

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 環境學科

探究精神獎

052602

「霾」在校園中的秘密—PM2.5 對植物光合作用的影響

學校名稱：國立斗六高級中學

| | |
|---------------------------------|------------------|
| 作者： 高二 袁丞緯 高二 黃柏豪 | 指導老師： 陳讚昌 |
|---------------------------------|------------------|

關鍵詞：霾、環境逆境、PM2.5

摘要

分析雲林四地區 $PM_{2.5}$ 濃度變化，發現在夏季最低，主要原因是西南季風擾動。而斗六地區明顯高於其他三鄉鎮，推測其原因為夏、冬盛行風向不同而導致 $PM_{2.5}$ 沉降於本身為丘陵地的斗六。再加上海風將麥寮五輕、六輕 $PM_{2.5}$ 細懸微粒吹向本身為畚箕地形所致。

在利用碘液變色法觀測 $PM_{2.5}$ 對植物光合速率之影響實驗發現，因要剪下葉片影響植物生長，且裝置無法控制 $PM_{2.5}$ 濃度，加上用澱粉含量的變化來代表光合效率不易準確掌控；而利用氧氣生成和二氧化碳消耗較為直接，因而自製可換氣、控制 $PM_{2.5}$ 濃度、紀錄 O_2 、 CO_2 濃度<空汙光合檢測儀>。

在測定日日春和虎尾蘭兩种植物的實驗中發現：植物會因為短期內處在含較高濃度的 $PM_{2.5}$ 逆境，而改變其光合效率以「求生存」。比較兩种植物受 $PM_{2.5}$ 影響光合速率結果發現，日日春受到的影響比虎尾蘭來得明顯，推測其主要的的原因可能是 $PM_{2.5}$ 會阻礙光照量，而虎尾蘭是室外耐陰植物所以受影響較小。

壹、研究動機

近年來，雲林縣幾乎天天紫爆，尤其學校所處的斗六地區濃度特別高，怪不得早晨上學的時候，天空總是灰朦朦的一片，很難看到早上初升太陽，雨後的天空也沒有彩虹，湛藍深遠的天空消失不見了.....，連我也被這一片片的浪漫給「埋沒」了。很好奇造成斗六地區高濃度的 $PM_{2.5}$ 原因為何？

人們在面對這片浪漫的霧霾時，可以減少戶外活動保護自己，而植物呢？植物一直扮演著淨化空氣的角色，而人們又是如何回報它呢？又會對它造成什麼傷害呢？所以我們想針對校園常見的植物，選擇適當研究對象利用測定光合作用效率，來觀測 $PM_{2.5}$ 對植物的生理是否會產生負面影響或是植物能否降低吸收淨化 $PM_{2.5}$ 的能力。

貳、研究目的

- 一、分析雲林地區 $PM_{2.5}$ 濃度變化，以探討斗六地區高濃度 $PM_{2.5}$ 的可能原因。
- 二、利用碘液變色法觀測 $PM_{2.5}$ 對植物的光合速率之影響。
- 三、自製<空汙光合檢測儀>
- 四、利用自製<空汙光合檢測儀>來測定不同 $PM_{2.5}$ 對植物的光合速率之影響。

參、研究設備及器材

一、儀器設備：

表一、研究器材

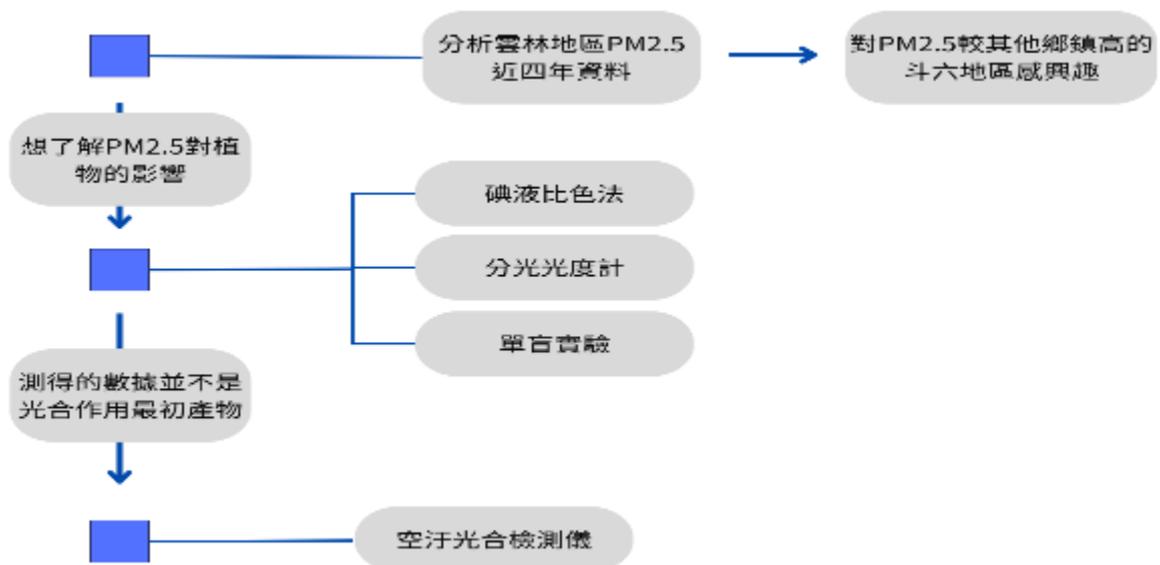
| | |
|--|---|
| (一) 5mm 木板 | (二) 水族軟管 |
| (三) PM _{2.5} 檢測儀 (PMS5003T、AirRunQ10) | (四) 氧氣、二氧化碳檢測儀 (AirRunQ10、Lutron PO2-250) |
| (五) 繼電器 | (六) 植物燈 |
| (七) 透明壓克力箱、底座×2 | (八) 370 幫浦 |
| (九) 光照度 | (十) 空氣清淨機 |
| (十一) PWM 控制器×6 | (十二) 電腦電源供應器 |
| (十三) 線香 | (十四) 電線接頭 |
| (十五) arduino×3 | (十六) 電腦風扇×2 |
| (十七) 鋸台 | (十八) 電鑽 |
| (十九) 電腦×2 | (二十) 自製<空汙光合檢測儀> |

二、實驗植物

(一)、日日春 (二)、變色木 (三)、虎尾蘭

肆、研究過程及方法

研究流程圖



一、雲林地區四年 PM_{2.5} 資料分析之實驗步驟

- (一)、將空氣品質檢測網提供的歷年監測資料（參考資料七），匯入 Excel 中。
- (二)、新增「篩選器」以利快速尋找出 PM_{2.5} 資料。
- (三)、將資料依測站、年分，另外製成一個表格，如下圖二所示。

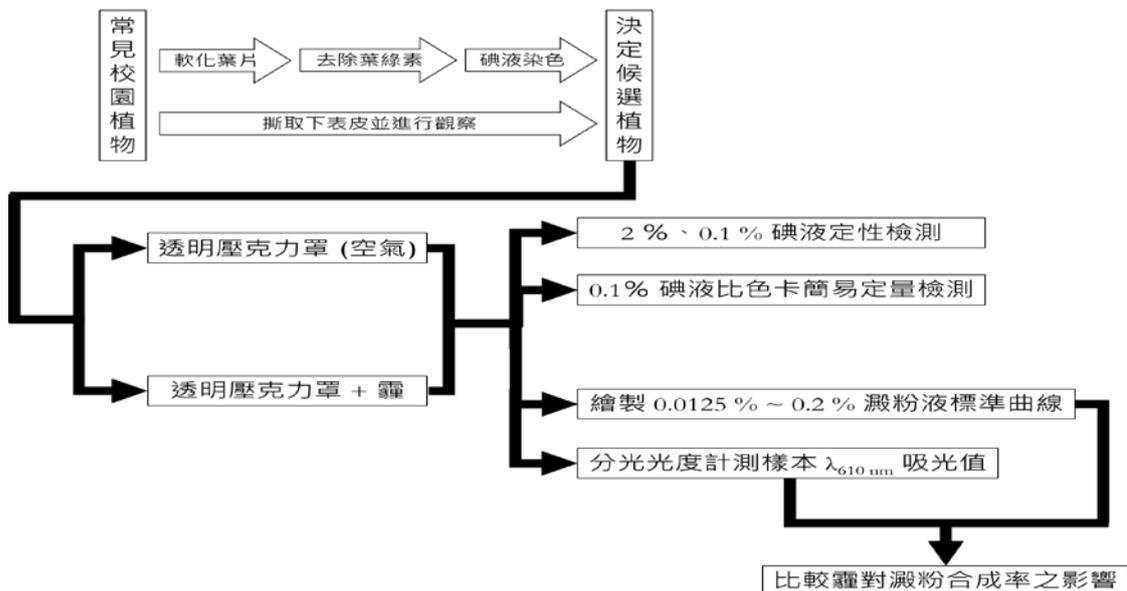
| 測站 | 一月 | 二月 | 三月 | 四月 | 五月 | 六月 | 七月 | 八月 | 九月 | 十月 | 十一月 | 十二月 |
|-----|--------|--------|--------|-------------|-------|--------|------------|------------|--------|------------|-------------|-------------|
| 斗六 | 20.125 | 42.375 | 23.375 | 25.33333333 | 21.64 | 50.037 | 0.20333333 | 5.41666667 | 10.178 | 7.94333333 | 47.43333333 | 23.33333333 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

圖一、分析資料示意圖

- (四)、將各月份 PM_{2.5} 濃度平均數繪製成圖表。
- (五)、比較斗六地區近四年資料，找出 PM_{2.5} 濃度是否會有季節性變化。
- (六)、比較雲林、嘉義、臺南地區 PM_{2.5} 濃度近四年變化、季節差異。

二、利用碘液變色法觀測 PM_{2.5} 對植物的光合速率之影響。

(一)、實驗流程圖



(二)、實驗步驟：

- 1、將小盆栽置於透明壓克力箱子，並用黑色塑膠袋包住箱子黑暗三天。
- 2、三天後，將黑色塑膠袋拿掉。

[實驗組]：

於早、中、晚在箱子內點線香製造煙霧，並以空氣品質檢測儀檢測箱內霾濃度，使濃度維持一定。

[對照組]：同步實驗組早、中、晚打開壓克力箱。

於一日、二日、三日、四日、五日、六日、七日，採集實驗組和對照組的葉片，進行澱粉測試。

- 3、用剪刀裁剪 0.50 公克葉片，將日日春葉子置於熱水中 5 分鐘，變色木 20 分鐘，軟化葉片。
- 4、以酒精隔水加熱日日春 5 分鐘，變色木 20 分鐘，去除葉綠素。
- 5、將葉片用溫水漂洗乾淨，放入果汁機中，並加入 10ml 蒸餾水攪拌 1 分鐘。
- 6、將葉片汁液倒入濾紙過濾。
- 7、用移液滴管量取濾液 5ml，並加入 0.1% 碘液 2ml 混合，並利用自製澱粉碘液比色卡，採用單盲實驗觀察澱粉量。
- 8、迅速將混合液倒入 3.5ml 樣品槽，波長設定 610 nm，利用分光光度計測吸收值，定量澱粉含量。
- 9、將濾紙上的葉子取下，置於培養皿中，加入 0.1% 碘液 1ml 浸泡，靜置 2 分鐘後，採用單盲實驗觀察澱粉量。

三、自製<空汙光合檢測儀>

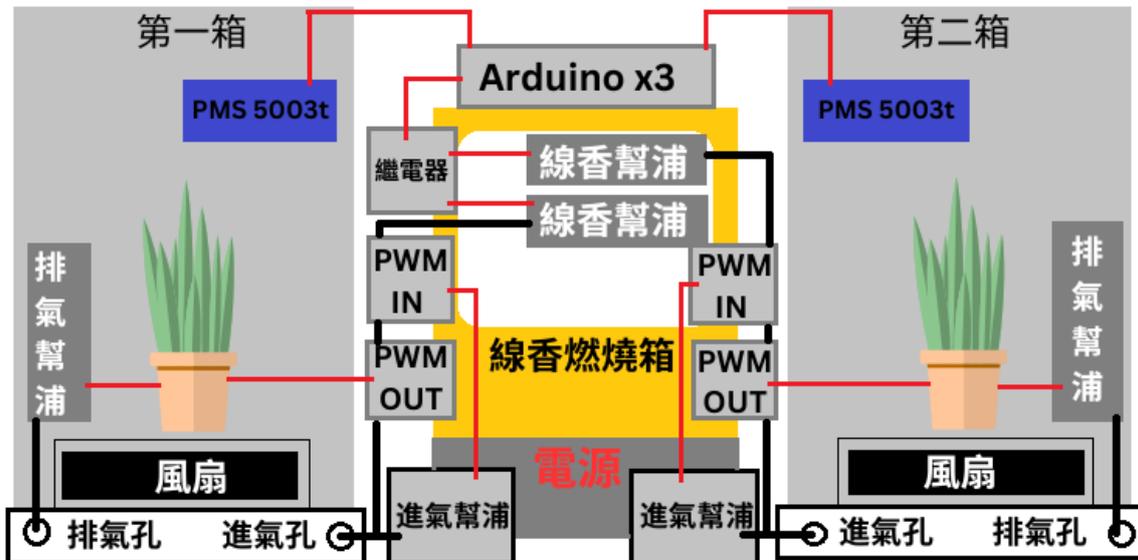
(一)、自製實驗裝置製作原因：

在利用碘液變色法觀測 PM2.5 對植物的光合速率之影響，實驗過程及結果發現：

1. 此方法要剪下葉片因而影響植物生長，且裝置無法控制 PM2.5 濃度，實驗後發現植物外觀，生長情形不佳及葉片泛黃及導致死亡。
 2. 利用澱粉含量的變化來代表光合效率不易準確掌控，原因是澱粉非光合作用直接產物，而應利用氧氣的生成和二氧化碳的消耗較為直接。
- 基於上述原因，因此才萌發自製<空汙光合檢測儀>的想法。

(二)、實驗裝置製作

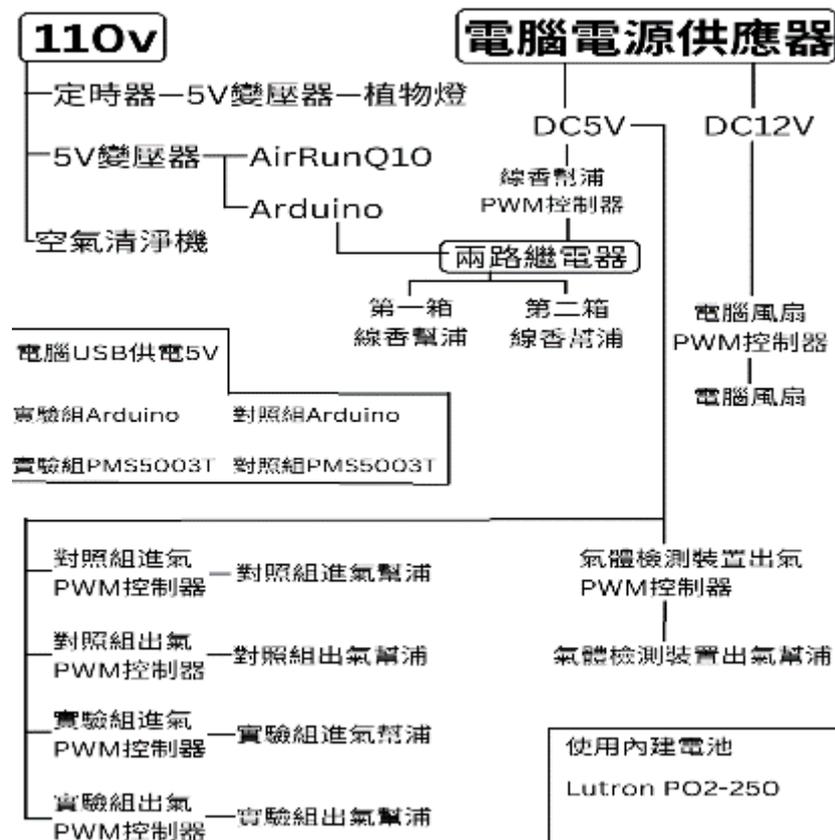
- 1、設計原則: 模組化大量採用快速接頭方便裝置維修拆裝、運輸。
- 2、實驗裝置分為三部分: 由推車、裝置本體、氣體檢測裝置組成。
- 3、裝置設計概念圖



