

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

第一名

082806

開根號—氣霧發根箱之研究

學校名稱：臺中市南屯區惠文國民小學

作者： 小六 李宇洋 小六 李定澤 小六 孔浩宇	指導老師： 郭 榮 陳易昌
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：氣霧耕、扦插、根

得獎感言

研究過程中常遇到大大小小困難，我們小組甚至連主題都曾經換過！不過歷經上次科展的洗禮，我們已經有所覺悟—科展是探索未知，有太多不確定性。就這樣，在老師悉心的指導下，我們更換主題，重新設計實驗、進行研究。我們嘗試打造氣霧發根箱，希望能夠改善土壤扦插發根率不高的問題。老師帶著我們採買材料、製作氣霧發根箱、撰寫程式、測試……。期間還遇到降溫困難，無法成功製冷的問題，經過抽絲剝繭，尋找問題的根源及解決辦法，反覆不斷的測試、修正，終於完成了我們的作品。

這兩年的科展生活中，我們學習到團隊合作的重要性；每當我們當中誰有什麼不了解，我們都會互相幫助，例如比賽時要進行的口試與簡報，對於口條不佳的我們，可是個大挑戰，但是這些辛苦與困難，在一起努力的夥伴相互鼓勵之下，讓我們在比賽時更有自信表達自我。時間安排是參加科展團隊最大的挑戰，過程中我們學習許多相關的背景知識與程式語言，需要花費不少時間；當我們遇到問題時，要花時間上網查資料，甚至假日、寒暑假都要排除事情來學校做實驗，過程中使我們對時間管理更有心得了！更體會到實事求是、堅持不放棄是成功的必要因素。去年全國賽有幸參與，但卻與獲獎失之交臂；在老師的鼓勵下，使我們重燃鬥志，繼續耕耘，在科學領域的學習更上一層樓。

我們最大的收穫是，對科學研究產生強烈的興趣。探索的過程雖然曲曲折折，但發現的那瞬間，其個中滋味真是妙不可言。

感謝：感謝上帝(老師說他一定要說這一句)、感謝父母家人支持、感謝評審、感謝學校、感謝老師、感謝市府輔導、感謝組員、感謝太多協助我們的朋友，因為有你們，讓我們研究不孤單，才能完成此作品！謝謝！



臺中市頒獎



59屆全國科展現場



默契絕佳！

摘要：

小組以氣霧耕的方式來替代課本的土壤扦插，我們自製氣霧箱，硬體包含三大部分：

- 一、繁殖箱：包含穩定的噴霧系統與良好的防漏設計。
- 二、獨立溫控水箱：儲存系統用水與穩定的溫控、過濾設備。
- 三、燈光：以省電 LED 燈泡二個提供光源。

軟體：以 arduino 程式語言控制，包含溫控、噴霧頻率、時間、燈光控制。

測試結果：

一、發根率：氣霧耕等於或優於土耕，其中金露花氣霧耕發根率達 80%，同時對照土耕發根率為 0%。地瓜葉測試 1.5 天即發根，發根長度氣霧耕是土耕的 3.53 倍，節發根率為 93.94%，土耕只有 24.14%。

二、移植後：氣霧耕催根後移植於土中，地瓜葉、朱槿、金露花、彩葉草後續成長順利。氣霧耕使扦插變得更容易！

壹、研究動機

五年級自然有植物無性繁殖的課程，利用植物的營養器官：根、莖、葉繁殖。最常使用的方式是將植物的莖取下一段，將其插入土中或水中，保持濕潤，待其發根。我們覺得很有趣，但是營養繁殖似乎沒那麼容易，切口會腐爛而發根失敗。

扦插需要無肥、通氣、水分充足的栽培介質。小組得知無土栽培其中有氣霧耕的方式，以氣霧代替土壤，提供植物根部舒適的環境：透氣又有水。心想，這不也是扦插所需要的環境嗎？那讓我們來試試氣霧耕是否能讓扦插變得容易！

貳、研究目的

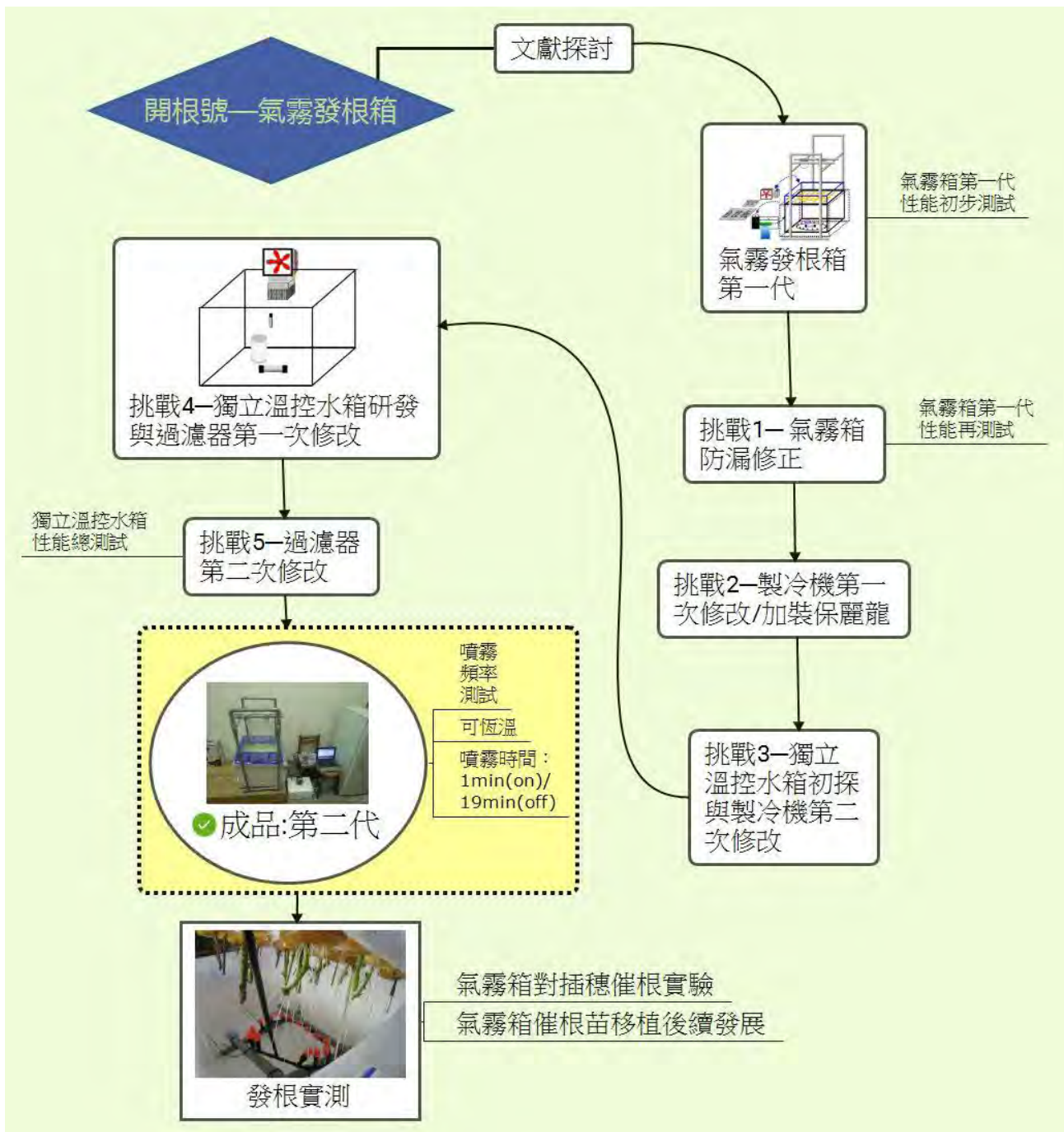
- 一、探討植物扦插繁殖所需要的環境。
- 二、配合植物扦插繁殖需求設計氣霧箱。
- 三、撰寫程式控制氣霧箱。
- 四、提出扦插繁殖的另一途徑。

參、研究設備與器材

- 一、氣霧箱：回收保麗龍箱、滑輪整理箱、PP 版、免洗杯、海綿、置物籃、透明塑膠布、馬達、二分管、三分管、噴頭、接頭、水管、水管接頭、燈、電線、插座、過濾器、水族用加熱管 50W、致冷晶片、散熱片、散熱風扇、電源供應器。
- 二、氣霧箱控制套件：arduino 板、杜邦線、網路線、溫溼度感測器。
- 三、程式軟體：Arduino IDE。
- 四、工具：錫槍、熱熔槍、鑽孔機、直徑約 5 公分鑽頭、剪刀、螺絲工具組等。
- 五、其他：培養土、蛭石、珍珠石、植物名牌、穴苗盆等。

肆、研究方法、結果與討論

實驗流程圖



實驗【一】文獻探討

我們查閱資料，整理如下：

- 一、植物扦插繁殖：屬於植物營養繁殖，扦插是切下植物的營養器官如根、莖、葉來繁殖，常見的方式是利用植物的莖，切取其一段包含約 2~3 個節的莖，插於通氣、保水良好、不帶肥料的栽培介質。環境溫度：一般插床內之適溫多為 15~25°C，扦插熱帶作物則以 20~28°C 為佳，勿直射光照，散射光或適當遮陰。五年級自然課有扦

插的課程。

二、氣霧耕：

氣霧耕（Aeroponics）是成長的過程中的植物在空氣或氣霧環境不使用土壤或栽培介質。

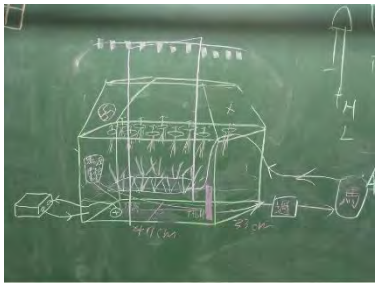
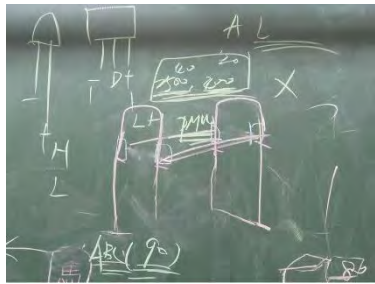
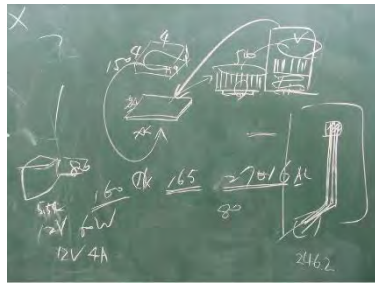
三、氣霧耕發根箱市售產品：網路上有許多分享與市售產品。請參閱文後參考資料。

實驗【二】氣霧發根箱第一代

由文獻中，我們參考成功案例得知，**pH 值、清潔、溫度是關鍵三大要素**。我們第一代氣霧發根箱設計決定包含這幾個部分。清潔部份決定裝設過濾器、溫度控制則使用致冷晶片與水族加熱管，pH 部分則以 pH 計調整之。

（一）實驗方法：

1. 將氣霧箱分為**主體繁殖箱、燈架、溫控、噴霧過濾系統、自動控制板**五大部分。

		
氣霧箱主體設計圖	燈架設計圖	致冷晶片組裝圖

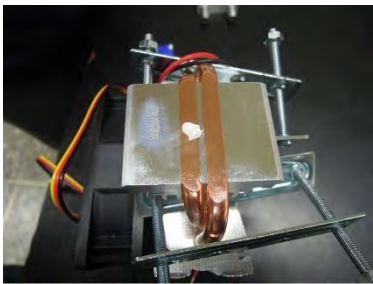
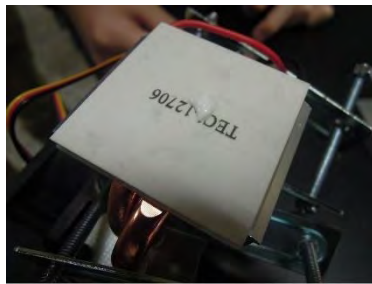
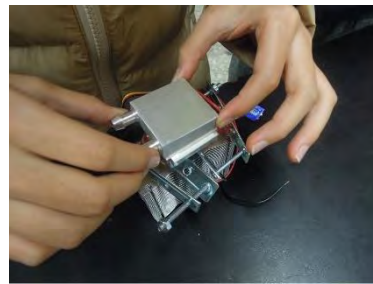
2. 主體繁殖箱：

		
切割栽植穴：先在 PP 板上製圖，以 5cm 左右直徑鑽孔。	製作插穗杯：免洗杯底部開口，塞入海棉。	氣霧箱保溫：回收保麗龍箱 2 個，切割後包覆置物箱。

3. 燈架組裝：

		
切割電線管。	以束帶固定交接處。	串聯 LED 燈泡。

4. 溫控：包含製冷機與加熱管—加熱管使用水族用加熱管 50W，製冷機自組。

		
散熱風扇連接致冷晶片散熱端，塗上散熱膏。	致冷晶片。	冷端與水冷頭連接。

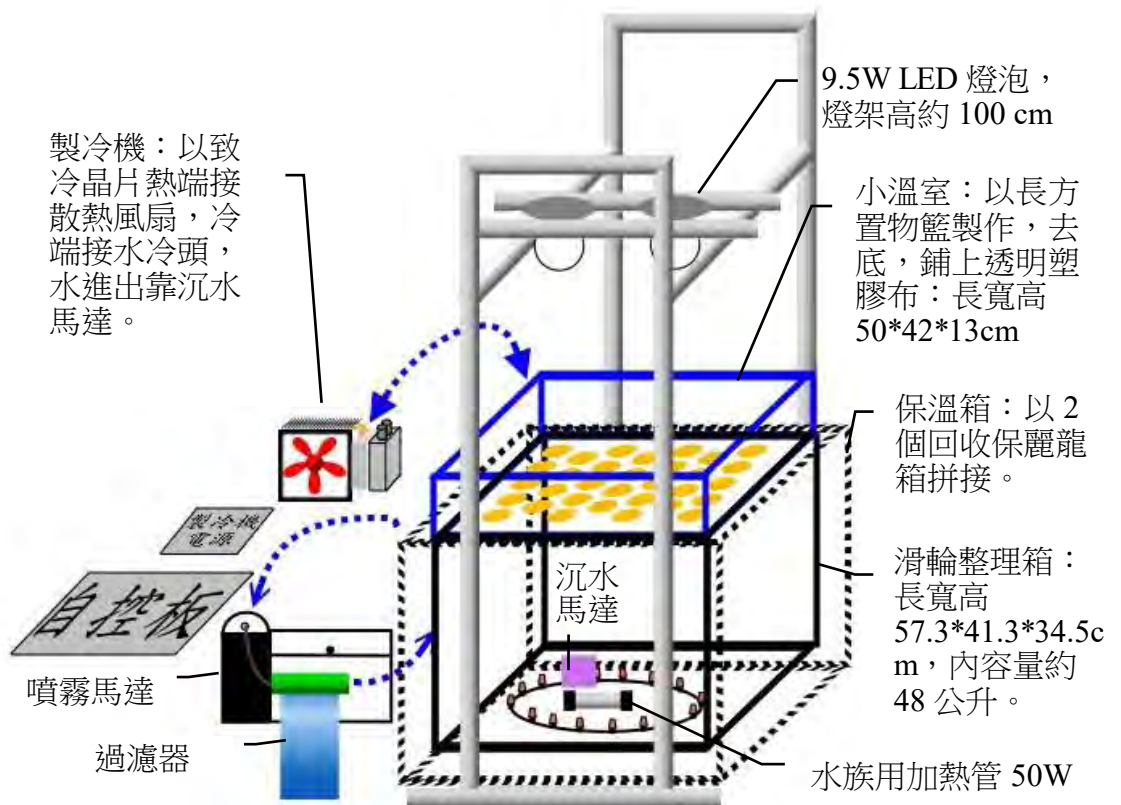
5. 噴霧過濾系統組裝：

		
噴頭與二分管連成環狀，16個噴頭，間距4公分。	飲水機過濾器。	測量第一代系統所需水量。

6. 自動控制版：以 arduino UNO、繼電器、麵包版、杜邦線、時間晶片、溫溼度感測器等組裝。

(二) 結果：

1. 第一代氣霧發根箱圖說。



(三) 討論：第一代氣霧發根箱特色：

1. **溫控**：參考國外商品，發現並無良好的溫控；但由於國外家家戶戶本來就有溫控，小組則加裝溫控設備來因應我們的需要，**包含加溫與製冷，也在發根箱主體外圍包覆隔熱層保麗龍，減少熱傳播**。
2. **過濾設備**：因為植物發根繁殖期並不短，反覆運用相同的水，若有植物組織掉入水中，容易阻塞噴霧管線，故**設置飲水機過濾設備阻絕異物且能使水更乾淨**。
3. **環保**：保麗龍箱是從學校菜籃族回收，雖然外表有些髒，但保溫效果仍佳。



實驗【三】氣霧箱第一代性能初步測試

氣霧箱必須要：噴霧、過濾、溫控三大功能都能穩定。小組邊組裝第一代氣霧箱，邊測試其性能。

(一) 實驗方法：

1. 噴霧系統：接上馬達後測試，觀察噴嘴是否能噴霧，並調整噴頭，觀察噴霧高度。
2. 溫控致冷晶片測試：組裝好的致冷晶片加上沉水馬達，以五公升水桶裝水測試之。
3. 觀察缺失，討論修正。

(二) 結果：

1. 噴霧高度：高於置物箱的高 29cm，即噴霧能充分達到植物插穗底部。噴霧能力穩定。
2. 溫控致冷晶片測試：水桶測試冷卻效果好，降溫明顯。
3. 其他：意外發現噴霧效能雖好，但是水會由上蓋縫隙流出，產生重大瑕疵。

(三) 討論：

1. 確認噴霧系統、致冷晶片穩定，暫不需修正。
2. **發現問題**：由於氣霧箱漏水會造成大麻煩，一則氣霧箱是放置於室內，二則旁邊就有許多電器，如電源供應器、自動控制板、麵包版、馬達等等。務必要解決漏水問題。

實驗【四】挑戰 1—氣霧箱防漏修正

(一) 實驗方法：

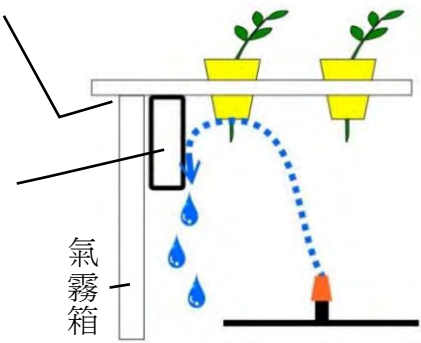
1. 仔細觀察漏水原因。
2. 討論因應對策。
3. 加裝**防水擋板**，讓霧滴順勢往下，阻止滲漏。



觀察漏水部位

隙縫：原本水從這裡漏出。

防水擋板：霧滴碰到擋板，會集結成水滴落下，使水無法集結於隙縫，能有效防漏。



防水擋板設計圖

(二) 結果：

1. 加裝防水擋板，成功阻止漏水。



防水擋板照片

經過多次觀察與調整，發現**關鍵原因是置物箱本身不是矩形，是有弧度的。**

特別在寬的部分需要調整，因此我們依照置物箱寬邊的弧度，在上蓋增添擋板，**以PP板層層堆疊，補足弧度造成的空隙**；如此，便能減少和下方的置物箱的間隙，阻止漏水。

(三) 討論：

1. 觀察水是由上蓋縫隙漏出，但因為要觀察氣霧箱內植物發根狀況，勢必需要常常開關，故決定採用防水擋板來改善。
2. **加裝防水擋板，成功阻止滲漏。**

實驗【五】氣霧箱第一代性能再測試

漏水問題克服後，進一步測試噴霧、過濾、溫控三大功能。小組測試並記錄其數據，做為修改設計的依據。

(一) 實驗方法：

1. 第一代噴霧與過濾測試：接上馬達後測試，觀察噴嘴是否能噴霧、過濾器是否

會阻擋水路。

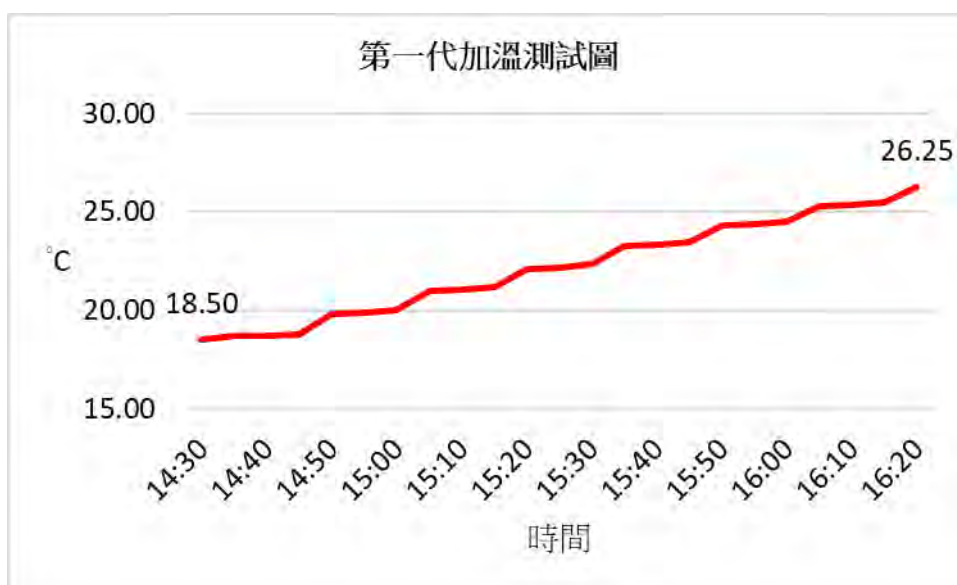
2. 第一代加溫測試：開啟噴霧 on/off = 3min/12min，測試加熱管 50W 是否能加熱系統至目標 25°C~27°C。
3. 第一代製冷測試：開啟噴霧 on/off = 3min/12min，測試第一代自製製冷機是否能使系統降溫至目標 20°C。

(二) 結果：

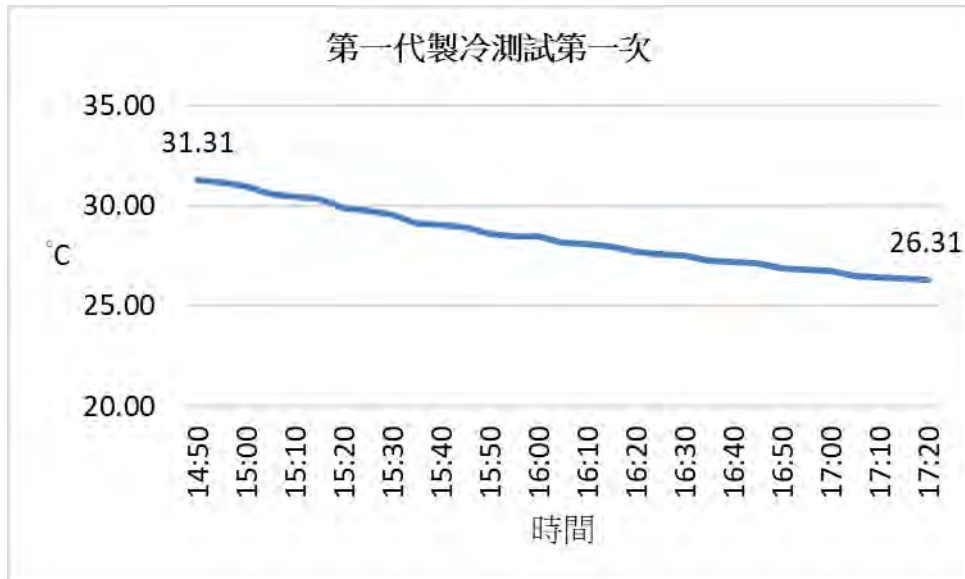
1. 噴霧與過濾測試：噴霧高度高於置物箱的高 29cm，即噴霧能充分達到植物插穗底部。過濾器亦充分發揮功能，串聯於噴霧系統上並無造成噴霧障礙。
2. 第一代加溫測試：測量水體約 8650ml，室溫 21.60°C，系統加熱效能平均為半小時升溫 2°C。最後一筆記錄在 16:20，溫度是 26.25°C。

