

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

032917

清『靜』好空氣-使用主動式靜電綠牆分解空氣
污染物

學校名稱：雲林縣私立淵明國民中學

作者： 國三 羅宥騏 國三 莊季哲 國三 蔡帛璋	指導老師： 霍勝中 邱智慧
---	-----------------------------

關鍵詞：空氣污染、綠牆、靜電吸附

摘要

由於 COVID-19 的影響改變了整個社會形態，依據世界衛生組織報告，COVID-19 主要傳播的路徑為空氣傳染等，故空氣污染對健康和生存造成巨大而可怕的影響。為強化環境空氣品質確保健康，本研究建立主動式靜電綠牆，其可依據空間大小需求和空氣污染物種類，調整模組尺寸和植栽種類，透過靜電吸附污染物質達到淨化空氣、美化環境。

本研究分別在不同情境（高溫高濕、高溫低濕、低溫高濕和低溫低濕）下，分析探討污染物去除率。其主動式靜電綠牆可移除二氧化碳 0~38%，並可移除懸浮微粒 5~11%和細懸浮微粒 4~15%，另移除甲醛的去除率 55~93%、化學污染物 52~94%。

壹、研究動機及目的

本研究利用靜電吸附污染物質和風扇抽氣加速淨化空氣，並由離子線裝置及植物的吸收和吸附能力，有效降低甲醛、二氧化碳、懸浮微粒和細懸浮微粒濃度。藉由製作模組的方式，配置相對有淨化能力的植物（薜荔、波士頓腎蕨和黃金葛）（[行政院環境保護署，2007](#)），以主動式靜電綠牆去除不同空氣污染物。傳統綠牆屬被動式的生物過濾器，一般掛在牆上，當後方有一整面牆時，空氣無法通過植物，淨化空氣效果有限（[陳逸萍、楊文慧、何明錦，2020](#)）。本研究所展示的主動式靜電綠牆，係利用風扇將空氣吸入通過綠牆，藉由污染物與植物交互作用並利用靜電產生器產生的電荷離子將其污染物質由電離子所吸附，產生清新乾淨的空氣。主動式靜電荷綠牆可自行組合適合居家環境需求的立體植栽牆，以保持室內環境清潔，淨化室內空氣與綠化環境。

貳、文獻回顧

本研究彙整研究動機與目的、選擇植物物種、風扇的加入、靜電概念和軟體的利用等相關文獻如（[表一](#)）所示。

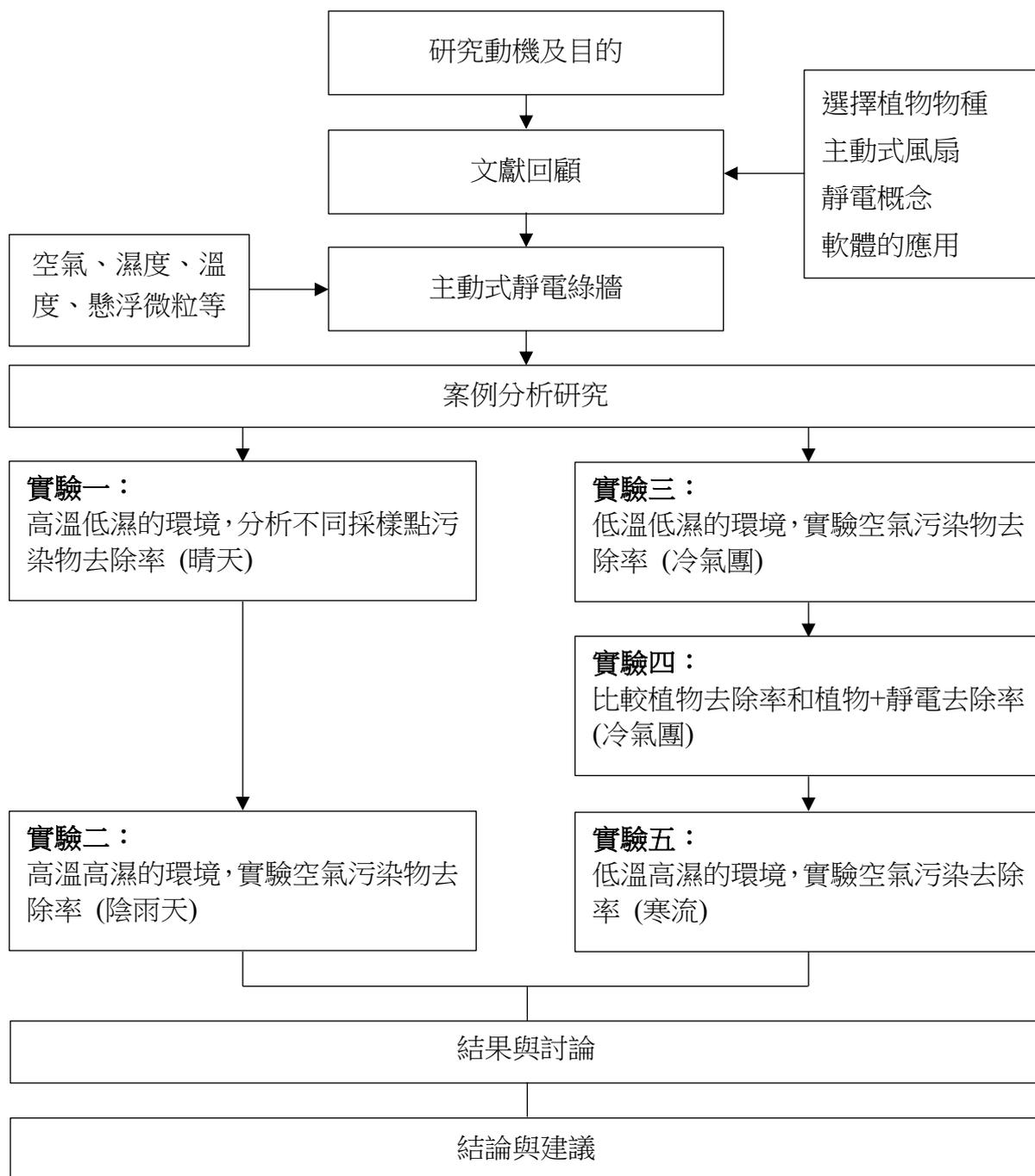
表一、文獻彙整表

<p>研 究 動 機 與 目 的</p>	<p>WHO 指出，COVID-19 主要傳播的路徑為飛沫傳染、接觸傳染、空氣傳染等。</p> <p>塵埃的污染不論室內或戶外均相當嚴重，顆粒直徑小於 10 μm 的懸浮微粒，由於漂浮於空氣中且沉降速度極為緩慢，隨著粒徑的不同，會沉積在呼吸系統不同部位，危害健康 (臺北市環保局, 1987)。</p> <p>空氣污染對健康和生存造成巨大影響，空氣污染物包括甲醛、懸浮微粒和二氧化碳等污染物會造成身體不適 (United States Environmental Protection Agency, 1991)。</p> <p>綠色屋頂 (Green roofs) 會改善整棟建築物能源的耗損，在城市中因熱島效應 (Heat island) 氣溫會相對提高，提升綠色植物的覆蓋率及城市農業都有效節省能源和降低城市溫度 (Qiu, G. Y., et al., 2016)。</p> <p>近年由於溫室氣體大量排放，大幅提升溫室效應的影響，城市之中運用藍水綠地空間 (Green and bluespace) 來調結溫度與淨化城市空氣，進一步使水資源和綠化資源互相結合循環 (Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T., 2017)。</p> <p>屋頂鋪設綠色植物並增加屋外綠牆，將有助於提升空氣品質、降低熱島效應，使整體建築物減少能源的使用率達 30% (Andric, I., Kamal, A., & Al-Ghamdi, S. G., 2020)。</p>
<p>選 擇 植 物 物 種</p>	<p>藉由製作模組的方式，以主動式電荷離子清淨綠牆進行垂直綠化，針對不同空氣污染物，配置相對有淨化能力的植物 (薜荔、波士頓腎蕨和黃金葛) (行政院環境保護署, 2007)。</p> <p>基於自然的解決方案 (Nature-based Solution, NbS) 這一理念最早出現於 2008 年世界銀行發佈的報告—《生物多樣性、氣候變化和適應：世界銀行投資中基於自然的解決方案》，強調保護生物多樣性對氣候變化減緩與適應的重要性 (Boano, F., et al., 2021)。</p>
<p>風 扇 的 加 入</p>	<p>增加室內氣體流通的效率，將有效降低空氣中的溼度和溫度，將其權重因子(建築物的屋齡、構造、窗戶的數目、周遭空氣品質、降水量和風的影響因子)評估室內空氣品質〔 Subjective Indoor Air Quality (SIAQ) 〕 (Wang, J., & Norbäck, D., 2022)。</p>

