

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 環境學科

第三名

052602

穿針凝水—利用針尖除溼集水

學校名稱：國立花蓮高級中學

作者： 高二 白泓均 高二 范庭恩 高二 李瑋樺	指導老師： 莊文治 胡育豪
---	-----------------------------

關鍵詞：針尖凝水、仿生、除濕

摘要

本研究藉由仿生沐霧甲蟲，利用物理方法設計針尖除濕器，探討不同種類針尖、不同針尖長度與其除濕能力的關係，並將設計的除濕器與市售除濕劑的比較。研究結果發現當在相對濕度為 99.9%時，使用針灸針當作針尖，除濕能力可比市售水玻璃優良，且將針灸針的針尖噴上防水噴霧後，其除濕能力更是可媲美市售除濕劑「克潮靈」。而在測試相對濕度 90%時，發現將除濕器通電可大幅提升除濕能力。又「克潮靈」所收集到的水為弱鹼性，若倒進土壤易造成傷害；水玻璃則在還原使用時需大量耗能，但本除濕器克服兩者缺點，使除濕過程不需大量耗能且收集到的水可重複使用，非常符合環保的需要。

壹、研究動機

台灣因四周環海且又位於亞熱帶季風區，是典型的海島型氣候，致使高溫多雨造成台灣的相對濕度較高，下雨後濕度易達到 80~90%，高出我們人體舒適濕度 60~70%許多，如表一中，以花蓮地區為例：年均溫可達 23.4°C，年均相對濕度為 77.8%。而其中櫃子、抽屜等密閉小型空間濕氣不易排除，常造成金屬物品生鏽、皮夾以及木製物品發霉，更甚至引起塵蟎產生，危害人體健康。

	平均溫度			平均相對濕度			參考資料
花蓮	春季(3~5 月)	22.7°C	年均溫 23.4°C	春季(3~5 月)	79.6%	年平均相 對溼度 77.8%	中央氣象局
地區	夏季(6~8 月)	27.9°C		夏季(6~8 月)	79.1%		
氣候	秋季(9~11 月)	24.6°C		秋季(9~11 月)	76.7%		
統計	冬季(1~12 月)	18.6°C		冬季(1~12 月)	75.8%		
衣櫃	夏季：25°C、冬季：20°C			70%			家中測試

(表一)

而生活中常見的除濕方式，分為大型空間使用的壓縮機或除濕輪，這兩種除濕機對大空間來說除濕效果雖好，但十分耗能且會有冷媒汙染之慮。另一種則是應用在小型空間的除濕劑，這類型除濕劑普遍特點就是只具一次利用性，不然就是可多次利用，但是過程會消耗大量能源，這兩類除濕劑都會對環境造成不小的傷害，像克潮靈收集的水若氯化鈣濃度稍高，便會呈弱鹼性；水玻璃雖對環境無害，還原時卻會需要吸收大量能量。

自然界中有許多動植物可利用其結構或構造，來達到凝結空氣中水分而集水，例如：仙人掌、沐霧甲蟲。其中沐霧甲蟲是利用背部的凸起，使水珠凝結在上方（如圖 1 所示），這種方法無需耗費大量能源且具可重複利用之特性。

我們由仿生的角度思考，利用細長凸起面集水這種特性，用針取代沐霧甲蟲凸起，並將針尖通以電壓模擬沐霧甲蟲背部凸起尖端之親水性，設計兼具環保和高效能之除濕器，來改善密閉小型空間的潮濕。

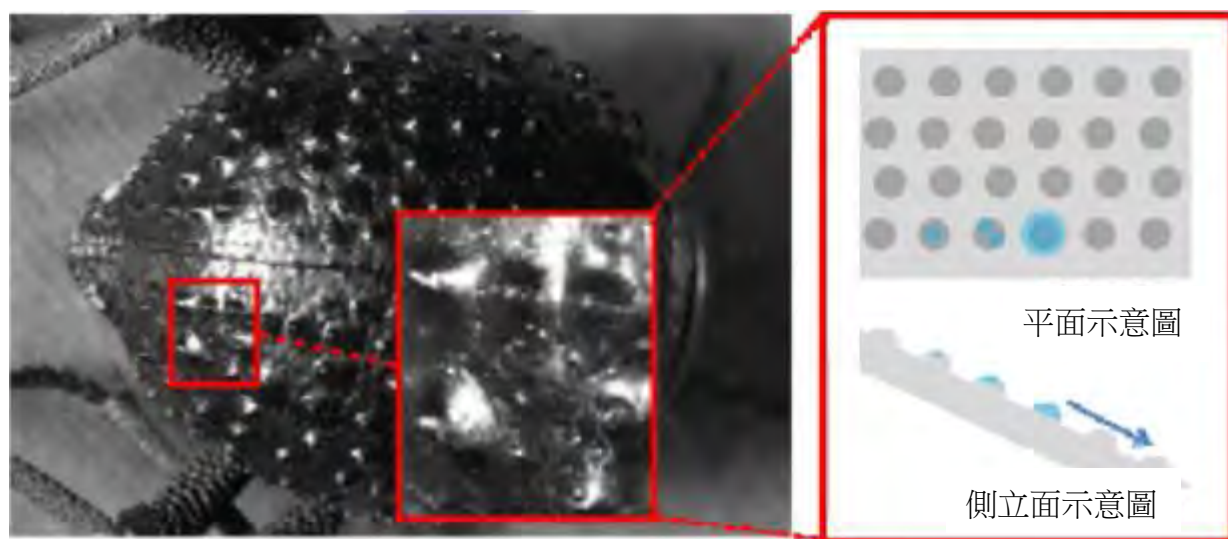


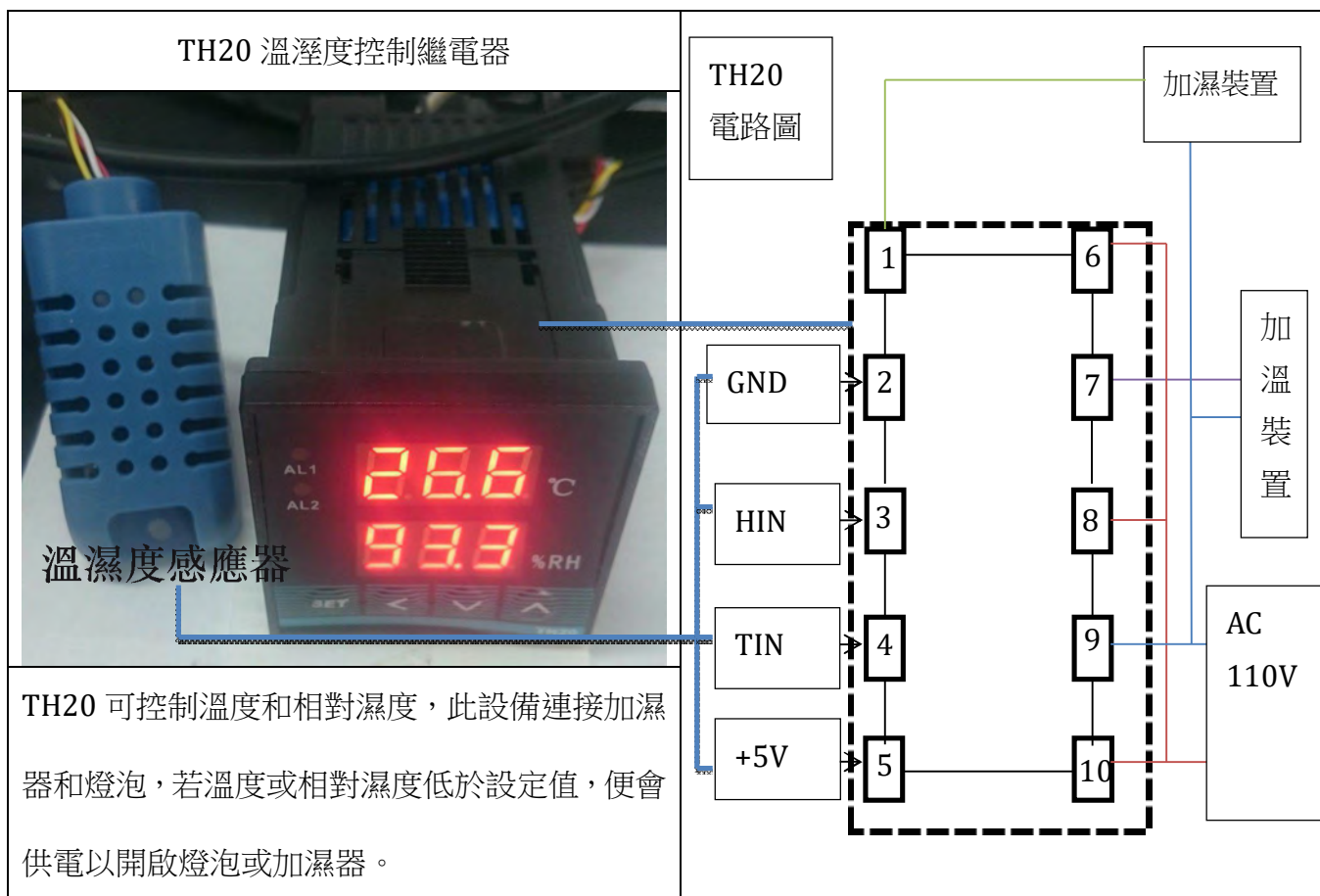
圖 1

貳、研究目的

- 一、 製作除濕器模組
- 二、 由實驗找出最高效能除濕器
 - (一) 改變針尖種類
 - (二) 改變針尖長度
 - (三) 加防水噴霧
 - (四) 將針尖通電
- 三、 探討自製除濕器與市售除濕劑之比較

參、研究設備及器材

一、 實驗儀器

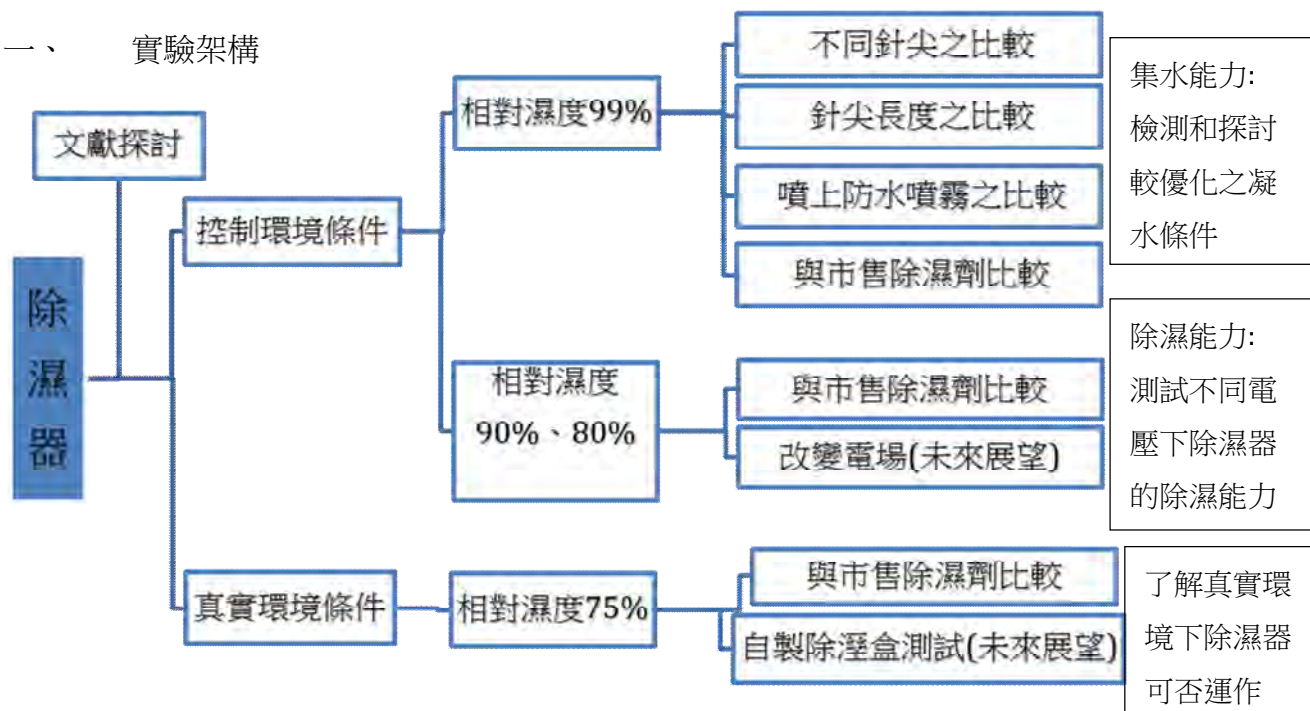


二、 實驗材料與工具

縫衣針 (長度 2.5cm、直徑 0.07mm)	燈泡 (40W、60W)	水玻璃	電源供應器
漆包線 (長度 0.5、1、1.5cm、直徑 0.05mm)	電子天秤 (精確度為 0.01g)	克潮靈	熱敏電阻
排針 (長度 1cm、直徑 0.07mm)	魚缸 (44*27*29cm ³)	杜邦座	優塑板
針灸針 (長度 1.5cm、直徑 0.02mm)	風扇 (10V、1.5W)	筆電	麵包板
溫濕度計 (溫度誤差±1°C、 相對濕度誤差±5%)	金屬板	膠帶	防水噴霧

肆、 研究過程及方法

一、 實驗架構



二、 研究原理

1. 仿生機制：納米布沙漠甲蟲，因覆蓋後翅和腹部的翅鞘（特化堅硬前翅）具疏水性基底和不對稱親水性的凸起，每個凸起直徑約為 0.5mm，高約為 0.4mm，間距約

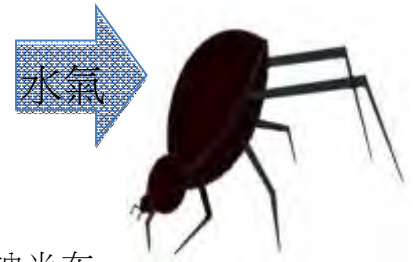


圖 2

0.5~1.5mm。當棲地充滿霧氣或因日夜溫差可能結露時，納米布沙漠甲蟲會爬上沙丘，利用一種特稱為「沐霧」的行為攝取水份：如圖 2 所示，低首仰背，將翅鞘以一角度迎向風面，集水約十分鐘後，親水的凸起處形成直徑約 1~40 μ m 的微水滴，相鄰水滴聚合成約 5mm 大水滴或觸及疏水基底而從親水凸起端滑落，淨空之凸起持續空氣集水的循環。

2. 針尖凝水原理：針尖凝水主要由溫度梯度和濃度梯度的變化造成水份凝結。如圖 3 可知，由於針尖部分的空氣溫度變化較大，空氣流經針旁時會快速的降溫，且當層流的空氣聚在一起通過針尖，造成針尖上的空氣密度大，也代表水份密度也會增加，而其中部分空氣會撞擊針

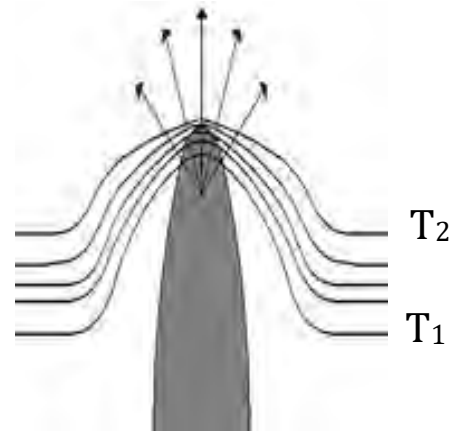


圖 3

尖而減少了動能，使得空氣溫度降得更低，這三種條件促使水份凝結於針上。

3. 水的偶極性（如圖 4）：因水為極性分子，而導體表面尖銳的地方電荷分佈比較密集，它的附近電場強度較大可以吸引水分子聚集凝結。

（如圖 4）

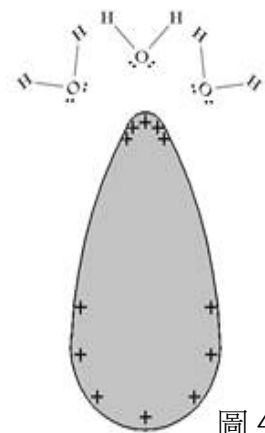
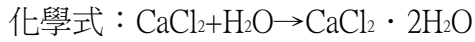
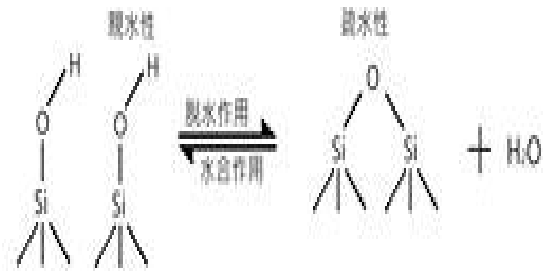


圖 4

4. 克潮靈除濕原理：克潮靈由無水氯化鈣組成，而無水氯化鈣和的水合物都是容易潮解的白色固體，常用作乾燥劑，極易溶於水，且溶於水型呈弱鹼性，與水可形成一、二、四、六水合物，存在狀態主要受溫度的影響。



5. 水玻璃除濕原理：水玻璃由矽凝膠組成，而矽凝膠為一非晶形二氧化矽($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)，表面具有 OH 基與不定量的水分子，可藉由製造程序的不同調整其孔洞結構。於室溫狀態下，矽凝膠因表面存在大量 OH 基，屬親水性物質，



當溫度升高時，表面 OH 基被熱脫除形成矽氧鍵結，則逐

圖 5

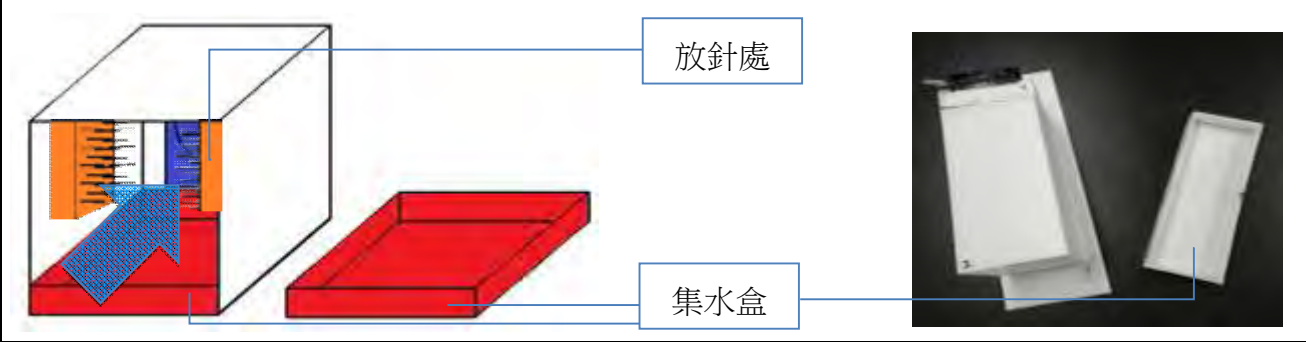
漸呈現疏水特徵，如圖 5 所示。由於溫度差異可造成矽凝膠表面親疏水性顯著改變，並影響其水氣吸附與脫附能力，由於材料穩定度高，使得矽凝膠常見於市售除濕劑裡。

三、 製作除濕器模型

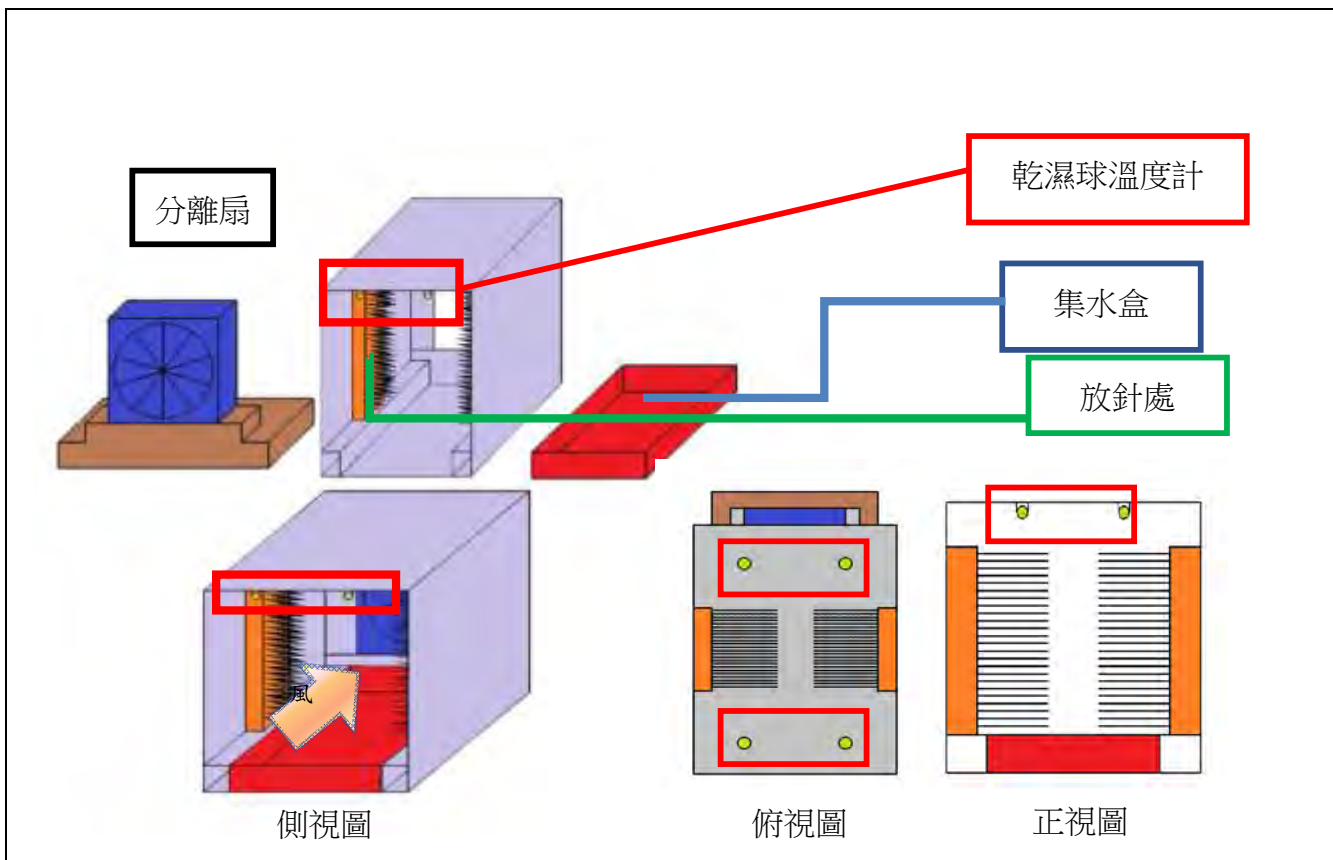
(一) 第一代除濕器模型

製作	利用優塑板做出空心四面體 ($17.5 * 8 * 7 \text{ cm}^3$)，其中一邊加裝風扇 (10V、1.5W)，風扇方向朝除濕器內部吹動，水氣進入模型。
特點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可主動吸入空氣 2. 水滴易殘留在風扇上，容易造成測量的誤差 3. 測量時風扇需關閉電源且集水不易 4. 針置放於下方