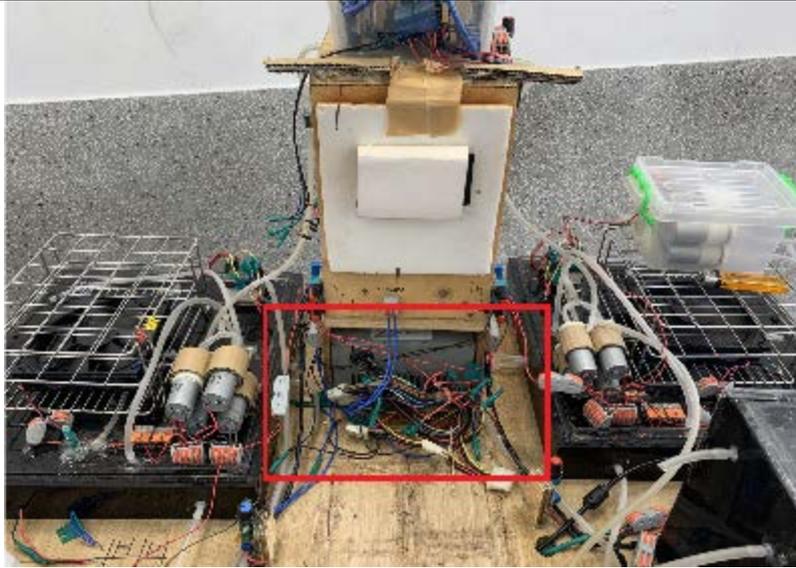
(圖二)裝置設計概念圖

4、實驗裝置設計細部介紹

(1)電力系統概念圖

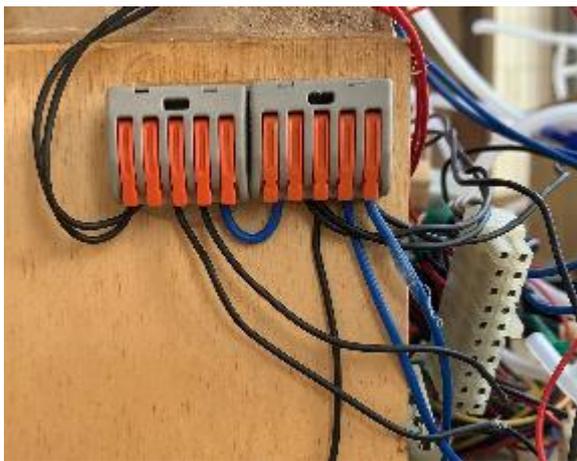


電腦電源供應器為裝置電力來源，有多種電壓，帶短路保護、功率大，長時間供電較安全，位在線香燃燒箱下方，請見下圖。

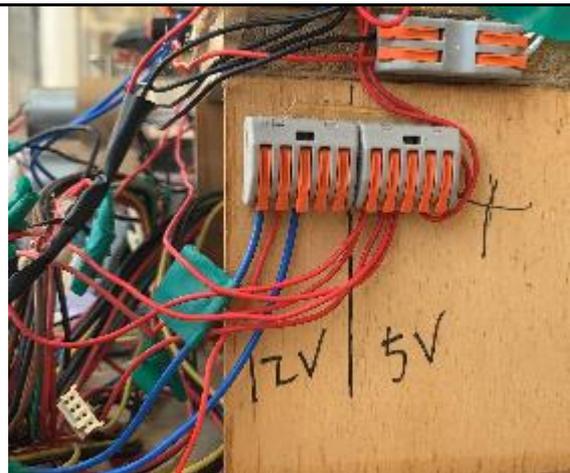


(圖三)紅框內為電腦電源供應器

拉出電源供應器 DC5V、12V，以電線快速接頭做配電系統。再接上器材，留增設與維修餘裕。左側為整座裝置的接地；右側則是 5V、12V。5V 為實驗中的幫浦使用；12V 為風扇使用。請見（圖四、五）

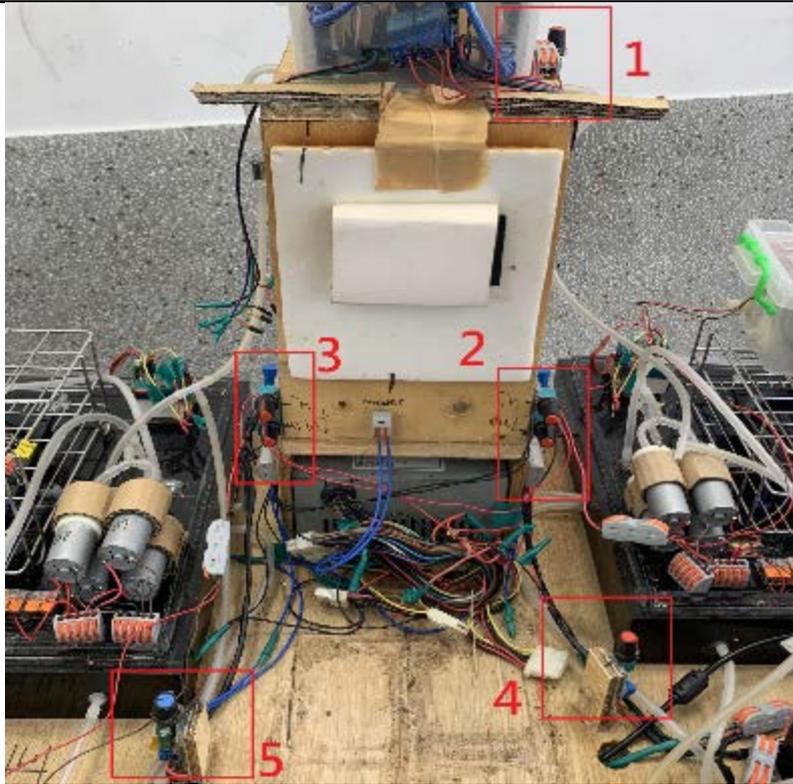


(圖四) 接地端兩接頭以跳線方式連接



(圖五) DC12V 與 DC5V

實驗使用 PWM 控制器控制實驗、對照組進、排氣；氣體檢測裝置排氣；線香幫浦；風扇轉速；PWM 控制器共有七個，請見下圖六個旋鈕部分。編號 1 至 5 依序為線香幫浦、第二箱進出幫浦、第一箱進出幫浦、氣體檢測裝置出氣幫浦、箱內風扇轉速 PWM 控制器。



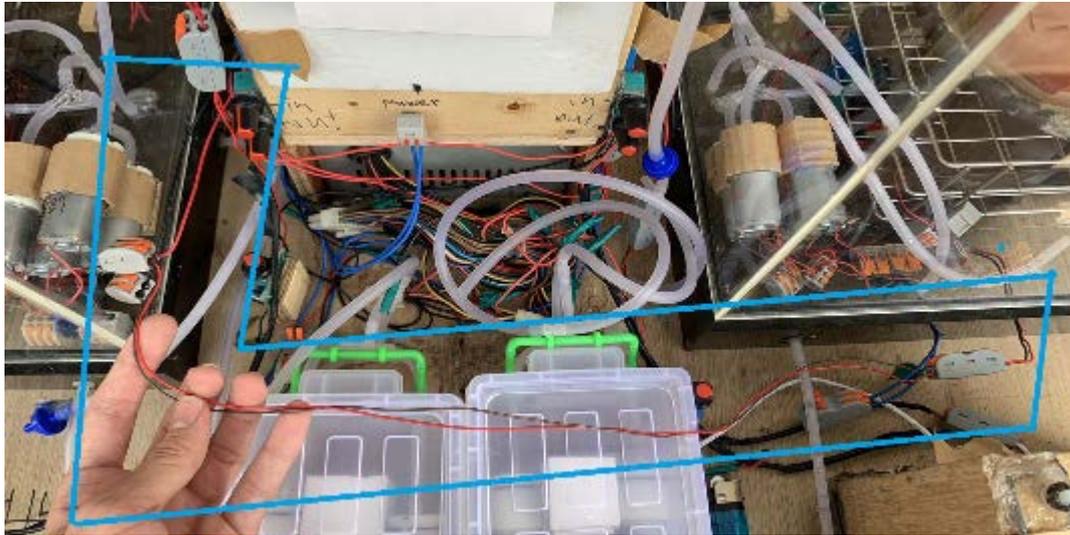
(圖六)PWM 控制器分布圖

實驗時少數時間日照較少，實驗裝置上有兩組植物燈，搭配光照度計每日測試，在光照不夠時補充光照，運用計時器搭配調校盡量使每日光照度接近。請見下圖



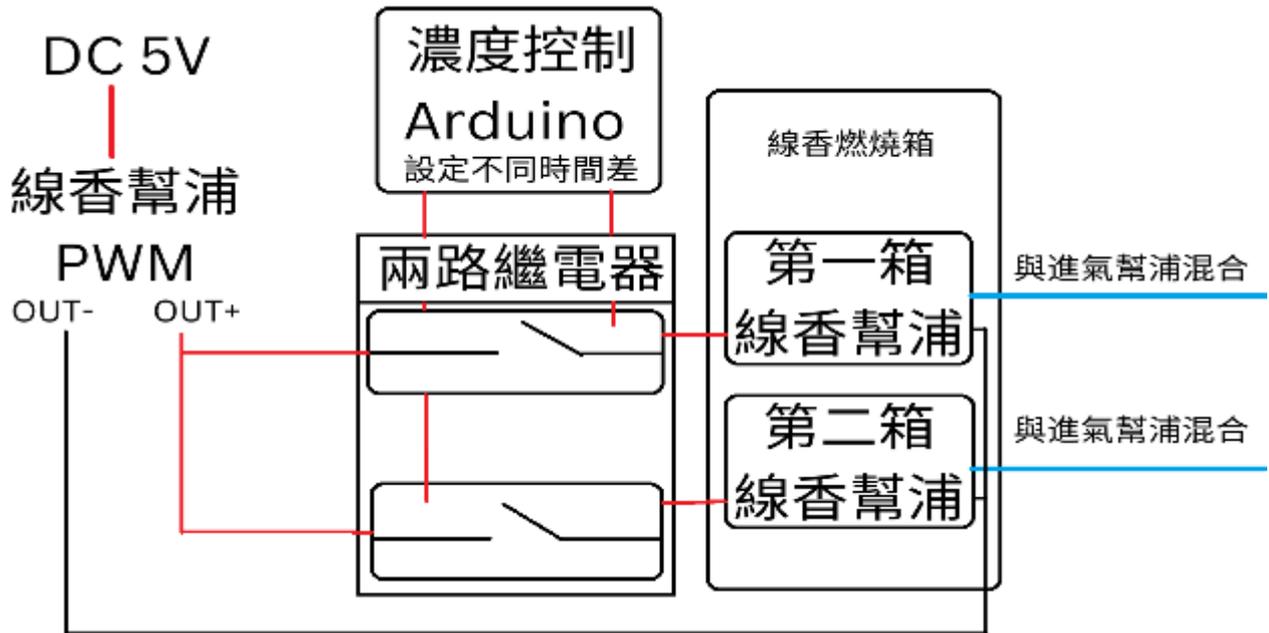
(圖七)植物燈運用

裝置特別準備電線接頭加上一段長電線當作跳線應變突發裝況，當有控制器或馬達損壞，可以交叉檢測或暫時替代。如下圖藍色方框。



(圖八)對照組進氣 PWM 控制器利用跳線控制實驗組出氣幫浦。

(2) PM2.5 濃度控制概念圖

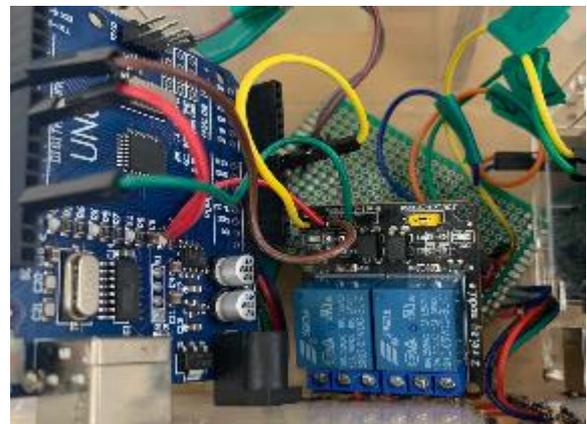


(圖九) 控制機制

Arduino 搭配兩路繼電器控制線香幫浦調整 PM_{2.5} 濃度，運用馬達作動時間間隔讓實驗組濃度維持在該級距內，一路個別控制一組線香幫浦，測出時間後輸入 Arduino 24 小時運作。

```

Arduino 編輯 在何種 工具 說明
PM2.5_
1 void setup() {
2   pinMode(7, OUTPUT); //第七腳位接2號IN
3   pinMode(9, OUTPUT); //第九腳位接1號IN
4 }
5
6 void loop() {
7   digitalWrite(7, HIGH); //2號高電壓設定時間
8   delay(1000);
9   digitalWrite(7, LOW); //2號低電壓設定時間
10  delay(40000);
11  digitalWrite(9, HIGH); //1號高電壓設定時間
12  delay(1000);
13  digitalWrite(9, LOW); //1號低電壓設定時間
14  delay(40000);
15 }
    
```



(圖十)Arduino 程式

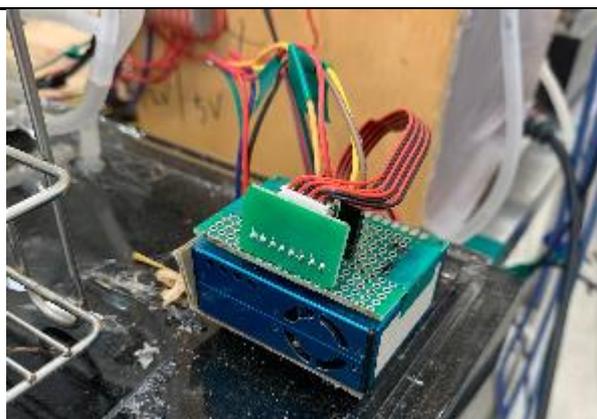
(圖十一)PM_{2.5}控制 Arduino 與繼電器

空箱測試出的馬達時間數據，高電壓為馬達作動時間

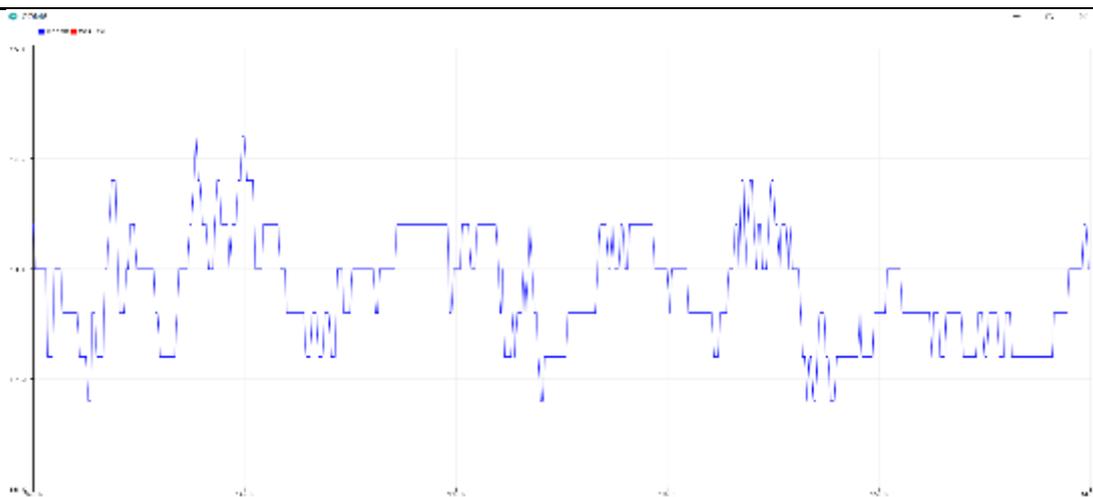
表二、特定 PM_{2.5} 濃度對繼電器之設定

| | PM _{2.5} 濃度 | 高電壓 | 低電壓 |
|-----|----------------------|------|------|
| 第一組 | 1-15.4 | 無須設定 | |
| 第二組 | 15.5-35.4 | 1 秒 | 40 秒 |
| 第三組 | 35.5-54.4 | 1 秒 | 25 秒 |
| 第四組 | 54.5-150.4 | 1 秒 | 4 秒 |