靜電概念	<p>靜電現象是國中自然科學探索電的世界這章節中很重要的主題。製作靜電產生器設計製作與推廣，增進科學認識和解決問題能力，具備刺激、好玩、有趣的特性，並可融合真實生活事件 (曾瑞蓮、黃仁偉、鍾賢、陳攻岑、許馨月、朱偉薺、洪偉清，2016)。</p>
軟體的應用	<p>Image J是一個基於Java的公共的圖像處理軟體 (Ferreira, T., & Rasband, W., 2012)，本研究使用Image J來估算薜荔、黃金葛和波士頓腎蕨的葉子表面積。</p> <p>使用Microsoft Excel 結合Extract Tools分析環境相關統計數據，包含R²值、標準偏差和相關係數等分析 (Acutis, M., Tadiello, T., Perego, A., Guardo, A. D., Schillaci, C., & Valkama, E., 2022)，本研究使用Microsoft Excel軟體，使用R²值、P值、標準偏差和相關係數分析數據。</p>

參、研究方法及流程

生態牆依植物種類和施工方法不同，可分為以下 3 種： 1.綠屋頂 (Green roof)泛指有植物覆蓋的屋頂系統。2.綠覆蓋 (Green facade)種植單一蔓性植物使其攀爬覆蓋建築物。3.植生牆 (Green wall; Living wall)利用模組化，使植物栽種在介質中並固定於垂直立面 (彭光輝、蔡淑瑩、詹祐誠，2012)。本研究使用植生牆的概念，模擬植生牆放入離子交換室內，研究植生牆對去除污染物的效益。其靜電現象是國中自然科學探索電的世界這章節中很重要的主題，是從摩擦起電開始，例如：范氏起電器 (Van de Graaff generator)，效果神奇，引人入勝，非常有助於提高學習的興致。本研究藉由范氏起電器產生電量放電 (Corona discharge)將靜電導入離子線，使空氣分子游離，形成帶電的空氣離子，帶電之微粒與粉塵微粒電性相反而被收集。放電電極線上累積之粉塵微粒需定期清潔，以達空氣淨化的效果。本研究所展示的主動式靜電綠牆，結合綠牆和靜電去除污染物，產生清新乾淨的空氣。研究流程圖，如 (圖一)。



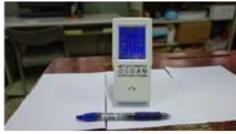
圖一、研究流程圖

實驗裝置：

實驗裝置包含風速計、光照計、濕度計和空氣污染監測器都符合歐盟CE認證。離子交換室：長 44 cm、寬 21.5 cm、高 28 cm；離子交換室屋頂：長 44 cm、寬 21.5cm、高 6cm，體積約 31,416 cm³，離子線長 36 cm，如 (圖二)所示。

本研究使用Image J來估算薜荔、黃金葛和波士頓腎蕨葉子表面積如 (圖三)計算結果分別為薜荔表面積：36,823 mm²、黃金葛表面積：110,479 mm²、波士頓腎蕨表面積：125,408 mm²。

植物：薛荔：原產於中國南部、臺灣、日本、海南島和越南等地，薛荔因其具有攀爬的能力而得名。黃金葛：黃金葛原產於所羅門群島，因種名有金色（Golden）之意，故為黃金葛。波士頓腎蕨：波士頓腎蕨的屬名源自於希臘文有腎臟之意，原產於熱帶亞洲和非洲，其名為波士頓腎蕨。(行政院環保署網站 <https://freshair.epa.gov.tw/houseplant/index.asp>)

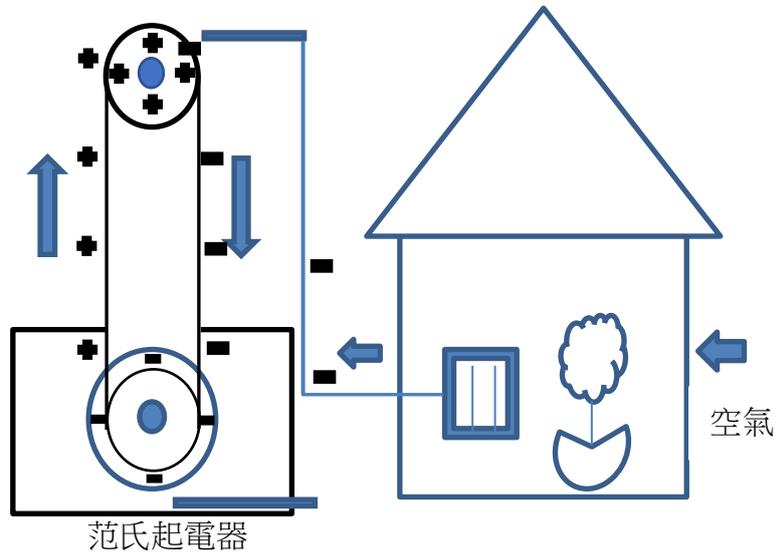
			
風速計	光照計	風扇	濕度計
			
空氣污染監測器	范氏起電器	離子線裝置	離子交換室
			
黃金葛	薛荔	波士頓腎蕨	主動式靜電線牆

圖二、實驗裝置

	
薛荔表面積：36,823 mm ²	
	
黃金葛表面積：110,479 mm ²	
	
波士頓腎蕨表面積：125,408 mm ²	

圖三、薛荔、黃金葛、波士頓腎蕨表面

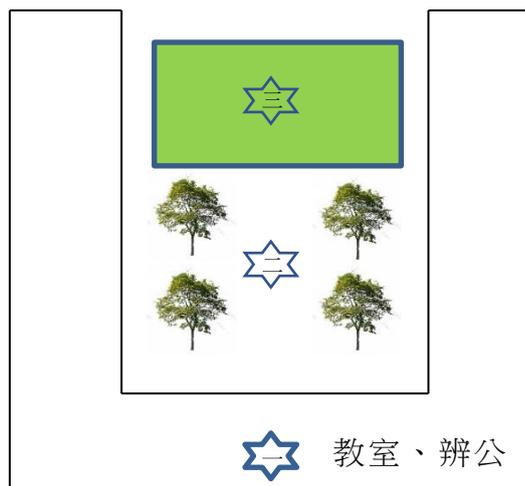
范氏起電器是運用滑輪轉動時與橡膠皮帶摩擦後產生正負電荷分離的裝置，其構造與電荷產生的方式如(圖四)所示。范氏起電器裝置區分上下兩部分，中間以絕緣塑膠管區隔開；上方利用導線將其電荷導入所製的離子架；下方為一底座，內有馬達，馬達帶動橡膠皮帶轉動產生靜電，將其靜電導入離子交換室。



圖四、主動式電荷綠牆

肆、案例分析研究

本研究實驗地點位於校園內，分為三個採樣點。分別為：第一採樣點為辦公室內，第二採樣點為樹木陰涼處，第三採樣點為草皮上如(圖五)所示。



圖五、實驗採樣點

(第一採樣點為辦公室內，第二採樣點為樹木陰涼處，第三採樣點為草皮上)

本研究分別於 2021 年 10 月 6 日、10 月 12 日、11 月 9 日和 2022 年 2 月 21 日分別採樣分析樣品，10 月 6 日為晴天天氣 (溫度為攝氏 25.5 至 31.3 度，相對濕度為 61 至 79%) 模擬高溫低濕 (表二)，10 月 12 日為陰雨天氣 (溫度為攝氏 26.0 至 28.2 度，相對濕度為 87 至 95%) 模擬高溫高濕 (表三)，11 月 9 日為冷氣團來襲，溫度和濕度均降低 (溫度為攝氏 23.9 至 24.1 度，相對濕度為 55 至 57%) 模擬低溫低濕 (表四)，2022 年 2 月 21 日，寒流來襲，溫度降低濕度升高 (溫度為攝氏 13.5 至 17.5 度，相對濕度為 74 至 86%) 模擬低溫高濕 (表五)，風速 1.18~2.36 m/s。

表二、2021 年 10 月 6 日監測值 (高溫低濕)