時間	發根箱(°C)	增溫(°C)
14:30	18.50	
15:00	20.00	1.50
15:30	22.37	2.37
16:00	24.50	2.13
		平均：2.00

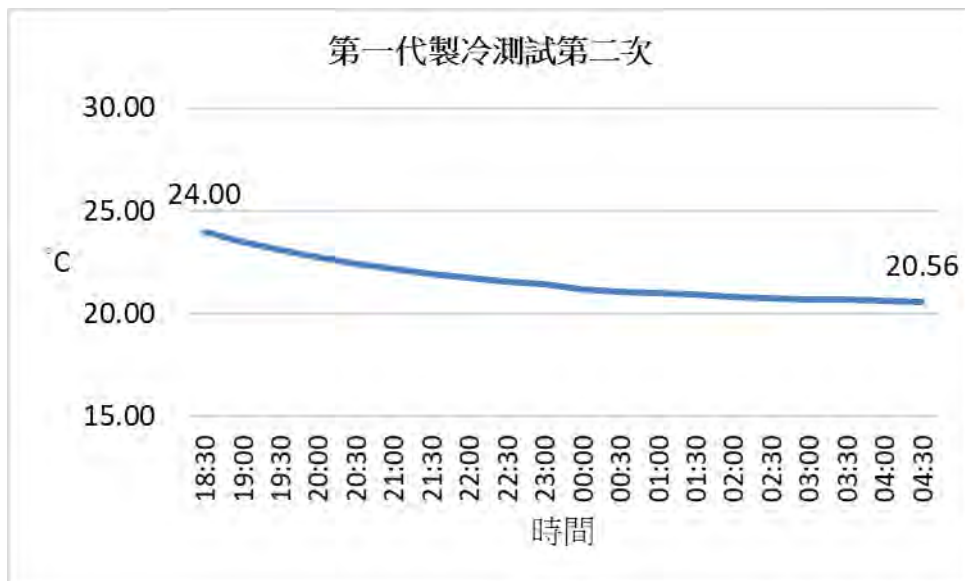
3. 第一代加溫測試圖



4. 第一代製冷測試第一次(水溫高於室溫)：測量水體約 8650ml，室溫 25.10°C，系統製冷效能平均為半小時下降 1.05°C。



5. 第一代製冷測試第二次(水溫近於室溫)：測量水體約 8650ml，室溫 23.60°C，系統製冷效能平均為半小時下降 0.18°C。



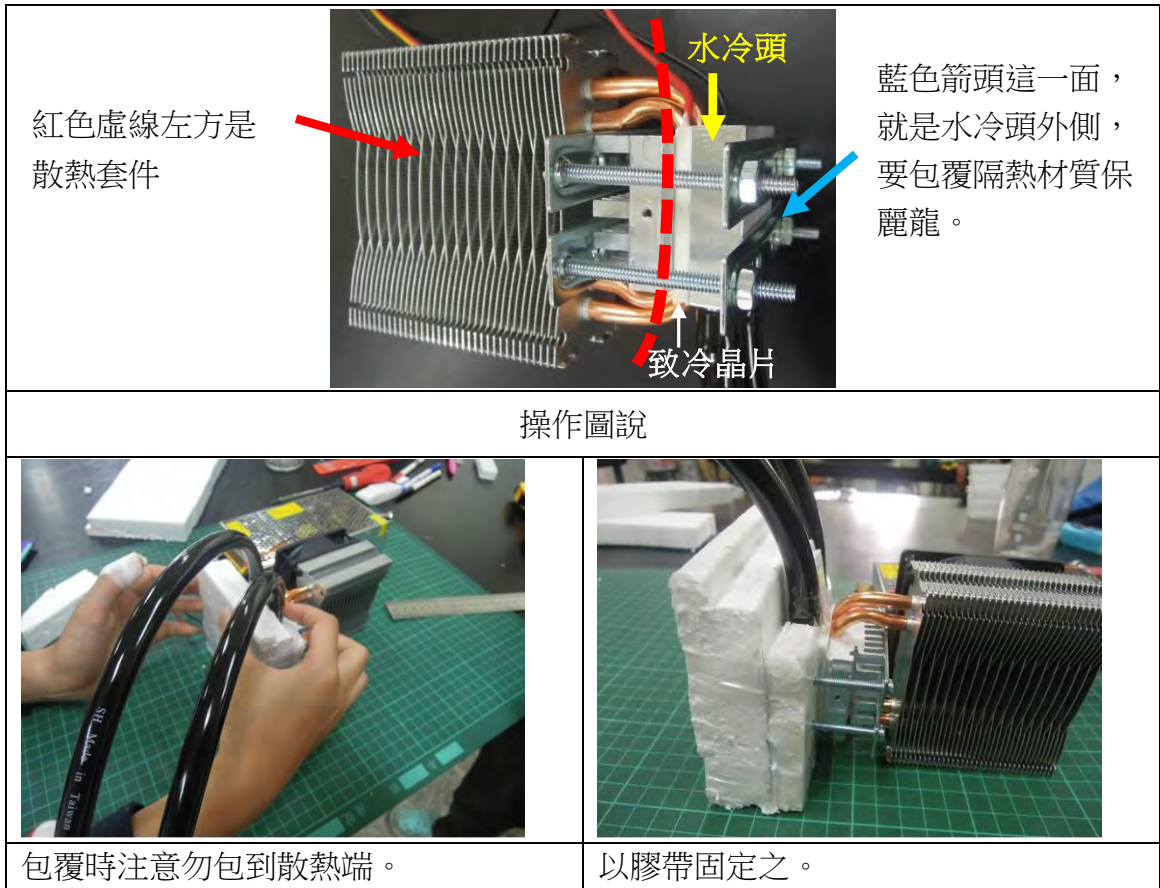
(三) 討論：

1. 噴霧與過濾系統第一次測試即過關。
2. 第一代加溫：加溫效果很理想，室溫偏低能每半小時升溫 2.00°C，約兩個小時由 18.50°C 升到 26.25°C，高於室溫約 4.65°C。加溫效果通過測試。
3. 第一代製冷：**第一次測試平均每半小時降溫 1.05°C**，但無法觀測到接近室溫後的製冷效果。**第二次測試平均每半小時降溫 0.18°C**，可以發現當水溫接近室溫時，製冷效能差了 5.8 倍！遠遠低於第一次測試，**合理推測第一次測試時室溫幫了大忙**。製冷效果未通過測試。
4. 在實驗【三】氣霧箱第一代性能初步測試中，製冷效果顯著，但合併噴霧、過濾實測時，效能似乎不如預期。
5. **發現問題：第一代製冷機效果不佳**，仔細觀察與討論後，先嘗試改善水冷頭外側隔熱，期盼可以有效提升製冷能力。

實驗【六】挑戰 2—製冷機第一次修改/加裝保麗龍

(一) 實驗方法：

1. 將水冷頭外側包覆隔熱材質保麗龍，降低外界熱傳導。



2. 開啟噴霧 on/off = 3min/12min，測試水溫下降速度。

(二) 結果：

1. 製冷機第一次修改結果照片。



製冷機第一次修改照片

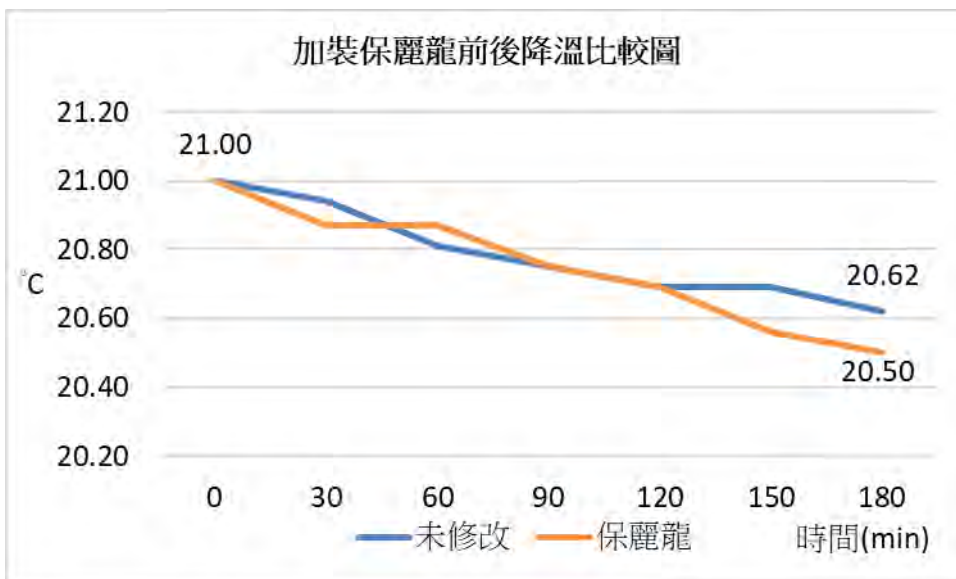
由原本的設計改善水冷頭外側的隔熱：我們加裝保麗龍，減少外界室溫傳送到水冷頭，期望有效提升製冷能力。

2. 製冷機外側加裝保麗龍後，功能測試：測量水體約 8650ml，室溫 23.60°C，系統製冷效能平均為半小時降溫 0.11°C。



(三) 討論：

1. 加保麗龍後製冷效能是否增加？若與實驗五未裝保麗龍前比較，似乎裝保麗龍不但沒有改善還降低效能；但事實上實驗五的兩次測試，其初水溫都高於本實驗，而且也高於室溫 23.60°C，表示室溫也會幫忙降溫；再者，實驗五、六所取數據的時間長度也不同。
2. 經過調整後，將實驗五與實驗六均取水溫 21.00°C，製冷 3 小時之後的數據比較如下。



3. 近一步將兩組降溫能力平均，加裝保麗龍將溫能力較佳。

實驗五 未修改			實驗六 保麗龍		
時間(分)	氣霧箱(°C)	降溫(°C)	時間(分)	氣霧箱(°C)	降溫(°C)
0	21.00		0	21.00	
30	20.94	0.06	30	20.87	0.13
60	20.81	0.13	60	20.87	0.00
90	20.75	0.06	90	20.75	0.12
120	20.69	0.06	120	20.69	0.06
150	20.69	0.00	150	20.56	0.13
180	20.62	0.07	180	20.50	0.06
		平均：0.06			平均：0.08

4. 製冷機加裝保麗龍效果不佳，雖說比沒加好，但是製冷效果改進幅度有限，若半小時只能降 0.08°C，那若熱天期待降個 4°C，則需要 50 小時；即便真的能降溫，那製冷機長期運作不休息，大概也無法負荷。
5. 發現問題：製冷機第一次修正效果太有限，仔細觀察與討論後，推測有三原因，一是水體太大(最初是在水桶內測試，水不到 5 公升且無噴霧曝氣干擾，是單純製冷)，二為繁殖箱保溫效果不理想，三是過濾器含太多水又暴露於室溫，導致整體降溫困難。

實驗【七】挑戰 3—獨立溫控水箱初探與製冷機第二次修改

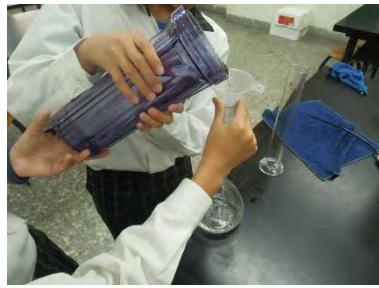
根據實驗六的討論，我們決定先減少水體，配合的方式有：調整噴水時間與頻率，將水的部分獨立出來，自成獨立水箱。繁殖箱保溫效果我們暫時不修改，但對於保溫我們則將獨立水箱設計完善的保溫，盡量讓水減少直接暴露於室溫的時間。過濾器方面我們忍痛放棄原本高級的過濾器，先移除過濾器。

(一) 實驗方法：

1. 測量飲水過濾器之容量、移除飲水過濾器。
2. 以市售冰桶將水獨立溫控，至此，溫控水箱與繁殖箱正式分為二。
3. 製冷機修改：將水冷頭與沉水馬達移除，改將致冷面與散熱片結合，散熱片將直接接觸水面，散熱端不變。
4. 在市售冰桶上方覆蓋 PP 版，將製冷機插入，使散熱片直接與水面接觸。
5. 關閉噴霧，單純測試水溫下降速度。



散熱片直接接觸水面



過濾器容量測量



移除過濾器

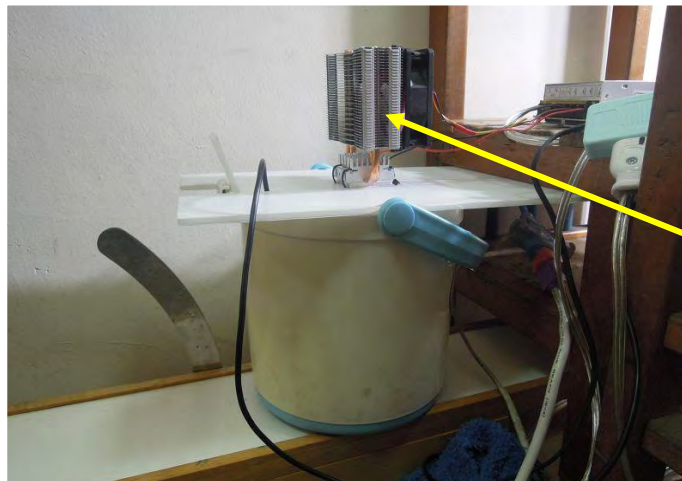


測試冰桶降溫

6. 減低噴霧頻率：on/off = 1min/19min，測獨立溫控水箱水量，是否符合一次噴霧所需。

(二) 結果：

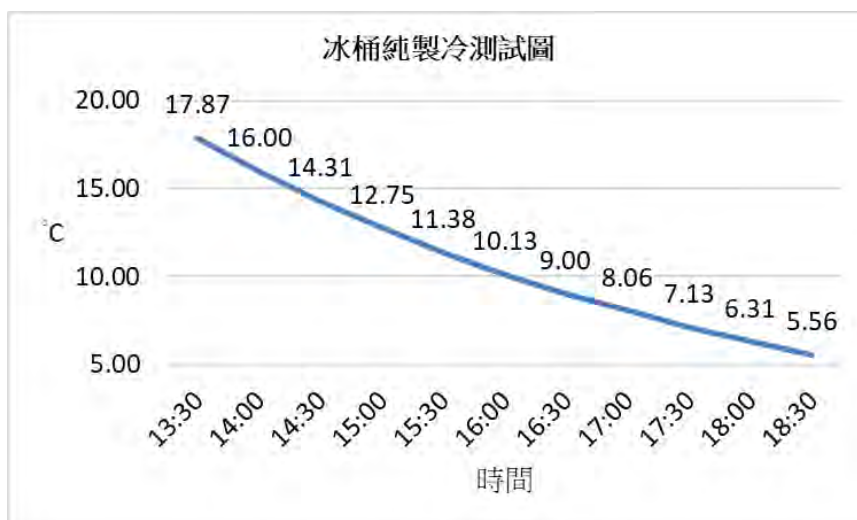
1. 飲水過濾器之容量為 1110ml，占總水量 8650ml 的 12.83%。
2. 製冷機第二次修改結果照片。



製冷機第二次修改：獨立溫控水箱

1. 冰桶容量約2700ml。
2. 噴霧1分鐘約耗水 2400ml，冰桶容量大於一次的耗水量。
3. 製冷機修改，冷端加裝散熱片直接接觸水面。

3. 關閉噴霧，單純測試獨立溫控水箱製冷能力測試：測量水體約 2700ml，室溫 22.60°C，系統製冷效能平均為半小時降溫 1.23°C。



(三) 討論：

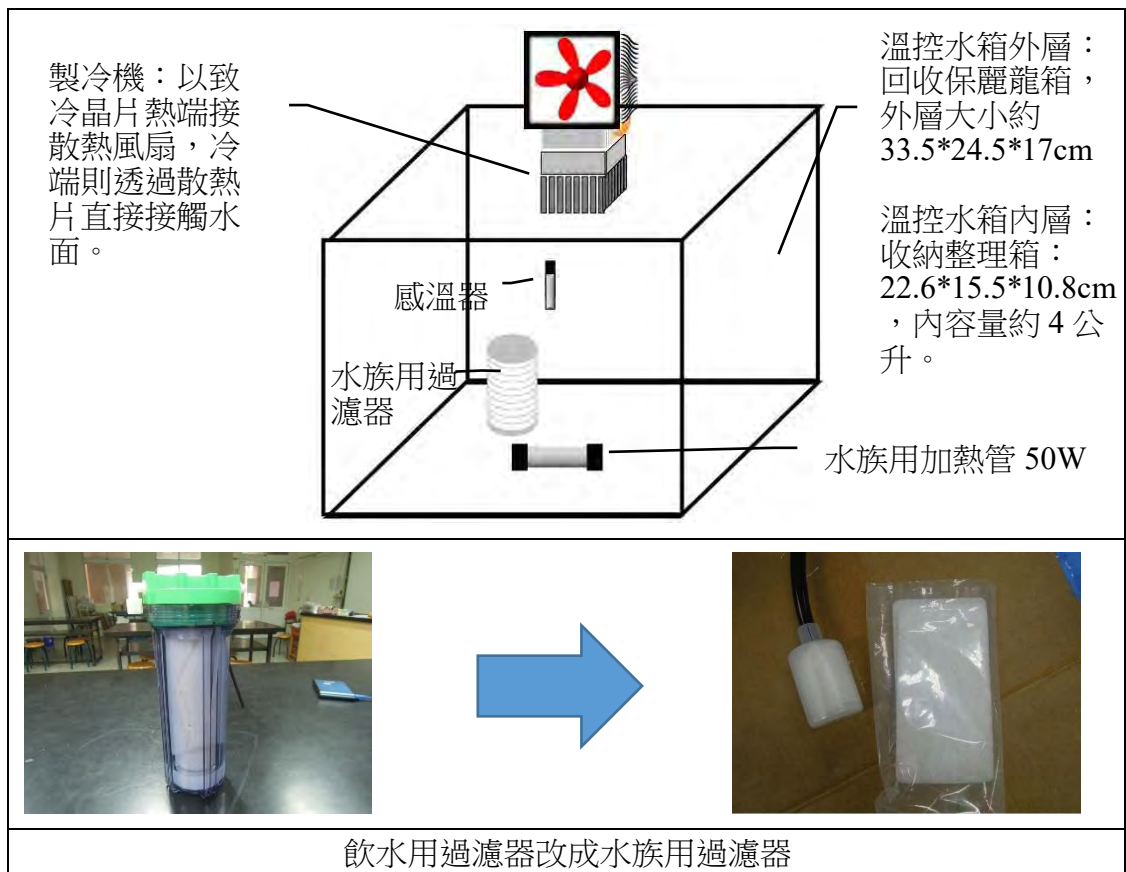
1. 過濾器的水佔總體的 12.83%，也就是這 12.3% 的水暴露在外會跟室溫溫度相近，使總體製冷效率降低，因此決定移除它。
2. 獨立溫控水箱製冷效能：平均為半小時降溫 1.23°C，比實驗五最初的設計，進步了 6.83 倍(與室溫製冷那組數據相比—1.23/0.18)！減少水體、製冷機改裝接觸水面降溫、移除過濾器、冰桶本身的保溫等等因素，令小組發現，獨立溫控水箱是個好方案。
3. 問題：獨立水箱的設計使製冷效果大幅改善，但此實驗屬於初探，小組嘗試使用收保麗龍箱來製作獨立溫控水箱，取代市售冰桶。

實驗【八】挑戰 4—獨立溫控水箱研發與過濾器第一次修改

實驗八將研發自製保麗龍獨立溫控水箱，在實驗七中我們將原來的過濾器移除，此時開始加裝小型過濾器於保麗龍獨立溫控水箱內，並測試噴霧後的降溫效能。

(一) 實驗方法：

1. 用回收小保麗龍箱製作獨立溫控水箱，以水族用過濾器取代原本飲水用過濾器。
2. 尺寸與圖說。



3. 關閉噴霧，單純測試水溫下降速度。
4. 開啟噴霧 on/off = 1min/19min，測試水溫下降速度，設定溫控介於 16~18°C。

(二) 結果：

1. 關閉噴霧，未加過濾器，單純保麗龍溫控水箱製冷能力測試：測量水體約 3882ml，系統製冷效能平均為半小時降溫 1.13°C。

時間	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	
室溫(°C)	21.70	22.20	22.60	22.50	22.40	22.20	22.30	22.40	
水箱(°C)	19.44	18.00	16.75	15.50	14.38	13.38	12.38	11.50	
降溫(°C)		1.44	1.25	1.25	1.12	1.00	1.00	0.88	平均：1.13

2. 開啟噴霧，加過濾器，保麗龍溫控水箱製冷能力測試：測量水體約 3882ml。

時間	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	
室溫(°C)	23.00	23.10	23.10	23.00	22.70	23.00	22.90	22.60	
水箱(°C)	17.69	18.06	17.94	17.87	18.25	18.50	18.56	18.81	
降溫(°C)		-0.37	0.12	0.07	-0.38	-0.25	-0.06	-0.25	平均：-0.16

(三) 討論：

1. 保麗龍溫控水箱單純製冷效能：平均為半小時降溫 1.13°C，比實驗七市售冰桶不差，自製保麗龍溫控水箱容量較大，若以比熱容計算，自製的降溫效果更佳： $3882*1*1.13 > 2700*1*1.23$ 。推測是我們有保麗龍上蓋，保溫效果更佳。
2. 保麗龍溫控水箱加噴霧製冷效能：突然大大降低，還略略升溫，平均值竟然出現負值：-0.16°C。由基本推算，20 分鐘噴霧 1 分鐘，平均一小時只有噴水 3 分鐘，遠比之前實驗少多了，實在不合理，我們決定一探究竟。
3. 發現問題：打開繁殖箱仔細觀察，水卡在繁殖箱，原來是過濾器有狀況，導致水無法流回溫控水箱，難怪製冷失敗。決定修改過濾器。

實驗【九】挑戰 5—過濾器第二次修改

(一) 實驗方法：

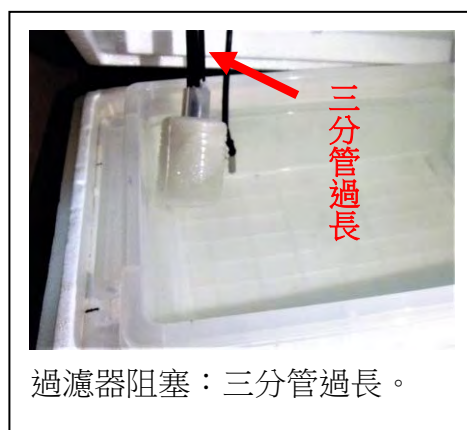
1. 觀察阻塞原因：如右圖。
2. 剪短三分管 2.9 公分，分別配合 2 片、1 片、0 片過濾綿，測試水回流速度。
3. 比較結果，修改過濾器。

(二) 結果：

1. 發現以上三種處理，水流回的速度都需要約 2 分鐘。
2. 過濾器修改後，測試確實能讓水回流不阻塞。

(三) 討論：

1. 既然三種處理水流回的速度都需要 2 分鐘，我們決定採用保留 2 片過濾綿的方案，讓過濾效果更好。
2. 問題：修改過濾器後，測試完溫控、噴水、過濾功能後，再加回一開始就過關的加熱管，期盼溫控水箱能修正。



