

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

探究精神獎

082926

玩美教室-綠濾植物好療癒

學校名稱：桃園市桃園區新埔國小學

作者：	指導老師：
小六 趙苡杉	陳宥均
小六 林思婕	趙榮華
小六 鍾豪澤	
小六 蕭仔晞	
小六 林禹妍	
小六 趙芸希	

關鍵詞：PM2.5、主動抽氣綠牆、教室美化

摘要

學校附近有煉油廠的大煙囪，隨風飄來的 PM2.5 是健康隱憂，所以我們自製主動抽氣式綠牆，以了解室內栽種綠色植物是否有助於改善教室空氣品質。

研究後得到的重點有：

- 一、利用滯塵力佳的五種室內植物及廢棄課桌，自製主動抽氣式綠牆，既環保又能美化教室。
- 二、相較於密閉空間的 PM2.5 自然沉降，在主動抽氣式綠牆中放置非洲堇、嫣紅蔓、波士頓腎蕨時，能更快降低教室中的 PM2.5 濃度。
- 三、加快風速能讓主動抽氣式綠牆中的波士頓腎蕨有較好的吸附 PM2.5 效果，提高光照和使用霧化器加溼葉面的影響則不顯著。
- 四、在主動抽氣式綠牆中放置波士頓腎蕨，在 4 小時，風速 2.8m/s，光照 1840Lux，並使用霧化器適時加溼葉面的條件下，跟緊閉門窗後讓 PM2.5 自然沉降相比，PM2.5 下降率可增加 32%。

壹、研究動機

學校附近煉油廠冒出的濃煙直衝天際，而上課使用黑板和粉筆時也常製造粉塵，這些都讓教室裡的空氣品質亮起紅燈。還好校外教學時，老師常帶我們到山林裡走走，呼吸清新空氣。然而，有森林、有綠色植物的地方，空氣就比較好嗎？

於是我們檢測教室及森林的 PM2.5，發現森林裡的數值果真比較低，如圖一和圖二所示。這引起我們的好奇心，難道大樹和綠色植物是降低 PM2.5 濃度的主因嗎？如果在室內種植綠色植物是否會使教室內的 PM2.5 濃度下降？我們的學校位於熱鬧的市區，無法每天親近山林，所以我們決定把綠色植物搬進教室，除了可以美化環境，也能觀察綠色植物淨化室內空氣的表現。

五年級上學期翰林版的自然課本裡有一課是植物的奧秘，教我們認識植物的基本構造。而行政院環保署出版的「淨化空氣之植物-應用及管理手冊」以及相關的新聞稿內容，都提到室內植物在滯塵方面有著相當好的功效，於是我們想要自製主動抽氣式綠牆，以了解室內的綠色植栽是否真的有助於改善教室中的空氣品質。



圖一



圖二

貳、研究目的

- 一、調查市面上販賣的各種滯塵率高的室內盆栽。
- 二、觀察教室內 PM2.5 的長期變化。
- 三、利用室內盆栽及可回收資源自製主動抽氣式綠牆。
- 四、探討各種不同因素對主動抽氣式綠牆降低 PM2.5 成效的影響。
- 五、在教室中擺設主動抽氣式綠牆以美化環境。

參、文獻探討

一、支持室內植栽可淨化空氣的文獻：

(一)、淨化室內空氣之植物-應用及管理手冊-居家生活版：

這本手冊是環保署和國立臺灣大學合作出版，手冊中除彙集國內外植物淨化空氣的相關文獻及常見室內植物維護管理方法等資料，並記錄了室內植物滯塵與減少二氧化碳能力的實際測試結果。這本手冊對於我們的研究相當有幫助，可以知道那些室內植物有較好滯塵效果，並挑選適合教室環境的室內植栽，以手冊建議方式來維護植物生長。

(二)、清淨空氣小綠牆，室內空氣好清新-108 年 3 月 19 日：

在這篇環保署的新聞稿中提到，植生濾清器能達到淨化室內空氣與美化環境的效益。新聞稿連結的線上簡報中，也說明了植物可透過「吸收、轉換、吸附」來淨化空氣，並提到主動式綠牆的概念及雛形，對於我們想自製主動抽氣式綠牆而言，相當具有參考的價值。

(三)、天然空氣清淨機／選對室內盆栽幫你排毒-105 年 3 月 15 日：

買不起空氣清淨機，又想要有好空氣，回歸天然是最好的方法。台大園藝暨景觀學系教授葉德銘表示，愈來愈多研究發現，種植室內植物能有效降低二氧化碳、甲醛、落塵等，避免這些物質引起頭痛、皮膚癢、噁心等症狀。然而，如果盆栽擺錯，反而沒太大效果，所以要慎選植物種類。

二、反對室內植栽能淨化空氣的文獻：

(一)、若你想買盆栽淨化空氣，還是放回去吧-108 年 11 月 20 日

這篇國家地理的文章提到，目前室內園藝蓬勃發展，許多受歡迎的室內植物，是以當作淨化家中空氣的好辦法來行銷，出售給急切的消費者。然而，新研究持續顯示室內植物在淨化家中空氣方面的功能近乎零。主要原因是植物移除空氣中污染物的速率實在太慢了，要讓植物能媲美空氣交換系統，需要的室內植物數量非常大，並不實用。

三、市面上販售的空氣品質感測儀的之研究介紹：

(一)、空氣品質感測器測試服務平台：

此測試服務由行政院環保署委託工業技術研究院量測技術發展中心一標準與法定計量技術發展組的化學研究室執行，網站中提供多份有關於市售光學空氣品質感測器的測試報告，包括感測器核心，及水霧、溫溼度等對光學空品感測器的研究報告，內容十分專業，可信度極高。

肆、研究設備、器材和實驗場所

一、自製抽風式綠牆的材料：

學校廢棄課桌、電腦 USB 風扇，三吋盆非洲堇、三吋盆皺葉椒草、三吋盆大岩桐、三吋盆嫣紅蔓，五吋盆波士頓腎蕨，Arduino 板、感測器套件、可調式變壓器、水位計、霧化器、LED 黃光燈條。

二、實驗記錄工具：

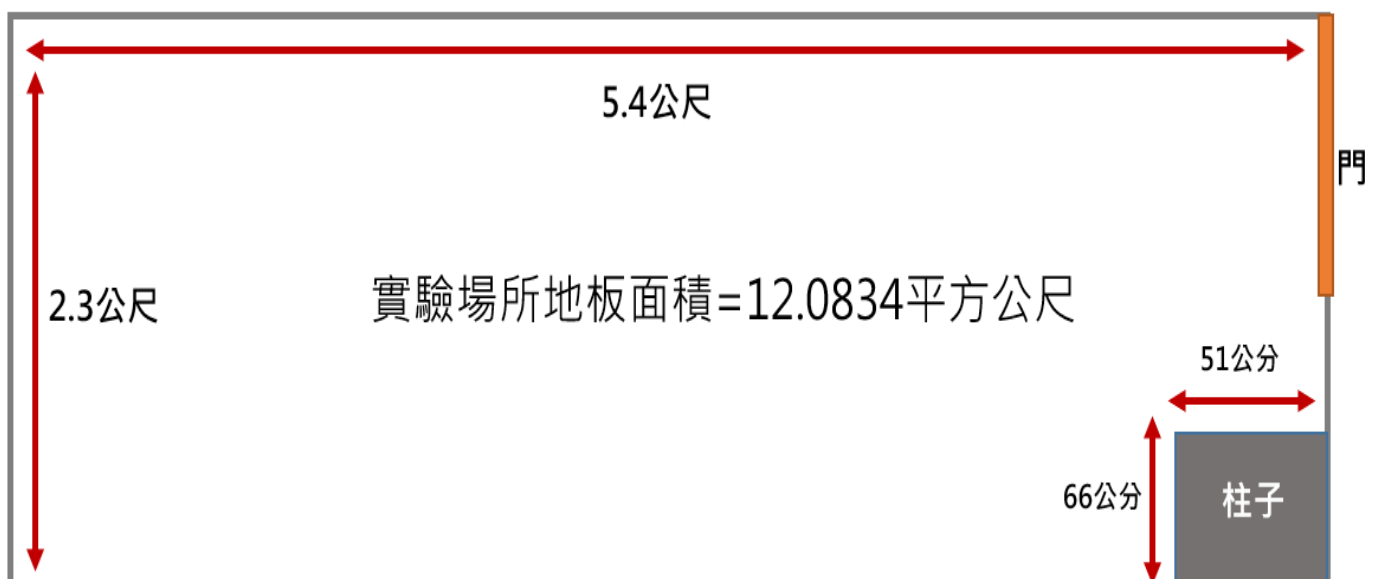
LUFTRUM 空氣品質檢測儀、攝影機、風速計、光照計、碼表。

三、產生 PM2.5 的物質：

線香。

四、實驗場所：

實驗進行的場地是學校的一間儲藏室，室內高度和教室相同。儲藏室地板面積為 12.0834 平方公尺，如圖三所示。而教室地板面積大約是 68.7 平方公尺，因此可以計算出「大約 5.7 間儲藏室的空間等於一間教室的空間」。希望能藉由儲藏室的實驗結果及此倍率，推測教室中植物移除 PM2.5 時所需的植物綠牆數量，及移除的效率，以判斷使用主動式抽氣綠牆來降低空氣中 PM2.5 濃度的可行性。



圖三

伍、研究過程或研究方式

研究一：觀察市面上各種室內植栽販賣情形

「淨化室內空氣之植物應用及管理手冊」中記錄了 50 種室內植物的滯塵能力，我們參考手冊中的植物滯塵量，挑選排名較佳，而且彼此間滯塵量相差超過 0.5 mg/平方公分的 8 種室內植栽進行調查，這 8 種植物分別是：非洲堇、鐵十字秋海棠、皺葉椒草、大岩桐、薛荔、嫣紅蔓、長壽花、波士頓腎蕨。下表是環保署「淨化室內空氣之植物應用及管理手冊」中記錄的室內植物滯塵量，單位是「mg/平方公分」：

植物種類	滯塵量	植物種類	滯塵量	植物種類	滯塵量
非洲堇	30.53	冷水花	0.98	黃金葛	0.52
鐵十字秋海棠	10.69	繡球花	0.89	心葉蔓綠絨	0.51
皺葉椒草	9.11	黑葉觀音蓮	0.88	娃娃朱蕉	0.45
大岩桐	8.34	印度橡膠樹	0.87	白蝴蝶合果芋	0.44
薛荔	5.58	白斑垂榕	0.83	琴葉榕	0.40
嫣紅蔓	3.02	西瓜皮椒草	0.71	袖珍椰子	0.38
麗格秋海棠	2.73	檸檬千年木	0.71	萬年竹	0.37
長壽花	2.65	非洲菊	0.70	中斑吊蘭	0.36
盆菊	2.31	鹿角蕨	0.68	變葉木	0.36
白網紋草	2.25	西洋杜鵑	0.68	龜背芋	0.36
馬拉巴栗	1.79	常春藤	0.66	白鶴芋	0.33
金脈單藥花	1.45	孔雀竹芋	0.64	噴雪黛粉葉	0.32
波士頓腎蕨	1.42	白馬粗肋草	0.60	臺灣山蘇花	0.30
蝦蟆秋海棠	1.35	仙客來	0.59	擎天鳳梨	0.21
鐵線蕨	1.34	秋石斛	0.57	中斑香龍血樹	0.17
彩虹竹蕉	1.07	聖誕紅	0.56	澳洲鴨腳木	0.16
		火鶴花	0.54	福祿桐	0.03

表一

接著我們到學校或住家附近的天○農場、桃○源，鑫○得花圃、芯○花園等四間園藝店進行調查，以了解這些植物是否容易取得。調查的記錄結果如表二(其中植物滯塵率和植物維護容易度皆為環保署資料)：

		1		2		3		4		5
		非洲堇	鐵十字秋海棠	皺葉椒草	大岩桐	薜荔	嫣紅蔓	長壽花	波士頓腎蕨	
植物滯塵率		30.53	10.69	9.11	8.34	5.58	3.02	2.65	1.42	
植物維護容易度		10分	6分	6分	5分	4分	4分	8分	5分	
天○農場	11月	無	無	多	多	無	無	無	多	
	2月	無	無	多	多	無	多	多	多	
桃○源	11月	多	無	無	無	無	多	無	少	
	2月	多	無	少	無	無	多	少	少	
鑫○得花圃	11月	少	無	少	無	無	無	無	少	
	2月	多	無	無	少	無	無	少	無	
芯○花園	11月	無	無	少	無	無	少	無	多	
	2月	無	無	少	無	無	多	多	少	

表二

調查了市面上的各種室內植栽販賣情形之後，發現四間園藝店都沒有販售鐵十字秋海棠和薜荔，所以我們選擇了滯塵能力好，而且容易從園藝店取得的非洲堇、皺葉椒草、大岩桐、嫣紅蔓和波士頓腎蕨等五種植物，來進行我們的實驗。我們也發現園藝店販售的這五種植物都有固定栽種的盆，分別為3吋盆和5吋盆，我們將調查結果整理如表三。

	非洲堇	皺葉椒草	大岩桐	嫣紅蔓	波士頓腎蕨
3吋盆	多	多	多	多	少
5吋盆	無	無	無	無	多
採買結果	3吋盆	3吋盆	3吋盆	3吋盆	5吋盆

表三

最後我們採買的植物包括三吋盆非洲堇、三吋盆皺葉椒草、三吋盆大岩桐、三吋盆嫣紅蔓，及五吋盆波士頓腎蕨。

研究二：以空氣檢測儀檢測教室空氣

我們觀察 10 個星期教室內的空氣品質，並且分別記錄 LUFTRUM 空氣檢測儀的數據和中央氣象局的數值，表四是這十週以來記錄的數值。

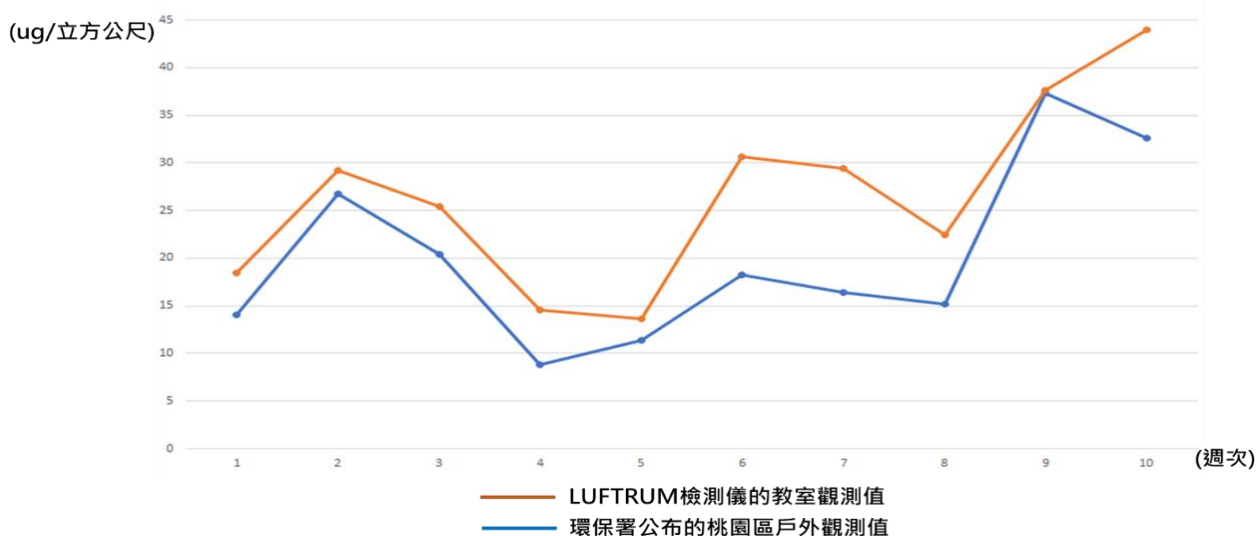
	中央氣象局 室外環境偵測	空氣檢測儀 教室內偵測 LUFTRUM 空氣品質檢測儀	差距	教室內偵測到的較大值
第一週(11/5-11/9)	14	18.5	4.5	
第二週(11/12-11/16)	26.8	29.2	2.4	11月14日：54
第三週(11/19-11/23)	20.4	25.4	5.0	11月19日：64
第四週(11/26-11/30)	8.8	14.6	5.8	
第五週(12/2-12/6)	11.4	13.6	2.2	
第六週(12/9-12/13)	18.2	30.6	12.4	12月12日：42
第七週(12/16-12/20)	16.4	29.4	13.0	12月17日：60
第八週(12/23-12/27)	15.2	22.4	7.2	12月26日：47
第九週(12/30-1/3)	37.3	37.6	0.3	12月30日：84
第十週(1/6-1/8)	32.6	44	11.4	1月6日：60 / 1月7日：55
平均	17.034	22.896	5.862	

單位：微克/立方公尺

表四

將表格內容繪製成折線圖，如圖四，我們發現：

1. 進入 12 月後，PM2.5 的濃度有往上的趨勢。
2. 在 10 週當中有 8 天的室內 PM2.5 濃度較高，最高為 84ug/立方公尺。
3. LUFTRUM 檢測儀在教室觀測時，數值的上下波動和環保署檢測數值大致相同。



圖四

研究三：線香燃燒測試

每一次實驗中都是在相同的密閉空間燃燒線香以產生 PM2.5，所以每一次產生的 PM2.5 數量差異太大的話，就無法對實驗結果進行推論。為此我們先選擇粗細相似的線香，然後在儲藏室中燃燒其中一根線香，並記錄燃燒時間和 PM2.5 濃度的變化，如表五。

我們發現燃燒一支完整線香大約需要 36 分鐘。而在第 12 分鐘時燃燒的長度大約是 7 公分，此時 PM2.5 濃度是 183ug/立方公尺，已經超過我們觀測教室 PM2.5 最高值 84ug/立方公尺的兩倍。於是我們將挑選出的(粗細一致)線香都剪至 7 公分長度，稱重後測得 7 公分線香重量大都是 0.5 公克，經討論後我們決定以重量 0.5 公克為統一標準，如果 7 公分的線香重量不是 5 公克則略修剪，如果秤出的重量與 0.5 公克差異達 0.2 公克則淘汰該線香。

