

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 植物學科

第二名

052103

空氣鳳梨毛狀體降低空汙之探討

學校名稱：國立潮州高級中學

作者： 高二 黃兆立 高二 阮悅庭 高二 何俊霖	指導老師： 楊勝惠 洪育祥
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：毛狀體、PM 2.5、PVC

摘要

本研究主要是探討空氣鳳梨葉子作為清淨環境空氣和降低 PM2.5 濃度以及物理性微粒的功能。為了解空氣鳳梨的吸附能力，我們先測量空氣鳳梨的滯塵能力，發現高居室內植物滯塵能力第二名；其次是測量植株能否降低線香微粒濃度，發現其葉片具有減少懸浮微粒的能力，顯示其具有空氣淨化效果；猜測上述能力應與毛狀體結構有關，於是著手測量去毛後的吸附能力，得知毛狀體是影響吸附能力的關鍵。接著我們學習 Image J 操作，進一步了解空氣鳳梨在各部位的吸收能力及運送途徑。透過影像分析，推測微粒的路徑為葉基→葉中→葉尖。最後探討吸附微粒後植株與對照組的抗氧化能力，發現實驗組明顯降低，說明微粒會對空氣鳳梨造成氧化壓力並影響生理代謝。

壹、研究動機

本篇所探討的空氣鳳梨能利用葉子特化的表皮細胞—毛狀體，吸收空氣中的水氣與無機鹽類，從而取代根的功能。除了方便種植之外，我們想知道空氣鳳梨是否還有可能應用於環境空氣清淨，降低空污 PM2.5 濃度，以及減少灰塵的功能，因此設計了以下的研究。

貳、研究目的

一、目的

1. 探討空氣鳳梨對環境空氣清淨，降低空污 PM2.5。
2. 探討空氣鳳梨毛狀體收集塵土的功效。
3. 探討塑膠微粒是否能夠由毛狀體進入空氣鳳梨。
4. 探討塑膠微粒溶液輸送進入維管束內的路徑及影響。
5. 探討吸收塑膠微粒後對空氣鳳梨抗氧化能力的改變。

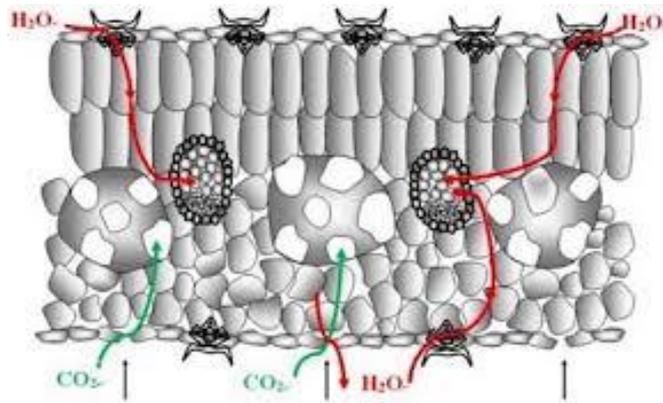
二、相關資料

(一) 空氣鳳梨

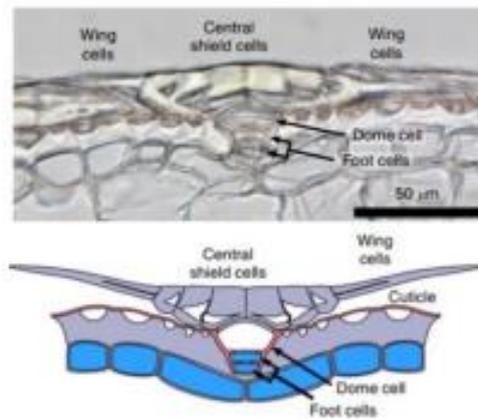
空氣鳳梨葉子常有著銀白色光澤，這是因為有適應環境的利器—毛狀體的原因。毛狀體是一種葉毛細胞，由表皮細胞特化而來，可以折射掉過強的陽光，提供光保護(photo-protection)的功能，有減少水份散失與降溫的效果 (梁和顏，2015)。本研究主要是觀察空氣型鳳梨(*Tillandsia capitata*) 卡比他他空氣鳳梨其葉片大較易採樣，尤其是其毛狀體發達較易觀察。