日期	時間	溫度 (°C)	濕度 (%)	光照度 (lux)	表面積 (mm ²)	甲醛濃度 (mg/m ³)	化學污染物 (mg/m ³)	細懸浮微粒 (ug/m ³)	懸浮微粒 (ug/m ³)	二氧化碳 (ppm)	備註
2021/10/6	15:00	25.7	62	467	36823	0.060	0.420	49	88	788	室內背景值
2021/10/6	15:12	25.5	62	487	110479	0.022	0.160	47	84	788	一.2.(冷氣)
2021/10/6	15:16	25.7	61	500	125408	0.017	0.108	47	84	770	一.3.(冷氣)
2021/10/6	15:24	25.7	61	483	36823	0.021	0.137	44	79	779	一.1.(冷氣)
2021/10/6	15:33	27.0	79	1860	36823	0.120	0.784	57	104	836	室外背景值
2021/10/6	15:37	28.5	74	1728	36823	0.046	0.335	63	113	820	二.1
2021/10/6	15:43	28.6	74	2630	110479	0.033	0.225	64	113	804	二.2
2021/10/6	15:45	29.4	74	2710	125408	0.037	0.254	63	113	819	二.3
2021/10/6	15:50	30.8	70	29800	36823	0.054	0.380	67	117	837	三.1
2021/10/6	15:52	31.0	69	18300	110479	0.049	0.346	63	113	855	三.2
2021/10/6	15:55	31.3	69	17190	125408	0.049	0.342	65	117	859	三.3

採樣地點一：辦公室內；地點二：樹木陰涼處；地點三：草皮上；植物種類：1.薜荔；2.黃金葛；3.波士頓腎蕨 (晴天)

表三、2021 年 10 月 12 日監測值 (高溫高濕)

日期	時間	溫度 (°C)	濕度 (%)	光照度 (lux)	表面積 (mm ²)	甲醛濃度 (mg/m ³)	化學污染物 (mg/m ³)	細懸浮微粒 (ug/m ³)	懸浮微粒 (ug/m ³)	二氧化碳 (ppm)	備註
2021/10/12	07:42	28.2	87	603	36823	0.131	0.986	0.040	0.072	880	二.背景值
2021/10/12	07:44	27.7	87	627	36823	0.066	0.460	0.040	0.072	944	二.1
2021/10/12	07:46	27.4	88	582	125408	0.049	0.373	0.040	0.072	819	二.3
2021/10/12	07:48	27.1	90	611	110479	0.034	0.247	0.037	0.066	904	二.2
2021/10/12	07:56	26.3	93	4320	36823	0.073	0.578	0.041	0.072	811	三.背景值
2021/10/12	08:05	26.0	95	5400	125408	0.011	0.062	0.042	0.073	708	三.3
2021/10/12	08:06	26.1	94	5400	36823	0.010	0.065	0.043	0.075	707	三.1
2021/10/12	08:07	26.0	95	5400	110479	0.011	0.073	0.043	0.075	700	三.2

採樣地點二：樹木陰涼處；地點三：草皮上；植物種類：1.薜荔；2.黃金葛；3.波士頓腎蕨 (陰雨天)

表四、2021年11月9日監測值(低溫低濕)

日期	時間	溫度 (°C)	濕度 (%)	光照度 (lux)	表面積 (mm ²)	甲醛濃度 (mg/m ³)	化學污染物 (mg/m ³)	細懸浮微粒 (ug/m ³)	懸浮微粒 (ug/m ³)	二氧化碳 (ppm)	備註
2021/11/9	07:43	23.9	56	422	36823	0.783	5.736	41	70	1134	一.背景值
2021/11/9	07:52	24.1	55	443	110479	0.466	3.783	37	66	1227	一.2(未加靜電)
2021/11/9	07:55	24.1	57	440	36823	0.466	3.485	36	63	1076	一.1(未加靜電)
2021/11/9	07:57	24.0	56	439	125408	0.354	2.56	37	64	957	一.3(未加靜電)
2021/11/9	08:00	24.0	56	431	36823	0.194	1.343	36	65	804	一.2
2021/11/9	08:02	24.0	56	348	36823	0.106	0.777	35	62	748	一.1
2021/11/9	08:05	24.0	56	420	125408	0.054	0.358	36	63	700	一.3

採樣地點一：辦公室內；植物種類：1.薜荔；2.黃金葛；3.波士頓腎蕨(冷氣團)

表五、2022年2月21日監測值(低溫高濕)

日期	時間	溫度 (°C)	濕度 (%)	光照度 (lux)	表面積 (mm ²)	甲醛濃度 (mg/m ³)	化學污染物 (mg/m ³)	細懸浮微粒 (ug/m ³)	懸浮微粒 (ug/m ³)	二氧化碳 (ppm)	備註
2022/2/21	07:55	17.5	74	458	36823	0.011	0.065	0.003	0.005	740	一.背景值
2022/2/21	08:00	16.9	77	419	110479	0.009	0.051	0.003	0.005	715	一.(2)
2022/2/21	08:02	16.7	77	460	125408	0.013	0.079	0.003	0.005	723	一.(3)
2022/2/21	08:03	16.6	77	464	36823	0.010	0.069	0.003	0.005	707	一.(1)
2022/2/21	08:07	16.1	78	1820	36823	0.017	0.105	0.003	0.005	651	二.背景值
2022/2/21	08:08	15.9	79	1843	36823	0.021	0.137	0.003	0.005	651	二.1
2022/2/21	08:10	15.3	81	2021	110479	0.018	0.131	0.003	0.005	651	二.2
2022/2/21	08:12	14.6	82	1835	125408	0.017	0.107	0.003	0.005	651	二.3
2022/2/21	08:15	14.0	84	3960	36823	0.034	0.232	0.003	0.005	644	三.背景值
2022/2/21	08:16	13.8	84	3840	36823	0.010	0.098	0.003	0.005	636	三.1
2022/2/21	08:17	13.6	85	3630	110479	0.010	0.076	0.003	0.005	643	三.2
2022/2/21	08:18	13.5	86	3530	125408	0.017	0.108	0.003	0.005	643	三.3

採樣地點一：辦公室內；地點二：樹木陰涼處；地點三：草皮上；

植物種類:1.薜荔；2.黃金葛；3.波士頓腎蕨(寒流，陰雨天)

伍、結果與討論

實驗一：高溫低濕的環境，分析不同採樣點污染物去除率 (2021 年 10 月 6 日，晴天)

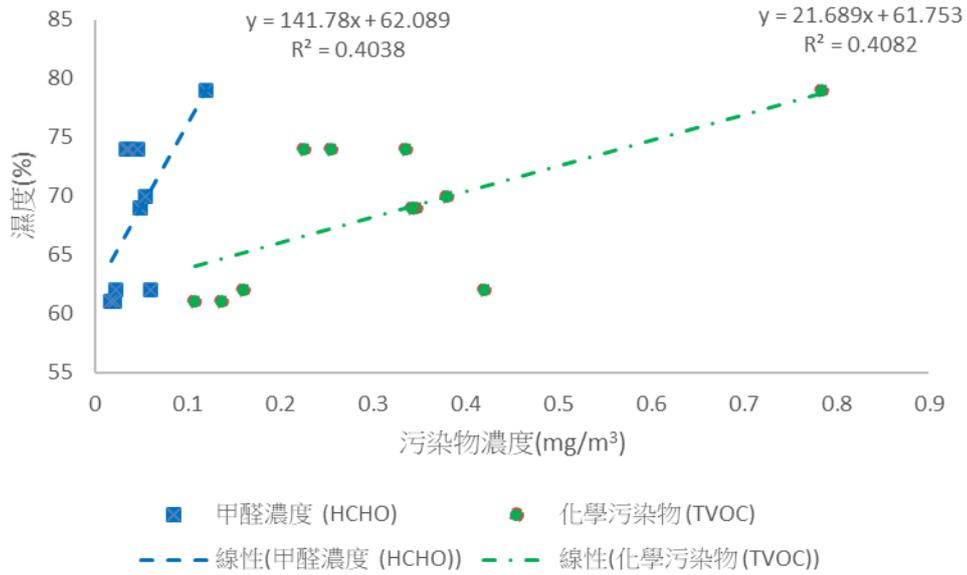
將所採樣的資料 (2021 年 10 月 6 日)以相關係數分析，分析濕度和甲醛濃度、化學污染物、細懸浮微粒、懸浮微粒和二氧化碳相關係數分別為 0.64、0.64、0.76、0.78 和 0.64 (表六)，標準差分別為 5.15、5.13、4.36、4.15 和 24.78，P 值分別 0.035、0.034、0.007、0.004 和 0.033 (顯著， $P < 0.05$)。甲醛濃度和化學污染物 R^2 值 0.40、0.41 (圖六)，細懸浮微粒、懸浮微粒分別 R^2 值分別為 0.57、0.61 (圖七)二氧化碳 R^2 值為 0.41 (圖八)。