時刻	LUFTRUM空氣檢測儀數值 (距線香2公尺處)	附註
14：22(線香開始燃燒)	20(ug/立方公尺)	
14：26	93(ug/立方公尺)	
14：30	140(ug/立方公尺)	
14：34	183(ug/立方公尺)	線香大約燃燒7公分
14：38	225(ug/立方公尺)	
14：42	243(ug/立方公尺)	
14：46	267(ug/立方公尺)	
14：50	298(ug/立方公尺)	
14：54	330(ug/立方公尺)	
14：58	369(ug/立方公尺)	
15：02(線香燃燒完畢)	355(ug/立方公尺)	

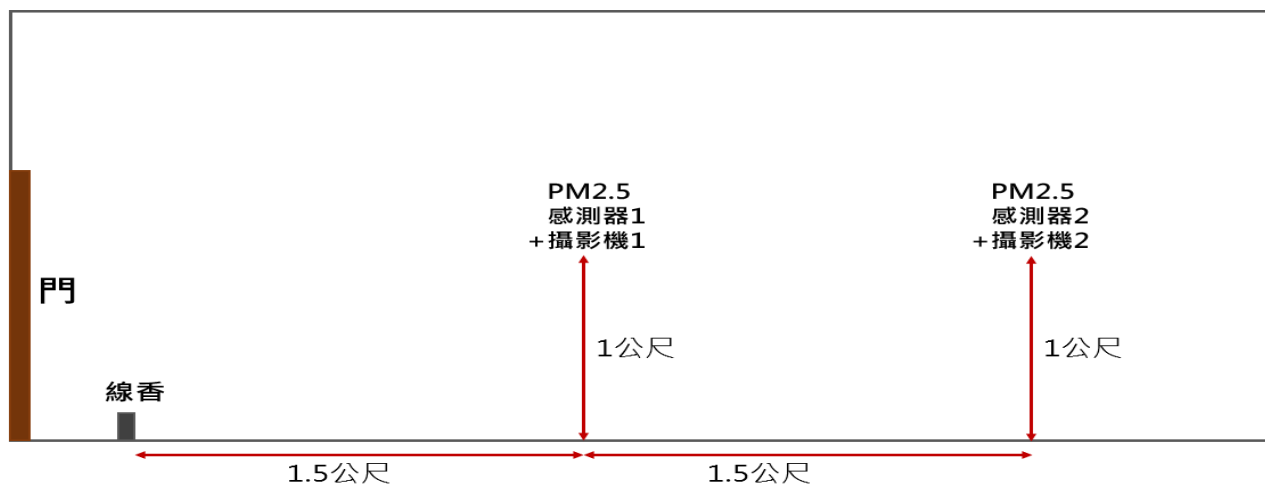
表五

接下來的測試是想了解我們剪裁的這些 0.5 公克線香每一次燃燒的時間，結果如表六。

	線香長度	線香重量	燃燒時間
第一次	7公分	0.5公克	13分29秒
第二次	6.9公分	0.5公克	13分18秒
第三次	7公分	0.5公克	13分45秒
第四次	7公分	0.5公克	13分31秒
第五次	6.9公分	0.5公克	13分42秒
平均			大約13分33秒

表六

接著我們在密閉的儲藏室中燃燒重量 0.5 公克的同一廠牌線香進行四次的測試，每一次都是進行 4 小時，全程錄影，設備位置如圖五。



圖五

從影片中記錄數值，我們計算出四次測試 PM2.5 平均上升的數值是 84.5，最高是 96。

			時間	溫度 (攝氏)	濕度	起始值 (ug/立方公尺)	最高值 (ug/立方公尺)	結束值 (ug/立方公尺)	PM2.5 前後差 (結束值-起始值)	
第一天	測試一	感測器前	4小時	23度	84%	39	236	118	79	79.5
		感測器後	4小時	23度	81%	45	175	125	80	
	測試二	感測器前	4小時	23度	73%	37	226	116	79	81
		感測器後	4小時	24度	74%	37	170	120	83	
第二天	測試三	感測器前	4小時	21度	78%	39	253	119	80	81.5
		感測器後	4小時	21度	77%	40	187	123	83	
第三天	測試四	感測器前	4小時	18度	80%	35	279	133	98	96
		感測器後	4小時	17度	80%	29	153	123	94	

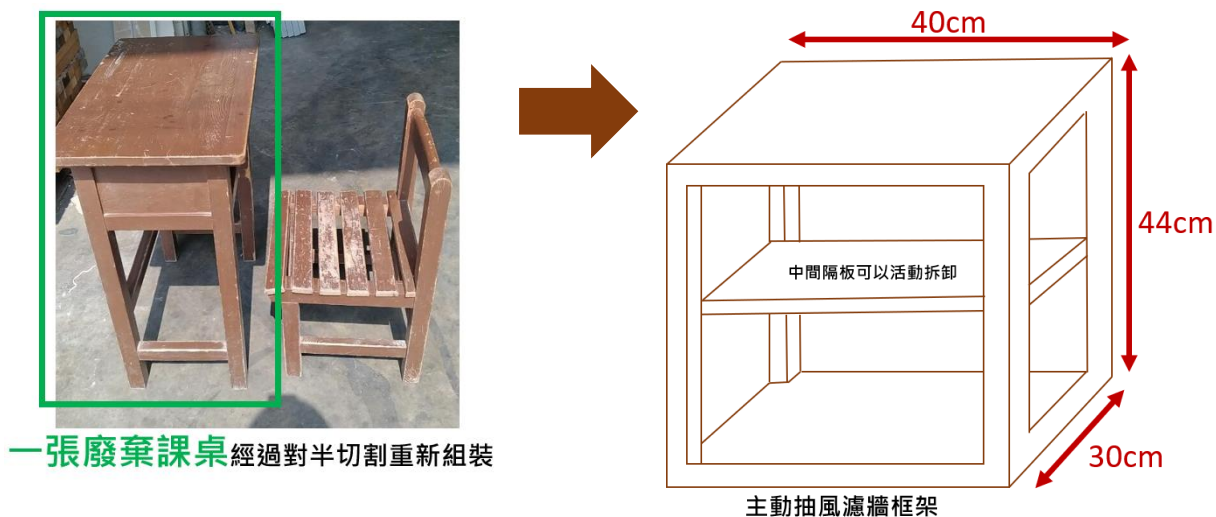
4次測試平均值=84.5

表七

- 發現：
- 線香燃燒的時間會受到像是氧氣濃度等各種因素影響，我們燃燒了 5 支長度大約 7 公分，重量 0.5 公克的線香，發現燃燒最快和最慢大約相差 27 秒。
 - 我們在相同日及不同日共燃燒 4 次 0.5 公克重的線香，測試相同重量同廠牌線香在密閉儲藏室造成的 PM2.5 數值，並將 $(96 - 84.5)/84.5 \approx 13.6\%$ 設為上下波動的誤差範圍。也就是以光學空品感測器偵測燃燒線香產生的 PM2.5 時，如果不同變因下的實驗結果，與原本實驗結果差距在 13.6% 內時，將視為沒有明顯差異。

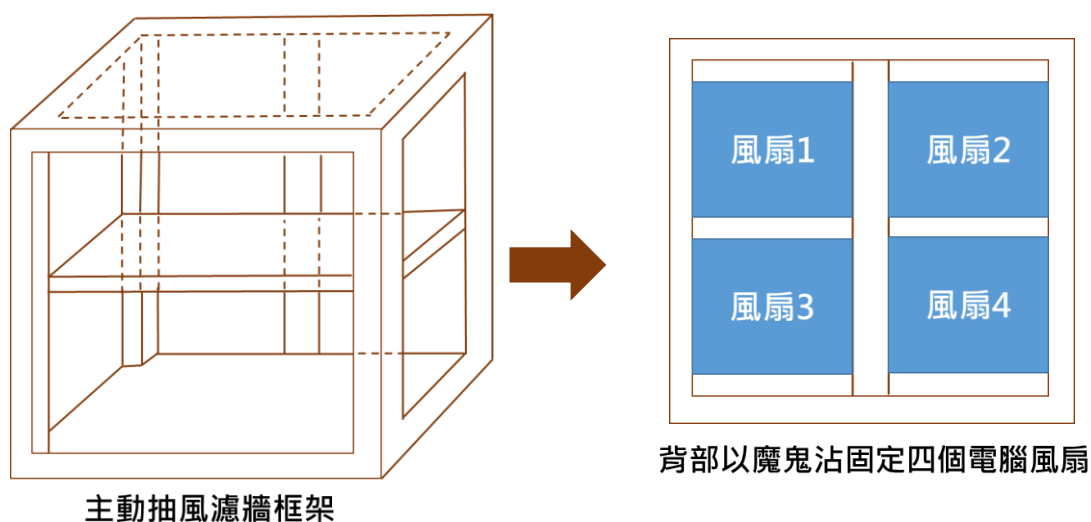
研究四：製作主動抽氣綠牆

學校裡有很多汰換的課桌椅，如果直接丟棄十分可惜，我們想加以利用，做為可放置於教室中的主動抽氣綠牆支架，經過拆解重新組裝之後，我們驚喜的發現一張桌子剛好可以做成一個大小適中的放置盆栽木架，如圖六。



圖六

接著我們將 4 個電腦的散熱風扇以魔鬼沾固定在木架背部，讓木架能主動抽風，將空氣吸入木架內再排出，形成一個循環系統，如圖七。而為了研究不同風速的循環效果，我們也利用可調式變壓器調整電壓，讓風扇產生不同的風速，如表八。

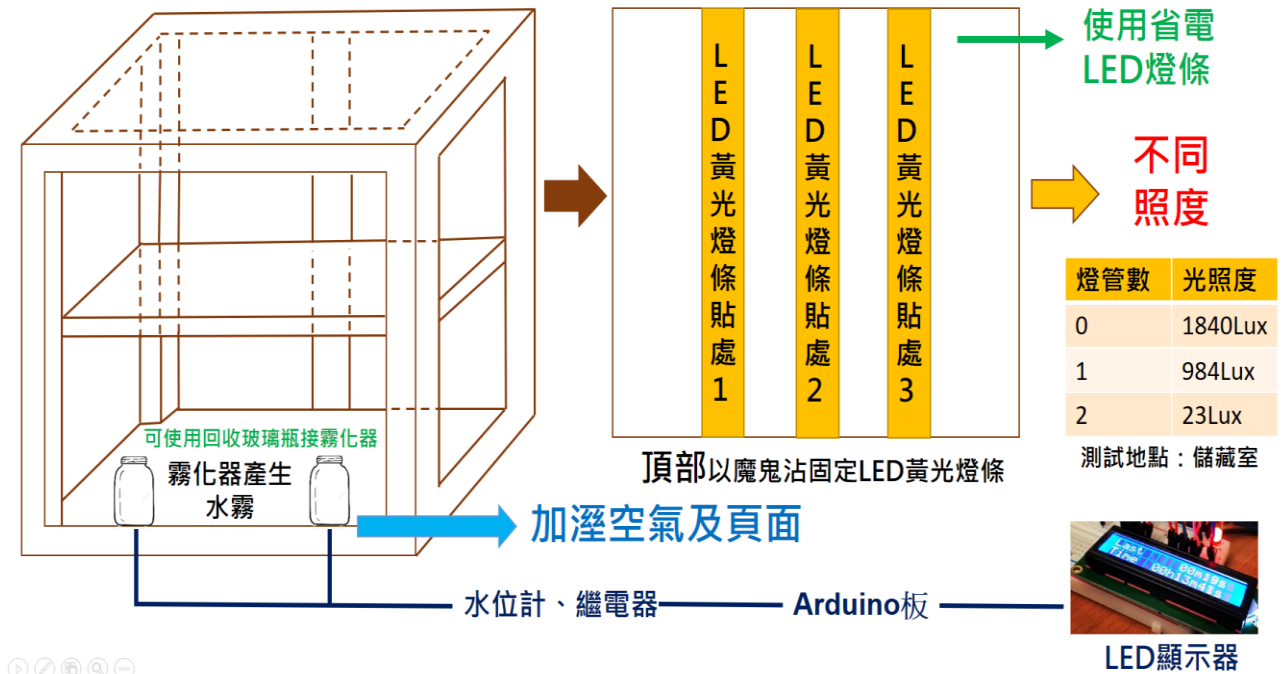


圖七

電壓	3V	5V	7.5V
風速	1.5m/s	2.1m/s	2.8m/s

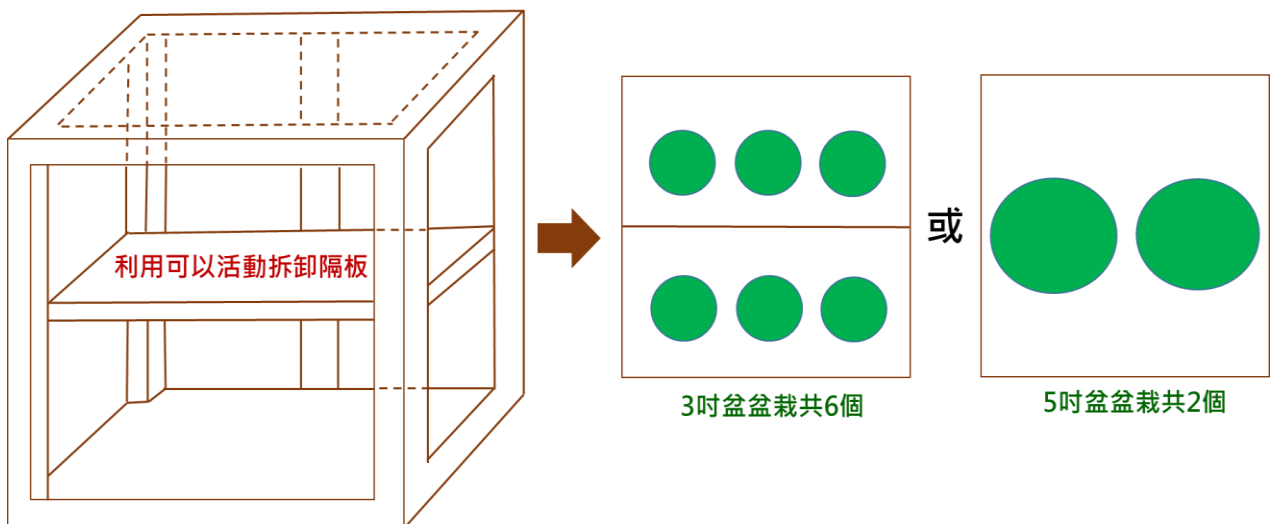
表八

在木架頂部，以魔鬼沾固定 LED 黃光燈條，並控制照明的燈管數來製造不同的光照度。此外，每一個木架以霧化器的高頻振動將液態水霧化，讓空氣保持及植物葉面保持潮濕，再以繼電器接收 Arduino 板的訊號來開關霧化器，最後連接 LED 顯示器來顯示運轉的時間。如圖八所示：



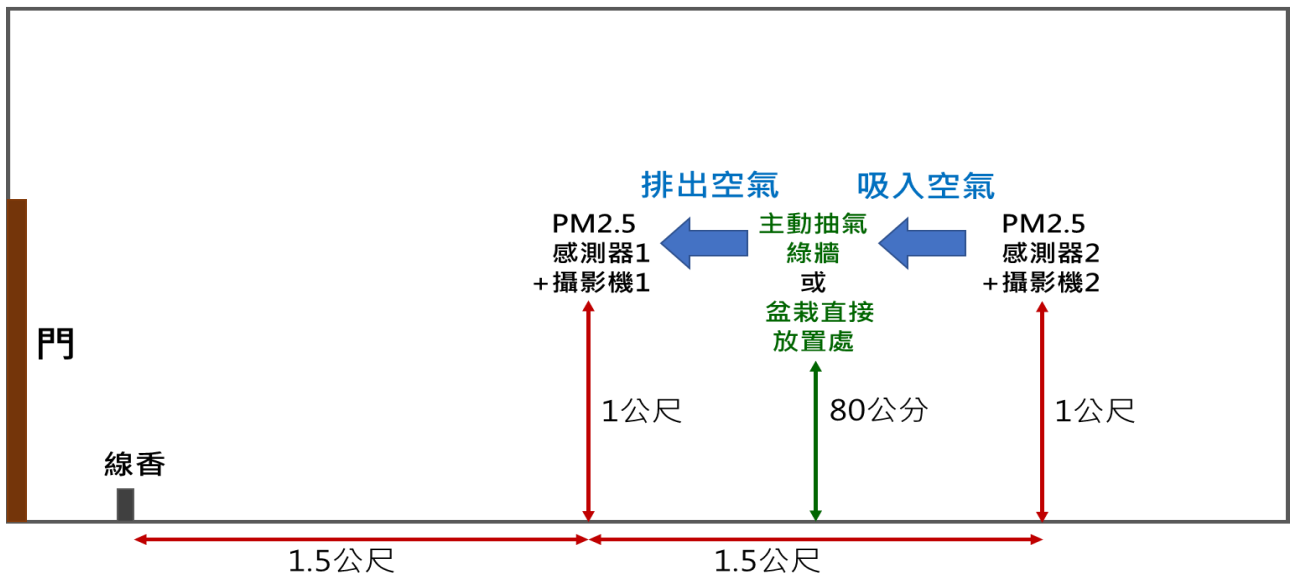
圖八

因為木架中間我們設計了可活動拆卸的隔板，所以剛好可以在一個木架裡放置 6 個 3 吋盆的盆栽，或是 2 個 5 吋盆的盆栽。如圖九：



圖九

接著我們以製作好的綠牆支架搭配不同植物進行實驗，實驗場所的設備配置如圖十：



圖十

以下為實驗時的注意事項：

1. 製作寫上日期、實驗植物、風扇電壓、光照度和霧化器及放置方式等變因的記錄牌。
2. 實驗前要確定檢查攝影機的記憶體是否還有空間，及電子設備的電量。
3. 確認各種電子設備的運轉，攝影機已拍攝，感測器已調至偵測 PM2.5。
4. 進行實驗的植物放置應放到適合位置，有開啟風扇時確保不會轉動到葉片。
5. 測量風扇的風速和光照度。
6. 準備長約七公分，且秤重為 0.5 公克的線香。
7. 點燃線香後實驗開始，按下碼表計時 4 小時，同時把計錄牌放置到攝影機拍攝範圍內。
8. 離開儲藏室，確認關門後門縫已阻塞，確保儲藏室為密閉空間。
9. 實驗結束後先開門讓空氣流通 10 分鐘，確認 PM2.5 濃度已下降後才進入。
10. 實驗結束清掃灰塵及拖地。