(二) 第二代除濕器模型

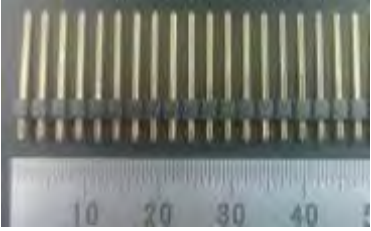



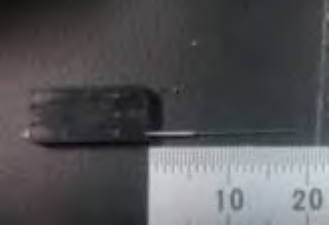


	
製作	將第一代的模型加大 (20 * 7 * 10 cm ³)，內部加裝集水盒，可讓針上的水滴因重力而滴落在盒子裡，風扇則改成由內吹到外。
特點	<ol style="list-style-type: none">1. 空氣經過針後，才穿過風扇，減少水份凝結在風扇上的誤差量2. 有集水盒可以收集水3. 測量時風扇需關閉電源且集水不易

(三) 第二代除濕器模型



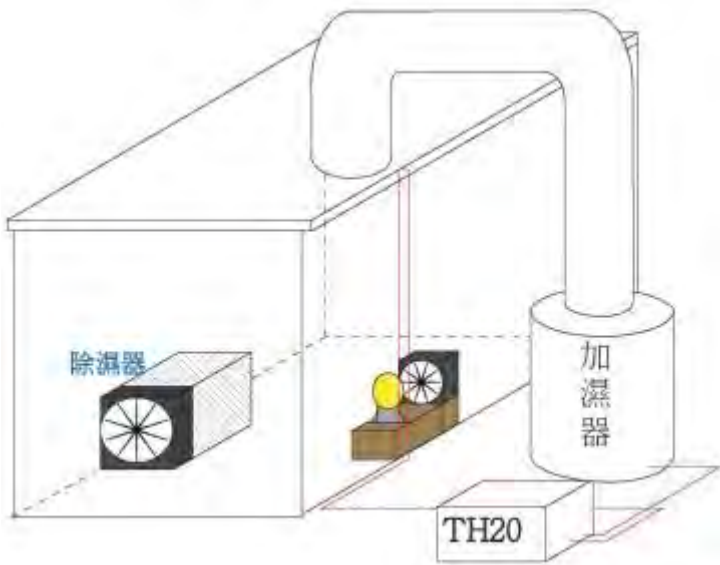
<p>發想</p>	<p>因前兩代風扇上會積水，雖然第二代有稍作改良，但問題並非完全排除，因此我們將風扇分離，改善積水的問題。另外在出入口加裝熱敏電阻，將測到的溫度去推算兩邊的含濕量差。</p>
<p>製作</p>	<p>將原除濕器模型上的風扇分離，除濕器大小為（$17*7*10\text{ cm}^3$）。</p>
<p>特點</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不會有水滴殘留在風扇上的誤差 2. 設置乾濕球溫度計後，可用程式(NI Labview 2016)測量數據，不會有手觸碰除濕器時造成的誤差 3. 分離扇與分離盒有良好的密合度 4. 針置放於兩側

(四) 針組的製作和放置

排針 (長度 1cm, 直徑 0.07mm)	縫衣針 (長度 2.5cm, 直徑 0.07mm)
<p>排針以 20 個為一組, 夾入長方形優塑板中, 一優塑板夾入 5 組, 除濕器左右各垂直放置一優塑板, 總針數為 200 根。</p>	<p>將縫衣針插入麵包板中, 每 10 隻針為一排, 一麵包板插 10 排, 除濕器左右各垂直放置一麵包板, 共 200 根。</p>
 <p>排針尺度圖</p>	 <p>縫衣針尺度圖</p>
 <p>排針排列圖</p>	 <p>縫衣針排列圖</p>
<p>漆包線 (長度 0.5、1、1.5cm, 直徑 0.05mm)</p>	<p>針灸針 (長度 1.5cm, 直徑 0.02mm)</p>
<p>將漆包線等間隔黏至鋁箔紙版上, 每 20 個為一排, 除濕器左右各放置 5 排漆包線組, 共 200 根。</p>	<p>將針灸針插入杜邦座中, 每 20 隻針為一排, 除濕器左右各放置 5 排杜邦座組, 共 200 根。</p>
 <p>漆包線尺度圖</p>	 <p>針灸針尺度圖</p>
 <p>漆包線排列圖</p>	 <p>針灸針排列圖</p>

四、 環境模型製作

- (一) 以魚缸作為一密閉式環境模型，上方以優塑板蓋住（可開關）。
- (二) 在一組木塊上方裝置一 40W 燈泡及風扇（10V、1.5W），以 TH20 接燈泡、加濕器，調整環境溫濕度，當溫度低於設定值啟動加溫，濕度低於設定值啟動加濕。
- (三) 風扇接電線出魚缸，以電源供應器供電。



五、 實驗方法（以下實驗皆使用第三代除濕器模型）

（一） 研究一：測試不同種類的針

1. 實驗方法

將環境模型加濕並維持在相對濕度 99.9%、溫度 $25\pm 1^\circ\text{C}$ ，將除濕器放入，每 10 分鐘拿出來測量重量，一組實驗測量 6 次，共做 3 組，並取平均繪製重量（W）-時間（t）圖作比較。

- 2. 操縱變因：長度 1cm 排針、長度 2.5cm 縫衣針、長度 1.5cm 針灸針、長度 1cm 漆包線

(二) 研究二：測試不同長度的針

1. 實驗方法

將環境模型加濕並維持在相對濕度 99.9%、溫度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，將除濕器放入，30 分鐘拿出來測量重量，一組實驗測量 1 次，共做 3 組，並取平均繪製重量 (W) -時間 (t) 圖作比較。

2. 操縱變因：針灸針長度 (0.7cm、1.0cm、1.2cm、1.4cm)

(三) 研究三：測試有無噴上防水噴霧的針

1. 實驗方法

將環境模型加濕並維持在相對濕度 99.9%、溫度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，將除濕器放入，每 10 分鐘拿出來測量重量，一組實驗測量 6 次，共做 3 組，並取平均繪製重量 (W) -時間 (t) 圖作比較。

2. 操縱變因：有無噴防水噴霧 (測試 1.5cm 漆包線和針灸針)

(四) 研究四：測量市售除濕劑

1. 實驗方法

將環境模型加濕並維持在相對濕度 99.9%、溫度 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，將市售除濕劑放入無針組的除濕器中，再將除濕器放入環境模型中，每 10 分鐘拿出來測量重量，一組實驗計 6 次，共做 3 組，並取平均繪製重量 (W) -時間 (t) 圖作比較。

2. 操縱變因：克潮靈、水玻璃。

(五) 研究五：測試市售除濕劑於自然環境下集水能力

圖 7

1. 實驗方法

分別將 50g 的克潮靈和水玻璃放入紙杯中，置於實驗室通風處(如圖 7)，室溫約在 20°C~26°C 間，相對濕度約在 70%~80% 之間，並繪製重量 (W) -時間 (t) 圖作比較。



(六) 研究六：

1. 基本設定實驗：熱敏電阻熱溫性質曲線

利用鐵架及三角夾懸掛熱敏電阻和酒精溫度計，置入燒杯，燒杯裝水，使熱敏電阻之感應端沒入水中，測量不同溫度

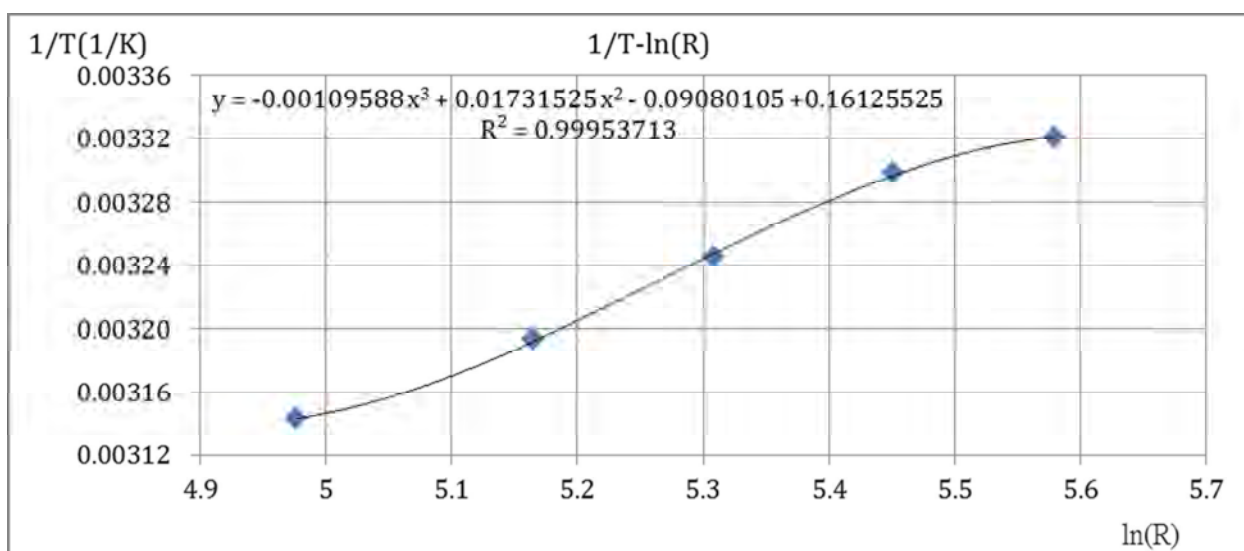
T(K) 下之電阻值 R，並做 $\frac{1}{T} - \ln(R)$ 關係圖(如圖 8)，將圖形



函數方程式帶入 LabVIEW 程式。

實驗裝置

2. 操縱變因：溫度 (25°C、30°C、35°C、40°C、45°C)。



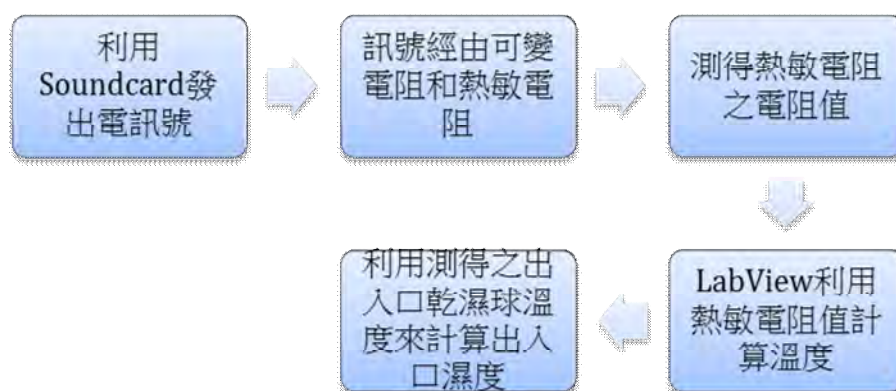
熱敏電阻熱溫性質曲線(圖 8)

(七) 研究七：測試通電針灸針

1. 實驗方法

將環境模型加濕並維持在相對濕度 95%、溫度 $25\pm 1^\circ\text{C}$ ，將除濕器放入，左右兩邊之針灸針各接上正極、負極，利用 LabView 連續測量 1 分鐘，記錄除濕器內的出入口含濕量變化。

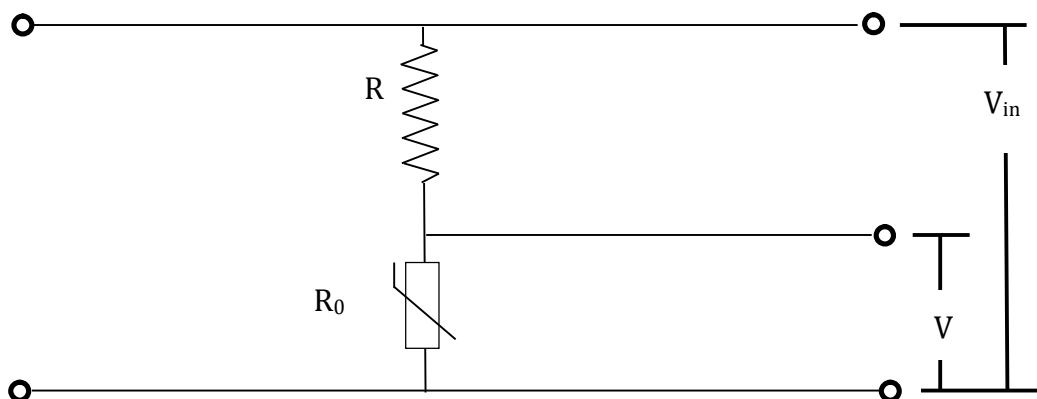
(1) LabVIEW 測量流程:



(2) 量測訊號輸入輸出電路圖:

R:外加電阻 R_0 :熱敏電阻 V_{in} :總電壓 V:分電壓

$$R_0 = R \left(\frac{V_{in}}{V} - 1 \right)$$



2. 操縱變因：電壓 (0V、5V、10V、15V、20V、25V、30V)。

(八) 研究七：測試針灸針接電方式

1. 實驗方法:

將環境模型加濕並維持在相對濕度 90%、溫度 $25\pm 1^\circ\text{C}$ ，將除濕器放入，在除濕器裡的集水盒中間放置一垂直金屬板，將金屬板接以正極，兩旁針灸針接負極，利用 LabView 連續測量 1 分鐘後，間隔 1 分鐘後，再測量 1 分鐘，反覆測量 3 次，記錄除濕器內的出入口含濕量變化。

2. 操縱變因：改變接電方式。

伍、研究結果

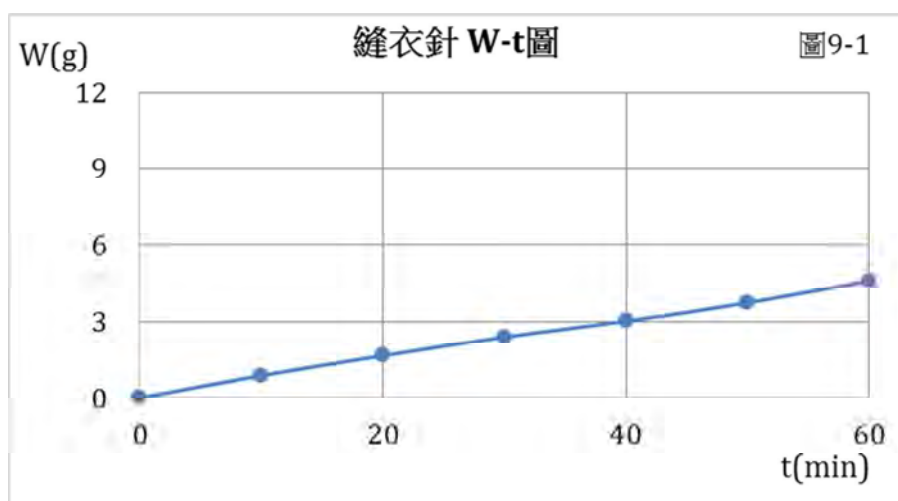
一、 研究一：測試不同種類的針

(每組測量 60min，每 10min 測量一次，一組實驗測 6 次，共計 3 組，取其平均值，如下圖)

(一) 針收集到的水重和時間接近線性關係。

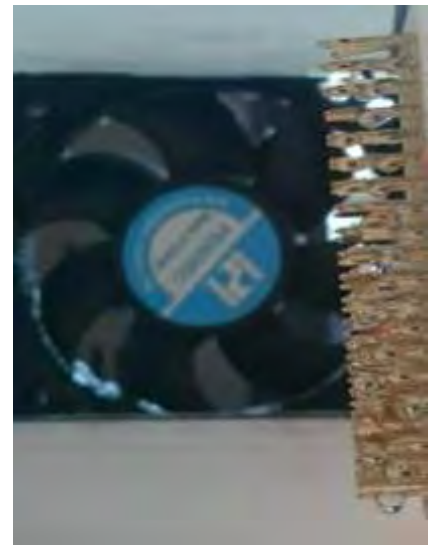
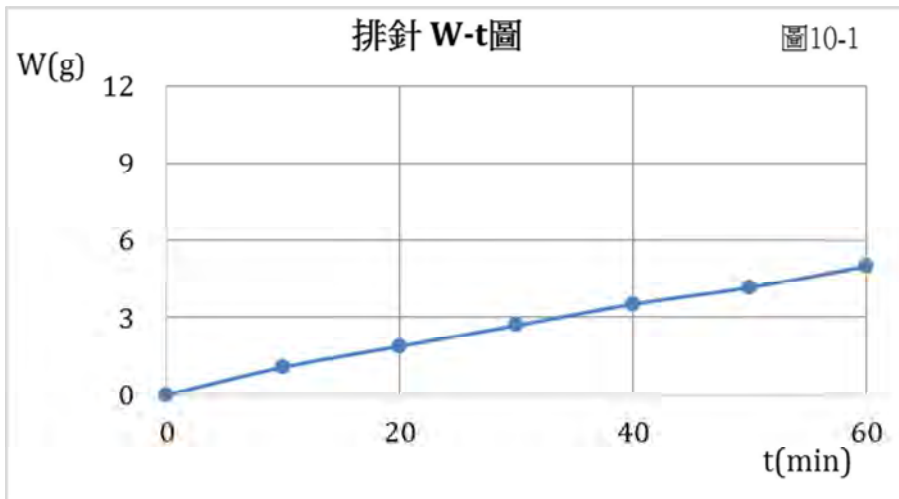
(二) 60min 收集到的水重：針灸針>漆包線>排針>縫衣針。

(三) 由實驗觀察發現，水珠會在針尖附近凝聚，約第 10min 後開始，針尖上會形成大顆水珠，且水珠易因重力而落下到集水盒，使集水盒上有少許積水，而到第 60min 時(如下圖 9-2、圖 10-2、圖 11-2、圖 12-2 示)，集水盒上則有明顯積水。

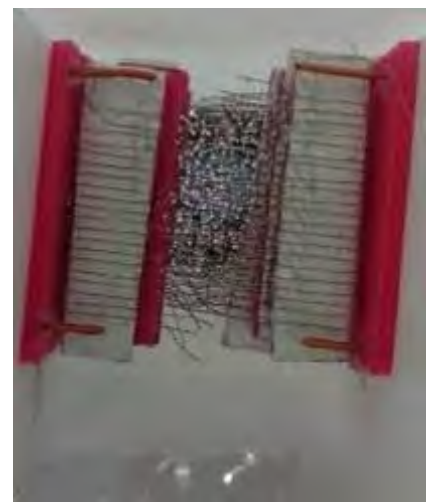
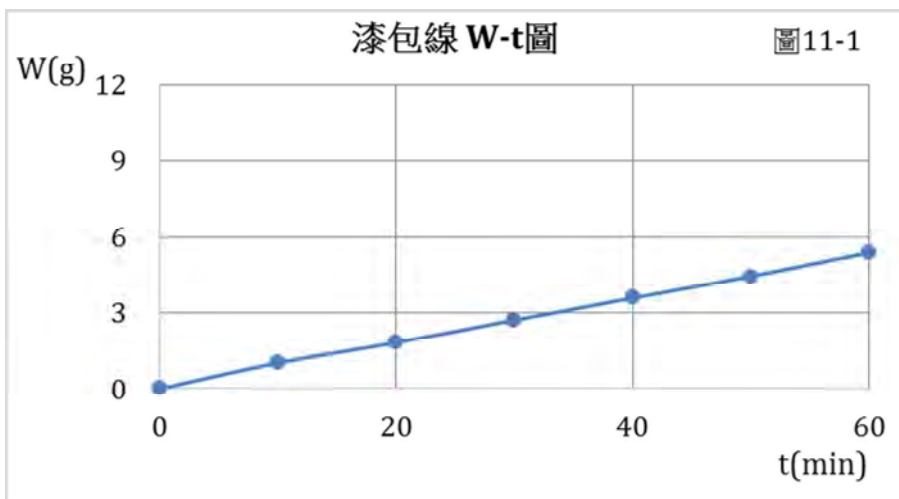


