劇烈，推論是保溫燈影響，對比實驗(一)的表一、表二也有相似的情形。
- (2) 雖然水溫不影響最終降溫的情形，但水溫高，蒸發的水比較多，降溫幅度較大。
- (3) 第二次實驗的最低溫相比第一次，高了約 3~4 度，推論原因是第二次實驗時，環境濕度約 80% 高於第一次濕度約 60% 的影響，後續也將針對溫度、濕度進行實驗。
- (4) 依表六、表七推論，假設免電冰箱依當下條件會達到一目標溫度，隨時間軸會呈現曲線分布，因為環境溫度會隨時間變動，所以此目標溫度也會隨時間變動；檢視表六、表七，一開始水溫不同，但隨著時間會逐漸趨同至目標溫度，實驗顯示加入水溫不同並不影響免電冰箱最後的目標溫度。

## 二、研究二：各項材質差異對盆內溫度的影響

想法：在了解水對免電冰箱的影響之後，我們想進一步了解組成免電冰箱的各個部位材質，對盆內溫度的影響情形。

### (一) **實驗(三)**▶ 不同材質填充物對溫度的影響

操作變因：不同材質填充物。

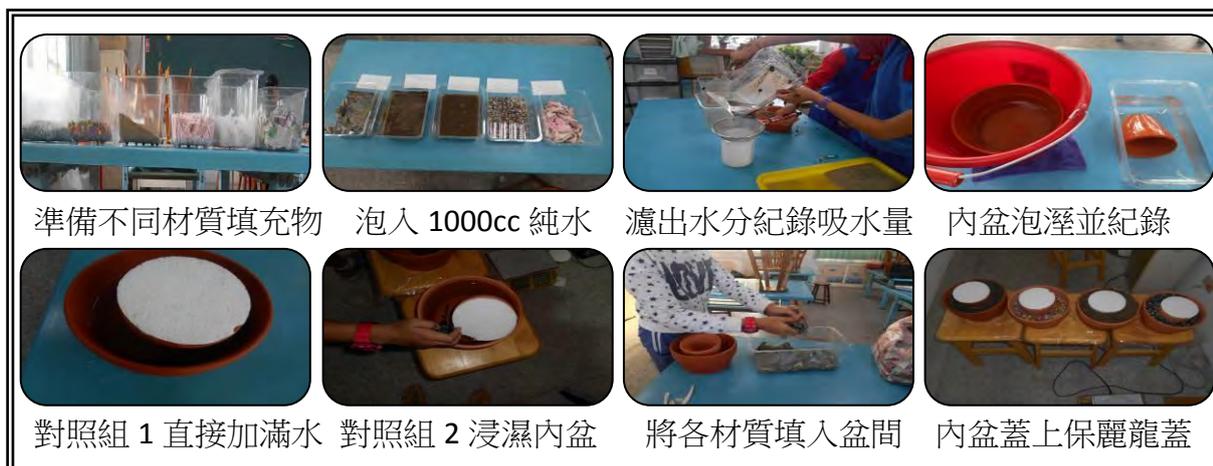
實驗組：以砂、土、吸水布、報紙、碎石、塑膠袋、彩石當填充物，吸飽水後填充盆間。

對照組：(1)直接盆間加滿水，(2)空盆直接泡水無填充物。

控制變因：環境溫度約 25°C、水質逆滲透純水、水溫 21°C、溼度約 70~80%、內外盆材質及大小相同。

#### 1.實驗流程：

- (1) 將內外盆於室溫下自然冷卻陰乾，並秤出能填滿內外盆的填充物重量。
- (2) 將砂、土、吸水布、報紙、碎石、塑膠袋、彩石及內盆泡入 21°C，1000 cc 的逆滲透水中，讓填充物浸潤 10 分鐘後取出並自然濾出多餘水分，紀錄下各材質及內盆吸水量。
- (3) 將各材質平均填入內外盆之間，各材質和內盆都是在吸水量飽和的狀態。
- (4) 對照組兩組：直接於盆間加滿水、與直接在外盆內放入浸濕內盆。
- (5) 放置於獨立小房間內，以保麗龍材質的蓋子塞緊各組內盆。
- (6) 每小時以紅外線溫度計測量內盆溫度。



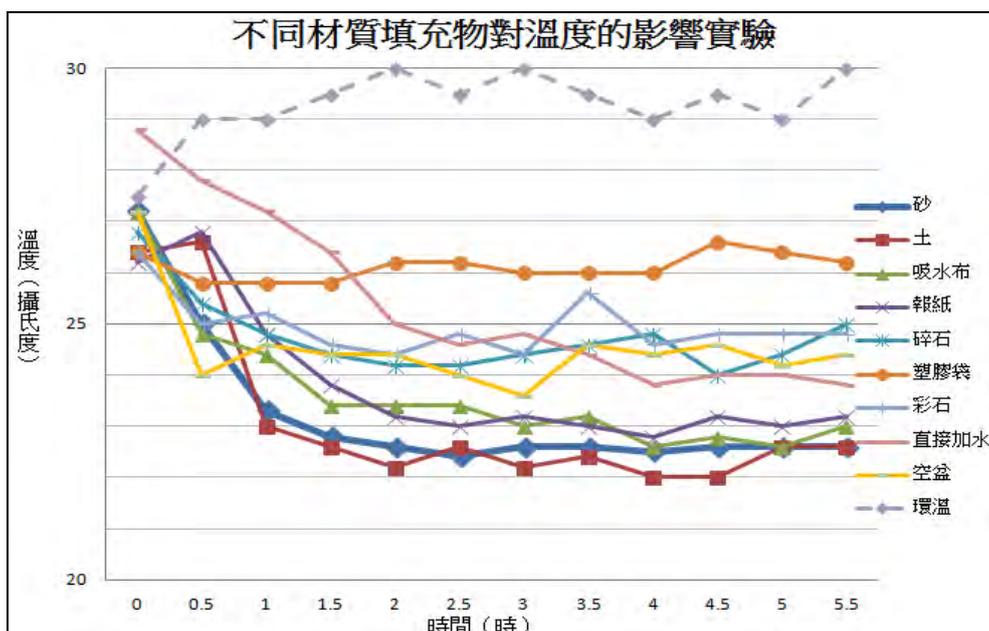
圖六 研究二實驗(三)圖示

2.實驗結果：

表十 不同材質填充物吸水量

材質	砂	土	吸水布	報紙	石	彩石	塑膠袋	內盆
重量 g	2000	1700	141	196.5	2000	1830	43	321
吸水量	510 cc	880 cc	900 cc	500 cc	70 cc	40 cc	30cc	130 cc

表十一 不同材質填充物對溫度的影響實驗結果



- (1) 除塑膠袋組降溫不明顯外，其餘各組溫度皆有下降的情形。
- (2) 砂、土、報紙、空盆各組在 2~3 小時出現最低溫，後續維持穩定或略有回升。
- (3) 吸水布、碎石、彩石、直接加水各組在 3-4 小時出現最低溫。
- (4) 以砂、土、報紙、吸水布各組的降溫幅度較佳，與室溫低約 7~8°C。

3.實驗發現：

- (1) 碎石組、彩石組雖有孔隙，但吸水性較差，雖然在第一小時內也略有降溫，但

後續溫度便沒有再明顯往下，效果明顯較差。

- (2) 塑膠袋組幾乎沒有降溫，浸濕空盆組則僅在 0.5 小時內有明顯降溫，此結果和實驗(一)對照，發現兩組並沒有趨近環境溫度的現象，推測仍有一些蒸發作用。
- (3) 直接加水組，初始水溫較高，第 4 小時出現最低溫，但整體降溫效果並不突出。
- (4) 砂、土、吸水布、報紙各組是降溫效果較好的填充物，吸水量也相對較多。
- (5) 內盆浸泡於水中時會有泡泡產生，顯示陶盆具有孔隙。

#### 4.實驗結果推測：

- (1) 吸水布、土、砂、報紙都有一定的吸水能力，能保持內盆潮濕，且填充物間留有孔隙，有助於水的蒸發，推論**填充物保水性佳的降溫效果較佳**。
- (2) 直接加水組降溫情形沒有吸水布組、土組、砂組、報紙組來得明顯，推測是因為沒有孔隙，與空氣的接觸面積較少，相對造成水的蒸發較少，此現象與實驗一加水過多的組降溫情形反而不佳相似。
- (3) 塑膠袋僅附著約 30cc 的水，僅稍微沾濕盆子，造成降溫現象並不明顯；空盆組直接只泡溼盆子沒有填充物，降溫的效果也不佳；依塑膠袋組、空盆組結果推測**填充物須能維持盆間有水分是造成降溫的關鍵**。
- (4) 實驗三沒有使用保溫燈控制溫度、除濕機控制濕度，發現環境溫度的變化較劇烈，在小房間進行實驗，濕度從 65%往 77%升高，以砂組來看，最低溫僅在 22℃附近，未能降到 20℃以下，效果不如之前的實驗，推測是濕度太高的影響。

#### (二) **實驗(四)** ▶ 不同材質內盆對盆內溫度的影響

操作變因：不同材質內盆。

實驗組：玻璃瓶、塑膠杯、紙杯、鋁罐、鐵罐。

對照組：陶盆。

控制變因：環境溫度約 22℃、水質逆滲透純水、水溫 21℃、溼度約 65%、水量 640cc、砂量 2000g、外盆材質及大小相同。

##### 1.實驗流程：

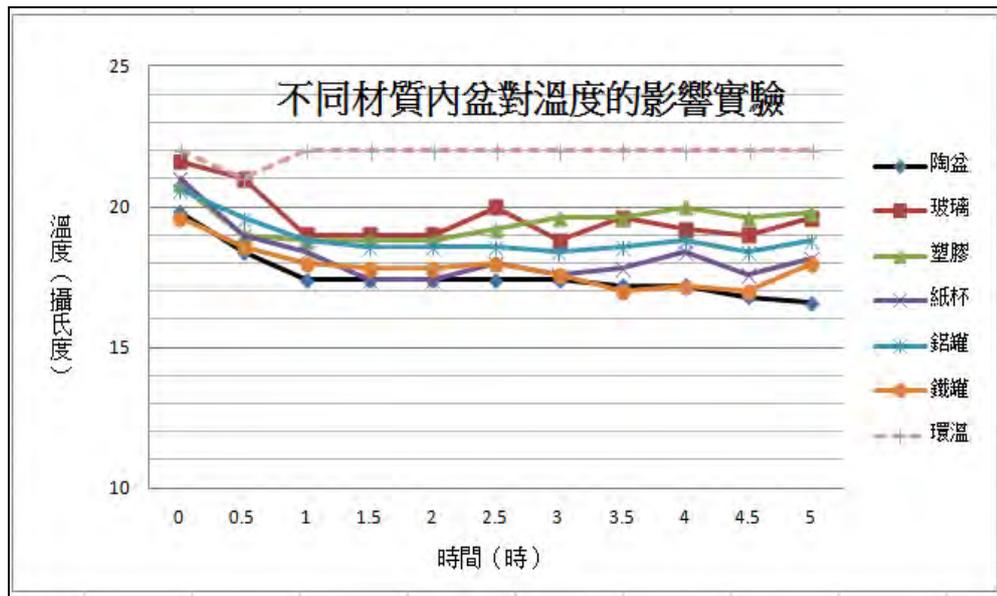
- (1) 各材質內盆對照陶盆內盆，找體積相近的盆子作為實驗組器材。
- (2) 將 2000g 砂平均填入各組內外盆之間，於各組盆間加入 640cc 的水（砂 510cc+內盆 130cc），並以保麗龍材質的蓋子塞緊內盆。
- (3) 放置於小房間內，以保溫燈維持溫度約 22℃，以除濕機維持溼度約 65%。
- (4) 每半小時以紅外線溫度計測量內盆溫度。



圖七 研究二實驗(四)圖示

## 2. 實驗結果：

表十二 不同材質內盆對溫度的影響實驗結果



- (1) 第 1 小時內，所有不同材質內盆各組溫度皆有下降，第 1-2 小時皆趨緩。
- (2) 第 3 小時，塑膠組、玻璃組、紙杯組盆內有升溫情形，其餘較不明顯。

## 3. 實驗發現：

- (1) 以陶盆為內盆的降溫效果相對較佳，鐵罐、紙杯次之，其餘較差。
- (2) 不同材質內盆，起始測量溫度會有差異。
- (3) 鐵鋁罐雖屬熱傳導性佳的金屬材質，但降溫效果卻不是最好的。

## 4. 實驗結果推測：

- (1) 內盆材質的導熱性並不是影響內盆溫度變化的關鍵因素，鋁的熱傳導性是本實驗內盆材質中最佳的，但降溫效果並不突出，此點與我們預想的結果不同，推測熱傳導性佳的物質傳熱快、散熱也快，會影響內盆降溫的情形。
- (2) 陶盆具有孔隙，空氣、水氣得以流通，但熱傳導性相對較差，可是實驗顯示降溫情形卻相對較佳。
- (3) 依實驗結果推測，內盆材質的差異對盆內降溫的影響性可能不大。
- (4) 透過本次實驗並未明確的發現盆內降溫最佳的材質，此部份有待後續進一步研究，而陶盆依然是目前效果最佳的內盆，故後續實驗依然採用陶盆為內盆。