圖十一

實驗(一)自然沉降對室內細懸浮微粒濃度之影響

步驟：

- 1.在清空的儲藏室地板放置 0.5 公克線香。
- 2.和線香相距 1.5 公尺處及 3 公尺處，離地 1 公尺的高度放置各一台 PM2.5 感測器。
- 3.在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
- 4.點燃線香，**關閉門使成密閉空間**，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。
- 5.同樣的**實驗重複進行 4 次**，每次 4 小時，共 16 小時，**取平均值**。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5實驗1上升數值		PM2.5實驗2上升數值		四次測試的所有前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	距線香1.5M	距線香3M	
線香7cm0.5g 密閉空屋沉降 (同一天)	4小時 ×2	無	無	起始值：39 最高值：236 結束值：118 前後差：79	起始值：45 最高值：175 結束值：125 前後差：80	起始值：37 最高值：226 結束值：116 前後差：79	起始值：37 最高值：170 結束值：120 前後差：83	84.5
線香7cm0.5g 密閉空屋沉降 (不同天)	4小時 ×2	無	無	起始值：39 最高值：253 結束值：119 前後差：80	起始值：40 最高值：187 結束值：123 前後差：83	起始值：35 最高值：279 結束值：133 前後差：98	起始值：29 最高值：153 結束值：123 前後差：94	

單位：ug/立方公尺

表九

結果：

1. 只要將門緊閉使成為密閉空間，PM2.5 就會隨時間而沉降，濃度也因而下降。
2. 經過自然沉降 4 小時後，我們測得實驗前後 PM2.5 增加的平均值為 84.5ug/立方公尺。
3. 由實驗結果得知**關閉門窗可讓室內的微懸浮粒子濃度下降**，但密閉空間也有可能造成其他的負效應。

實驗(二)擺放盆栽對室內細懸浮微粒濃度之影響

步驟：

- 1.在清空的儲藏室地板放置 0.5 公克線香。
- 2.和線香相距 1.5 公尺處及 3 公尺處，離地一公尺的高度放置各一台 PM2.5 感測器。
- 3.在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
- 4.在 PM2.5 感測器之間**擺放 12 盆 3 吋盆的皺葉椒草**。
- 5.點燃線香，關閉門使成密閉空間，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。
- 6.同樣的**實驗重複進行兩次**，每次 4 小時，共 8 小時。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5實驗1上升數值		PM2.5實驗2上升數值		四個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	距線香1.5M	距線香3M	
皺葉椒草 線香7cm0.5g	4小時 x2	三吋盆 x12	無	起始值：33 最高值：256 結束值：109 前後差：76	起始值：33 最高值：191 結束值：125 前後差：92	起始值：36 最高值：239 結束值：123 前後差：87	起始值：29 最高值：188 結束值：109 前後差：80	83.75

單位：ug/立方公尺

表十


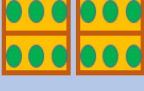


結果：

1. 經過每 4 小時的沉降後，測得放置皺葉椒草時實驗前後的 PM2.5 增加值的平均值為 83.75ug/立方公尺。
2. 由實驗結果可知加入皺葉椒草之後，儲藏室中的 PM2.5 濃度增加的幅度比空屋密閉時略低。
3. $(84.5 - 83.35)/84.5 \approx 0.9\%$ ，低於 13.6%，所以放置皺葉椒草 4 小時後，在降低 PM2.5 濃度上的成效和自然沉降相比無明顯差別。

實驗(三)主動抽氣綠牆植物種類不同對室內細懸浮微粒濃度之影響

步驟：

1. 在清空的儲藏室地板放置 0.5 公克線香。
2. 和線香相距 1.5 公尺處及 3 公尺處，離地一公尺的高度放置各一台 PM2.5 感測器。
3. 在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
4. 在 PM2.5 感測器之間放置兩個主動抽氣綠牆，依次擺放 12 盆 3 吋盆的非洲堇、皺葉椒草、大岩桐、嫣紅蔓，和 4 盆 5 吋盆的波士頓腎蕨到綠牆中。
5. 主動抽氣綠牆的光照度均設定為 984Lux(開啟一條 LED 燈管)，風速均設定為 2.1m/s(電壓 5V)。
6. 點燃線香，關閉門使成密閉空間，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。
7. 每一種植物同樣的實驗重複進行兩次，每次 4 小時，共 8 小時取平均值。本實驗總時間 40 小時。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5實驗1上升數值		PM2.5實驗2上升數值		四個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	距線香1.5M	距線香3M	
非洲堇 滯塵率30.53 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	三吋盆 ×12		起始值：16 最高值：141 結束值：86 前後差：70	起始值：20 最高值：160 結束值：91 前後差：71	起始值：22 最高值：153 結束值：87 前後差：65	起始值：20 最高值：139 結束值：78 前後差：56	65.50
皺葉椒草 滯塵率9.11 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	三吋盆 ×12		起始值：44 最高值：198 結束值：124 前後差：80	起始值：45 最高值：172 結束值：114 前後差：69	起始值：25 最高值：210 結束值：113 前後差：88	起始值：33 最高值：174 結束值：99 前後差：66	75.75
大岩桐 滯塵率8.34 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	三吋盆 ×12		起始值：56 最高值：191 結束值：114 前後差：58	起始值：51 最高值：179 結束值：102 前後差：51	起始值：13 最高值：153 結束值：112 前後差：99	起始值：16 最高值：147 結束值：113 前後差：97	76.25
嫣紅蔓 滯塵率3.02 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	三吋盆 ×12		起始值：13 最高值：207 結束值：81 前後差：68	起始值：16 最高值：207 結束值：103 前後差：87	起始值：71 最高值：206 結束值：129 前後差：58	起始值：56 最高值：197 結束值：132 前後差：76	72.25
波士頓腎蕨 滯塵率1.42 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	五吋盆 ×4		起始值：9 最高值：153 結束值：78 前後差：69	起始值：11 最高值：137 結束值：67 前後差：56	起始值：10 最高值：190 結束值：125 前後差：115	起始值：14 最高值：170 結束值：112 前後差：98	84.50

表十一

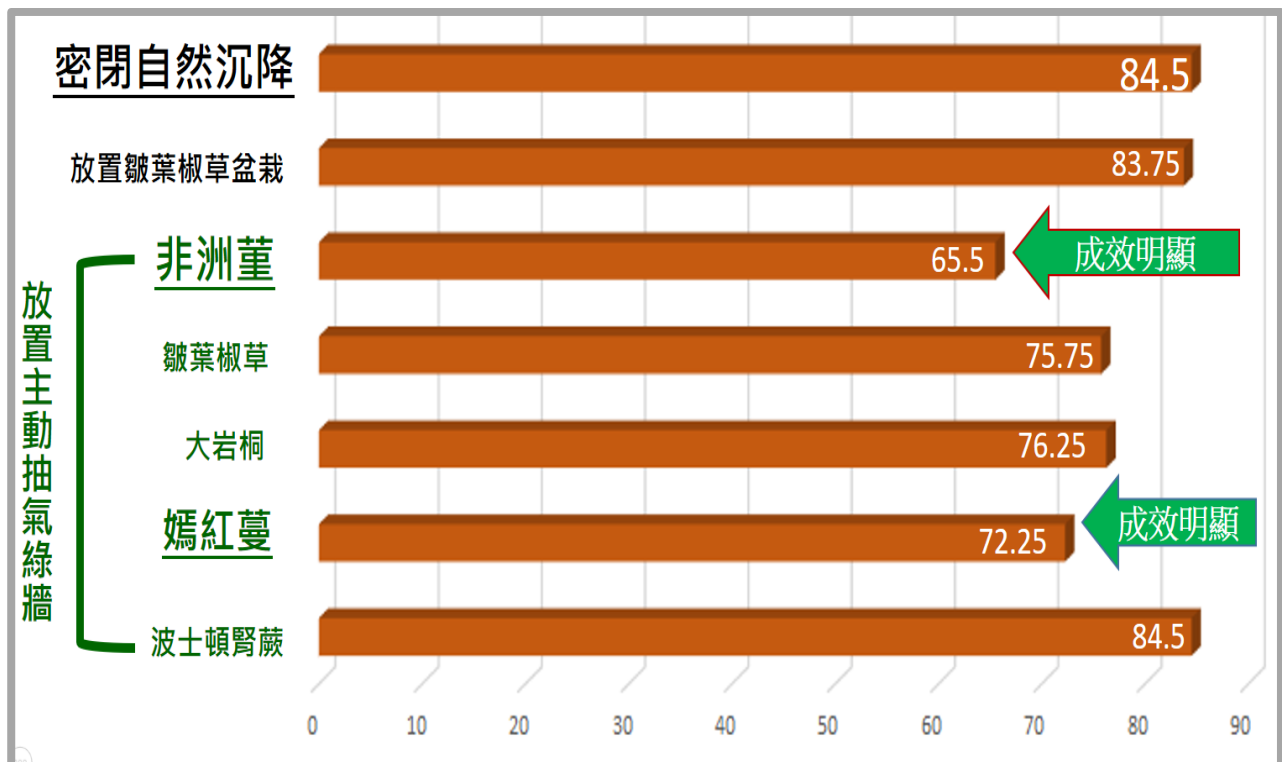
結果：

- 經過每次 4 小時的沉降後，測得在主動抽氣綠牆放置非洲堇時，在實驗前後 PM2.5 增加值的平均值為 65.5ug/立方公尺，是五種植物當中 PM2.5 濃度增加最少的。
- 由實驗結果可知這 5 種植物放置在主動抽風綠牆中，除波士頓腎蕨外，和自然沉降相比，都能讓 PM2.5 增加的幅度減少，而減少的成效大致和植物的滯塵能力有正相關。
- 在五種植物中，嫣紅蔓的降低 PM2.5 成效與自然沉降相比：
 $(84.5 - 72.25)/84.5 \approx 15\%$ ，大於 13.6%，成效明顯比自然沉降高。
- 在五種植物中，非洲堇的降低 PM2.5 成效與自然沉降相比：
 $(84.5 - 65.5)/84.5 \approx 22.5\%$ ，大於 13.6%，成效明顯比自然沉降高。

討論：實驗結果 2 顯示，大岩桐的滯塵率高於嫣紅蔓，但減少 PM2.5 增加幅度的能力卻不如嫣紅蔓，推測原因可能是教室的大岩桐生長狀況較差，此外本實驗是以放入綠牆的盆栽數量為基準來進行實驗，但滯塵率卻是以單位葉面積來呈現，所以當大岩桐因生長狀況差或植物本身特性，導致其單盆葉總面積較小，就可能產生和滯塵率相反的實驗結果。

從實驗一、實驗二、實驗三可發現，在減少 PM2.5 增加值的效率方面：

主動抽氣綠牆(非洲堇、嫣紅蔓) > 放置盆栽(皺葉椒草)及密閉自然沉降


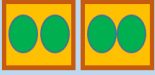
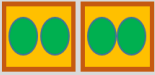


圖十二

實驗(四)主動抽氣綠牆調整風扇風速對室內細懸浮微粒濃度之影響

步驟：

- 1.在清空的儲藏室地板放置 0.5 公克線香。
- 2.和線香相距 1.5 公尺處及 3 公尺處，離地一公尺的高度放置各一台 PM2.5 感測器。
- 3.在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
- 4.在 PM2.5 感測器之間放置兩個主動抽氣綠牆，擺放 4 盆 5 吋盆的波士頓腎蕨到綠牆中。
- 5.風速分別設定為 2.8m/s(電壓 7.5V)、2.1m/s(電壓 5V)、1.5m/s(電壓 3V)。
- 6.主動抽氣綠牆的光照度均設定為 984Lux(一條 LED 燈管)。
- 7.點燃線香，關閉門使成密閉空間，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。
- 8.同種風速的實驗重複進行兩次，每次 4 小時共 8 小時取平均值。實驗總時間 24 小時。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5實驗1上升數值		PM2.5實驗2上升數值		四個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	距線香1.5M	距線香3M	
波士頓腎蕨 光照度984Lux 線香7cm0.5g 風扇風速 2.8m/s	4小時 ×2	五吋盆 ×4		起始值：16 最高值：182 結束值：86 前後差：70	起始值：23 最高值：171 結束值：97 前後差：74	起始值：25 最高值：190 結束值：84 前後差：59	起始值：34 最高值：181 結束值：101 前後差：67	67.5
波士頓腎蕨 光照度984Lux 線香7cm0.5g 風扇風速 2.1m/s	4小時 ×2	五吋盆 ×4		起始值：10 最高值：190 結束值：125 前後差：115	起始值：14 最高值：170 結束值：112 前後差：98	起始值：9 最高值：153 結束值：78 前後差：69	起始值：11 最高值：137 結束值：67 前後差：56	84.5
波士頓腎蕨 光罩度984Lux 線香7cm0.5g 風扇風速 1.5m/s	4小時 ×2	五吋盆 ×4		起始值：18 最高值：179 結束值：94 前後差：76	起始值：18 最高值：209 結束值：118 前後差：100	起始值：15 最高值：178 結束值：101 前後差：86	起始值：17 最高值：159 結束值：107 前後差：90	88

表十二

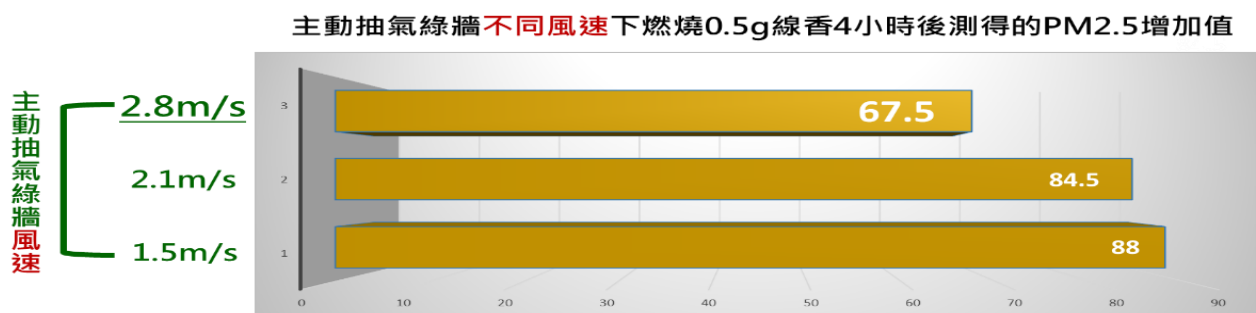
結果：

- 經過每次 4 小時的沉降後，測得**以風速 2.8m/s 時**在實驗前後的 **PM2.5 增加值的平均值為 67.5ug/立方公尺**，是三種風速當中 PM2.5 濃度增加最少的。
- 由實驗結果可知在主動抽風綠牆中，不同的抽風風速會導致 PM2.5 的增加值有不同結果，以本實驗所測試的三種風速來說，我們發現風速愈快，愈能減少實驗前後 PM2.5 的增加值。
- 當風速調到 2.8m/s 時，波士頓腎蕨的降低 PM2.5 成效與自然沉降相比：**
 $(84.5 - 67.5)/84.5 \approx 20\%$ ，大於 13.6%，成效**明顯比自然沉降高**。

討論：在本實驗中選擇以波士頓腎蕨來進行實驗，是因為在教室長期栽種時，我們發現波士頓腎蕨的生長狀況是較好的。此外，在結果 2 我們發現風速快時可使 PM2.5 的濃度降低更快，但是因為我們使用的風扇額定電壓是 5V，受限於實驗設備的狀況，無法將電壓持續往上提升更多，來獲得更高的抽風風速，所以無法確認多快的風速是最好的狀況。

從實驗四可發現，在使用**主動抽氣綠牆(波士頓腎蕨)**以減少 PM2.5 增加值的效率方面：

風速 2.8m/s > 風速 2.1m/s > 風速 1.5m/s



圖十三

實驗(五)主動抽氣綠牆的燈條照度對室內細懸浮微粒濃度之影響

步驟：

- 1.在清空的儲藏室地板放置 0.5 公克線香。
- 2.和線香相距 1.5 公尺處及 3 公尺處，離地一公尺的高度放置各一台 PM2.5 感測器。
- 3.在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
- 4.在 PM2.5 感測器之間放置兩個主動抽氣綠牆，擺放 4 盆 5 吋盆的波士頓腎蕨到綠牆中。
- 5.光照各為 23Lux(無燈管)、984Lux(開啟 1 條 LED 燈管)、1840Lux(開啟 2 條 LED 燈管)。
- 6.主動抽氣綠牆的風速均設定為 2.8m/s(電壓 7.5V)。
- 7.點燃線香，關閉門使成密閉空間，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。
- 8.同種光照度的實驗重複進行兩次，每次 4 小時，共 8 小時取平均值。本實驗總時間 24 小時。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5實驗1上升數值		PM2.5實驗2上升數值		四個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	距線香1.5M	距線香3M	
波士頓腎蕨 風速2.8m/s 線香7cm0.5g 光照度1840Lux	4小時 ×2	五吋盆 ×4		起始值：17 最高值：163 結束值：74 前後差：57	起始值：18 最高值：155 結束值：75 前後差：57	起始值：51 最高值：214 結束值：112 前後差：61	起始值：37 最高值：187 結束值：103 前後差：66	60.25
波士頓腎蕨 風速2.8m/s 線香7cm0.5g 光照度984Lux	4小時 ×2	五吋盆 ×4		起始值：16 最高值：182 結束值：86 前後差：70	起始值：23 最高值：171 結束值：97 前後差：74	起始值：25 最高值：190 結束值：84 前後差：59	起始值：34 最高值：181 結束值：101 前後差：67	67.5
波士頓腎蕨 風速2.8m/s 線香7cm0.5g 無燈管23Lux	4小時 ×2	五吋盆 ×4		起始值：24 最高值：185 結束值：92 前後差：68	起始值：30 最高值：165 結束值：97 前後差：67	起始值：28 最高值：181 結束值：92 前後差：64	起始值：33 最高值：159 結束值：107 前後差：74	68.25