60min 縫衣針集水狀況

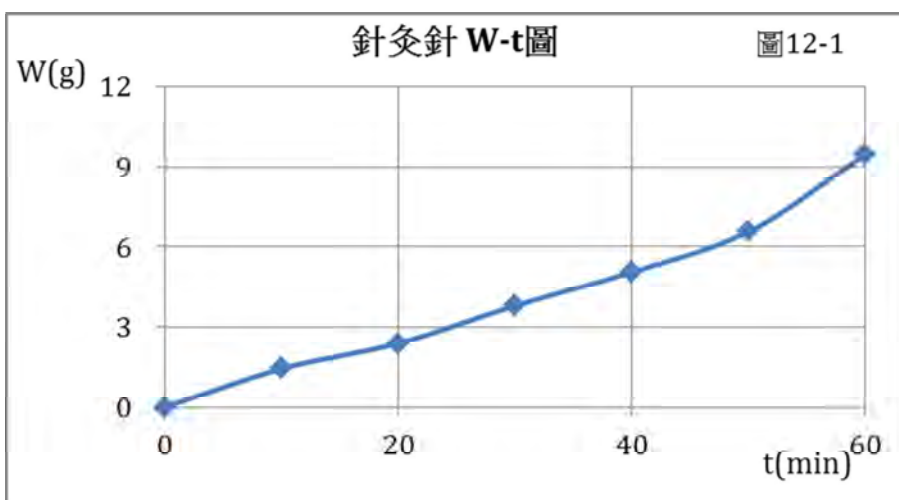
圖 9-2



60min 排針集水狀況
圖 10-2



60min 漆包線集水狀況
圖 11-2



60min 針灸針集水狀況
圖 12-2

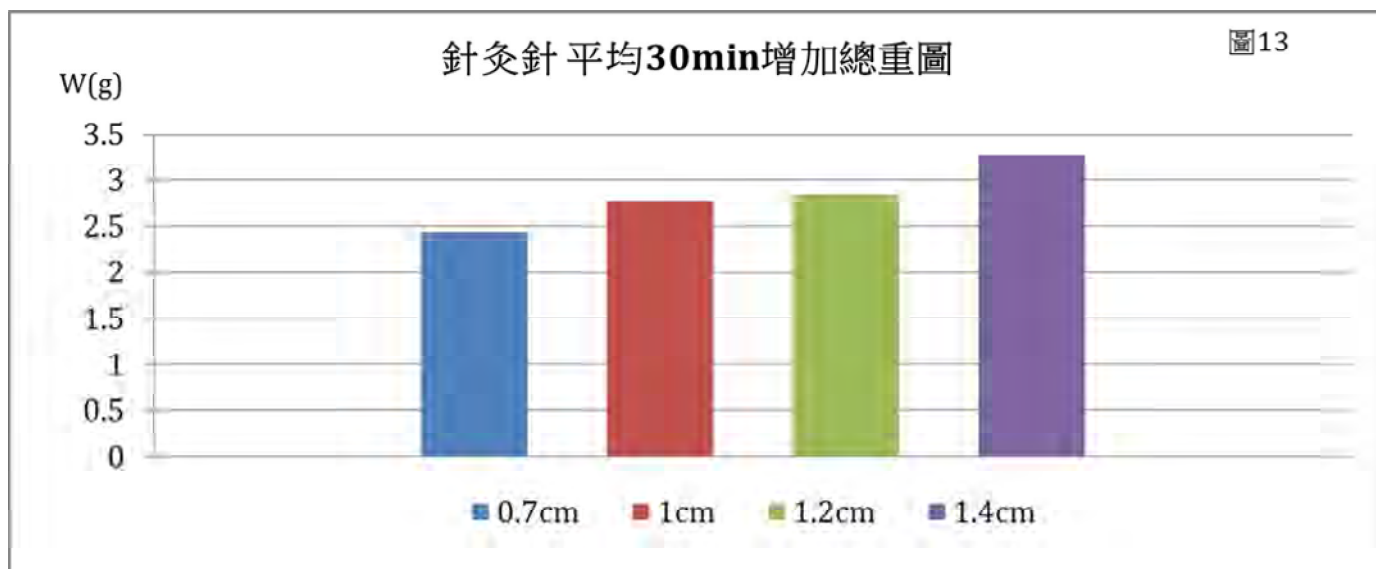
二、 研究二：測試不同長度的針灸針

(每組測量 30min，一組實驗測 1 次，共計 3 組，取其平均值，如下圖)

(一) 收集到的水重(如圖 13)：

長度 1.4cm 針灸針>長度 1.2cm 針灸針>長度 1cm 針灸針>長度 0.7cm 針灸針

(二) 針的長度增加有助於集水。

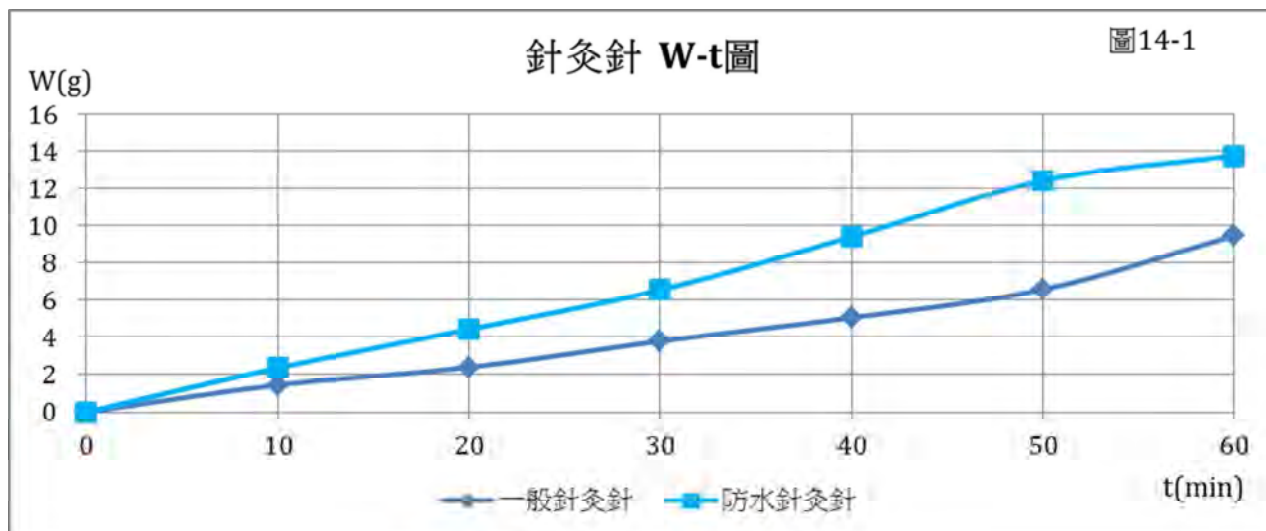


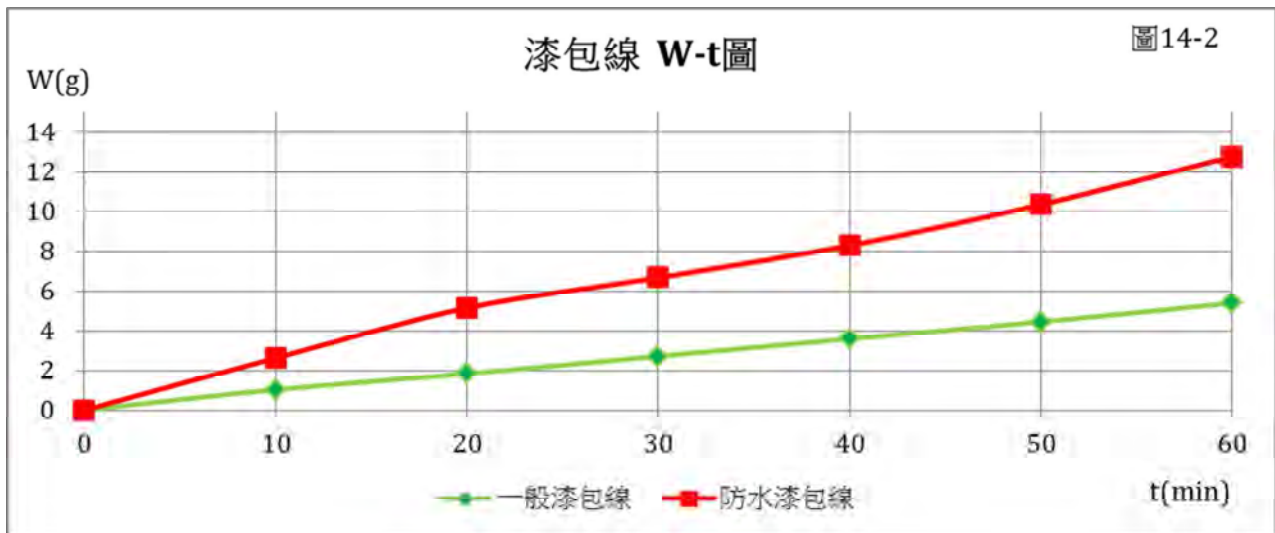
三、 研究三：測試有無噴上防水噴霧的針

(每組測量 60min，每 10min 測量一次，一組實驗測 6 次，共計 3 組，取其平均值，如下圖)

(一) 收集到的水中(如圖 14-1、圖 14-2)：噴防水噴霧之針灸針>噴防水噴霧之漆包線。

(二) 有噴霧的針所集到的水有明顯的增加，且所收集到的水並不會大量的附著在針上，而是滴在集水盒上。





四、 研究四：測量市售除濕劑

(每組測量 60min，每 10min 測量一次，一組實驗測 6 次，共計 3 組，取其平均值，如下圖)

- (一) 由圖 6-1、圖 6-2 知總集水量：克潮靈 > 水玻璃
- (二) 克潮靈集水效率極高，且 CaCl_2 反應後會溶在水裡，因此可在集水盒裡明顯的看到水。
- (三) 水玻璃收集到的水的會吸附進其內部，因此集水盒上不易出現明顯的積水。

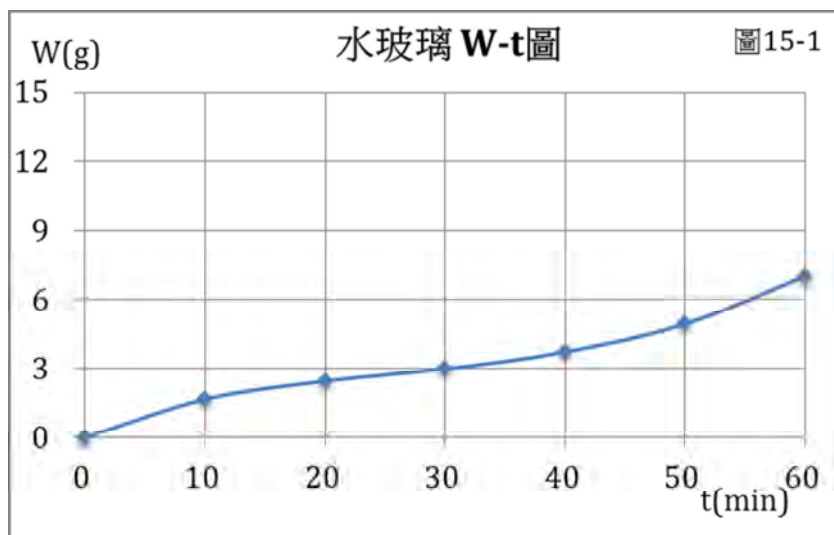


圖 15-2

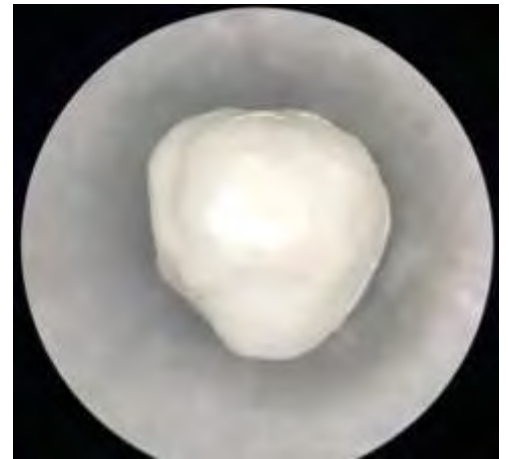
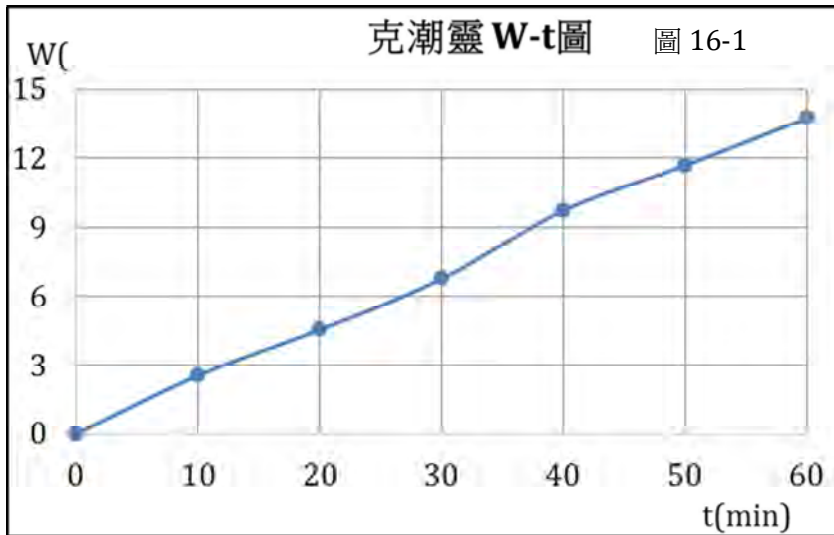


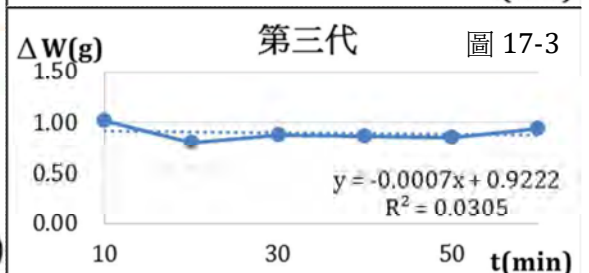
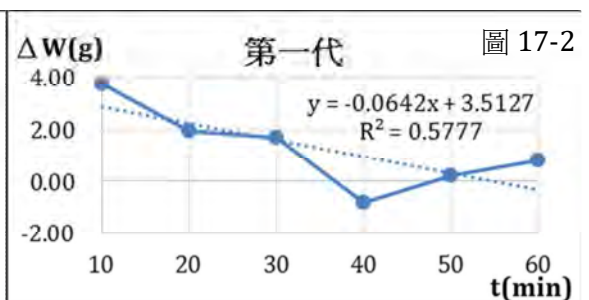
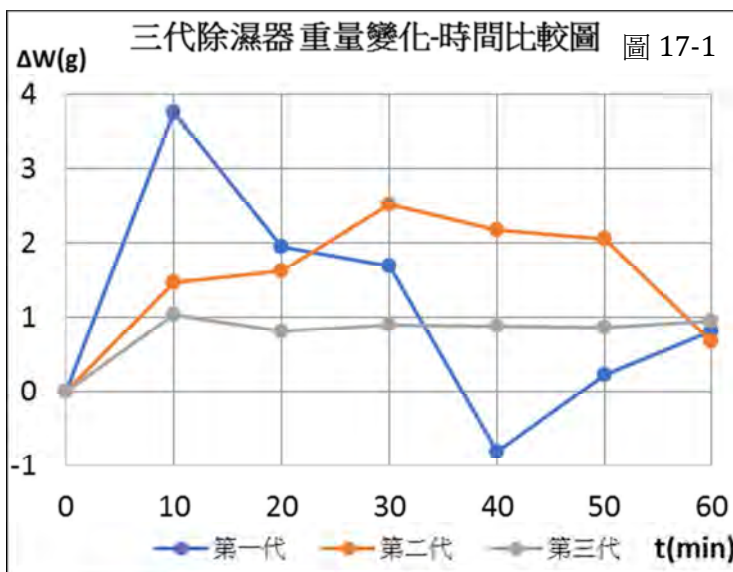
圖 16-2

陸、討論

(一) 討論一：一 ~ 三代除濕器比較

1. 以 1cm 漆包線在濕度 99.9% 溫度 25°C 情況下更換一 ~ 三代除濕器測量。
2. 將後十分鐘所集水的重量減去前十分鐘的重量在座比較可觀察到其變化的穩定度。

($\Delta W = W_2 - W_1$ W_1 : 前十分鐘 ; W_2 : 後十分鐘)



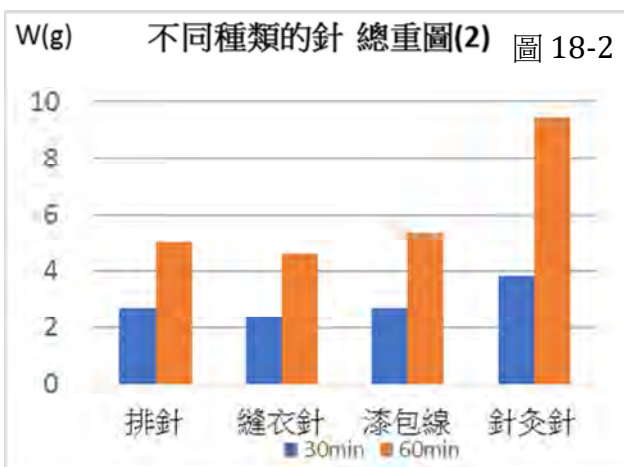
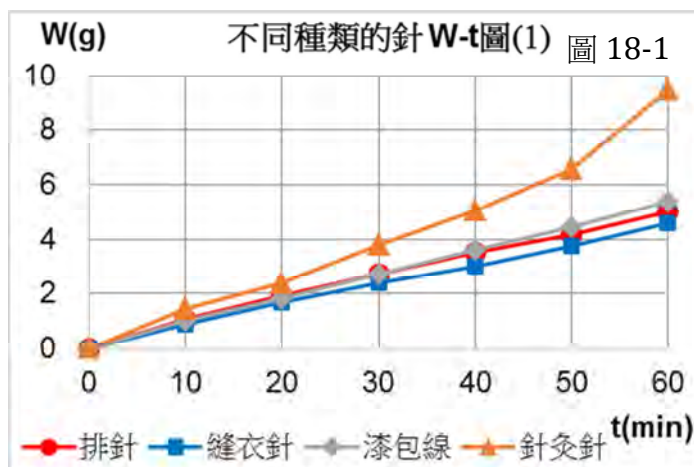
- 如圖 17-2、圖 17-3 第一代的斜率相對於第三代較陡，在變化量也較大較不穩定。
- 由圖 17-1 可知，第一代及第二代的集水變化都相對於第三代不穩，這是因為在未分離風扇時會把風扇上的殘留水滴紀錄進數據中，加上測量上需經過繁複過程導致誤差加劇讓數據變化更大。
- 第二代相較第一代較穩定，推測是因為將風向轉向以吸入式水汽會先經過針尖集凝水使風扇上的水分減少而誤差降低。
- 表為三代模型內皆使用漆包線所得水重變化之最大差值($\Delta g = \Delta \bar{W} - \Delta W_{\min}$)。

7. 由表二可知，前兩代模型的最大差值都相較於第三代大，顯示出數據的不穩定。

表二

模型	第一代模型	第二代模型	第三代模型
最大差值 (Δg)	4.57	2.49	0.22

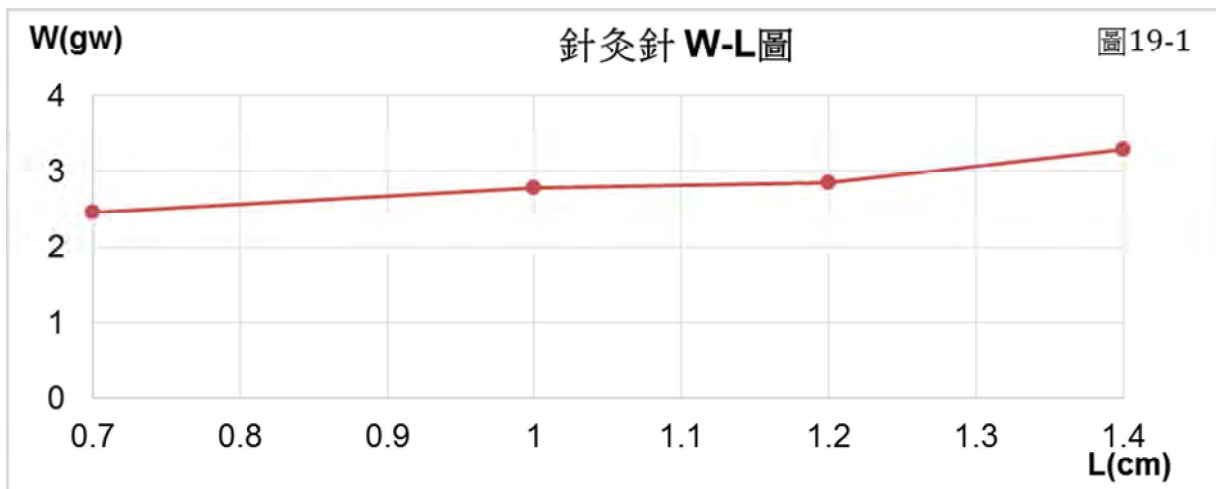
(二) 討論二：測試不同種類的針(皆為 200 根)



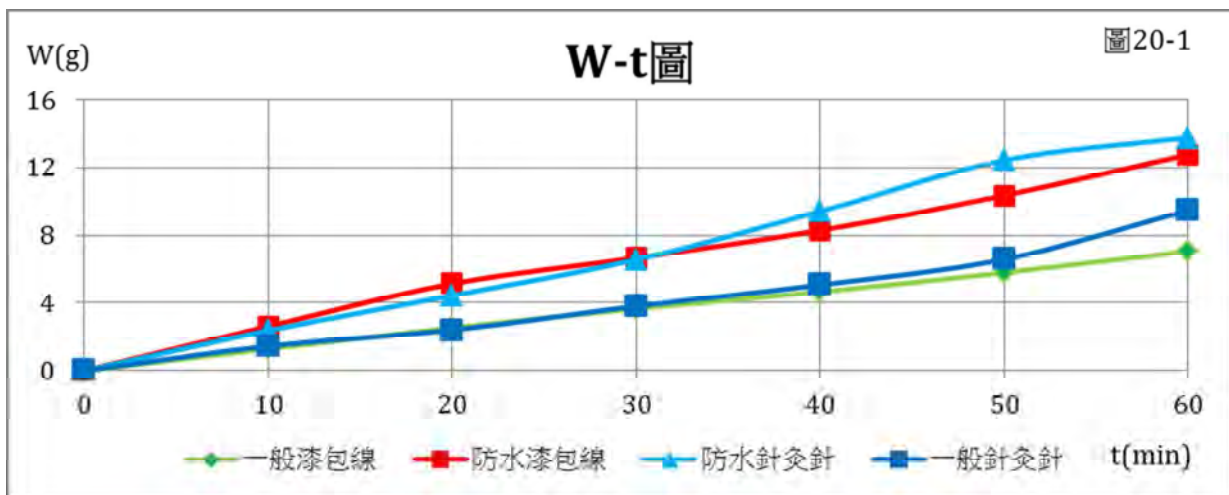
- 將漆包線，排針、縫衣針比較可知三者凝水效果相似，但因漆包線的相較於其他兩者細，故漆包線的效果較好。
- 針灸針在四者中效果最佳，針灸針在後 30min 時斜率(圖 18-1)及重量變化(圖 18-2)變大，推測是因為針灸在凝水後水滴滴落在集水盒中，使得針尖可以再一次的循環凝水，且針尖本身有細小水滴附著，增加凝結核的數量讓凝水效果加速。