實驗【十】獨立溫控水箱性能總測試

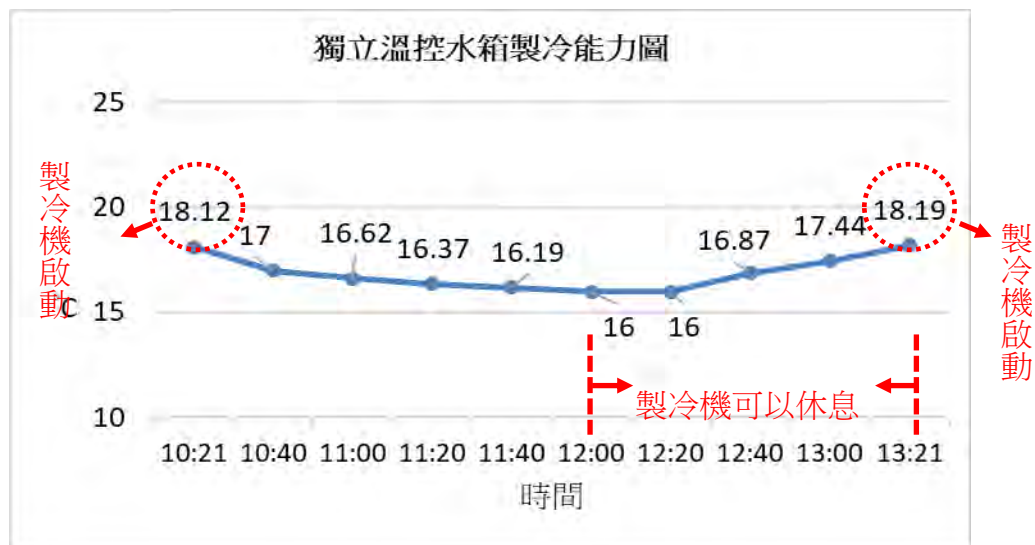
此實驗將再加回加熱管，測試完整的溫控功能。我們故意將溫控設定範圍加大，想確認我們的設備有足夠的溫控能力。

(一) 實驗方法：

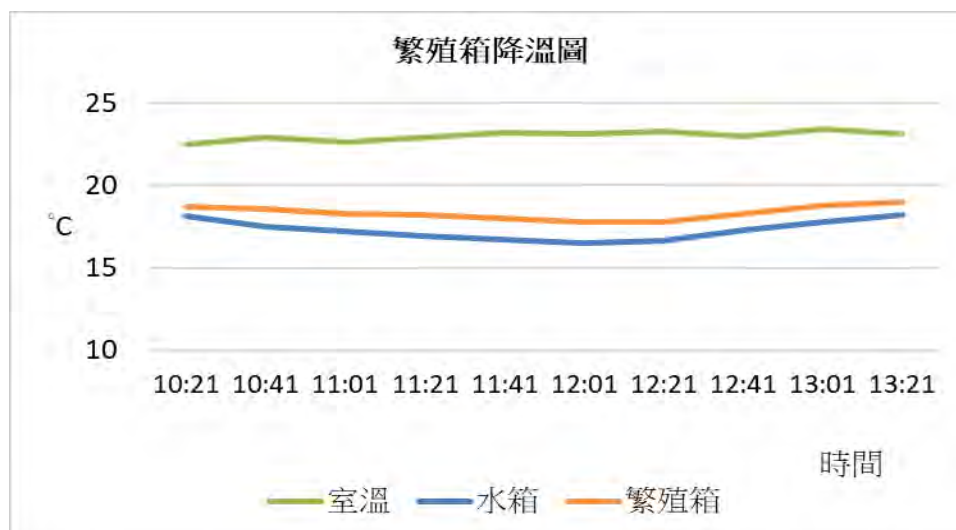
1. 降溫能力測試：設定低於室溫約 6°C ，確認系統能確實降溫：室溫約 23°C ，降溫設定範圍為 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。配合噴霧 on/off = 1min/19min。
2. 升溫能力測試：設定高於室溫約 7°C ，確認系統能確實升溫。室溫約 23°C ，升溫設定範圍為 $29\sim 31^{\circ}\text{C}$ 。配合噴霧 on/off = 1min/19min。
3. 觀察繁殖箱內部溫度波動：噴霧後 1 分 20 秒繁殖箱溫度穩定產生 T_0 ，之後慢慢受室溫影響溫，下一次噴霧前會是最接近室溫 T_1 。我們平均測試時間內的各組溫差 $|T_1 - T_0|$ ，觀察繁殖箱內部溫度波動。

(二) 結果：

1. 獨立溫控水箱製冷：測量水體約 3882ml，能執行低於室溫約 6°C 之降溫。降溫設定範圍為 $16\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。



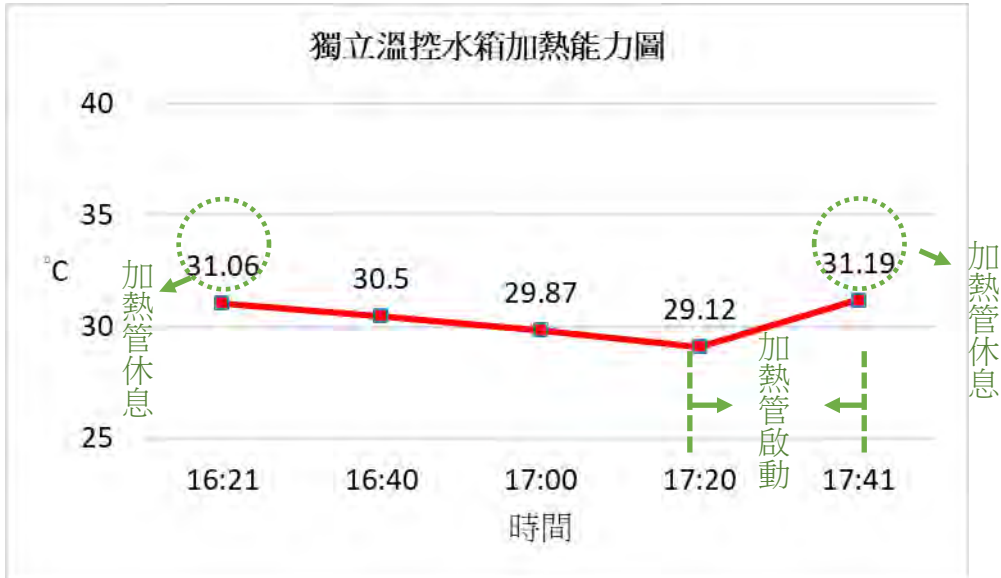
2. 繁殖箱降溫觀察：繁殖箱成功降溫，穩定的低於室溫。



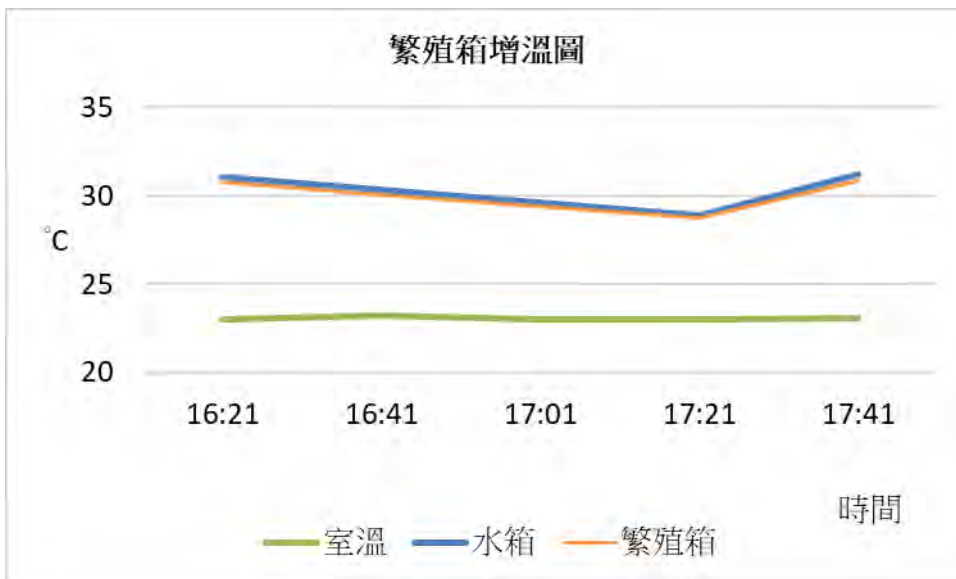
3. 獨立溫控水箱降溫測試的重要參考平均值：

	室溫	溫控水箱	繁殖箱	繁殖箱溫度降溫波動
平均值(°C)	23.04	17.01	18.78	1.03

4. 獨立溫控水箱加熱：測量水體約 3882ml，能執行高於室溫約 7°C 之升溫。升溫設定範圍為 29~31°C。



5. 繁殖箱升溫觀察：繁殖箱成功升溫，穩定的高於室溫。



6. 獨立溫控水箱升溫測試的重要參考平均值：

	室溫	溫控水箱	繁殖箱	繁殖箱溫度升溫波動
平均值(°C)	23.08	30.10	28.80	2.41

(三) 討論：

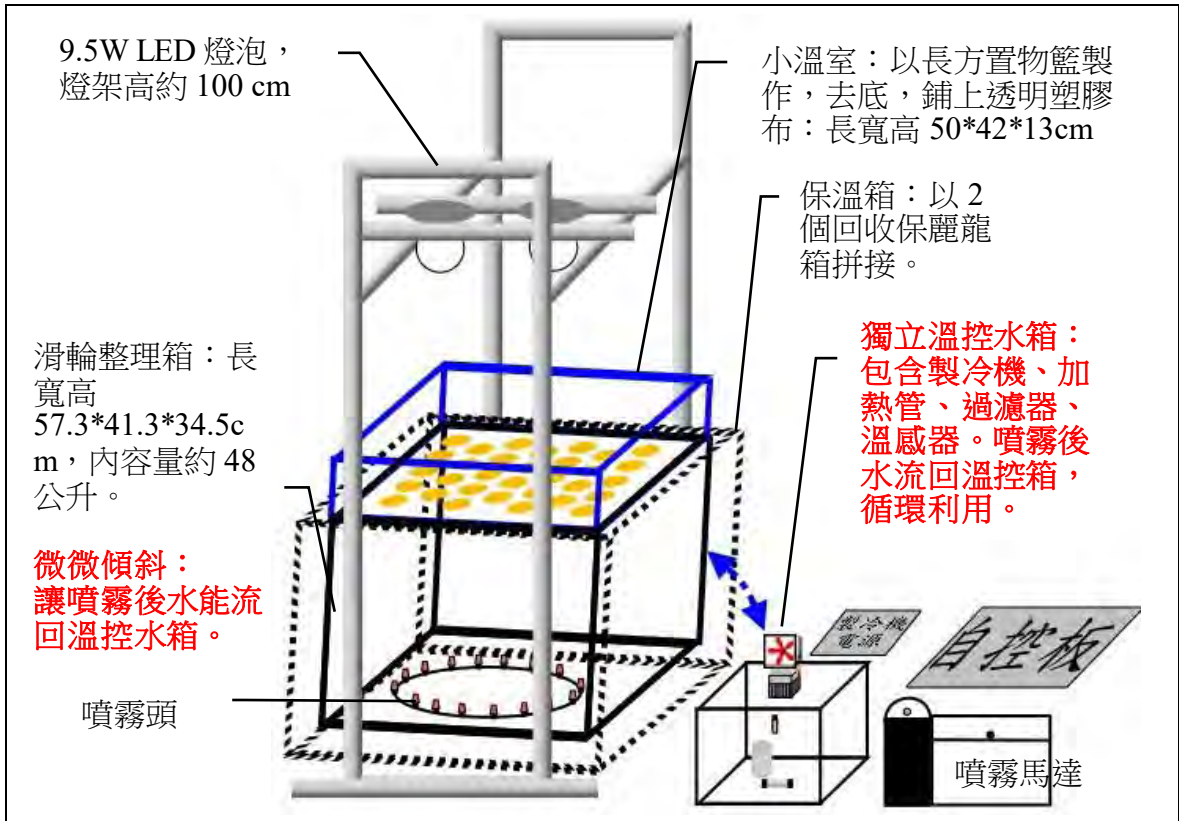
1. 獨立溫控水箱降溫測試：
 - (1)溫控水箱製冷：可以看出製冷效能佳，有充分的休息時間，從「獨立溫控水箱製冷能力圖」可看出 100 分鐘製冷，80 分鐘休息，且能掌控溫度使平均落在 17.01°C。
 - (2)繁殖箱降溫：**繁殖箱成功降溫低於室溫 4.26°C**，且溫度波動小，平均值為 1.03°C。
 - (3)綜上所述，獨立溫控水箱降溫測試成功。
2. 獨立溫控水箱升溫測試：
 - (1)溫控水箱加熱：可以看出升溫效能佳，有充分的休息時間，從「獨立溫控水箱加熱能力圖」可看出 20 分鐘加熱，60 分鐘休息，且能掌控溫度使平均落在 30.10°C。
 - (2)繁殖箱升溫：**繁殖箱成功升溫高於室溫 5.72°C**；溫度波動稍大，平均值為 2.41°C。
 - (3)綜上所述，獨立溫控水箱升溫測試成功。
3. 溫控系統：在極端狀態下(高於室溫 7°C 或低於室溫 6°C)進行溫控，其實在植物繁殖方面一點兒都不建議如此做。因為植物催根繁殖，最終目的是要拿到外面栽種，應盡可能配合該季節氣候，選擇適當的植物品種；若硬是創造人為溫控環境，即便成功育苗，拿到外面種存活率也可能不高。我們用此極端值，是希望系統能有足夠的能力溫控，經過測試，溫控系統過關。
4. **實驗至此，測試完最後一塊拼圖後，第二代氣霧箱誕生。**



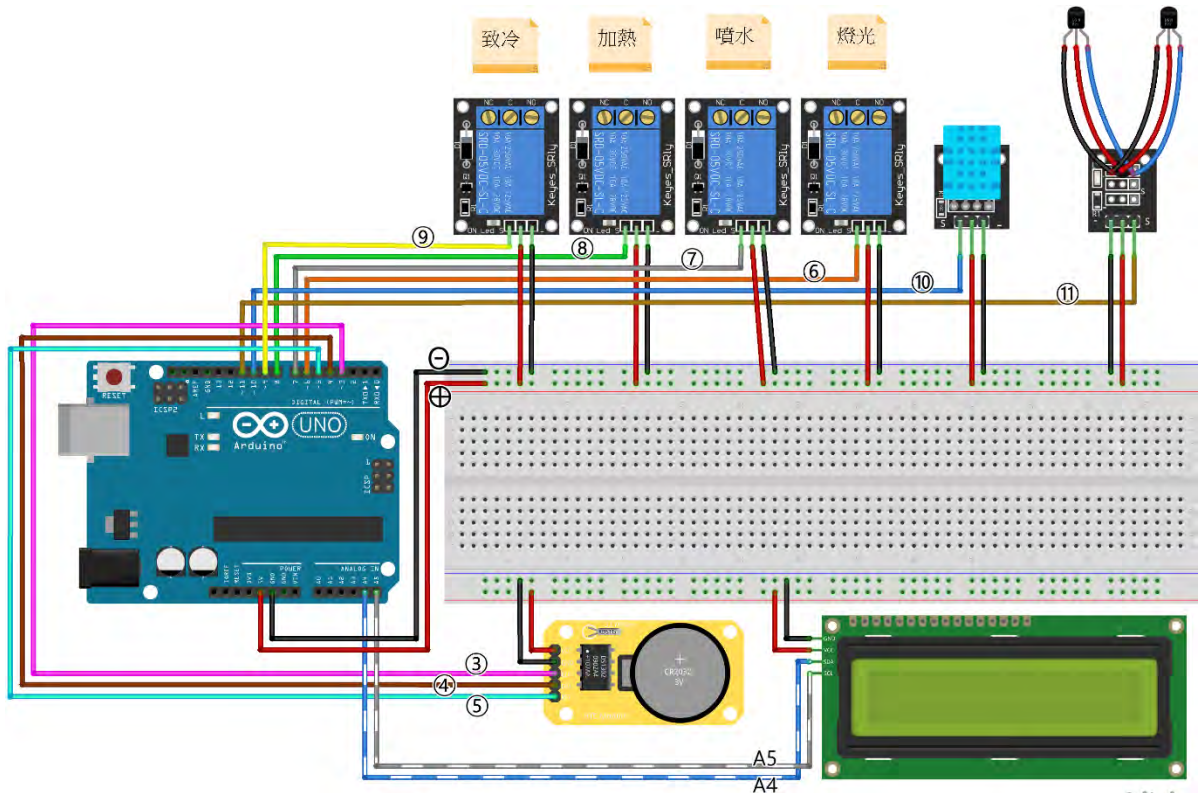
第二代氣霧箱

歷經多次的調整，
終於完成：
1.噴霧穩定
2.不漏水
3.能過濾
4.溫控穩定
的第二代氣霧箱！

5. 第二代氣霧箱圖說



6. 自動控制板-設計圖



7. 自動控制程式

```
#include <virtuabotixRTC.h>
#include "LiquidCrystal_I2C.h"
#include <Wire.h>
#include "DHT.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

讀入函式庫:

共三種，包含時鐘(DS1302)、LCD 顯示器(I2C LCD)、溫溼度感測(DHT11)、水溫感測(DS18B20)。

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
#define DHTPIN 10
#define DHTTYPE DHT11
#define ONE_WIRE_BUS 11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float A=0;
float B=0;
```

DHT11 在數位接腳 10

DS18B20 在數位位接腳 11

```
virtuabotixRTC myRTC(3, 4, 5);
```

DS1302 在數位接腳 3、4、5，分別是 [CLOCK], [DAT], [RST]。

```
void setup() {
```

```
pinMode(6,OUTPUT);
pinMode(7,OUTPUT);
pinMode(8,OUTPUT);
pinMode(9,OUTPUT);
```

設定燈光、噴水、加熱、致冷，分別在數位接腳 6、7、8、9，且模式都是「輸出」。

```
//myRTC.setDS1302Time(0, 21, 18, 3, 20, 2, 2019);
```

```
lcd.init();
lcd.backlight();
Serial.begin(9600);
dht.begin();
sensors.begin();
```

啟動 LCD 顯示器、序列埠、溫溼度感應器、水溫感應器。

```
}
```

```
void loop() {
```

```
float h = dht.readHumidity();  
float t = dht.readTemperature();
```

← 讀取 DHT11 的溼度，設為 h。
讀取 DHT11 的溫度，設為 t。

```
myRTC.updateTime();
```

```
sensors.requestTemperatures();  
A=sensors.getTempCByIndex(1);  
B=sensors.getTempCByIndex(0);
```

← 讀取 DS18B20-溫控水箱-的溫度，設為 A。
讀取 DS18B20-繁殖箱-的溫度，設為 B。

```
Serial.print("現在時間- ");  
Serial.print(myRTC.hours);  
Serial.print(":");  
Serial.print(myRTC.minutes);  
Serial.print(":");  
Serial.println(myRTC.seconds);  
Serial.print("溼度: ");  
Serial.print(h);  
Serial.print("%");  
Serial.print("室溫: ");  
Serial.print(t-1.4);  
Serial.print("*C");  
Serial.print("溫度 A(水箱): ");  
Serial.print(A);  
Serial.print("*C");  
Serial.print("溫度 B(繁殖箱): ");  
Serial.print(B);  
Serial.println("*C");
```

← 在電腦螢幕上，顯示現在時間、小溫室溫溼度、溫控水箱溫度、繁殖箱溫度。

```
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print(myRTC.hours);  
lcd.print(":");  
lcd.print(myRTC.minutes);  
lcd.print(":");  
lcd.print(myRTC.seconds);  
lcd.setCursor(9,0);  
lcd.print("H-");
```

← 在 LCD 顯示器上，顯示現在時間、小溫室溼度、溫控水箱溫度、繁殖箱溫度。

```
lcd.print(int(h));  
lcd.print("%");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("A-");  
lcd.print(A);  
lcd.setCursor(9,1);  
lcd.print("B-");  
lcd.print(B);
```

```
if(myRTC.hours == 6){  
digitalWrite(6,HIGH);  
}  
if(myRTC.hours == 18){  
digitalWrite(6,LOW);  
}
```

在早上六點的時候開燈，晚上六點的時候關燈。

```
if(myRTC.minutes == 0 || myRTC.minutes == 20 || myRTC.minutes == 40){  
digitalWrite(7,HIGH);  
}
```

在每小時的 0 分、20 分、40 分噴水，每小時的 1 分、21 分、41 分關閉。

```
if(myRTC.minutes == 1 || myRTC.minutes == 21 || myRTC.minutes == 41){  
digitalWrite(7,LOW);  
}
```

```
if(A < 23){  
digitalWrite(8,HIGH);  
}  
if(A > 24.5){  
digitalWrite(8,LOW);  
}
```

如果水箱的溫度低於 23 度，就啟動加熱。
如果水箱的溫度高於 24.5 度，就關閉。

```
if(A > 26){  
digitalWrite(9,HIGH);  
}  
if(A < 24){  
digitalWrite(9,LOW);  
}
```

如果水箱的溫度高於 26 度，就啟動致冷。
如果水箱的溫度低於 24 度，就關閉。

```
delay (1000);  
}
```

實驗【十一】第二代氣霧箱—噴霧頻率測試

我們想嘗試以不同噴霧頻率來檢視第二代氣霧箱溫度變化，可作為植物繁殖時的參考。

(一) 實驗方法：

1. 觀測繁殖箱、溫控水箱的溫度變化：

設定 項次	噴霧頻率 on/off	水箱降溫設定 (°C)	水箱升溫設定 (°C)
一	1min/9min	16~18	29~31
二	1min/3min	16~18	29~31

(二) 結果：

1. 改變噴霧頻率，溫控效果如下表：

組別	平均值	室溫 (°C)	溫控水箱 (°C)	繁殖箱 (°C)	繁殖箱溫度波動 (°C)
1min/9min，加熱		23.15	30.16	29.62	1.22
1min/3min，加熱		23.29	30.03	29.94	0.33
1min/9min，降溫		23.35	18.07	19.58	0.72
1min/3min，降溫		22.50	17.72	18.35	0.08

(三) 討論：

1. 合併實驗十的數據如下：

組別	平均值	室溫 (°C)	溫控水箱 (°C)	繁殖箱 (°C)	繁殖箱溫度波動 (°C)
1min/19min，加熱		23.08	30.10	28.80	2.41
1min/9min，加熱		23.15	30.16	29.62	1.22
1min/3min，加熱		23.29	30.03	29.94	0.33
1min/19min，降溫		23.04	17.01	18.78	1.03
1min/9min，降溫		23.35	18.07	19.58	0.72
1min/3min，降溫		22.50	17.72	18.35	0.08