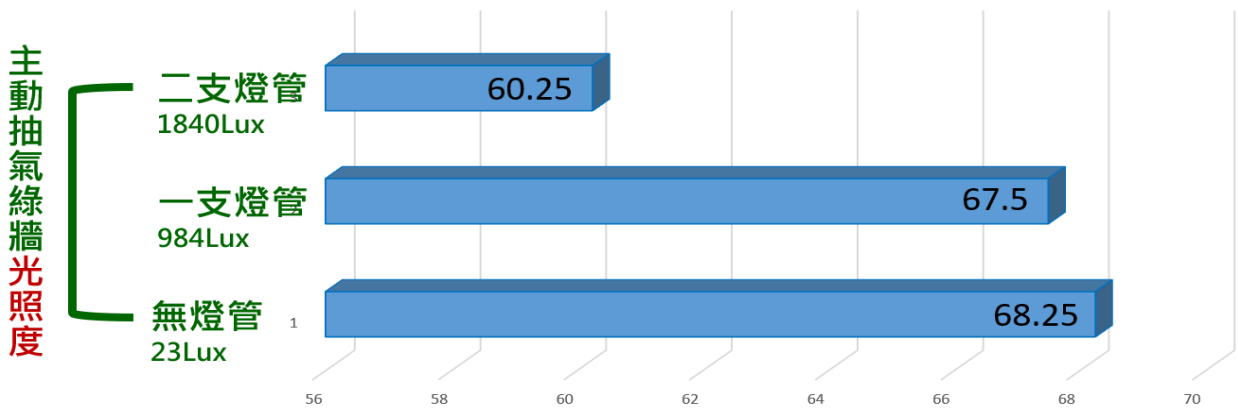
表十三

結果：

1. 經過每次 4 小時的沉降後，測得以光照度 1840Lux(2 條 LED 燈管)時，在實驗前後的 PM2.5 增加的平均值為 60.25ug/立方公尺，是三種光照度當中 PM2.5 濃度增加最少。
2. 由實驗結果可知在主動抽風綠牆中，不同的光照度雖然會導致 PM2.5 的增加值有不同結果，但數值的差異不大。以開啟兩燈管和一燈管的數值相比： $(67.5 - 60.25)/67.5 \approx 10.7\%$ ，小於 13.6%，所以三種不同光照對降低 PM2.5 成效無明顯差異。

討論：本實驗中我們發現不同的光照度雖然可以讓 PM2.5 濃度有不同的降低效率，但是所測得的數值彼此差異不大，如果能將實驗的時間再拉長為 8 小時(但實驗總時數會變得很長)，或許能夠觀察到更準確的結果。

主動抽氣綠牆不同照度下燃燒0.5g線香4小時後測得的PM2.5增加值



圖十四

實驗六(1)：主動抽氣綠牆加霧化器對室內 PM2.5 濃度之影響(自來水)

步驟：

- 1.在清空的儲藏室地板放置 0.5 公克線香。
- 2.和線香相距 1.5 公尺處及 3 公尺處，離地一公尺的高度放置各一台 PM2.5 感測器。
- 3.在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
- 4.在 PM2.5 感測器之間放置兩個主動抽氣綠牆，擺放 4 盆 5 吋盆波士頓腎蕨到綠牆中。
- 5.每個主動抽氣綠牆中以 2 個霧化器製造水霧(裝自來水)，持續 2 小時。
- 6.開啟霧化器時同時點燃 0.5 公克的線香。
- 6.主動抽氣綠牆的光照度均為 1840Lux(2 條 LED 燈管)，風速均設定為 2.8m/s(電壓 7.5V)。
- 7.關閉門使成密閉空間，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5 上升數值		二個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	
波士頓腎蕨 風速2.8m/s 光照度1840Lux 線香7cm0.5g +霧化器2小時	4小時 ×1	五吋盆 ×4		起始值：62 最高值：321 結束值：272 前後差：210	起始值：60 最高值：384 結束值：290 前後差：230	220

表十四

結果：

1. 在 4 小時的沉降後，我們發現測得的 PM2.5 增加數值高達 220ug/立方公尺。
2. 由實驗結果可知在主動抽風綠牆中，霧化器製造的水顆粒雖然會加溼空氣及植物葉面，但這些水顆粒也會造成 PM2.5 感測儀的數值提高，這是我們事先沒有想到的。

討論：

1. 本實驗中我們發現一般 PM2.5 感測器的運作原理是將空氣中微粒導入光學散射原理的感測區域，再以光學方式量測不同粒徑微粒數量，並轉換為 PM2.5 質量濃度。當光線照射到微粒表面，會有反射、散射等效應，這些效益會因微粒粒徑、形狀及表面粗糙情形而不同，同時也與光的波長有關。而當微粒含有吸水成分，微粒外形、粒徑會因吸收空氣中水分而改變，進而影響測定結果，所以無法讀出 PM2.5 的正確數值。
2. 閱讀文獻之後，我們發現超音波霧化器產生水霧時會使液體霧化成 1-3um 的微小顆粒。而自來水中含有鎂和鈣的成分，霧化器運轉時，如果使用自來水，就會同時產生鈣和鎂的細懸浮微粒，並擴散到空氣中。當 PM2.5 檢測儀檢測到這些鎂鈣離子微小顆粒，就會出現超高的數值。此外，在不同濕度下，微粒外層含水量不同，微粒粒徑可能改變。此兩項都可能使讓 PM2.5 光學感測器的數值偏高。也就是說，在密閉儲藏室中開啟裝自來水的霧化器，並燃燒線香，經 4 小時之後，對 PM2.5 檢測儀而言，可得算式(甲)：

$$\text{鎂鈣微粒值} + \text{線香微粒值} + \text{背景微粒值} + \text{各種微粒含水產生的誤差值} = \text{檢測儀數值}$$

而在實驗六(1)當中，因為霧化器只開啟 2 小時，所以再經過 2 小時(共沉降 4 小時)才觀測的 PM2.5 檢測儀數值中，關於「各種微粒含水產生的誤差值」可忽略不計，因為含水的現象應該已減緩。於是，可以把算式(甲)當中的「各種微粒含水產生的誤差值」去掉，可得算式(1)：

$$\text{鎂鈣微粒值} + \text{線香微粒值} + \text{背景微粒值} = \text{檢測儀數值} \dots\dots\dots(\text{使用霧化器} + \text{燒線香})$$

接下來，為了去除檢測儀中的鈣鎂微粒值造成的影響，我們繼續做了以下的實驗。

實驗六(2)：霧化器中加入自來水產生的細懸浮微粒檢測(不燃燒線香)

步驟：

- 1.和實驗一至實驗五相同的位置處各放置一台 PM2.5 感測器。
- 2.在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
- 3.在 PM2.5 感測器之間放置兩個主動抽氣綠牆，擺放 4 盆 5 吋盆波士頓腎蕨到綠牆中。
- 4.每個主動抽氣綠牆中以 2 個霧化器製造水霧(裝自來水)，持續 2 小時。
- 5.主動抽氣綠牆的光照度均為 1840Lux(2 條 LED 燈管)，風速均設定為 2.8m/s(電壓 7.5V)。
- 6.關閉門使成密閉空間，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5上升數值		二個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	
波士頓腎蕨 風速2.8m/s 光照度1840Lux 霧化器2小時	4小時 ×1	五吋盆 ×4		起始值：33 最高值：226 結束值：180 前後差：147	起始值：29 最高值：256 結束值：201 前後差：172	159.5

表十五

結果：

- 1.開啟霧化器 2 小時，並在 4 小時的沉降後，我們發現測得的 PM2.5 增加數值相當高，高達 159.5ug/立方公尺。
- 2.從文獻理論可得這些是自來水中的鈣和鎂成分經霧化器震動釋放到空氣中的結果。

討論：

1. 接續前面探討，在密閉儲藏室中開啟裝自來水的霧化器，不燃燒線香，經 4 小時之後，對 PM2.5 檢測儀而言，可得算式(2)：

鎂鈣微粒值 + 背景微粒值 = PM2.5 檢測儀數值……………(使用霧化器不燒線香)

把算式(1)和算式(2)依序排列，PM2.5 數字單位為 ug/立方公尺：

算式(1) 鎂鈣微粒值 + 線香微粒值 + 背景微粒值 = PM2.5 檢測儀數值(220)

算式(2) 鎂鈣微粒值 + 背景微粒值 = PM2.5 檢測儀數值(159.5)

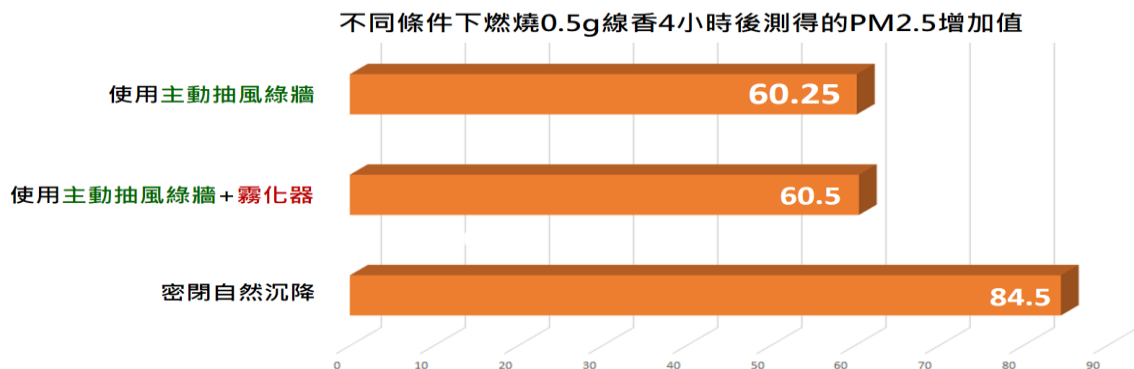
將算式(1)減去算式(2)，可得：**線香微粒值=220 - 159.5 =60.5(ug/立方公尺)**

所以我們可以推測：

開啟霧化器 2 小時來加溼盆栽葉面及空氣時，如霧化器使用乾淨無雜質的絕對純水，經總時間 4 小時後，因為燃燒線香造成的 PM2.5 的增加值為 60.5(ug/立方公尺)。

2. 我們發現如果要避免霧化器製造鈣鎂微粒的汙染效應，必須使用乾淨無雜質的純水，或是改變水霧的製造方式，不使用超音波霧化器。

從實驗六可發現，使用霧化器搭配主動抽氣綠牆時，對於提升整體效能幫助不大。



圖十五

接下來，為了證明使用純水能避免霧化器製造鈣鎂微粒的汙染效應，我們繼續以下的實驗。

實驗六(3)：主動抽氣綠牆加霧化器對室內 PM2.5 濃度之影響(純水)

步驟：

- 1.在清空的儲藏室地板放置 0.5 公克線香。
- 2.和線香相距 1.5 公尺處及 3 公尺處，離地一公尺的高度放置各一台 PM2.5 感測器。
- 3.在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
- 4.在 PM2.5 感測器之間放置兩個主動抽氣綠牆，擺放 4 盆 5 吋盆波士頓腎蕨到綠牆中。
- 5.每個主動抽氣綠牆中以 2 個霧化器(裝純水)製造水霧，持續 2 小時。
- 6.開啟霧化器時同時點燃 0.5 公克的線香。
- 6.主動抽氣綠牆的光照度均為 1840Lux(2 條 LED 燈管)，風速均設定為 2.8m/s(電壓 7.5V)。
- 7.關閉門使成密閉空間，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5 上升數值		二個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	
波士頓腎蕨 風速2.8m/s 光照度1840Lux 霧化器2小時 (純水)	4小時 ×1	五吋盆 ×4		起始值：18 最高值：183 結束值：97 前後差：79	起始值：17 最高值：151 結束值：76 前後差：59	69

表十六


結果：

1. 開啟使用純水的霧化器 2 小時，並在 4 小時的沉降後，我們發現測得的 PM2.5 增加平均數值是 69ug/立方公尺，這個數字跟我們在實驗六(2)推論的數值 60.5ug/立方公尺接近。
2. 使用超音波加濕器或霧化器時，必須使用純水，不可使用自來水，以免產生更多的 PM2.5。
3. 使用霧化器以增加葉面溼潤或空氣溼度時，以實驗六(2)的推測方式或實驗六(3)的使用純水方式，所得到的數值都顯示霧化器產生的水霧短時間內對於提升植物吸附 PM2.5 並沒有太大幫助。
4. 然而也有可能是霧化器的擺設位置不當，或是噴灑的水霧量太少，無法讓植物的葉面保持溼潤，導致實驗的結果沒有太大差異。

實驗六(4)：主動抽氣綠牆加霧化器對室內 PM2.5 濃度之影響(純水) (改變霧化器位置及風扇運轉方式)

步驟：

- 1.在清空的儲藏室地板放置 0.5 公克線香。
- 2.和線香相距 1.5 公尺處及 3 公尺處，離地一公尺的高度放置各一台 PM2.5 感測器。
- 3.在 PM2.5 感測器前方 30 公分處放置各一台攝影機，全程記錄數值的變化。
- 4.在 PM2.5 感測器之間放置兩個主動抽氣綠牆，擺放 4 盆 5 吋盆波士頓腎蕨到綠牆中。
- 5.每個抽氣綠牆中以 2 個霧化器(裝純水)製造水霧，每次運轉 10 分鐘後停止 50 分鐘。
- 6.持續 4 小時的循環，同時霧化器的位置移至綠牆支架上方往下噴灑。
- 7.點燃 0.5 公克的線香。
- 8.主動抽氣綠牆的光照度均為 1840Lux(2 條 LED 燈管)，風速均設定為 2.8m/s(電壓 7.5V)，
風扇配合霧化器，每運轉 50 分鐘停止 10 分鐘，與霧化器交錯。
- 9.關閉門使成密閉空間，以攝影機記錄 4 小時內實驗場所的 PM2.5 數值變化。

	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5 上升數值		二個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	
波士頓腎蕨 風速2.8m/s 每運轉50分鐘 停止10分鐘 光照度1840Lux 霧化器 每運轉10分鐘 停止50分鐘	4小時 ×1	五吋盆 ×4		起始值：14 最高值：153 結束值：69 前後差：55	起始值：16 最高值：146 結束值：76 前後差：60	57.5

表十七

結果：

1. 以霧化器運轉 10 分鐘，然後風扇運轉 50 分鐘，經 4 小時交錯運轉，我們發現測得的 PM2.5 增加平均數值是 57.5ug/立方公尺，與之前各個實驗的最佳數值相比： $(60.25 - 57.5)/60.25 \approx 4.6\%$ ，小於 13.6%，所得到的數值顯示霧化器產生的水霧短時間內對於提升植物吸附 PM2.5 並沒有明顯的幫助。
2. 然而在 4 小時，風速 2.8m/s，光照 1840Lux，並使用霧化器適時加溼葉面的條件下(以霧化器運轉 10 分鐘，然後風扇運轉 50 分鐘，經 4 小時交錯運轉)，與緊閉門窗讓 PM2.5 自然沉降相比， $(84.5 - 57.5)/84.5 \approx 32\%$ ，PM2.5 下降率提升 32%。

研究五：用抽氣式清淨綠牆美化教室

利用廢棄的課桌椅，我們製作了主動抽氣式綠牆，並且發現在主動抽氣綠牆中放置盆栽，可以讓植物吸附 PM2.5 時更有效率。此外，我們還將主動抽氣綠牆放置於教室的一角，利用框架堆疊的變化，美化教室的空間，讓教室多一些綠意。在所有的實驗和研究結束之前，我們也針對班上 22 位同學進行了「綠牆美化教室」的簡單美感調查，調查題目為：

1. 我認為在教室裡擺設盆栽可以增加環境視覺的舒適度。

我覺得：(非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意)

2. 我覺得教室裡適合放盆栽以美化教室。

我覺得：(非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意)

調查結果如下：

	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意
我認為在教室裡擺設盆栽可以增加環境視覺的舒適度。	16人	3人	3人	0人	0人
我覺得教室裡適合放盆栽以美化教室。	14人	8人	0人	0人	0人

表十八

在「我認為在教室裡擺設盆栽可以增加環境視覺的舒適度」有 19 人表示同意，佔全體人數的 86%，在「我覺得教室裡適合放盆栽以美化教室」更有 22 人同意，佔全體人數的 100%，可見主動抽氣綠牆除了淨化空氣，更能讓教室多一分美麗，讓我們的心情多一分療癒。



圖十六

陸、討論

- 一、從研究中我們得知，當教室外空汙嚴重，在 4 小時短時間內，關閉門窗使自然沉降、放置滯塵率高的植栽、及在室內裝設主動抽氣綠牆都能夠達到使空氣中 PM2.5 沉降的目的，但是如果要達到比自然沉降更好的效果，裝設主動抽氣綠牆是比較好的選擇。
- 二、因為主動抽氣綠牆是利用風扇強迫髒空氣通過綠牆，藉由污染物與植物及根系微生物的交互作用，來產生清新乾淨的空氣。所以風速應該是綠牆能否有好成效的關鍵，而根據我們實驗的結果發現，風速較快時植物吸收 PM2.5 有更好的效果，然而教室是一個學習環境，不適合一般大型風扇所發出的噪音，所以使用電腦靜音風扇是比較好的選擇，但是電腦風扇的缺點是轉速較低，抽風能力略嫌不足，這時可透過可調式變壓器來推動風扇，使其產生較高轉速，在汙染程度較高時可以用這個方法來加強抽風速度，或是選擇風扇時注意風扇的額定電壓較高者，因為能有較高風速來達成抽風效果。
- 三、植物健康狀況將影響主動抽風綠牆能否發揮作用，所以在維護植物方面要相當重視。經過長期的教室栽種和觀察，發現五種植物在相同條件下，要維持健康的容易度依序為「**波士頓腎蕨**>**非洲堇**>**皺葉椒草**>**嫣紅蔓**>**大岩桐**」。此觀測結果可做為選購植物的參考。
- 四、在理論上葉面潮濕能讓葉子有比較好的滯塵率，但我們在使用霧化器加溼葉面的實驗中，發現吸收 PM2.5 成效並沒有明顯提升，這可能是觀測時間不夠長，或霧化器的加溼功能不夠完善導致。
- 五、經長期觀測教室 PM2.5 變化，發現從 11 月至 1 月記錄的 45 天中，有 8 天的 PM2.5 在 40ug/立方公尺以上較不理想，比例約為六分之一，在這幾天可以開啟主動抽風綠牆的風扇來加速植物吸收 PM2.5，其他空氣品質較好的天數裡，則可利用綠牆支架的堆疊變化，放置盆栽營造教室綠化的美麗。
- 六、因為教室空間大約是實驗進行的儲藏室的 5.7 倍，所以如果想在教室達到和實驗時一樣的功效，則主動抽風綠牆的規模也必須是儲藏室的 5.7 倍，大約是擺 11.4 個綠牆到教室中。