### (三) 實驗(五) ▶ 不同材質外盆對盆內溫度的影響

操作變因：不同材質外盆。

實驗組：塑膠、保麗龍、鐵盆、紙盒、上漆陶盆。

對照組：陶盆。

控制變因：環境溫度約 22°C、水質逆滲透純水、水溫 21°C、溼度控制 65%、內盆材質及大小相同。

### 1.實驗流程：

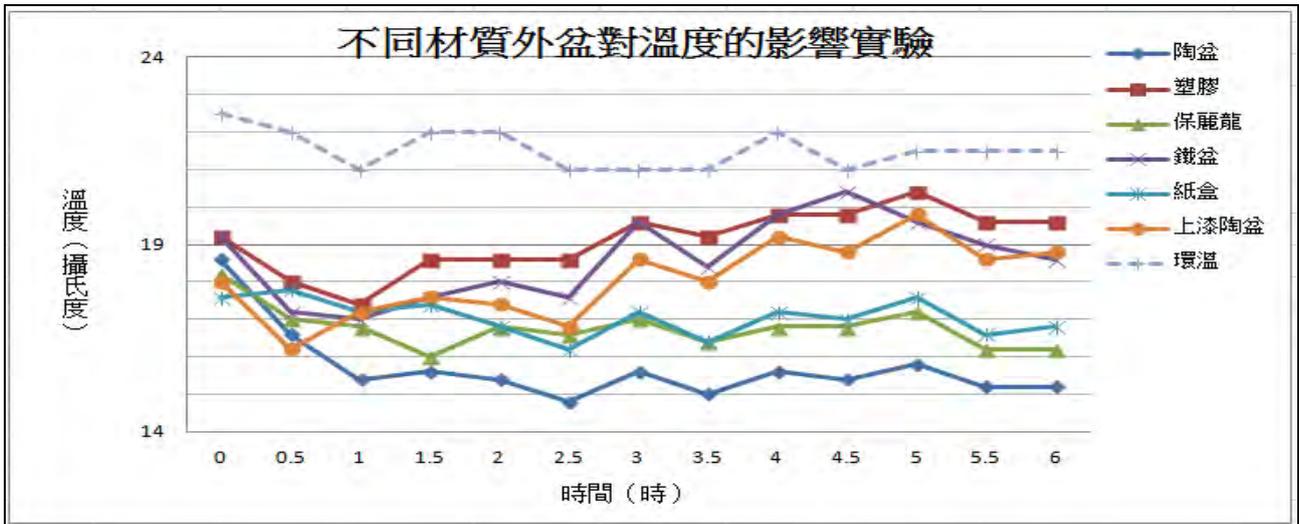
- (1) 各材質外盆對照陶盆外盆，找體積相近的盆子作為實驗組器材。
- (2) 依各外盆大小填滿砂於各組內外盆之間，並依砂的比例加入水量。
- (3) 以陶盆為內盆，並以保麗龍材質的蓋子塞緊內盆。
- (4) 放置於獨立小房間，以保溫燈維持溫度約 22°C，以除濕機維持溼度約 65%。
- (5) 每半小時以紅外線溫度計測量內盆溫度。



圖八 研究二實驗(五)圖示

### 2.實驗結果：

表十三 不同材質外盆對溫度的影響實驗結果



- (1) 第 1 小時，所有不同材質外盆，其內盆溫度皆有下降。
- (2) 第 1 小時後，塑膠組、鐵盆組、上漆陶盆組，溫度皆緩升，甚至高於起始溫度
- (3) 約 2~2.5 小時後，陶盆組、保麗龍組、紙盒組，內盆溫度皆趨於穩定。

### 3.實驗發現：

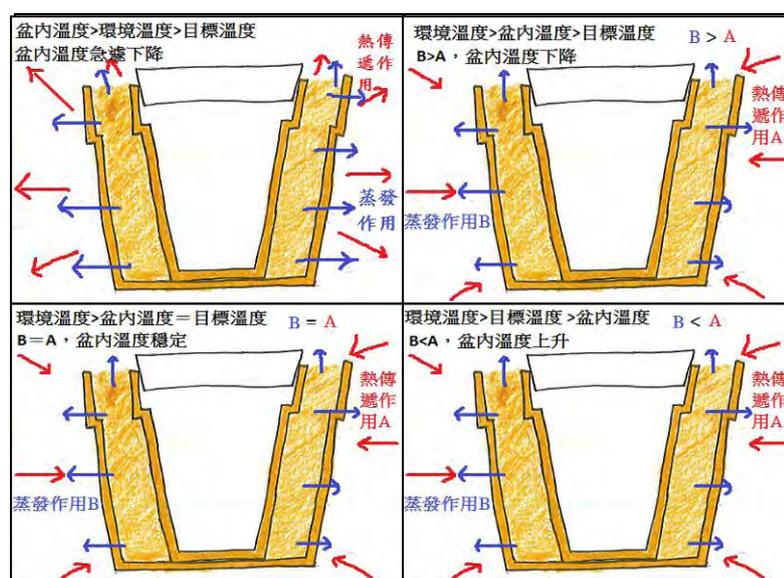
- (1) 以陶盆為外盆的降溫效果相對較佳，保麗龍、紙盒次之，其餘材質不佳。
- (2) 紙盒組在一開始倒入水後就發生底部滲溼的現象，滲濕的情形嚴重。
- (3) 保麗龍組內盆有稍微浮起的狀況，在第 6 小時才發現底部有些微滲水的情形。
- (4) 鐵盒組及保麗龍組的內盆內壁有出現水珠，鐵盒組的內盆甚至有些許積水。

#### 4.實驗結果推測：

- (1) 本次實驗中，陶盆、紙盒、保麗龍具有孔隙，水會滲出外壁，盆內的降溫效果較佳，因此推測外盆材質必須具有孔隙，應是能有較佳降溫效果的關鍵因素。
- (2) 鐵盒因為沒有孔隙，推測水分無法往外，所以由內盆孔隙滲入造成內盆積水。
- (3) 具有孔隙的外盆，水、水氣、空氣得以流通，整個外壁都可以產生蒸發作用；不具孔隙的外盆，僅有內外盆間的砂表面得以進行蒸發作用，因此效果不佳。
- (4) 整合實驗二和實驗五結果推論，我們認為免電冰箱的盆內溫度會受到熱傳遞作用及水蒸發作用的影響，熱傳遞就是熱會由高溫往低溫傳遞熱量，因此當盆內溫度低於環境溫度時，外界的熱量就會傳入盆內，溫差越大，傳入的熱量會越大；水的蒸發作用則會帶走汽化熱；當盆內溫度、環境溫度、目標溫度不同時，兩種作用會產生不同結果，推論整理如表十四。

表十四 不同條件的熱傳遞及水蒸發作用產生現象一覽表

條件	熱傳遞作用	水蒸發作用	產生現象
1.盆內溫度>環境溫度>目標溫度	熱量傳播出去	帶走	盆內溫度急遽下降
2.環境溫度>盆內溫度>目標溫度	熱量 A 傳播進來	帶走汽化熱 B	$B > A$ ，盆內溫度下降
3.環境溫度>盆內溫度 = 目標溫度	熱量 A 傳播進來	帶走汽化熱 B	$B = A$ ，盆內溫度穩定
4.環境溫度>目標溫度 >盆內溫度	熱量 A 傳播進來	帶走汽化熱 B	$B < A$ ，盆內溫度上升



圖九 不同條件的熱傳遞及水蒸發作用示意圖

#### (四) 實驗(六) ▶ 不同水溶液對盆內溫度的影響

操作變因：不同水溶液。

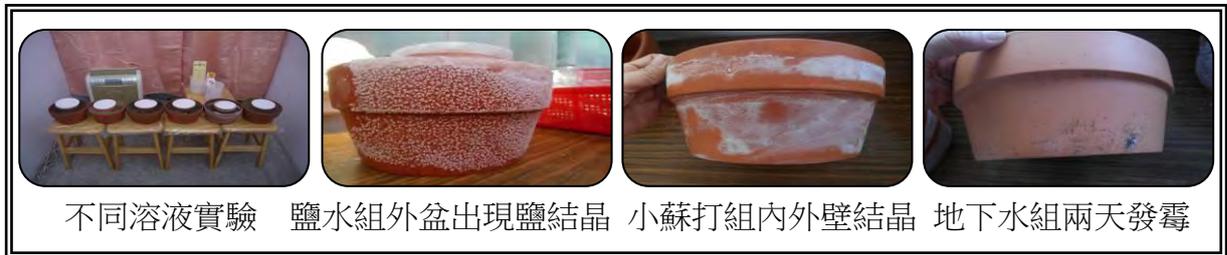
實驗組：酒精、小蘇打水、地下水、鹽水、汽水。

對照組：純水。

控制變因：環境溫度約 22°C、水質逆滲透純水、溶液量 640cc、溼度約 60%、砂量 2000g、內外盆材質及大小相同。

### 1. 實驗流程：

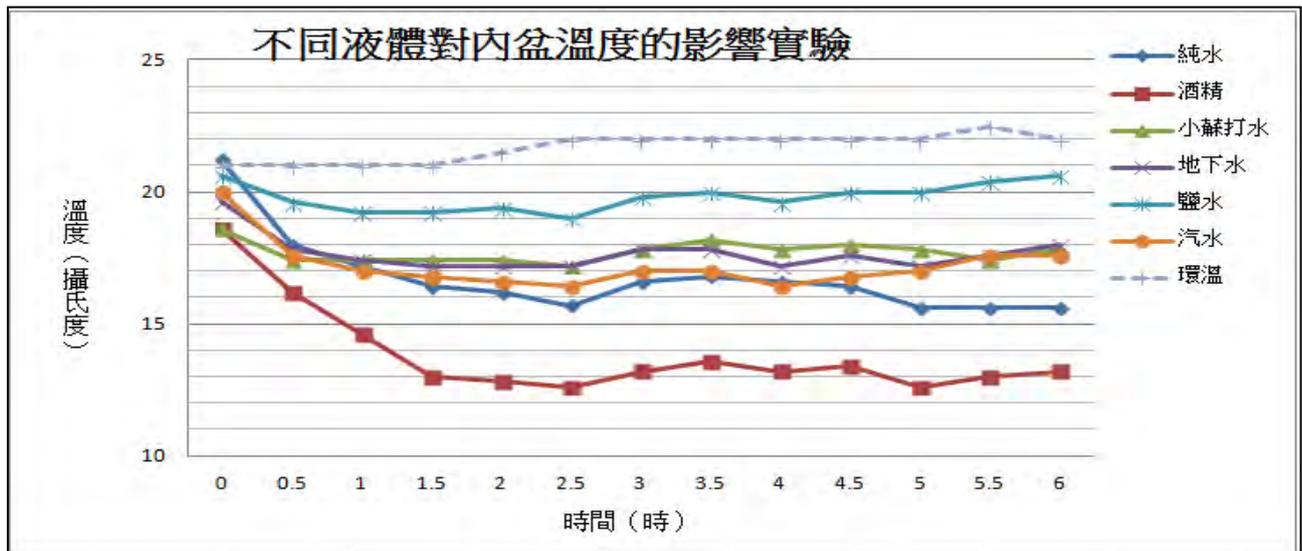
- (1) 將內外盆於室溫下自然冷卻陰乾。
- (2) 秤出 2000g 砂，將砂平均填入內外盆之間，再分別加入實驗設計水溶液 640cc。
- (3) 以保麗龍材質的蓋子塞緊內盆，
- (4) 放置於獨立小房間內，以保溫燈維持溫度約 22°C，以除濕機維持溼度約 60%。
- (5) 每半小時以紅外線溫度計測量內盆溫度。



圖十 研究二實驗(六)圖示

### 2. 實驗結果：

表十五 不同液體對內盆溫度的影響實驗結果



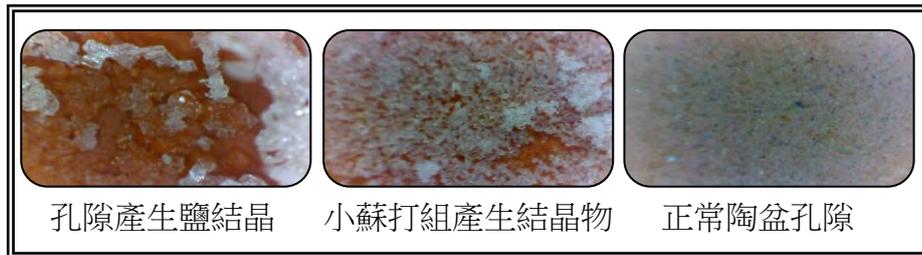
- (1) 第 1 小時，所有不同液體，其盆內溫度皆有下降。
- (2) 約第 2.5 小時後，各組盆內溫度降至最低溫，之後趨於平穩。
- (3) 酒精組降溫效果最佳，純水組次之，鹽水組最差。