(三) 討論三：測試不同長度的針

1. 由圖 19-1 可知長度越長集水效果越好，因其表面積較大，接觸風及水氣的機會增加。



(四) 討論四：測試同長度有無噴上防水噴霧的針



1. 由圖 20-1 可知漆包線以及針灸針有噴防水噴霧所集到的水皆多於無噴防水噴霧的漆包線與針灸針，推測是因為在針上噴防水噴霧具疏水性有助於水滴落下，再一次的循環集水，使集水量上升，且防水噴霧的顆粒小可視為更細的針尖。
2. 由圖 20-1 可知同長度下漆包線與針灸針之集水重：一般針灸針 > 一般漆包線，防水針灸針 > 防水漆包線。若將一般漆包線(圖 20-2)與一般針灸針(圖 20-3)放置在顯微鏡下，可發現一般針灸針針尖處較尖銳，而一般漆包線則較鈍，因此可推測一般針灸針的集水能力較一般漆包線優許多。

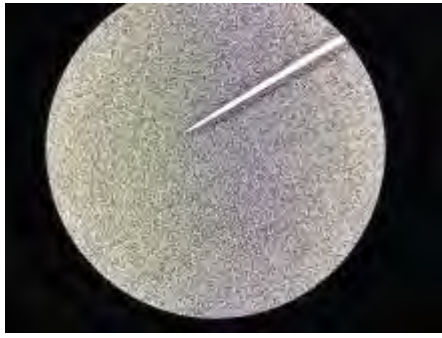


圖 20-2(針灸針)

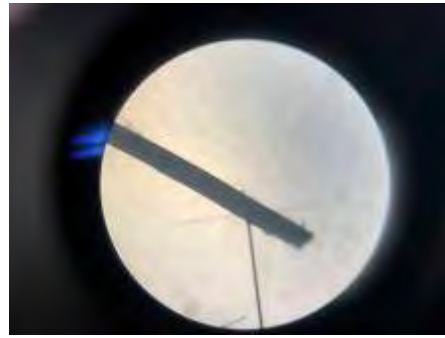
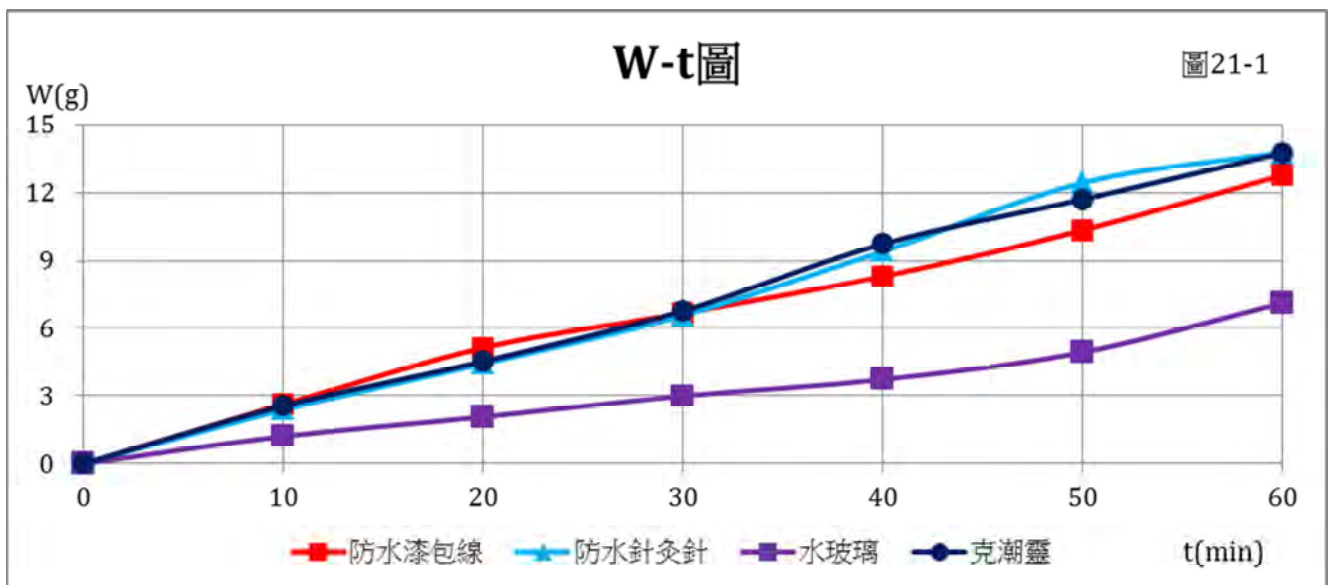
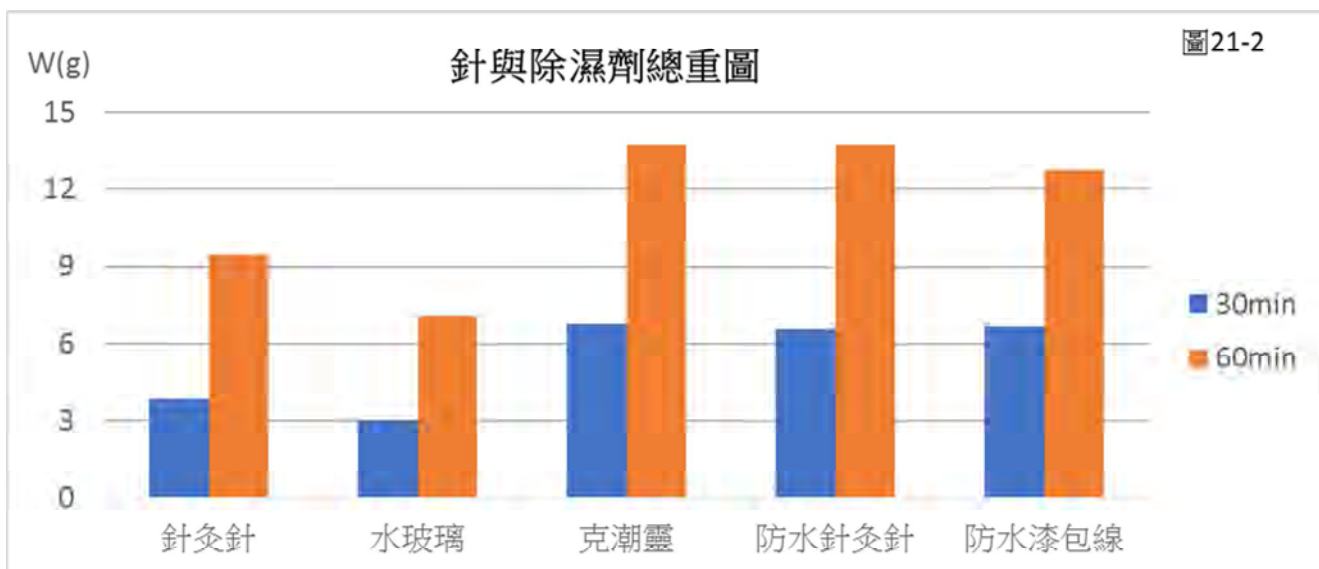


圖 20-3(漆包線)

(五) 討論五：測量市售除濕劑（相對溼度 99.9%）

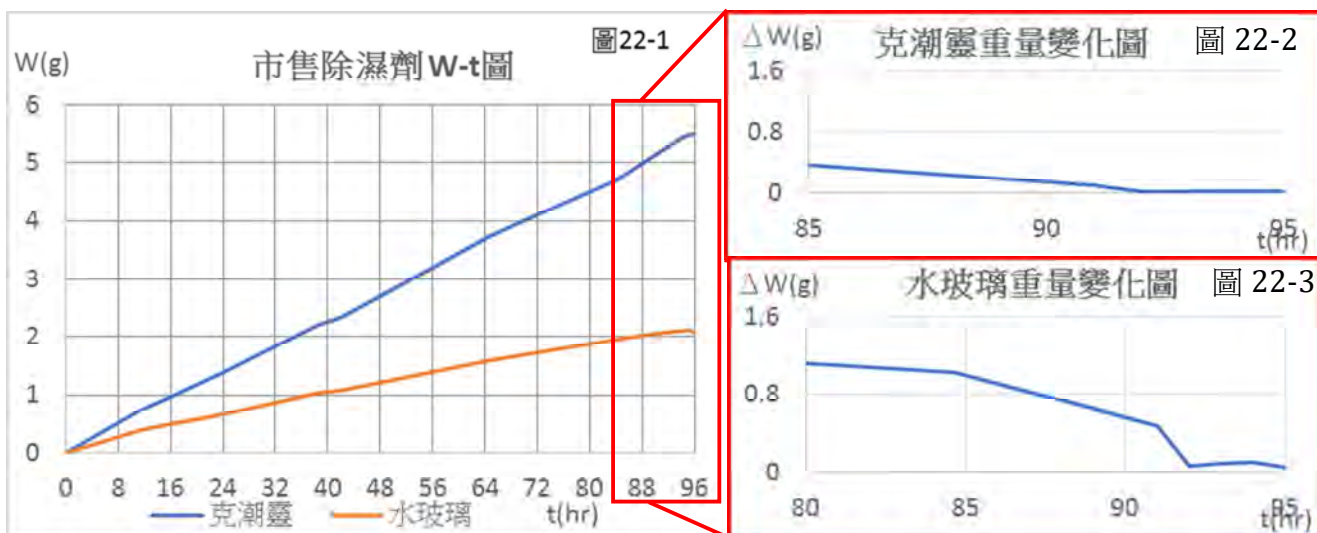
1. 如圖 21-1、圖 21-2 可知，有噴防水噴霧所收集到的水已跟克潮靈相近，而除溼劑又是以化學反應產生集水效果，故當克潮靈或水玻璃除溼飽和時便不會再繼續吸水，但自製除溼盒屬於物理集水法不會因為集水量增加而減少效能。
2. 水玻璃如圖可看出效果是最差的，推測是因為利用化學物質的毛細現象，故集水效果慢，雖類似物理方法但如同衣物吸附濕氣一樣會有最大值而達到飽和。





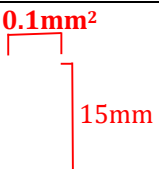
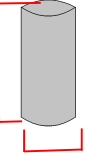
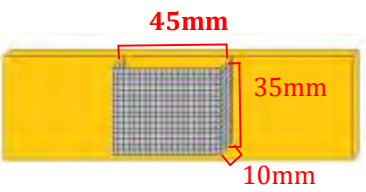
(六) 討論六：市售除濕劑於自然環境下除濕能力之討論

- 我們將除濕劑至於自然環境下，拉長測量時間至 96 小時，其結果如下圖 22-1。
- 由圖 22-2、圖 22-3 可以看出市售除溼劑到最後集水總重都會有一個趨近水平的結果，且由重量變化圖可以發現變化量到後期都會隨時間下降，推測因克潮靈(CaCl_2)吸水後會融入水裡，而水玻璃則把水吸入內部，因此兩種除濕劑都會飽和。



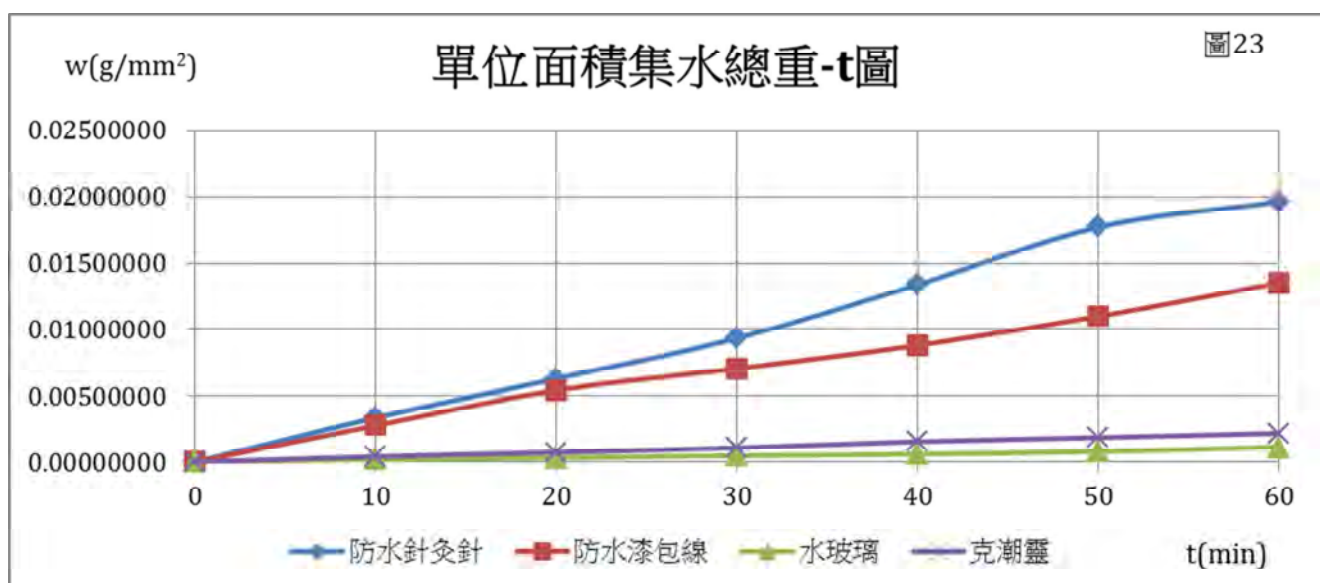
(七) 討論七：單位面積集水重之探討(g/cm²)

1. 視針灸針、漆包線為圓柱體，克潮靈、水玻璃為覆蓋紗網的表面積(如表四)，並以每單位面積時間所集的水重比較。

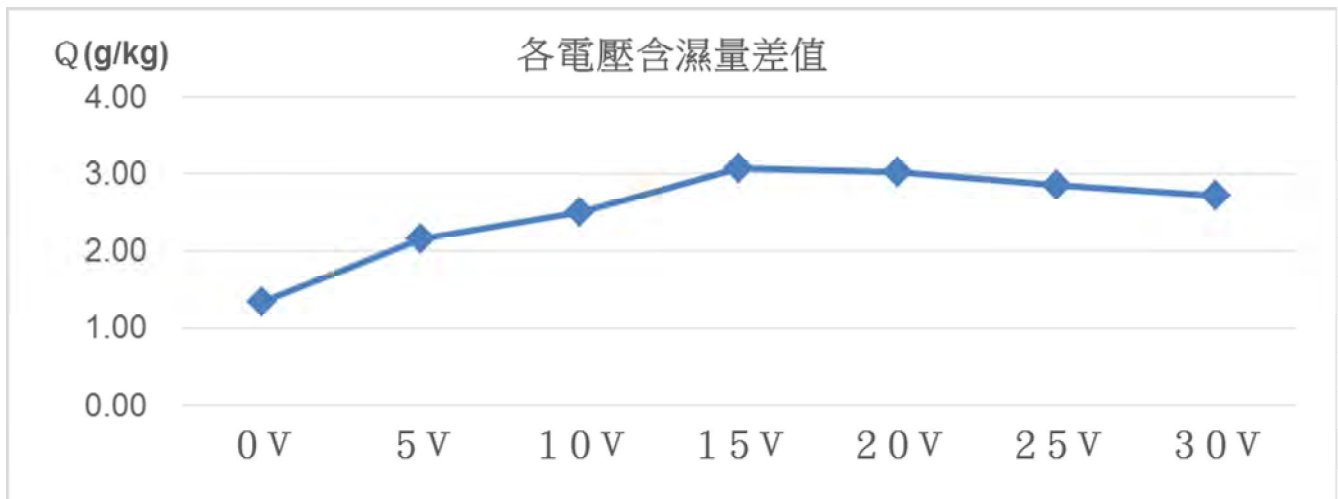
種類	漆包線	針灸針	水玻璃	克潮靈
單一表面積(a)	 $a=4.71\text{mm}^2$	 $a=3.51\text{mm}^2$	 $a=3175\text{mm}^2$	
總表面積(A)(mm ²)	$A=200 \times 4.71$	$A=200 \times 3.51$	$A=2 \times 3175$	

(表四)

2. 由圖 23 中可觀察到漆包線與針灸針的斜率都高於市售除溼劑，表示在吸濕量上漆包線與針灸針是相對較好的。
3. 圖 23 可以看出克潮靈跟水玻璃的單位表面積集水效果都非常的差，而漆包線與針灸針兩者的集水量雖在噴上防水噴霧後會相似，但前者的總表面積又比後者多，故針灸針集水效果較好。



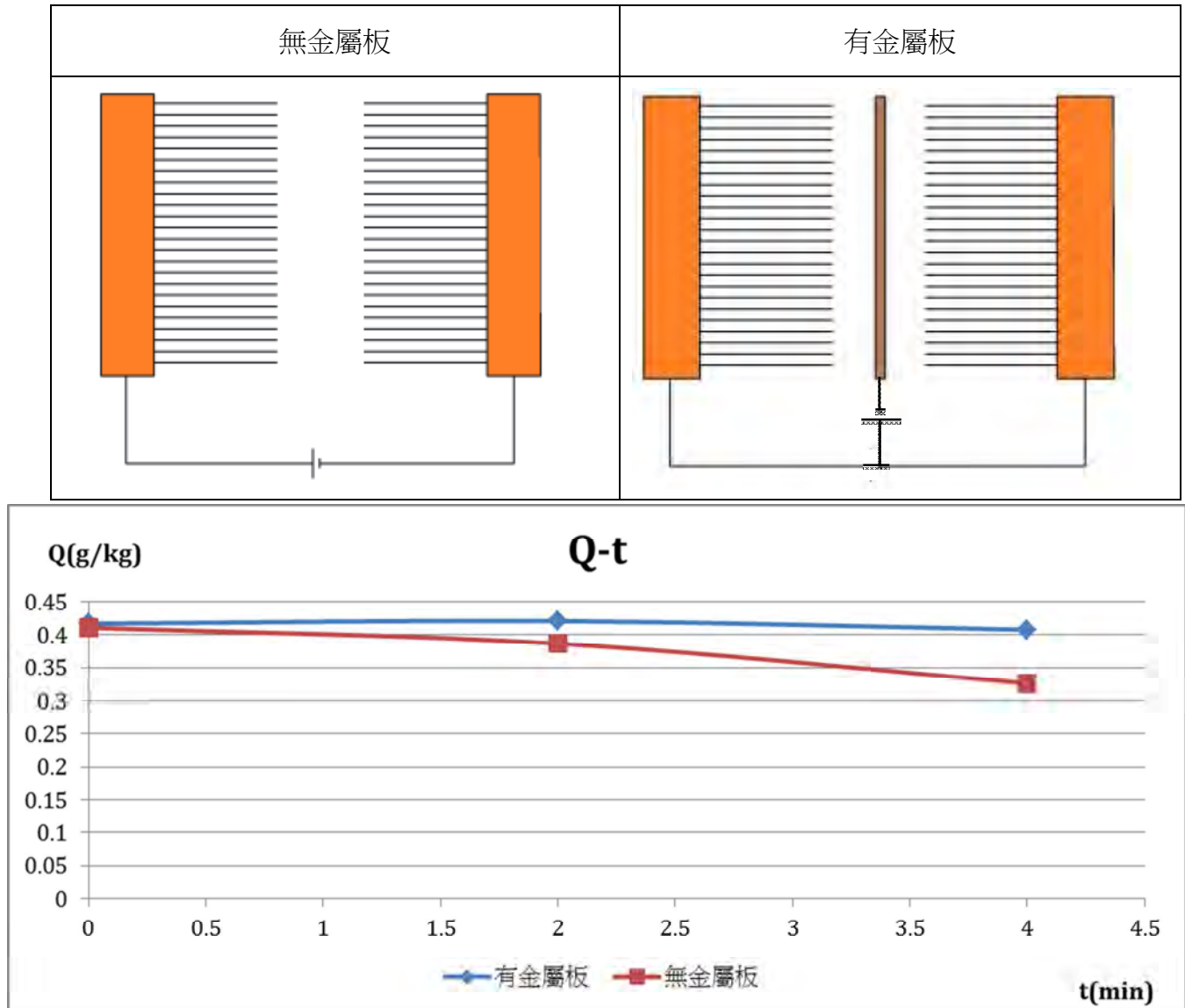
(八) 討論八：相對濕度 95%通電針灸針



1. 將各電壓通電一分鐘後取其溫度平均換算含濕量，並繪製含濕量差(Q)-電壓(V)關係圖。
Q:每公斤空氣中含水質量的差值(g/kg)
2. 將防水針灸針通低電壓時，除濕器的除濕量增加，因為水為極性分子受針尖電場吸引凝結，增加除濕效果。
3. 通 15V 的針灸針除濕量最高（無通電時的 2.19 倍），當電壓在高於 15V 時，除濕量會微微下降，推測其原因為電壓太高，易使針組溫度升高使水分蒸發。

(九) 討論九:接電方式改變之比較

1. 由討論八可知當通以 15V 的電壓時，除濕能力最優，因此我們在針尖組中間加上一金屬板，測試是否能增強其除濕能力。



2. 由圖 24 可知，當加上金屬板時，除濕能力較無金屬板時穩定，推測原因為電場分布較均勻，使其除濕能力能較穩定。

柒、結論

- 一、 使用通電的針來模仿沐霧甲蟲背部的凸起，藉以收集水來除濕，是可行且相當有效的方法，凝結在針上的水也可再回收利用。
- 二、 從實驗中的集水總量，可得知，噴防水噴霧的針灸針及噴防水噴霧的漆包線兩者集水效率相當，以成本來說漆包線會是較好的選擇。
- 三、 針集水和時間呈現線性關係，顯示針尖集水的確具有一定的穩定性。
- 四、 因防水噴霧具疏水性，任何噴過防水噴霧的針都具有不錯的集水效果。
- 五、 將除濕器中間置金屬板，金屬板和兩旁噴防水噴霧的針灸針分別通負電、正電，可讓除濕效果更好，僅須多耗費少許電量。
- 六、 市售除濕劑與針尖除濕器比較：