柒、結論

- 一、學校裡常有遭汰換的桌椅，以此為材料可製作尺度剛好適合 3 吋盆和 5 吋盆植栽放置的綠牆支架，符合環保精神，可推廣性相當高，也可美化教室。
- 二、利用環保署推薦滯塵能力佳的室內植物來製作主動抽氣式綠牆，有助於減少周遭環境的 PM2.5。
- 三、相較於密閉空間的 PM2.5 自然沉降，或是在室內直接擺放植物，在主動抽氣式綠牆中放

置非洲堇、嫣紅蔓、波士頓腎蕨時，能更快降低教室中的 PM2.5 濃度。

- 四、加快風速能讓主動抽氣式綠牆中的波士頓腎蕨有較好的吸附 PM2.5 效果，提高光照和使用霧化器加溼葉面的影響則不顯著。
- 五、在主動抽氣式綠牆中放置波士頓腎蕨，在 4 小時，風速 2.8m/s，光照 1840Lux，並使用霧化器適時加溼葉面的條件下，較緊閉門窗讓 PM2.5 自然沉降，下降率可增加 32%。

捌、未來研究展望

在研究過程中我們發現有很多網路上的文章都說室內植栽可以淨化空氣，也有少數文章認為植物無法淨化空氣，但都提不出具體的證據來說明。希望我們的研究能夠成為更具體的事證，來證實室內栽種植物在特定條件之下可以改善空氣中的微懸浮粒子汙染。也希望未來能夠針對以下所提更深入探討。

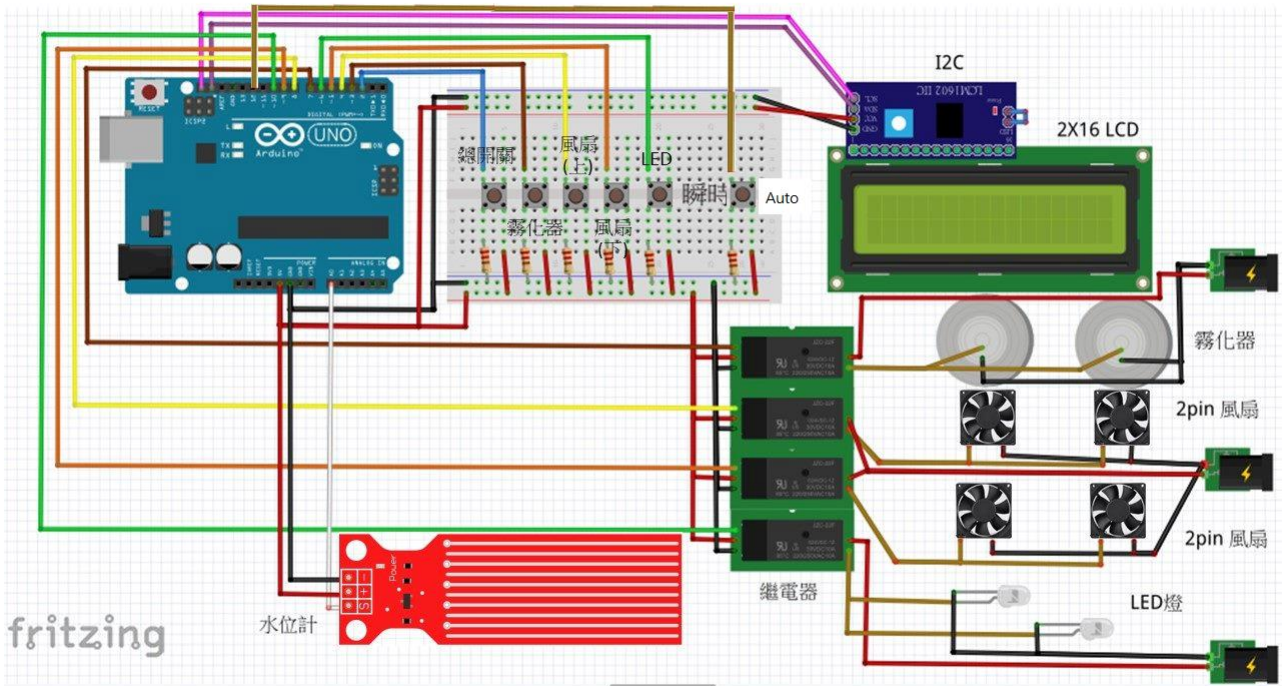
- 一、除了光學測量 PM2.5 濃度的方式之外，可以使用其他 PM2.5 濃度的測量方法，並和光學空品感測器的結果互相驗證。
- 二、目前針對 PM2.5 的研究大多是設計一個小空間進行短時間模擬實驗，在這次的研究中我們嘗試以儲藏室的空間來實驗，花了很多時間，也發現有許多細節要注意。未來我們希望可以直接在教室中進行更大規模、時間更長的觀察研究，繼續探討 PM2.5 和植物之間微妙的互動。
- 三、基因改造技術的進步，或許能讓室內植物吸附 PM2.5 的效能更提升。

玖、參考資料

- 一、沈世宏（民 99）。淨化室內空氣之植物應用及管理手冊-居家生活版。臺北市：行政院環境保護署。
- 二、【清淨空氣小綠牆 室內空氣好清新】。民國 108 年 10 月 21 日取自
<https://enews.epa.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/67778eda-9060-46e9-b51a-3b65ca332fa3>
- 三、【天然空氣清淨機／選對室內盆栽幫你排毒】。民國 108 年 10 月 21 日取自
<https://www.commonhealth.com.tw/article/article.action?nid=71257>
- 四、【若你想買盆栽淨化空氣，還是放回去吧】。民國 108 年 10 月 22 日取自
<https://www.natgeomedia.com/science/article/content-9882.html>
- 五、【溫濕度對光學式 PM2.5 感測裝置讀值影響】。民國 109 年 3 月 8 日取自
<https://airsensortest.blogspot.com/2018/12/pm2.html>

拾、附錄

附錄一：電路原型- 麵包板檢視模式(Breadboard view)



【評語】 082926

從文獻中得知有支持和反對室內植栽可淨化空氣的主張，因而自製主動抽氣式綠牆，以證實室內栽種綠色植物有助於改善教室空氣品質。參考環保署公布推薦的幾種植物，經實際種植測試後得到量測的數值，並做出合適栽種植物的建議，並自行組裝監測設備搭配抽氣式綠牆，應用於教室空氣淨化。可進一步探討主動通風的風扇設計對植物是否產生影響，以及是否造成測量值的差異，植物滯塵效果的排序與環保署公布的狀況不同，也是一個值得討論的結果。

PART1：研究摘要



學校旁煉油廠每天冒煙→教室PM2.5值嚴重超標→校外教學到山上有好空氣→山林裡有許多綠色植物→綠色植物可否到教室幫忙

**種植室內植物
能夠有效降低
落塵、甲醛、
二氧化碳等等**

**室內植物淨化空氣
支持者**
天然空氣清淨機／選對室內盆栽幫你排毒！
<https://www.commonhealth.com.tw/article/article.action?nid=71257>
-康健雜誌

**室內植物淨化空氣
反對者**
若你想買盆栽淨化空氣，還是放回去吧
<https://www.natgeomedia.com/science/article/content-9882.html>
-國家地理

**植物移除空氣
中汙染物的速
率太慢，除非
植物數量很大**

研究目的

- 一、調查市面上販賣的各種滯塵率高的室內盆栽。
- 二、觀察教室內PM2.5的長期變化。
- 三、利用室內盆栽及回收資源自製主動抽氣綠牆。
- 四、探討各種不同因素對主動抽氣式綠牆降低PM2.5成效的影響。
- 五、在教室擺設主動抽氣綠牆以美化教室環境。

研究流程

	10月	11月	12月	1月	2月	3月
構想及讀文獻						
研究一 園藝店調查						
研究二 教室PM2.5調查						
研究三 線香燃燒測試						
研究四 設計綠牆裝置						
實驗一 密閉自然沉降						
實驗二 直接放置植物						
實驗三 綠牆5種植物測試						
實驗四 改變抽風速度						
實驗五 改變變光照明度						
實驗六 增加水霧						
研究五 綠牆美感調查						

研究結果

4小時內降低室內PM2.5的方式

方式	PM2.5 增加值 (ug)	降低百分率
密閉 沉降	84.5	
密閉 沉降 + 放置 皺葉椒草	83.75	1%
密閉 沉降 + 放置 皺葉椒草 + 主動抽氣綠牆	75.75	10%
密閉 沉降 + 放置 非洲堇 + 主動抽氣綠牆	65.5	23%
密閉 沉降 + 放置 嫣紅蔓 + 主動抽氣綠牆	72.25	15%
密閉 沉降 + 放波士頓腎蕨 + 主動抽氣綠牆 + 加強風速	67.5	20%
密閉 沉降 + 放波士頓腎蕨 + 主動抽氣綠牆 + 加強風速 + 加強光照 + 製造水霧	57.5	32%

PART2：檢測密閉空間的PM2.5沉降效果

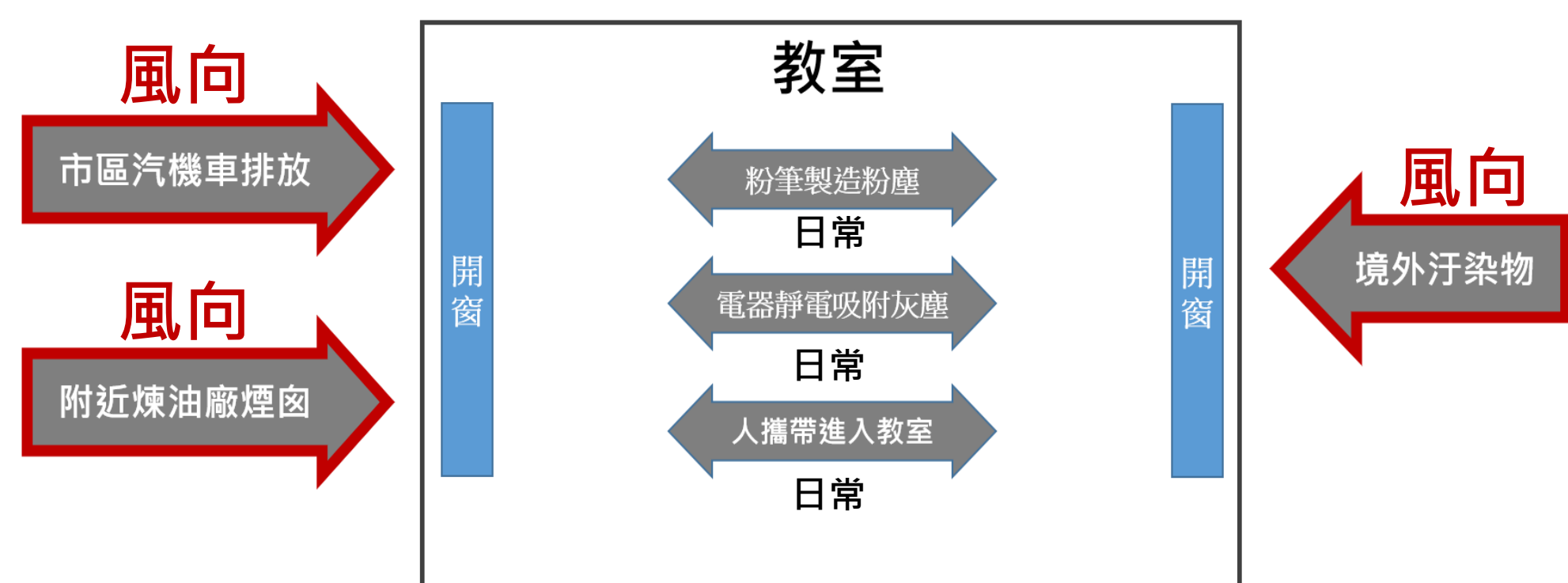
從108.11.05-109.01.08長期觀測教室的PM2.5

週數	中央氣象局 室外環境偵測	空氣檢測儀 教室內偵測 LUFTRUM 空氣品質檢測儀	差距	教室內偵測到的較大值 (超過環保署制定的24小時平均值：35微克/每立方公尺)
第一週(11/5-11/9)	14	18.5	4.5	
第二週(11/12-11/16)	26.8	29.2	2.4	11月14日：54
第三週(11/19-11/23)	20.4	25.4	5.0	11月19日：64
第四週(11/26-11/30)	8.8	14.6	5.8	
第五週(12/2-12/6)	11.4	13.6	2.2	
第六週(12/9-12/13)	18.2	30.6	12.4	12月12日：42
第七週(12/16-12/20)	16.4	29.4	13.0	12月17日：60
第八週(12/23-12/27)	15.2	22.4	7.2	12月26日：47
第九週(12/30-1/3)	37.3	37.6	0.3	12月30日：84
第十週(1/6-1/8)	32.6	44	11.4	1月6日：60 / 1月7日：55
平均	17.034	22.896	5.862	共8天

(單位：微克/立方公尺)

8天/46天 = 17% = 六分之一

每六天中就有一天教室的空氣品質不佳，而且空汙的來源主要是戶外，看來我們要把窗戶關起來才對！

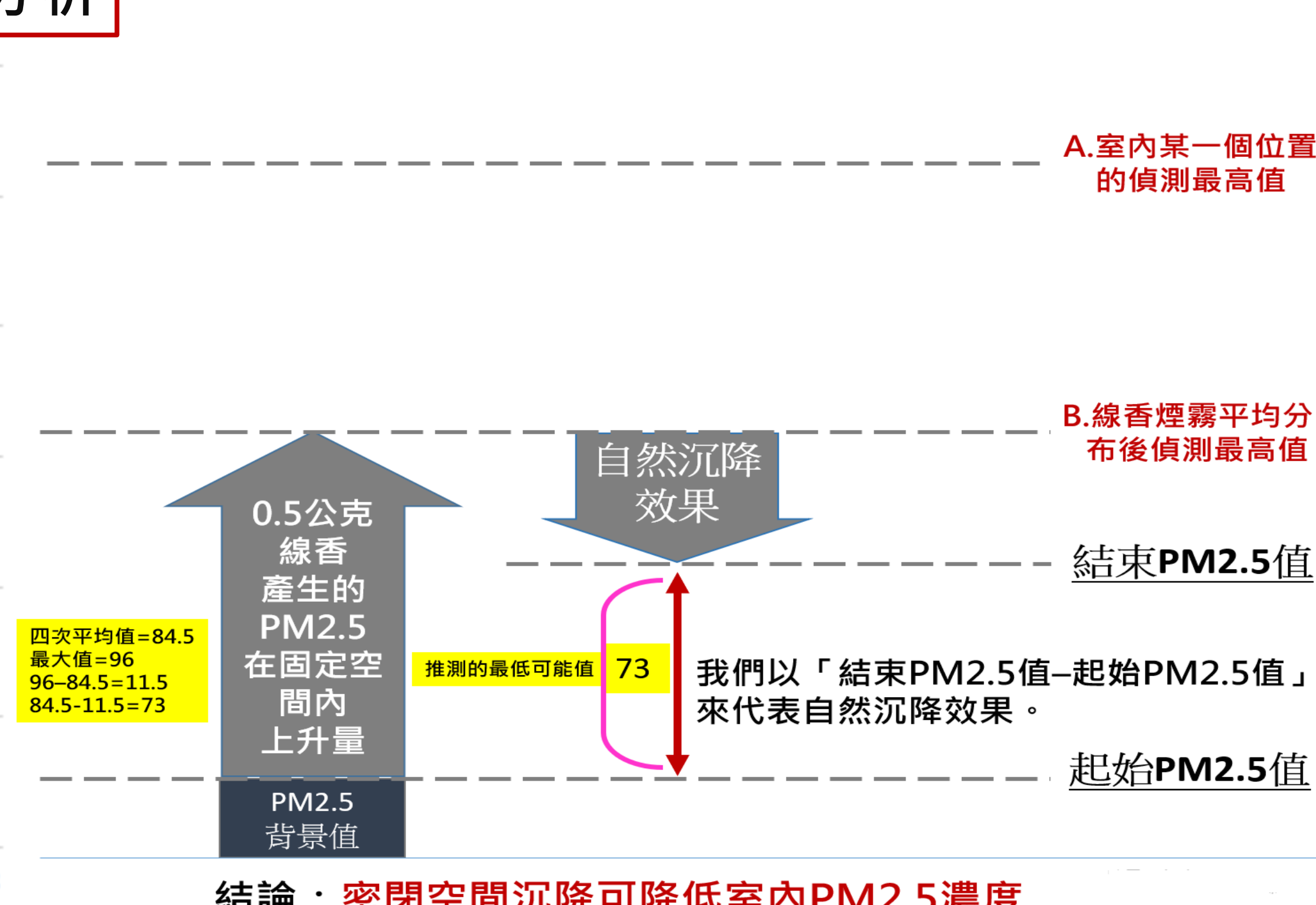
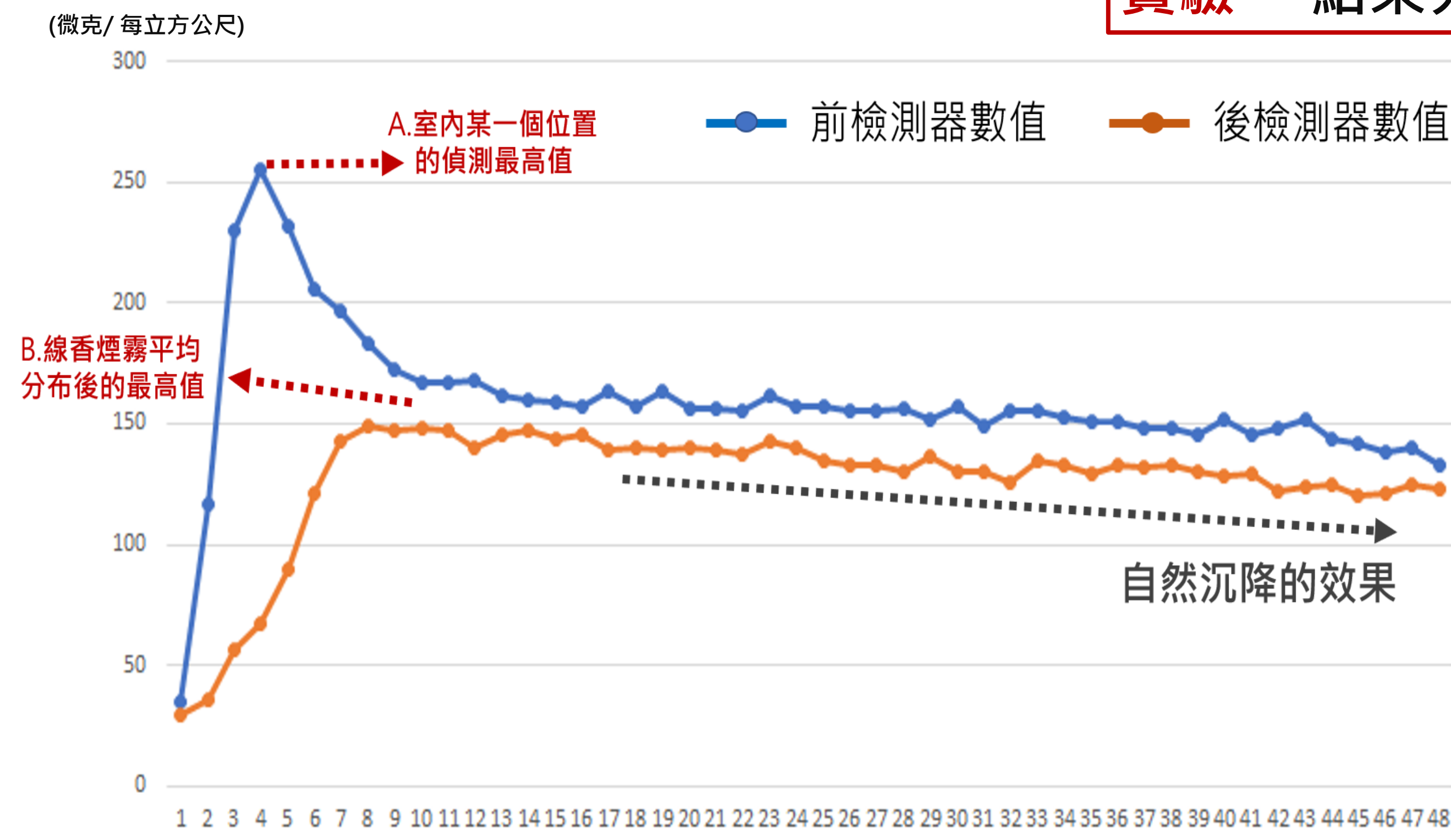