在採樣點一，實驗位於室內且有冷氣的情況下，濕度降低至 61%，甲醛濃度、化學污染物、細懸浮微粒、懸浮微粒、二氧化碳，其去除率 0~74% (表七)，黃金葛去除率於甲醛濃度、化學污染物和二氧化碳最高，波士頓腎蕨去除率於細懸浮微粒、懸浮微粒最高，薜荔均為最低 (圖九)，可以推測植物表面積越大，對於污染物之去除率越大。

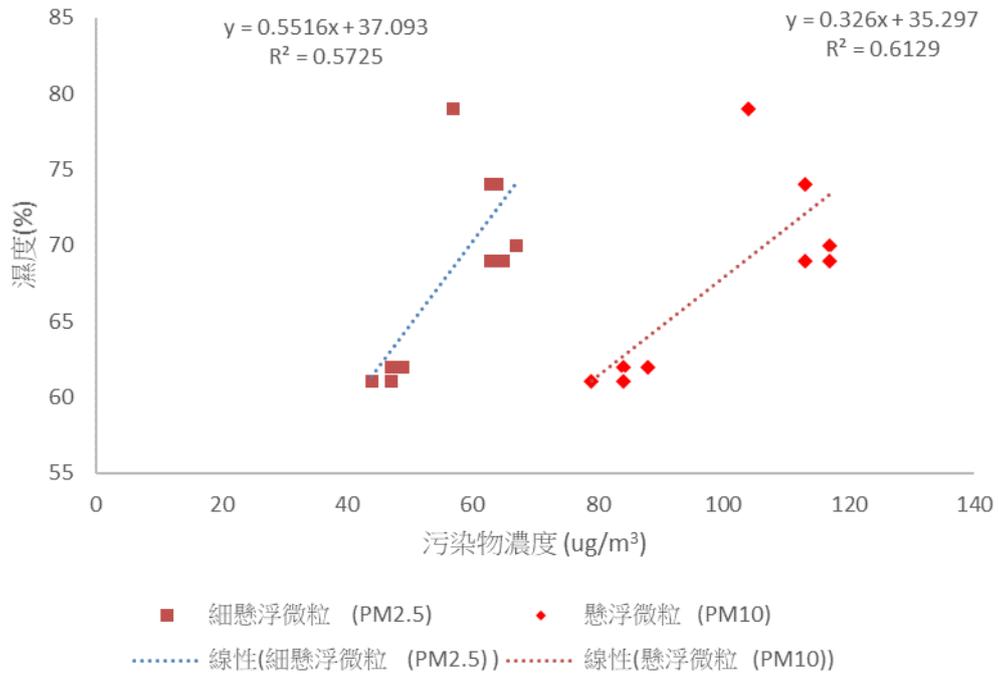
採樣點二和採樣點三因位於室外濕度升高，所以甲醛濃度和化學污染物之污染去除率分別降低至 55~73%和 52~71%，其它污染物均無法去除 (表八)，推估是因為濕度提升，導至降低污染去除率。因此，由實驗二 (高溫高濕)來推估污染物去除率是否與濕度相關。

表六、2021 年 10 月 6 日監測值相關分析

監測值	溫度 (°C)	濕度 (%)	光照度 (lux)	表面積 (mm ²)	甲醛濃度 (mg/m ³)	化學污染物 (mg/m ³)	細懸浮微粒 (ug/m ³)	懸浮微粒 (ug/m ³)	二氧化碳 (ppm)
溫度 (°C)	1.00								
濕度 (%)	0.52	1.00							
光照度 (lux)	0.80	0.15	1.00						
表面積 (mm ²)	0.24	-0.09	0.00	1.00					
甲醛濃度 (mg/m ³)	0.15	0.64	0.13	-0.47	1.00				
化學污染物 (mg/m ³)	0.18	0.64	0.16	-0.48	1.00	1.00			
細懸浮微粒 (ug/m ³)	0.92	0.76	0.64	0.13	0.29	0.33	1.00		
懸浮微粒 (ug/m ³)	0.92	0.78	0.61	0.13	0.33	0.37	1.00	1.00	
二氧化碳 (ppm)	0.88	0.64	0.71	0.07	0.53	0.55	0.82	0.85	1.00



圖六、甲醛濃度和化學污染物 R^2 值 (2021 年 10 月 6 日)

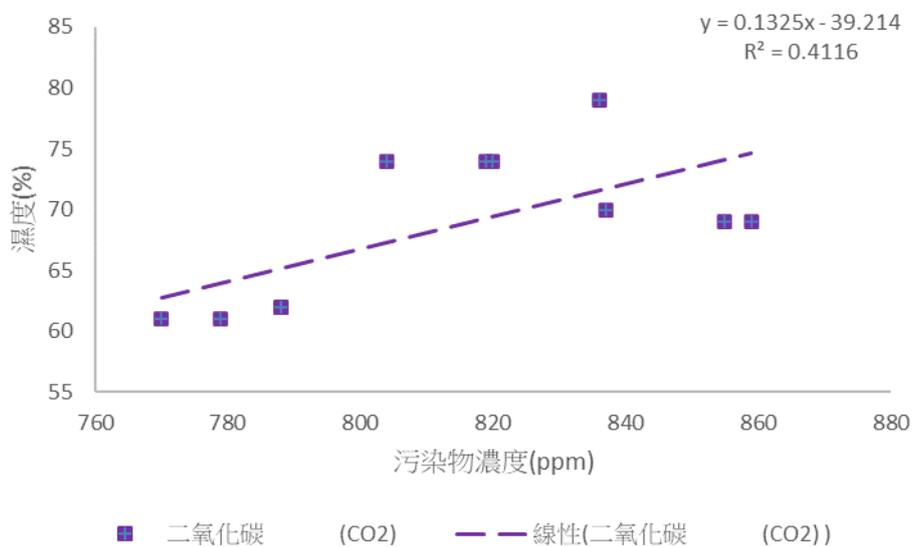


圖七、細懸浮微粒和懸浮微粒 R^2 值 (2021 年 10 月 6 日)

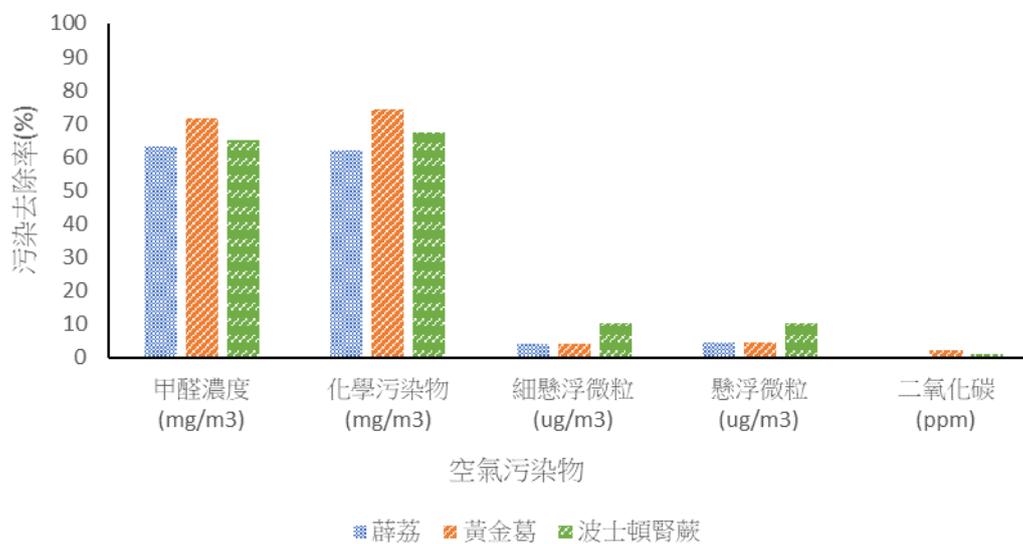
表七、甲醛濃度、化學污染物、細懸浮微粒、懸浮微粒、二氧化碳(室內)去除率

植物種類	甲醛濃度	化學污染物	細懸浮微粒	懸浮微粒	二氧化碳
薜荔	63	62	4	5	0
黃金葛	72	74	4	5	2
波士頓腎蕨	65	67	10	10	1

單位:%



圖八、二氧化碳 R² 值 (2021 年 10 月 6 日)



圖九、薜荔、黃金葛、波士頓腎蕨污染去除率 (2021 年 10 月 6 日)

表八、甲醛濃度、化學污染物、細懸浮微粒、懸浮微粒、二氧化碳(室外)去除率

植物種類	甲醛濃度	化學污染物	細懸浮微粒	懸浮微粒	二氧化碳	備註
薜荔	62	57	-11	-9	2	二.
黃金葛	73	71	-12	-9	4	二.
波士頓腎蕨	69	68	-11	-9	2	二.
薜荔	55	52	-18	-13	0	三.
黃金葛	59	56	-11	-9	-2	三.
波士頓腎蕨	59	56	-14	-13	-3	三.