	克潮靈	水玻璃	針尖除濕器
集水 所需耗能	無法重複使用 (不耗能)	92.4W/g (耗能為商品標式)	0.12W/g (耗能為風扇)
集水效能	次之	最差	最優
優點	1.除濕效果不錯	1.可重複使用 2.沒有毒性	1.可重複使用 2.集出的水可利用（澆花） 3.耗能少，且集水效果好
缺點	1. 集水呈弱鹼性 2. 可能使濕潤的肌膚脫水而具有刺激性	1. 集水效能差 2. 須使用高耗能還原 3. 集出的水不可利用	1.總體積相對前兩者大

捌、參考資料及其他

一、 未來展望

(一) 環境測試

因本次實驗目前只對於相對濕度 99.9%進行測試以尋找最高效能的針，應在進行不同相對濕度下的集水效果，研究各種相對濕度下自製除濕器的效能。

未來欲測試環境：1. 相對濕度 90%

2. 相對濕度 80%

3. 相對濕度 75%

(二) 除濕器改良

1. 增加針尖數量，使能接觸溼空氣的表面積增加，進而增加水分凝結在針上的機會。
2. 改善針的排列方式，尋找最有效率且好加工的排列方式，增加除濕效果。
3. 尋找更有效能且便宜的針，降低製造除濕器的成本。
4. 將熱敏電阻感應系統無線化，並可將感測到的濕度數據記錄到電腦或手機中，可由遠端的使用者來選擇是否要進行除濕或是自動除濕。
5. 將自製除濕器模型實體化，應用在生活上面。

二、 參考資料

(一) 綜論四水形態循環轉化緩解水危機與水安全的意義(2014年5月14日) · 壹讀 · 取自

<https://read01.com/zh-tw/644MBk.html#.WmGMM6iWY2x>

(二) 歐陽盛芝(2017年1月6日) · 可從空氣中高效集水的新仿生表面 · 科學大觀園 · 取自

<https://scitechvista.nat.gov.tw/c/yKjJ.htm>

(三) 關於國語課老師談到的昆蟲(2012年7月30日) · roodo 樂多日誌 · 取自

<http://reader.roodo.com/giant0116/archives/21077750.html>

- (四) 徐筱芸、涂黎茹、黃勝詳(2014年4月2日)·致冷晶片在除濕效能上之應用研究·取自
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2014/04/2014040214422258.pdf>
- (五) 徐樹剛、游舒媛、戴清智、張昭君(2014年12月5日)·吸附式水回收技術與材料介紹·
材料世界網·取自 <https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=19283>
- (六) 楊久慈(2014)·仿生沐霧機制之建築外殼集水構件之探討(已出版的碩士論文)·臺北：
國立臺北科技大學
- (七) 綦戎輝，田长青，邵双全，固体除湿剂电渗再生(Electro-osmotic regeneration for solid desiccant)

【評語】 052602

1. 本件作品以仿生霧甲蟲概念，設計針尖除濕器系統，以物理方法探討不同種類、長度針尖與除濕能力之關聯，並經實驗證實優於市售除濕劑除濕能力，具仿生創意與生活應用，目前實驗條件在近乎飽和條件下進行，未來在不同相對濕度條件下之除濕能力值得進一步探討。
2. 所設計針尖除濕器利用風扇帶動空氣流通增加除濕能力，除需持續提供電能外，相對於市售除濕劑實驗並無風扇輔助空氣流通，對比實驗之空氣動力條件並不相同。
3. 針尖除濕劑水氣凝結之關鍵在露點溫度，建議思考如何設計使針尖降溫且易排水。也應增加實驗環境之溫度與相對溼度監測，或是結合相對溼度監測設計自動啟動系統除濕功能。

摘要

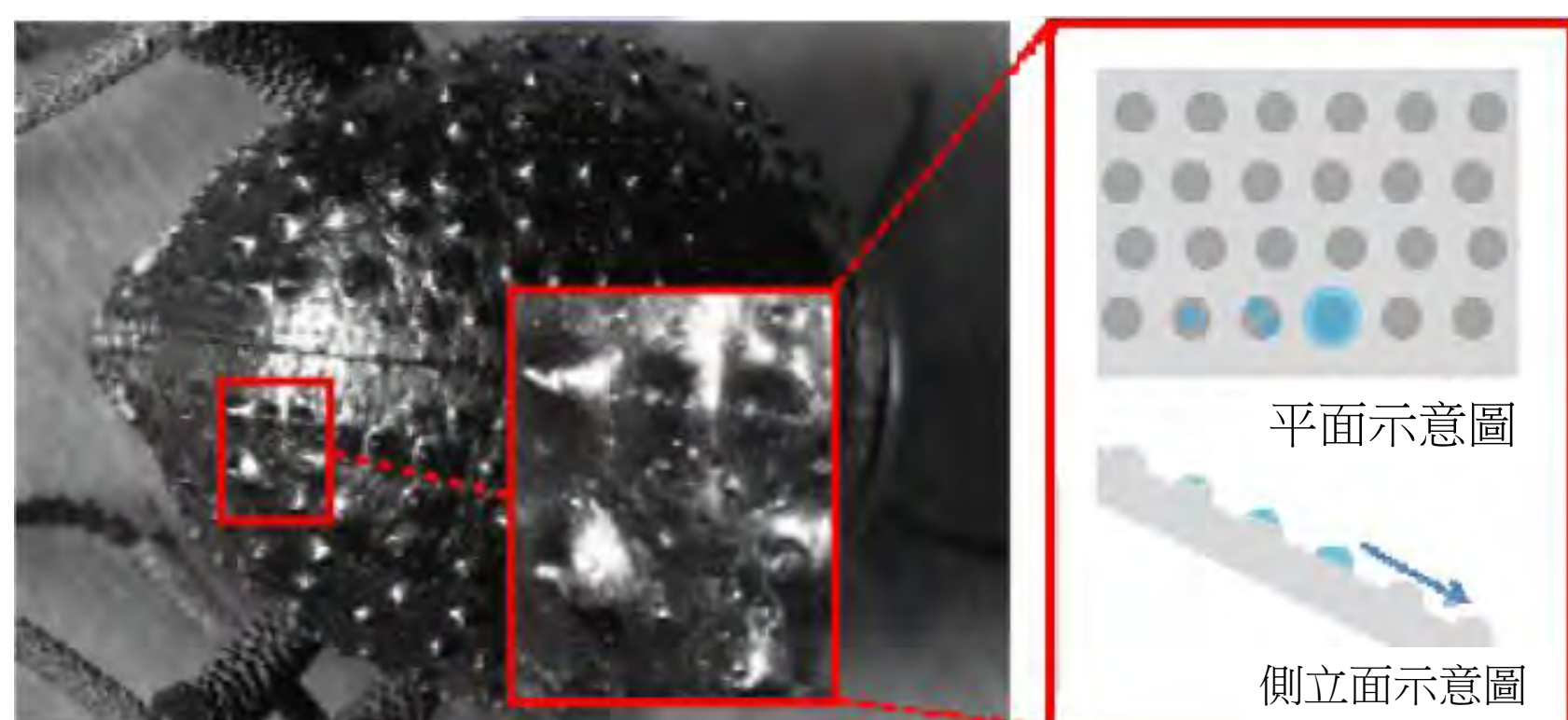
本研究藉由仿生沐霧甲蟲，利用物理方法設計針尖除濕器，探討不同種類針尖、不同針尖長度、針尖通電與其除濕能力的關係，並將設計的除濕器與市售除濕劑的比較。研究結果發現當在相對濕度為99.9%時，使用針灸針當作針尖，除濕能力可比市售水玻璃優良，且將針灸針的針尖噴上防水噴霧後，其除濕能力更是可媲美市售除濕劑「克潮靈」；當在環境相對為90%時，且將針尖通以15V的電壓並加上金屬板時，除濕能力有明顯的上升。又克潮靈以及水玻璃所收集到的水無法直接使用且還原時需消耗能量，但本除濕器克服兩者缺點，達到高效率低耗能低污染的集水方式。

壹、研究動機

台灣因四周環海且又位於亞熱帶季風區，是典型的海島型氣候，致使高溫多雨造成台灣的相對濕度較高，下雨後濕度易達到80~90%，高出我們人體舒適濕度60~70%許多。

而生活中常見的除濕方式通常只具一次利用性，或有可多次利用，但還原過程會消耗大量能源。這兩類除濕劑都會對環境造成不小的傷害，像克潮靈收集的水若氯化鈣濃度稍高，便會呈弱鹼性；水玻璃雖對環境無害，還原時卻會需要吸收大量能量。

而沙漠中的沐霧甲蟲利用背部的凸起，使水珠凝結在上方，這方法無需耗費大量能源且具可重複利用之特性。因此我們由仿生的角度思考，利用細長凸起面集水這種特性，用針取代沐霧甲蟲的凸起，設計兼具高效率低耗能低污染之除濕器，來改善密閉小型空間的潮濕。



	平均溫度		平均相對濕度		參考資料
	春季 (3-5月)	22.7°C	79.6%	年平均相對濕度 77.8%	
花蓮地氣候統計	夏季 (6-8月)	27.9°C	79.1%		中央氣象局
	秋季 (9-11月)	24.6°C	76.7%		
	冬季 (1-12月)	18.6°C	75.8%		
	年均溫	23.4°C			
衣櫃	夏季：25°C、冬季：20°C		70%	家中測試	

貳、研究目的

- 製作除濕器模組
- 由實驗找出最高效能除濕器模型(相對濕度99%)
 - 改變針尖種類
 - 有無防水噴霧
 - 改變針尖長度
 - 改變針尖直徑
 - 改變針尖傾斜角
- 與市售除濕劑之比較
- 在相對濕度未飽和情況下比較
 - 針灸針通入電場
 - 接電方式改變

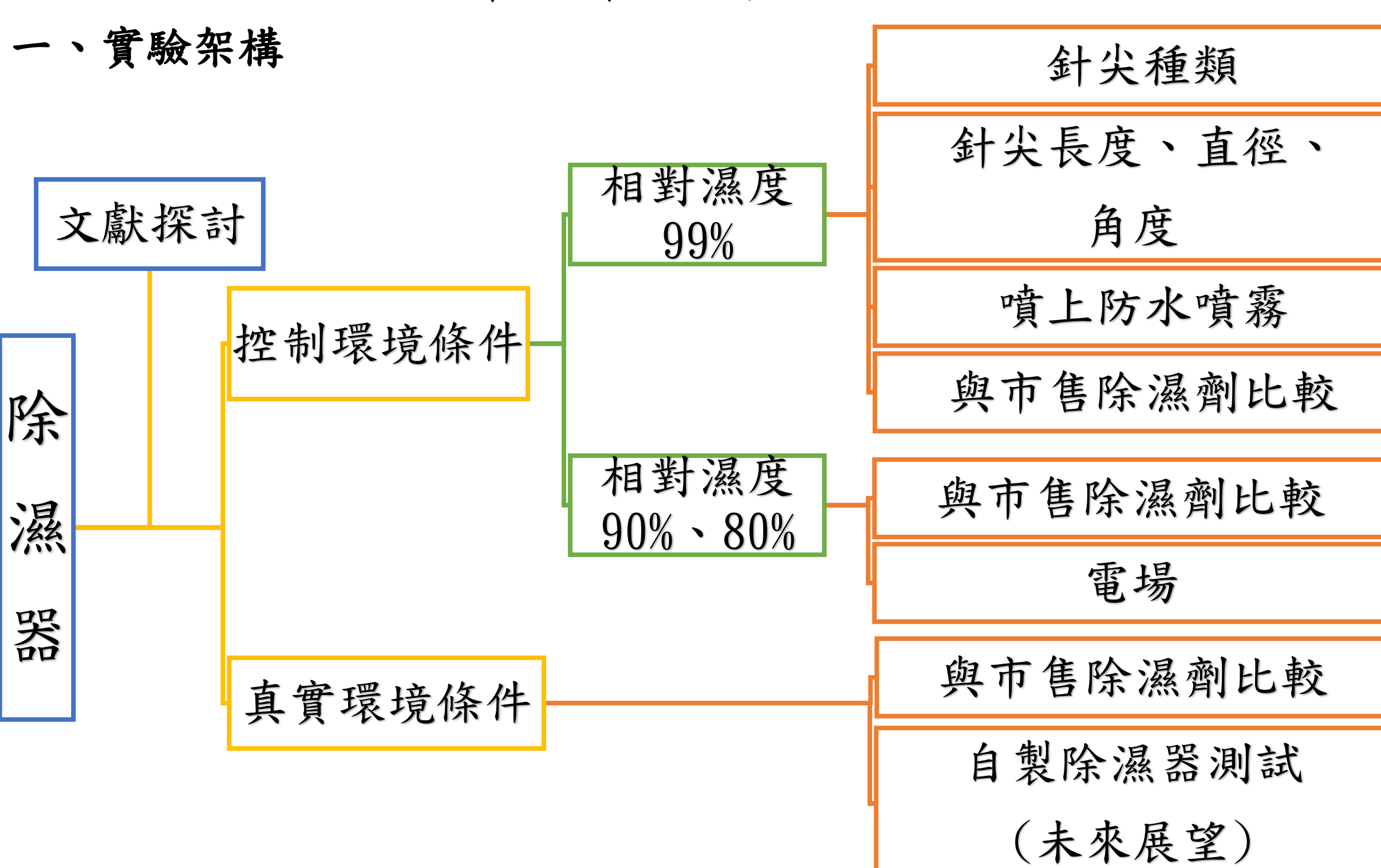
參、研究設備及器材

一、實驗材料與工具

漆包線 (直徑0.05mm)	排針直徑 (0.07mm)	針灸針 (直徑0.02mm)	縫衣針 (直徑0.07mm)
熱敏電阻	音源線	音效卡	筆記型電腦
Soundcard Oscilloscope		Labview	

肆、研究過程及方法

一、實驗架構

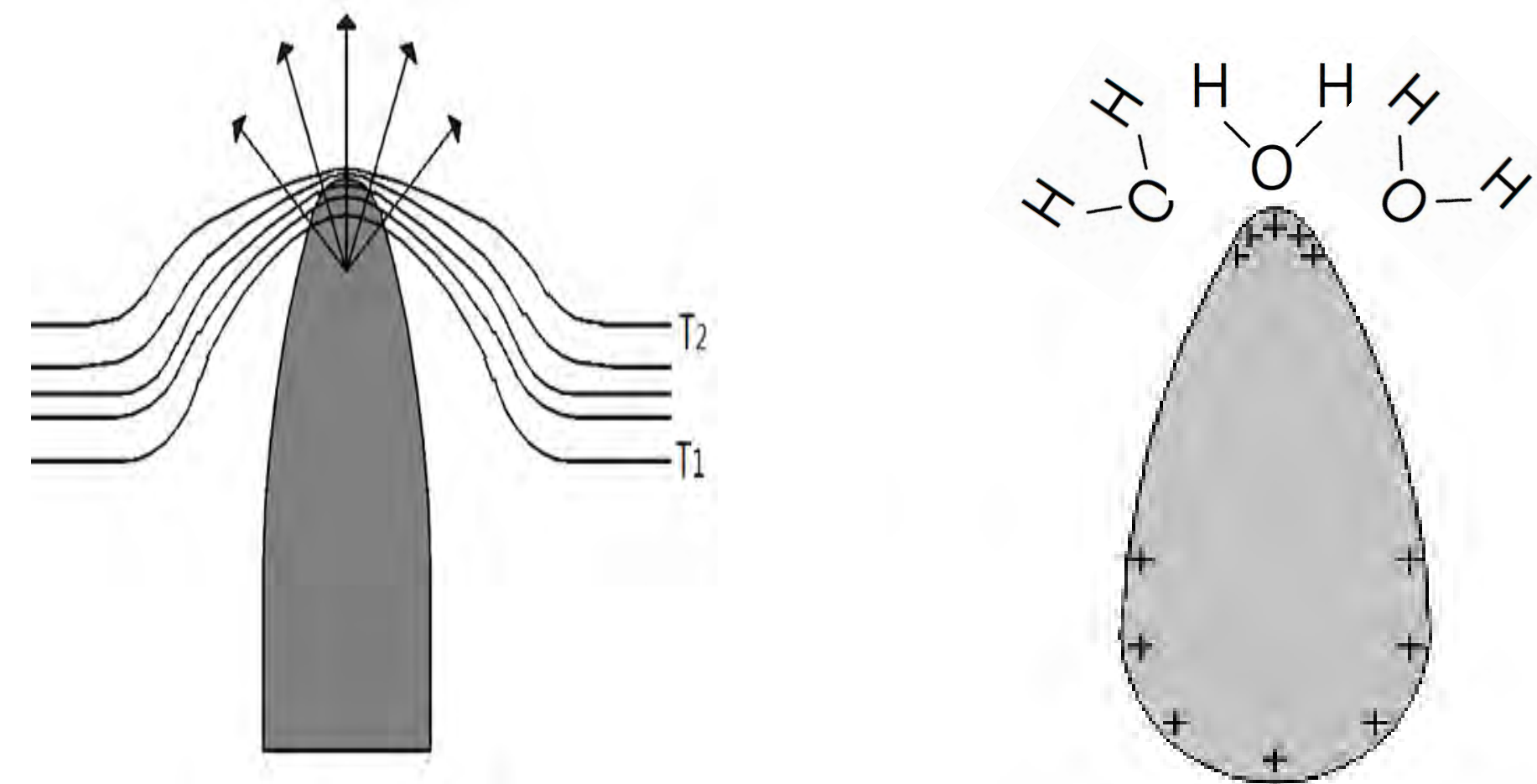


二、研究原理

(一) 仿生機制：納米布沙漠甲蟲，具疏水性基底和不對稱親水性的凸起。(如右圖)

(二) 針尖凝水原理：

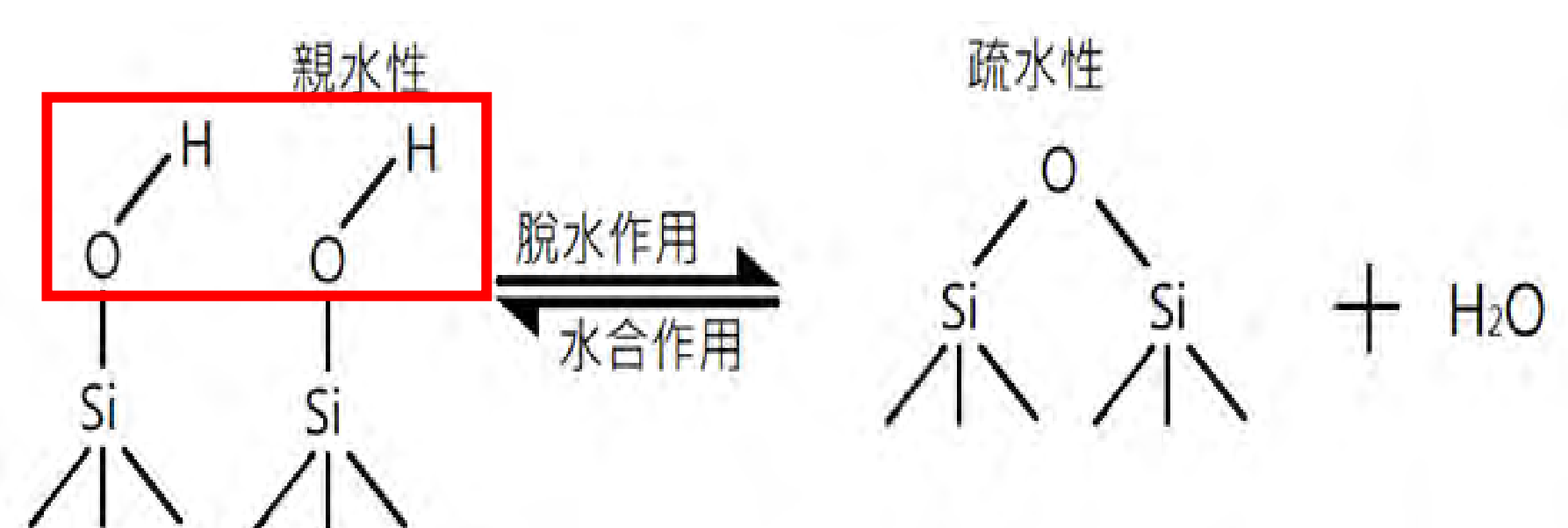
溫度梯度和濃度梯度的變化造成水份凝結。(如左下圖)



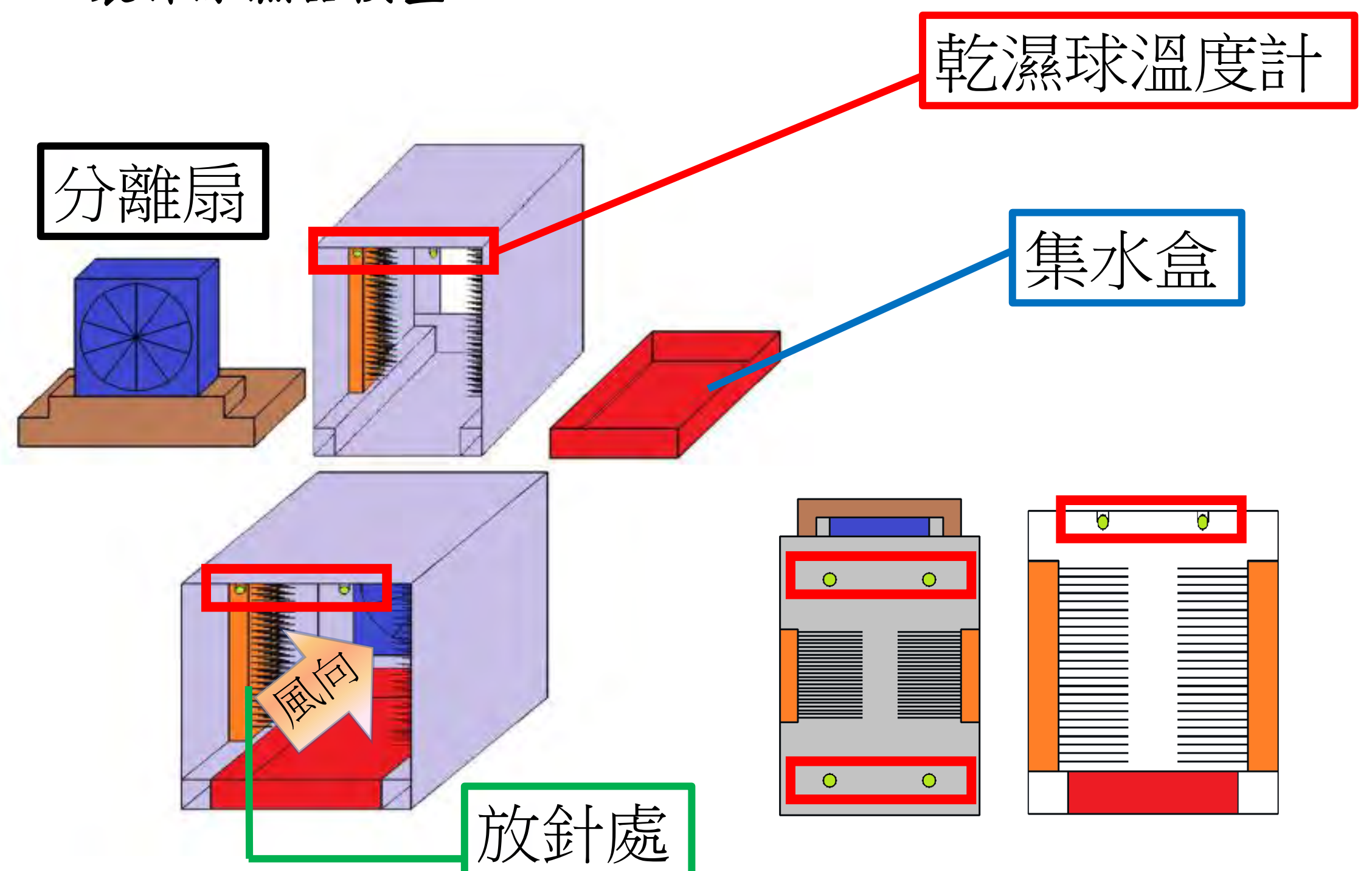
(三) 水的偶極性：導體表面尖銳的地方電荷分佈比較密集，電場強度較大，可吸引水分子聚集凝結。(如右上圖)