2. 噴霧與加熱：

(1) 加熱效能：從溫控水箱溫度都在目標 30 度附近，就可以看出加熱效能佳，系統能確實控制溫度。

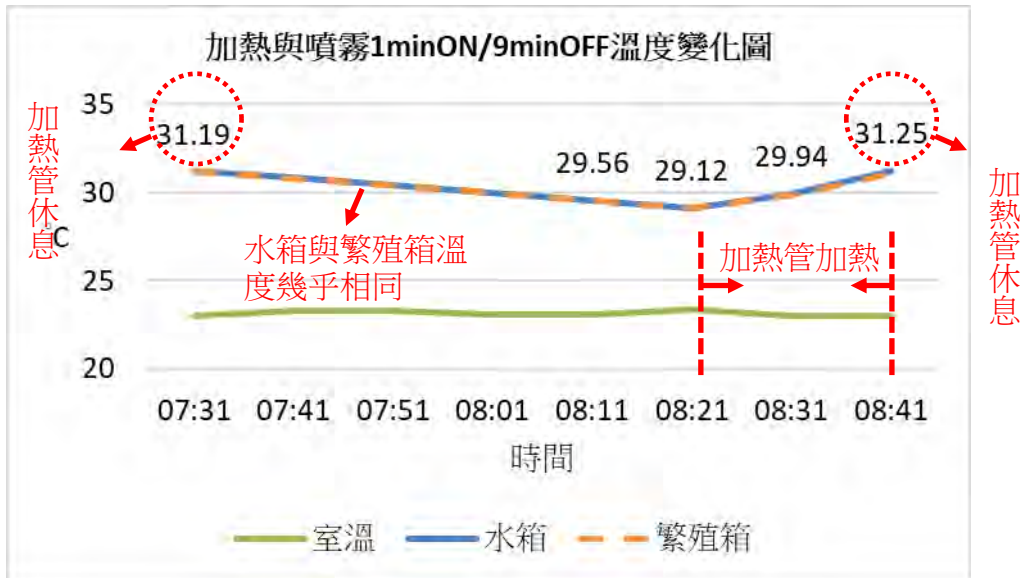
(2) 繁殖箱溫度：繁殖箱是植物繁殖的區域，故其溫度為最關鍵。可明顯看出，噴霧頻率愈高，繁殖箱溫控愈接近目標值 30°C。且繁殖箱溫度波動亦隨噴霧頻率增加而減少，表示噴霧頻率愈高，繁殖箱加熱效果與溫度穩定性都更好。

3. 噴霧與降溫：

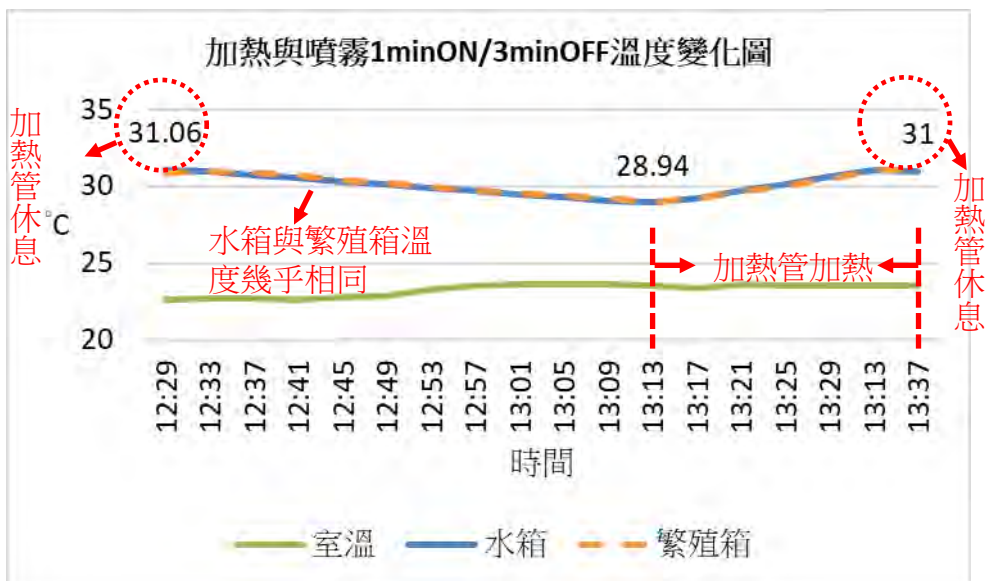
- (1)降溫效能：噴霧頻率增加至 1min/9min 與 1min/3min 時，溫控水箱溫度已無法維持目標 17 度附近，就可以看出製冷已經超出負荷。
- (2)繁殖箱溫度：可明顯看出，噴霧頻率愈高，雖繁殖箱溫控可明顯降溫，但沒有能使其降溫接近目標 17°C。繁殖箱溫度波動隨噴霧頻率增加而減少，表示噴霧頻率愈高，繁殖箱溫度穩定性更好。

4. 噴霧頻率與加熱關係圖：

(1) 1minON/9minOFF

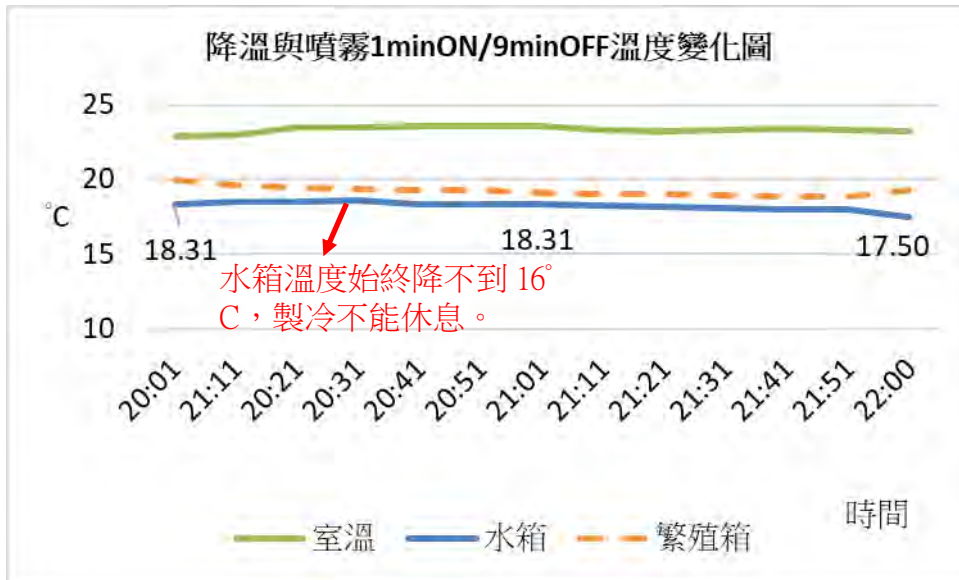


(2) 1minON/3minOFF

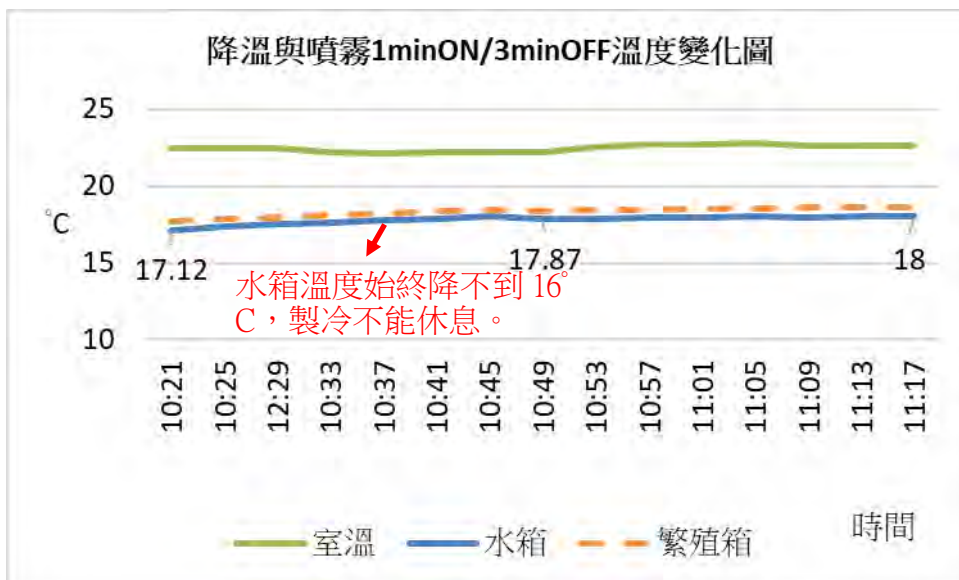


5. 噴霧頻率與降溫關係圖：

(1) 1minON/9minOFF



(2) 1minON/3minOFF









6. 小結：

- (1) 加熱管加熱效果優：以我們測試的各種噴霧頻率均能勝任，繁殖箱的溫度也甚理想。
- (2) 自製致冷機效果普通：能勝任噴霧頻率 on/off=1min/19min，繁殖箱的溫度也理想。
- (3) 綜上所述，實驗十二將以噴霧頻率 on/off=1min/19min 來進行測試。

實驗【十二】氣霧箱對插穗催根實驗

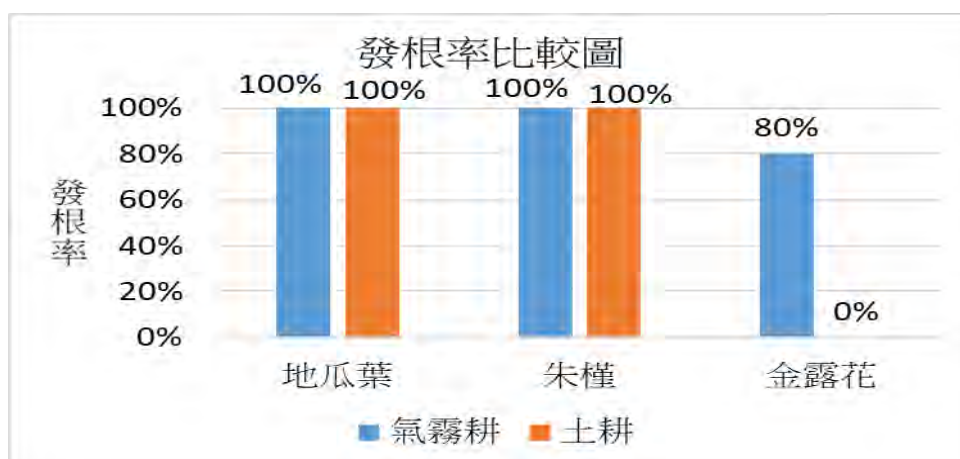
(一) 實驗方法：

1. 取樣：3 種植物(包含草本與木本莖)—朱槿、金露花、地瓜葉。
2. 插穗：取其莖部約 10~15 公分左右，實驗組、對照組各取 5 樣本，盡量使兩組樣本莖粗細、狀態接近，減少誤差。
3. 對照組：以培養土、蛭石、珍珠石以體積比 1：1：1 為栽培介質，進行一般扦插，放置窗邊接受散射光，過程中提供澆水。
4. 實驗組：置於氣霧箱，設定噴霧頻率為 on/off = 1min/19min。溫控製冷：26°C~24°C；加熱為 23°C~24.5°C (原本設定 23°C~25°C，但運作幾日後發現加熱至 25°C 斷電後，仍會繼續上升至 26°C 而啟動致冷，故改為 23°C~24.5°C)。
5. 實驗組氣霧箱預備：以漂白水消毒，並調整水 pH 值約 5.8。
6. 比較：實驗組發根後，輕輕撥開對照組土壤，比較根部發展差異。

		
扦插時剪刀要消毒。	土耕：需要的工具。	土耕：對照組。
		
氣霧：將插穗包入海綿。	氣霧：插穗以小溫室保護	氣霧：使用第二代氣霧箱

(二) 結果：

1. 發根率比較：

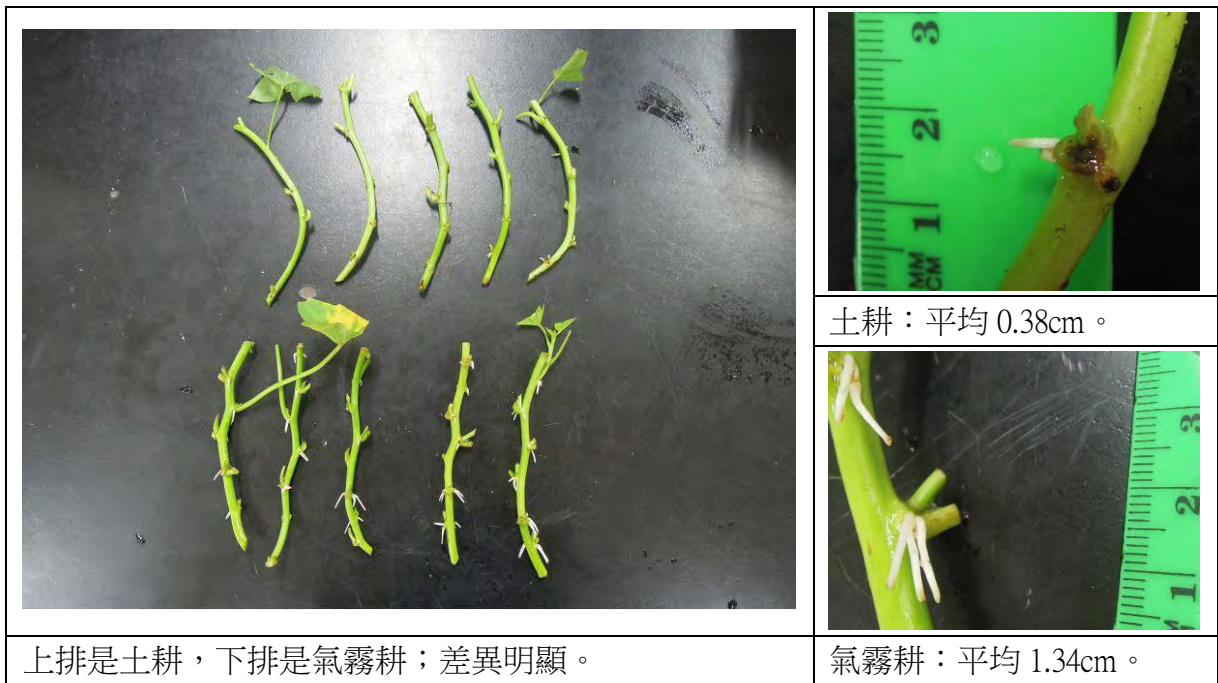


2. 發根率時間紀錄：

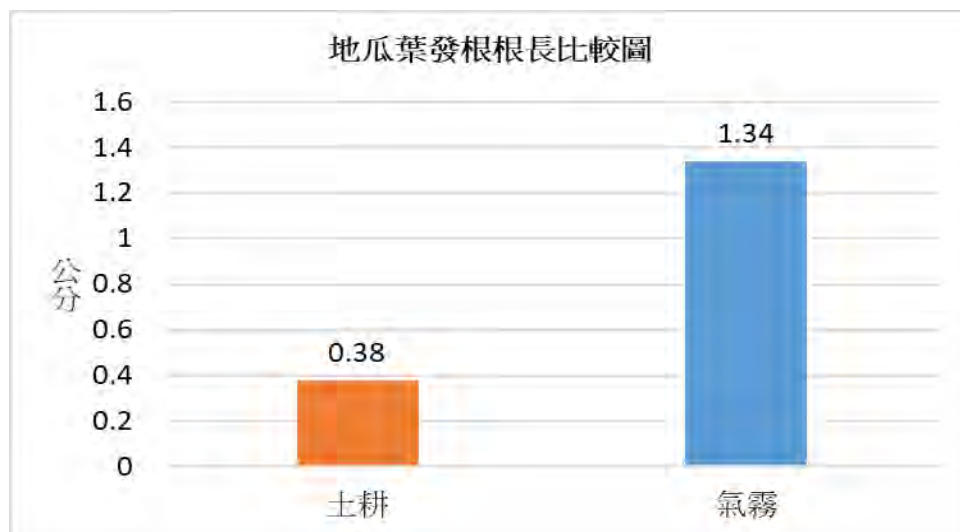
- (1) 地瓜葉：約 1.5 天。2/21 下午至 2/23 早。
- (2) 朱槿：約 51 日。2/21 下午至 4/13 早。
- (3) 金露花：約 51 日。2/21 下午至 4/13 早。

3. 根部發展比較：由於每種植物特性不同，以觀察和照片來比較。

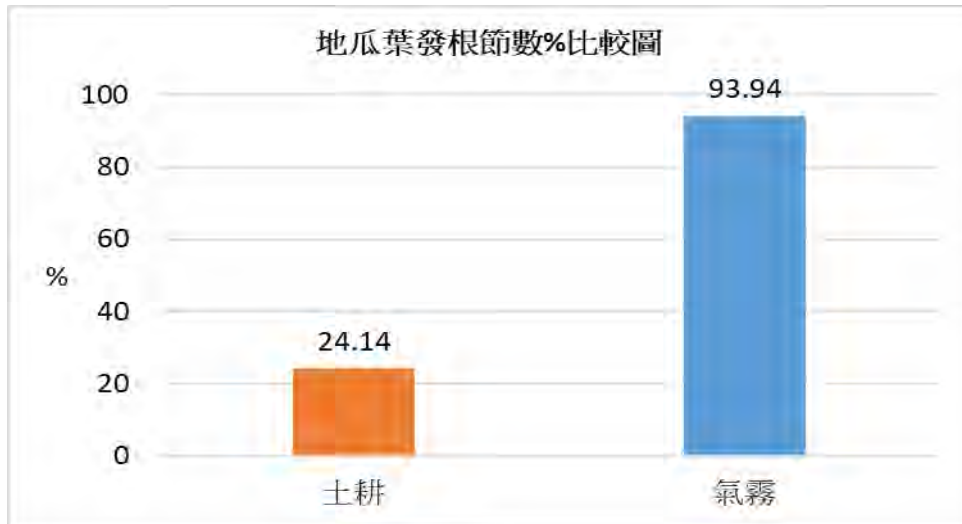
(1) 地瓜葉發根比較：



a. 地瓜葉發根根長比較圖：選最長根平均之。



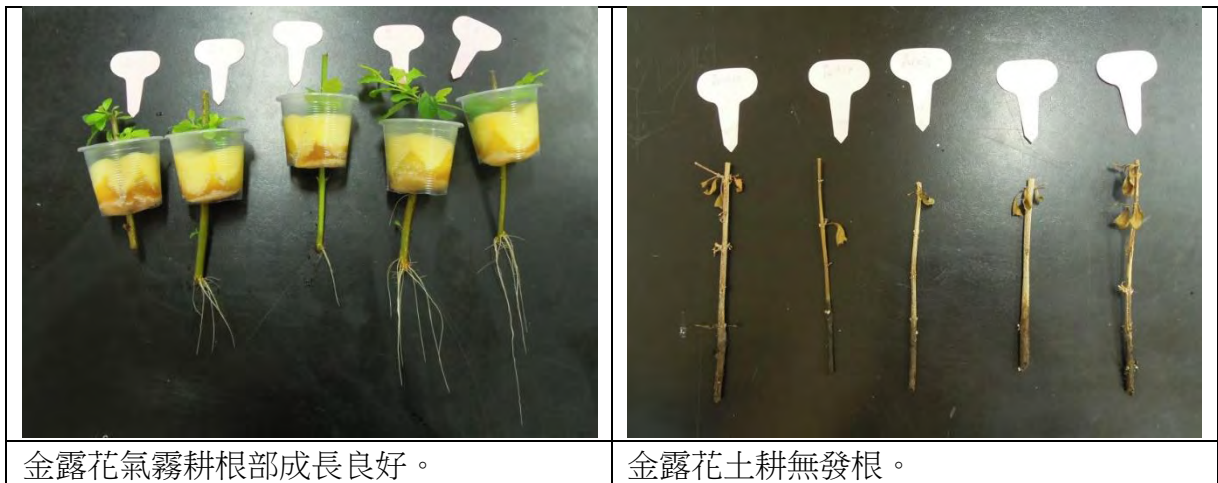
b. 地瓜葉發根節數%比較圖



(2) 朱槿發根比較：



(3) 金露花發根比較：



(四) 討論：

1. 小溫室：植物扦插初期需要空氣濕度，故覆蓋小溫室，小溫室於 10 日後撤除。
2. 就發根率來看，地瓜葉與朱槿—氣霧耕與土耕均能促成發根；但金露花氣霧耕則明顯優於土耕。

3. 發根觀察：

(1) 地瓜葉：

a. 發根長度：實驗組(第二代氣霧箱) 明顯優於對照組(土耕)：1.34cm 比 0.38cm，**氣霧耕是土耕的 3.53 倍！**。

b. 節發根率：各種植物發根部位並不相同，經觀察，地瓜葉的根是從節發出來，我們統計地瓜葉每一節的發根率，稱為節發根率。結果發現，實驗組明顯優於對照組，**節發根率為 93.94%！**

c. 綜上所述，雖然土耕也有發根，但地瓜葉扦插氣霧耕比土耕佳。

(2) 朱槿：朱槿土耕發根集中於底部，氣霧耕則較多發根點。氣霧耕沒有栽培介質，所以根外型較直，且分枝較少。

(3) 金露花：**氣霧耕大獲全勝**，土耕全軍覆沒。

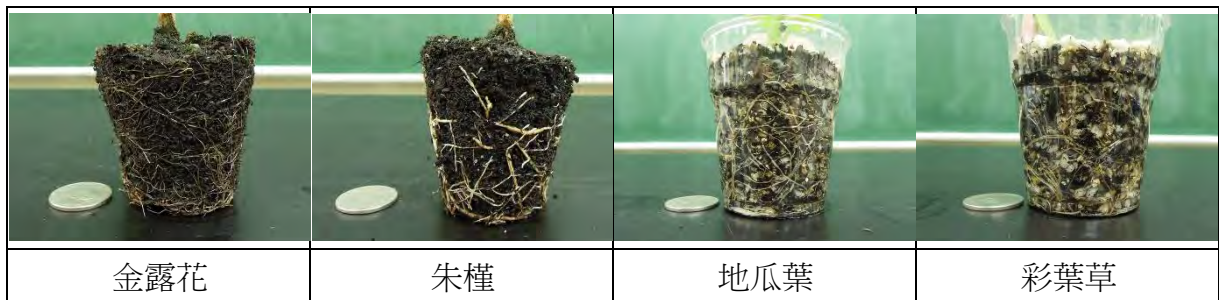
實驗【十三】氣霧箱催根苗移植後續發展

(一) 實驗方法：

1. 取「開根號」催根後的插穗，移植到土裡進行後續培養。
2. 植物品種(包含草本與木本莖)：取金露花、朱槿、地瓜葉、彩葉草 4 種氣霧耕扦插苗。
3. 觀察植株生長狀況。