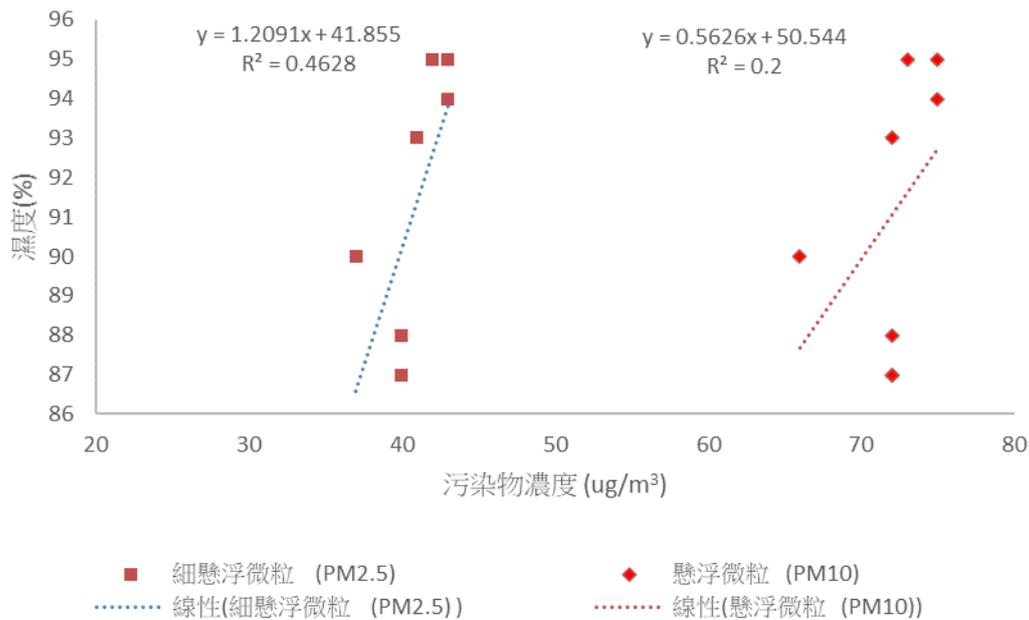
地點二：樹木陰涼處；地點三：草皮上；單位：%

實驗二：高溫高濕的環境，實驗空氣污染物去除率 (2021年10月12日，陰雨天)

實驗二所採樣的資料 (2021年10月12日)經由統計分析，結果如下，濕度和細懸浮微粒、懸浮微粒相關係數分別為 0.68、0.45 (表九)，標準差分別為 2.79、3.40，P 值分別為 0.06、0.26 (非顯著， $P > 0.05$)， R^2 值分別為 0.46、0.20 (圖十)。由實驗分析結果可知，當濕度增加至 87% 以上，P 值分別大於 0.05。細懸浮微粒、懸浮微粒削減量為 0，可見高濕度會影響細懸浮微粒和懸浮微粒去除率。

表九、2021年10月12日監測值相關分析

監測值	溫度 (°C)	濕度 (%)	光照度 (lux)	表面積 (mm ²)	甲醛濃度 (mg/m ³)	化學污染物 (mg/m ³)	細懸浮微粒 (ug/m ³)	懸浮微粒 (ug/m ³)	二氧化碳 (ppm)
溫度 (°C)	1.00								
濕度 (%)	-0.98	1.00							
光照度 (lux)	-0.93	0.96	1.00						
表面積 (mm ²)	-0.93	0.95	0.99	1.00					
甲醛濃度 (mg/m ³)	0.80	-0.73	-0.62	-0.56	1.00				
化學污染物 (mg/m ³)	0.78	-0.71	-0.61	-0.54	1.00	1.00			
細懸浮微粒 (ug/m ³)	-0.65	0.68	0.84	0.81	-0.40	-0.39	1.00		
懸浮微粒 (ug/m ³)	-0.42	0.45	0.65	0.62	-0.22	-0.22	0.96	1.00	
二氧化碳 (ppm)	0.85	-0.88	-0.90	-0.86	0.66	0.64	-0.84	-0.69	1.00



圖十、細懸浮微粒、懸浮微粒 R² 值 (2021 年 10 月 12 日)

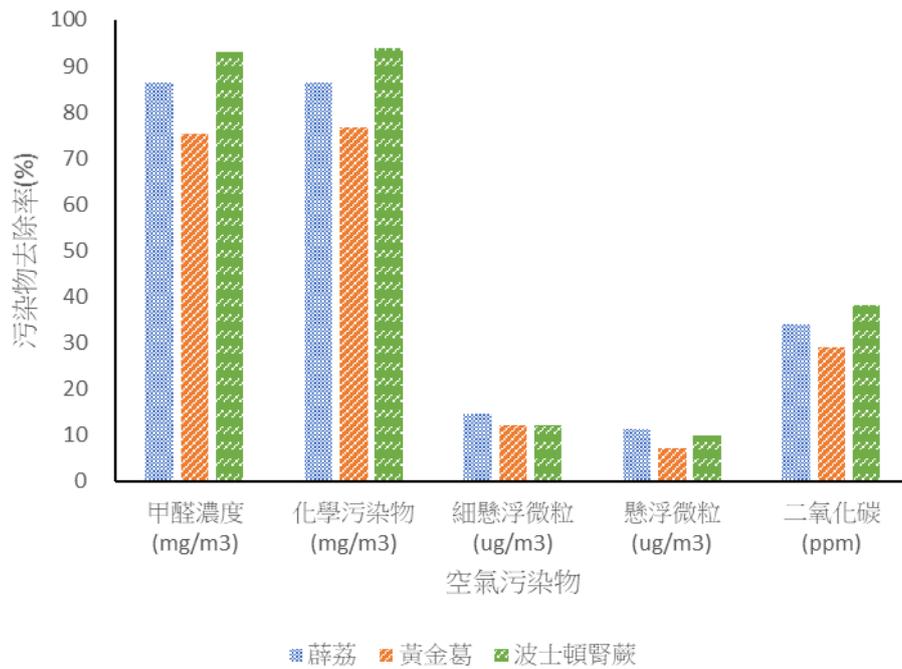
實驗三：低溫低濕度的環境，實驗空氣污染物去除率 (2021 年 11 月 9 日，冷氣團)

將所採樣的資料 (2021 年 11 月 9 日，寒流)分二個部份，第一部份為加靜電，第二部份為未加靜電。其中第一部份甲醛濃度、化學污染物、細懸浮微粒、懸浮微粒和二氧化碳去除率如下：甲醛濃度為 75~93%、化學污染物為 77~94%、細懸浮微粒為 12~15%、懸浮微粒為 7~11%、二氧化碳為 29~38% (表十)。由實驗分析結果可知，當濕度降至 56%以下，其中細懸浮微粒為去除率為 12~15%，懸浮微粒為去除率為 7~11%，相較於濕度升至 85%以上，其有效去除率增加 7~15%。由實驗結果可得低溫且低濕度的環境下波士頓腎蕨去除甲醛濃度、化學污染物和二氧化碳最高，薛荔在細懸浮微粒、懸浮微粒去除率最高 (圖十一)。

表十、污染物去除率 (2021 年 11 月 9 日)

植物種類	甲醛濃度	化學污染物	細懸浮微粒	懸浮微粒	二氧化碳
薛荔	86	86	15	11	34
黃金葛	75	77	12	7	29
波士頓腎蕨	93	94	12	10	38