PMS5003(圖十二)兩組壓克力箱各有一套來監測箱內 PM_{2.5} 濃度的儀器，將接上 arduino 搭配程式，可以自由設定紀錄數據的間隔，實驗中全程繪製折線圖確保實驗中濃度都有保持在該級距濃度。接線設計使用杜邦接頭方便拆裝。濃度監測折線圖請見(圖十三)

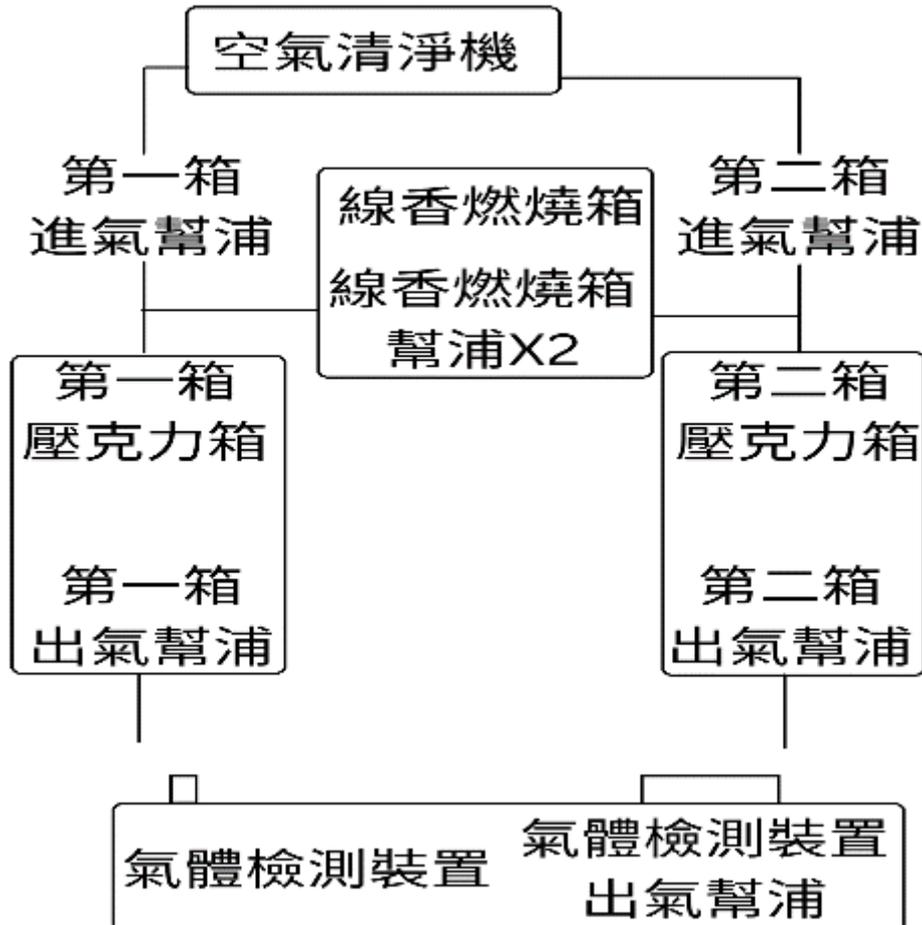


(圖十二)



(圖十三)濃度監測圖

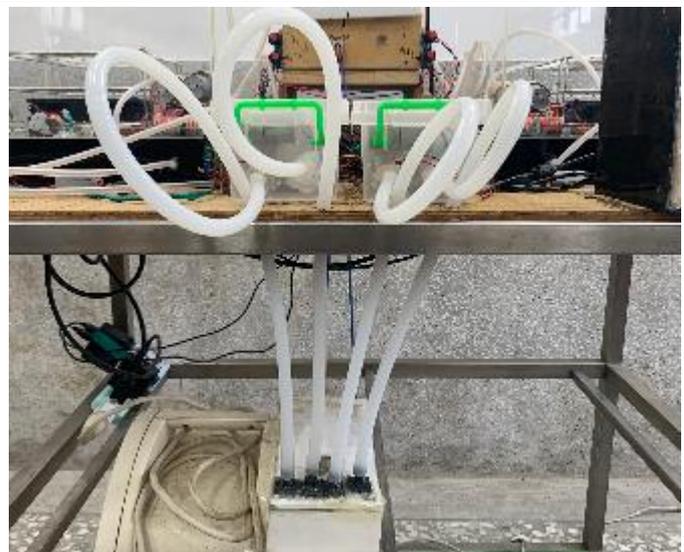
(3)、氣體系統概念圖



空氣清淨機提供穩定氣體，低級距的濃度範圍很小，PM_{2.5}的調控上必須有濃度低、穩定的來源。空氣清淨機排氣口以集氣罩搭配矽膠管導至進氣幫浦的位置。

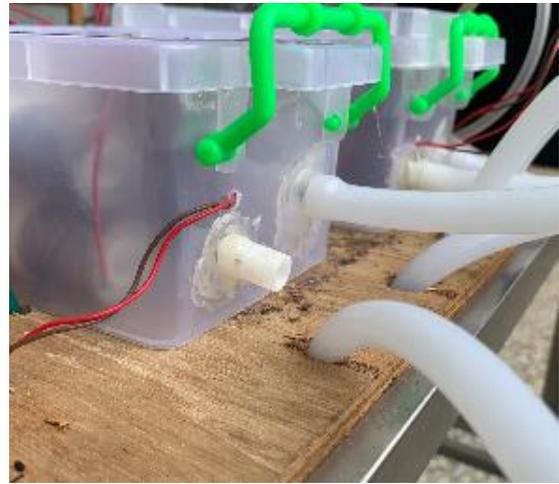
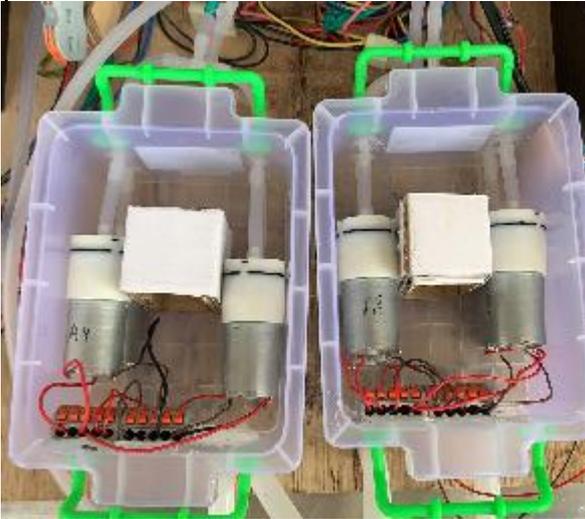


(圖十四)集氣罩與 3D 列印矽膠管接頭



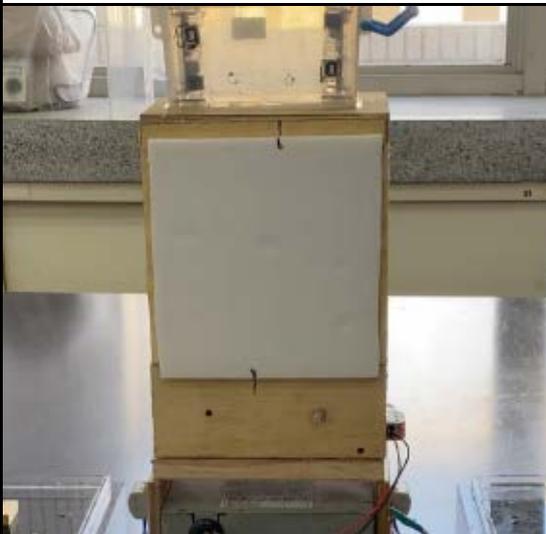
(圖十五)氣體管線

進氣幫浦分別設置在兩個可開的盒子裡，從 PWM 控制器到盒子接上快速接頭，幫浦再接上快速接頭，此設計方便更換幫浦。進氣幫浦打出氣體與線香幫浦打出氣體混合後一起進入壓克力箱內。幫浦為四顆 370 幫浦並聯成四聯裝幫浦組延長馬達壽命。



(圖十六)左右側依序為第一、第二箱進氣幫浦 (圖十七)3D 列印接頭與矽膠管連接

線香燃燒箱為一木箱，箱口有一蓋子，箱子上塑膠盒為放置 3 台 Arduino 的地方，請見(圖十八)。木箱內燃燒線香，箱子頂端有鉤子將香懸空吊著避免停止燃燒及危險，內有二打氣幫浦(線香幫浦)，以 3D 列印架子固定在箱子頂部，將線香產生的 $PM_{2.5}$ 打入進氣管線混和實驗所需指定 $PM_{2.5}$ 濃度的空氣，請見 (圖十九)。

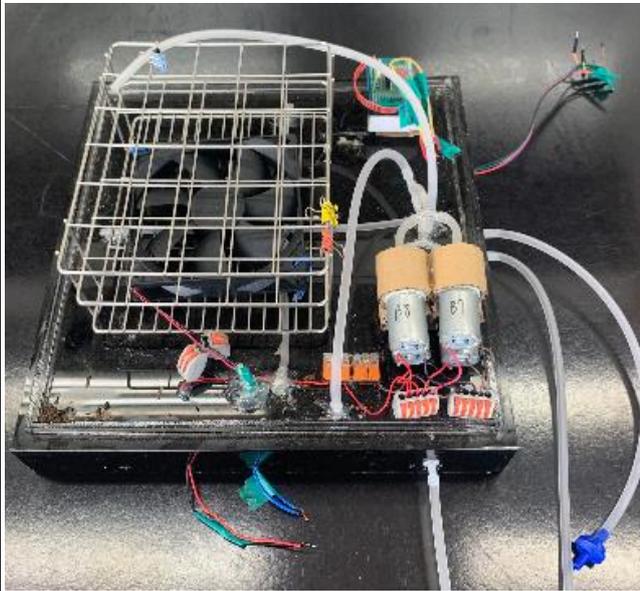


(圖十八) 線香燃燒箱外觀與上方塑膠盒 (圖十九)線香燃燒箱內部配置

壓克力箱底座（圖二十），圖中風扇放在試管架中層，目的是不要使植物壓在風扇上以及加高風扇使風扇避免無法造成氣流，兩箱風扇共用一個 PWM 控制器控制轉速。

PWM 控制器 OUT 端以快速接頭與排氣幫浦、風扇拉出底座的電線相連

管線穿越底座部分使用氣體接頭使管線不受擠壓影響、方便拆裝。另設有澆水管線，其管線外有一逆止閥防止箱內氣體、管內殘餘水逆流。



底座右上角為 PMS5003 與訊號線

右下角為排氣幫浦

右側管線是澆水管線(藍色逆止閥)與進氣管線

底座下方由左而右依序為排氣管線；風扇電線；幫浦電線

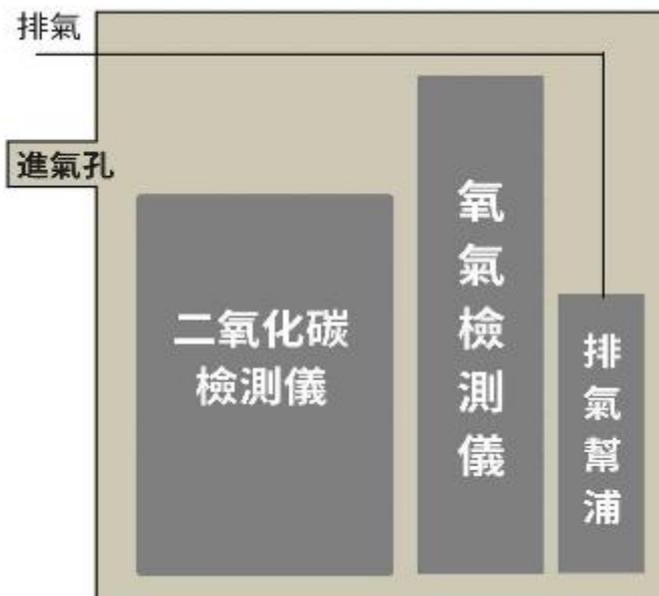
(圖二十)壓克力底座與相關設備擺放

澆水方式請見(圖二十一)，開始實驗時必須將長尾夾夾在盆栽導引管線，以澆水瓶單向把水擠入盆栽自製澆水器經由逆止閥送水。

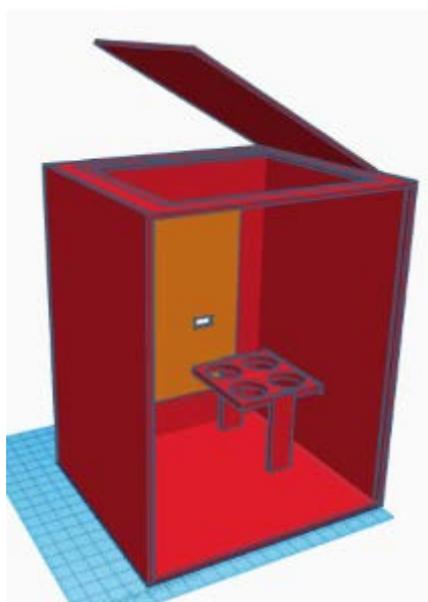


(圖二十一)管線穿過底座連結盆栽

(4) 氣體檢測裝置概念圖



氣體檢測裝置（圖二十二、二十三）以 3D 列印構成，後方四個洞部件為馬達架，上有一蓋子，內有 AirRunQ10(CO₂、PM_{2.5} 檢測儀)、Lutron PO2-250(O₂ 濃度檢測儀)，排氣幫浦。可檢測實驗、對照組、進排氣。