我們在密閉的儲藏室中燃燒重量0.5公克的同一廠牌線香進行四次的測試

時間	溫度 (攝氏)	濕度	起始值 (ug/立方公尺)	最高值 (ug/立方公尺)	結束值 (ug/立方公尺)	PM2.5 前後差 (結束值-起始值)			
第一天 測試一	感測器前	4小時	23度	84%	39	236	118	79	79.5
	感測器後	4小時	23度	81%	45	175	125	80	
第二天 測試二	感測器前	4小時	23度	73%	37	226	116	79	81
	感測器後	4小時	24度	74%	37	170	120	83	
第三天 測試三	感測器前	4小時	21度	78%	39	253	119	80	81.5
	感測器後	4小時	21度	77%	40	187	123	83	
第四天 測試四	感測器前	4小時	18度	80%	35	279	133	98	96
	感測器後	4小時	17度	80%	29	153	123	94	

4次測試PM2.5前後差的平均值 = 84.5ug/立方公尺

實驗一 結果分析



前提：
在密閉儲藏室燃燒0.5公克線香，並讓PM2.5自然沉降4個小時。

推測：
密閉儲藏室測得的PM2.5前後值的差，每立方公尺介於96微克-73微克之間。

PART3：觀測室內植物的PM2.5移除作用



非洲堇

皺葉椒草

大岩桐

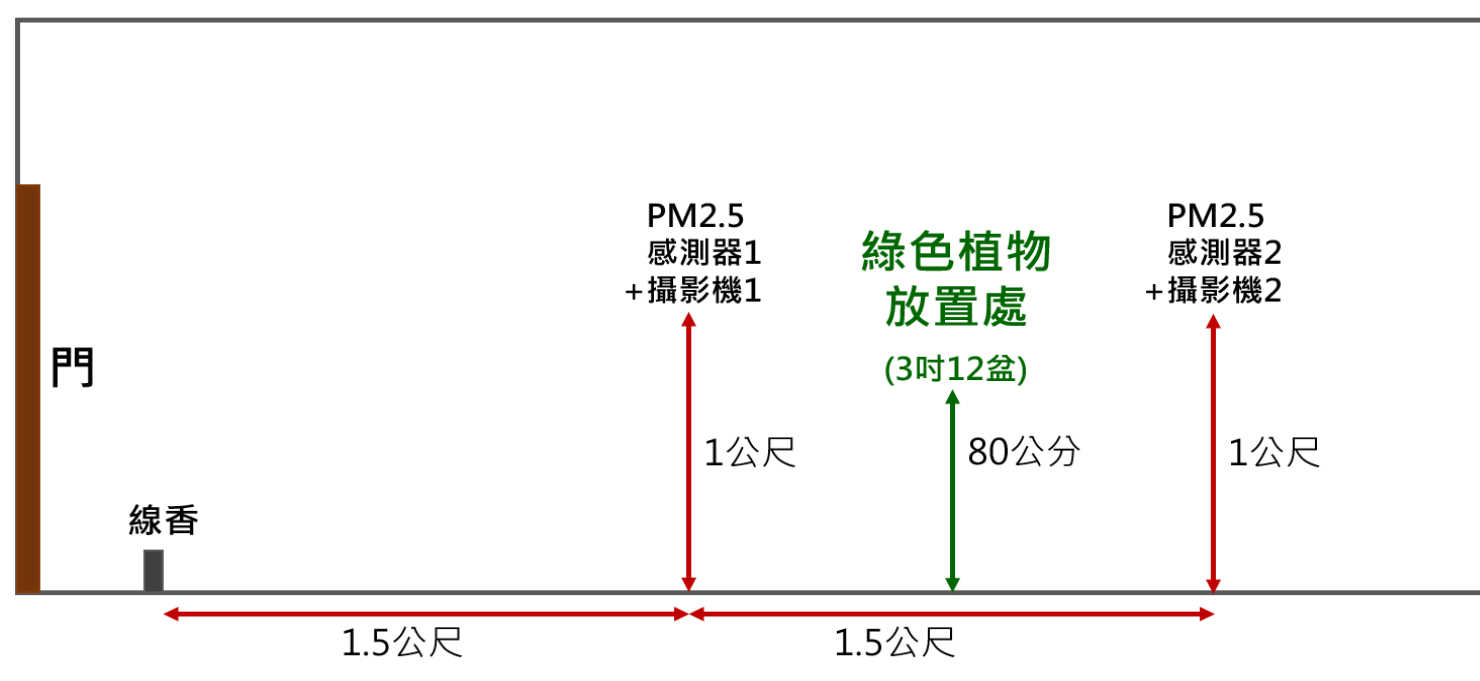
嫣紅蔓

波士頓腎蕨

表1. 臺灣常見室內植物之單位葉面積積滯塵量 (mg·cm⁻²)

植物種類	滯塵量	植物種類	滯塵量
非洲堇	30.53	冷水花	0.98
鐵十字秋海棠	10.69	繡球花	0.89
皺葉椒草	9.11	黑葉觀音蓮	0.88
大岩桐	8.34	印度橡膠樹	0.87
薛荔	5.58	白斑垂榕	0.83
嫣紅蔓	3.02	西瓜皮椒草	0.71
麗格秋海棠	2.73	檸檬千年木	0.71
長壽花	2.65	非洲菊	0.70
盆菊	2.31	鹿角蕨	0.68
白網紋草	2.25	西洋杜鵑	0.68
馬拉巴栗	1.79	常春藤	0.66
金脈單葉花	1.45	孔雀竹芋	0.64
波士頓腎蕨	1.42	白馬粗肋草	0.60
蝦蟆秋海棠	1.35	仙客來	0.59

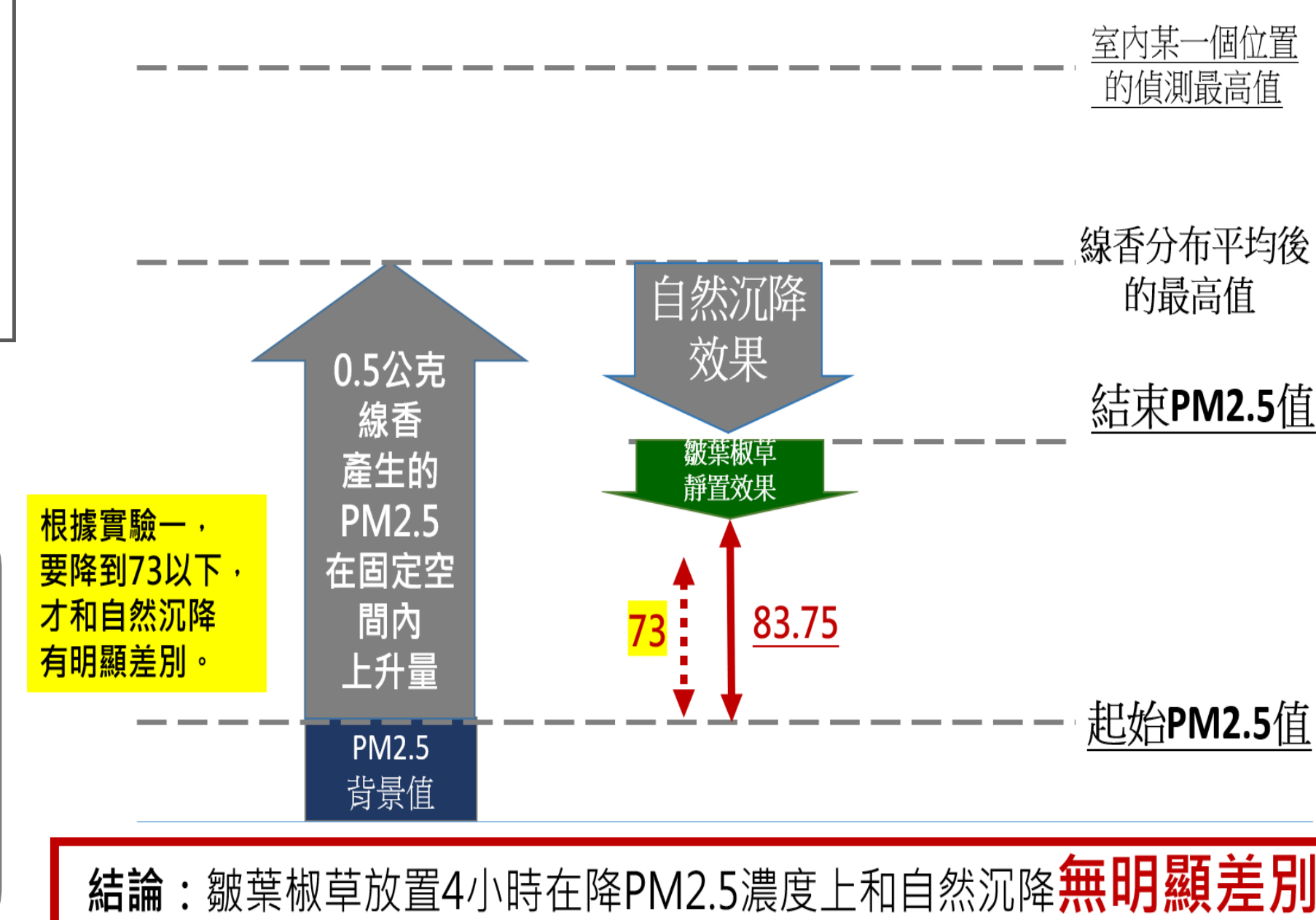
利用滯塵量選擇高滯塵植物來進行實驗



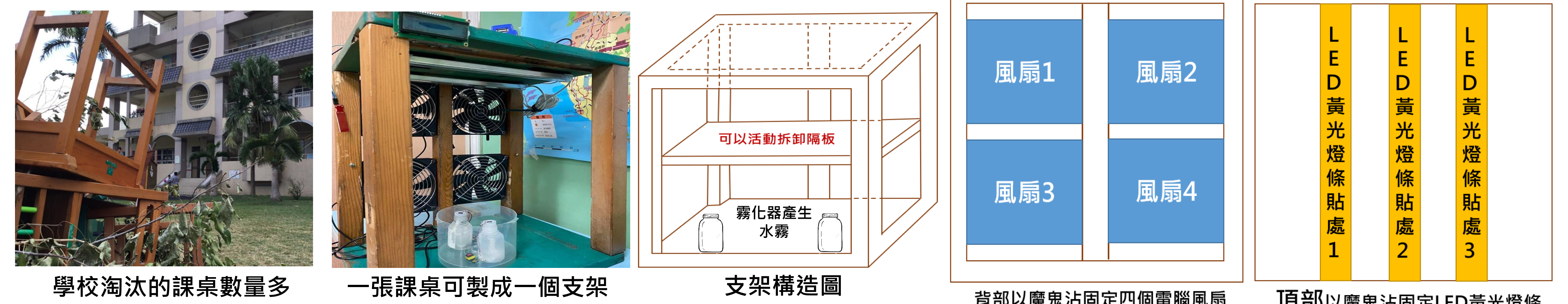
進行實驗二

- 1.前6步驟與實驗一相同。
- 2.放置皺葉椒草3吋盆12盆。測試成效。
- 3.重複實驗二次，取平均值。
- 4.與實驗一的結果做比較。

實驗二結果分析



PART4：以舊課桌製作抽氣式綠牆並測試成效



學校淘汰的課桌數量多

一張課桌可製成一個支架

支架構造圖

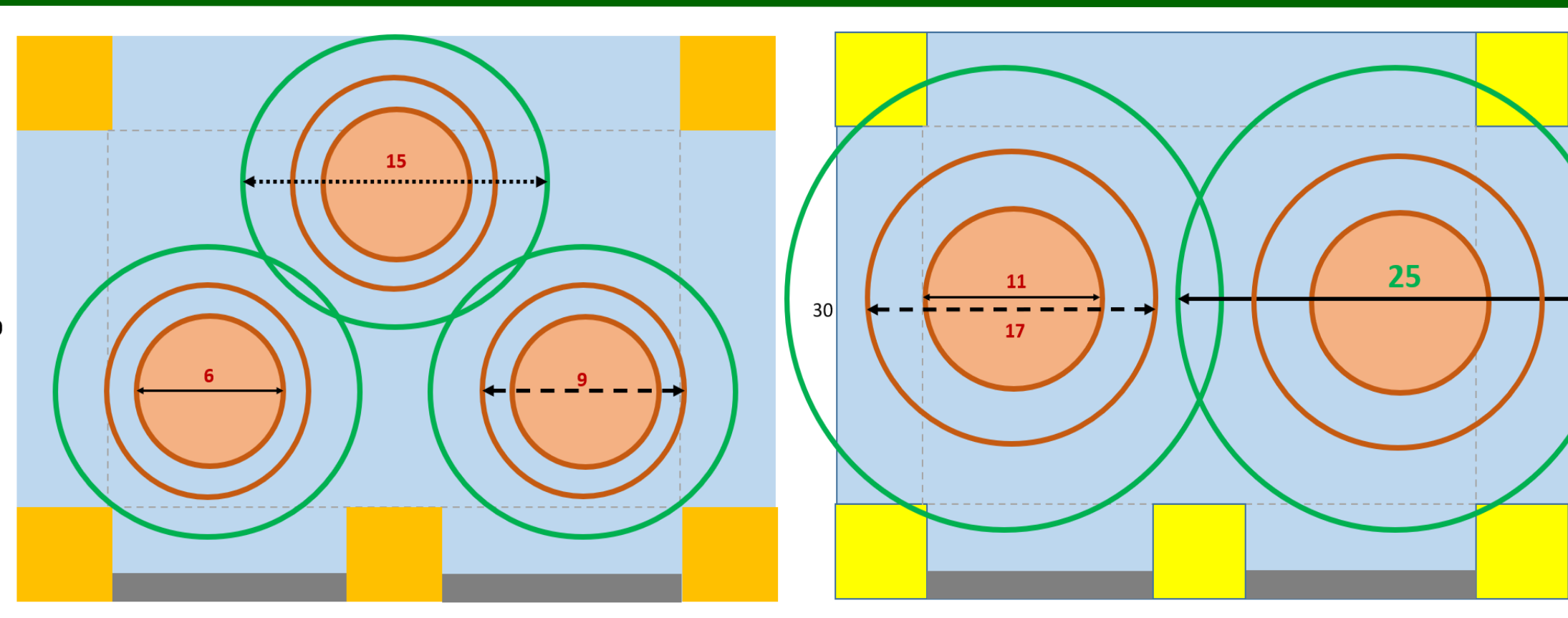
背部以魔鬼沾固定四個電腦風扇

頂部以魔鬼沾固定LED黃光燈條

植物種類	滯塵率	鐵十字秋海棠	皺葉椒草	大岩桐	薛荔	嫣紅蔓	長壽花	波士頓腎蕨
天農場	11月	無	無	多	多	無	無	多
天農場	2月	無	無	多	多	無	多	多
桃源	11月	多	無	無	無	多	無	少
桃源	2月	多	無	少	無	多	少	少
巴得花園	11月	少	無	少	無	無	無	少
巴得花園	2月	無	無	少	無	無	無	無
芯花園	11月	無	無	少	無	無	少	多
芯花園	2月	無	無	少	無	多	多	少