單位:%



圖十一、低溫低濕的環境污染物去除率

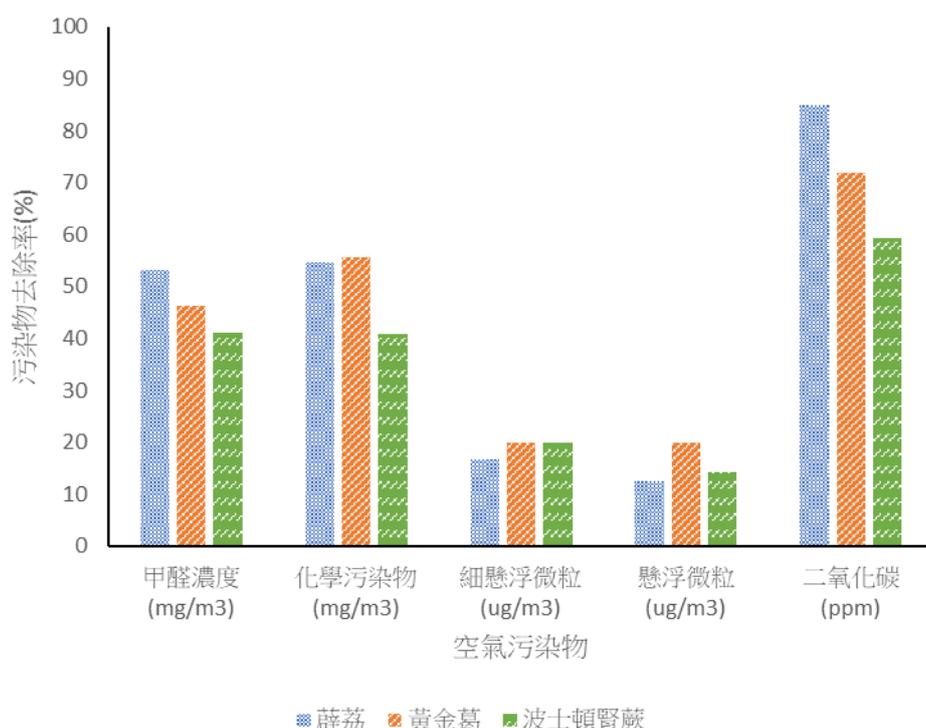
實驗四：比較植物去除率和植物加靜電去除率

比較加靜電和未加靜電的主動式靜電綠牆其去除率，由實驗可知加靜電比未加靜電的去除率較高，加上靜電之去除率，甲醛濃度提升 41~53%、化學污染物提升 41~56%、細懸浮微粒提升 17~20%、懸浮微粒提升 13~20%、二氧化碳提升 59~85% (表十一)。其中薜荔去除甲醛濃度和二氧化碳最高，黃金葛在化學污染物和懸浮微粒去除率最高 (圖十二)。

表十一、比較植物污染去除率和植物+靜電污染去除率

植物種類	甲醛濃度	化學污染物	細懸浮微粒	懸浮微粒	二氧化碳
薜荔	53	55	17	13	85
黃金葛	46	56	20	20	72
波士頓腎蕨	41	41	20	14	59

單位：%



圖十二、比較植物污染去除率和植物+靜電污染去除率

實驗五：低溫高濕度的環境，實驗空氣污染去除率 (2022 年 2 月 22 日，寒流)

正逢寒流和鋒面來到，氣溫驟降，大雨不斷。於低溫高濕度的環境，實驗空氣污染去除率。因背景值均偏低所以各項去除率偏低。甲醛濃度去除率-18~71%、化學污染物去除率22~67%、細懸浮微粒、懸浮微粒去除率均為0、二氧化碳去除率-4~4%(表十二)。推估可知在低溫高濕(大雨)下，二氧化碳因水的溶解度提升，在低溫高濕度下其濃度最低。

表十二、低溫高濕的環境中空氣污染去除率

植物種類	甲醛濃度	化學污染物	細懸浮微粒	懸浮微粒	二氧化碳	備註
黃金葛	18	22	0	0	3	一
波士頓腎蕨	-18	-22	0	0	2	一
薜荔	9	-6	0	0	4	一
薜荔	-24	-30	0	0	0	二
黃金葛	-6	-25	0	0	0	二
波士頓腎蕨	0	-2	0	0	-4	二
薜荔	71	58	0	0	2	三
黃金葛	71	67	0	0	1	三
波士頓腎蕨	50	53	0	0	1	三

採樣地點一：辦公室內；地點二：樹木陰涼處；地點三：草皮上；單位：%

陸、結論與建議

- 一、本研究使用主動式靜電綠牆，以降低空氣中的污染物，研究結果顯示 (室內) 甲醛去除率為 55~93%，化學污染物去除率為 52%~94%，懸浮微粒 (PM₁₀) 去除率為 5~11%，細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 去除率為 4~15%，二氧化碳 (CO₂) 去除率為 0~38%。
- 二、濕度 61~79% 對 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 成正相關，相關係數分別為 0.76、0.78，P 值分別為 0.007、0.004 (顯著，P<0.05)，R² 值分別為 0.57、0.61。當濕度達到 87% 以上時，相關係數分別為 0.46、0.20，P 值分別為 0.06、0.26 (非顯著，P>0.05)。由實驗結果可知，濕度會影響靜電對污染物的去除率，在高濕度的環境靜電對於 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 之去除率不佳。
- 三、在低溫高濕度的環境 (大雨) 中，由於低溫下，水的溶解度提升，因此二氧化碳在低溫高濕度下其濃度最低。
- 四、室內環境實驗可知黃金葛去除甲醛濃度、化學污染物和二氧化碳最高，波士頓腎蕨在細懸浮微粒、懸浮微粒去除率最高，薜荔對實驗污染物去除為最低。可以推測出植物葉表面積越大，對於污染物去除率越大，因此提升葉表面積覆蓋率將有效降低甲醛和化學污染物。
- 五、經由風扇帶動空氣的流動，使植物的葉片能截取和吸附污染物，加上靜電可有效增加去除率。為避免影響其淨化空氣的效果，建議去除風扇和葉片上累積之灰塵，以增加去除率，同時維護盆栽的美觀。
- 六、未來可運用於學校教室外牆上，進行植物的栽種，而成綠牆，不但能達到空氣淨化的效果，亦能美化校園環境。

參考文獻

- Acutis, M., Tadiello, T., Perego, A., Guardo, A. D., Schillaci, C., & Valkama, E. (2022). EX-TRACT: An excel tool for the estimation of standard deviations from published articles. *Environmental Modelling and Software*, *147*, 105236.
- Andric, I., Kamal, A., & Al-Ghamdi, S. G. (2020). Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate: Case study of Qatar. *Energy Reports*, *6*, 2476-2489.
- Boano, F., Costamagna, E., Caruso, A., Fiore, S., Chiappero, M., Galvão, A., ...Masi, F. (2021). Evaluation of the influence of filter medium composition on treatment performances in an open-air green wall fed with greywater. *Journal of Environmental Management*, *300*, 113646.
- Ferreira, T., & Rasband, W. (2012). Image J User Guide Ij 1.46. Retrieved from <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, *584-585*, 1040-1055.
- Pugh, T., Mackenzie, A., Whyatt, J. D., & Hewitt, C.N. (2012). Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environmental Science and Technology*, *14* (46), 7692-7699.
- Qiu, G. Y., Li, H. Y., Zhang, Q. T., Chen, W., Ling, X. J., & Li, X. Z. (2013). Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, *12*(8), 1307-1315.
- Wang, J., & Norbäck, D. (2022). Subjective indoor air quality and thermal comfort among adults in relation to inspected and measured indoor environment factors in single-family houses in Sweden-the BETSI study. *Science of The Total Environment*, *802*, 149804.
- William, R., Goodwell, A., Richardson, M., Le, P. V. V., Kumar, P., & Stillwell, A. S. (2016). An environmental cost-benefit analysis of alternative green roofing strategies. *Ecological*

Engineering, 95, 1-9.

Woodhouse, C. A., Smith, R. M., McAfee, S. A., Pederson, G. T., McCabe, G. J., Miller, W. P., & Csank, A. (2021). Upper Colorado River Basin 20th century droughts under 21st century warming: Plausible scenarios for the future. *Climate Services*, 21, 100206.

World Health Organization (WHO). Retrieved from https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1

United States Environmental Protection Agency. (1991). Office of Air and Radiation. Indoor Air Facts No. 4: Sick Building Syndrome.