### 3. 實驗發現：

- (1) 酒精揮發性高，起始溫度及盆內的降溫效果最佳，實驗後酒精組的砂非常乾燥，砂倒出時有近四分之三都是乾的。
- (2) 鹽水組的外盆在實驗過程中從第 2 小時開始就出現鹽的結晶物，結晶物隨時間越來越多，是鹽水滲出陶盆外壁後，水蒸發後留下的鹽結晶。
- (3) 小蘇打水組在實驗後隔天外盆內外皆出現結晶現象；汽水組在實驗後發現盆子會有黏黏的現象；地下水組的外盆在隔天出現發霉的情形。
- (4) 汽水倒入砂時，會有氣泡產生，在砂面形成許多小孔洞。

#### 4.實驗結果推測：

- (1) 盆內的降溫是水分蒸發帶走內部熱量造成，因此外盆具有孔隙將有助於蒸發作用，但如果水溶液含有顆粒將會堵住孔隙，影響蒸發作用的進行，因此鹽水、小蘇打水、地下水、汽水等溶液含有溶質，這些細微顆粒會影響蒸發作用。
- (2) 酒精本身具有高揮發性，因此對於盆內降溫效果顯著，不過因酒精揮發快速，如要長時間降溫，需一直補充酒精，成本會非常高。
- (3) 某些加入的溶液會使內外盆結晶、黏膩或發黴，顯示加入的液體若含有不適當的物質，會使免電冰箱不潔淨外，很有可能使盆內食物也遭受汙染。
- (4) 以電子顯微鏡觀測外盆，確實有發現孔隙，見圖十一。



圖十一 電子顯微鏡觀測外盆

### 三、研究三：環境變化對盆內溫度的影響

想法：日本及印度都有類似的保鮮應用，但是台灣的環境異於兩地，所以必須進一步探討外在環境的變化對盆內溫度的影響。

#### (一) **實驗(七)** ▶ 盆子架高及吹風對溫度的影響

操作變因：吹風、架高。

實驗組：吹風未架高、吹風有架高、未吹風有架高。

對照組：未吹風未架高。

控制變因：環境溫度約 24°C、水質逆滲透純水、水溫 21°C、溼度約 60%、砂量 2000g、水量 640cc、內外盆材質及大小相同。

#### 1.實驗流程：

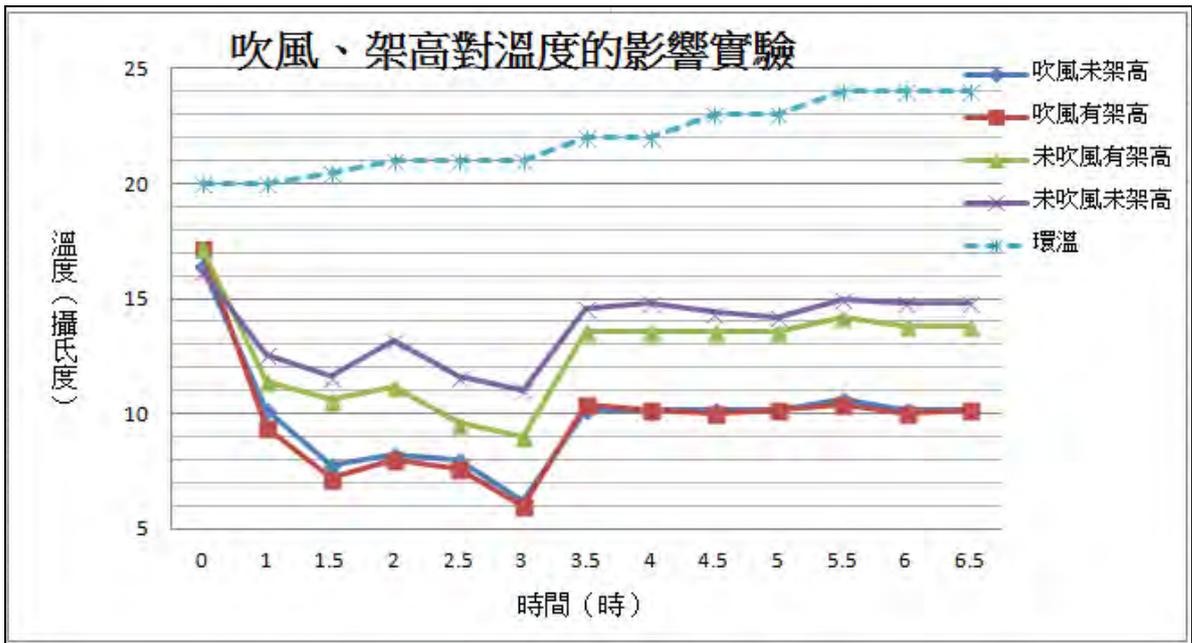
- (1) 將內外盆於常溫下自然冷卻陰乾，將 2000g 砂平均填入各組內外盆之間。
- (2) 於各組盆間加入 640cc 的水，並以保麗龍蓋塞緊內盆。
- (3) 放置於獨立小房間，以保溫燈維持溫度約 24°C，以除濕機維持溼度約 60%。
- (4) 吹風兩組，以電風扇弱風對著盆子吹，架高兩組置於三角架上。
- (5) 每半小時以紅外線溫度計測量內盆溫度。



圖十二 研究三實驗(七)圖示

## 2. 實驗結果：

表十六 吹風、架高對溫度的影響實驗結果



- (1) 吹風未架高組，起始溫度 16.4℃，在第 3 小時降至最低溫 6.2℃，之後半小時溫度回升至 10.2℃，之後呈現穩定狀態。
- (2) 吹風有架高組，起始溫度 17.2℃，在第 3 小時降至最低溫 6℃，之後半小時溫度回升至 10.4℃，之後呈現穩定狀態。
- (3) 未吹風有架高組，起始溫度 17.2℃，在第 3 小時降至最低溫 9℃，之後半小時溫度回升至 13.6℃，之後呈現穩定狀態。
- (4) 未吹風未架高組，起始溫度 16.2℃，在第 3 小時降至最低溫 11℃，之後半小時溫度回升至 14.6℃，之後呈現穩定狀態。

## 3. 實驗發現：

- (1) 各組盆內溫度在第 3 小時出現最低溫，之後半小時溫度稍有回升，並沒有因為有沒有吹風、架高而有差異。
- (2) 有吹風的兩組，其溫度下降的幅度明顯比未吹風的兩組來得大，因此確定吹風有助於盆內溫度的下降。
- (3) 在有吹風的情形下，有無架高的溫度下降情形並無太大差異；在沒有吹風的情形下，有架高的組別，溫度下降比沒架高的組別低。
- (4) 3.5 小時後，呈現穩定狀態，有吹風的組別，其溫度比室溫降低約 14℃，沒有吹風的組別降低約 9~10℃。

## 4. 實驗結果推測：

- (1) 在吹風有架高組，我們量測到實驗以來的最低溫 6℃，顯示吹風是影響溫度下降的重要因素之一，考量這個因素，我們認為免電冰箱應該放在戶外通風處，降溫效果會比室內來得好，而放置戶外則還有陽光照射的因素，後續進行實驗

探討。

- (2) 有架高的組，降溫幅度都比沒有架高組好，推測架高會使外盆底部也能進行蒸發作用，增加蒸發作用的面積而有助於降溫。實驗觀察到陶盆加水後盆子的色澤會變深，推論陶盆表面是有孔隙的，此點在實驗六已獲得確認，因此水氣可以從孔隙流通進行蒸發作用。

## (二) 實驗(八) ▶ 不同的溫濕度對溫度的影響

操作變因：第一組實驗-不同濕度、第二組實驗-不同溫度。

控制變因：水質逆滲透純水、水溫 21°C、水量 640cc、砂量 2000g、內外盆材質及大小相同。

### 1. 實驗流程：

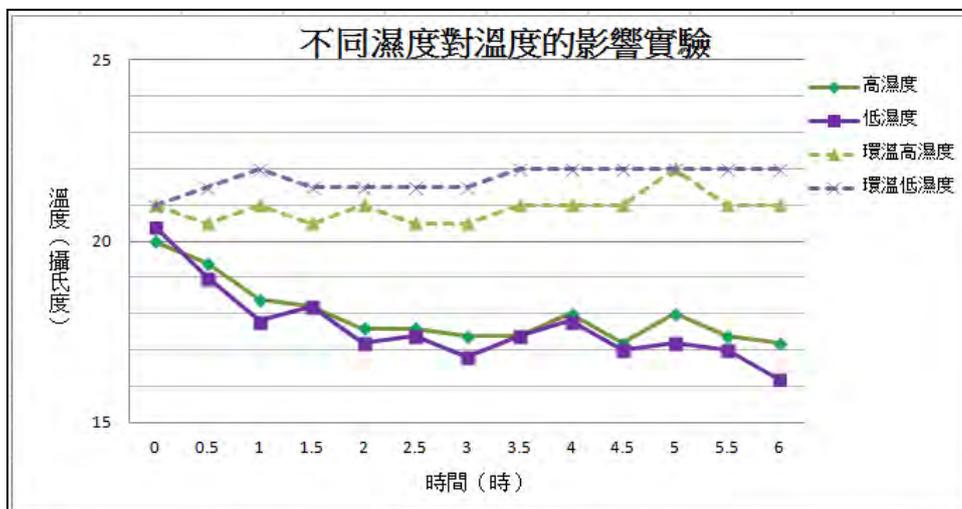
- (1) 將內外盆於常溫下自然冷卻陰乾，將 2000g 砂平均填入各組內外盆之間。
- (2) 於各組盆間加入 640cc 的水，以保麗龍材質的蓋子塞緊內盆。
- (3) 不同溫度實驗：選擇氣溫不同的兩天，於獨立小房間內皆以保溫燈低溫照射，一天溫度約 25°C，一天溫度約 22°C，兩天皆以除濕機控制濕度約 60%。
- (4) 不同濕度實驗：同時分別放置於獨立小房間內，一房間裡以除濕機維持濕度 60%，一房間不用除濕機濕度約 75%~85%，環境溫度皆約 21.5°C。
- (5) 每半小時以紅外線溫度計測量一次，並觀察記錄。



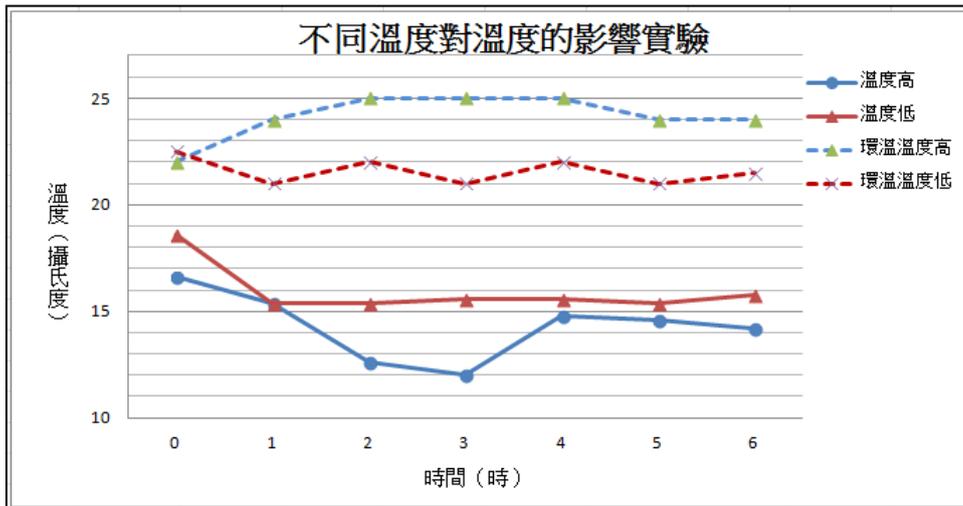
圖十三 研究三實驗(八)圖示

### 2. 實驗結果：

表十七 不同濕度對溫度的影響實驗結果



表十八 不同溫度對溫度的影響實驗結果



- (1) 不同濕度實驗，起始溫度接近，兩組溫度都有下降；第3小時，高濕度組降溫2.6°C，低濕度組降溫3.6°C；第6小時，高濕度組降2.8°C，低濕度組降4.2°C。
- (2) 不同溫度實驗，起始溫度差了2°C，高溫組在第3小時出現最低溫，與環境溫度差12°C，低溫組的最低溫在第一小時即出現，之後溫度變化不大，與環境溫度差距5.6°C。

### 3. 實驗發現：

- (1) 不同濕度實驗中，在觀察時間內，低濕度組的降溫趨勢較明顯，高濕度組的降溫趨勢較緩慢，且低濕度組的降溫幅度皆比高濕度組來得大。
- (2) 不同溫度實驗中，高溫度組的降溫幅度比低溫度組的降溫幅度大，高溫組與環境溫度的溫差也比較大。
- (3) 國小礙於設備因素，對於溫度、濕度的控制並不容易，不易達到差異大的溫濕度，嘗試過幾次實驗，發現溫度與濕度會互相影響，當溫度升高時，濕度會有下降的現象。