園藝店大調查發現五種植物較容易購得

其中四種植物大多販售三吋盆



三吋盆植物的綠牆擺法

五吋盆植物的綠牆擺法

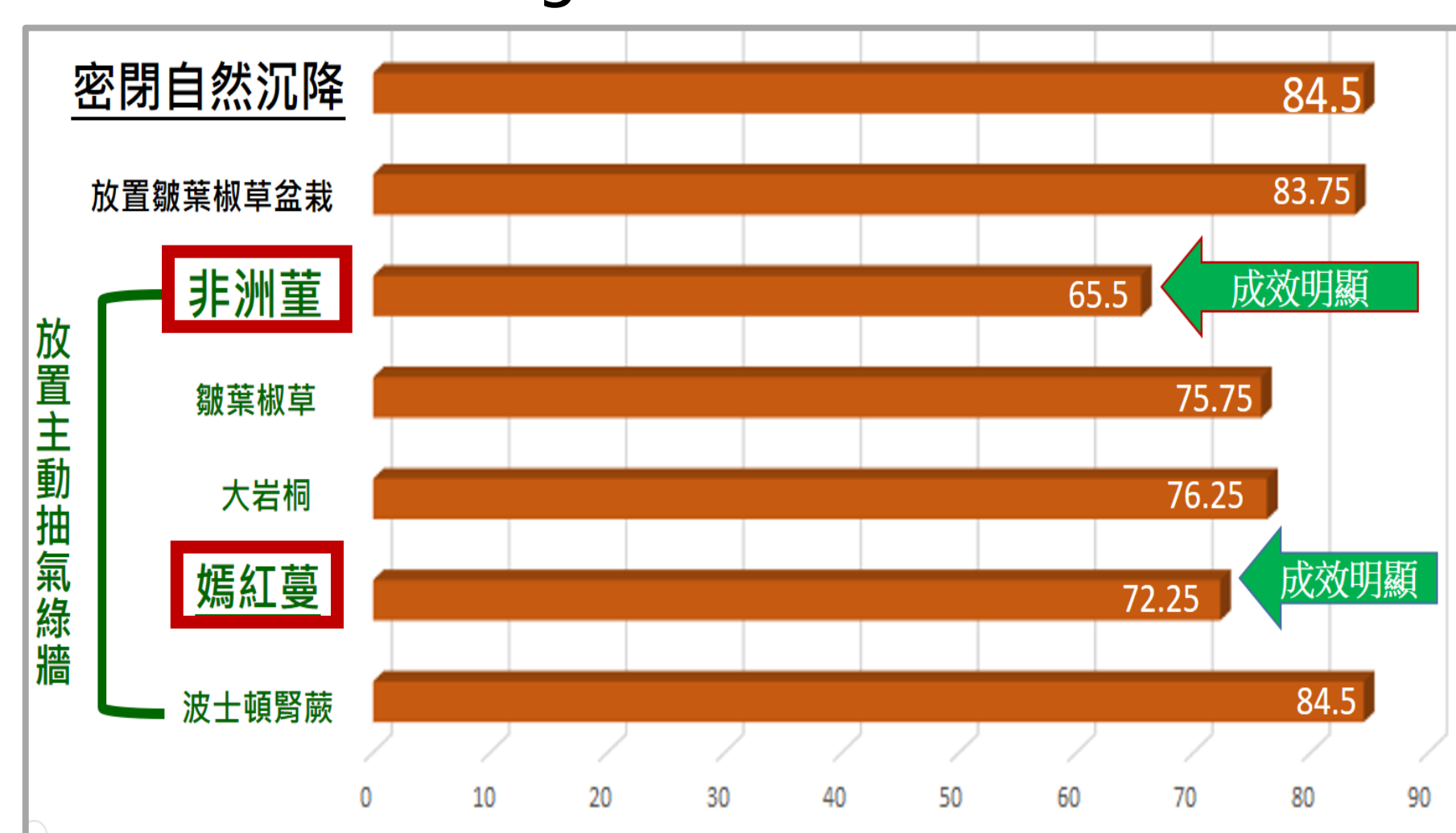
進行實驗三

- 1.場地布置及儀器擺設跟實驗一、實驗二相同。
- 2.在PM2.5感測器之間放置兩個抽氣綠牆，依次擺放12盆3吋盆的非洲堇、皺葉椒草、大岩桐、嫣紅蔓，和4盆5吋盆的波士頓腎蕨到綠牆中。
- 3.主動抽氣綠牆的光照度均設定為984Lux(一條LED燈管)，風速均設定為2.1m/s(電壓5V)。
- 4.同樣的實驗重複進行兩次，每次4小時取平均值。
- 5.實驗結果和實驗一自然沉降的結果互相比較，來確認哪些植物經綠牆風扇抽氣之後，有更好的空氣淨化效果。

實驗三結果分析

植物種類	實驗時間	盆栽數量	盆栽放置綠牆位置	PM2.5實驗1上升數值		PM2.5實驗2上升數值		四個PM2.5感測器前後差平均值
				距線香1.5M	距線香3M	距線香1.5M	距線香3M	
非洲堇 滯塵率30.53 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	三吋盆 ×12		起始值: 16 最高值: 141 結束值: 86 前後差: 70	起始值: 20 最高值: 160 結束值: 91 前後差: 71	起始值: 22 最高值: 153 結束值: 87 前後差: 65	起始值: 20 最高值: 139 結束值: 78 前後差: 56	65.50
皺葉椒草 滯塵率9.11 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	三吋盆 ×12		起始值: 44 最高值: 198 結束值: 124 前後差: 80	起始值: 45 最高值: 172 結束值: 114 前後差: 69	起始值: 25 最高值: 210 結束值: 113 前後差: 88	起始值: 33 最高值: 174 結束值: 99 前後差: 66	75.75
大岩桐 滯塵率8.34 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	三吋盆 ×12		起始值: 56 最高值: 191 結束值: 114 前後差: 58	起始值: 51 最高值: 179 結束值: 102 前後差: 51	起始值: 13 最高值: 153 結束值: 112 前後差: 99	起始值: 16 最高值: 147 結束值: 113 前後差: 97	76.25
嫣紅蔓 滯塵率3.02 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	三吋盆 ×12		起始值: 13 最高值: 207 結束值: 81 前後差: 68	起始值: 16 最高值: 207 結束值: 103 前後差: 87	起始值: 71 最高值: 206 結束值: 129 前後差: 58	起始值: 56 最高值: 197 結束值: 132 前後差: 76	72.25
波士頓腎蕨 滯塵率1.42 光照度984Lux 風速2.1m/s 線香7cm0.5g	4小時 ×2	五吋盆 ×4		起始值: 9 最高值: 153 結束值: 78 前後差: 69	起始值: 11 最高值: 137 結束值: 67 前後差: 56	起始值: 10 最高值: 190 結束值: 125 前後差: 115	起始值: 14 最高值: 170 結束值: 112 前後差: 98	84.50

不同情境燃燒0.5g線香4小時後測得的PM2.5增加值



討論：

大岩桐的滯塵率高於嫣紅蔓，移除PM2.5的能力經測試卻不如嫣紅蔓。我們推測原因是在教室的大岩桐生長狀況較差，而且單株大岩桐生成的葉片數通常比嫣紅蔓少很多，兩個原因都可能造成單株嫣紅蔓的總葉面積大於大岩桐的總葉面積。但環保署的植物滯塵效果是以單位葉面積為基準，因此無法代表單株植物總滯塵量。本實驗是以教育部標準課桌來製成尺寸相同綠牆支架，再放入6個3吋盆盆栽或2個5吋盆盆栽，以此為基準來進行實驗和比較。

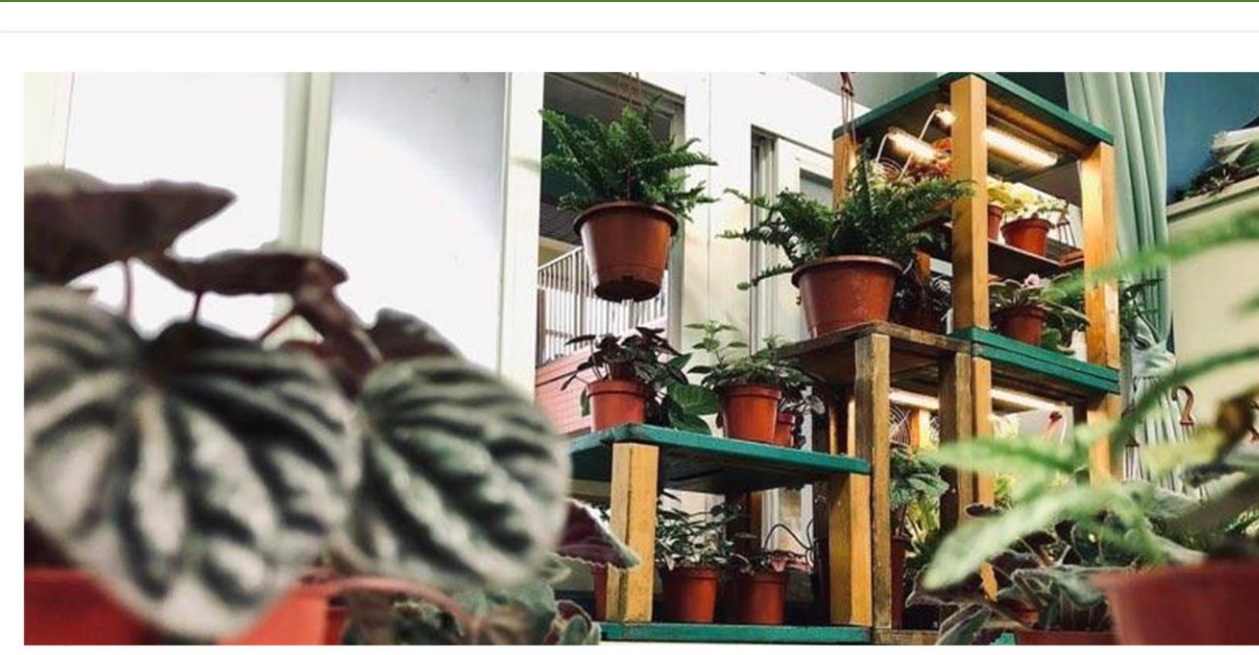
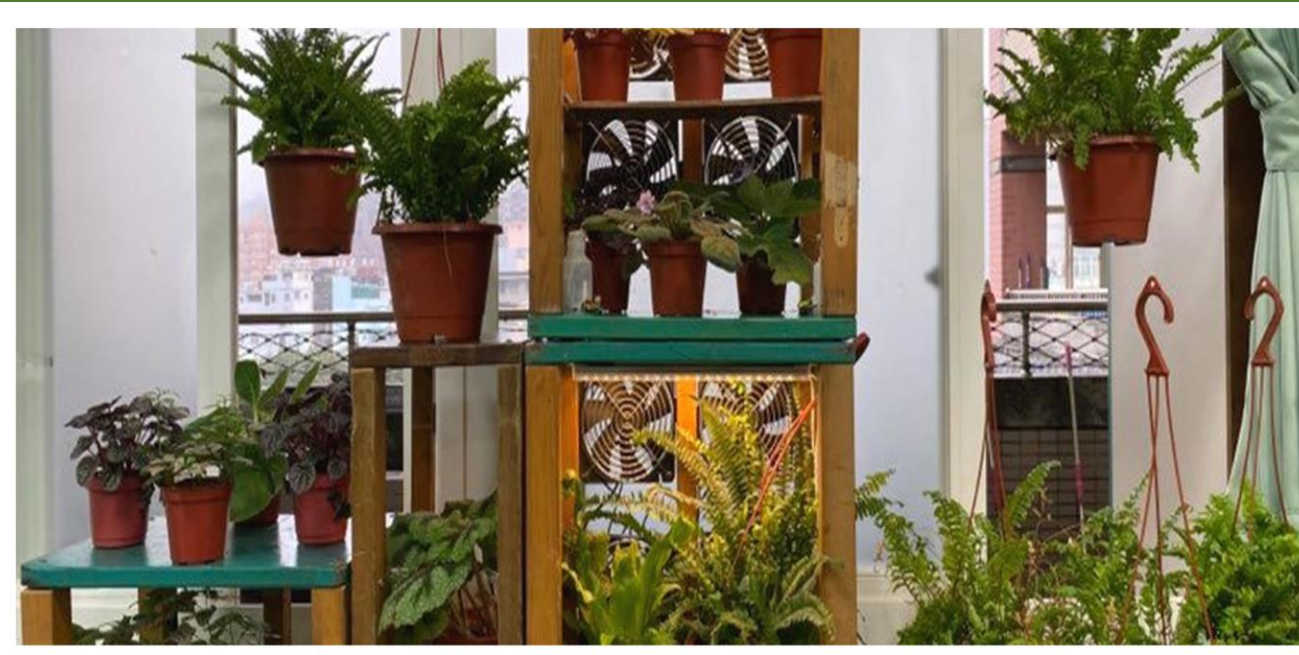
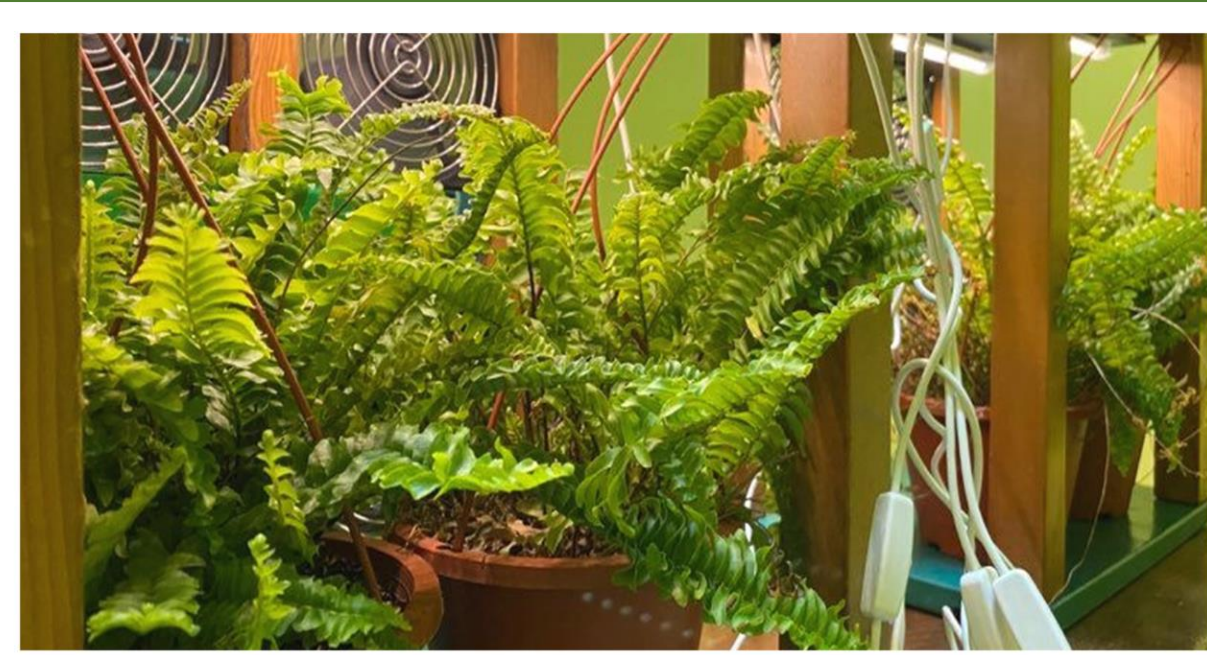
表1. 臺灣常見室內植物之單位葉面積積滯塵量 (mg·cm⁻²)

植物種類	滯塵量	植物種類	滯塵量
非洲堇	30.53	冷水花	0.98
鐵十字秋海棠	10.69	繡球花	0.89
皺葉椒草	9.11	黑葉觀音蓮	0.88
大岩桐	8.34	印度橡膠樹	0.87
薛荔	5.58	白斑垂榕	0.83
嫣紅蔓	3.02	西瓜皮椒草	0.71