行政院環境保護署 (2007)。淨化室內空氣之植物應用及管理手冊。臺北市：張國龍。

行政院環保署網站 <https://freshair.epa.gov.tw/houseplant/index.asp>

彭光輝、蔡淑瑩、詹祐誠 (2012)。低碳優質生活：植生綠化科技應用於永續綠建築之研究。國立臺北科技大學。

陳逸萍、楊文慧、何明錦 (2020)。垂直綠化型態偏好之探討。2020 中華民國營建工程學會第十八屆營建產業永續發展研討會。

曾瑞蓮、黃仁偉、鍾賢、陳攻岑、許馨月、朱偉齊、洪偉清 (2016)。靜電產生器設計製作與推廣。《物理教育學刊》，17，75-86。

臺北市環保局 (1987)。空氣污染概說。台北市政府環境保護局。

【評語】 032917

1. 本作品建構主動式靜電綠牆，透過靜電吸附污染物質達到淨化空氣、美化環境，是有趣的發想。
2. 探討高溫高濕、高溫低濕、低溫高濕和低溫低濕等環境下，各式空氣污染物去除率。研究結果顯示甲醛、懸浮微粒 (PM10)、細懸浮微粒 (PM2.5)、二氧化碳 (CO₂) 等有去除效果。
3. 葉子是三度空間重疊的，圖三只算了二維平面投影面積，意義不大，且改變視角結果就會改變。需要把所有的葉子，且上下兩面的面積加總，才是真的面積。
4. 報告中應敘明放入植物的數量以及葉面積等數據，如此較能推斷不同植株的清淨空氣能力之原因。
5. 另外需考慮放電離子化後，污染物或粉塵是否可能聚集或分散之可能性。
6. 實驗設計上，是否有控制葉子的總面積或是對面積歸一化 (normalize)？目前推測植物表面積越大，對於污染物之去除率越大，但若面積相同時，是否植物種類會有差異？

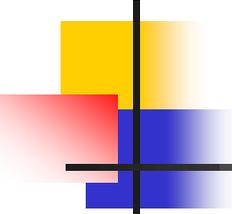
作品簡報

清『靜』好空氣

使用主動式靜電綠牆分解空氣污染物

組別：生活與應用科學科(二)

科別：國中組

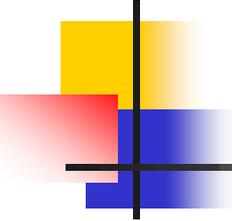


Abstracts

- 由於COVID-19的影響改變了整個社會形態，其主要傳播的路徑為空氣傳染等。
- 故研究建立模組化主動式靜電綠牆，透過靜電吸附污染物質達到淨化空氣、美化環境。
- 本研究在不同情境(高溫高濕、高溫低濕、低溫高濕和低溫低濕)下，分析探討污染物去除率。

Research flow chart

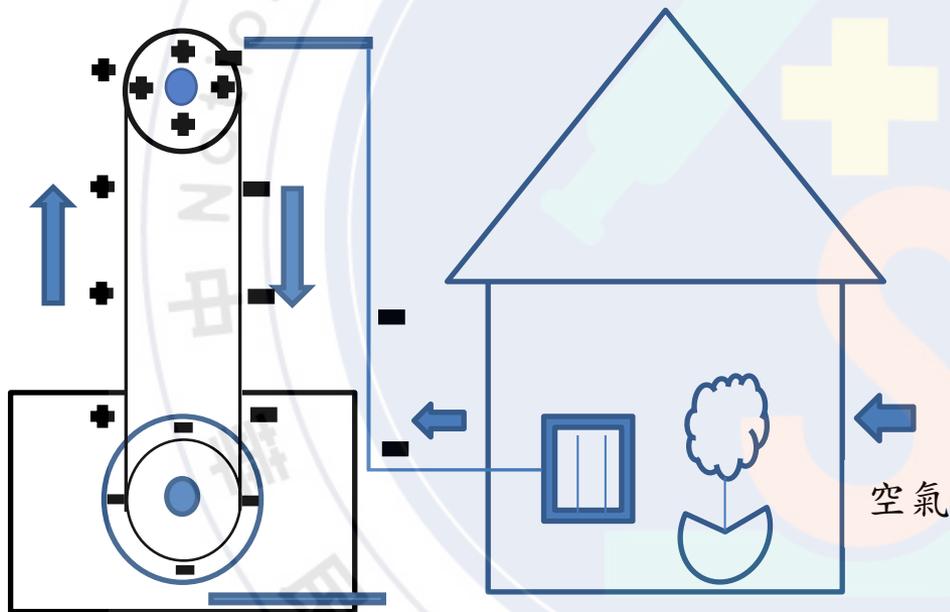




Research motivation

- 主動式靜電綠牆利用靜電吸附污染物質和風扇抽氣加速淨化空氣。
- 藉由製作模組的方式，配置相對有淨化能力的植物（薜荔、波士頓腎蕨及黃金葛），以去除不同空氣污染物。

Research method



范氏起電器



主動式靜電綠牆

Case study area



薛荔表面積：36,823 mm²



黃金葛表面積：110,479 mm²



波士頓腎蕨表面積：125,408 mm²



教室、辦公室

實驗地點

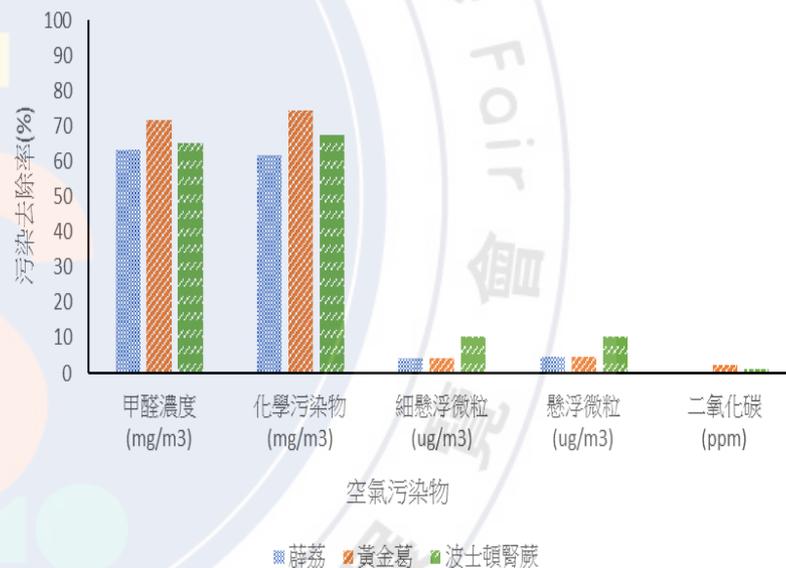
薛荔、黃金葛、波士頓腎蕨表面積

Results and discussion (1/4)

實驗一：高溫低濕的環境 (2021年10月6日，晴天)

2021年10月6日 監測值相關分析

監測值	溫度 (°C)	濕度 (%)	光照度 (lux)	表面積 (mm ²)	甲醛濃度 (mg/m ³)	化學污染物 (mg/m ³)	細懸浮微粒 (ug/m ³)	懸浮微粒 (ug/m ³)	二氧化碳 (ppm)
溫度 (°C)	1.00								
濕度 (%)	0.52	1.00							
光照度 (lux)	0.80	0.15	1.00						
表面積 (mm ²)	0.24	-0.09	0.00	1.00					
甲醛濃度 (mg/m ³)	0.15	0.64	0.13	-0.47	1.00				
化學污染物 (mg/m ³)	0.18	0.64	0.16	-0.48	1.00	1.00			
細懸浮微粒 (ug/m ³)	0.92	0.76	0.64	0.13	0.29	0.33	1.00		
懸浮微粒 (ug/m ³)	0.92	0.78	0.61	0.13	0.33	0.37	1.00	1.00	
二氧化碳 (ppm)	0.88	0.64	0.71	0.07	0.53	0.55	0.82	0.85	1.00