(四) 克潮靈除濕原理： $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(五) 水玻璃除濕原理：水玻璃由矽凝膠組成。(如下圖)



三、製作除濕器模型

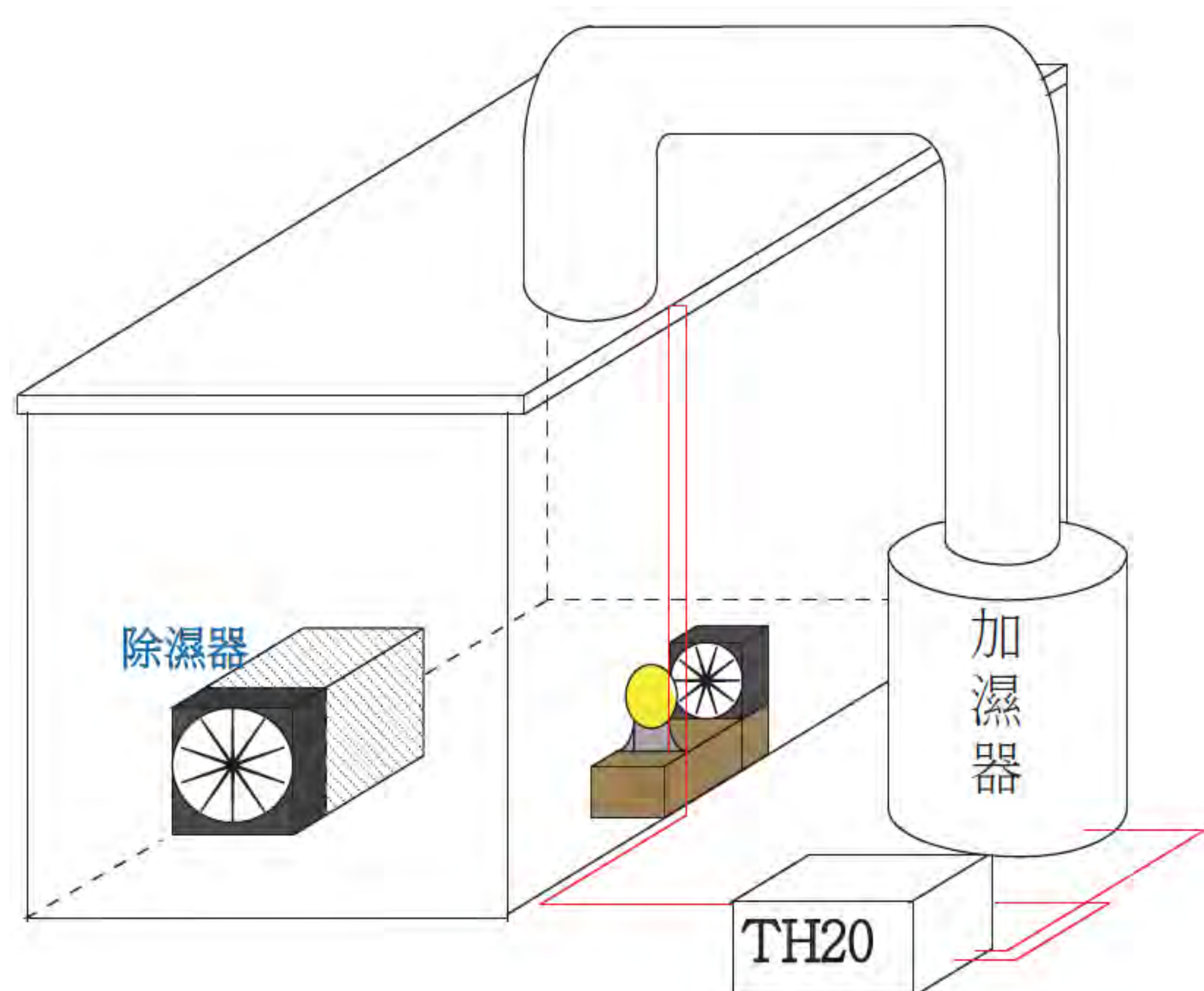


發想	因前兩代分離扇與分離盒未密合，且測量須以手取之，因此我們將風扇稍作改良使其能有良好的密合度，又將除濕器內部裝上乾濕球溫度計，使其方便測量。
製作	將原除濕器模型上的風扇分離，除濕器大小為(17.5*7.9*9.4cm ³)。
特點	<ol style="list-style-type: none"> 不會有水滴殘留在風扇上的誤差 設置乾濕球溫度計後，可用程式(Labview)即時測量數據，不會有手觸碰除濕器時造成的誤差 分離扇與分離盒有良好的密合度 針置放於盒內兩側位置

四、環境製作

(一) 環境模型 (如下圖)

- 以魚缸作為一密閉式環境模型，上方以優塑板蓋住(可開關)。
- 在一組木塊上方裝置一40W燈泡及風扇(10V、1.5W)，以TH20接燈泡、加濕器，調整環境溫濕度，當溫度低於設定值啟動加熱，濕度低於設定值啟動加濕。
- 風扇接電線出魚缸，以電源供應器供電。



五、實驗方法 (以下實驗皆使用第三代除濕器模型)

(一)

控制變因：維持在相對濕度99.9%，溫度控制在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ，每10min測量一次，共測量60min (皆200根)。

操縱變因：改變不同的測試物

1. 測試不同種類的針

改變排針、縫衣針、1.0cm漆包線及針灸針

2. 測試有無噴上防水噴霧的針

替換有無噴防水噴霧的針

3. 測試不同長度的針

改變針的長度：

0.7cm、1.0cm、1.2cm、1.4cm

4. 測量不同粗細的漆包線

改變針不同粗細的漆包線分別為：

0.04mm、0.05mm、0.50mm、1.00mm、1.45mm

5. 測量市售除濕劑

將市售除濕劑放入除濕器模型中，再將模型放入環境。

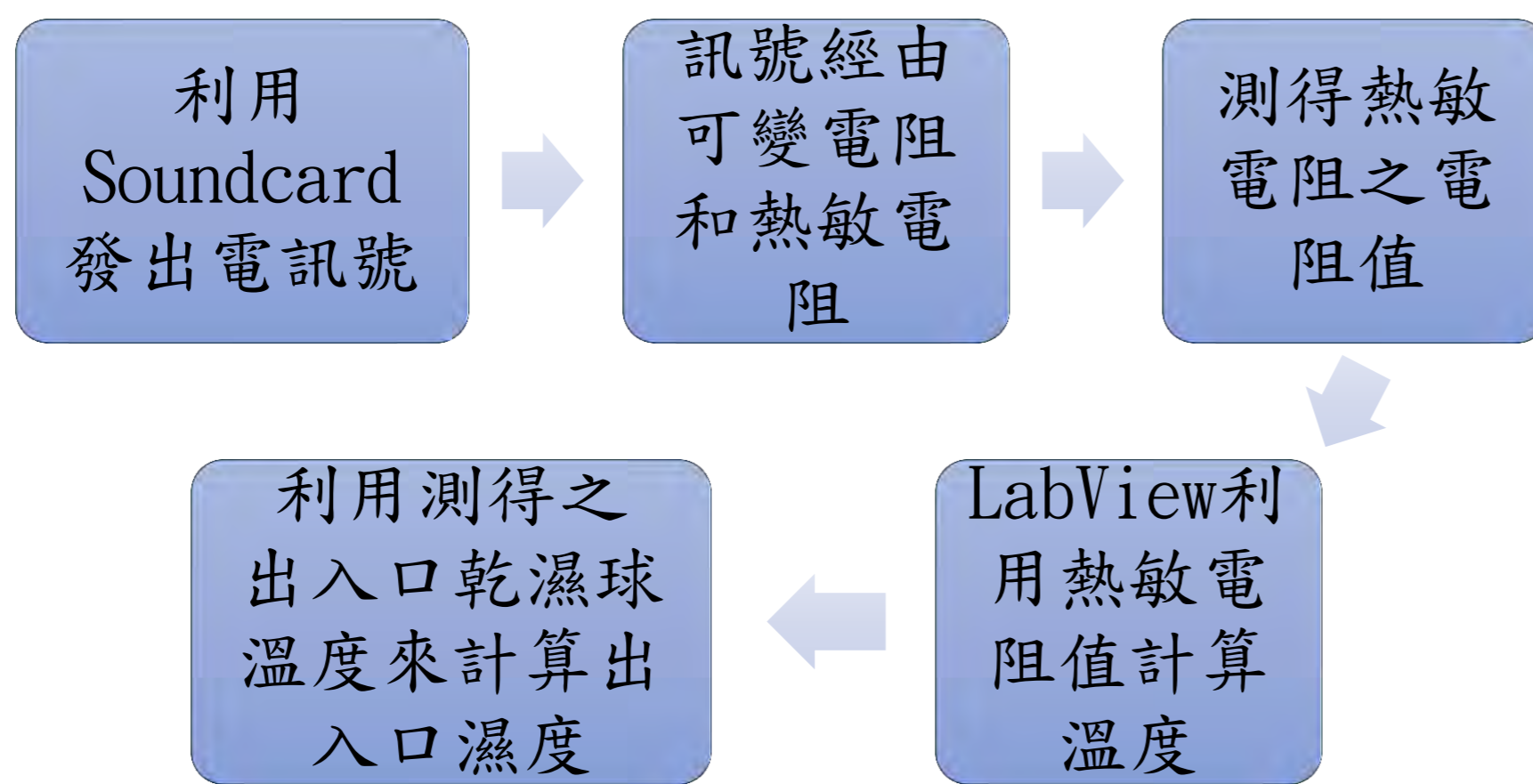
(二)

控制變因：分別維持在相對濕度90、80%上下，溫度控制 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ，將待測物置入環境，待Labview顯示溫度穩定後再測量。

操縱變因：改變不同的測試物

1. 以Labview來測量除溼器的除溼效能

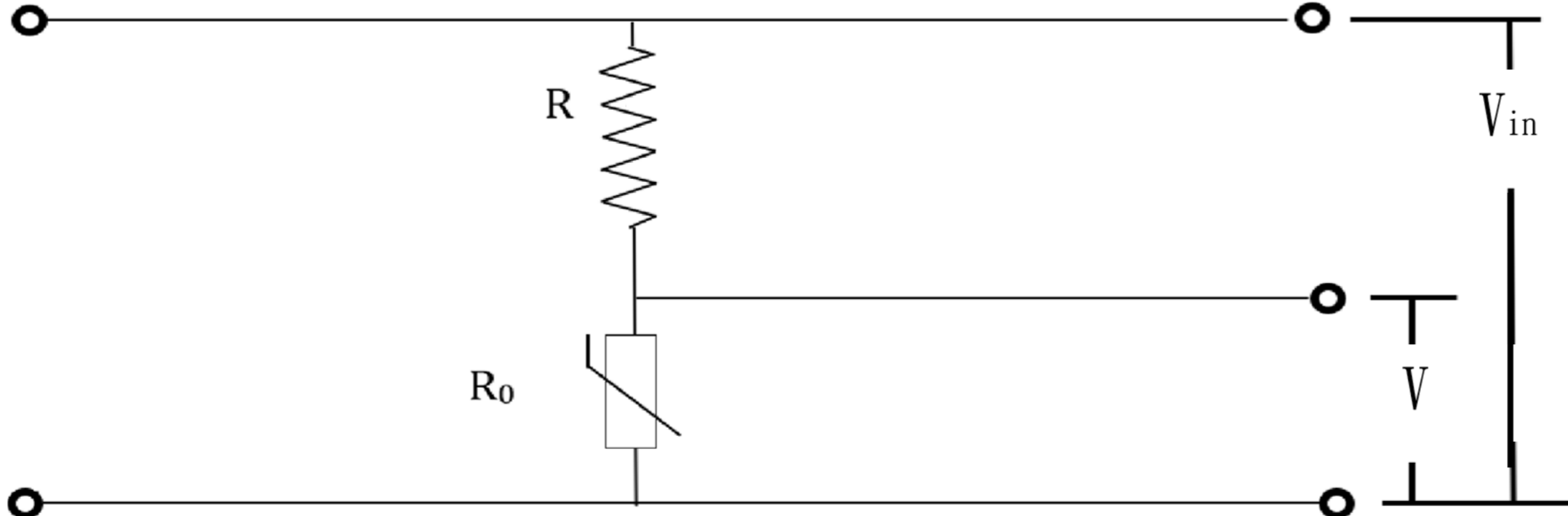
測量不同溫度 $T(K)$ 下之電阻值 R ，並做關係圖，將圖形函數方程式帶入Labview程式。(實驗裝置如左下圖)



量測訊號輸入輸出電路圖：

R : 外加電阻 R_0 : 熱敏電阻 V_{in} : 總電壓 V : 分電壓

$$R_0 = R \left(\frac{V_{in}}{V} - 1 \right)$$

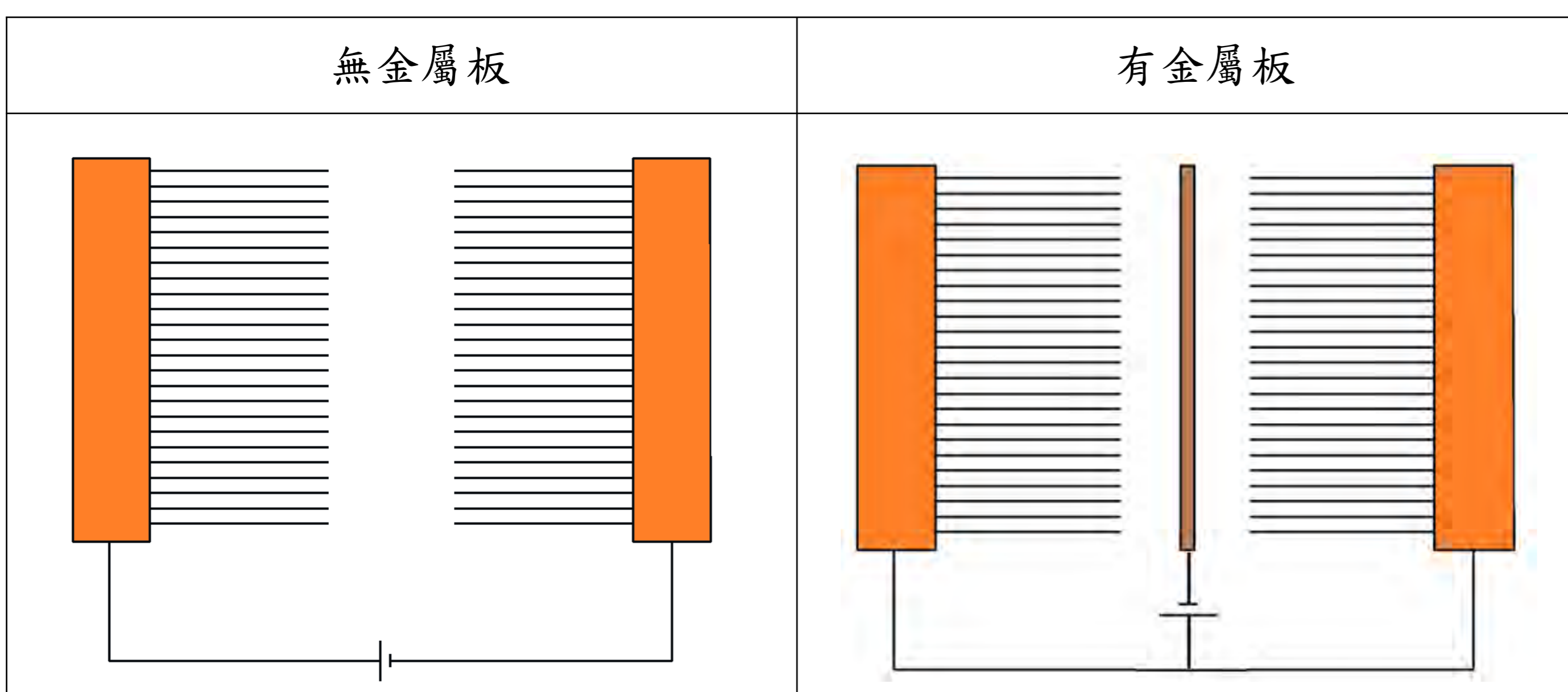


2. 測試在不同電壓下除濕器除濕量

將防水針灸針通入不同電壓分別為5V、10V、15V、20V、25V、30V，再將模型放入環境，並測量此時之除濕量。

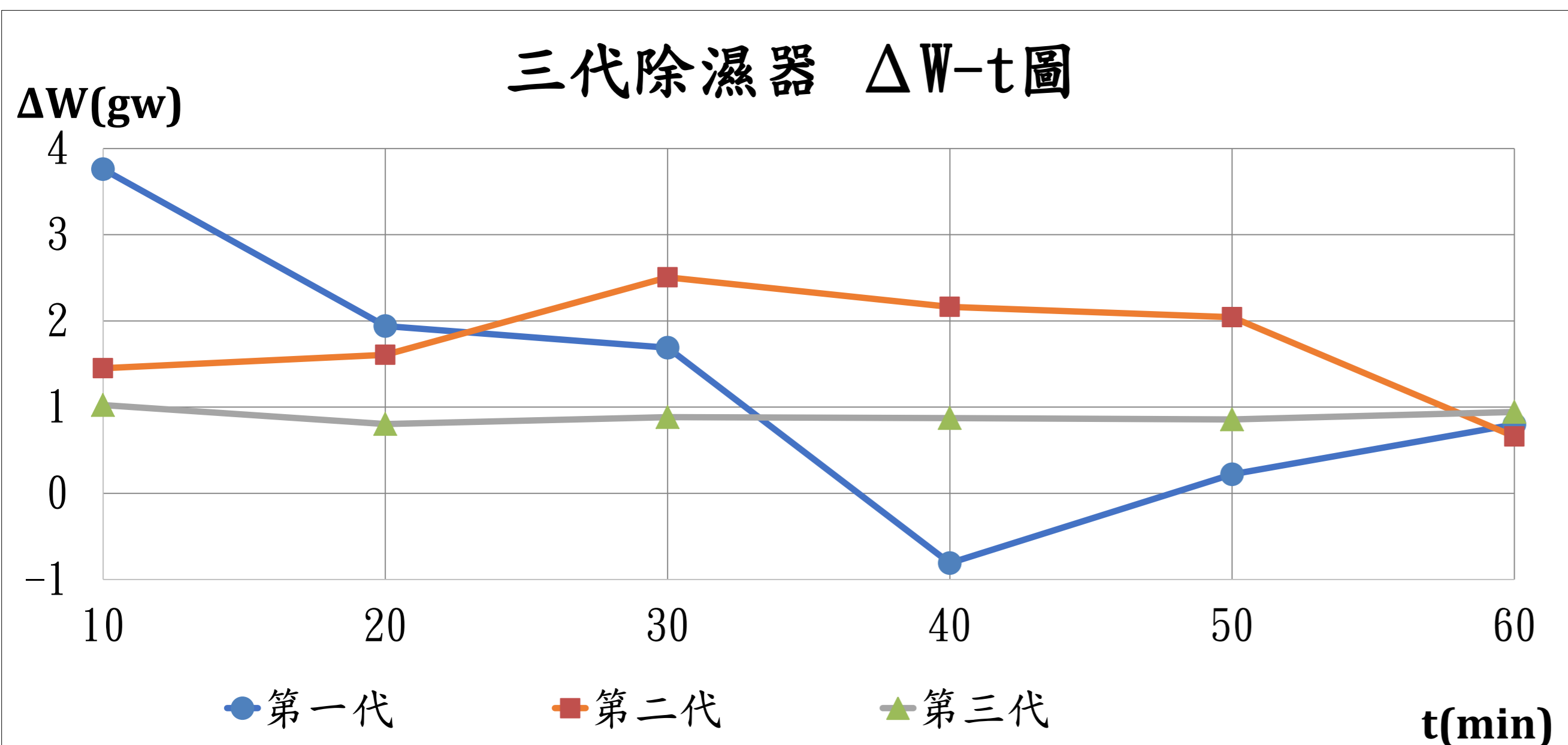
3. 測試針灸針接電方式

在除濕器裡的集水盒中間放置一垂直金屬板，將金屬板接以負極，兩旁針灸針接正極，利用LabView測量，記錄除濕器內的出入口含濕量變化。



伍、實驗結果與討論

(一) 一 ~ 三代模型比較



上圖中以1.0cm 漆包線更換至一~三代模型測量，並觀察其變化的穩定度。

($\Delta W = W_2 - W_1$ W_1 : 前10min水重 ; W_2 : 後10min水重)