(二) 結果：

1. 移植至土壤後根系成長照片：



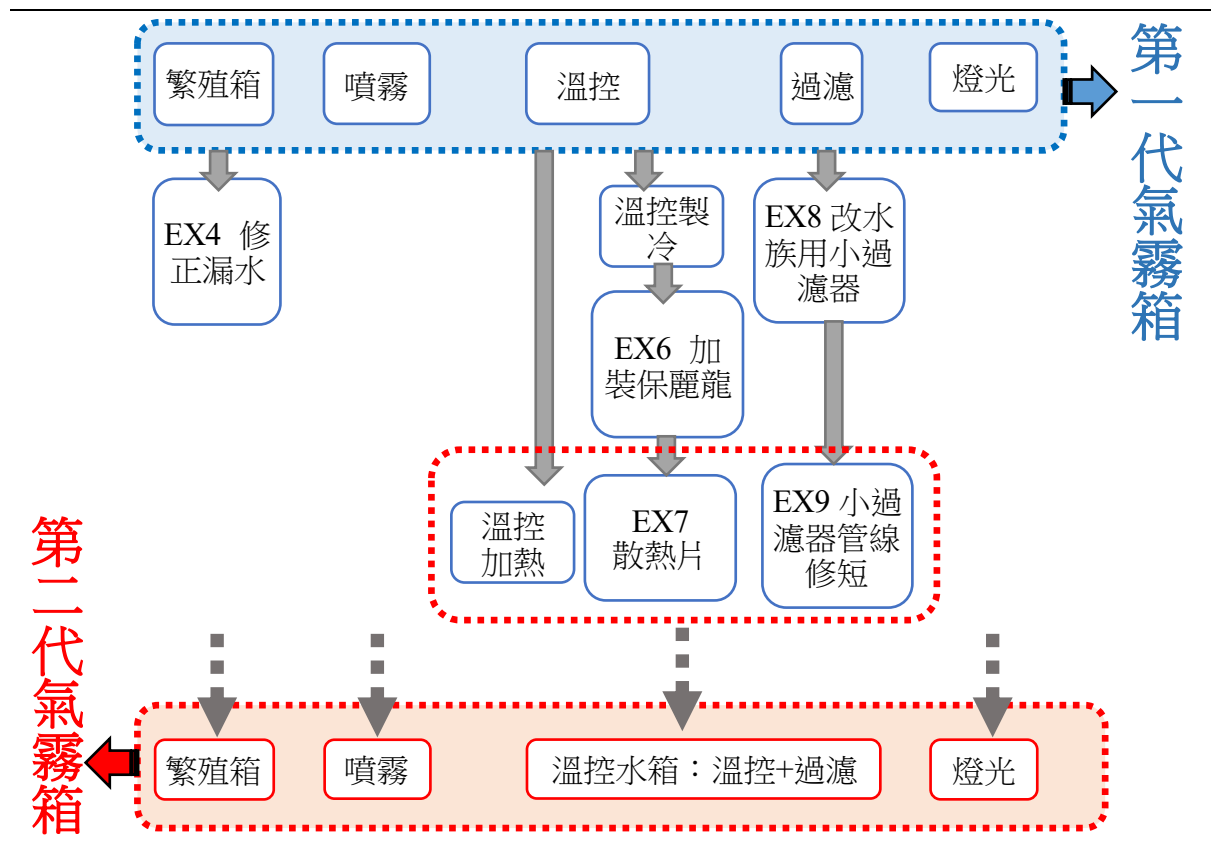
(三) 討論：

1. 氣霧耕扦插苗催根成功後，**移植到土壤中，適應均良好，植物成長順利。**
2. 與原先期望符合，以氣霧耕增加發根階段的成功率，提升扦插存活率。

伍、結論

一、氣霧箱硬體

- (一) 氣霧箱各部件修改與調整：



- (二) 噴霧系統與燈光：從第一代就穩定，無修改。
- (三) 繁殖箱漏水問題：因為要觀察繁殖箱內植物發根狀況，勢必需要常常開關，故決定採用防水擋板來改善。防水擋板不需要與繁殖箱 100%密合，只要減少縫隙，並利用水往下流的特性，就能阻止滲漏；其設計原理與屋瓦相同。
- (四) 溫控：
1. 加熱管從第一代就穩定，無修改。
 2. 製冷機：
 - (1) 原始設計為：水冷頭+沉水馬達，水體達 8650ml，製冷困難。
 - (2) 實驗六加保麗龍：發現微幅改善；
 - (3) 實驗七、八獨立水箱設計+水冷頭改散熱片：把水體減少至 3882ml，並移除巨大的過濾器(含水 1110 ml 且暴露於室溫中)，散熱片直接接觸水面，免得原本的沉水馬達將水送往水冷頭，來來往往增加溫度。最終成功獲得半小時降溫 1.13°C。
- (五) 過濾：實驗八、九將容量 1110 ml 的飲水機過濾器移除，換成水族用過濾器(體積小，直接放在溫控水箱)，起初管線太長，頂到水箱底部，以致過濾器無法將水順利過濾而留在繁殖箱，甚至嚴重影響溫控效能。後來把管線修短 2.9cm，過濾器即能順利過濾。
- (六) 氣霧箱特色：由第一代演進至第二代，我們的氣霧箱有穩定的噴霧。分離獨立的溫控水箱能有效控溫，循環用水；過濾器則迷你實用，光源為 9.5W 省電 LED 燈泡二個。繁殖箱以回收保麗龍包覆，控制箱內溫度穩定，且繁殖箱微傾，使水能順利自動流回溫控水箱，經過修正，繁殖箱不漏水可長時間使用。

二、氣霧箱程式

arduino UNO 本身沒有時鐘功能，也無法記憶時間。雖然可以透過 delay 或 millis() 函數進行簡單的計時，但若是有多個計時的需求(如本研究燈光、噴水、致冷、加熱等)，容易互相干擾，程式會複雜許多。**因此，我們使用 DS1302RTC 模組，不僅可以準確對應真實時間，在程式撰寫和實際操作上都很直覺。**

三、氣霧發根箱實測

- (一) 功能實測：我們比較了噴霧頻率 on/off=1min/19min、1min/9min、1min/3min，溫度是否能穩定，結果：加熱管配合各種噴霧頻率，繁殖箱的溫度也甚理想。自製致冷機只能勝任噴霧頻率 on/off=1min/19min，其他頻率則會過度運轉無法休息。最終催根實測是使用噴霧頻率 on/off=1min/19min。
- (二) 催根實測：**發現的確我們最初的推測是對的一植物發根的需求與氣霧耕提供的環境十分吻合。氣霧發根能增加初期發根的存活率，其中金露花的氣霧發根率與土耕相比為 80%比 0%！後續氣霧耕扦插苗移植於土中均生長順利。**
- (三) 命名：**經過測試發現植物開根狀況良好，所以我們將第二代器物箱命名為「開根號」。**

四、未來展望

最初的期望是能繁殖台灣特有種、原生種植物，讓校園植栽更富教育意義；因此我們選了台灣特有種：烏來杜鵑、金毛杜鵑，還有原生種小果薔薇；其中特有種烏來杜鵑曾因為民國 73 年翡翠水庫開始蓄水，將其唯一的原始棲地淹沒，並且野外已數十年無植株發現的紀錄。有許多單位與專家們努力復育，我們也想來盡一份心力。在截稿前，我們扦插的烏來杜鵑等其他 3 種植物都尚未發根，希望我們現正服役的「開根號」能為我們帶來更多好消息。

陸、參考資料及其他

- 一、都市陽台種菜系統開發-氣霧栽培法的研究。中華民國 57 屆全國科展。國小組生活與應用科學科。
- 二、維基百科：扦插、氣耕、烏來杜鵑。
- 三、扦插繁殖法：
https://market.cloud.edu.tw/content/vocation/garden/ul_ag/library/ch4/433.htm
- 四、【宅水耕】氣霧耕水培箱：
<https://www.youtube.com/watch?v=rdOW90BOAKg>。
- 五、Aeroponics Cloner Update! Propagate Plants Fast & Easy From Cuttings!
<https://www.youtube.com/watch?v=PqvBzxooV4U>
- 六、<http://www.ezclone.com/>。

【評語】 082806

1. 作者實現縮小化之氣霧耕作並以致冷裝置在不同裝置設定下分析實驗，可被應用於未來植物工廠與溫室上相關應用，能從頭完整做完一套設備，每一步驟都交代得很清楚，值得肯定。
2. 利用 Arduino 建立自動噴霧系統進行溫度控制及高濕度的維持，讓扦插作業不受季節限制，並提升扦插成功率，是實用的好作品。
3. 建議可再進行，非土耕，而是在正常溫濕度下，不會補償溫度濕度噴霧狀態的對照組實驗，以確立發根箱的功能。

摘要：

小組以氣霧耕的方式來替代課本的土壤扦插，我們自製氣霧箱，**硬體**包含三大部分：

- 一、繁殖箱：包含穩定的噴霧系統與良好的防漏設計。
 - 二、獨立溫控水箱：儲存系統用水與穩定的溫控、過濾設備。
 - 三、燈光：以省電**LED**燈泡二個提供光源。
- 軟體**：以**arduino**程式語言控制，包含溫控、噴霧頻率、時間、燈光控制。
- 測試結果**：一、發根率：氣霧耕等於或優於土耕，其中金露花氣霧耕發根率達**80%**，同時對照土耕發根率為**0%**。地瓜葉測試**1.5天**即發根，發根長度氣霧耕是土耕的**3.53倍**，節發根率為**93.94%**，土耕只有**24.14%**。
- 二、移植後：氣霧耕催根後移植於土中，地瓜葉、朱槿、金露花、彩葉草後續成長順利。氣霧耕使扦插變得更容易！

壹、研究動機：

五年級自然有植物無性繁殖的課程，十分有趣，但是植物切口有時會腐爛而導致發根失敗。小組得知無土栽培其中有氣霧耕的方式，以氣霧代替土壤，提供植物根部舒適的環境：透氣又有水。心想，這不也是扦插所需要的環境嗎？那讓我們來試試氣霧耕是否能讓扦插變得容易！

貳、研究目的：

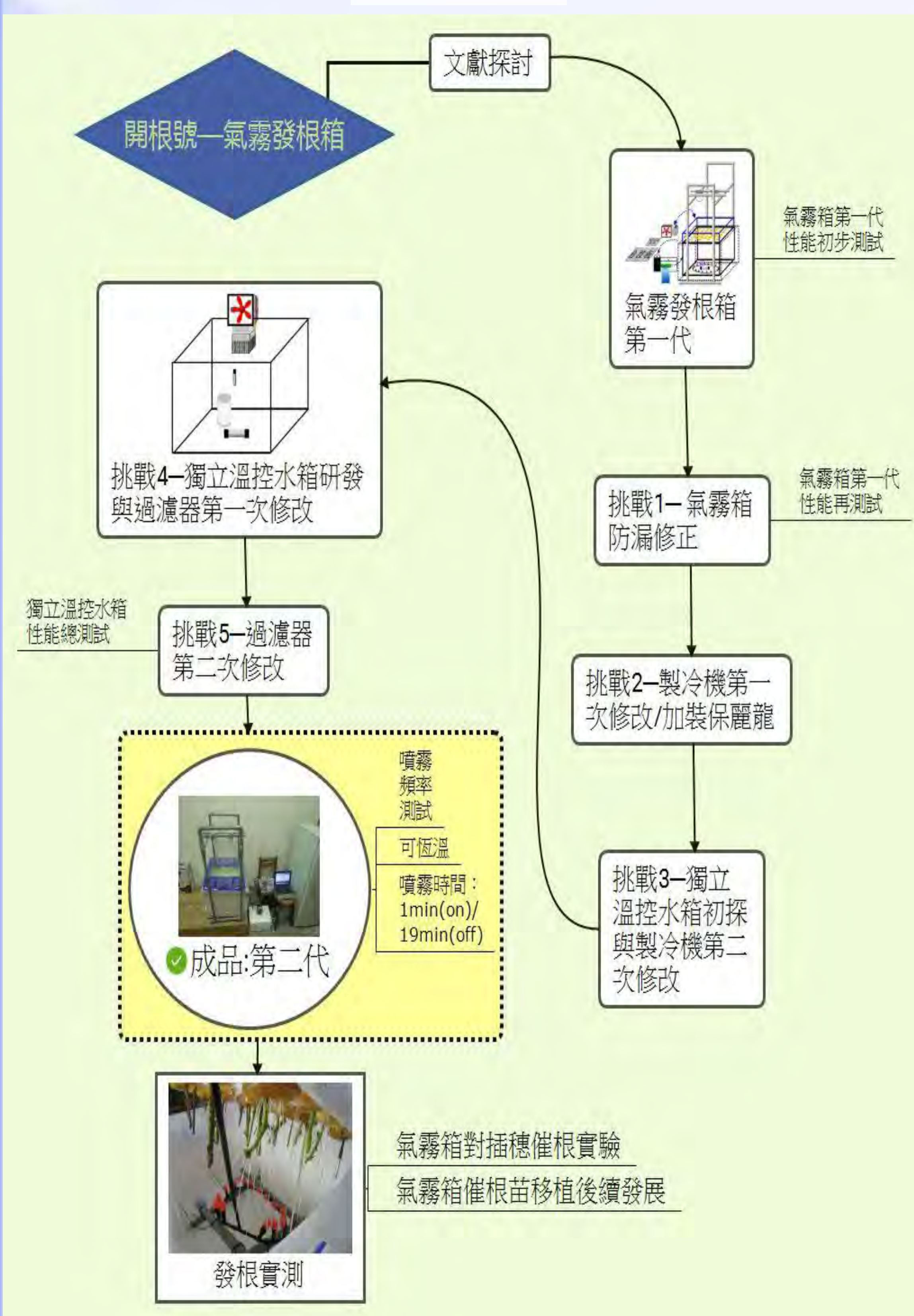
- 一、探討植物扦插繁殖所需要的環境。
- 二、配合植物扦插繁殖需求設計氣霧箱。
- 三、撰寫程式控制氣霧箱。
- 四、提出扦插繁殖的另一途徑。

參、研究設備與器材：

- 一、氣霧箱：回收保麗龍箱、滑輪整理箱、PP板、免洗杯、海綿、透明塑膠布、馬達、二分管、三分管、噴頭、接頭、水管、水管接頭、燈、過濾器、水族用加熱管**50W**、致冷晶片、散熱片、散熱風扇、電源供應器等。
- 二、氣霧箱控制套件：arduino 板、杜邦線、網路線、溫溼度感測器。
- 三、程式軟體：Arduino IDE。
- 四、其他：培養土、蛭石、珍珠石、植物名牌、穴苗盆等。

肆、研究方法

實驗流程圖



實驗【一】文獻探討

我們查閱資料，整理如下：

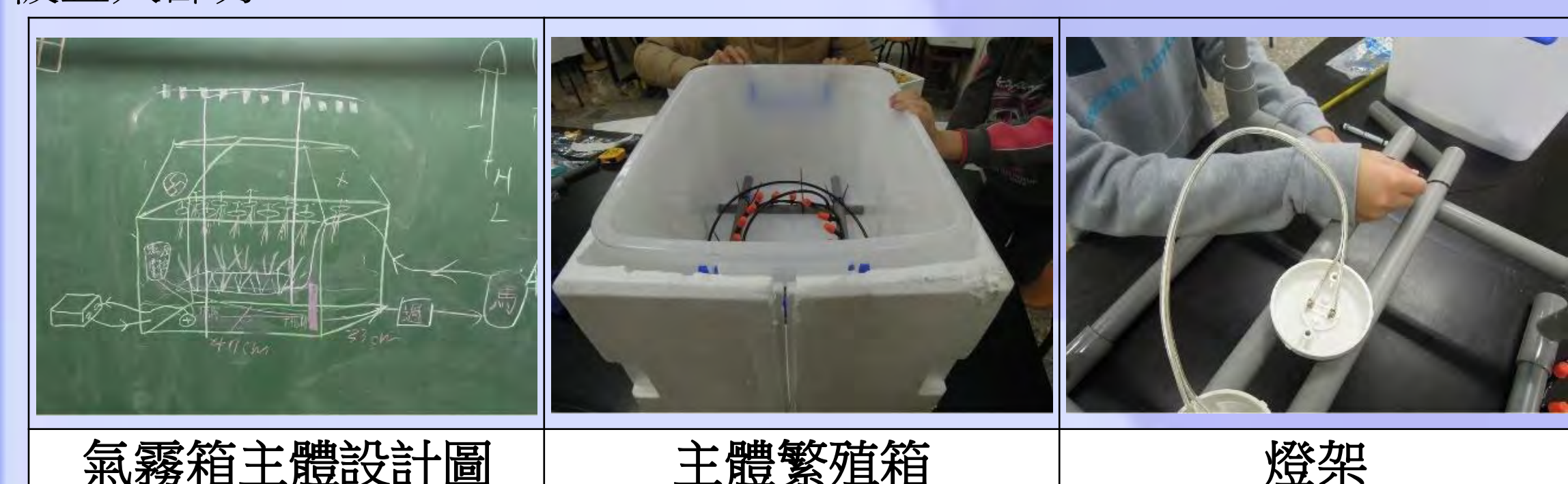
- 一、植物扦插繁殖：扦插是切下植物的營養器官如根、莖、葉來繁殖，常見的方式是利用植物的莖，切取其一段包含約2~3個節的莖，插於通氣、保水良好、不帶肥料的栽培介質。環境溫度：一般插床內之適溫多為15~25°C，扦插熱帶作物則以20~28°C為佳，勿直射光照，散射光或適當遮陰。五年級自然課有扦插的課程。
- 二、氣霧耕：氣霧耕 (Aeroponics) 是成長的過程中的植物在空氣或氣霧環境不使用土壤或栽培介質。
- 三、氣霧耕發根箱市售產品：網路上有許多分享與市售產品。請參閱報告參考資料。

實驗【二】氣霧發根箱第一代

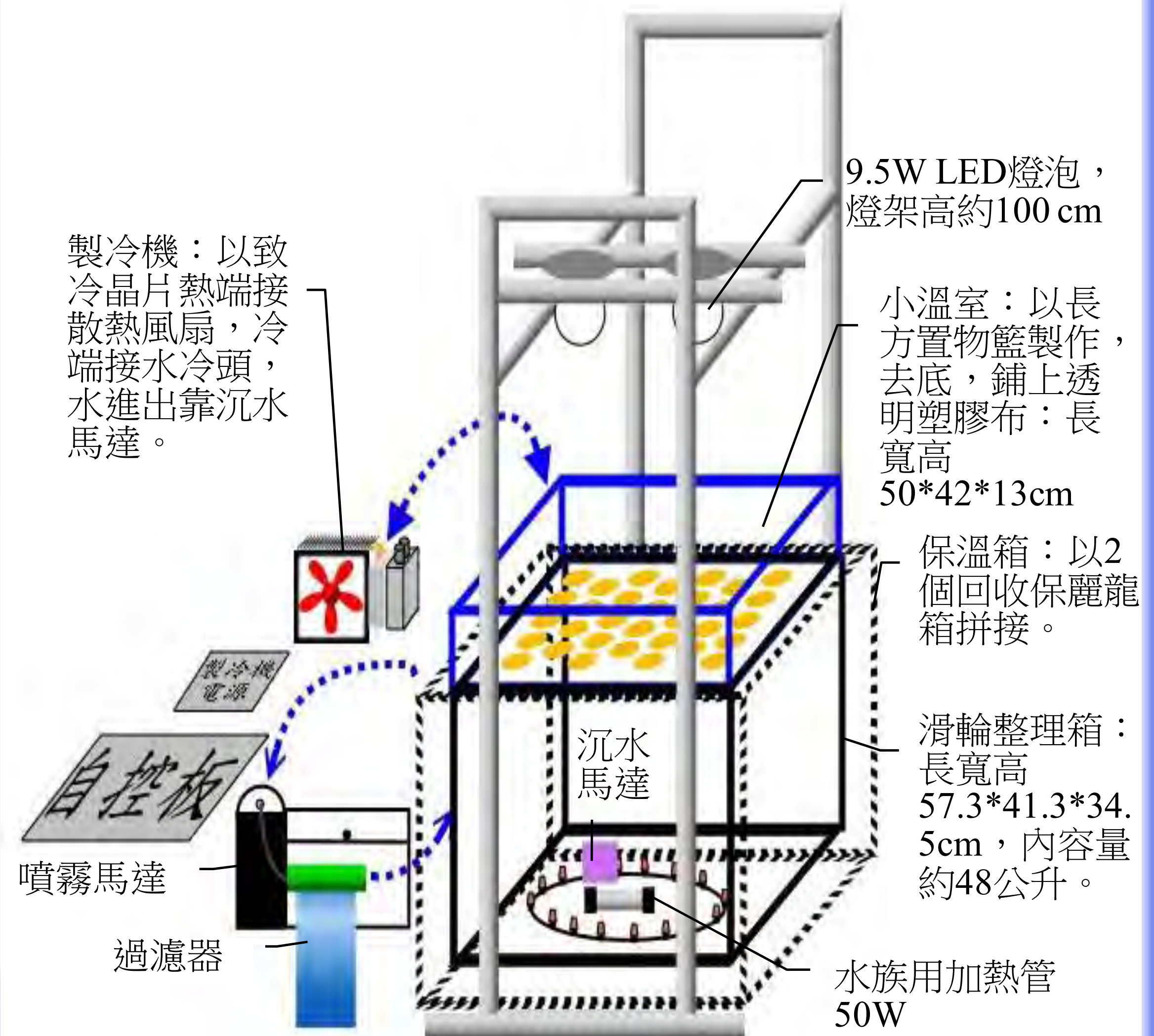
pH值、清潔、溫度是關鍵三大要素。清潔部份決定裝設過濾器、溫度控制則使用致冷晶片與水族加熱管，pH部分則以pH計調整之。

(一) 實驗方法：

- 1. 將氣霧箱分為主體繁殖箱、燈架、溫控、噴霧過濾系統、自動控制板五大部分。



(二) 結果：第一代氣霧發根箱圖說。



(三) 討論：第一代氣霧發根箱特色：

- 1. 溫控：參考國外商品，發現並無良好的溫控，小組則**加裝溫控設備**來因應我們的需要，**包含加溫與製冷**，也在**發根箱主體外圍包覆隔熱層保麗龍**，減少熱傳播。
- 2. 過濾設備：防止植物組織或異物阻塞噴霧管線，故**設置飲水機過濾設備**阻絕異物且能使水更乾淨。
- 3. 環保：保麗龍箱是從學校菜籃族**回收**，雖然外表有些髒，但實用。

實驗【三】氣霧箱第一代性能初步測試

(一) 實驗方法：

- 1. 噴霧系統：接上馬達後測試，觀察噴嘴是否能噴霧，並調整噴頭，觀察噴霧高度。
- 2. 溫控致冷晶片測試：組裝好的致冷晶片加上沉水馬達，以五公升水桶裝水測試之。
- 3. 觀察缺失，討論修正。

(二) 結果：

- 1. 噴霧高度：高於置物箱的高**29cm**，即噴霧能充分達到植物插穗底部。噴霧能力穩定。
- 2. 溫控致冷晶片測試：水桶測試冷卻效果好，降溫明顯。
- 3. 其他：意外發現水會由上蓋縫隙流出，產生重大瑕疵。

(三) 討論：

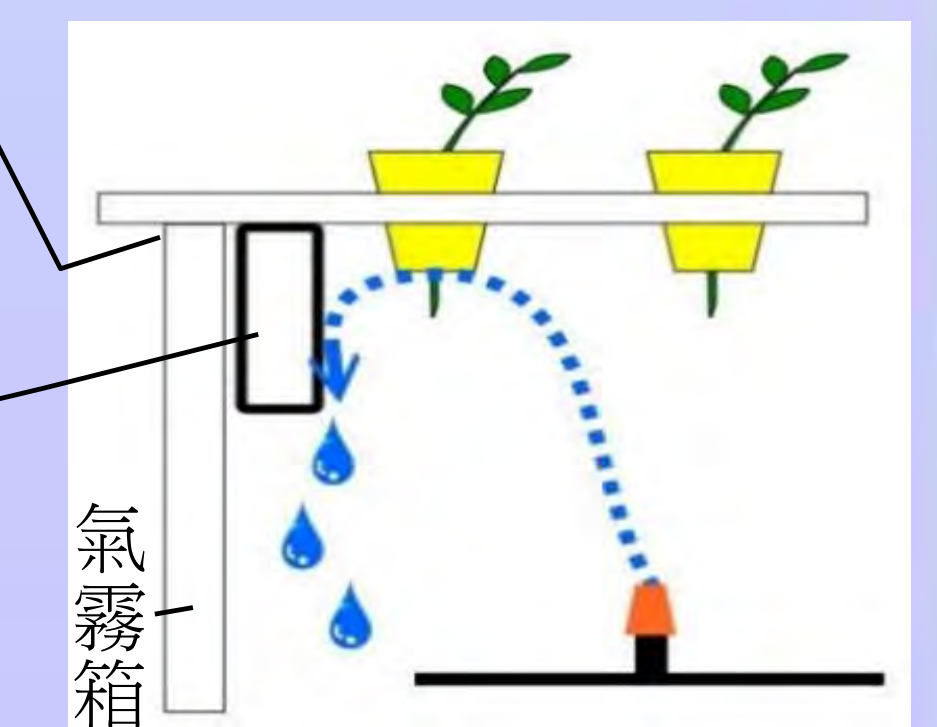
- 1. 確認噴霧系統、致冷晶片穩定，暫不需修正。
- 2. **發現問題：氣霧箱漏水會造成大麻煩，一則氣霧箱是放置於室內，二則旁邊就有許多電器，如電源供應器等。務必要解決漏水問題。**