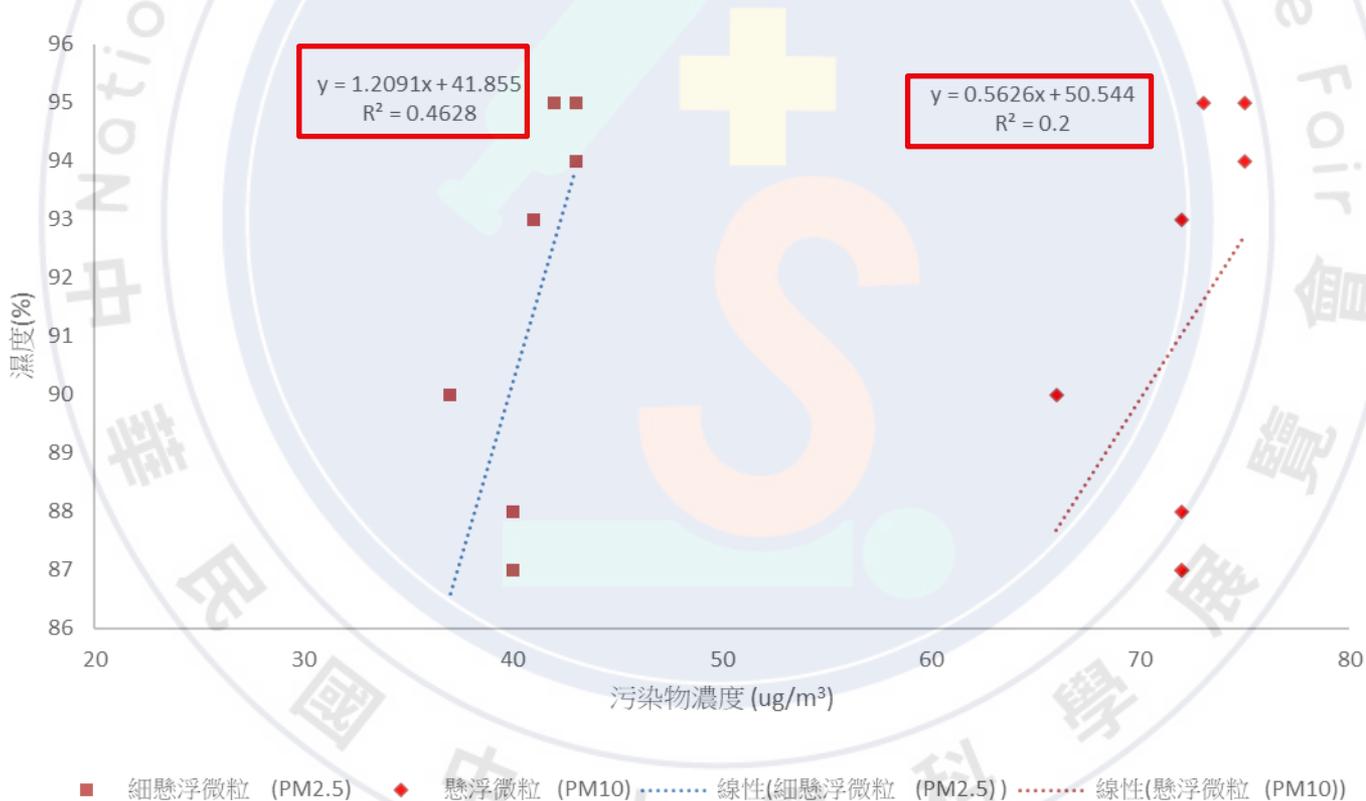
細懸浮微粒、懸浮微粒
R² 值分別為 0.57及0.61
P 值分別 0.007及0.004 (顯著，P<0.05)

薛荔、黃金葛、波士頓腎蕨污染去除率
(2021年10月6日)

Results and discussion (2/4)

實驗二：高溫高濕的環境 (2021年10月12日，陰雨天)

P值分別為 0.06、0.26 (非顯著， $P > 0.05$)



細懸浮微粒、懸浮微粒 R^2 值 (2021年10月12日)

Results and discussion (3/4)

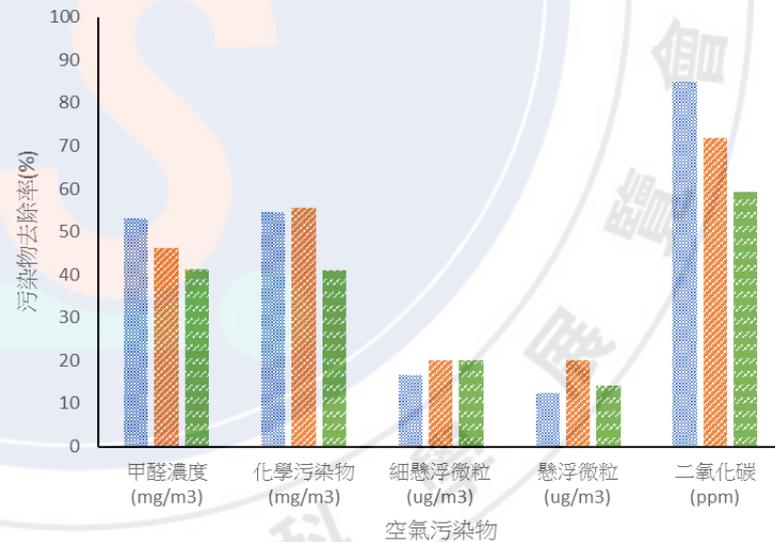
實驗三：低溫低濕的環境 (2021年11月9日，冷氣團)

污染物去除效率 (2021年11月9日)

植物種類	甲醛濃度	化學污染物	細懸浮微粒	懸浮微粒	二氧化碳
薜荔	86	86	15	11	34
黃金葛	75	77	12	7	29
波士頓腎蕨	93	94	12	10	38

單位:%

實驗四： 比較植物去除率 和植物加靜電去 除率(低溫低濕)

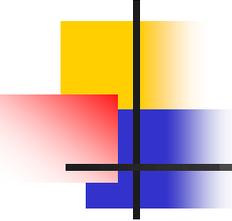


比較植物污染去除率和植物+靜電污染去除率 9

Results and discussion (4/4)

實驗五：低溫高濕的環境 (2022年2月22日，寒流)

- 正逢寒流及鋒面來到，氣溫驟降，大雨不斷。於低溫高濕度的環境，實驗空氣污染去除效率。
- 推估可知在低溫高濕(大雨)下，二氧化碳因水的溶解度提升，在低溫高濕度下其濃度最低。



Conclusions

- 一、本研究使用**主動式靜電綠牆**，以降低空氣中的污染物。
- 二、在**高濕度**的環境靜電對於PM_{2.5}及PM₁₀之去除效率不佳。
- 三、提升**葉表面積覆蓋率**將有效降低甲醛和化學污染物。
- 四、建議**去除灰塵**，以增加去除率，同時維護盆栽的美觀。
- 五、未來可運用於學校教室外牆上，**美化校園**環境。

References

- Acutis, M. Tadiello, T. Perego, A. Guardo, A. D. Schillaci, C. Valkama, E. (2022). EX-TRACT: An excel tool for the estimation of standard deviations from published articles. *Environmental Modelling and Software*, 147, 105236.
- Andric, I. Kamal, A. Al-Ghamdi, S. G. (2020). Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate: Case study of Qatar. *Energy Reports*, 6, 2476-2489.
- Boano, F. Costamagna, E. Caruso, A. Fiore, S. Chiappero, M. Galvão, A. Piseiro, J. Rizzo, A. Masi, F. (2021). Evaluation of the influence of filter medium composition on treatment performances in an open-air green wall fed with greywater. *Journal of Environmental Management*, 300, 113646.
- Ferreira, T. Rasband, W. (2012). Image J User Guide Ij 1.46. Revised edition from <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>
- Gunawardena, K. R. Wells, M. J. Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584-585, 1040-1055.
- Pugh, T. Mackenzie, A. Whyatt, J. D. Hewitt, C.N. (2012). Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environmental Science and Technology*, (46)14, 7692-7699.
- Qiu, G. Y. Li, H. Y. Zhang, Q. T. Chen, W. Ling, X. J. Li, X. Z. (2013). Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(8), 1307-1315.
- Wang, J. Norbäck, D. (2022). Subjective indoor air quality and thermal comfort among adults in relation to inspected and measured indoor environment factors in single-family houses in Sweden-the BETSI study. *Science of The Total Environment*, 802, 149804.
- William, R. Goodwell, A. Richardson, M. Le, P. V. V. Kumar, P. Stillwell, A. S. (2016). An environmental cost-benefit analysis of alternative green roofing strategies. *Ecological Engineering*, 95, 1-9.
- Woodhouse, C. A. Smith, R. M. McAfee, S. A. Pederson, G. T. McCabe, G. J. Miller, W. P. Csank, A. (2021). Upper Colorado River Basin 20th century droughts under 21st century warming: Plausible scenarios for the future. *Climate Services*, 21, 100206.
- World Health Organization (WHO). https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1
- U.S. Environmental Protection Agency. (1991, February). Office of Air and Radiation. Indoor Air Facts No. 4: Sick Building Syndrome.
- 行政院環境保護署 (2007)·淨化室內空氣之植物應用及管理手冊·臺北市：張國龍。
- 行政院環保署網站<https://freshair.epa.gov.tw/houseplant/index.asp>。
- 彭光輝、蔡淑瑩、詹祐誠 (2012)·低碳優質生活：植生綠化科技應用於永續綠建築之研究·國立臺北科技大學。
- 陳逸萍、楊文慧、何明錦 (2020)·垂直綠化型態偏好之探討·2020中華民國營建工程學會第十八屆營建產業永續發展研討會。
- 曾瑞蓮、黃仁偉、鍾賢、陳政岑、許馨月、朱偉薺、洪偉清 (2016)·靜電產生器設計製作與推廣·*物理教育學刊*，17，75-86。
- 臺北市環保局 (1987)·空氣污染概說·台北市政府環境保護局。