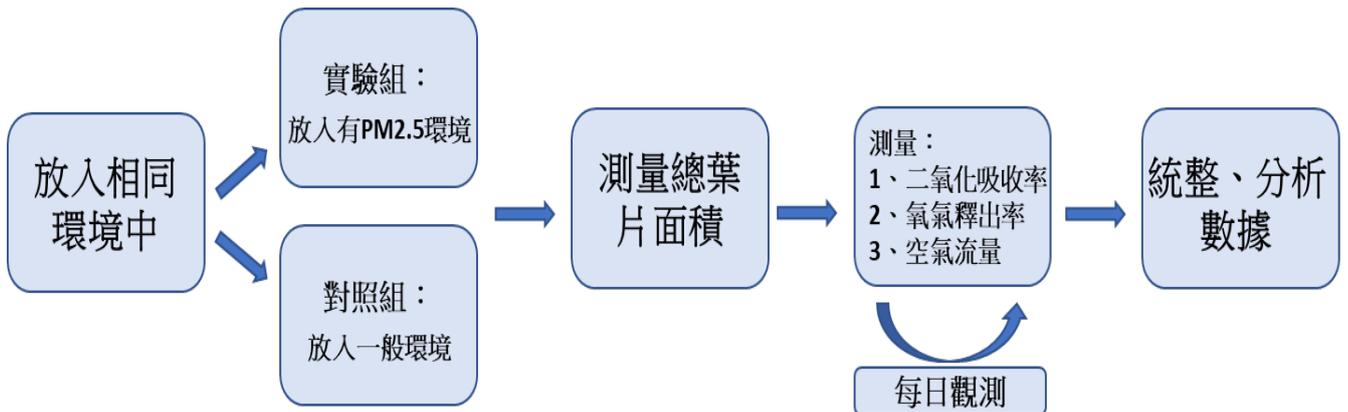


(圖二十二) 氣體檢測裝置設計圖



(圖二十三) 左為 AirRunQ10，右為 Lutron PO2-250

四、利用自製<空汙光合檢測儀>來測定不同 $PM_{2.5}$ 對植物的光合速率之影響。

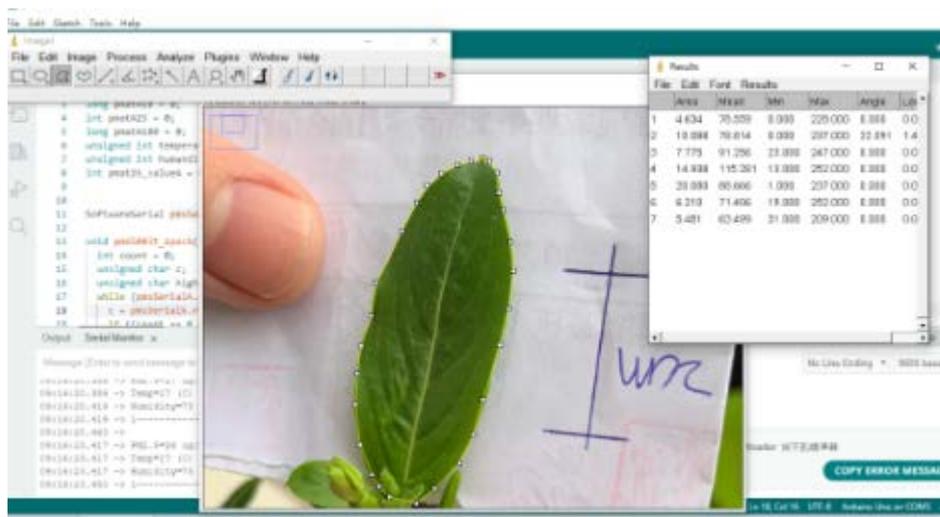


圖二十四、實驗流程圖

(一)、將待測物置入透明壓克力箱中，通入乾淨空氣照光數日，使對照組及實驗組初始環境、光合速率一致。

(二)、利用軟體 **imageJ**，測出植物葉片總面積

- 1、將畫有兩公分線段的白色紙卡放置於植物葉片下方並拍照。
- 2、將圖片檔案傳輸至 **imageJ** 中，並開啟之。
- 3、利用白紙上刻度調整比例尺。
- 4、圈選葉片範圍。



圖二十五、imageJ 示意圖

5、重複以上步驟至測量完所有植株葉片面積。

(三)、依行政院環境保護署公告之空氣品質指標對照表（參考資料一），將實驗組劃分為七組，分別為 0.0 - 15.4、15.5 - 35.4、35.5 - 54.4、54.5 - 150.4、150.5 - 250.4、250.5 - 350.4、350.5 - 500.4，單位為 $\mu g/m^3$ 。每類進行至光合速率趨於穩定方停止。

(四)、利用自製<空污光合檢測儀>，測得數據。

(五)、紀錄數據並代入國立中興大學生物系統工程研究室·陳加忠 提出之光合速率公式（參考資料二），求得光合速率。

1、陳加忠提出之光合速率公式:

$$A_1 = \frac{u(C_e - C_i)}{\text{area}}$$

$$A_2 = \frac{u(C_e - C_i)}{\text{area}} \times \frac{(1 - W_i)}{(1 - W_e)}$$

$$R_1 = \frac{u(O_i - O_e)}{\text{area}}$$

$$u = M' \times G_{mol}$$

在此 A1 與 A2 為二氧化碳釋出率,R1 為氧氣吸收率。u 為空氣流量,Ce 與 Ci 為送出與進入同化箱之空氣內二氧化碳濃度,Oe 與 Oi 為送出與進入同化箱內之空氣氧氣濃度,Wi 與 We 為送出與進入同化箱之空氣絕對濕度,area 為樣本葉面積,M, 為空氣量 Gmol 為空氣內氧氣或二氧化碳莫耳數。

2、實驗植株的葉片大小視為定值。

3、實驗環境濕度控制一致，濕度不計。

4、光合速率公式：

(1)、二氧化碳吸收率=(排出時二氧化碳濃度-進入時二氧化碳濃度)/葉片面積

(2)、氧氣釋出率=(進入時氧氣濃度－排出時氧氣濃度)/葉片面積。

(3)、備註：若二氧化碳吸收率為負值，則此植物光合作用>呼吸作用。

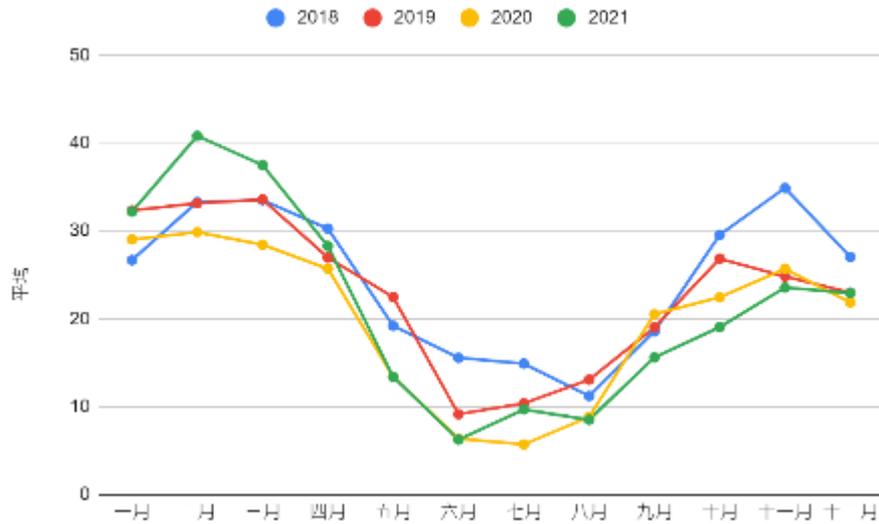
本實驗因二氧化碳濃度變化較氧氣明顯，故公式採取「二氧化碳吸收率」，公式單位為 ppm/cm²。

(六)、整理數據並找出 PM2.5 與植物行光合作用速率的關聯性。

伍、研究結果

一、雲林地區近四年(2018~2021)PM_{2.5}濃度數據分析 PM_{2.5}濃度變化。

(一)、斗六地區

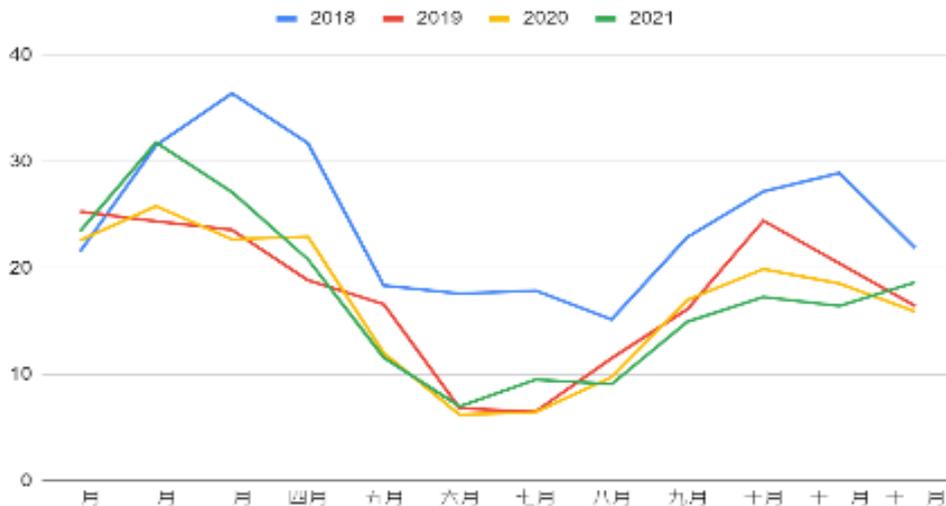


圖二十六、斗六地區近四年 PM_{2.5}濃度曲線圖

由上圖可知:

- (1) 每年夏季 PM_{2.5}濃度明顯低於冬季 PM_{2.5}濃度
- (2) 2021 年春季 PM_{2.5}濃度相對較高，推測是因為 2021 年春季乾旱、弱風致空污 PM_{2.5}惡化。
- (3) 夏季 PM_{2.5}濃度有逐年下降趨勢。

(二)、麥寮地區西元 2018 年至 2021 年比較

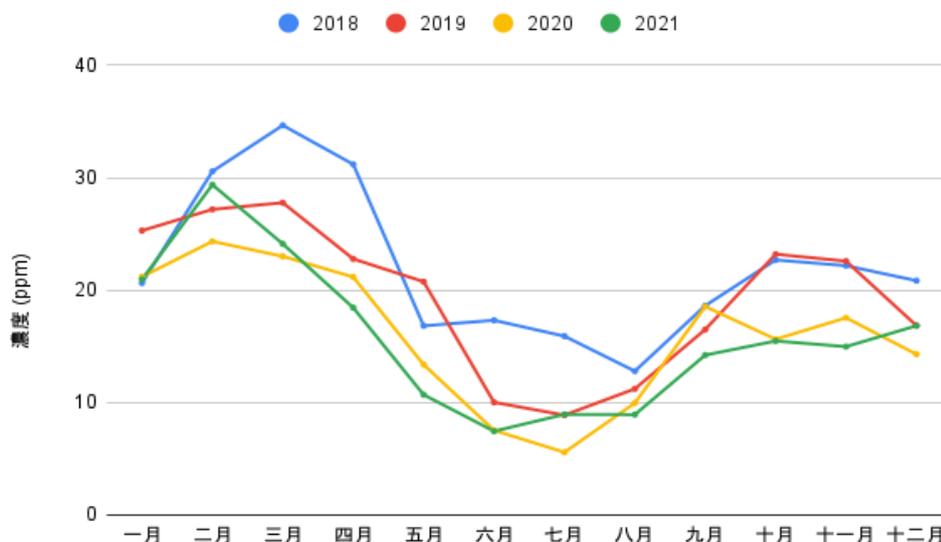


圖二十七、麥寮地區近四年 PM_{2.5}濃度曲線圖

由上圖可知：

- (1) 2018 年後，PM_{2.5} 濃度明顯下降，上網查詢相關資料，推測六輕在體檢過後，在降低空氣汙染程度方面有明顯改善，參考資料如（參考資料八）。

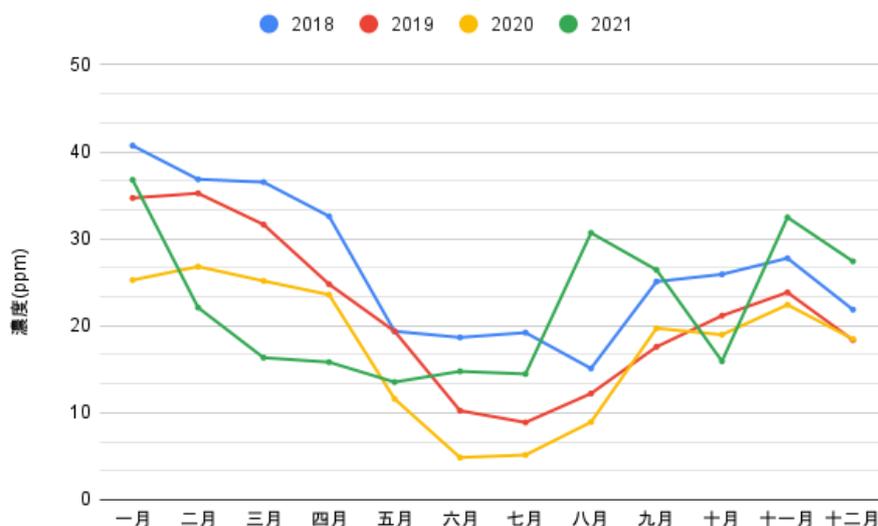
(三)、台西數據



圖二十八、台西地區近四年 PM_{2.5} 濃度曲線圖

由（圖二十八）可知，PM_{2.5} 濃度有逐年降低趨勢，但 2021 年春季較為乾燥、弱風，故 2 月數據較去年（2020）及前年（2019）高。

(四)、崙背數據

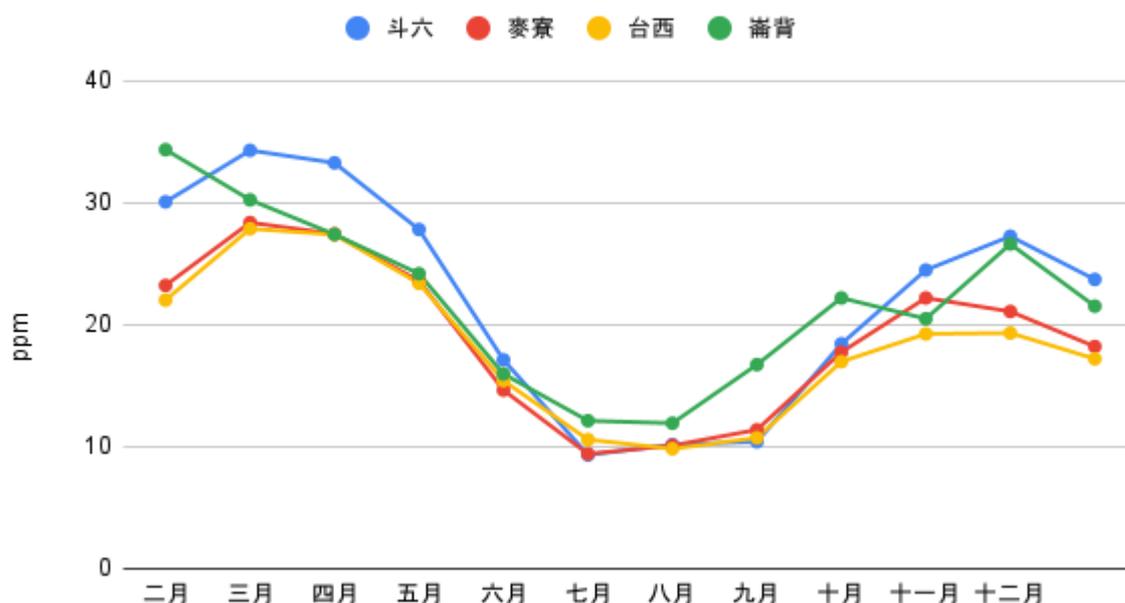


圖二十九、崙背地區近四年 PM_{2.5} 濃度曲線圖

由上圖（圖二十九）可推論，崙背鄉於 2021 年夏、冬較前兩年數據高。

(五)、雲林地區(斗六、麥寮、台西、崙背)西元 2018 年至 2021 年平均值之比較。

斗六、麥寮、台西和崙背 2018-2021 平均



圖三十、斗六、麥寮、台西、崙背地區近四年 PM_{2.5} 濃度曲線圖

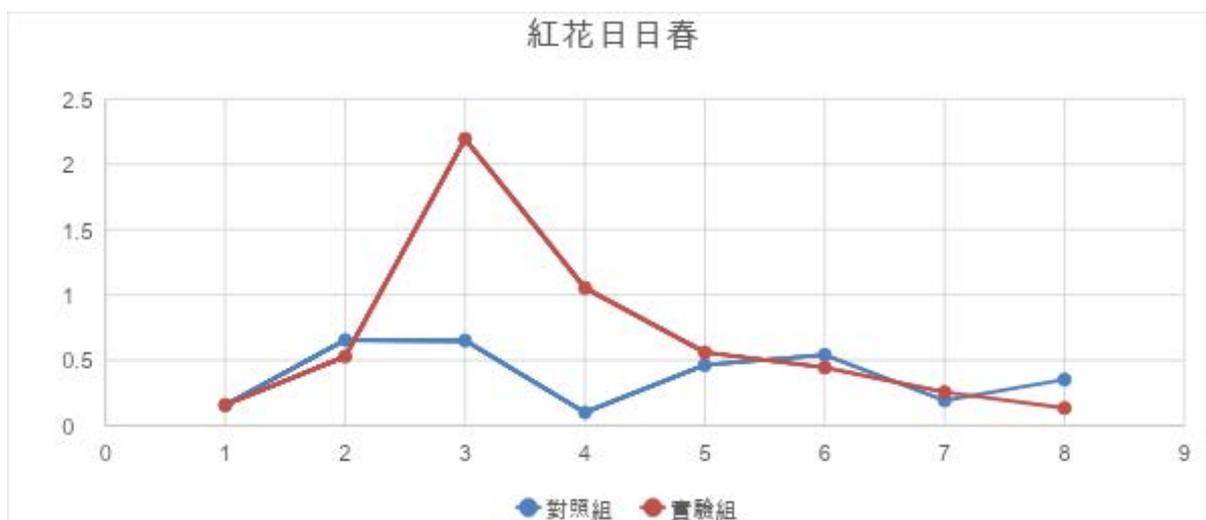
由上圖可觀察出，四地區 PM_{2.5} 濃度變化大致相同，都是在夏季最低，其他季節較高。在四地區中特別斗六地區在非夏季的季節濃度皆相較於其他地區來得高高。而 2021 年崙背數據與其他三個地區數據差異較大，但前三年未與其他測站有顯著差異，推測其不是因為地形影響，而是因為「本地汙染物」影響。