### 4. 實驗結果推測：

- (1) 依實驗結果，推論陶盆降溫效果在高溫度、低濕度的環境下有較好的表現。
- (2) 對於不同溫度實驗，礙於設備因素，為了讓實驗溫度不同，我們在不同的日子操作，透過除濕機控制了濕度，但溫度也僅差3~4°C，雖然實驗結果符合預期，但仍擔心還有其他因素影響。
- (3) 台灣四面環海，濕度高，推測免電冰箱在盛夏濕度較低時會有較好的發揮。

### (三) 實驗(九) ▶ 戶外照射太陽對盆內溫度的影響

操作變因：戶外照射太陽。

控制變因：水質逆滲透純水、水溫21°C、水量640cc、砂量2000g、內外盆材質及大小相同。

### 1. 實驗流程：

- (1) 將內外盆於室溫下自然冷卻陰乾，將 2000g 砂平均填入兩組內外盆之間。
- (2) 於各組盆間加入 640cc 的水，並以保麗龍材質的蓋子塞緊內盆。
- (3) 將兩盆實驗組放置在學校頂樓，一組置於陽光下，一組置於牆邊陰影處。
- (4) 放置簡易風力計，觀測是否有風，每小時以紅外線溫度計測量內盆溫度。

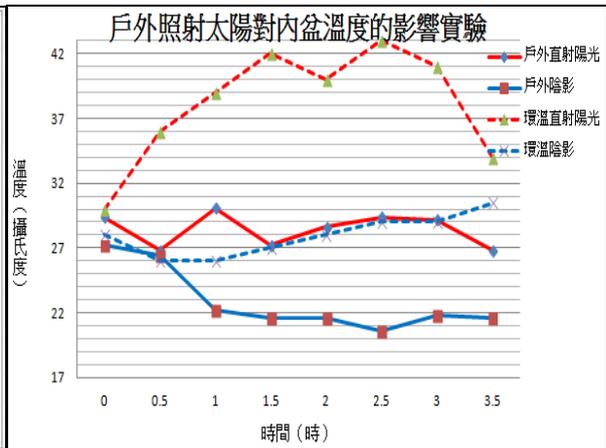
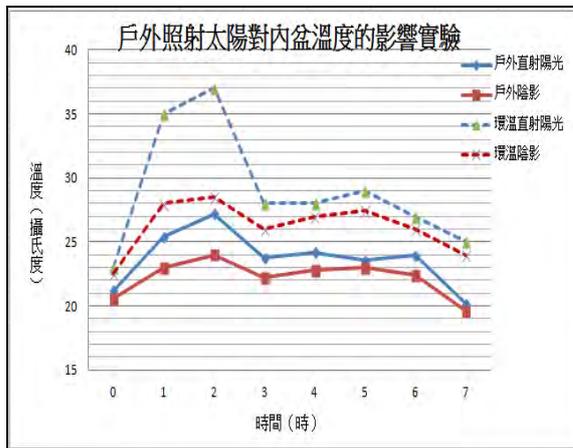


圖十四 研究三實驗(九)圖示

### 2. 實驗結果：

表十九 照射太陽對溫度的影響第一次實驗結果

表二十 照射太陽對溫度的影響第二次實驗結果



- (1) 第一次實驗中，環境溫度最高溫出現在第 2 小時，盆內溫度與環境溫度差，陽光組達 9.8°C，陰影組僅有差 4.5°C。
- (2) 第二次實驗中，環境溫度最高溫出現在第 2.5 小時，盆內溫度與環境溫度差，陽光組達 13.6°C，陰影組差 8.4°C。

### 3. 實驗發現：

- (1) 盆內溫度會受到環境溫度影響，環境溫度越高，盆內溫度也會上升，但上升度數相對小。
- (2) 直接照射陽光組的溫度會比陰影組的溫度來得高，且照射陽光組的盆內溫度也會比陰影組的盆內溫度高。
- (3) 第一次實驗當天約在第三小時轉陰天，溫度明顯下滑，盆內溫度也跟著下滑。
- (4) 單以溫度來看，陰影組的盆內溫度能維持在較低的溫度。

### 4. 實驗結果推測：

- (1) 戶外有風及環境溫度較高，蒸發作用較強，盆內溫度降幅應該較大，但因陽光的輻射熱等熱傳遞作用，將環境的熱傳遞至盆子，影響抵銷了溫度降幅。
- (2) 陰影組因環境溫度相對較低，盆內的溫度相對較低。
- (3) 依據實驗結果推測免電冰箱應放於戶外有風吹拂的陰涼處。

#### 四、研究四：探討汽化熱的相關原理與免電冰箱的關係

(一) 名詞釋義：汽化熱 Heat of Vaporization，又稱汽化焓、蒸發熱。

物質從液相變為氣相的過程叫做汽化。蒸發和沸騰都屬於汽化現象。汽化熱是單位質量液體（1 克或 1 莫耳為基準）在一定壓力、溫度恆定下，氣化為飽和蒸氣時吸收的熱量。同樣量的蒸氣在同樣溫度下凝結為液體時，則放出同樣數量的熱。

一般物質在固／液或液／氣相變時，分子排列會改變，欲達成新的分子排列狀態，系統熱焓值提高，物質必須吸收熱量；相反的，如果新的分子排列狀態能量較低，則物質會釋出熱量。由於汽化熱只改變物質的相而不改變物質的溫度，所以又稱汽化潛熱 (Latent heat)。

一般情況下，特定物質其分子間的吸引力在液體狀態時會大於氣體狀態時，因此，汽化過程必須吸熱；但所吸收的熱量不只用在克服分子間的作用力，有一部分用在相變過程中體積變化所需的功。用熱力學的觀點，內能為系統裡物質分子的運動動能的總和，而定溫定壓下的汽化熱是氣體及液體間焓 (enthalpy，又叫熱焓) 的差  $\Delta H$ ；在相變過程，物質所在系統的溫度並未改變，系統吸收的熱能用來克服分子交互作用所需的能量，相變過程熱焓變化量  $\Delta H$  減去內能變化量  $\Delta U$ ，就是汽化膨脹所需的功  $\Delta W$ ，也就是  $\Delta H - \Delta U = \Delta W$ 。

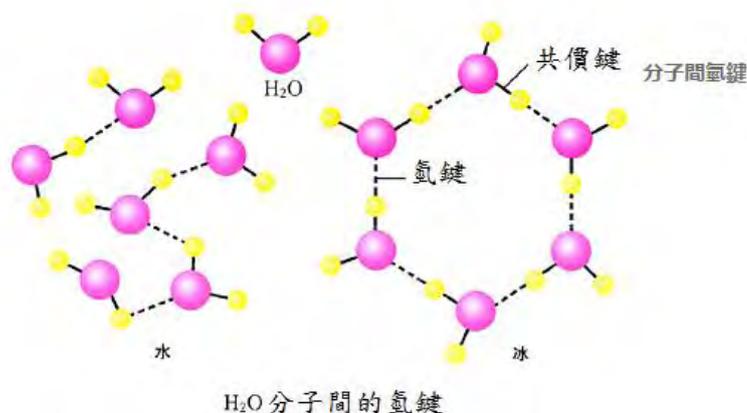
按照物質分子運動論的觀點，氣體中的分子平均距離比液體中的大得多。液態時，物質分子之間有較強的吸引力，物質從液相轉變為氣相，必須克服分子間的引力而做功，這種功稱為內功。另外，當物質從液相變為氣相時，體積將增大許多倍，因此還必須反抗大氣壓力而做功，這種功稱為外功。做功需要消耗一定的能量，當液體蒸發或沸騰時，保持溫度不變，都必須從外界輸入能量，這就是液體汽化時需要汽化熱的原因。

(二) 水的汽化熱

汽化熱隨液體種類不同而異，主要決定於液體中分子間力的大小。例如：非極性的苯，正常沸點時的汽化熱為 30.76 卡／克，而水由於有強的氫鍵，正常沸點時的汽化熱高達 40.66 卡／克。汽化熱隨溫度升高而減小，在臨界溫度時，汽化熱為零。

水分子（化學式： $H_2O$ ）是地球表面上最多的分子，標準狀況下，水分子在液體和氣體之間保持動態平衡。水的一項重要特性就是它的極性，水分子呈角狀，當中氫原子位於末端而氧原子則在頂點。由於氧的電負性比氫高，所以分子中有氧原子的一邊電荷會偏負。帶這樣一個電荷差的分子被稱為偶極子。電荷差使得水分子互相吸引（偏正電的區域會被偏負電的區域吸引），同時亦使它們和其他極性分子互相吸引。這種吸引力被稱為氫鍵，儘管氫鍵是一種相對較弱的引力（跟連接水分子內原子的共價鍵比較時），但是它造就了水的多個特性。其中一個特性就是水相對較高的熔點及沸點，因為需要更多能量才能夠克服分子間的氫鍵。分子間有氫鍵的物質熔化或氣化時，除了要克服純粹的分子間

力外，還必須提高溫度，額外地供應一份能量來破壞分子間的氫鍵，所以水比一般液體具有更高的汽化熱。



圖十五 水分子間的氫鍵

水的汽化熱為 40.8 千焦/摩爾，相當於 2260 千焦/千克。一般使水在其沸點蒸發所需要的熱量五倍於把等量水從 1°C 加熱到 100°C 所需要的熱量。

參考表二十一，在一般室溫約 20°C 下，水的汽化熱是 586 cal/g，而這個熱量來自於外界，以免電冰箱而言，即是陶盆與砂，因此當水蒸發時，免電冰箱會因為水吸收了汽化熱而降溫；但是因為環境溫度會高於內盆溫度，熱的傳遞作用是從溫度高的地方傳至溫度低的地方，這種熱傳遞是有溫差即會產生的連續作用，所以整個免電冰箱的溫度是受到水的蒸發作用、熱傳遞作用及整個外在環境影響下的動態結果，整個系統相當複雜，並不能簡單的以水的汽化熱來推算出盆內的目標溫度。

表二十一 水在各溫度所具有的汽化熱：

摄氏温度 (°C)	热力学温度 (K)	千焦耳/千克 (kJ/kg)	千卡/千克 (kcal/kg)	摄氏温度 (°C)	热力学温度 (K)	千焦耳/千克 (kJ/kg)	千卡/千克 (kcal/kg)
0	273.15	2500.7756	597.3000	55	328.15	2370.1475	566.1000
5	278.15	2489.0526	594.5000	60	333.15	2358.0058	563.2000
10	283.15	2477.3296	591.7000	65	338.15	2345.4454	560.2000
15	288.15	2465.6065	588.9000	70	343.15	2333.3036	557.3000
20	293.15	2453.4648	586.0000	75	348.15	2320.7432	554.3000
25	298.15	2441.7418	583.2000	80	353.15	2308.1828	551.3000
30	303.15	2430.0187	580.4000	85	358.15	2295.6224	548.3000
35	308.15	2418.2957	577.6000	90	363.15	2282.6434	545.3000
40	313.15	2406.1540	574.7000	95	368.15	2269.6643	542.3000
45	318.15	2394.0122	571.8000	100	373.15	2256.6852	539.3000
50	323.15	2382.2892	569.0000				

表二十二 不同物質的汽化熱

物質	沸點 (°C)	汽化熱 (Cal/g)
酒精	78	204
二硫化碳	46.25	84
水(冰)	100	539
氯化鈉(NaCl)	1465	170.7KJ/mol



- (2) 當溫度趨於穩定時，四個部位仍存有溫度差，其中以砂淺層溫度最低、內盆次之；外盆溫度最高、砂深層次之。

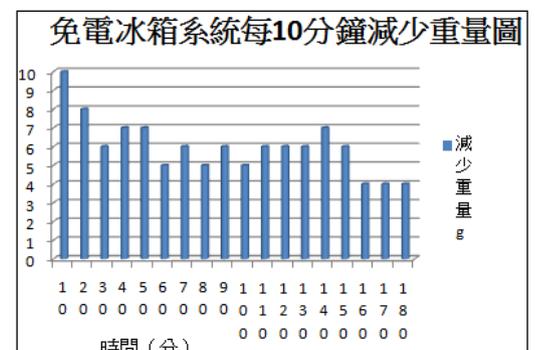
### 3. 實驗發現：

- (1) 雖然四個部位都有溫度降低的情形，但降溫的幅度不一，以每 10 分鐘溫度的變化視之，計算每分鐘溫度下降的比率整理成表二十五，發現第 1 個 10 分鐘的降溫率是最佳的，往後降溫率遞減，在第 6 個 10 分鐘開始出現變化率為 0，表示溫度趨於穩定。對照表二十六，系統在第 1 個 10 分鐘減少的重量是最多的，往後略有遞減，但當系統溫度呈現穩定時，系統還是有減少重量的情形。
- (2) 外盆是降溫率變差最快的部位，因此在線圖上外盆的溫度曲線會與其他部位的溫度曲線發生交叉。
- (3) 溫度趨於穩定時，四個部份的溫度並不是一致，並不存在預設的熱平衡現象。