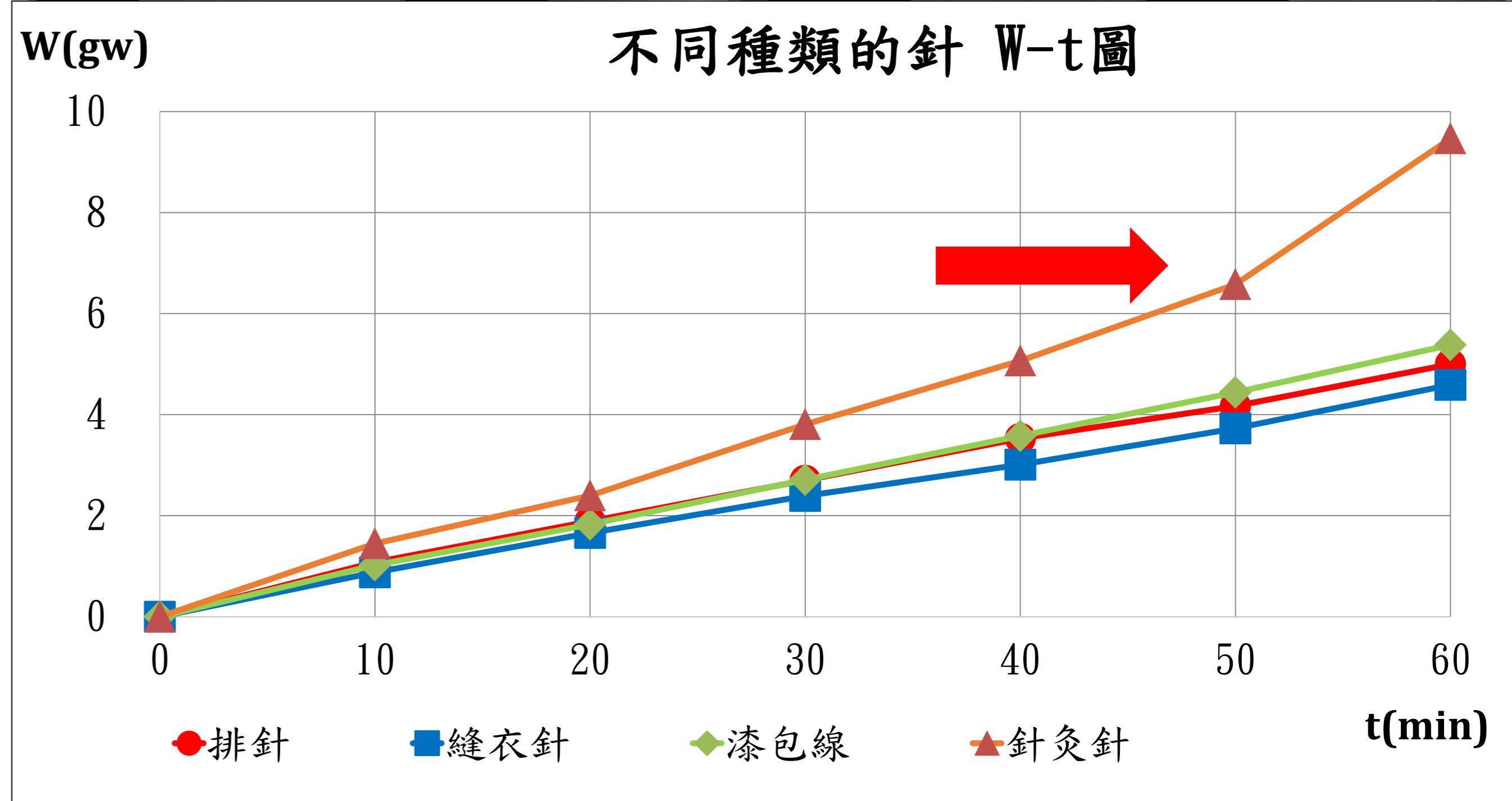
1. 第二代相較第一代穩定因為：風向改以吸入式，使風扇上的水分減少。

2. 穩定度第三代 > 第二代 > 第一代是因為：

(1) 未分離風扇時風扇上的殘留水滴

(2) 測量上減少移動除濕器過程

(二) 測試不同種類的針 (皆為200根)



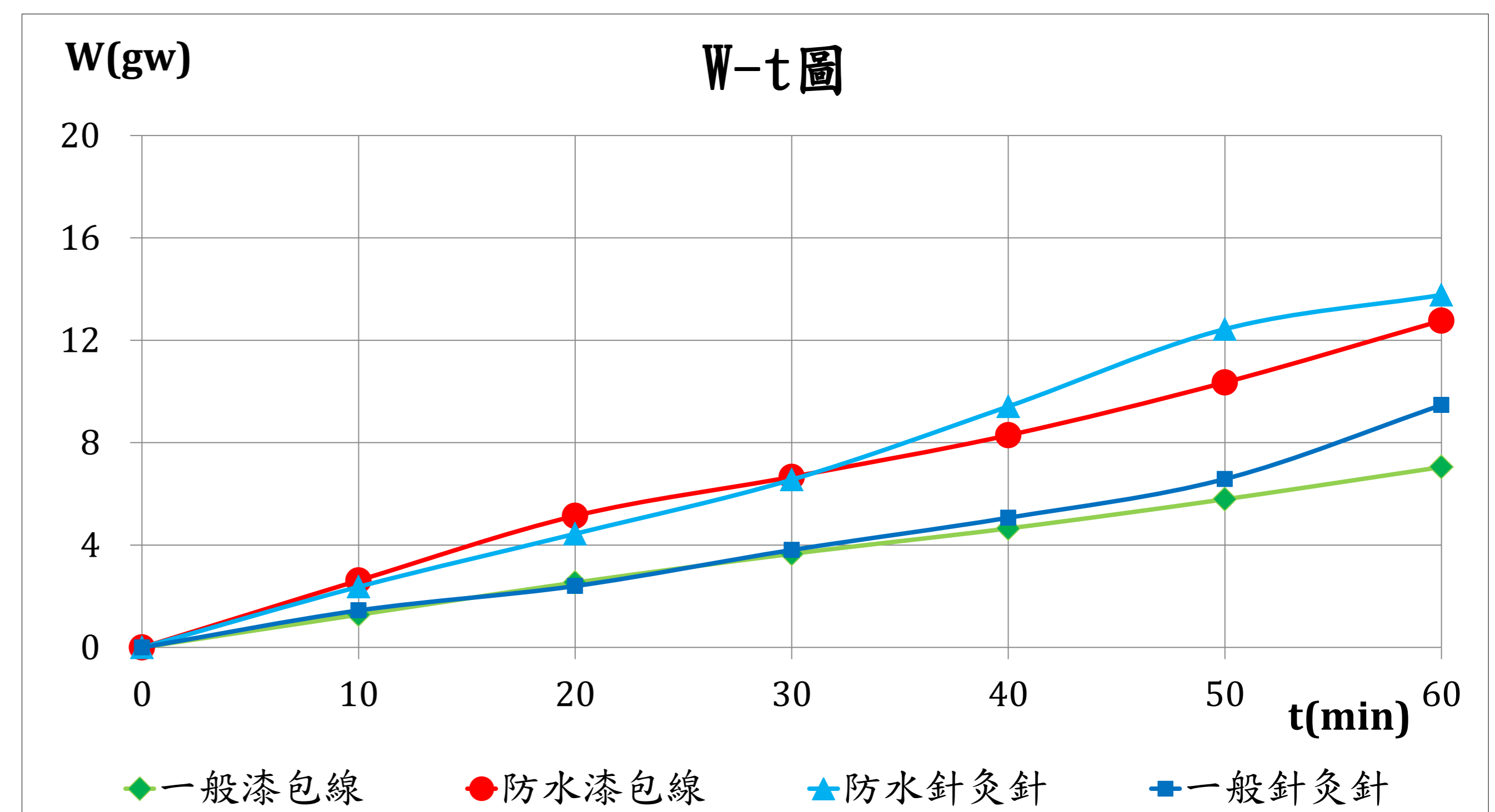
1. 集水能力：針灸針 > 漆包線 > 縫衣針 > 排針

2. 針灸針在後30min時斜率增大可能因為：

(1) 針灸針在凝水後水滴滴落快，使得針尖可以再一次的循環凝水

(2) 且針尖本身有細小水滴附著增加原本的凝結核讓凝水效果加速

(三) 測試有無噴上防水噴霧的針



1. 集水量：有噴上防水噴霧 > 無噴上防水噴霧

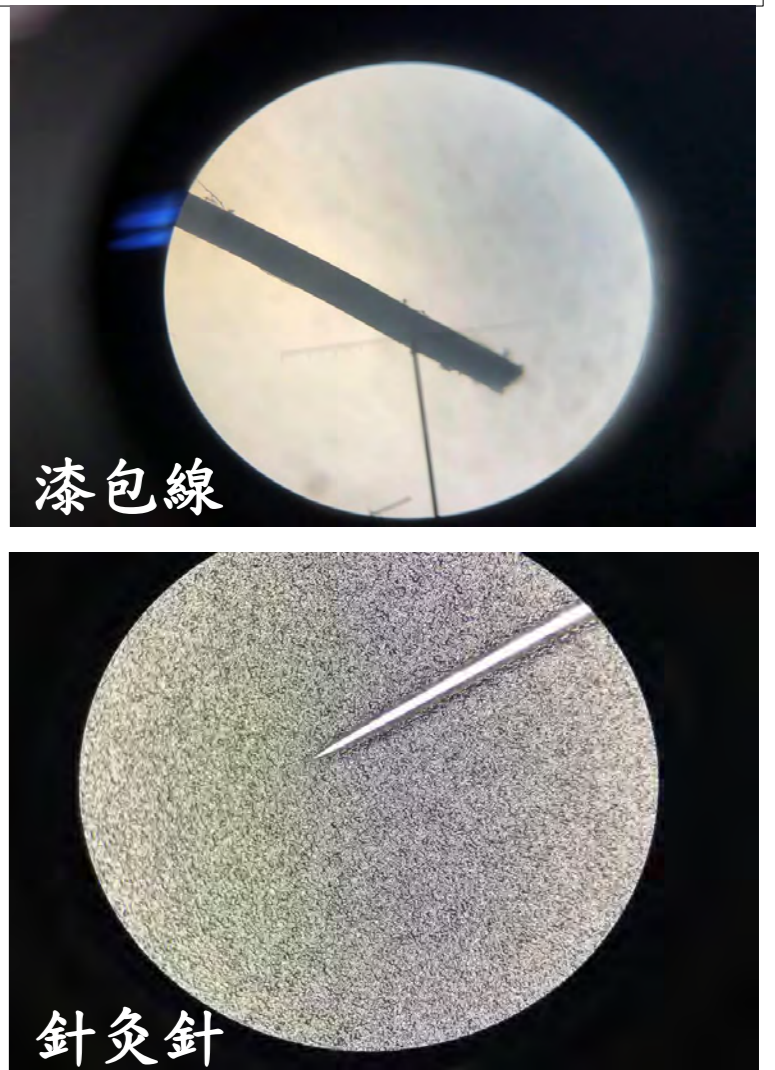
2. 防水漆包線集水量增加了81%

防水針灸針集水量增加了45%

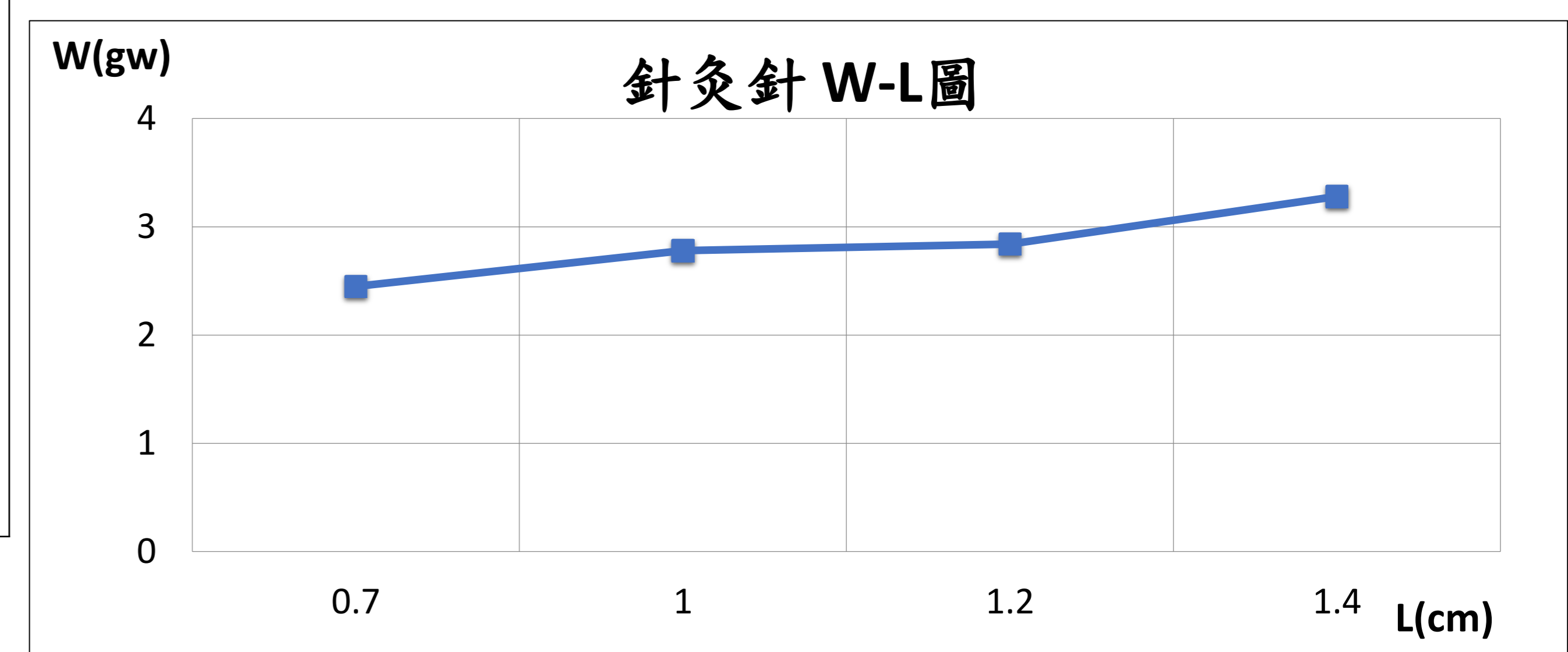
可能因為：

(1) 兩者的粗細相近，若皆具有疏水性，最終集水量相近。

(2) 在顯微鏡下，發現針灸針針尖處較尖銳，漆包線則較鈍，故針灸針的集水能力較優。

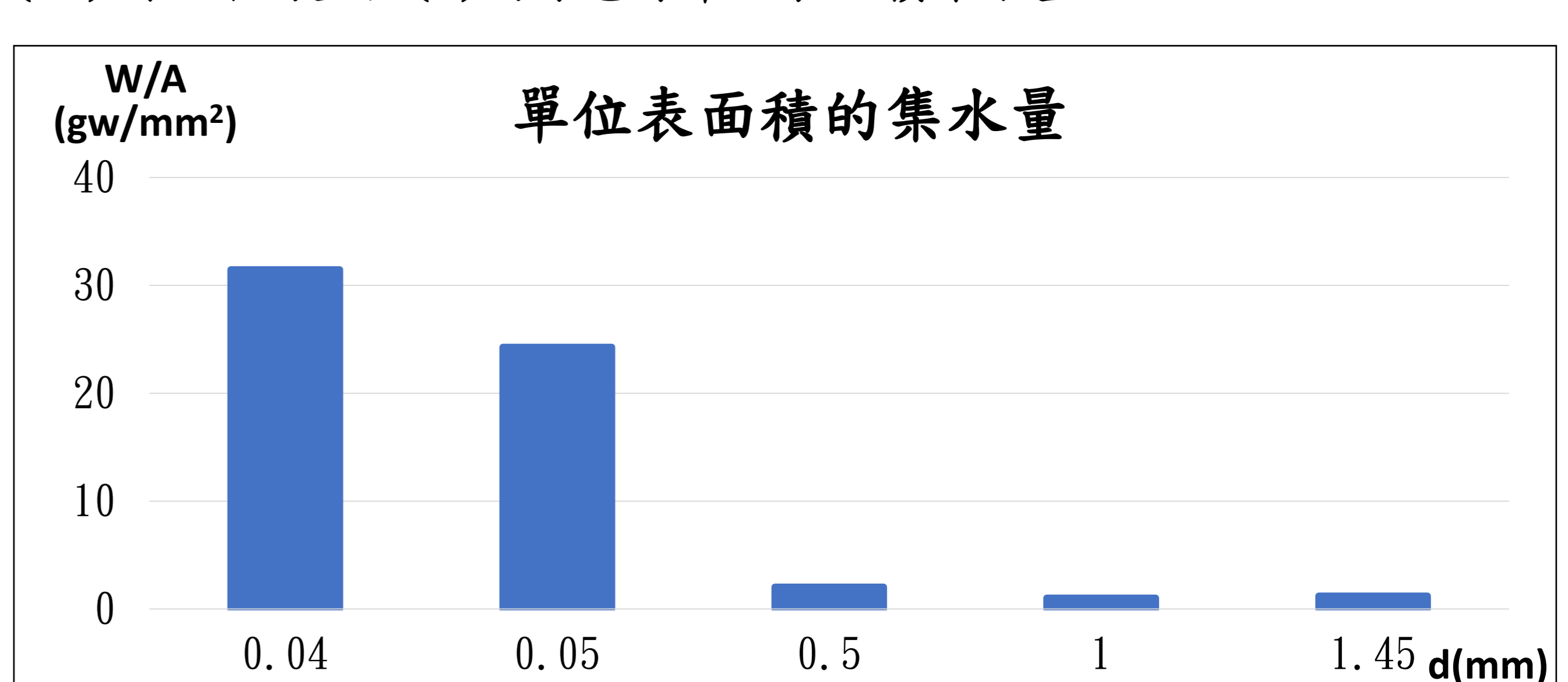


(四) 測試不同長度的針



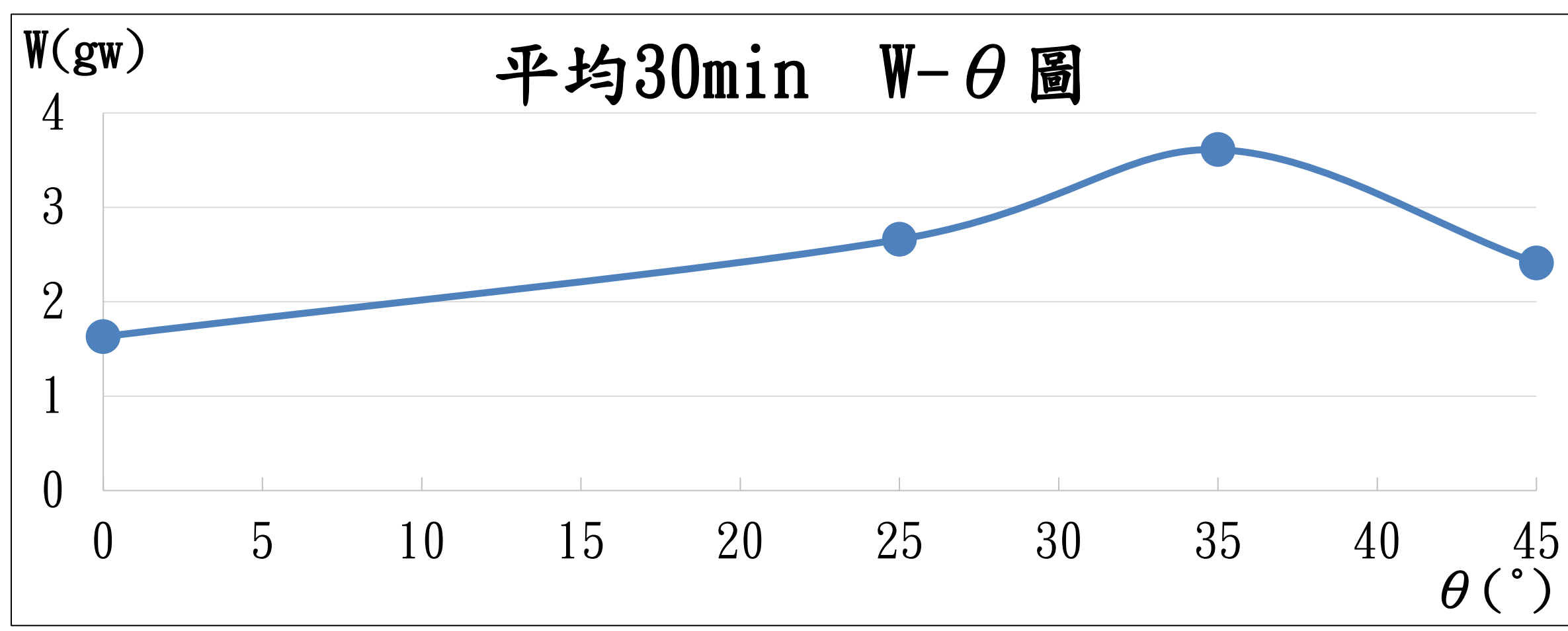
由上圖可知針的長度越長集水效果越好，因其表面積較大，接觸風及水氣的機會增加。

(五) 測試不同直徑(d)的漆包線單位表面積集水量



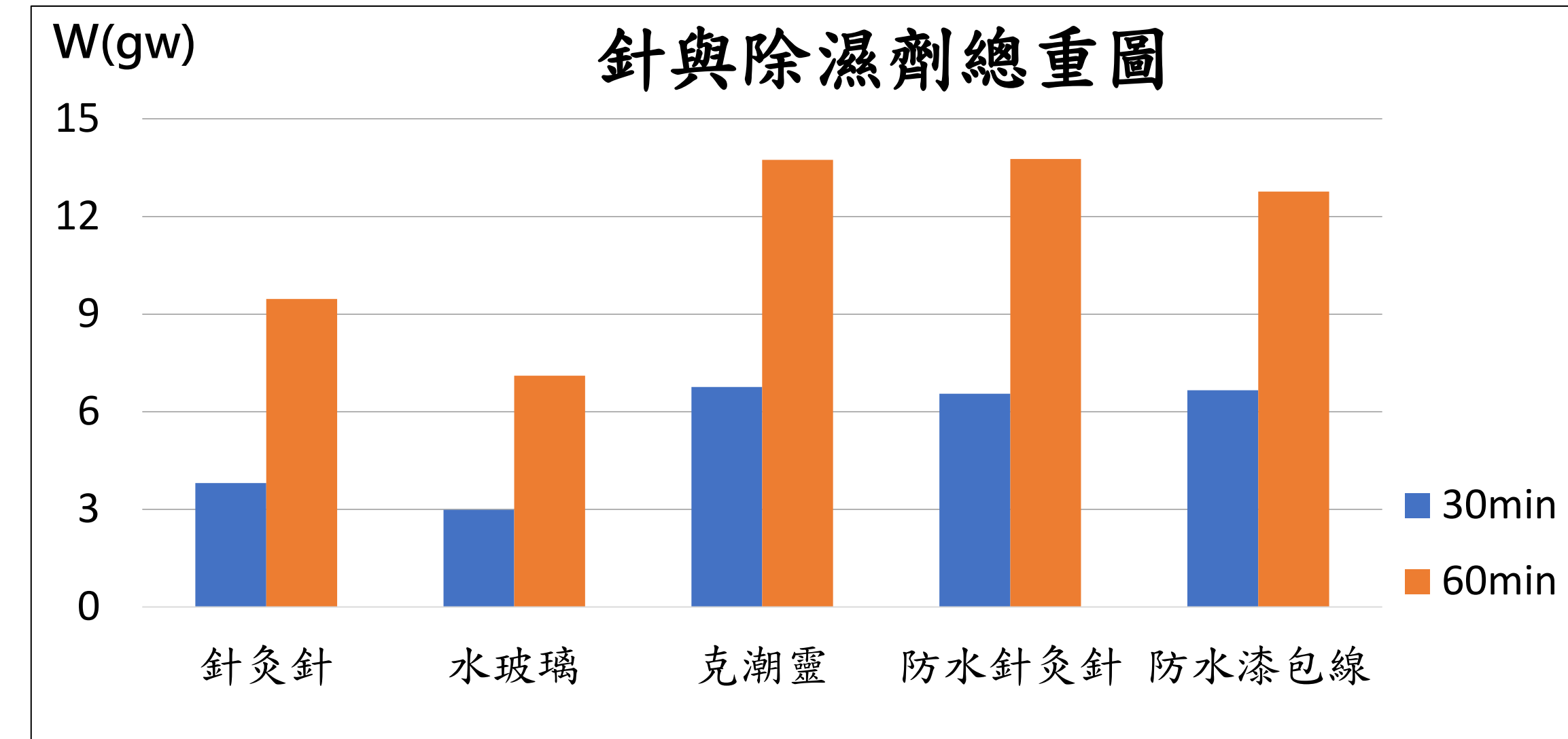
由上圖可知針越細單位表面積的集水效果越好，因其曲率較大，增加集水循環次數。

(六)測試不同角度的針



- 將針灸針向迎風面傾斜35°效果較佳，如同沐霧甲蟲身體傾斜之效應。
- 角度越大效果不一定越好是因為：
 - 角度越大時，針間會有溫度梯度差，針組本身也會讓溫度變化
 - 角度越大時，針間空隙會相對變大，導致在45°時的集水效果下降