二、利用碘液變色法觀測 PM_{2.5} 對植物的光合速率之影響。

(一) 紅花日日春：

表三、碘液法實驗——紅花日日春

| 紅花 日日春 | 分光光度計 | | 自製澱粉濃度比色卡 | | 單盲實驗 | | 註 |
|-----------|-------|-------|-----------|-------|------|-----|-----|
| | 對照組 | 實驗組 | 對照組 | 實驗組 | 對照組 | 實驗組 | |
| 0 日 | 0.157 | 0.157 | 0.01% | 0.01% | 淺 | 淺 | 雨天 |
| 1 日 | 0.654 | 0.529 | 0.09% | 0.06% | 深 | 淺 | 陰天 |
| 2 日 | 0.651 | 2.194 | 0.09% | 1.00% | 深 | 超深 | 陰天 |
| 3 日 | 0.100 | 1.053 | 0.01% | 0.50% | 淺 | 超深 | 雨天 |
| 4 日 | 0.463 | 0.560 | 0.04% | 0.06% | 淺 | 深 | 雨天 |
| 5 日 | 0.541 | 0.444 | 0.06% | 0.04% | 深 | 淺 | 陰天 |
| 6 日 | 0.192 | 0.256 | 0.01% | 0.01% | 淺 | 淺 | 半晴天 |
| 7 日 | 0.352 | 0.134 | 0.03% | 0.01% | 深 | 淺 | 陰雨天 |



圖三十一、碘液法實驗——紅花日日春數據

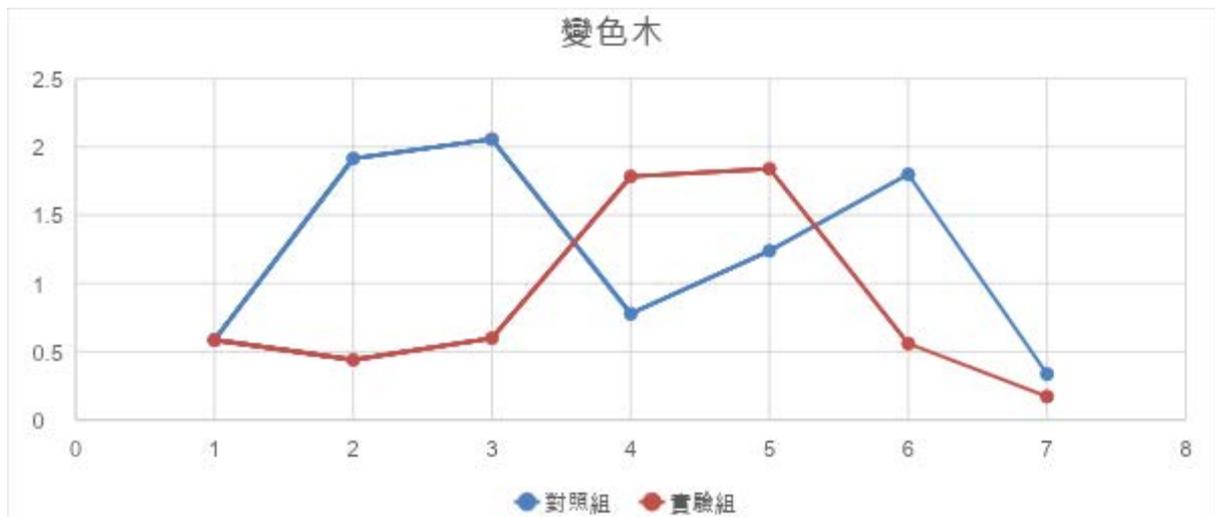
由表三、圖三十一得知：

- 1、日日春在霾環境處理下，4天下來的澱粉合成率相對提高很多，又以第3天最好。
- 2、實驗時天氣大概都是陰雨天，所以澱粉合成率都不高。
- 3、實驗7天下來發現對照組的光合作用呈現下降，推論是壓克力板罩著，空氣不夠，7天後生理現象都沒有原先好，而且花苞大量出現，代表此實驗影響日日春生理，因此無法長期觀測空污是否會影響農作物的開花結果收成率，進而造成糧食危機。

(二) 變色木:

表四、碘液法實驗——變色木

| 變色木 | 分光光度計 | | 自製澱粉濃度比色卡 | | 單盲實驗 | | 註 |
|-----|-------|-------|-----------|-------|------|-----|----|
| | 對照組 | 實驗組 | 對照組 | 實驗組 | 對照組 | 實驗組 | |
| 0日 | 0.587 | 0.587 | 0.06% | 0.06% | 深 | 深 | 雨天 |
| 1日 | 1.916 | 0.441 | 1.00% | 0.04% | 超深 | 深 | 晴天 |
| 2日 | 2.057 | 0.600 | 1.00% | 0.06% | 超深 | 深 | 晴天 |
| 3日 | 0.778 | 1.784 | 0.10% | 0.80% | 深 | 超深 | 雨天 |
| 4日 | 1.240 | 1.840 | 0.60% | 0.80% | 超深 | 超深 | 陰天 |
| 5日 | 1.800 | 0.560 | 0.80% | 0.06% | 深 | 深 | 陰天 |
| 6日 | 0.338 | 0.172 | 0.01% | 0.01% | 淺 | 超淺 | 雨天 |



圖三十二、碘液法實驗——變色木數據

由表四、圖三十二得知：

- 1、實驗組的澱粉合成速率 1.0% 比對照組 0.7% 大，吸收值 1.840 大於 1.240，代表環境逆境產生，但差異性已經沒有第三天的逆境多，可能已經慢慢適應環境。
- 2、變色木的葉子中有多種葉綠素因此造成葉子顏色的不同，選擇葉子的時候要選擇一樣顏色的葉子，才能減少誤差。

| | |
|---|---|
| | |
| <p>對照組：0.70% 實驗組：> 1.0%</p> | <p>1 分鐘後，培養皿上葉片碘液染色，二組的藍色都變淡，但差異不大。</p> |
| | |
| <p>30 秒後，分光樣品槽，對照組顏色明顯變淡。培養皿上葉片碘液染色，差異不大。</p> | <p>對照組：幾乎變回濾液原色。 實驗組：深藍色。</p> |

3、變色木的葉片中含有豐富的維他命 C，若水解的澱粉含量濃度不夠，則碘液一下子就被還原成碘離子，原本呈現的藍色就會變淡，定量實驗就會有誤差，因此做這實驗皆要用單盲實驗而且觀測者必須同一人。

三、自製<空汙光合檢測儀>



(圖三十三)左右為監控箱內 $PM_{2.5}$ 濃度的電腦

四、利用自製<空汙光合檢測儀>來測定不同 $PM_{2.5}$ 對植物的光合速率之影響。

(一)不同 $PM_{2.5}$ 濃度對日日春光合速率的影響

1、實驗數據呈現： CO_2 差值/葉片面積 所得值皆已四捨五入至小數點後第五位

(1)、利用 imageJ 得到日日春葉片面積為：

對照組：402.087 cm^2 ； 實驗組 1：402.087 cm^2 ； 實驗組 2：413.608 cm^2 ；
實驗組 3：399.834 cm^2 。

(2)、對照組 ($PM_{2.5}$ 濃度 $\leq 15.4ppm$)

表六、自製裝置實驗——日日春對照組

| | 2023/2/1 0 | 2/11 | 2/12 | 2/13 | 2/14 | 2/15 | 2/16 | 2/17 | 2/18 | 2/19 |
|--------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 對照組 | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
| 溫度°C | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 | 22 | 18 | 18 | 19 | 20 |
| 濕度% | 53 | 51 | 54 | 52 | 51 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| 光照度 lux | 5800 | 7400 | 5500 | 7600 | 6800 | 5100 | 5500 | 5700 | 6000 | 6300 |
| 進氣 co2 ppm | 404 | 406 | 400 | 408 | 409 | 406 | 402 | 401 | 402 | 404 |
| 排氣 co2 ppm | 369 | 364 | 367 | 365 | 370 | 378 | 370 | 368 | 367 | 369 |
| CO2 差值 (排氣-進氣) ppm | -35 | -42 | -33 | -43 | -39 | -28 | -32 | -33 | -35 | -35 |
| 進氣氧氣% | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 排氣氧氣% | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.5 |
| 氧氣差值 (排氣-進氣) % | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| CO2 差值/ 402.087 | -0.08705 | -0.10446 | -0.08207 | -0.10694 | -0.09202 | -0.06964 | -0.07958 | -0.08207 | -0.08705 | -0.08705 |

(3)、實驗組 1 (15.4 ≤ PM_{2.5} 濃度 ≤ 35.4ppm)

表七、自製裝置實驗——日日春實驗組 1

| | 2/10 | 2/11 | 2/12 | 2/13 | 2/14 | 2/15 | 2/16 | 2/17 | 2/18 | 2/19 |
|-------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 實驗組一 | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
| 溫度°C | 23 | 23 | 24 | 24 | 24 | 22 | 18 | 18 | 19 | 20 |
| 濕度% | 53 | 51 | 54 | 52 | 51 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| 光照度 lux | 5800 | 7400 | 5500 | 7600 | 6800 | 5800 | 5500 | 5700 | 6000 | 6300 |
| 進氣 co2 ppm | 404 | 406 | 400 | 408 | 409 | 406 | 402 | 402 | 403 | 406 |
| 排氣 co2 ppm | 372 | 362 | 368 | 364 | 371 | 375 | 372 | 372 | 370 | 372 |
| CO2 差值 (排氣-進氣) ppm | -32 | -44 | -32 | -44 | -38 | -31 | -30 | -30 | -33 | -34 |
| 進氣氧氣% | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 排氣氧氣% | 20.3 | 20.5 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 氧氣差值 (排氣-進氣) % | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CO2 差值 (排氣-進氣) /402.087 | -0.0779 | -0.10711 | -0.0779 | -0.10711 | -0.0925 | -0.07546 | -0.07303 | -0.07303 | -0.08033 | -0.08277 |

(4)、實驗組 2 (35.5 ≤ PM_{2.5} 濃度 ≤ 54.4ppm)

表八自製裝置實驗——日日春實驗組 2

| | 2/26 | 2/27 | 2/28 | 3/1 | 3/2 | 3/3 | 3/4 | 3/5 | 3/6 | 3/7 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 實驗組二 | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
| 溫度°C | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 濕度% | 52 | 51 | 54 | 55 | 51 | 54 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| 光照度 lux | 7100 | 7400 | 6900 | 7500 | 6900 | 7300 | 7200 | 6800 | 7200 | 6500 |
| 進氣 CO2ppm | 407 | 407 | 406 | 408 | 406 | 403 | 404 | 404 | 404 | 404 |
| 排氣 co2 ppm | 369 | 396 | 404 | 388 | 368 | 352 | 388 | 398 | 397 | 400 |
| CO2 差值 (排氣-進氣) ppm | -38 | -11 | -2 | -20 | -38 | -51 | -16 | -6 | -7 | -4 |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 進氣氧氣% | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 排氣氧氣% | 20.3 | 20.4 | 20.3 | 20.5 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 氧氣差值(排氣-進氣)% | 0 | 0 | -0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CO2 差值/413.608 | -0.09187 | -0.0266 | -0.00484 | -0.04835 | -0.09187 | -0.12331 | -0.03868 | -0.01451 | -0.01692 | -0.00967 |

(5)、實驗組 3 (54.5 ≤ PM_{2.5} 濃度 ≤ 150.4ppm)

表九、自製裝置實驗——日日春實驗組 3

| | 2/26 | 2/27 | 2/28 | 3/1 | 3/2 | 3/3 | 3/4 | 3/5 | 3/6 | 3/7 |
|-------------------|----------|----------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| 實驗組三 | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
| 溫度°C | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 濕度% | 52 | 51 | 54 | 55 | 51 | 54 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| 光照度 lux | 7100 | 7400 | 6900 | 7500 | 6900 | 7300 | 7200 | 6800 | 7200 | 6500 |
| 進氣 co2 ppm | 407 | 407 | 406 | 408 | 406 | 403 | 404 | 408 | 405 | 404 |
| 排氣 co2 ppm | 370 | 400 | 407 | 407 | 364 | 291 | 337 | 371 | 401 | 406 |
| CO2 差值(排氣-進氣) ppm | -37 | -7 | 1 | -1 | -42 | -112 | -67 | -37 | -4 | 2 |
| 進氣氧氣% | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 排氣氧氣% | 20.3 | 20.4 | 20.3 | 20.5 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 氧氣差值(排氣-進氣)% | 0 | 0 | -0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 備註 | | | | | | | | 葉片始泛黃 | | |
| CO2 差值/399.834 | -0.09254 | -0.01751 | 0.0025 | -0.0025 | -0.10504 | -0.28012 | -0.16757 | -0.09254 | -0.01 | 0.005 |

(6)、四組同日之標準差值計算

表十、每日各組的 CO₂ 差值/葉片面積之標準差

| | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 第一組 | 0.087045838 | 0.104455006 | 0.082071790 | -0.10694203 | 0.092019886 | 0.069636670 | 0.079584766 | 0.082071790 | 0.087045838 | 0.087045838 |
| 第二組 | 0.077898683 | 0.107110689 | 0.077898683 | 0.107110689 | 0.092504686 | 0.075464349 | 0.073030015 | 0.073030015 | 0.080333016 | 0.082767350 |
| 第三組 | 0.091874431 | 0.026595230 | 0.004835496 | 0.048354964 | 0.091874431 | 0.123305158 | 0.038683971 | 0.014506489 | 0.016924237 | 0.009670992 |
| 第四組 | 0.092538403 | 0.017507265 | 0.002501037 | 0.002501037 | 0.105043593 | 0.280116248 | 0.167569541 | 0.092538403 | 0.010004151 | 0.005002075 |
| 標準差 | 0.006753010 | 0.048496744 | 0.045635870 | 0.050693844 | 0.006460916 | 0.098309367 | 0.054913586 | 0.034941538 | 0.040735153 | 0.048079655 |
| | 8 | 4 | 7 | 5 | 7 | 8 | 1 | 7 | 2 | 6 |