表二十五 10 分鐘每分鐘降溫率

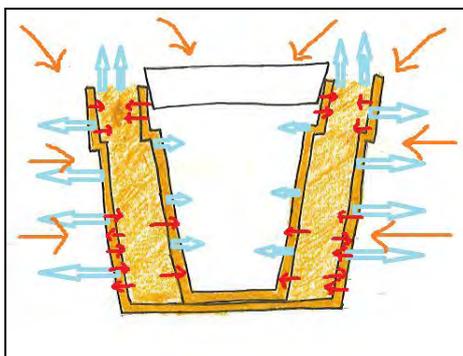
部位	第 1 個	第 2 個	第 3 個	第 4 個	第 5 個	第 6 個	第 7 個	第 8 個
砂淺層	-0.11°C	-0.08°C	-0.05°C	-0.03°C	-0.02	-0.02	0	0
砂深層	-0.03°C	-0.02°C	-0.02°C	-0.02°C	-0.02	-0.02	-0.01	0
外盆	-0.1°C	-0.02°C	-0.02°C	-0.01°C	-0.01	0	-0.02	-0.02
內盆	-0.05°C	-0.04°C	-0.04°C	-0.05°C	-0.02	-0.03	-0.02	0

表二十六 每 10 分鐘減少重量圖



### 4. 實驗結果推測：

- (1) 原先認為水從外盆盆壁蒸發帶走汽化熱，使外盆降溫，再影響砂降溫，最後使內盆降溫，但從實驗結果發現四個部位都同時降溫，並非漸進式的階段降溫。
- (2) 砂的淺層及外盆是水蒸發的主要部位，因此降溫率一開始最佳，而內盆使用陶盆，推論也有水的蒸發作用在進行，才能一開始就降溫；砂的深層則沒有直接進行蒸發作用，因此降溫率最差。
- (3) 當系統降溫後，與環境溫度的溫差逐漸變大，外界的熱傳遞作用變大，外盆是直接接收熱傳遞作用的部位，因此外盆的降溫率是變差最快的部位。
- (4) 整個系統並未達成熱平衡，最終各部位仍存有溫差，因此各部位間仍有熱傳遞作用，但溫度幾乎沒有變化，推論此時整個系統呈現一個熱的準平衡狀態。



圖十八 免電冰箱熱量傳遞圖

- (5) 依實驗結果，我們繪製圖十八，水藍色箭頭是指水的蒸發作用，包含外盆外壁、砂表層、內盆內壁都有水的蒸發；紅色箭頭是系統內各部位的熱傳遞作用，砂表層溫度最低，所以是兩側陶盆將熱傳入砂，砂深層溫度較高，所以將熱量傳向兩側盆壁，但外盆溫度受環境熱傳遞影響（橘色箭頭），溫度可能比砂深層高，因此熱傳遞方向也有從外盆傳入砂深層。

(五) 熱力學分析

在熱力學中，開放系統指與外界交換能量和質量的系統。免電冰箱就屬於開放系統。將實驗一、二的數據以下列開放系統的公式計算外界每分鐘給予免電冰箱的熱。計算結果為表二十七、表二十九。

$$\frac{dU_{acc}}{dt} + \Delta[(\hat{h}+K+P)m]_{fs} = Q + \dot{W}_s$$

免電冰箱運作過程中因為沒有速度產生，動能  $K=0$ ，因為沒有高度變化，位能  $P=0$ ，與外界交換能量和質量過程中並無作功，所以  $\dot{W}_s=0$ 。

$\hat{h}$  則是水蒸發的汽化熱，經查表溫度攝氏 24 度時，水的汽化熱約是 584 cal/g 所以  $\hat{h} = \text{蒸發的水量 } g \times 584 \text{ cal/g}$ 。

$\frac{dU_{acc}}{dt}$  則是以系統在第 7.5 時的內能減去第 0 時的內能再除以時間 (min)。

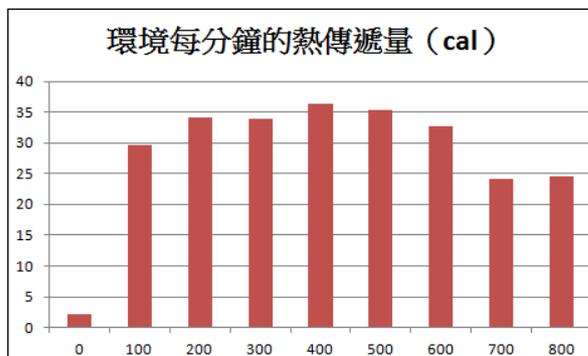
Q 是外界因溫度差傳遞給系統的熱。

1. 實驗一不同水量對盆內溫度的影響：

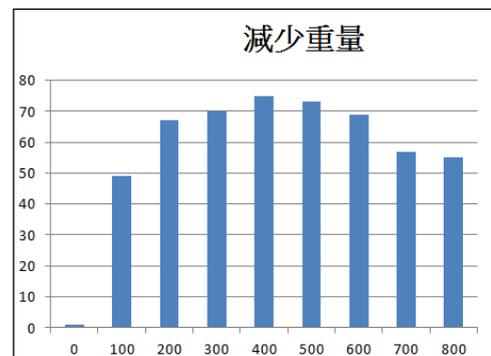
表二十七 實驗一環境每分鐘的熱傳遞量數據表

水量(ml)	0	100	200	300	400	500	600	700	800
環境每分鐘的熱傳遞量 (cal)	2.2	29.7	34.1	33.9	36.4	35.3	32.6	24.2	24.6

表二十八 實驗一環境每分鐘的熱傳遞量表



表四 實驗(一)-1 實驗重量變化表



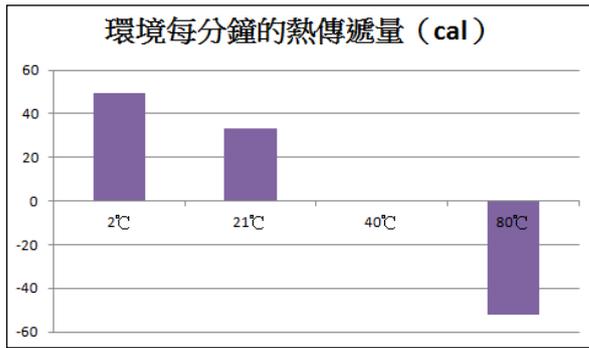
依據表四，推測減少重量就是蒸發的水量，對照表二十八，發現減少重量與環境每分鐘的熱傳遞量有相關性，水蒸發越多，汽化熱越多，溫度會下降較多，但也因此與外界溫差變大，導致熱傳遞作用變大，環境每分鐘的熱傳遞量變多，讓免電冰箱的溫度不會無極限的下降。

2. 實驗二不同水溫對盆內溫度的影響：

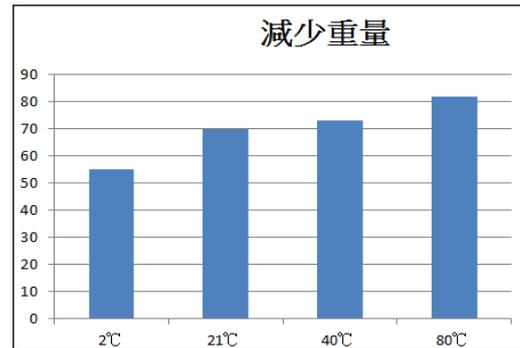
表二十九 實驗二環境每分鐘的熱傳遞量表

水溫	2°C	21°C	40°C	80°C
環境每分鐘的熱傳遞量 (cal)	49.7	33.4	0.25	-52.2

表三十 實驗二環境每分鐘的熱傳遞量表



表九 實驗二第二次實驗重量變化表



在實驗二中，對照表三十與表九，80°C組的降溫幅度最大，因水溫高，內能也高，因此水的蒸發作用較大，所以減少的水量最多，而外界溫度因為低於80°C水溫，所以是免電冰箱將熱傳向外界。2°C組則是水蒸發作用相對較小，外界溫度較高，所以是外界將較多的熱傳向免電冰箱。

依實驗二數據，每30分鐘，計算各組每分鐘溫度的變化率得到表三十一，發現各組溫度的變化率隨時間趨緩，系統逐漸成為一個熱的準平衡狀態。

表三十一 實驗二各組溫度每分鐘變化率表

	0~30分	30~60分	60~90分	90~120分	120~150分	150~180分	180~210分
2°C	0.14°C	0.047°C	0.0133°C	0.0467°C	-0.0067°C	0.0067°C	0.0067°C
21°C	-0.0267°C	-0.0067°C	-0.0067°C	-0.0733°C	-0.0333°C	-0.02°C	-0.0133°C
40°C	-0.1133°C	-0.0934°C	-0.04°C	-0.0733°C	0.0133°C	-0.0867°C	-0.02°C
80°C	-0.3367°C	-0.1867°C	-0.12°C	-0.1133°C	-0.0867°C	-0.0133°C	-0.0333°C

## 五、研究五：探討台灣蔬果的保鮮條件及免電冰箱的應用價值

### (一) 文獻探討：

蔬果產品由集貨場到消費者手中的過程中，為了延長市場供應季節和避免生產過剩，經常以適當的環境管理來減緩蔬果產品的呼吸作用、蒸散作用、抑制乙烯產生及控制病蟲害，以維護產品品質，即所謂貯藏。

蔬果產品採收後持續進行呼吸作用，在氧氣充足的情形下，將葡萄糖分解釋放出二氧化碳、水分及能量，以維持生命。呼吸速率與溫度高低有密切的關係，蔬果產品溫度每提高10°C，呼吸速率即增加一倍。所以蔬果產品貯藏在愈低溫下，呼吸速率愈緩慢，園產品本身蓄積的葡萄糖消耗愈慢，使產品的品質和重量得以保持。

此外，因為低溫呼吸作用釋放之二氧化碳較少，比較不易發生無氧呼吸，也不會產生生理障礙；同時，呼吸熱亦減少，可延長貯藏壽命。雖然冷藏的溫度愈低愈好，但是溫度達到冰點以下，蔬果產品發生凍害時，組織開始結凍，代謝作用受阻，產品將出現水浸狀，組織失去原有硬度。

有些產於熱帶地區的蔬果產品不能忍受13°C以下的低溫，在該溫度下表皮會出現凹陷點、變色、果品後熟作用受阻、出現異味及加速老化等現象，亦即所謂的寒

害。因此冷藏的溫度在不致使蔬果產品受凍害或寒害的範圍內愈低愈好，各種蔬果產品適宜冷藏的溫度可參看表三十二。

表三十二 蔬果適合貯藏的溫度及保鮮期

產品名稱	最佳貯藏溫度	貯藏壽命	產品名稱	最佳貯藏溫度	貯藏壽命	產品名稱	最佳貯藏溫度	貯藏壽命
蘋果	-1~4	1~12月	木瓜	7	1~3週	草莓	0	5~7天
香蕉(綠)	13~14	10~14天	百香果	7~10	3~5週	桃	-0.5~0	2~4週
彌猴桃	-0.5~0	3~5月	荔枝	7~10	2週	西瓜	10~15	2~3週
楊桃	9~10	3~4週	梨	-1.5~0.5	2~7週	檸檬(綠)	13~15.5	1~6月
葡萄柚	10~15	6~8週	鳳梨	7~13	2~4週	芒果	13	2~3週
葡萄	-0.5~0	2~8週	李	-0.5~0	2~5週	枇杷	0	3週
番石榴	5~10	2~3週	甜橙	3~9	3~8週	馬鈴薯	7	5~10月
青花菜	0	10~14天	甘藍	0	5~6月	甘藷	13~16	4~7月
胡蘿蔔	0	7~9月	茄	8~12	1週	南瓜	10~13	2~3月
甜玉米	0	5~8天	蒜	0	6~7月	芋	7~10	4~5月
胡瓜	10~13	10~14天	薑	13	6月	蘿蔔(春)	0	3~4週
洋蔥(乾)	0	1~8月	辣椒(乾)	0~10	6月	蘿蔔(冬)	0	2~4月
山藥	16	6~7月	甜椒	7~13	2~3週	番茄(綠)	13~21	1~3週
番茄(熟)	8~10	4~7天						

(二) 免電冰箱的應用價值：

本實驗結果顯示，免電冰箱的內盆溫度最低可達6℃左右，因此使用於一些蔬果保鮮相當適宜，尤其以熱帶地區所產的蔬果最為適用。整理適用於免電冰箱的蔬果如表三十三。

表三十三 適合貯藏在免電冰箱的蔬果

產品名稱	最佳貯藏溫度	貯藏壽命	產品名稱	最佳貯藏溫度	貯藏壽命	產品名稱	最佳貯藏溫度	貯藏壽命
香蕉(綠)	13~14	10~14天	百香果	7~10	3~5週	荔枝	7~10	2週
葡萄柚	10~15	6~8週	鳳梨	7~13	2~4週	甜橙	3~9	3~8週
番石榴	5~10	2~3週	橙柑	4	2~4週	番茄(綠)	13~21	1~3週
檸檬(綠)	13~15.5	1~6月	芒果	13	2~3週	番茄(熟)	8~10	4~7天