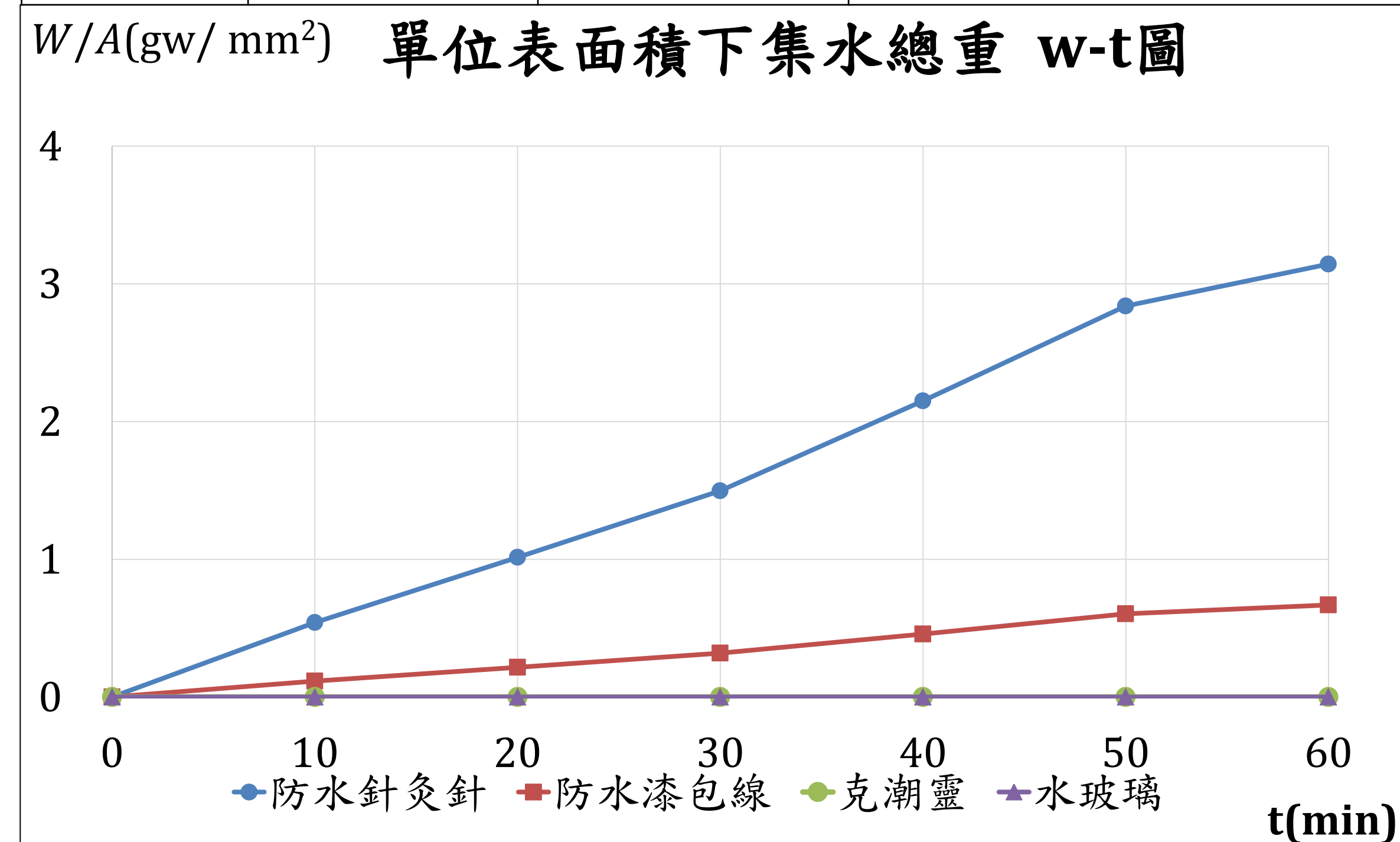
(七)測量市售除濕劑 (相對溼度99.9%)



防水針灸針除濕的效果跟克潮靈十分接近。

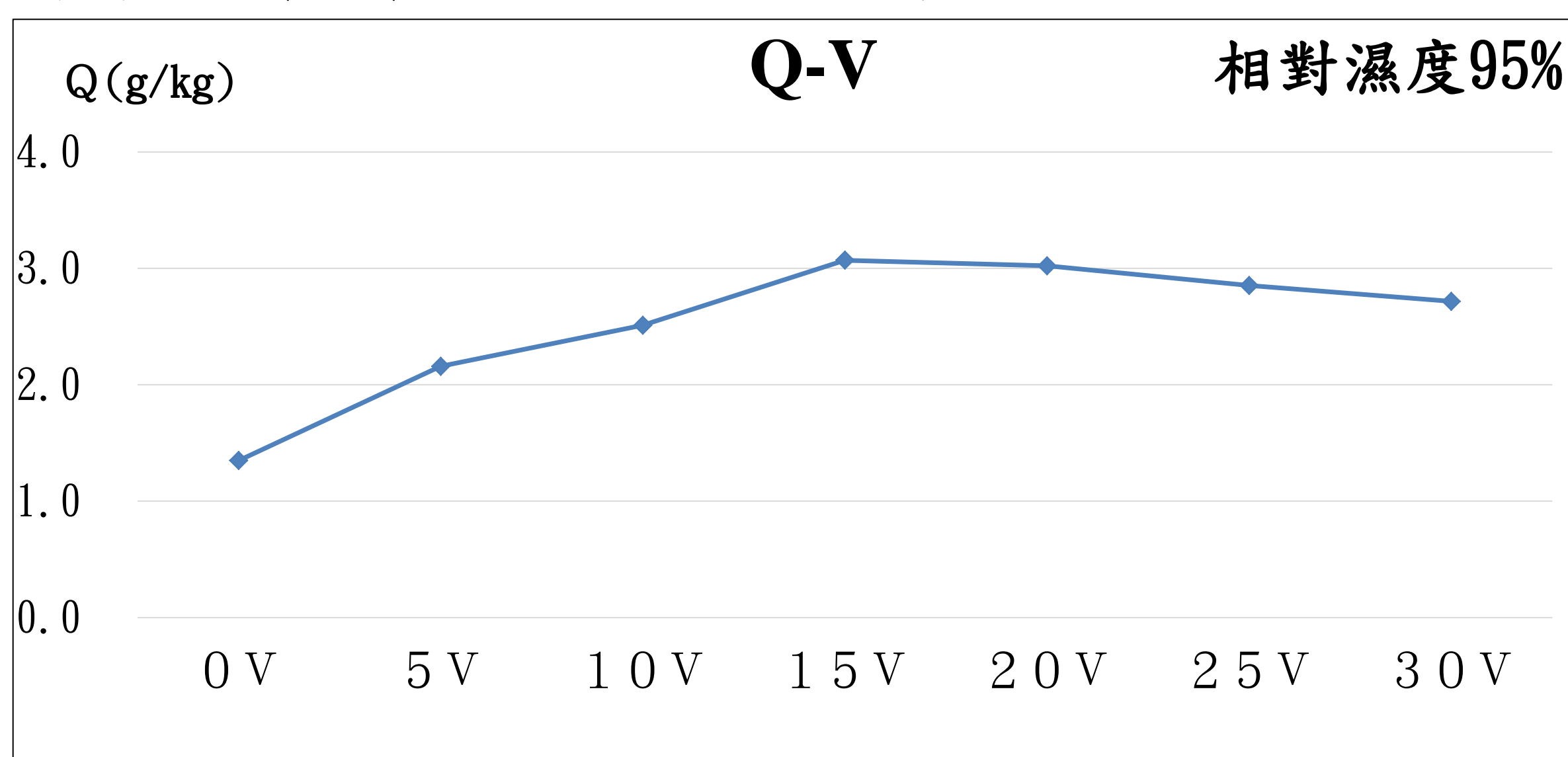
(八)單位表面積集水重之探討(g/cm²)

種類	漆包線	針灸針	水玻璃	克潮靈
總表面積 A(mm ²)	A=2.01 × 10 ⁴	A=2.00 × 10 ³	A=2.32 × 10 ⁴	A=2.32 × 10 ⁴
單一表面積 a(mm ²)	a=4.71	a=3.51		



將針灸針、漆包線、克潮靈和水玻璃以每單位表面積時所集的水重來比較。

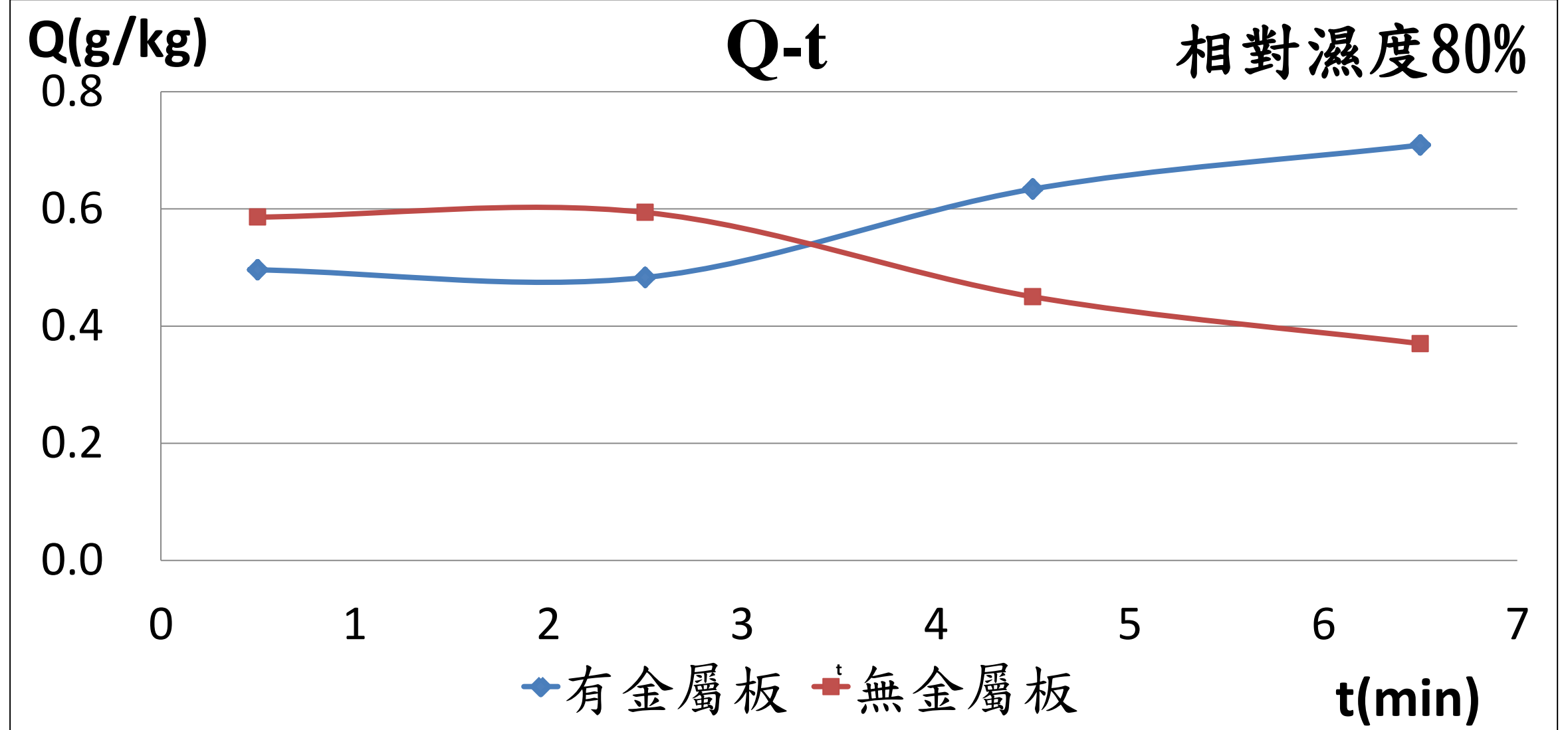
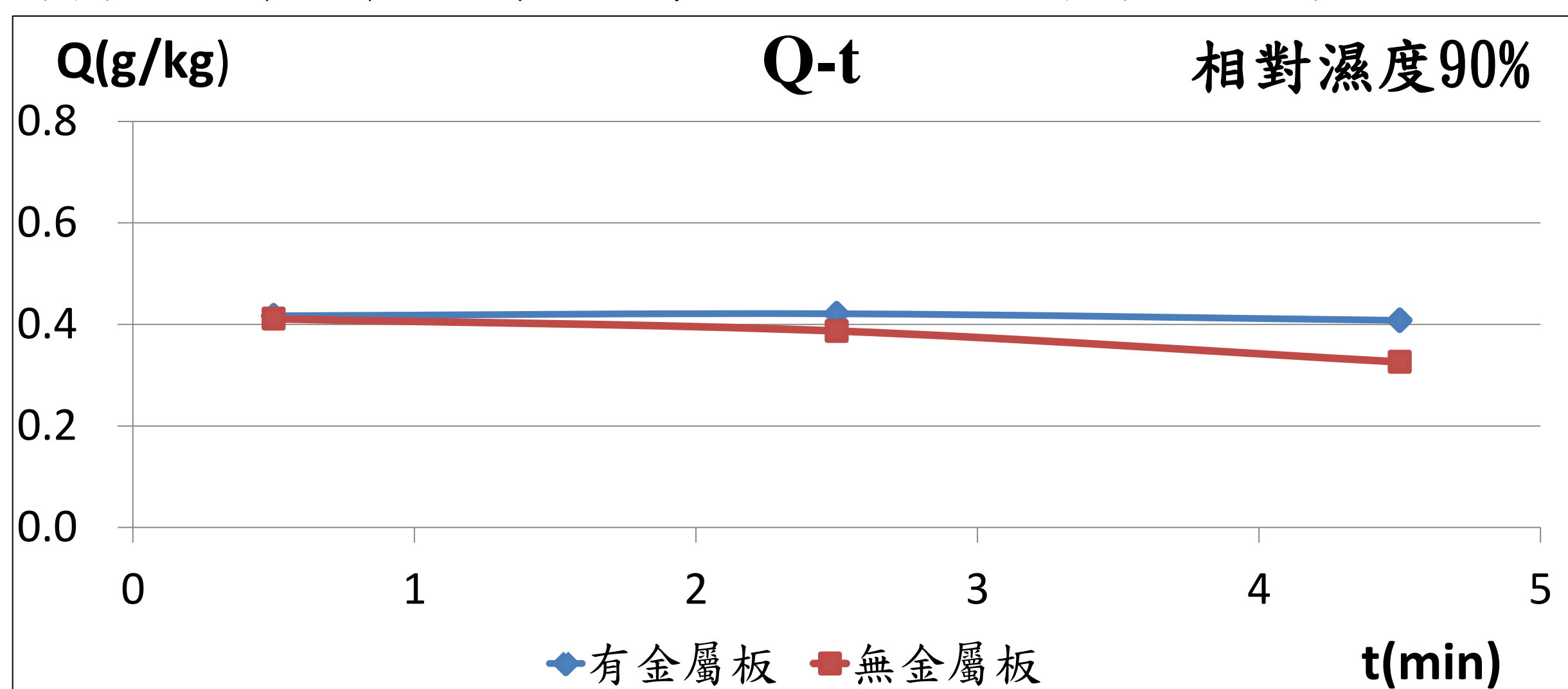
(九)通電針灸針不同電壓之除濕能力討論



Q=(入口處每公斤空氣的含水質量)-(出口處每公斤空氣的含水質量) (g/kg)

- 將針灸針通低電壓時，除濕器的除濕量增加。
- 通15V的針灸針除濕量最高(無通電時的2.19倍)，當電壓在高於15V時，除濕量會微微下降，推測其原因為電壓太高，易使針組溫度升高使水分蒸發回到空氣中。

(十)通電針灸針之間有無金屬板之除濕能力比較(電壓15V)



由上兩圖可知在除濕器內部架設金屬板通電後有助於提高除濕器除濕能力以及穩定性

陸、結論

- 使用針的尖銳端來模仿沐霧甲蟲的凸起，藉以收集水來除濕，是相當有效的方法，凝結在針上的水也可收集起來回收利用。
- 針的集水除濕能力會受其曲率及表面積影響，兩者越大集水除濕量會隨之提升。
- 有噴防水噴霧的針組除濕集水能力較無噴防水噴霧的針組來的優異。
- 針組集水量和時間呈現線性關係，顯示針尖集水具穩定性。
- 將針組通15V的電可使除濕器除濕效果更好，超過15V後除濕效果會緩緩下降。
- 在除濕器內部架設金屬板通以電場後有助於穩定以及提升除濕能力。

七.市售除濕劑與針尖除濕器比較：

	克潮靈	水玻璃	針尖除濕器
耗能	不耗能	92.4W/g	0.12W/g
效能	次之	最差	最優
優點	1. 除溼效果不錯	1. 可重複使用 2. 沒有毒性	1. 可重複使用 2. 集出的水可利用 3. 耗能少，且集水效果好
缺點	1. 不可重複利用 2. 集水呈弱鹼性 3. 具有刺激性，可能肌膚脫水	1. 集水效能差 2. 還原須高耗能 3. 集出的水不可利用	1. 總體積相對前兩者大

柒、未來展望

- 環境測試
因本次實驗目前只對於溫度25°C下的環境進行測試，未來應在進行不同溫度下的集水效果，研究溫度高於25°C自製除濕器的效能。
- 除濕器改良
 - 增加針尖數量，使能接觸溼空氣的表面積增加，進而增加水分凝結在針上的機會。
 - 改善針的排列方式，尋找最有效率且好加工的排列方式，增加除濕效果。
 - 尋找更有效能且便宜的針，降低製造除濕器的成本。
 - 將熱敏電阻感應系統無線化，並可將感測到的濕度數據記錄到電腦或手機中，可由遠端的使用者來選擇是否要進行除濕或是自動除濕。
 - 將自製除濕器模型實體化並運用物聯網使除濕機能遠端遙控，應用在生活上面。

捌、參考資料

- 綜論四水形態循環轉化緩解水危機與水安全的意義(2014年5月14日) · 壹讀 · 取自 <https://read01.com/zh-tw/644MBk.html#.WmGMM6iWY2x>
- 歐陽盛芝(2017年1月6日) · 可從空氣中高效集水的新仿生表面 · 科學 大觀園 · 取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/yKjJ.htm>
- 關於國語課老師談到的昆蟲(2012年7月30日) · roodo樂多日誌 · 取自 <http://reader.roodo.com/giant0116/archives/21077750.html>
- 徐筱芸、涂絮茹、黃勝詳(2014年4月2日) · 致冷晶片在除濕效能上之應用研究 · 取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2014/04/2014040214422258.pdf>
- 徐樹剛、游舒媛、戴清智、張昭君(2014年12月5日) · 吸附式水回收技術與材料介紹 · 材料世界網 · 取自 <https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=19283>
- 楊久慈(2014) · 仿生沐霧機制之建築外殼集水構件之探討(已出版的碩士論文) · 臺北：國立臺北科技大學