(二)、利用自製裝置，測得不同 PM_{2.5} 濃度對虎尾蘭光合速率的影響

1、實驗數據呈現:CO₂ 差值/葉片面積 所得值皆已四捨五入

(1)、利用 imageJ 得到虎尾蘭葉片面積為：

對照組、實驗組 2：498 cm²；實驗組 1、實驗組 3：520cm²

(2)、表十一、對照組 (PM_{2.5} 濃度 ≤ 15.4ppm)

| | 4/27 | 4/28 | 4/29 | 4/30 | 5/1 | 5/2 | 5/3 | 5/4 | 5/5 | 5/6 |
|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 日期組 | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
| 溫度 | 34 | 34 | 30 | 34 | 32 | 33 | 31 | 30 | 31 | 32 |
| 濕度 | 50 | 49 | 57 | 50 | 51 | 50 | 50 | 49 | 49 | 51 |
| 光照度 | 7500 | 8100 | 8200 | 7900 | 7800 | 8400 | 8000 | 8400 | 8100 | 8300 |
| 進氣co2 | 404 | 405 | 400 | 408 | 409 | 405 | 402 | 401 | 400 | 404 |
| 排氣co2 | 325 | 330 | 331 | 335 | 338 | 324 | 326 | 322 | 328 | 327 |
| CO2差值 | -79 | -75 | -69 | -73 | -71 | -81 | -76 | -79 | -72 | -77 |
| 進氣氧氣 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.3 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 排氣氧氣 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.5 |
| 氧氣差值 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| CO2差值/498 | -0.15863 | -0.1506 | -0.13855 | -0.14659 | -0.14257 | -0.16265 | -0.15261 | -0.15863 | -0.14458 | -0.15462 |

(3)、表十二、實驗組 1 ($15.4 \leq PM_{2.5}$ 濃度 $\leq 35.4ppm$)

| | 4/27 | 4/28 | 4/29 | 4/30 | 5/1 | 5/2 | 5/3 | 5/4 | 5/5 | 5/6 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 實驗組1 | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
| 溫度 | 34 | 34 | 30 | 34 | 32 | 33 | 31 | 30 | 31 | 32 |
| 濕度 | 50 | 49 | 57 | 50 | 51 | 50 | 50 | 49 | 48 | 51 |
| 光照度 | 7500 | 8100 | 8200 | 7800 | 7600 | 8400 | 8000 | 8400 | 8100 | 8300 |
| 進氣co2 | 404 | 405 | 400 | 406 | 409 | 405 | 402 | 401 | 400 | 404 |
| 排氣co2 | 326 | 329 | 330 | 335 | 336 | 321 | 326 | 320 | 328 | 327 |
| CO2差值 | -78 | -76 | -70 | -73 | -73 | -84 | -76 | -81 | -72 | -77 |
| 進氣氧氣 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.3 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 排氣氧氣 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.5 |
| 氧氣差值 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 |
| CO2差值/504 | -0.15475 | -0.15079 | -0.13889 | -0.14484 | -0.14484 | -0.16667 | -0.15078 | -0.16071 | -0.14286 | -0.15278 |

(4)、表十三、實驗組 2 ($35.5 \leq PM_{2.5}$ 濃度 $\leq 54.4ppm$)

| | 5/7 | 5/8 | 5/9 | 5/10 | 5/11 | 5/12 | 5/13 | 5/14 | 5/15 | 5/16 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| 實驗組2 | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
| 溫度 | 34 | 31 | 31 | 30 | 31 | 31 | 31 | 30 | 31 | 32 |
| 濕度 | 50 | 49 | 0 | 50 | 51 | 50 | 48 | 49 | 49 | 51 |
| 光照度 | 8000 | 8100 | 8200 | 7900 | 8000 | 8400 | 8000 | 8400 | 8100 | 8300 |
| 進氣co2 | 401 | 405 | 400 | 407 | 406 | 404 | 402 | 404 | 400 | 403 |
| 排氣co2 | 320 | 327 | 327 | 334 | 332 | 324 | 327 | 320 | 327 | 322 |
| CO2差值 | -81 | -78 | -73 | -73 | -74 | -80 | -75 | -84 | -73 | -81 |
| 進氣氧氣 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 排氣氧氣 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.5 |
| 氧氣差值 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| CO2差值/498 | -0.16265 | -0.15663 | -0.14659 | -0.14659 | -0.14859 | -0.16064 | -0.1506 | -0.16867 | -0.14659 | -0.16265 |

(5)、表十四、實驗組 3 ($54.5 \leq PM_{2.5}$ 濃度 $\leq 150.4ppm$)

| | 5/7 | 5/8 | 5/9 | 5/10 | 5/11 | 5/12 | 5/13 | 5/14 | 5/15 | 5/16 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| 實驗組3 | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
| 溫度 | 34 | 31 | 31 | 30 | 31 | 31 | 31 | 30 | 31 | 32 |
| 濕度 | 50 | 49 | 0 | 50 | 51 | 50 | 48 | 49 | 49 | 51 |
| 光照度 | 8000 | 8100 | 8200 | 7900 | 8000 | 8400 | 8000 | 8400 | 8100 | 8300 |
| 進氣co2 | 401 | 405 | 400 | 407 | 406 | 404 | 402 | 404 | 400 | 403 |
| 排氣co2 | 335 | 339 | 330 | 333 | 325 | 324 | 325 | 322 | 324 | 324 |
| CO2差值 | -66 | -66 | -70 | -74 | -81 | -80 | -77 | -82 | -76 | -79 |
| 進氣氧氣 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.3 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 |
| 排氣氧氣 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.5 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.4 | 20.5 |
| 氧氣差值 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| CO2差值/504 | -0.13095 | -0.13095 | -0.13889 | -0.14683 | -0.16071 | -0.15873 | -0.15278 | -0.1627 | -0.15079 | -0.15675 |

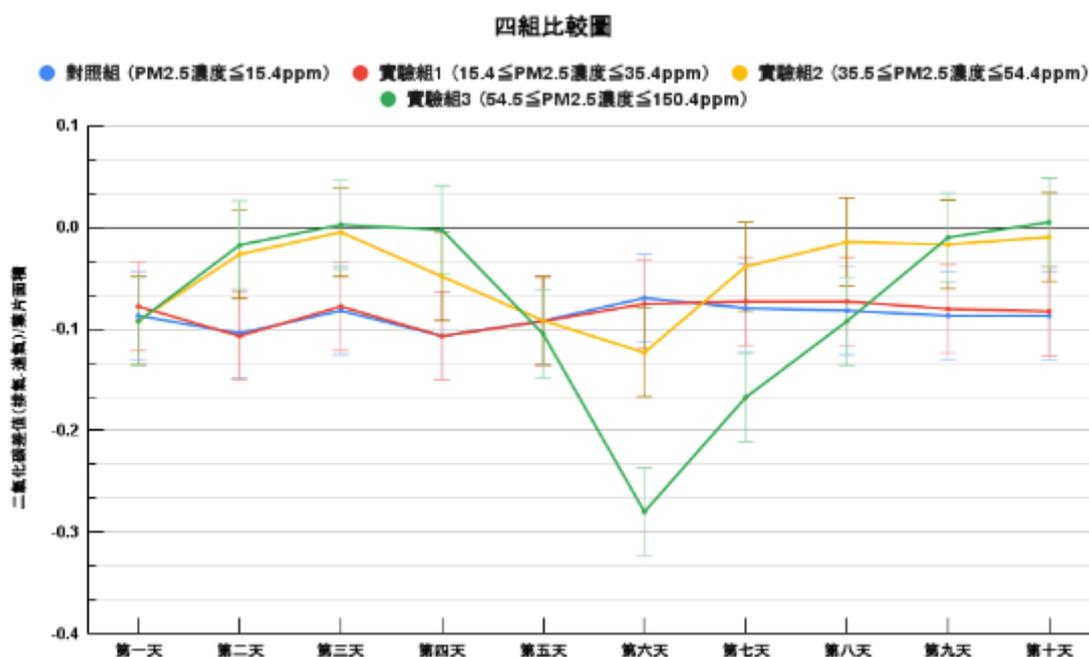
(6)、表十五、四組同日之標準差值計算

| | 第一天 | 第二天 | 第三天 | 第四天 | 第五天 | 第六天 | 第七天 | 第八天 | 第九天 | 第十天 |
|------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| CO2差值 (排氣) | -0.1586345382 | -0.1506024096 | -0.1385542169 | -0.1465863454 | -0.1425702811 | -0.1626506024 | -0.1526104418 | -0.1586345382 | -0.1445783133 | -0.1546184739 |
| CO2差值 (排氣) | -0.1547619048 | -0.1507936508 | -0.1388888889 | -0.1448412698 | -0.1448412698 | -0.1666666667 | -0.1507936508 | -0.1607142857 | -0.1428571429 | -0.1527777778 |
| CO2差值 (排氣) | -0.1626506024 | -0.156626506 | -0.1465863454 | -0.1465863454 | -0.1485943775 | -0.1606425703 | -0.1506024096 | -0.1686746988 | -0.1465863454 | -0.1626506024 |
| CO2差值 (排氣) | -0.130952381 | -0.130952381 | -0.1388888889 | -0.1468253968 | -0.1607142857 | -0.1587301587 | -0.1527777778 | -0.1626984127 | -0.1507936508 | -0.1567460317 |
| 標準差 | 0.01423414354 | 0.01121497817 | 0.003907692969 | 0.0009193126210 | 0.008080752103 | 0.0033968065310 | 0.001157097065 | 0.004326913679 | 0.003418352062 | 0.00428673743 |
| 平均 | 0.005494286617 | | | | | | | | | |

陸、討論

一、日日春

(一)、四組比較圖



圖三十四、使用平均標準差=0.04350196889

(二)、實驗結果討論

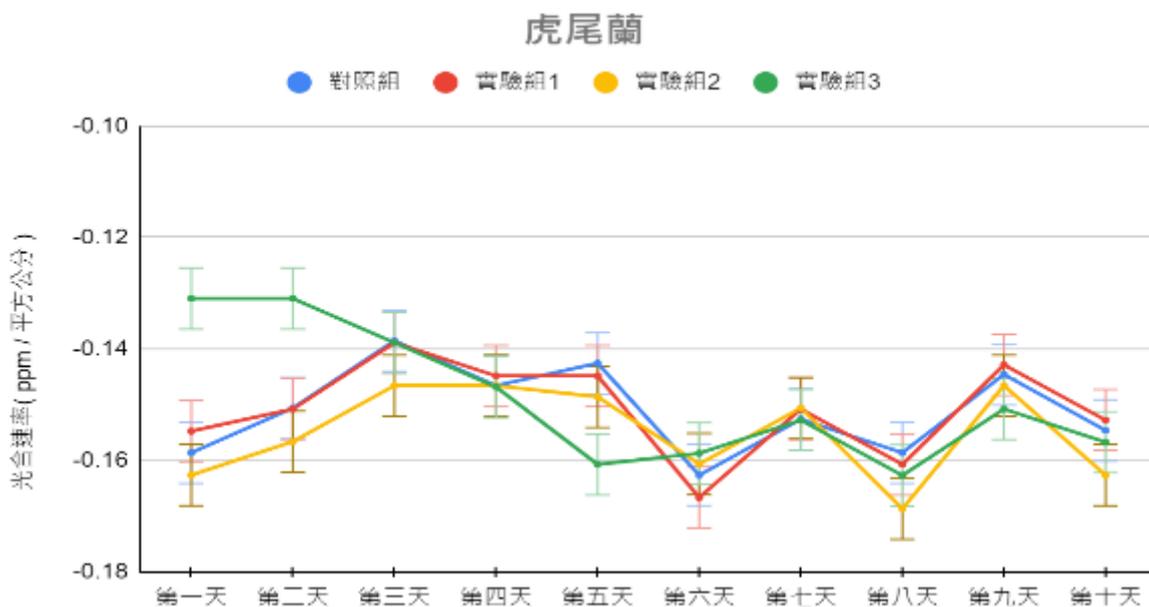
- 1、根據對照組及實驗組 1 (PM_{2.5} 濃度 ≤ 15.4ppm) 資料，我們發現植物在「輕度汙染」(PM_{2.5} 濃度 ≤ 35.4ppm) 時，淨光合速率「維持在一定的範圍」內，其波動是受到當日光照度影響。以對照組和實驗組 1 的第二、三天為例，第二天箱內的光照度為 7400lux，第三天箱內的光照度則為 5500，第三天光照度 < 第二天光照度，故表光合速率量值 第三天 < 第二天，此實驗證明了光照度多寡會對淨光合速率產生影響(每日數據皆在一個標準差內)。
- 2、實驗組 2 與實驗組 3 一開始淨光合速率與前兩組同，但第二天淨光合作用速率量值皆下降，實驗組 3 在第三天甚至呼吸作用 > 光合作用(淨光合速率為正)，推測其原因為 PM_{2.5} 濃度超過 35.4ppm 時，剛進入新環境的植物會受到 PM_{2.5} 影響，使植物光合速率降低。
- 3、實驗組 2 在第四天時淨光合速率已慢慢趨近正常值，反觀實驗組 3，植物淨光合速率量值仍接近 0，越高濃度 PM_{2.5} 環境 (PM_{2.5} 濃度 ≥ 35.5ppm)

會使植物光合速率低迷的時間越久。

- 4、實驗組 2 及實驗組 3 在第五天時，光合速率皆回到正常值，此數據意味著日日春在受中高濃度 $PM_{2.5}$ ($150.4ppm \geq PM_{2.5}$ 濃度 $\geq 35.5ppm$) 影響時日日春會在第三天達到光合速率最低，而第三天之後，會因為 $PM_{2.5}$ 濃度不同，而淨光合速率圖會有不同斜率（處在越高濃度 $PM_{2.5}$ 環境，斜率量值越大）。在第六天實驗中，實驗組 3 淨光合速率量值相較對照組、實驗組 3、實驗組 2 同日有較大的差異，其淨光合速率量值遠超越其他組，推測可能原因為植物本身為了在「困難」（重度逆境）的環境下求生存，提高光合作用。然而，「逆境」作用時間並不長，到第七天時，實驗組 2 與實驗組 3 淨光合速率量值都下降。但量值上升速率近乎一致，實驗組 3 作用時間較長，當實驗組 2 淨光合速率量值線段呈現平穩時，實驗組 3 仍繼續作用，至第九天方呈現平穩趨勢。實驗組三在第八天植物葉片泛黃。實驗組三第十天為正值，這意味著植物光合速率小於呼吸速率。

二、虎尾蘭

（一）、四組比較圖



圖三十五、使用平均標準差=0.005494286617

（二）、實驗結果討論

- 1、由〈圖三十五〉可發現虎尾蘭放置在前三組 ($PM_{2.5}$ 濃度 $\leq 54.4ppm$) 時，其波動大致相同，這三組同日數據大小相近，皆在一個標準差內。
- 2、第六至第十天的波動猜測是因為當日日照強度不同而影響，這四組實驗時，剛好都在第七天 (5/3、5/13) 和第九天 (5/5、5/15) 光照度較小（相較於

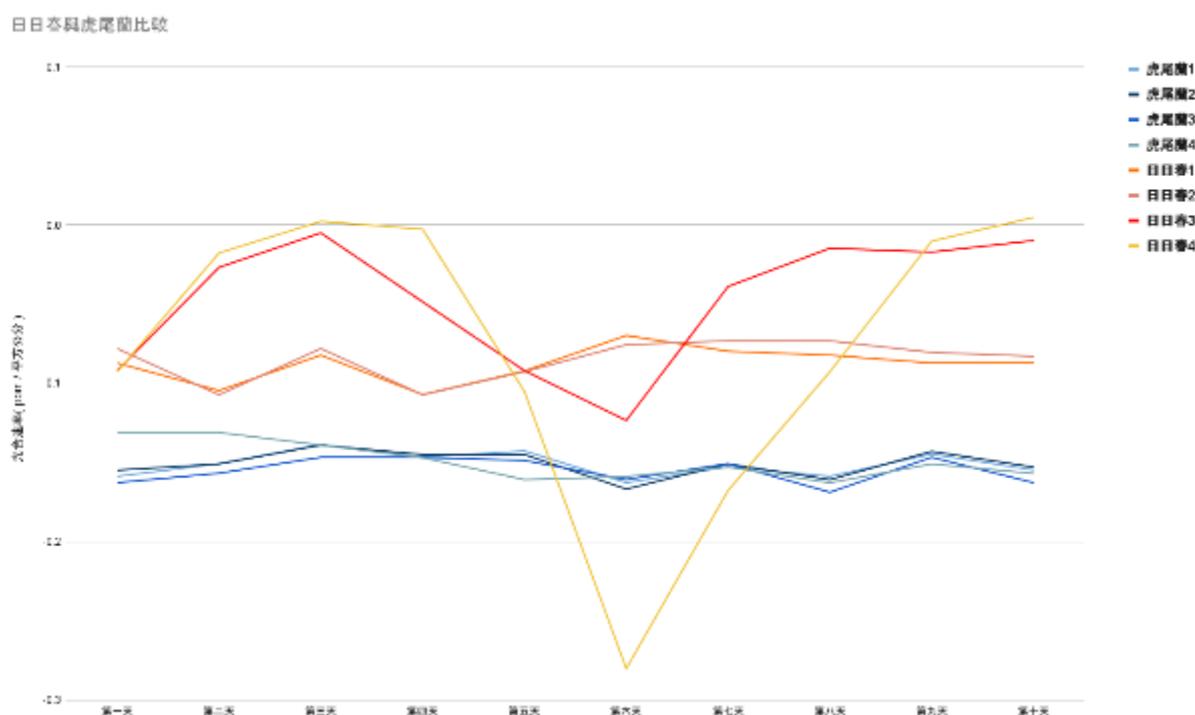
六、八、十天)。

3、當虎尾蘭初放置於較高濃度污染的環境下 ($54.5 \leq \text{PM}_{2.5}$ 濃度 $\leq 150.4 \text{ppm}$) (實驗組 3)，其光和速率相較實驗組二有明顯下降，下降程度約有五個標準差。