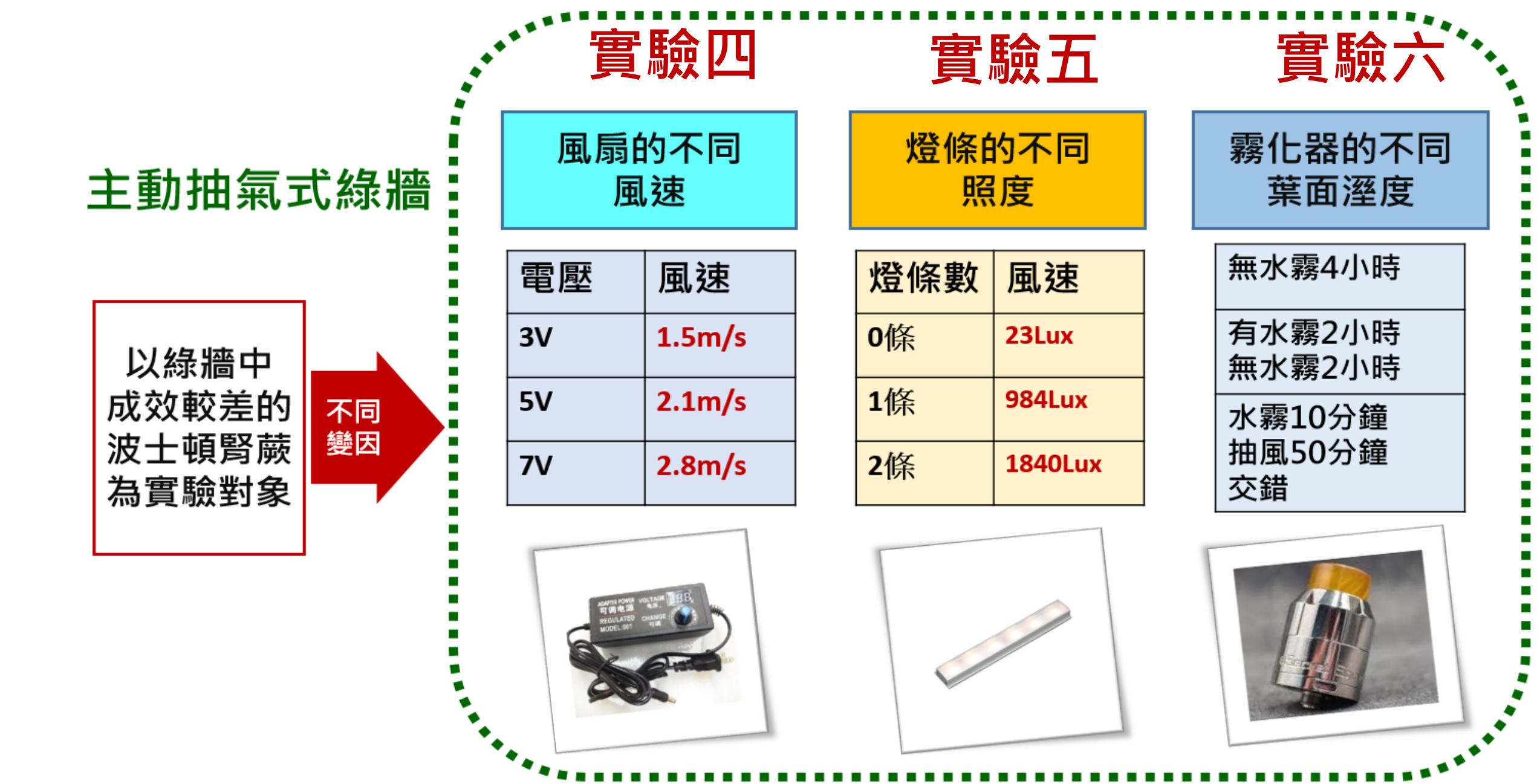
有些植物的單位葉面積滯塵量較高，但因總葉面積較小，所以總滯塵量反而比較低。



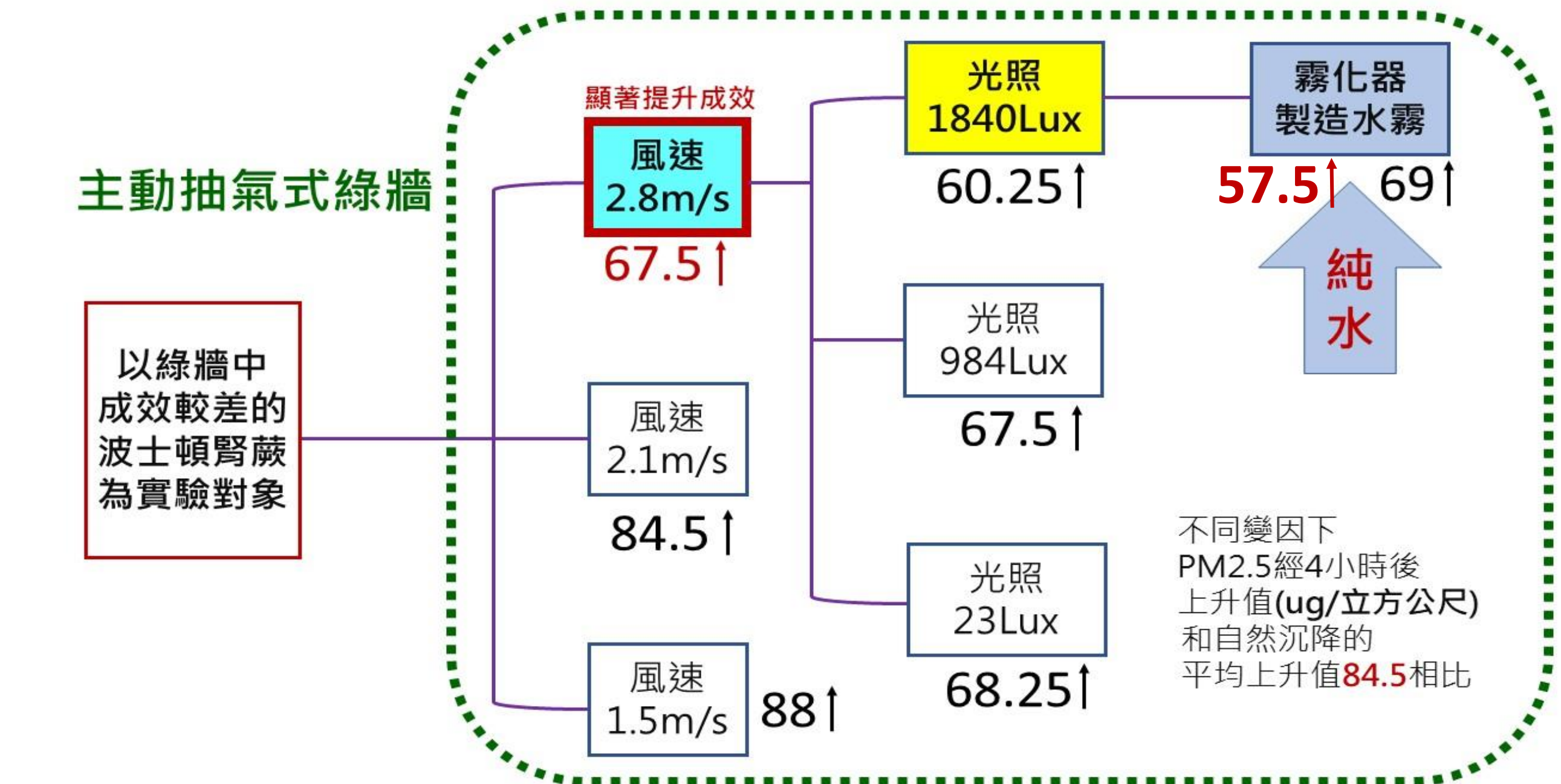
PART5：高效能綠牆之研究



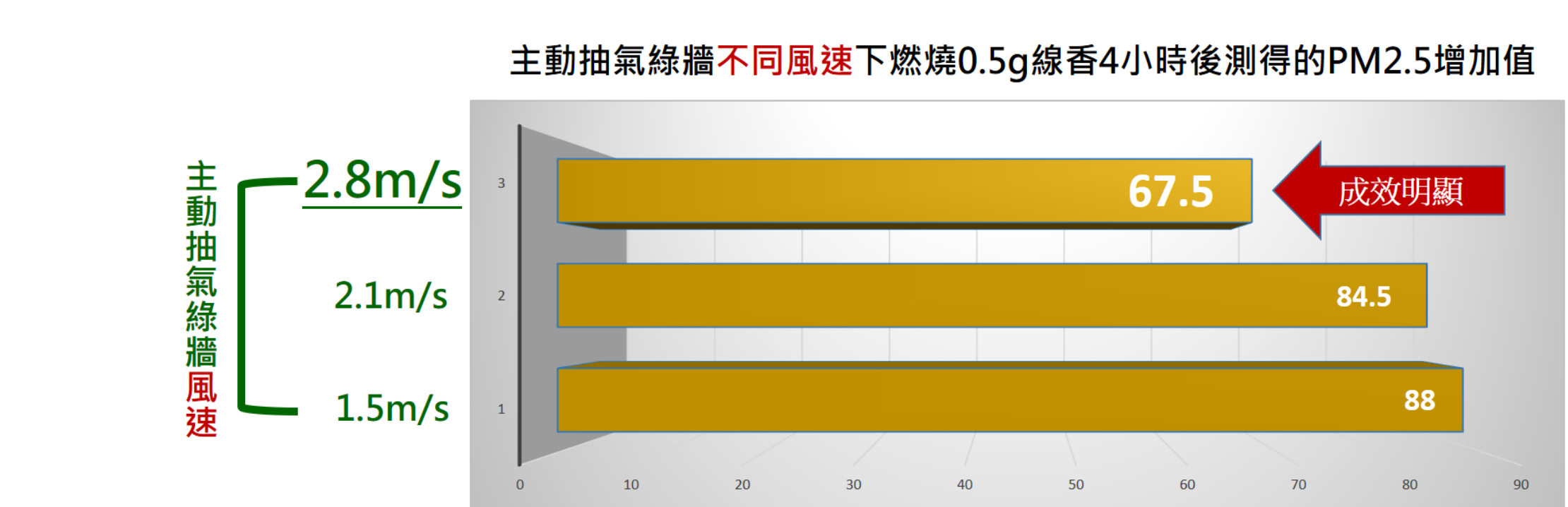
實驗四、五、六：探討主動抽氣式綠牆在不同變因下的成效



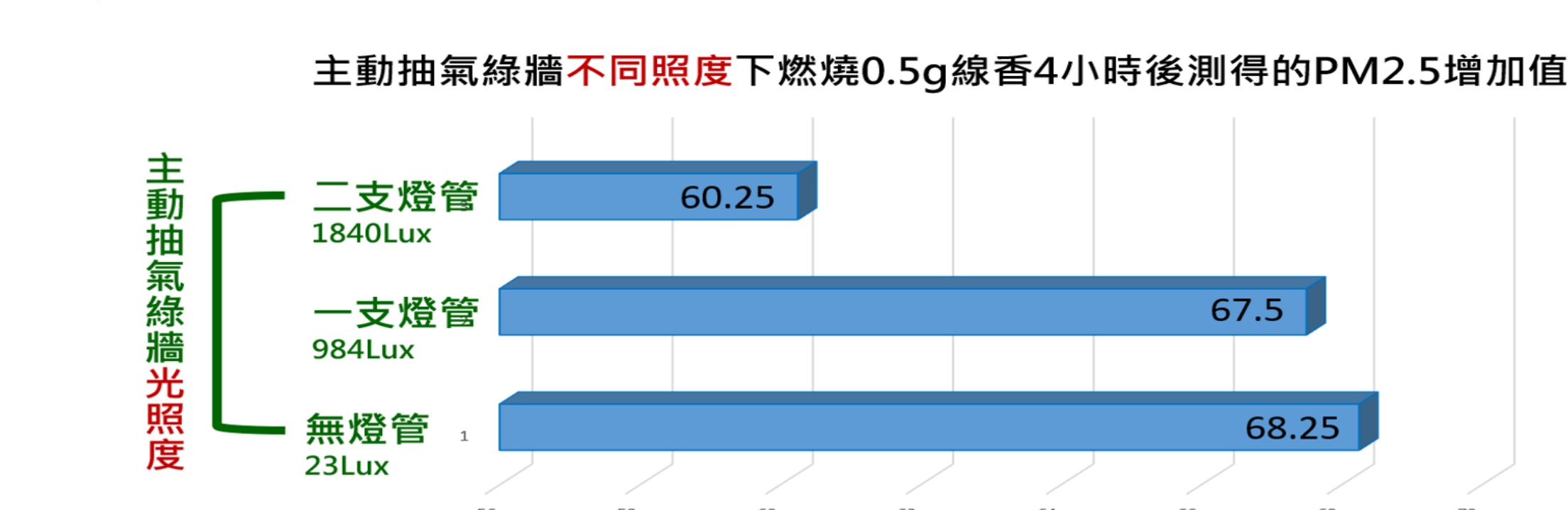
實驗四、五、六：實驗結果



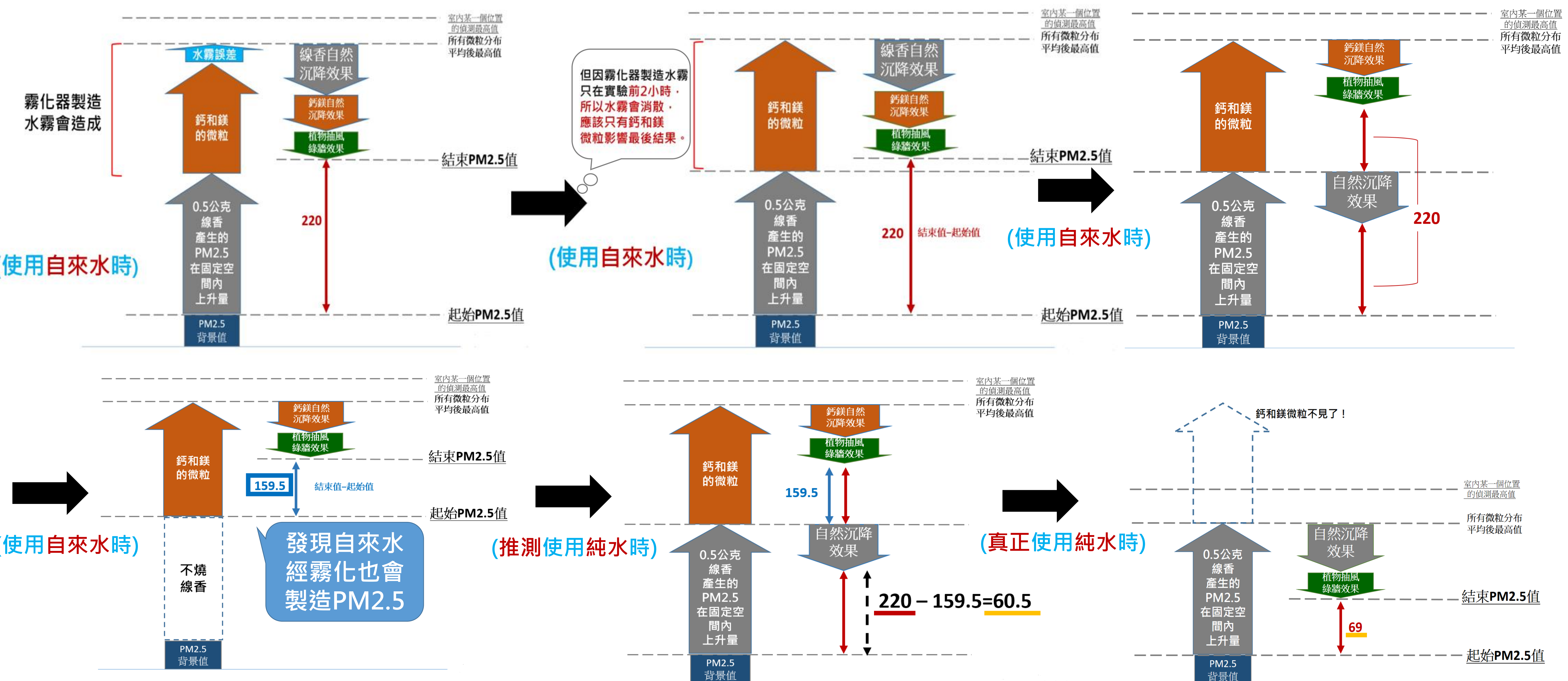
實驗四：實驗結果之長條圖



實驗五：實驗結果之長條圖



實驗六(之1)(之2)(之3)：結果分析

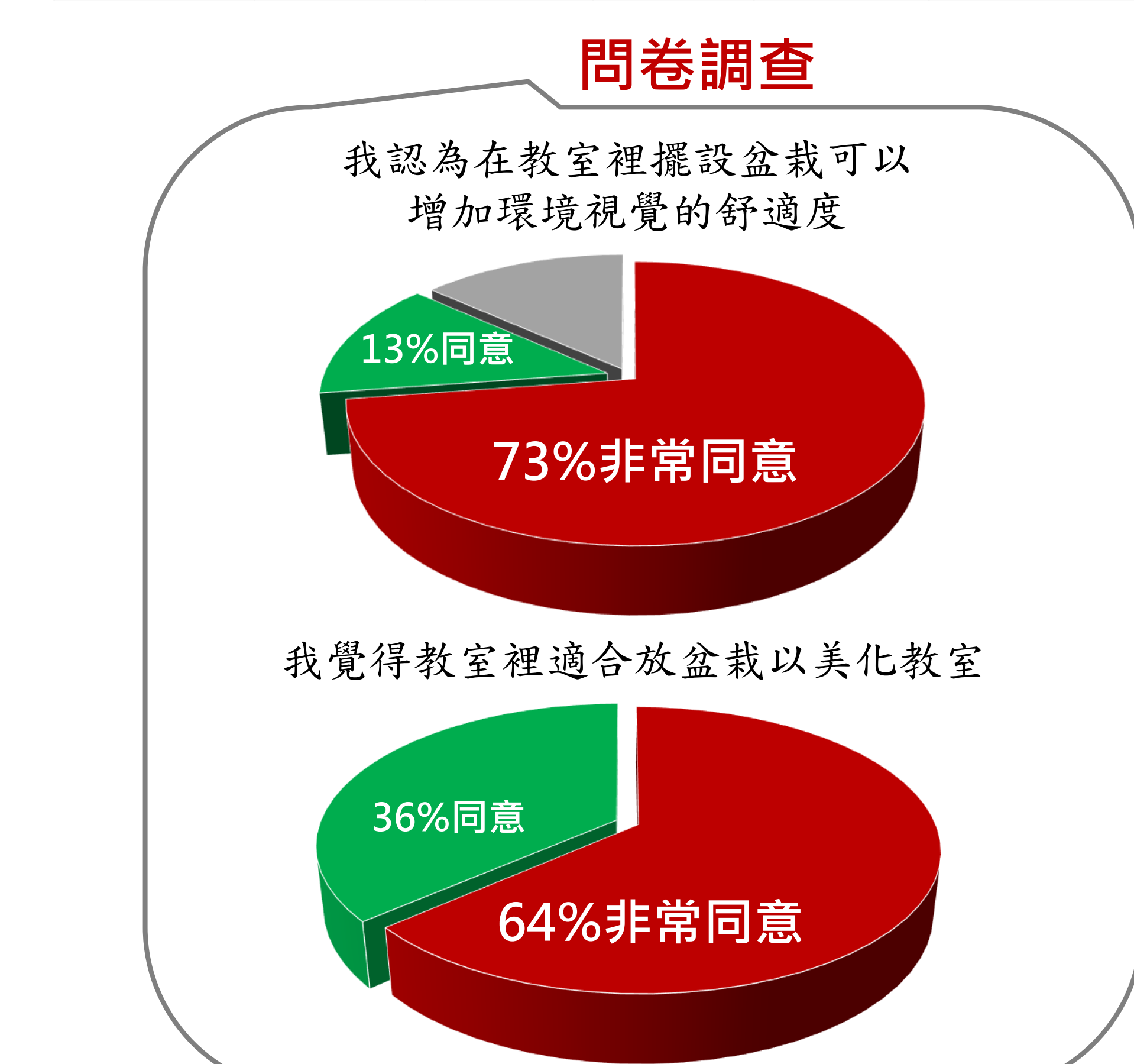


實驗六(之4)：結果分析

4小時內降低室內PM2.5的方式					PM2.5 增加值	下降率
密閉沉降					84.5 _{ug}	
密閉沉降 實驗六(之3)	波士頓 腎蕨	抽氣綠 牆	加強風 速	加強光 照	69 _{ug}	18 %
密閉沉降 實驗六(之4)	波士頓 腎蕨	抽氣綠 牆	加強風 速	加強光 照	57.5 _{ug}	32 %

實驗六發現

- 使用超音波加濕器或霧化器時，必須使用純水，不可使用自來水，以免產生更多的PM2.5。
- 使用霧化器時，設定為先10分鐘產生水霧，再啟動風扇50分鐘，再10分鐘產生水霧，如此不斷循環，可提高PM2.5的移除效率。



討論與建議

- 在4小時短時間內，關閉門窗就可以讓PM2.5自然沉降，但裝設主動抽氣綠牆來移除PM2.5的成效會更好。
- 植物健康狀況將影響主動抽氣綠牆能否發揮作用，我們經長期栽種發現存活容易度依序為：「波士頓腎蕨>非洲堇>皺葉椒草>嫣紅蔓>大岩桐」。
- 學校裡遭汰換的桌椅，因教育部有統一的尺寸標準，以此為材料可製作大小剛好適合3吋盆和5吋盆的綠牆支架，可推廣性相當高，也可美化教室。
- 秋冬兩季在教室內栽種非洲堇和波士頓腎蕨，生長狀況較佳，建議以這兩種植物組成教室綠牆，並調整抽氣風速，可以加快移除教室中的PM2.5。
- 可採其他PM2.5測量方法，來和光學空品感測器互相驗證測量結果。
- 未來可利用真實教室空間進行更長時間的植物移除PM2.5之研究。