山藥	16	6~7月	甜椒	7~13	2~3週	胡瓜	10~13	10~14天
馬鈴薯	7	5~10月	甘藷	13~16	4~7月	薑	13	6月
南瓜	10~13	2~3月	芋	7~10	4~5月			

夏天氣候炎熱，氣溫常是三十幾度的高溫，對於蔬果產品的保存非常不利，運用免電冰箱將能創造出一個十幾度甚至十度以下的低溫環境，有利於蔬果的保鮮儲存，延長保鮮時間也減少了蔬果資源的浪費；另外，免電冰箱只要定期澆水，保持砂的濕潤即可發揮低溫保鮮的效果，無須使用電，對於用電日益吃緊的台灣而言，也是一種節能省電的積極運用，也是對地球環境有益的一種環保作為。

## 陸、討論與建議

- 一、免電冰箱要達到低溫保鮮的效果必須加水，而水的蒸發會從陶盆內帶走汽化熱，以達到降溫的效果，但是加水量要適當，水太多反而減少砂間空隙，降低蒸發作用而減少降溫幅度；水太少可能使蒸發作用時間縮減，因此加適當的水量及適時的補充水分是使免電冰箱持續維持低溫的必要操作。
- 二、盆間的填充物以保水性高，能保持濕潤性的材質為佳；加入的水溶液應避免有雜質，以免堵塞陶盆孔隙；酒精揮發性高，降溫效果佳，但成本高不利推廣使用，而水由於有強的氫鍵，汽化熱高，建議以純水為最合適水溶液。
- 三、高溫、低濕環境有利免電冰箱降溫效果，另外戶外的陰涼通風處最適合擺置免電冰箱。
- 四、溫度、濕度會影響免電冰箱的降溫效果，且溫濕度也會互相影響，另外壓力也會影響水的蒸發，這些環境因素，在國小礙於設備不足，不易控制，因此實驗設計還有再改善的空間。
- 五、台灣號稱水果王國，一年四季都有各種盛產的蔬果，運用免電冰箱將能延長保鮮天數，減少冰箱耗能，進一步提升節能省電的成效。
- 六、在實驗器材的材料部分，目前未能找到比陶盆更有效的材質，僅知外盆要用有孔隙的材質促進水分蒸發，方能有效降低溫度，是否有比陶盆更佳的材質，後續可以再研究。
- 七、免電冰箱雖然不耗電，但必須定期補充水分，讓砂保持濕潤，使蒸發現象得以持續，以達到低溫保鮮的效果，後續也可以針對定期補水設施進一步設計發展。

## 柒、結論

- 一、水與盆內溫度的關係：
  - (一) 加水是免電冰箱能降溫的關鍵因素，水的汽化熱是盆內降溫的主因。
  - (二) 水量過多或不足皆會產生降溫效果變差的情形。
  - (三) 加入不同水溫的水，在一開始的起始溫度會有差異，但隨著時間盆內溫度會逐漸趨同至目標溫度，不同水溫對盆內降溫的目標溫度並沒有影響。
- 二、組成材質的差異與盆內溫度的關係：
  - (一) 保水能力佳且能留有較多孔隙的填充物降溫效果較佳。
  - (二) 內盆以陶盆效果較佳，內盆材質熱傳導性的高低並未能證實出是否為影響降溫的主要因素，且熱傳導性佳的物質吸熱快、散熱也快，因此內盆材質是否影響盆內溫度

尚無法確認，待後續研究。

- (三) 外盆材質以陶盆效果較佳，保麗龍、紙盒次之，外盆具有孔隙以增進水的蒸發作用，是影響免電冰箱降溫的重要因素。
- (四) 加入的溶液，因汽化熱或本身的揮發性差異，會影響降溫效果，水由於有強的氫鍵，汽化熱高，成本低，是最適合使用的溶液。
- (五) 溶液中具有顆粒雜質會堵住外盆孔隙者會降低降溫效果，故建議使用純水。

### 三、盆外環境差異對盆內溫度的關係：

- (一) 架高盆子可以增加外盆的蒸發作用面積，增進降溫效果。
- (二) 吹風可以促進水的蒸發作用，能增進降溫效果。
- (三) 高溫度有利蒸發作用，能增進降溫效果；高濕度不利蒸發作用，會降低降溫效果。
- (四) 照射太陽雖能促進蒸發作用，增進降溫效果，但陽光的熱輻射等熱傳遞作用亦會提高免電冰箱溫度，反而抵消掉降溫效果，因此照射太陽反不利於免電冰箱的降溫。

### 四、探討汽化熱相關原理與免電冰箱的關係：

- (一) 免電冰箱與電冰箱的基本原理都是利用汽化熱的交換作用，將盆內溫度降低。雖然免電冰箱會受到熱傳遞作用而無法達到如電冰箱持續的低溫，但在沒有相關設備，如冷氣、保冷袋及沒有電的條件下，能有如此的降溫效果，以節能省電的角度而言，已有相當的成效。
- (二) 免電冰箱的外盆孔隙可以讓水、水氣、空氣流通，水到盆子外壁進行蒸發作用，水從液相轉為氣相需要吸收汽化熱，水分子間因有氫鍵，需要很高的汽化熱，導致免電冰箱盆內溫度降低。
- (三) 免電冰箱整個系統最終並未達成熱平衡，系統各部位仍存有溫差，因此仍有熱傳遞作用的進行，但溫度幾乎沒有變化，系統呈現一個熱的準平衡狀態。

五、台灣位屬熱帶與亞熱帶氣候，其中熱帶地區的蔬果不能忍受 13 度以下的低溫，此性質相當適合保存在免電冰箱中，且溫度降低有利於延長蔬果的保鮮期限。

## 捌、參考資料及其他

- 一、楊宏瑛（1995）。園產品保鮮法寶 II – 冷藏。花蓮區農業專訊，第 14 期，16-18。
- 二、國家教育研究院雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網（2002 年 2 月）。汽化熱。取自 <http://terms.naer.edu.tw/detail/1317471/>。
- 三、Panasonic-兒童探險家（2007）。電學博士的實驗室-電冰箱。取自 <http://discovery.panasonic.com.tw/electricity/lab/top4.html>
- 四、台灣 word（2013 年 7 月 17 日）。汽化熱。取自 <http://www.twword.com/wiki/%E6%B1%BD%E5%8C%96%E7%86%B1>
- 五、易西美（2000）。中國大百科智慧藏-汽化熱。取自 <http://163.17.79.102/%A4%A4%B0%EA%A4j%A6%CA%AC%EC/Content.asp?ID=44819>
- 六、維基百科（2016 年 12 月 6 日）。水的性質。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%B4%E7%9A%84%E6%80%A7%E8%B3%AA>
- 七、東京「神級」省電達人 4 年「零電費」生活（2016 年 5 月 19 日）。壹電視。取自：<http://www.nexttv.com.tw/news/realtime/international/11566032/%E6%9D%B1%E4%BA%AC%E3%80%8C%E7%A5%9E%E7%B4%9A%E3%80%8D%E7%9C%81%E9%9B%BB%E9%81%94%E4%BA%BA%E3%80%80%E5%B9%B4%E3%80%8C%E9%9B%B6%E9%9B%BB%E8%B2%BB%E3%80%8D%E7%94%9F%E6%B4%BB>

## 【評語】 080116

符合科學的假定和研究的方法，是一個實用的實驗。可以在缺乏電源的狀況下，提供一個臨時的冷藏設備，具環保與創意運用。

作品海報

# 摘要

一則「四年零電費」的新聞引起我們對免電冰箱的好奇，透過探討水、組成材質、盆外環境等因素與盆內溫度的關係，了解(1)水的汽化熱是免電冰箱降溫的主因，但水太多或太少，降溫效果反而不好(2)水溫並不影響最後的降溫效果(3)保水性佳且達到最大含水量的填充物有利於降溫(4)內盆材質的差異未有顯著影響(5)外盆材質具有孔隙降溫效果較佳(6)使用的液體避免含有顆粒雜質，以酒精最佳、純水次之，考量成本，建議使用純水(7)高溫度、低濕度、通風及較大的空氣接觸面積有利於降溫(8)照射太陽不利降溫。「水」有強的氫鍵，汽化熱相當高，應用於免電冰箱有良好的降溫效果，對蔬果保存，具有環保、節能、簡易的實用價值。

## 壹、研究動機

新聞畫面的「免用電冰箱」，將兩個大小不同的花盆重疊，在兩者之間填滿碎石，加入水後有保冷的效果！怪了，免電冰箱不需要用電就能降溫？原理是什麼？什麼條件能達到最好的效果？希望能找出免電冰箱的原理，並期望能找出最佳保冷的裝置方式，也期望在沒有相關設備，如冷氣、保冷袋及沒有電的條件下，創造出能降溫保鮮的環境。

## 貳、研究目的

### 一、探討水與盆內溫度的關係為何？

依以下不同條件，其他條件相同下，觀察陶盆內盆溫度的升降情形。

- (一) 加入不同的水量。
- (二) 加入相同水量但不同溫度的水。

### 二、探討組成材質的差異與盆內溫度的關係為何？

依以下條件，其他條件相同下，觀察陶盆內盆溫度的升降情形。

- (一) 同體積大小的陶盆，填入不同材質的填充物
- (二) 不同材質內盆搭配相同的陶盆外盆。
- (三) 不同材質外盆搭配相同的陶盆內盆。
- (四) 加入相同量但不同種類的水溶液。

### 三、探討盆外環境差異對盆內溫度的關係為何？

依以下條件，觀察陶盆內盆溫度的升降情形。

- (一) 有無吹風及有無架高的差異。
- (二) 在不同溫度、濕度的環境下。
- (三) 戶外陽光照射及陰影下。

### 四、參考文獻及網路資料，探討汽化熱的相關原理與免電冰箱的關係，並以熱力學角度分析。

### 五、參考文獻及網路資料，探討台灣蔬果的保鮮溫度及免電冰箱的應用價值。

## 肆、研究設備及器材

### 一、研究設備：

陶盆、砂、紅外線溫度計、乾溼溫度計、除濕機、保溫燈、烤箱、吹風機、黏土、電子秤、酒精、小蘇打水、汽水、土、吸水布、報紙、碎石、塑膠袋、鐵罐、鋁罐、塑膠盆、紙箱、量杯、篩子、塑膠盒、托盤、保麗龍板、保麗龍切割器、紙杯、上漆陶盆、鹽、三腳架、風扇、玻璃杯、塑膠杯、碼表、鹽水、地下水、逆滲透水、簡易風力計、數位溫度計

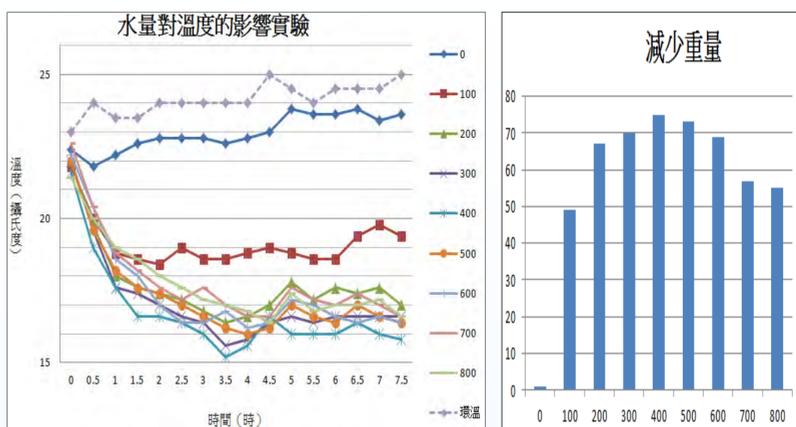
### 二、自製保冷裝置：免電冰箱



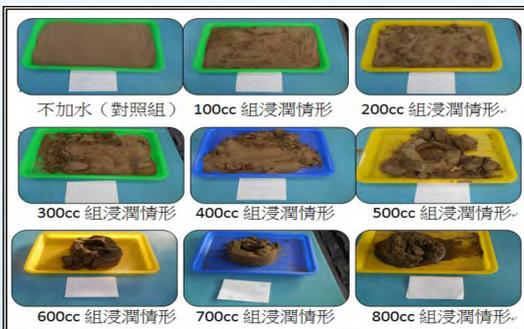
## 伍、研究過程與結果

### 研究一：水在免電冰箱中對溫度的影響？

#### 實驗一：不同水量對盆內溫度的影響？



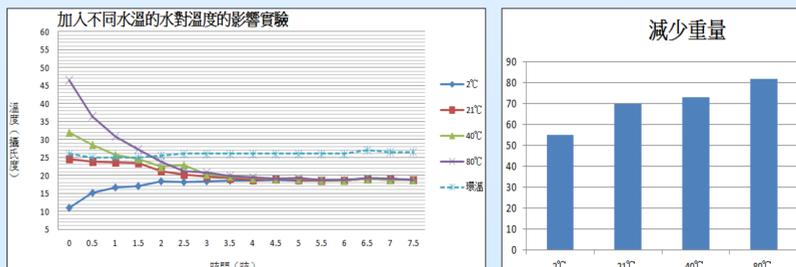
- ◆ 不加水完全沒有降溫現象，確認水是免電冰箱降溫的關鍵因素，水蒸發的汽化熱是降溫的主因。
- ◆ 加水 200 ~ 600cc 降溫效果最好，100cc 組溫度回升推測是水量太少會影響降溫的持續性，因此免電冰箱必須定期加水，保持足夠水份。
- ◆ 加水 700 ~ 800cc 的降溫效果反而較差，推測是水量太多會影響降溫效果。