4、放置於高濃度污染的環境中的虎尾蘭，於第五天時光和速率量值最大，與實驗組二差約 1.5 個平均標準差。

5、實驗組 3 的虎尾蘭於第六天便與其他三組光合速率大致相同。

三、比較日日春與虎尾蘭



圖三十六、日日春與虎尾蘭比較圖

(一)、在正常情況下，日日春的光合速率小於虎尾蘭。

(二)、日日春受 $\text{PM}_{2.5}$ 之影響比虎尾蘭大。

柒、結論

一、經分析四年資料後發現四地區 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度變化大致相同，都是在夏季最低，其他季節較高，其主要原因是夏季西南季風的擾動。而斗六地區 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度夏季略低或等於其他地區，但冬季明顯高於其他三鄉鎮，推測其是因為夏、冬盛行風向不同而導致 $\text{PM}_{2.5}$ 沉降

於本身為丘陵地的斗六。再加上海風將麥寮五輕、六輕 $PM_{2.5}$ 細懸浮微粒吹向本身為畚箕地形的斗六丘陵地所致。

二、利用碘液變色法觀測 $PM_{2.5}$ 對植物的光合速率之影響實驗結果發現，此實驗方法並不理想

主要原因有二：

1. 此方法要剪下植物葉片影響植物生長，且裝置無法控制 $PM_{2.5}$ 濃度，實驗後發現

植物外觀，生長情形不佳及葉片泛黃及導致死亡。

2. 利用澱粉含量的變化來代表光合效率不易準確掌控，原因是澱粉非光合作用直接

產物，而應利用氧氣的生成和二氧化碳的消耗較為直接。

三、利用自製〈空汙光合檢測儀〉來測定日日春和虎尾蘭兩種植物，在不同 $PM_{2.5}$ 下的光合速率

之影響實驗中發現：

1、植物會因為短期內處在含較高濃度的 $PM_{2.5}$ 逆境中，而在改變光合效率在逆境中「求生存」。一般情況下，植物體活性氧的生成與代謝是處在動態平衡的狀態（參考資料三）。但「重度逆境」會導致抗氧化系統代謝能力下降，活性氧不易清除，造成細胞死亡。但我們認為，在「輕度逆境」中，植物體內的酵素活性將會提高；到達臨界值時，活性會下滑，光合速率將變慢。

2、比較日日春和虎尾蘭兩種植物受 $PM_{2.5}$ 影響光合速率的結果發現，日日春受到的到的影響比來得明顯，推測其主要的�原因可能是 $PM_{2.5}$ 會阻礙光照量，而虎尾蘭是室外耐

陰植物所以受影響比較小。

捌、參考文獻資料

一、空氣品質指標。行政院環境保護署空氣品質監測網。民 111 年 11 月 7 日，取自：

<https://airtw.epa.gov.tw/cht/Information/Standard/AirQualityIndicator.aspx>。

二、陳加忠（民 105）。植物光合作用速率量測。國立中興大學生物系統工程研究室。

民 111 年 11 月 7 日，取自：<https://www.tfri.gov.tw/main/download/dfn...>

三、蔣永正（民 100）。植物對環境逆境之調控與應用。農政與農情期刊 100 年 9 月第 231 期。

行政院農業委員會。

四、蔡智賢教授（民 111）。適應環境。國立嘉義大學園藝學系。民 111 年 11 月 7 日，取自：

<http://web.ncyu.edu.tw/~jtsay/physiol/textbook/outline/adaptations%20to%20the%20environment.htm>

五、鄭統隆、林素月、曾東海、王強生。2005。水稻直鏈性澱粉突變體快篩選法。台灣農業研究 54：103-112。

六、周芳瑜、江庭瑩、卜嘉榕、何毓倫、王俊雄&郭坤鵬。（2008）碘液調色盤。第 48 屆全

國中小學科展。

七、歷年監測資料。行政院環境保護署空氣品質監測網。民 111 年 10 月 11 日，取自：

https://airtw.epa.gov.tw/CHT/Query/His_Data.aspx

八、林雨佑、何榮幸、吳逸驊、林雨佑、房慧真、吳逸驊。《報導者》。2018 年 7 月 30 日。

民 111 年 10 月 11 日，取自：<https://www.twreporter.org/a/fpc-sixth-naphtha-cracker-supervision>

【評語】 052602

本研究經分析雲林地區 PM2.5 濃度變化，發現因西南季風的擾動使得夏季濃度最低。其他季節斗六地區明顯高於其他三鄉鎮，原因可能為：海風將麥寮五輕、六輕 PM2.5 微粒吹向為畚箕地形的斗六丘陵地。後續利用碘液變色法觀測 PM2.5 對植物光合速率之影響，發現用澱粉含量的變化來代表光合效率不易準確掌控；因而自製可換氣、控制 PM2.5 濃度、測量 O₂、CO₂ 濃度的〈空汙光合檢測儀〉。在測定日日春和虎尾蘭兩种植物的實驗中發現：此兩种植物會因處在含較高濃度的 PM2.5 逆境，而改變其光合效率以「求生存」。而日日春受到的影響比虎尾蘭來得明顯，推測其原因可能是 PM2.5 會阻礙光照量，而虎尾蘭是室外耐陰植物所以受影響較小。本作品分成三部分，一為分析過去四年雲林四地區 PM2.5 濃度變化，探討 PM2.5 濃度與季節、風向與麥寮五輕之關係；第二為利用碘液變色法觀測 PM2.5 對植物光合速率之影響，但並不成功(建議可以移去)；第三為利用自製的「空汙光合檢測儀」來測定日日春和虎尾蘭兩种植物，在不同 PM2.5 下之光合速率之影響。作品已漸往成功實驗方式上邁進，建議可繼續做出更完整的成果。本研究自製可換氣、控制 PM2.5

濃度、測量 O₂、CO₂ 濃度的〈空汙光合檢測儀〉，發現日日春和虎尾蘭兩种植物的實驗中發現：此兩种植物會因處在含較高濃度的 PM_{2.5} 逆境，而改變其光合效率以「求生存」，具有環境科學污染物分析與應用之精神。

本研究分析雲林地區 PM_{2.5} 濃度變化，發現因西南季風的擾動使得夏季濃度最低。其他季節斗六地區明顯高於其他三鄉鎮，推估可能海風將麥寮五輕、六輕 PM_{2.5} 微粒吹向為畚箕地形的斗六丘陵地。具有在地環境保護探討之特色。

Page 3 的雲林地區四年 PM_{2.5} 資料分析之實驗步驟，內容文字數字呈現不夠清楚，建議重新整理說明：比較斗六地區近四年資料，找出 PM_{2.5} 濃度是否會有季節性變化。此外作者想比較斗六地區近四年資料，找出 PM_{2.5} 濃度是否會有季節性變化，不知與本研究相關性的考量為何？

請說明為何只選”日日春”和”虎尾蘭”兩种植物進行研究？建議將此植物的拉丁文專有屬名與種名列出。

Page 27：請解釋圖三十六、日日春與虎尾蘭比較圖中，日日春 4 在第六天的光和速率為何突然大幅下降？

本計畫在概念上及所獲實驗成果相當不錯，整體報告內容呈現方式及邏輯推論需再加強，如影響植物生長的因素相當多，本研究實驗設計是否考量 PM2.5 外的因素，另建議應針對格式與圖表呈現方式可再加強。

作品海報

「霾」在校園中的秘密

—PM_{2.5}對植物光合作用的影響

摘要

經分析雲林地區PM_{2.5}濃度變化，發現因西南季風的擾動使得夏季濃度最低。其他季節斗六地區明顯高於其他三鄉鎮，原因可能為：海風將麥寮五輕、六輕PM_{2.5}微粒吹向為畚箕地形的斗六丘陵地。利用碘液變色法觀測PM_{2.5}對植物光合速率之影響，發現用澱粉含量的變化來代表光合效率不易準確掌控；因而自製可換氣、控制PM_{2.5}濃度、測量O₂、CO₂濃度的<空汙光合檢測儀>。在測定日日春和虎尾蘭兩种植物的實驗中發現：此兩种植物會因處在含較高濃度的PM_{2.5}逆境，而改變其光合效率以「求生存」。而日日春受到的影響比虎尾蘭來得明顯，推測其原因可能是PM_{2.5}會阻礙光照量，而虎尾蘭是室外耐陰植物所以受影響較小。

壹、研究動機

近年來，雲林縣幾乎天天紫爆，尤其學校所處的斗六地區濃度特別高，怪不得早晨上學的時候，天空總是灰濛濛的一片，很難看到早上初升太陽，雨後的天空也沒有彩虹，湛藍深遠的天空消失不見了.....，連我也被這一片片的浪漫給「埋沒」了。很好奇造成斗六地區高濃度的PM_{2.5}原因為何？

人們在面對這片浪漫的霧霾時，可以減少戶外活動保護自己，而植物呢？植物一直扮演著淨化空氣的角色，而人們又是如何回報它呢？又會對它造成什麼傷害呢？所以我們想針對校園常見的植物，選擇適當研究對象利用測定光合作用效率，來觀測PM_{2.5}對植物的生理是否會產生負面影響或是植物能否降低吸收淨化PM_{2.5}的能力。

貳、研究目的

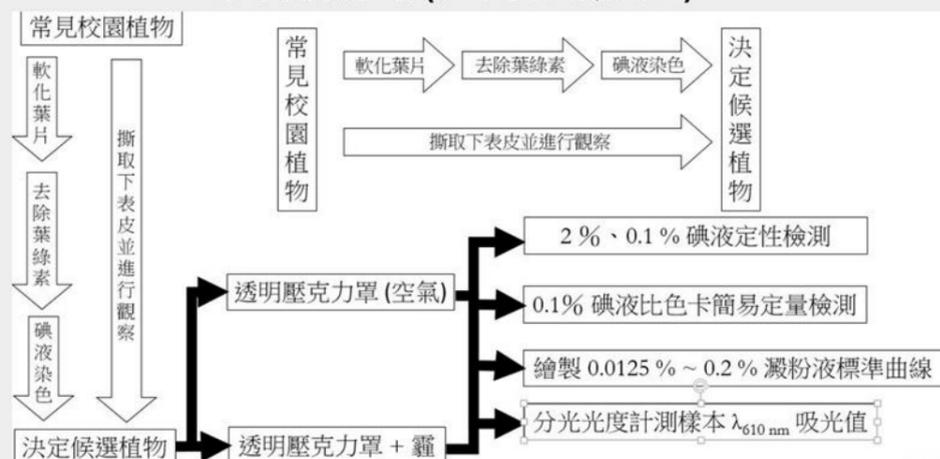
- 一、分析雲林地區PM_{2.5}濃度變化，以探討斗六地區高濃度 PM2.5的可能原因。
- 二、利用碘液變色法觀測PM_{2.5}對植物的光合速率之影響。
- 三、自製<空汙光合檢測儀>
- 四、利用自製<空汙光合檢測儀>來測定不同PM_{2.5}對植物的光合速率之影響。

參、研究設備與器材

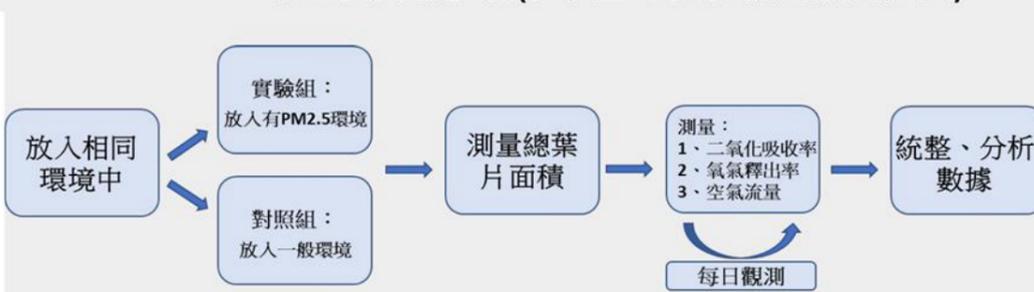
| | | | | | |
|-------|-------|-----------|--|----|-------------|
| 5mm木板 | 水族軟管 | PWM控制器×6 | 電腦風扇×2 | 電鑽 | 自製<空汙光合檢測儀> |
| 水族軟管 | 370幫浦 | 電腦電源供應器 | arduino×3 | 鋸台 | 電腦×2 |
| 植物燈 | 光照度計 | 透明壓克力箱、底座 | PM2.5濃度檢測儀(PMS5003T×2、AirRunQ10) | | |
| 線香 | 空氣清淨機 | 電線接頭 | 氧氣、二氧化碳濃度檢測儀(AirRunQ10、Lutron PO2-250) | | |

肆、研究過程及方法

原始實驗步驟(碘液變色觀測法)



改進後實驗步驟(自製空汙光合檢測儀測定法)



實驗流程

- (一)、將待測物置入透明壓克力箱中，通入乾淨空氣照光數日，使對照組及實驗組初始環境、光合速率一致。
- (二)、利用軟體imageJ，測出植物葉片總面積
- (三)、依行政院環境保護署公告之空氣品質指標對照表(參考資料一)，將實驗組劃分為七組，分別為0.0 - 15.4、15.5 - 35.4、35.5 - 54.4、54.5 - 150.4、150.5 - 250.4、250.5 - 350.4、350.5 - 500.4，單位為μg/m³。每類進行至光合速率趨於穩定方停止
- (四)、利用自製<空汙光合檢測儀>，測得數據。
- (五)、紀錄數據並代入國立中興大學生物系統工程研究室陳加忠提出之光合速率公式(參考資料二)，求得光合速率。

1、陳加忠提出之光合速率公式(請見右方圖片):

光合速率公式

$$A_1 = \frac{u(C_e - C_i)}{\text{area}}$$
$$A_2 = \frac{u(C_e - C_i)}{\text{area}} \times \frac{(1 - W_i)}{(1 - W_e)}$$
$$R_1 = \frac{u(O_i - O_e)}{\text{area}}$$
$$u = M' \times G_{\text{mol}}$$