實驗【四】挑戰1—氣霧箱防漏修正

(一) 實驗方法：

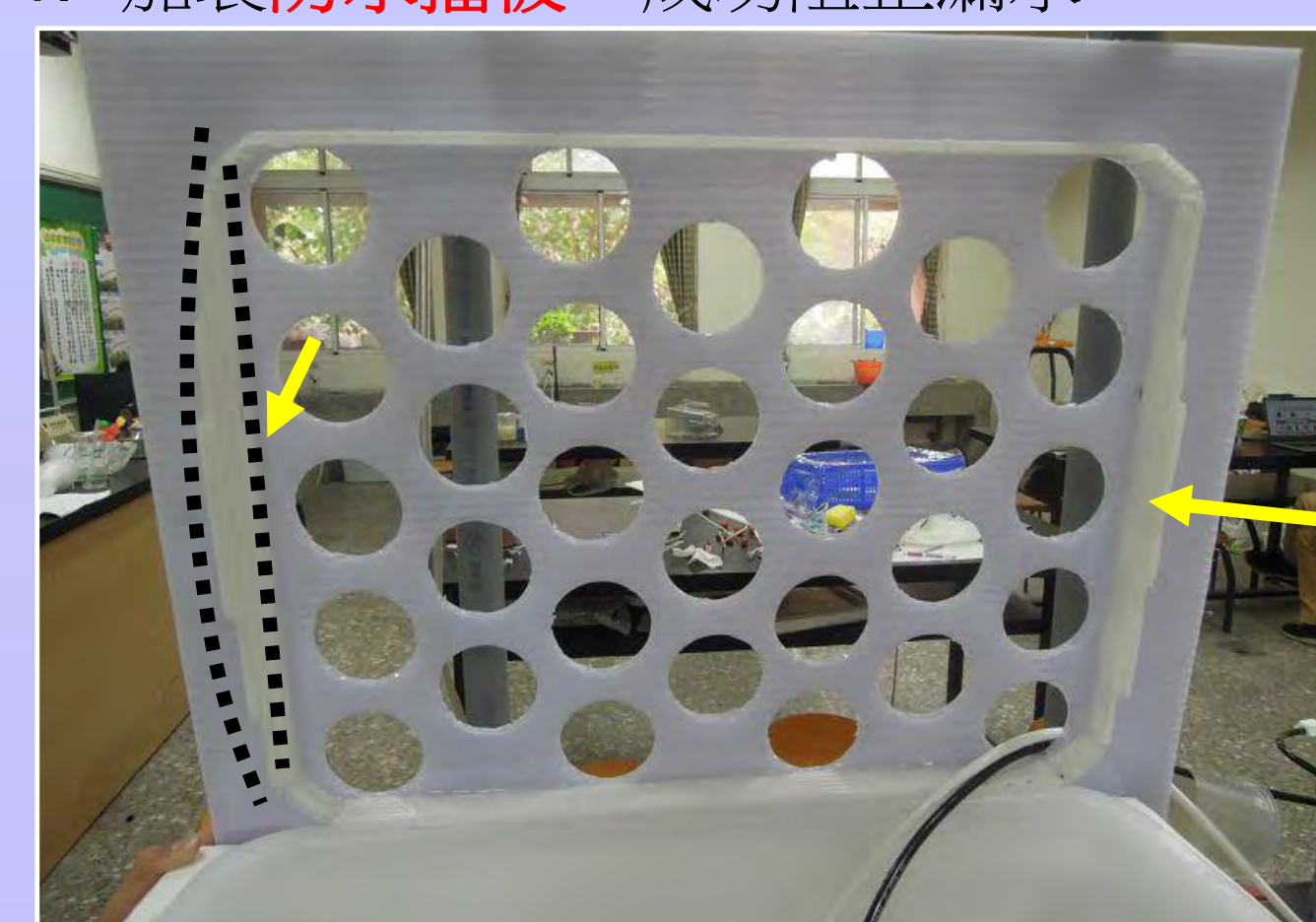
- 1. 仔細觀察漏水原因。
- 2. 討論因應對策。
- 3. 加裝**防水擋板**，設計如右圖。

隙縫：原本水從這裡漏出。
防水擋板：霧滴碰到擋板，會集結成水滴落下，使水無法集結於隙縫，能有效防漏。



(二) 結果：

- 1. 加裝**防水擋板**，成功阻止漏水。



防水擋板照片

經過多次觀察與調整，發現**關鍵**原因是置物箱本身不是矩形，是有**弧度的**。

因此我們依照置物箱寬邊的弧度，在上蓋以**PP板**層層堆疊，補足**弧度造成的空隙**；減少和下方的置物箱的間隙，阻止漏水。

(三) 討論：

- 1. 觀察水是由上蓋縫隙漏出，但**因為要觀察氣霧箱內植物發根狀況，勢必需要常常開關，故決定採用防水擋板來改善。**
- 2. 加裝防水擋板，成功阻止滲漏。

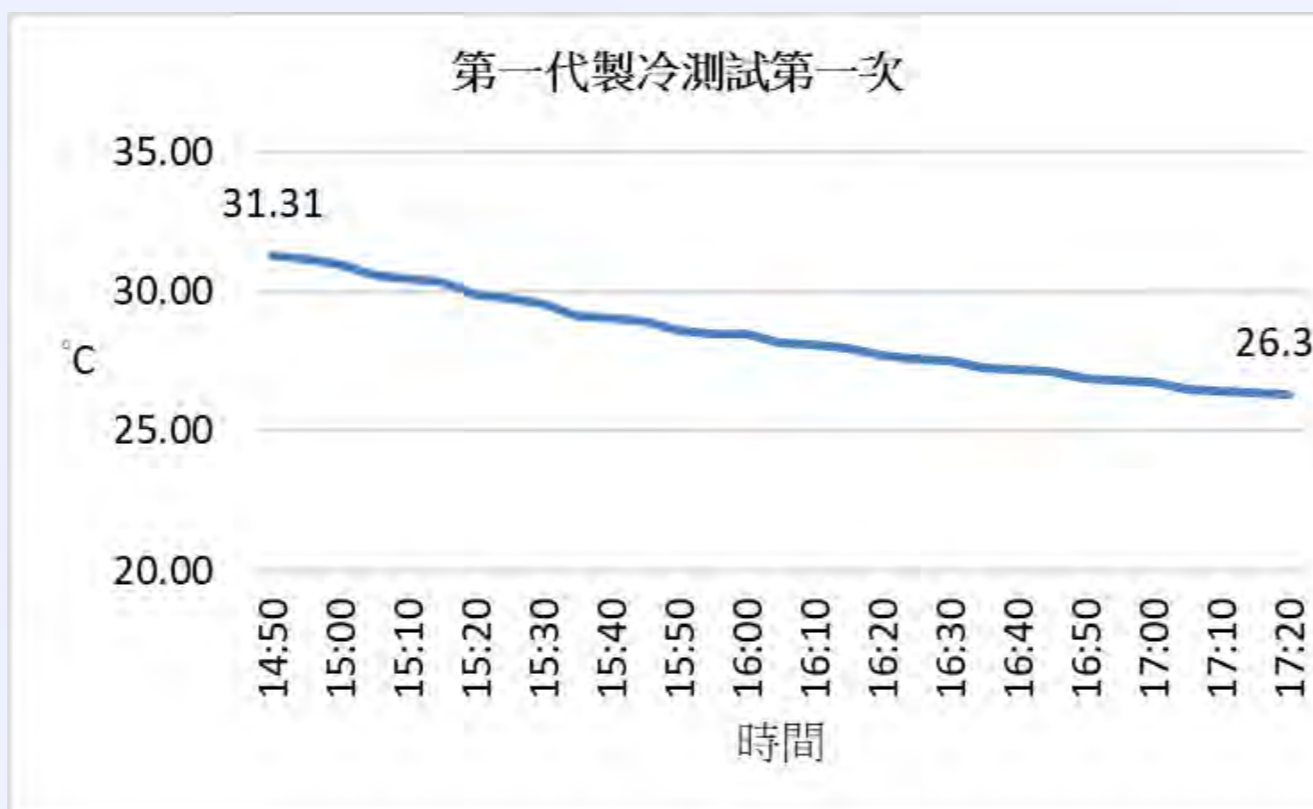
實驗【五】氣霧箱第一代性能再測試

(一) 實驗方法：

1. 第一代噴霧與過濾再測試：同實驗三。
2. 第一代加溫測試：開啟噴霧on/off = 3min/12min，測試加熱管50W是否能加熱系統至目標25°C~27°C。
3. 第一代製冷測試：開啟噴霧on/off = 3min/12min，測試第一代自製製冷機是否能使系統降溫至目標20°C。

(二) 結果：

1. 噴霧與過濾測試：噴霧過濾功能正常。
2. 溫控測試水量：水約8650ml。
3. 第一代加溫測試：，室溫21.60°C，加熱平均為半小時升溫2°C
4. 製冷測試第一次(水溫高於室溫)：室溫25.10°C，平均半小時下降1.05°C。
5. 製冷測試第二次(水溫近於室溫)：室溫23.60°C，平均半小時下降0.18°C。



(三) 討論：

1. 噴霧與過濾系統第一次測試即過關。
2. 第一代加溫：加溫效果很理想，室溫偏低能每半小時升溫2.00°C，最終高於室溫約4.65°C。加溫通過測試。
3. 第一代製冷：第一次測試最終未低於室溫。第二次測試平均每半小時降溫僅0.18°C，推測第一次測試時室溫幫了大忙。製冷效果未通過測試。
4. 發現問題：第一代製冷機效果不佳，仔細觀察與討論後，先嘗試改善水冷頭外側隔熱，期盼可以有效提升製冷能力。

實驗【六】挑戰2—製冷機第一次修改/加裝保麗龍

(一) 實驗方法：

1. 將水冷頭外側包覆隔熱材質保麗龍，降低外界熱傳導。
2. 開啟噴霧on/off = 3min/12min，水約8650ml。測試水溫下降速度。

(二) 結果：

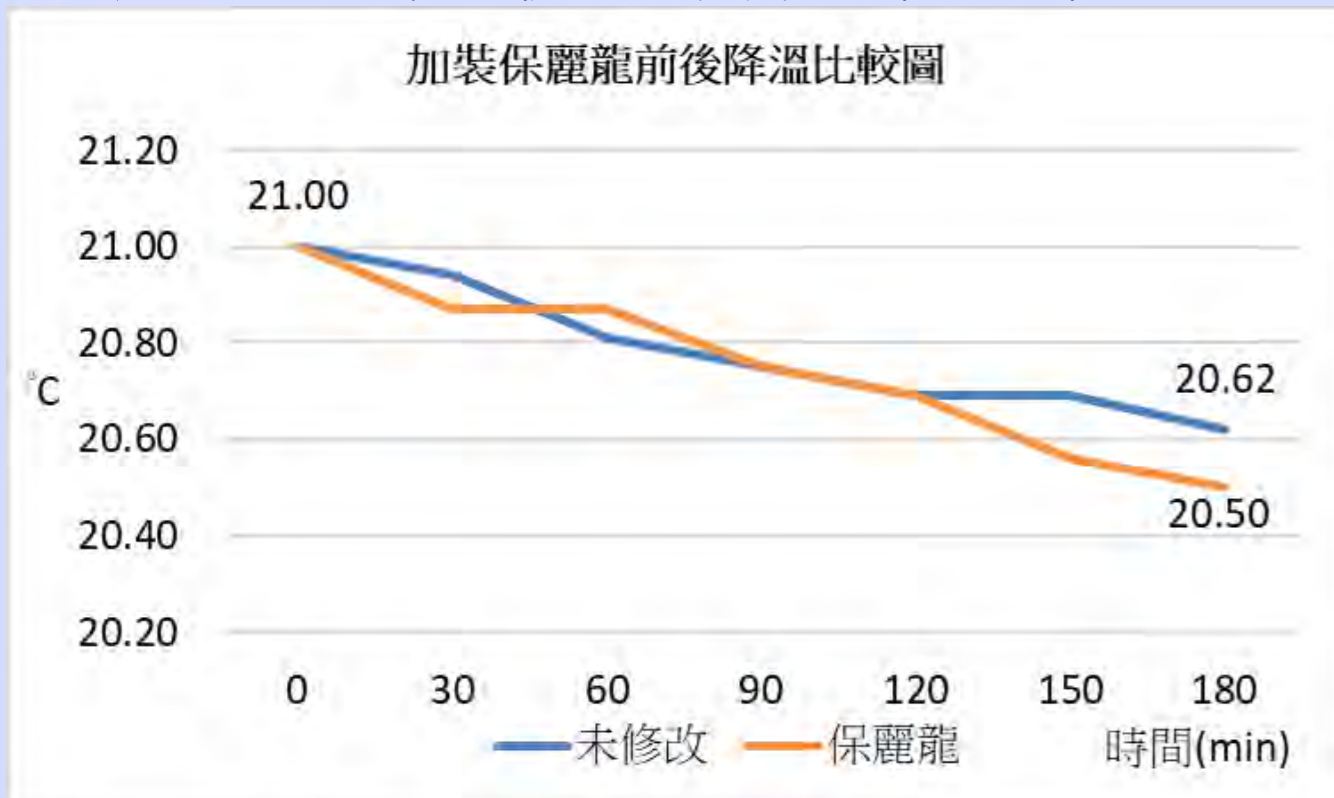
1. 製冷機第一次修改結果照片。
2. 製冷機外側加裝保麗龍後，功能測試：室溫23.60°C，系統製冷效能平均為半小時降溫0.11°C。



加裝保麗龍

(三) 討論：

1. 似乎裝保麗龍不但沒有改善還降低效能；但將實驗五、六均取水溫21.00°C，製冷3小時之後的數據比較如下：



時間(分)	EX5 未修改 降溫(°C)	EX6 保麗龍 降溫(°C)
0		
30	0.06	0.13
60	0.13	0.00
90	0.06	0.12
120	0.06	0.06
150	0.00	0.13
180	0.07	0.06
平均：0.06		平均：0.08

2. 製冷機加裝保麗龍後效果改進幅度有限，若半小時只能降0.08°C，那若熱天期待降個4°C，則需要50小時；唯恐製冷機長期運作，難以負荷。
3. 發現問題：製冷機第一次修正效果太有限，仔細觀察與討論後，推測有三原因，一是水體太大(最初是在水桶內測試，水不到5公升且無噴霧曝氣干擾，是單純製冷)，二為繁殖箱保溫效果不理想，三是過濾器含太多水又暴露於室溫，導致整體降溫困難。

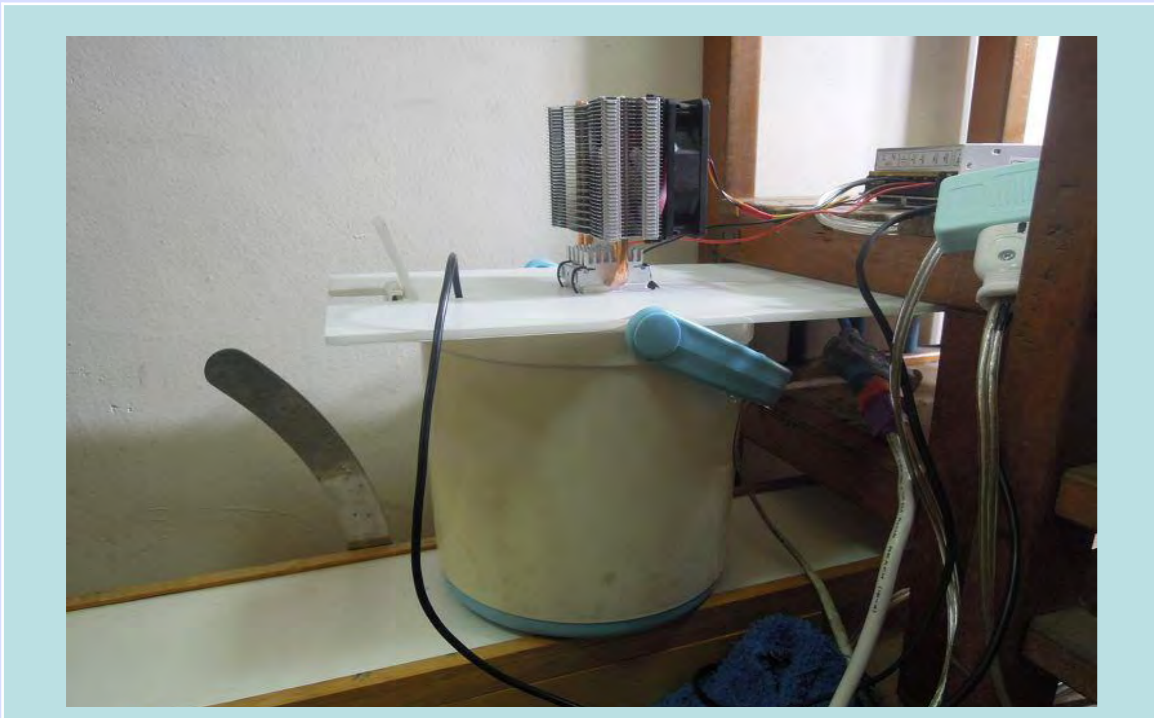
實驗【七】挑戰3—獨立溫控水箱初探與製冷機第二次修改

(一) 實驗方法：

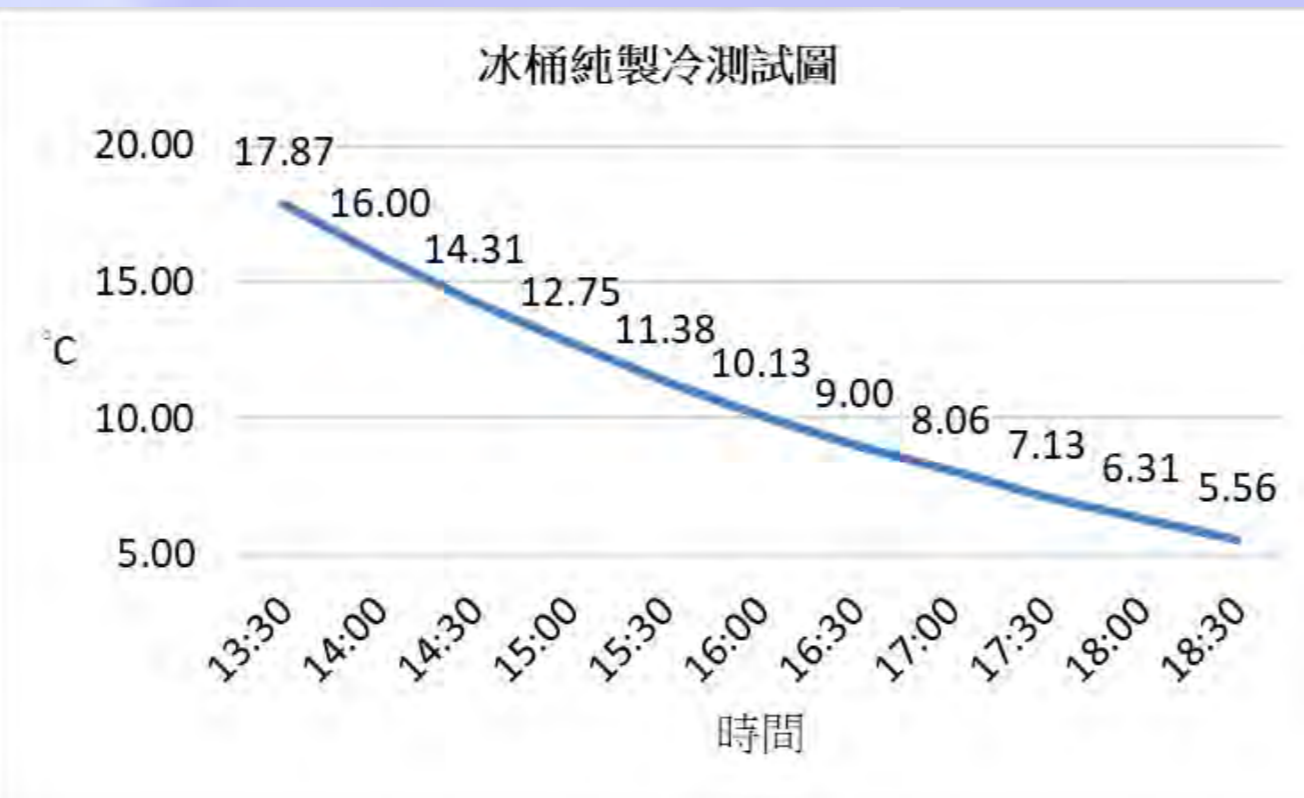
1. 測量飲水過濾器之容量、移除飲水過濾器。
2. 以市售冰桶將水獨立溫控，至此，溫控水箱與繁殖箱正式分為二。
3. 製冷機修改：將水冷頭與沉水馬達移除，改將致冷面與散熱片結合，散熱片將直接接觸水面，散熱端不變。
4. 在市售冰桶上方覆蓋PP版，將製冷機插入，使散熱片直接與水面接觸。
5. 關閉噴霧，單純測試水溫下降速度。
6. 減低噴霧頻率：on/off = 1min/19min，測獨立溫控水箱水量，是否符合一次噴霧所需。

(二) 結果：

1. 飲水過濾器之容量為1110ml，占總水量8650ml的12.83%。
2. 關閉噴霧，單純測試獨立溫控水箱製冷能力測試：測量水體約2700ml，室溫22.60°C，系統製冷效能平均為半小時降溫1.23°C。



製冷機第二次修改：獨立溫控水箱



(三) 討論：

1. 置於室溫過濾器的水佔總體的12.83%，使總體製冷效率降低，決定移除它。
2. 獨立溫控水箱製冷效能：平均為半小時降溫1.23°C，比實驗五最初的设计，進步了6.83倍！減少水體、製冷機改裝接觸水面降溫、移除過濾器、冰桶本身的保溫等等因素，令小組發現，獨立溫控水箱是個好方案。
3. 問題：獨立水箱的设计使製冷效果大幅改善，但此實驗屬於初探，小組嘗試使用收保麗龍箱來製作溫控水箱，取代市售冰桶。

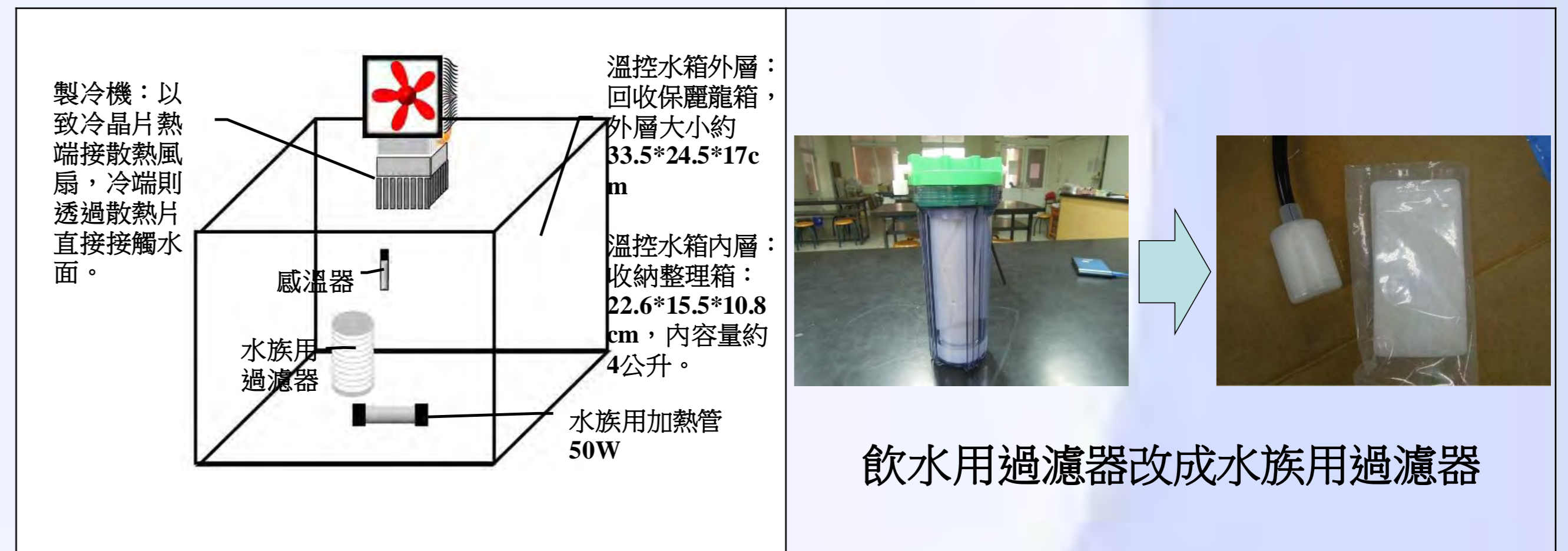
實驗【八】挑戰4—獨立溫控水箱研發與過濾器第一次修改

(一) 實驗方法：

1. 用回收小保麗龍箱製作溫控水箱，以水族用過濾器取代原本飲水用過濾器。
2. 關閉噴霧，單純測試水溫下降速度。
3. 開啟噴霧on/off = 1min/19min，測試水溫下降速度，設定溫控介於16~18°C。