#### 實驗一-2：砂的含水量測試

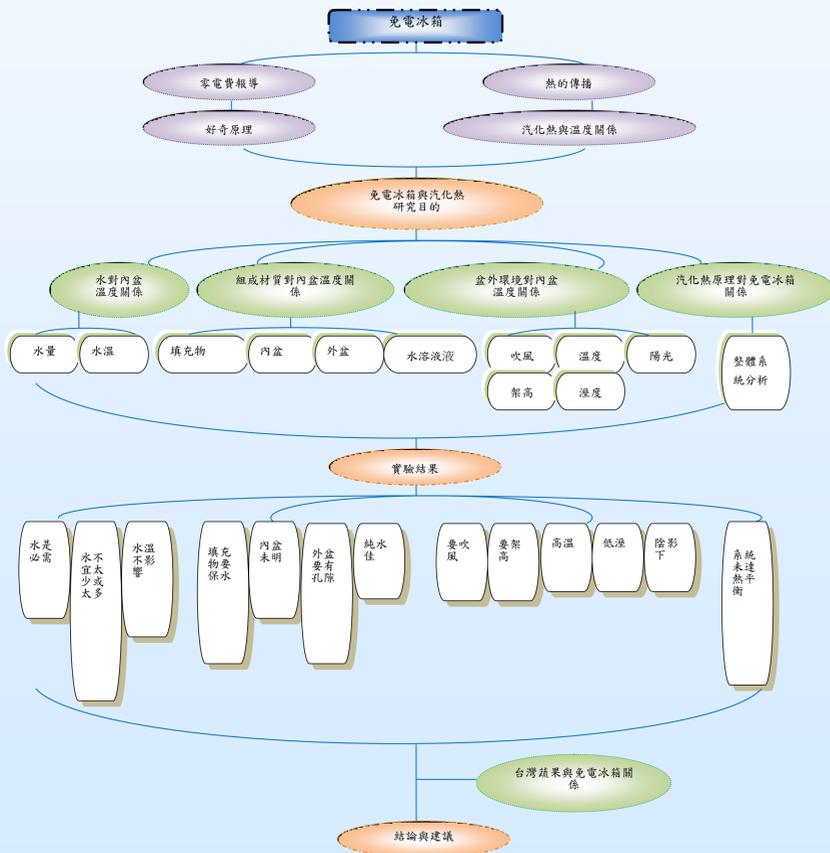
項目	2000g 砂
平均含水量	510cc

#### 實驗二：不同水溫的水對盆內溫度的影響？



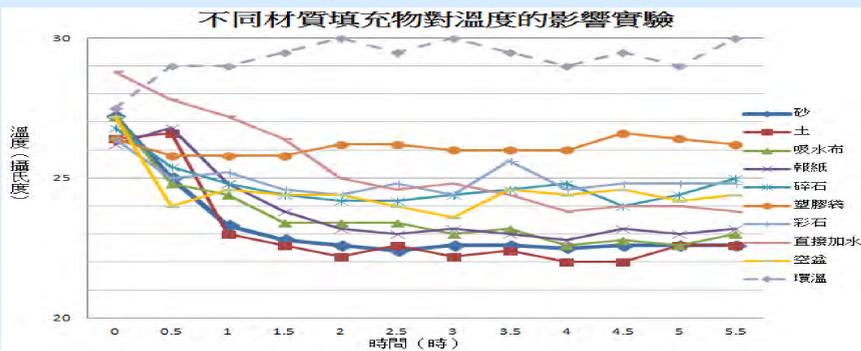
- ◆ 加入水溫不同並不影響免電冰箱最後的目標溫度

## 參、研究架構



## 研究二：各項材質差異對盆內溫度的影響

### 實驗三：不同材質填充物對溫度的影響

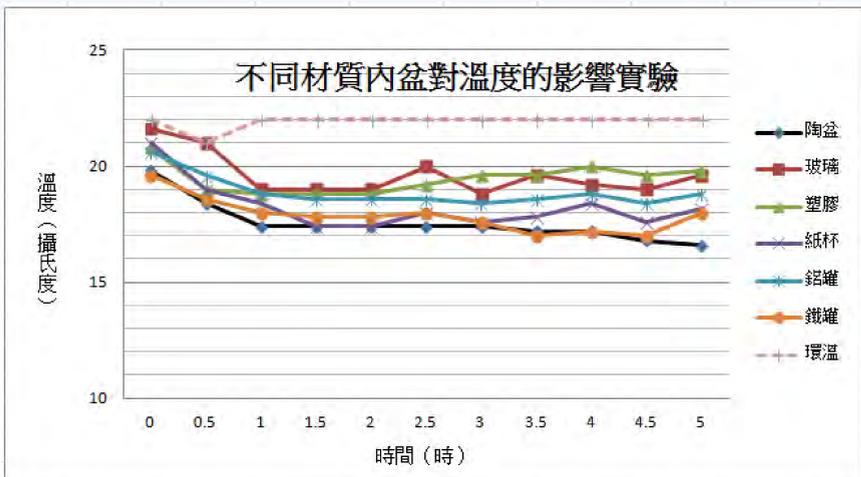


表十 不同材質填充物吸水量

材質	砂	土	吸水布	報紙	碎石	彩石	塑膠袋	內盆
重量 g	2000	1700	141	196.5	2000	1830	43	321
吸水量	510 cc	880 cc	900 cc	500 cc	70 cc	40 cc	30cc	130 cc

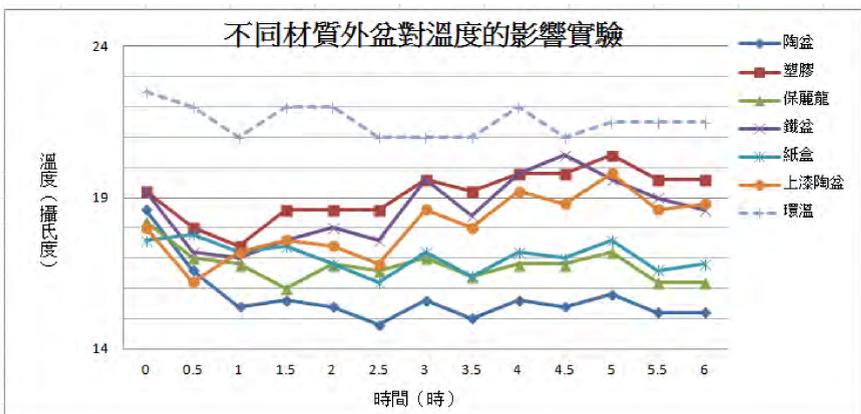
- ◆保水性高、具有縫隙的填充物降溫效果較佳。
- ◆直接加水組的降溫效果反而較差，比照實驗一，推測加水太多，水填滿砂間孔隙，反而不利蒸發降溫。

### 實驗四：不同材質內盆對盆內溫度的影響

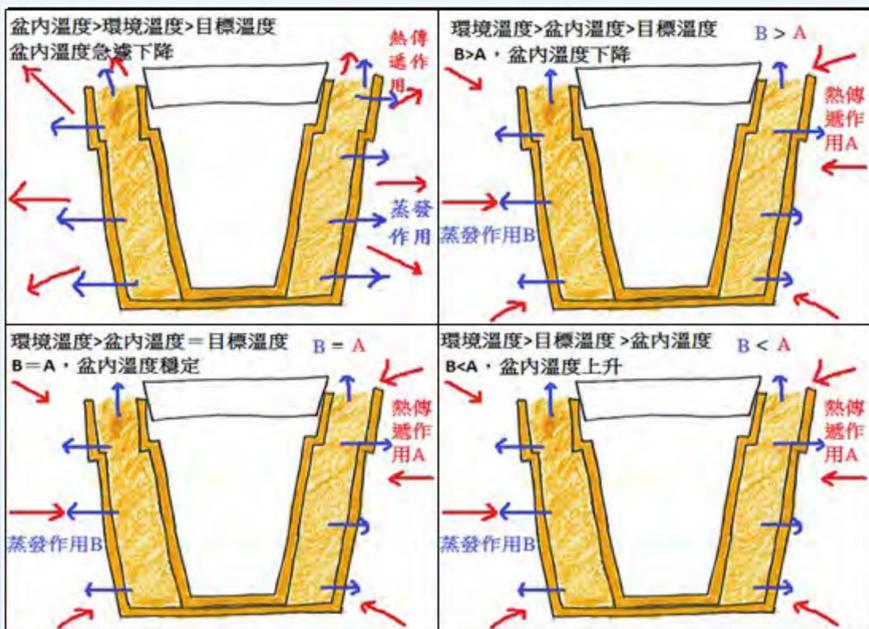


- ◆內盆材質的導熱性並不是影響內盆溫度變化的關鍵因素。
- ◆依實驗結果推測，內盆材質的差異對盆內降溫的影響性可能不大。
- ◆本次實驗並未明確的發現盆內降溫最佳的內盆材質，此部份有待後續進一步研究。

### 實驗五：不同材質外盆對盆內溫度的影響

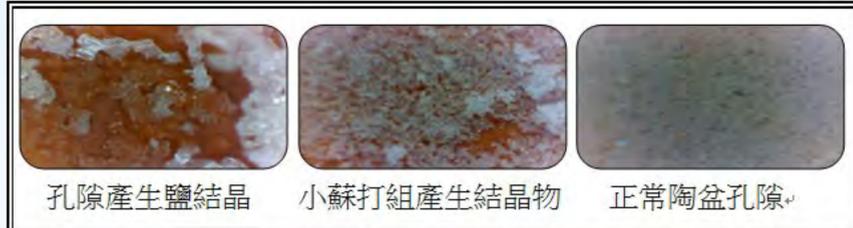
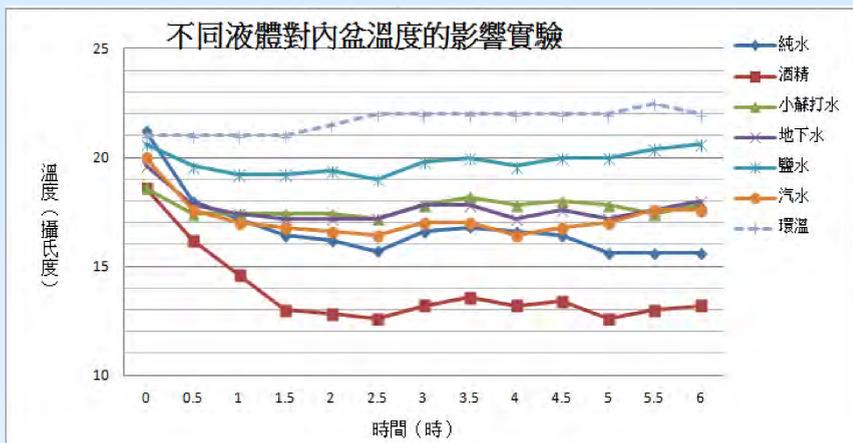


- ◆推測外盆材質必須具有孔隙，應該是能有較佳降溫效果的關鍵因素。
- ◆整合實驗二和實驗五結果，推論免電冰箱的盆內溫度會受到熱傳遞作用及水蒸發作用的影響，當盆內溫度低於環境溫度時，外界的熱量就會傳入盆內，溫差越大，傳入的熱量會越大；水的蒸發作用則會帶走汽化熱；當盆內溫度、環境溫度、目標溫度不同時，兩種作用會產生不同的結果。