在右圖A1與A2為二氧化碳釋出率,R1為氧氣吸收率。u為空氣流量

Ce與Ci為送出與進入同化箱之空氣內二氧化碳濃度，

Oe與Oi為送出與進入同化箱內之空氣氧氣濃度，

Wi與We為送出與進入同化箱之空氣絕對溼度

area為樣本葉面積,M'為空氣量Gmol為空氣內氧氣或二氧化碳莫耳數。

2、實驗植株的葉片大小視為定值。

3、實驗環境濕度控制一致，濕度不計。

4、光合速率公式：

(1)、二氧化碳吸收率=(排出時二氧化碳濃度-進入時二氧化碳濃度)/葉片面積

(2)、氧氣釋出率=(進入時氧氣濃度-排出時氧氣濃度)/葉片面積。

(3)、備註：若二氧化碳吸收率為負值，則此植物光合作用>呼吸作用。本實驗因二氧化碳濃度變化較氧氣明顯，

故公式採取「二氧化碳吸收率」，公式單位為 ppm/cm²。

(六)、整理數據並找出PM2.5與植物行光合作用速率的關聯性。

自製<空汙光合檢測儀>—實驗裝置介紹

1、自製實驗裝置製作原因

在碘液變色法觀測PM2.5對植物的光合速率之影響實驗發現:

- (1) 此方法要剪下葉片因而影響植物生長, 裝置無法控制PM2.5濃度實驗後發現植物外觀, 生長情形不佳、葉片泛黃及死亡。
- (2) 利用澱粉含量的變化來代表光合效率不易準確掌控, 原因是澱粉非光合作用直接產物, 應利用氧氣的生成和二氧化碳的消耗較為直接。基於上述原因, 萌發自製<空汙光合檢測儀>的想法

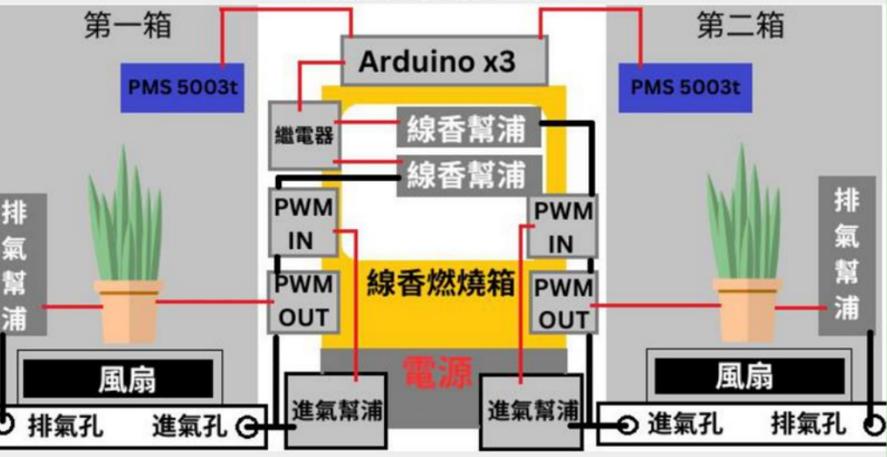
2、設計原則: 模組化, 大量採用快速接頭 以方便裝置維修、拆裝、運輸。

3、實驗裝置分為三部分: 推車、裝置本體、氣體檢測裝置。

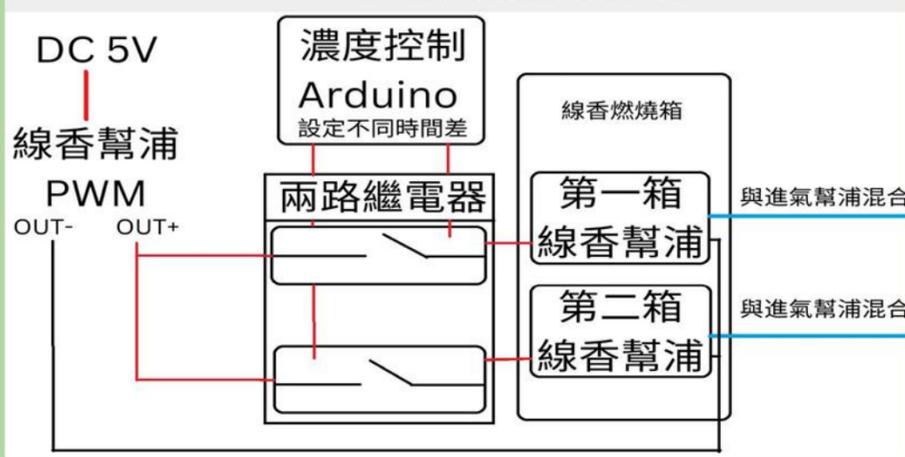


裝置實拍圖

實驗裝置概念圖



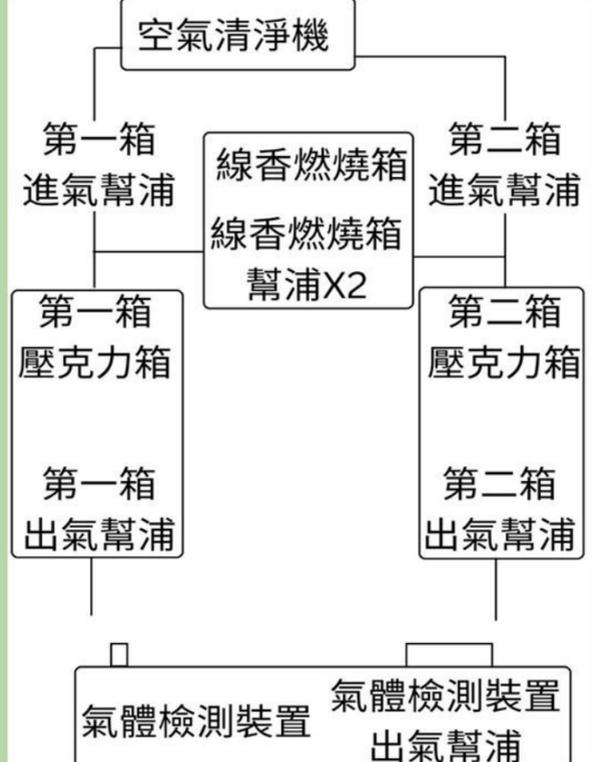
PM2.5濃度控制概念圖



電力系統概念圖



氣體系統概念圖



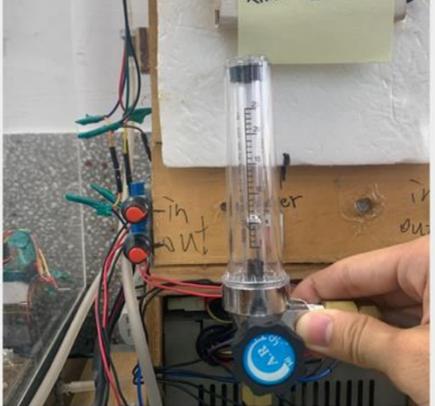
氣體檢測裝置概念圖



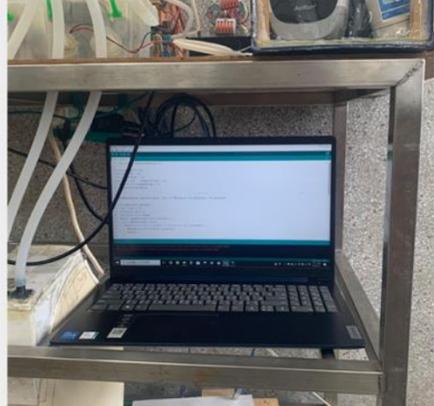
使用方式



1、將植物放入箱內, 盆栽接上澆水管線測量光照度, 光照度需每日測量
開啟空氣清淨機



2、旋轉第一、二箱進氣、排氣; 氣體檢測裝置幫浦的PWM控制器, 搭配流量計調校使所有流量達到4L/min



3、開啟箱內PM2.5濃度監測電腦與程式接上Arduino設定所需PM2.5濃度數據開啟箱內風扇



4、點燃線香, 線香需每日替換
開啟植物燈, 參考光照度數據
設定定時器與燈光數



5、執行上述需每日進行的工作, 澆水,
查看PM2.5是否有在設定濃度,
每日測量光照度調整植物燈



6、每日中午檢測第一、二箱
進氣、排氣的氧氣、二氧化碳濃度
蒐集數據, 紀錄

伍、研究結果與討論

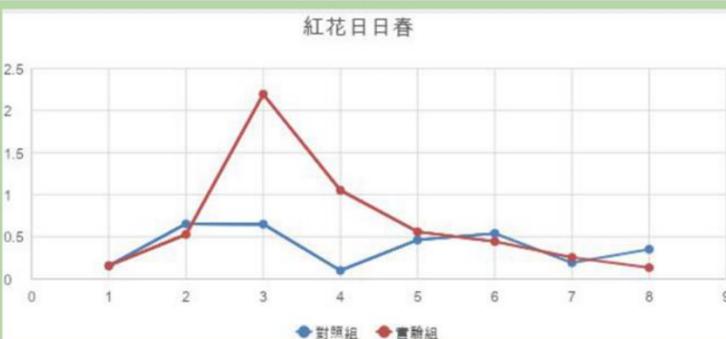
一、雲林地區近四年(2018~2021)PM_{2.5}濃度數據分析PM_{2.5}濃度變化。



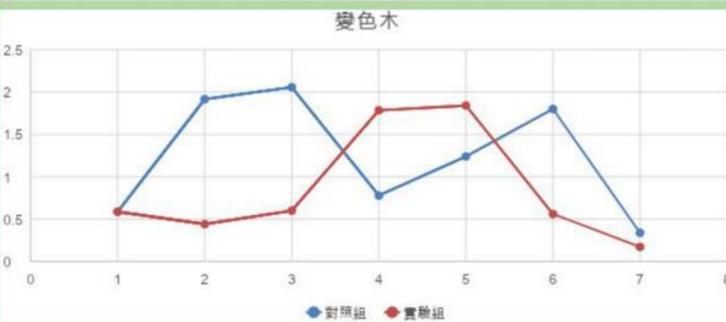
圖三十、斗六、麥寮、台西、崙背地區近四年PM_{2.5}濃度平均曲線圖

由左圖可觀察出，四地區PM_{2.5}濃度變化大致相同，都是在夏季最低，其他季節較高。在四地區中特別斗六地區在非夏季的季節濃度皆相較於其他地區來得高。而2021年崙背數據與其他三個地區數據差異較大，但前三年未與其他測站有顯著差異，推測其不是因為地形影響，而是因為「本地汙染物」影響。

二、利用碘液變色法觀測PM_{2.5}對植物的光合速率之影響。

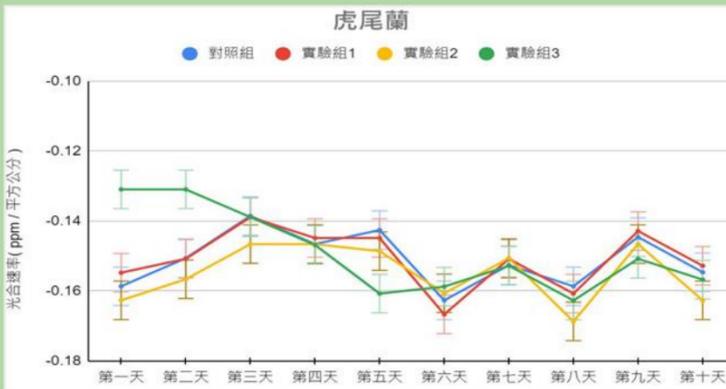


- 1、日日春在霾環境處理下，4天下來的澱粉合成率相對提高很多，又以第3天最好。
- 2、實驗時天氣大都是陰雨天，所以澱粉合成率都不高。
- 3、實驗7天下來發現對照組的光合作用呈現下降，推論是壓克力板罩著，空氣不夠，7天後生理現象都沒有原先好，而且花苞大量出現，代表此實驗影響日日春生理，無法長期觀測空汙是否會影響。

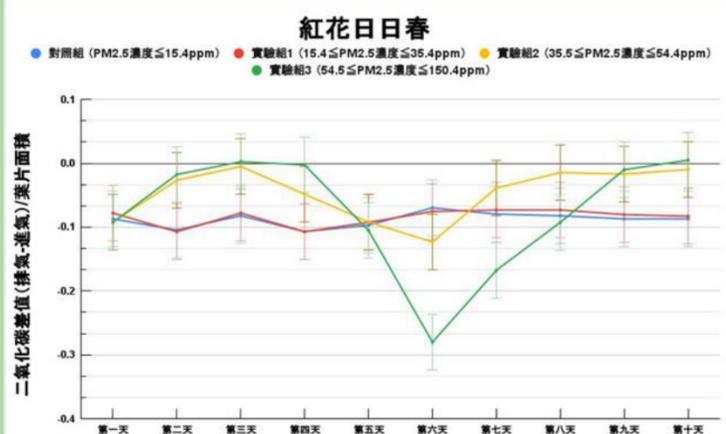


- 1、實驗組的澱粉合成速率1.0%比對照組0.7%大，吸收值1.840大於1.240，代表環境逆境產生，但差異性已經沒有第三天的逆境多，可能已經慢慢適應環境。
- 2、變色木的葉子中有多種葉綠素造成葉子顏色的不同選擇葉子的时候要選擇一樣顏色的葉子，才能減少誤差

三、利用自製<空汙光合檢測儀>來測定不同PM_{2.5}對植物的光合速率之影響。



- 1、由(圖三十五)可發現虎尾蘭放置在前三組時，其波動大致相同，這三組同日數據大小相近，皆在一個標準差內。
- 2、第六至第十天的波動猜測是因為當日日照強度不同而影響。
- 3、當虎尾蘭初放置於較高濃度汙染的環境下，其光合速率相較實驗組二有明顯下降，下降程度約五個標準差
- 4、放置於高濃度汙染的環境中的虎尾蘭，於第五天時光和速率量值最大，與實驗組二差約1.5個平均標準差



- 1、發現植物在「輕度汙染」(PM_{2.5}濃度≤35.4ppm)時，淨光合速率「維持在一定的範圍」內，其波動是受到當日光照度影響。
- 2、推測其原因為PM_{2.5}濃度超過35.4ppm時，剛進入新環境的植物會受到PM_{2.5}影響，使植物光合速率降低。
- 3、越高濃度PM_{2.5}環境會使植物光合速率低迷的時間越久。
- 4、處在越高濃度PM_{2.5}環境，斜率量值越大。
- 5、植物本身為了在「困難」(重度逆境)的環境求生存，提高光合作用。



- 1、在正常情況下，日日春的光合速率小於虎尾蘭。
- 2、日日春受PM_{2.5}之影響比虎尾蘭大。推測其主要的的原因可能是PM_{2.5}會阻礙光照量，而虎尾蘭是室外耐陰植物所以受影響比較小

陸、結論

- 一、四地區PM_{2.5}濃度變化大致相同，都是在夏季最低，其他季節較高，其主要原因是夏季西南季風的擾動。而斗六地區PM_{2.5}濃度夏季略低或等於其他地區，但冬季明顯高於其他三鄉鎮，推測其是因為夏、冬盛行風向不同而導致PM_{2.5}沉降於本身為畚箕地形的斗六。
- 二、利用碘液變色法觀測PM_{2.5}對植物的光合速率之影響實驗結果發現，此實驗方法並不理想主要原因有二：
 - 1.此方法要剪下植物葉片影響植物生長，且裝置無法控制PM_{2.5}濃度，生長情形不佳及葉片泛黃及導致死亡
 - 2.利用澱粉含量的變化來代表光合效率不易掌控，原因是澱粉非光合作用直接產物，應利用氧氣的生成和二氧化碳的消耗較為直接
- 三、利用自製<空汙光合檢測儀>來測定日日春和虎尾蘭兩種植物，在不同PM_{2.5}下的光合速率之影響實驗中發現：
 - 1、植物會因為短期內處在含較高濃度逆境中，而在改變光合效率在逆境中「求生存」。一般情況下，植物體活性氧的生成與代謝是處在動態平衡的狀態(參考資料三)。但「重度逆境」會導致抗氧化系統代謝能力下降，活性氧不易清除，造成細胞死亡。但我們認為，在「輕度逆境」中，植物體內的酵素活性將會提高；到達臨界值時，活性會下滑，光合速率將變慢。
 - 2、日日春受到的到的影響比虎尾蘭來得明顯，推測其主要的的原因可能是PM_{2.5}會阻礙光照量，而虎尾蘭是室外耐陰植物受影響較小