(二) 結果：

1. 關閉噴霧，未加過濾器，單純保麗龍溫控水箱製冷能力測試：測量水體約3882ml，系統製冷效能平均為半小時降溫1.13°C。
2. 開啟噴霧，加過濾器，保麗龍溫控水箱製冷能力測試：測量水體約3882ml，系統製冷效能平均為半小時降溫-0.16°C。



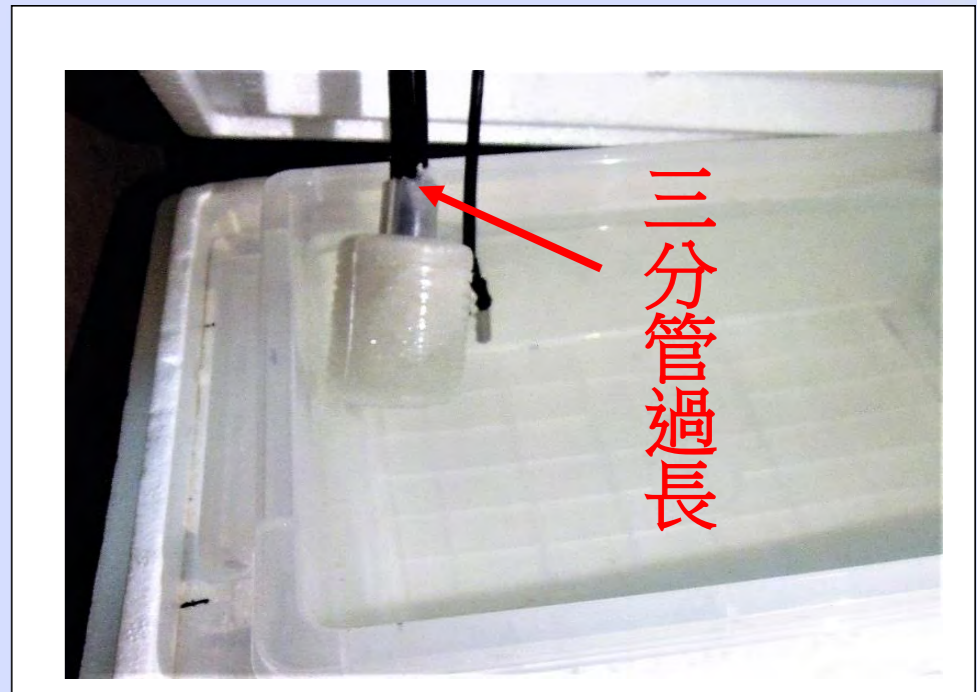
(三) 討論：

1. 保麗龍溫控水箱單純製冷效能：平均為半小時降溫1.13°C，若以比熱容計算，自製的降溫效果更佳：3882*1*1.13 > 2700*1*1.23。推測是保麗龍有上蓋，保溫效果更佳。
2. 保麗龍溫控水箱加噴霧製冷效能：出現負值-0.16°C。由基本推算，20分鐘噴霧1分鐘，平均一小時只有噴水3分鐘，遠比之前實驗少多了，實在不合理。
3. 發現問題：打開繁殖箱仔細觀察，水卡在繁殖箱，原來是過濾器有狀況，無法讓水回流溫控水箱，難怪製冷失敗。決定修改過濾器。

實驗【九】挑戰5—過濾器第二次修改

(一) 實驗方法：

1. 觀察阻塞原因：如右圖。
2. 剪短三分管2.9公分，分別配合2片、1片、0片過濾綿，測試水回流速度。
3. 比較結果，修改過濾器。



過濾器阻塞：三分管過長。

(二) 結果：

1. 以上三種處理，水流回的速度都需要約2分鐘。
2. 過濾器修改後，測試確實能讓水回流不阻塞。

(三) 討論：

1. 既然三種處理水流回的速度都需要2分鐘，我們決定採用保留2片過濾綿的方案，讓過濾效果更好。
2. 問題：修改過濾器後，測試完溫控、噴水、過濾功能後，再加回一開始就過關的加熱管，期盼溫控水箱能修正。

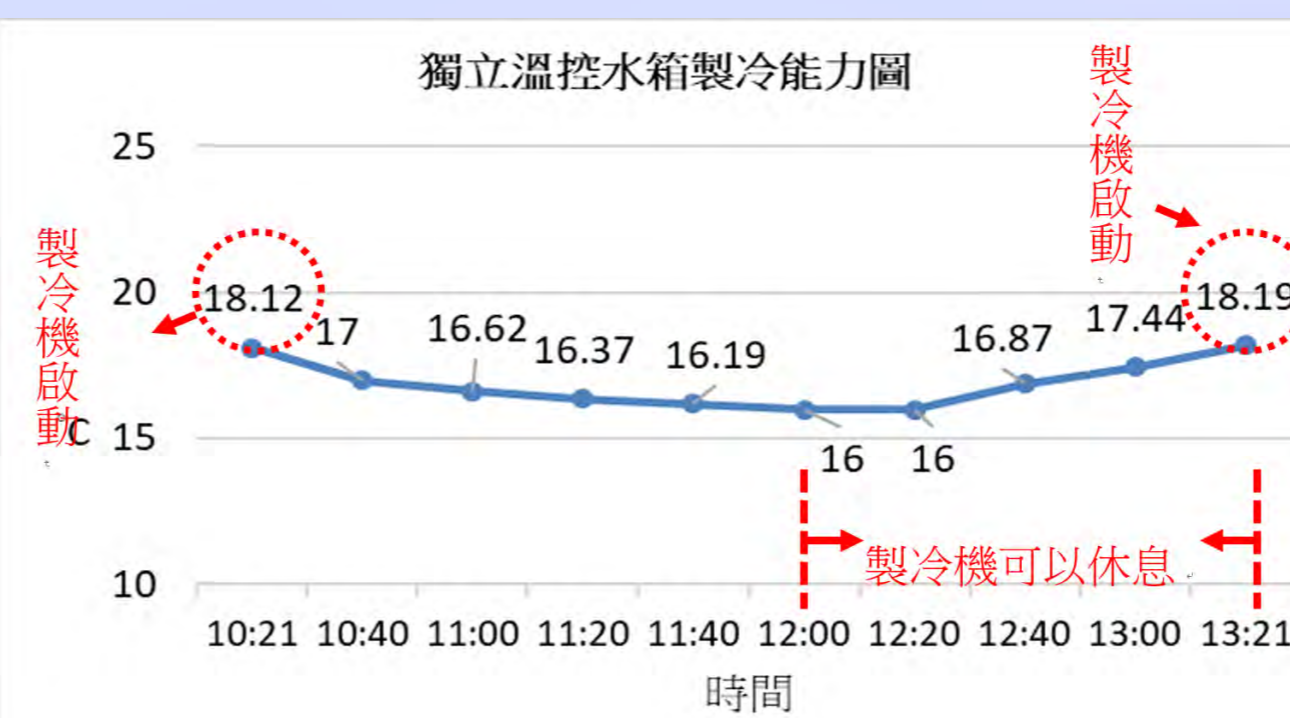
實驗【十】獨立溫控水箱性能總測試

(一) 實驗方法：

1. 降溫能力測試：設定低於室溫約6°C；升溫能力測試：設定高於室溫約7°C。室溫約23°C，配合噴霧on/off = 1min/19min。
2. 觀察繁殖箱內部溫度波動：噴霧後1分20秒繁殖箱溫度穩定產生T0，之後慢慢受室溫影響溫，下一次噴霧前會是最接近室溫T1。我們平均測試時間內的各組溫差 |T1-T0|，觀察繁殖箱內部溫度波動。

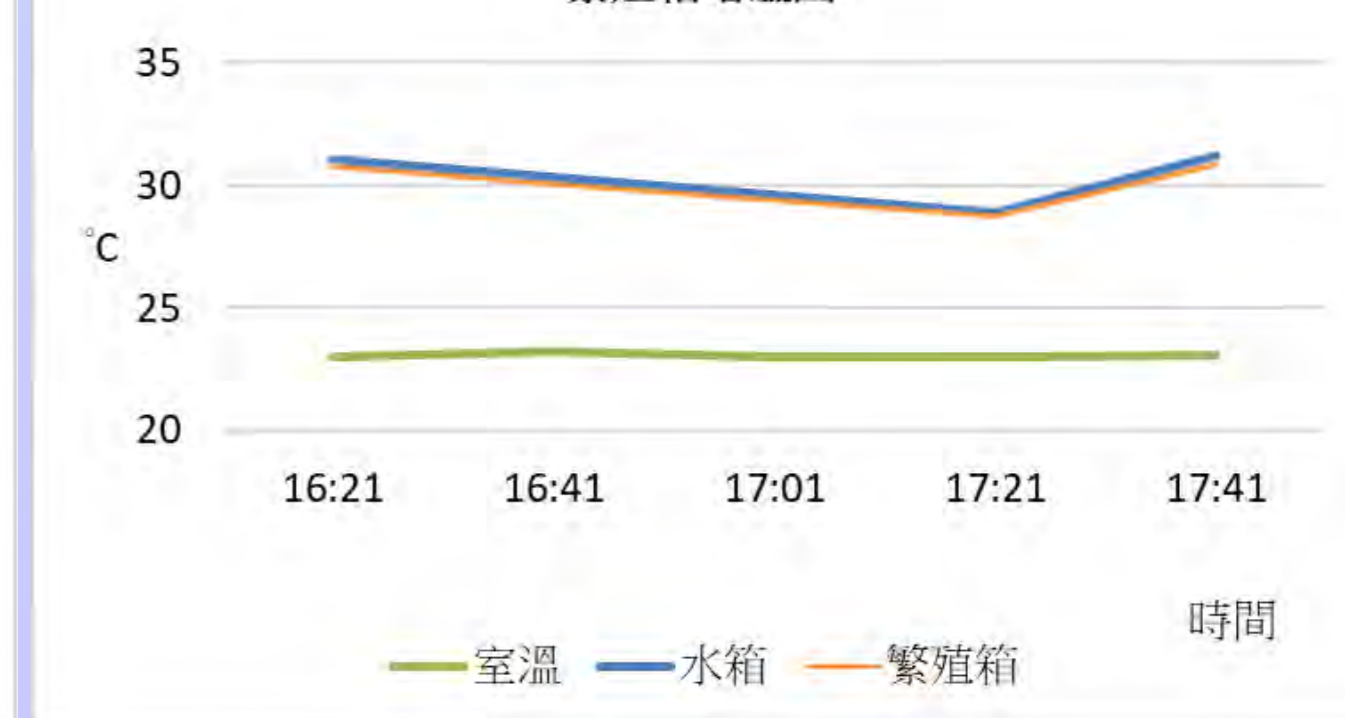
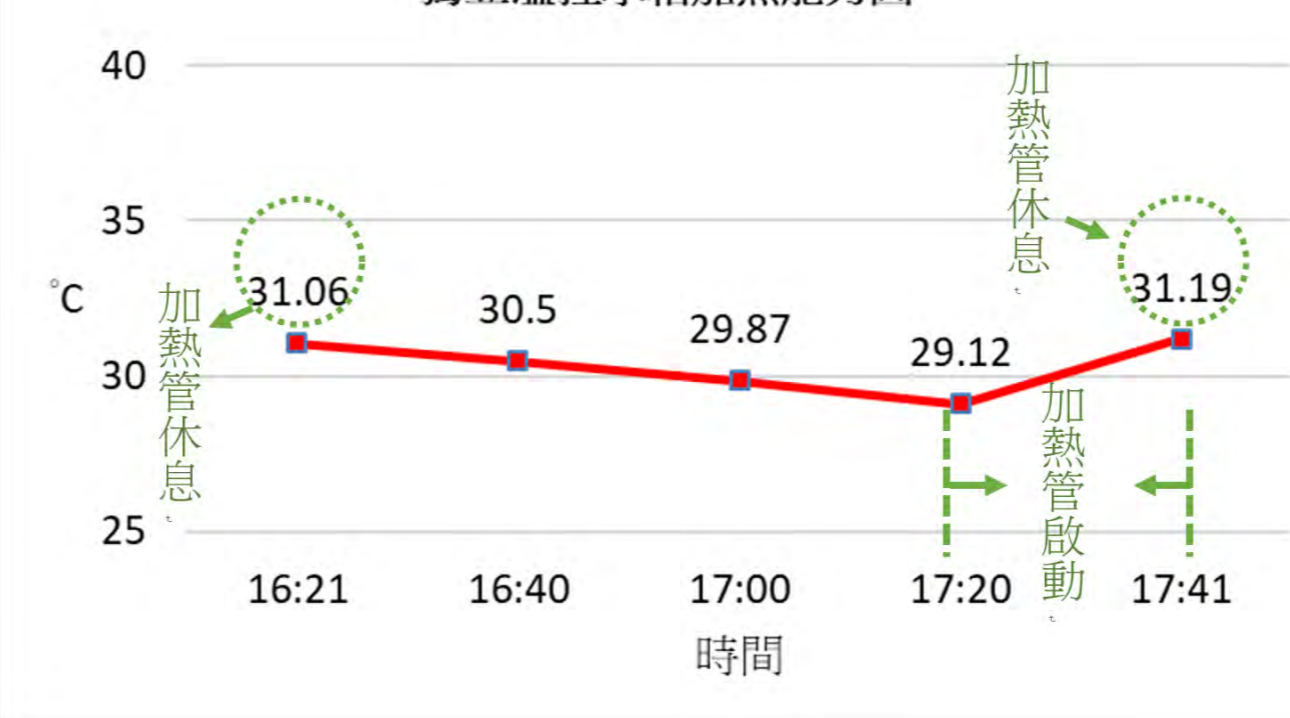
(二) 結果：

1. 獨立溫控水箱製冷成功。
2. 繁殖箱也成功降溫，穩定的低於室溫。



(二) 結果：

1. 獨立溫控水箱升溫成功。
2. 繁殖箱也成功升溫，穩定的高於室溫。

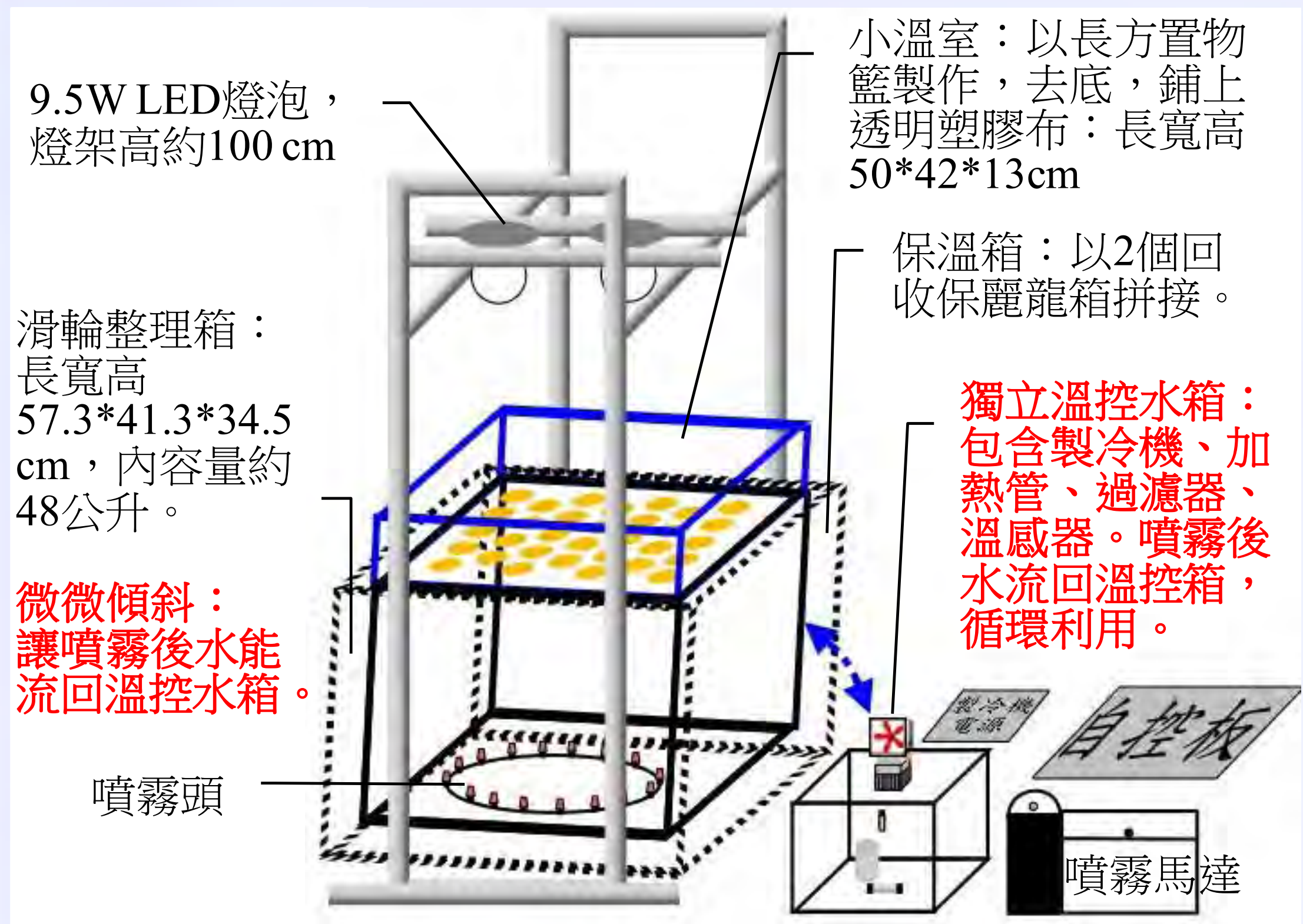


(三) 討論：

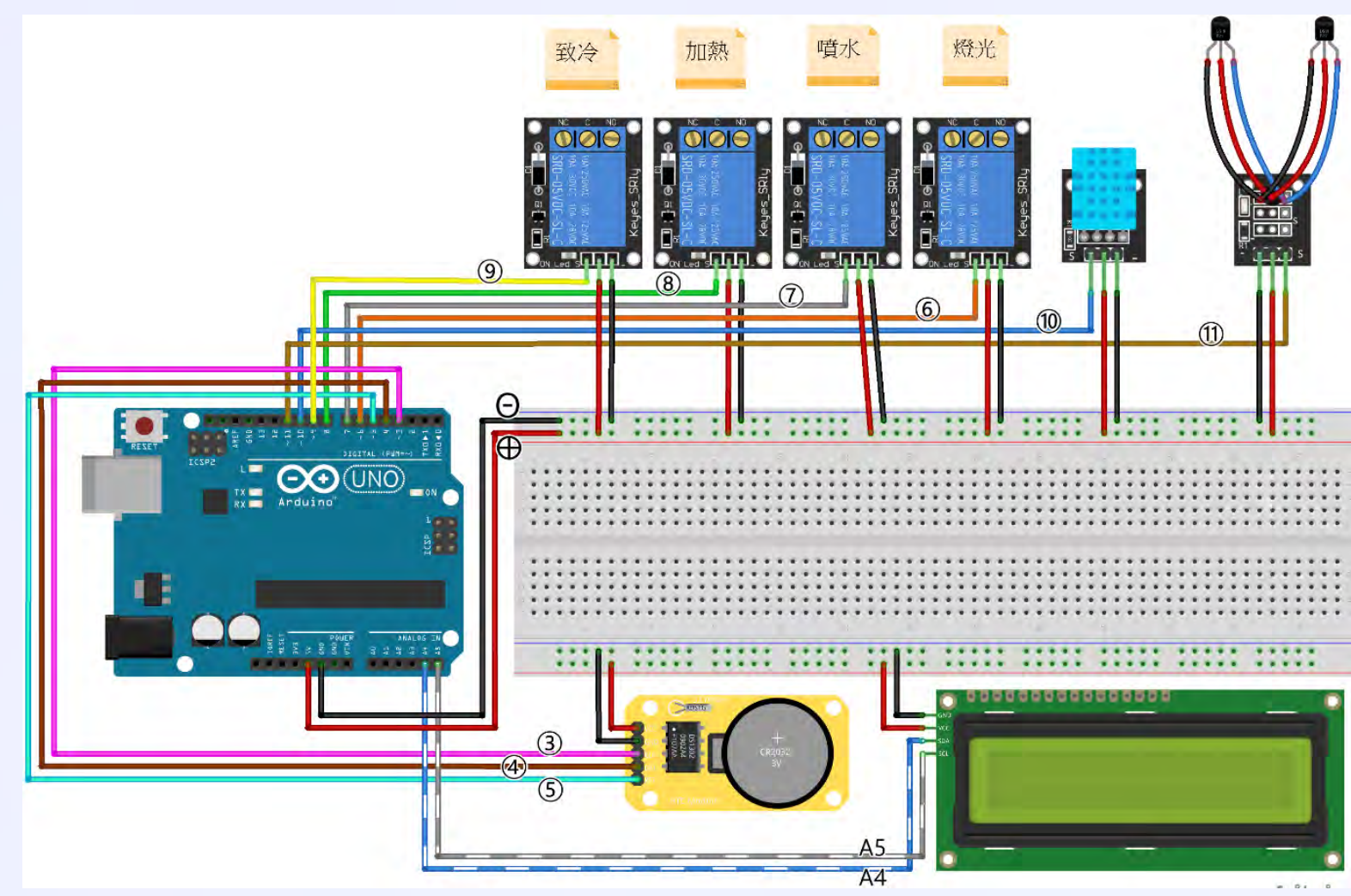
1. 獨立溫控水箱製冷、加熱都有足夠的休息，且溫控效果穩定良好。
2. 溫控系統：我們用此極端值進行溫控，是希望系統能有足夠的能力溫控。
3. 第二代氣霧箱誕生。



4. 第二代氣霧箱圖說。



5. 自動控制板-設計圖



6. 自動控制程式 (詳閱報告)

```

#include <Wire.h>
#include <OneWire.h>
#include <DS18B20.h>
#include <DS1302.h>
#include <Arduino.h>
#include <Relay.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DS1302.h>
#include <OneWire.h>
#include <DS18B20.h>
#include <Relay.h>
#include <Arduino.h>
#include <DS1302.h>
#include <OneWire.h>
#include <DS18B20.h>
#include <Relay.h>
#include <Arduino.h>

```

實驗【十一】第二代氣霧箱-噴霧頻率測試

(一) 實驗方法：

1. 改變噴霧頻率，觀測繁殖箱、溫控水箱的溫度變化：

設定項次	噴霧頻率 on/off	水箱降溫設定 (°C)	水箱升溫設定 (°C)
一	1min/9min	16~18	29~31
二	1min/3min	16~18	29~31