圖九 不同條件的熱傳遞及水蒸發作用示意圖

## 實驗六：不同水溶液對盆內溫度的影響

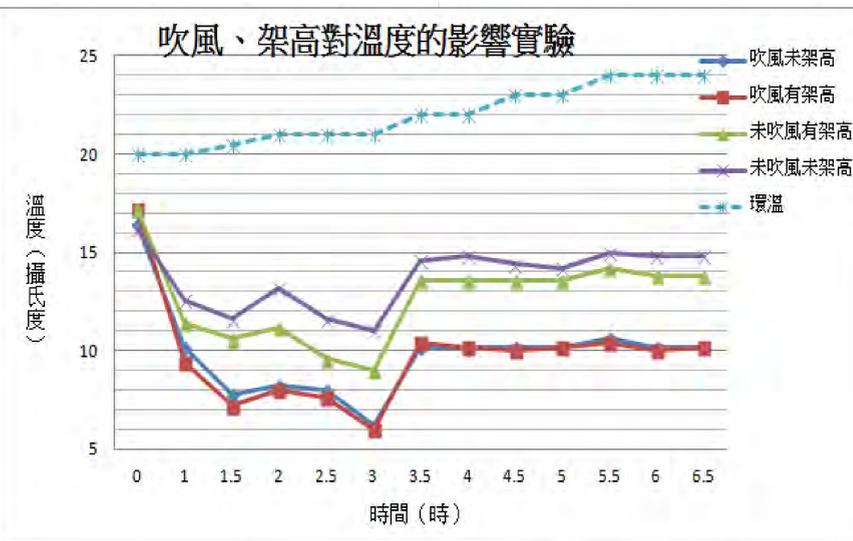


圖十一 電子顯微鏡觀測外盆

- ◆外盆具有孔隙將有助於蒸發作用，水溶液如果含有顆粒將會堵住孔隙，影響蒸發作用的進行。
- ◆酒精本身具高揮發性，對盆內降溫效果顯著，不過因酒精揮發快速，如要長時間降溫，需一直補充酒精，成本高。
- ◆加入的液體若含有不適當的物質，除了會使免電冰箱不潔淨外，很有可能會使盆內食物也遭受污染。
- ◆免電冰箱的溶液建議使用純水。

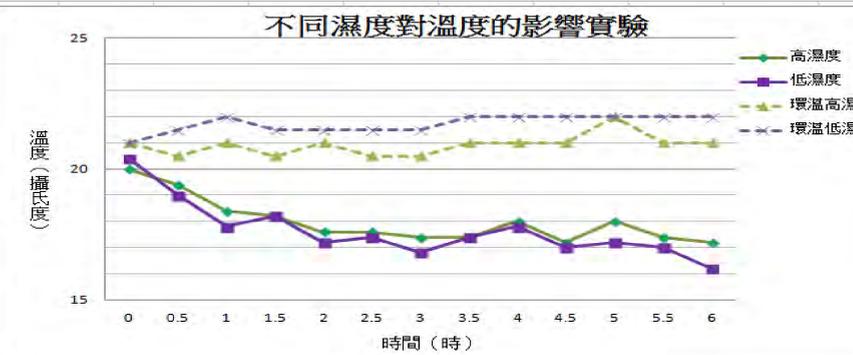
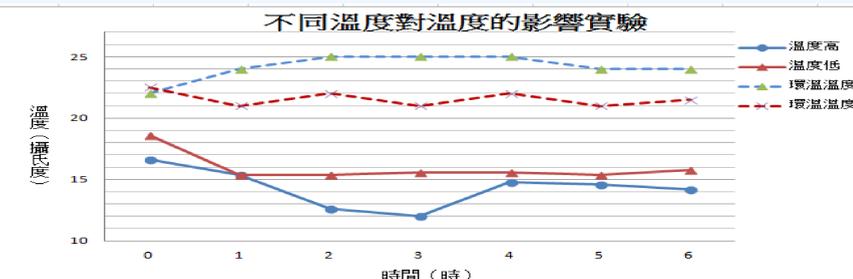
## 研究三：環境變化對盆內溫度的影響

### 實驗七：盆子架高及吹風對溫度的影響



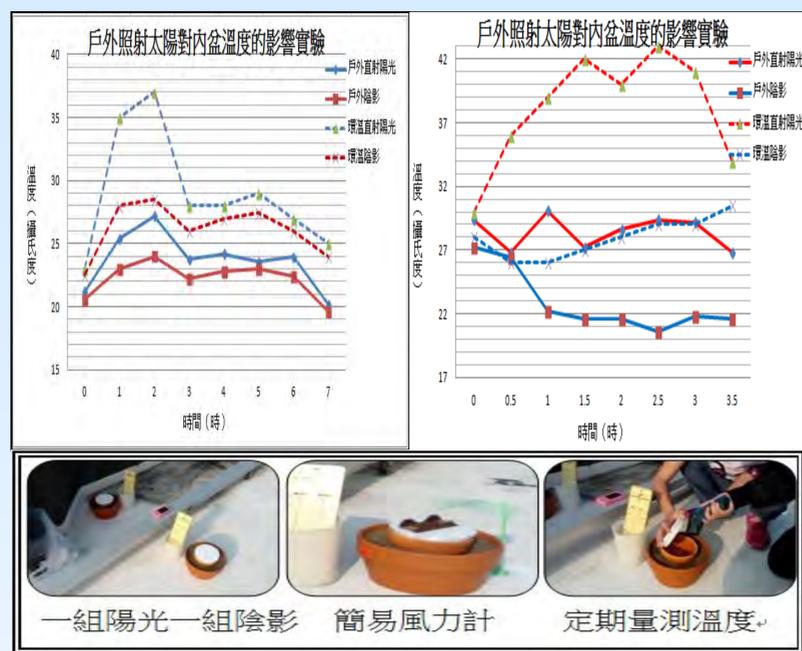
- ◆吹風是影響溫度下降的重要因素之一，我們認為免電冰箱放在戶外通風處的降溫效果較佳。
- ◆架高會使外盆底部也能進行蒸發作用，增加蒸發作用的面積將有助於降溫。

### 實驗八：不同的濕度對溫度的影響



- ◆高溫度、低濕度的環境，有較好的降溫效果。
- ◆推測免電冰箱在夏天的保鮮功能會有較好的發揮。

## 實驗九：戶外照射太陽對盆內溫度的影響



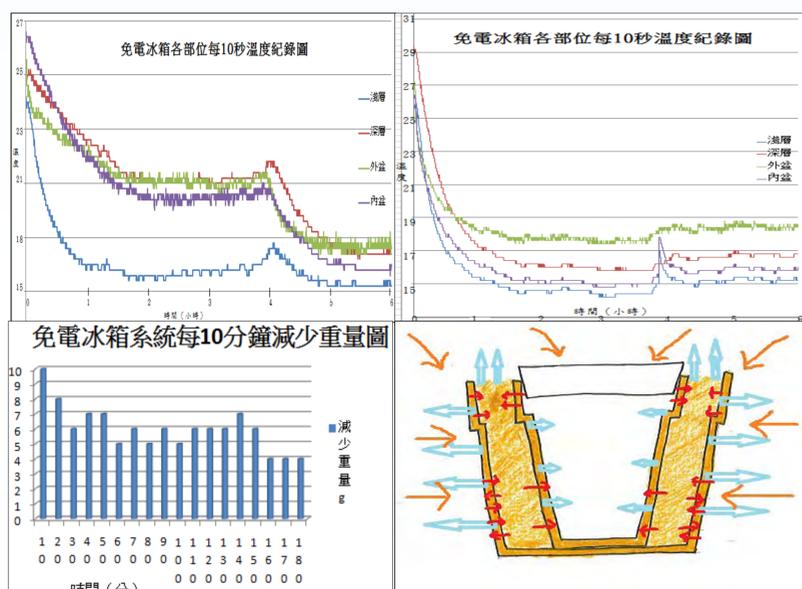
圖十四 研究三實驗(九)圖示

- ◆戶外有風且環境溫度較高，蒸發作用較強，但因陽光的輻射熱等熱傳遞作用，抵銷了溫度降幅。
- ◆推論免電冰箱應放於戶外有風吹拂的陰涼處。

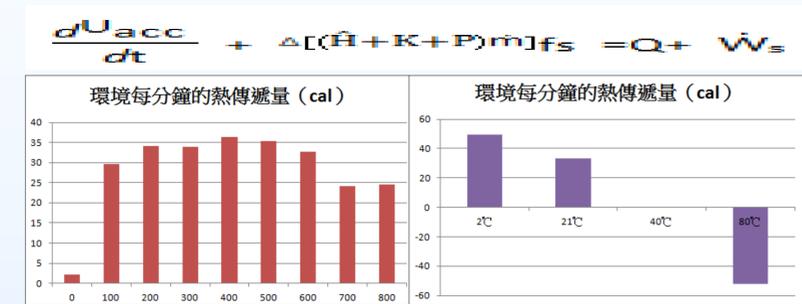
## 研究四：探討汽化熱的相關原理與免電冰箱的關係

- ◆水因為具有氫鍵，水的汽化熱比一般液體高。
- ◆免電冰箱的運作原理是透過水的自然蒸發，包含從填充砂的表面及外盆的孔隙間蒸發，從免電冰箱中帶走所需的汽化熱，而達到低溫的目的。

## 實驗十：免電冰箱降溫過程中溫度的變化



- ◆砂淺層及外盆是水蒸發主要部位，降溫率一開始最佳，內盆使用陶盆，推論也有水的蒸發作用，才能一開始就降溫；砂的深層則沒有蒸發作用。
- ◆整個系統並未達成熱平衡，最終各部位仍存有溫差，推論整個系統呈現一個熱的準平衡狀態。



## 研究五：探討台灣蔬果的保鮮條件及免電冰箱的應用價值

- ◆蔬果產品貯藏在愈低溫下，產品的品質和重量愈得以保持，但熱帶地區的蔬果產品不能忍受13°C以下的低溫，以免產生寒害。
- ◆免電冰箱能創造十幾度甚至十度以下的低溫環境，有利於蔬果的保鮮儲存，延長保鮮時間也減少了蔬果資源的浪費。
- ◆運用免電冰箱是節能省電，也是一種環保作為。

## 捌、參考資料及其他

- 一、楊宏瑛 (1995)。園產品保鮮法寶 II - 冷藏。花蓮區農業專訊，第 14 期，16-18。

## 陸、討論與建議

- 一、免電冰箱利用水的蒸發會從陶盆內帶走汽化熱，以達到降溫的效果，但是加水量要適當，水太多反而減少砂間空隙，降低蒸發作用而減少降溫幅度；水太少可能使蒸發作用時間縮減，因此**加適當的水量及適時的補充水分**是使免電冰箱持續維持低溫的必要操作。
- 二、盆間的填充物以**保水性高**，能保持濕潤性的材質為佳；加入的水溶液應**避免有雜質**，以免堵塞陶盆孔隙；酒精揮發性高，降溫效果佳，但成本高不利推廣使用，而**水由於有強的氫鍵，汽化熱高**，建議以**純水**為最合適水溶液。
- 三、**高溫、低濕**環境有利免電冰箱降溫效果，另外戶外的**陰涼通風處**最適合擺置免電冰箱。
- 四、溫度、濕度會影響免電冰箱的降溫效果，國小礙於設備不足，實驗環境控制能力有限，實驗設計還有再改善的空間。
- 五、**台灣**號稱水果王國，四季都有各種盛產的蔬果，**運用免電冰箱將能延長保鮮天數，減少冰箱耗能，進一步提升節能省電的成效**。
- 六、在實驗器材的材料部分，是否有比陶盆更佳的材料，後續可以再研究。
- 七、免電冰箱必須定期補充水分，後續也可以針對定期補水設施進一步設計發展。

## 柒、結論

- 一、**水與盆內溫度的關係**：
  - (一)加水是免電冰箱能降溫的關鍵因素，**水的汽化熱是盆內降溫的主因**。
  - (二)水量過多或不足皆會使降溫效果變差。
  - (三)不同水溫對盆內降溫的目標溫度並沒有影響。
- 二、**組成材質的差異與盆內溫度的關係**：
  - (一)**保水佳且能有較多孔隙**的填充物降溫效果較佳
  - (二)內盆以陶盆效果較佳，內盆材質熱傳導性的高低並未能證實出是否為影響降溫的主要因素。
  - (三)**外盆是否具有孔隙**來增進水的蒸發作用，是影響免電冰箱降溫的重要因素。
  - (四)加的溶液，因汽化熱或揮發性差異，會影響降溫；**水有強的氫鍵，汽化熱高，最建議使用**。
  - (五)溶液中具有顆粒雜質會堵住外盆孔隙者會降低降溫效果，故建議使用純水。
- 三、**盆外環境差異對盆內溫度的關係**：
  - (一)**架高盆子可增加外盆蒸發作用面積**，增進降溫
  - (二)**吹風**可促進水的蒸發作用，能增進降溫效果。
  - (三)**高溫度、低濕度**有利蒸發作用，增進降溫。
  - (四)照射太陽反不利於免電冰箱的降溫。
- 四、探討汽化熱相關原理與免電冰箱的關係：
  - (一)在沒有相關設備，如冷氣、保冷袋及沒有電的條件下，能有如此的降溫效果，以節能省電的角度而言，已有相當的成效。
  - (二)水分子間因有氫鍵，需要很高的汽化熱。
  - (三)免電冰箱最終呈現熱的準平衡狀態。
- 五、**台灣**位熱帶與亞熱帶，盛產水果，適合保存在免電冰箱，且溫度降低有利延長蔬果的保鮮。

- 二、國家教育研究院雙語詞彙、學術名詞暨辭書資訊網 (2002 年 2 月)。汽化熱。
- 三、Panasonic-兒童探險家 (2007)。電學博士的實驗室-電冰箱。
- 四、台灣 word (2013 年 7 月 17 日)。汽化熱。
- 五、易西美 (2000)。中國大百科智慧藏-汽化熱。
- 六、維基百科 (2016 年 12 月 6 日)。水的性質。