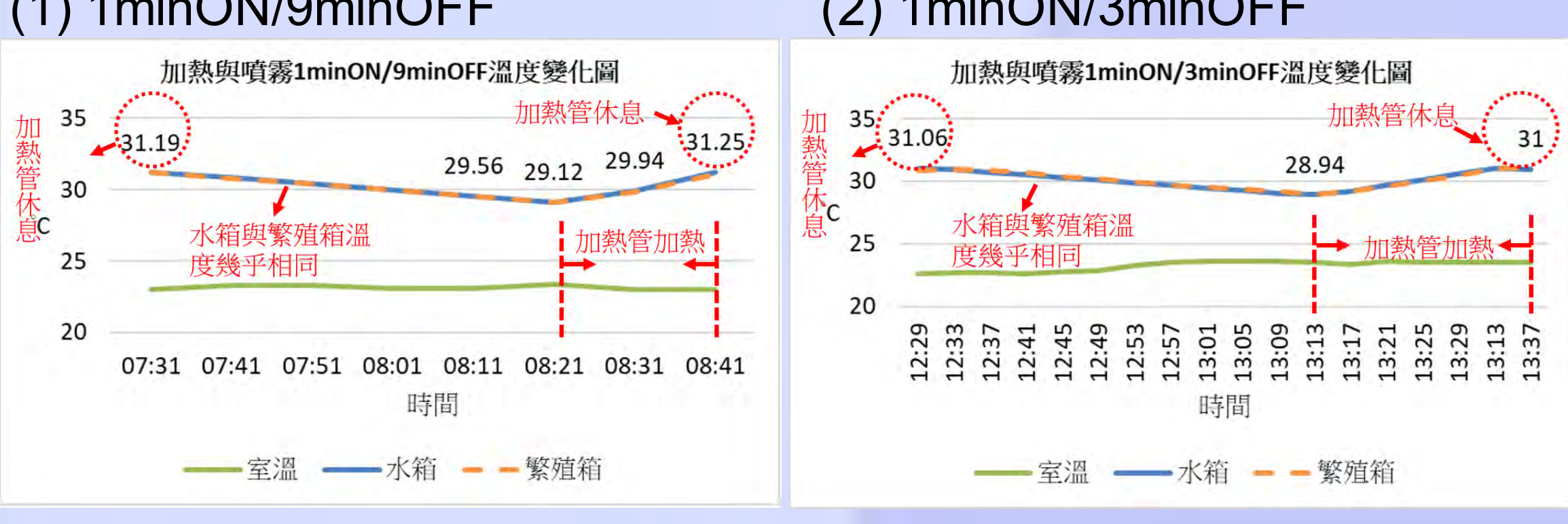
(二) 結果：

1. 合併實驗十的數據如下：

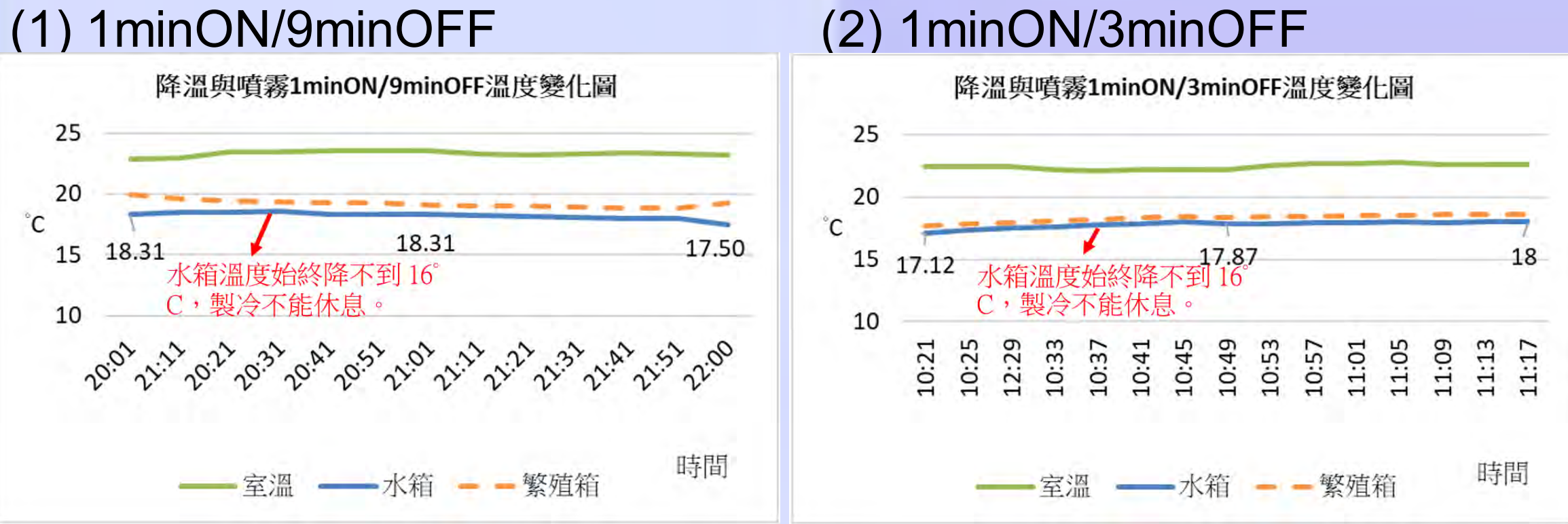
組別	平均值	室溫 (°C)	溫控水箱 (°C)	繁殖箱 (°C)	繁殖箱溫度波動(°C)
1min/19min, 加熱	23.08	30.10	28.80	2.41	
1min/9min, 加熱	23.15	30.16	29.62	1.22	
1min/3min, 加熱	23.29	30.03	29.94	0.33	
1min/19min, 降溫	23.04	17.01	18.78	1.03	
1min/9min, 降溫	23.35	18.07	19.58	0.72	
1min/3min, 降溫	22.50	17.72	18.35	0.08	

(三) 討論：

1. 噴霧頻率與加熱關係圖：三種頻率試驗在加熱方面均過關。



2. 噴霧頻率與降溫關係圖：本實驗設定的頻率導致機械無法休息，只有原來的1min/19min頻率試驗在降溫方面過關。



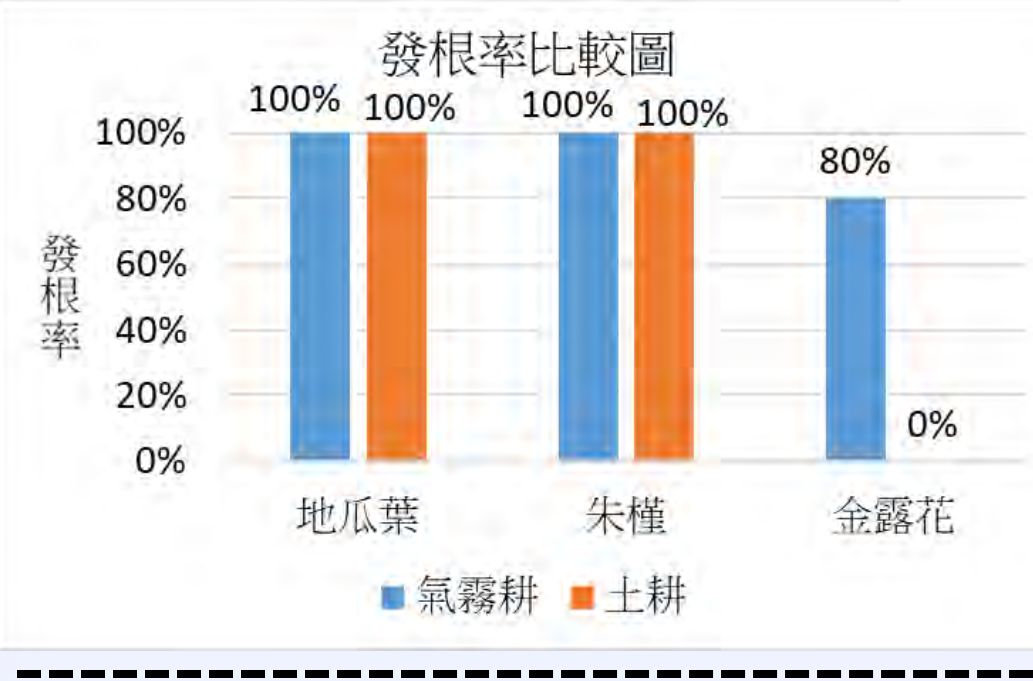
3. 綜上所述，實驗十二將以噴霧頻率on/off=1min/19min來進行測試。實驗【十二】氣霧箱對插穗催根實驗

(一) 實驗方法：(簡述，詳閱報告)

- 植物插穗取樣：6種植物—金毛杜鵑、烏來杜鵑、小果薔薇、朱槿、金露花、地瓜葉。進行氣霧耕與土耕催根比較。
- 實驗組環境設定：設定噴霧頻率為on/off = 1min/19min。水溫溫控：約25°C。調整水pH值約5.8。
- 比較：實驗組發根後，輕輕撥開對照組土壤，比較根部發展差異。

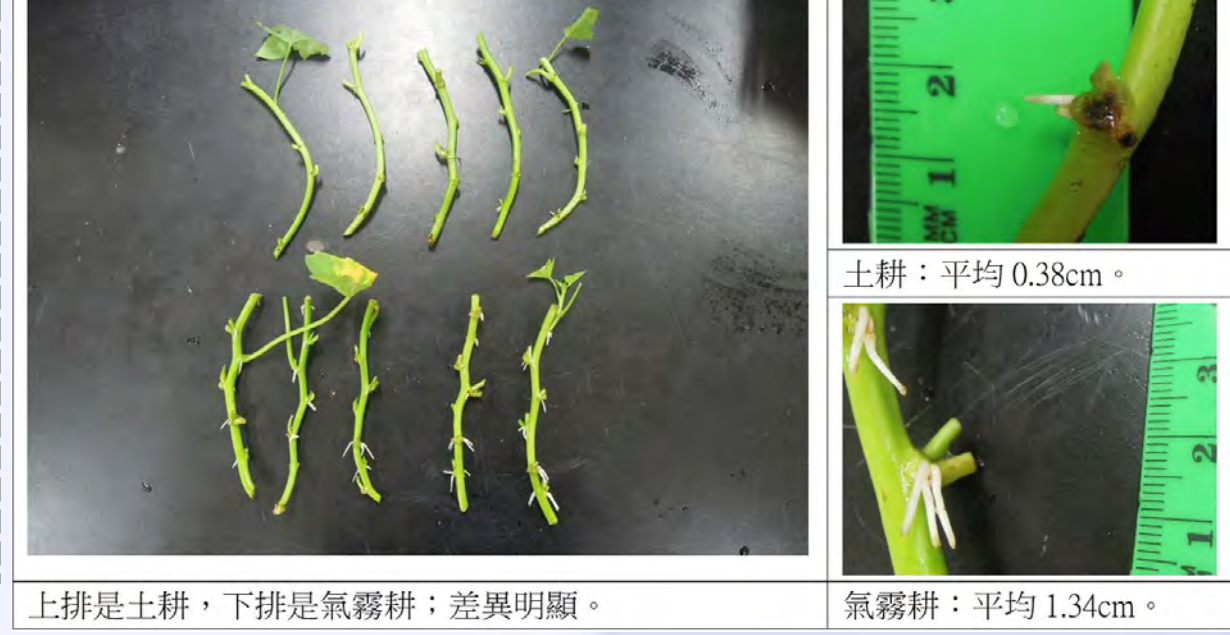
(二) 結果與討論：

1. 發根率比較：

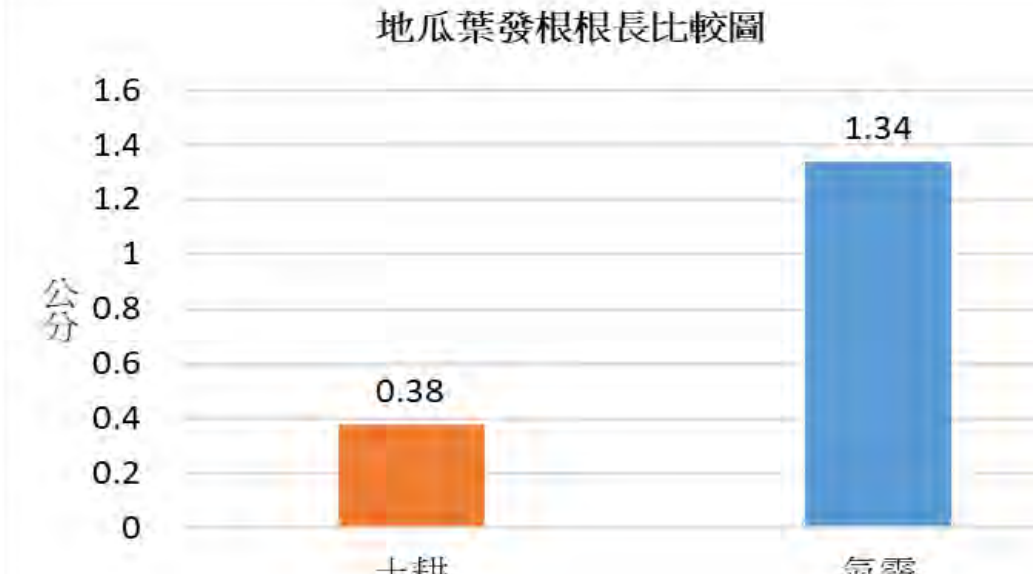


2. 根部發展比較：

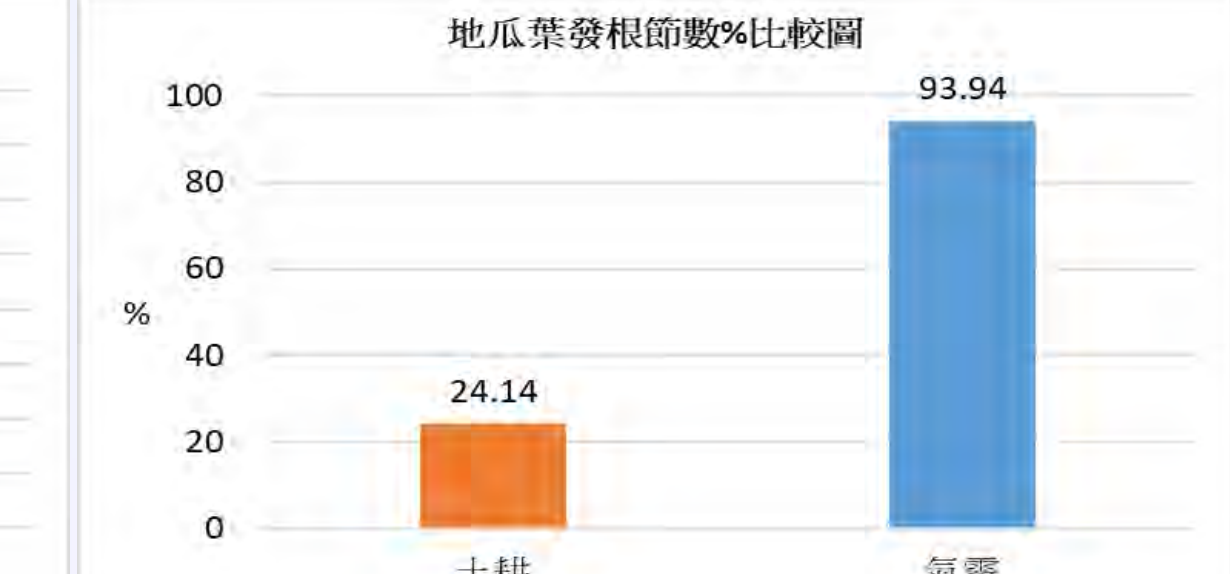
(1) 地瓜葉發根比較：氣霧耕較佳！



(1) 地瓜葉發根根長比較圖



(2) 地瓜葉發根節數%比較圖



(1) 朱槿發根比較：氣霧與土耕發根型態不同。



(2) 金露花發根比較：氣霧耕發根良好，土耕全軍覆沒。



實驗【十三】氣霧箱催根苗移植後續發展

(一) 實驗方法：(簡述，詳閱報告)

取「開根號」催根後的插穗，移植到土裡進行後續培養。觀察植株後續生長狀況。

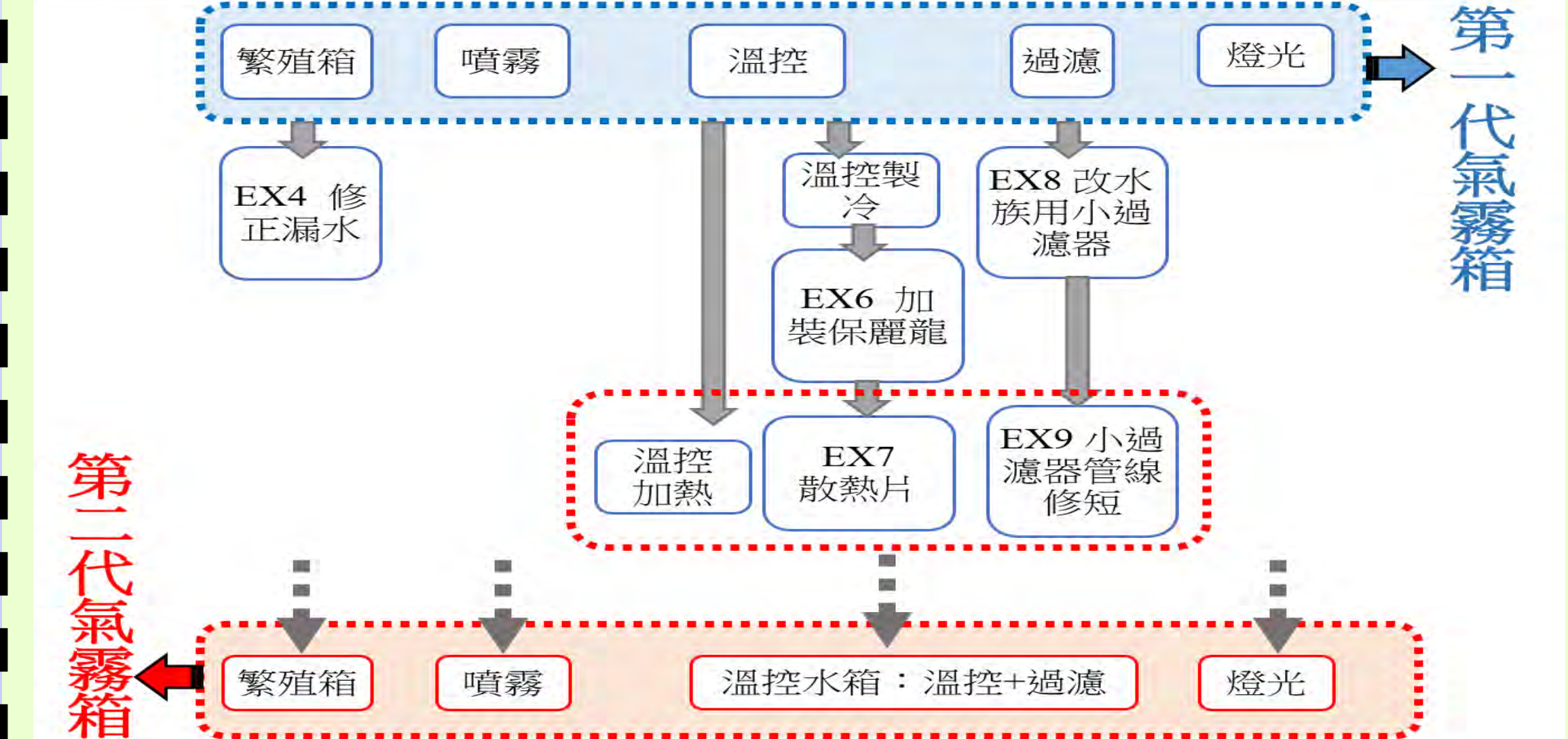
(二) 結果與討論：移植到土壤中，適應均良好，植物成長順利。氣霧耕可增加發根階段的成功率，提升扦插存活率。



伍、結論：

一、氣霧箱硬體

(一) 氣霧箱各部件修改與調整：



二、氣霧箱程式

arduino UNO本身沒有時鐘功能，也無法記憶時間。雖然可以透過delay或millis()函數進行簡單的計時，但若是有多個計時的需求(如本研究燈光、噴水、致冷、加熱等)，容易互相干擾，程式會複雜許多。因此，我們使用DS1302RTC模組，不僅可以準確對應真實時間，在程式撰寫和實際操作上都很直覺。

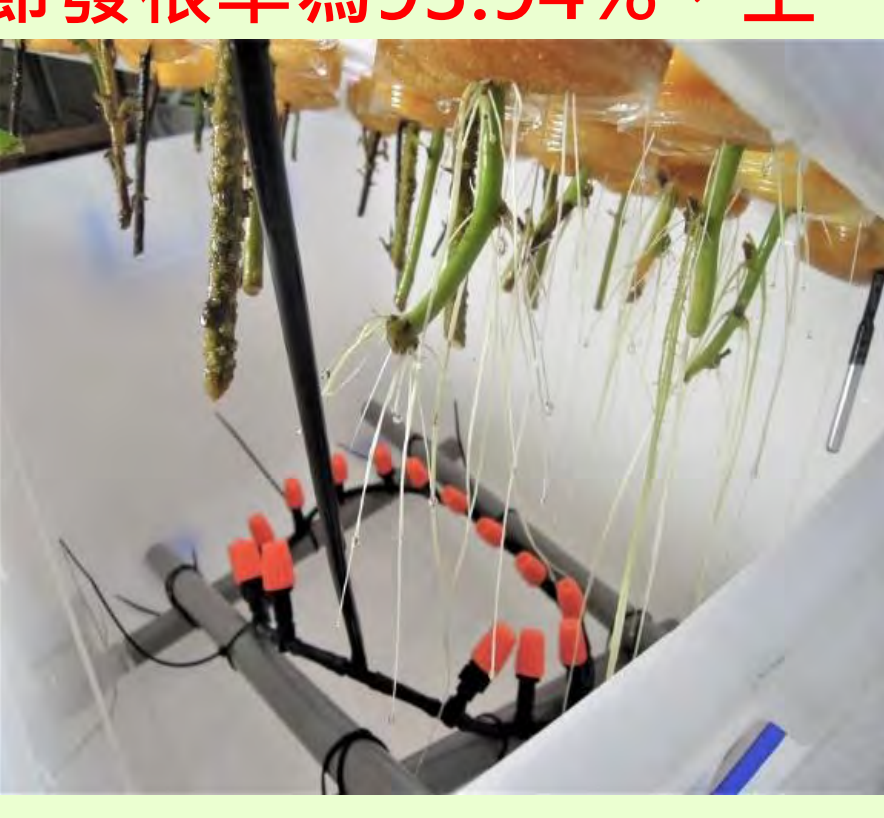
三、氣霧箱實測

(一) 功能實測：我們比較了噴霧頻率on/off=1min/19min、1min/9min、1min/3min，溫度是否能穩定，結果：加熱管配合各種噴霧頻率，繁殖箱的溫度也甚理想。自製致冷機只能勝任噴霧頻率on/off=1min/19min，其他頻率則會過度運轉無法休息。最終催根實測是使用噴霧頻率on/off=1min/19min。

(二) 催根實測：植物發根的需求與氣霧耕提供的環境十分吻合發根率氣霧耕優於土耕。發根狀況以地瓜葉為例：在地瓜葉實驗中，發根長度氣霧耕是土耕的3.53倍，節發根率為93.94%，土耕只有24.14%！

四、未來展望

本實驗最初的期望是能繁殖台灣特有種、原生種植物；其中特有種烏來杜鵑野外已數十年無植株發現的紀錄。我們也想來盡一份心力。在截稿前，我們扦插的烏來杜鵑等其他植物都尚未發根，希望我們現正服役的「開根號」能為我們帶來更多好消息。



地瓜葉根部健康!!