此種空氣鳳梨的氣孔只分布在下表皮，主要在晚上開啟，而葉子的毛狀體大多分布在上表皮與基部。另外，根部似乎不具輸導能力，僅靠葉表的毛狀體吸收水份，水份主要由基部的毛狀體進入至維管束內，再由下而上因打開的氣孔產生蒸散作用的拉力(圖一)，推測毛狀體可吸水後改變環細胞的膨壓，鱗毛平鋪使水份進入(圖二)。此外，進入基部或表皮的毛狀體可能具有似根部內皮

管制哨的功能，需主動運輸無機鹽類至葉肉組織，走原生質絲(共質體)路徑吸收(吳和洪，2016)。

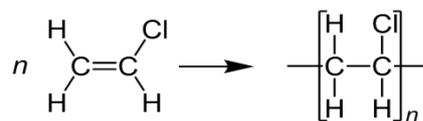


圖一、水分和二氧化碳進出空氣鳳梨的路徑(吳思儀、洪禎林，2016)



圖二、毛狀體的構造 (Pascal S. et al. 2020)

(二)聚氯乙炔(葉名倉等，2022年)(Polyvinyl Chloride)PVC 是一種白色粉末固體，一般的粉狀微粒大小約為 70-150 μm (Peng, 2020)。是由氯乙炔聚合而成的高分子聚合物，是除了聚乙烯、聚丙烯之後，第三種最廣泛生產的合成塑膠聚合物。



(圖片來源：葉名倉等，2022年)

尼羅紅(Wikipedia, 2023, June 7)是一種親脂性染料，其化學式為

$\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_2$ 。它可以將 PVC 染色，並且在藍光照射下會發出橘紅色的螢

光。

參、研究設備與器材

一、實驗器材：

培養皿(個)、燒杯(數個)、膠帶(一卷)、鑷子(支)、解剖針(支)、刀片(數片)、蓋玻片(數片)、載玻片(數片)、滴管(數支)、手套(數雙)、解剖顯微鏡(一台)、光學複式顯微鏡(一台)、數位顯微鏡(一台)、空氣鳳梨(數十株)。烘箱。水氧機。離心機、離心管、濾紙、昆蟲箱、微量吸管、藍光 UV 燈、TES-5321A(PM2.5 Air Quality Monitor)、Arduino PM2.5 偵測器、分光光度計、比色管、攪拌器、攪拌棒。

二、實驗藥品：

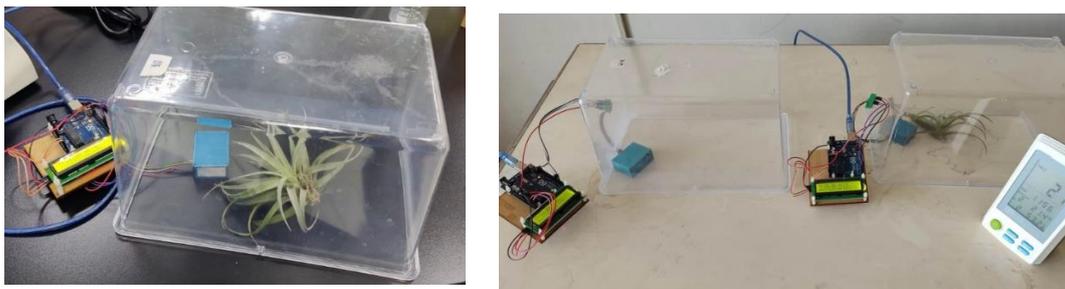
PVC 粉、尼羅紅染劑、丙酮、Potassium Phosphate Buffer (50mM, pH=5.8)、雙氧水(39.2mM)、愈創木酚(Guaiacol)。

肆、研究方法與過程

【實驗一】探討空氣鳳梨受 pm2.5 的影響

實驗 1-1、空氣鳳梨對線香微粒濃度下降影響

使用兩個生態箱分別放入感測器，一組放入植物，一組做為沒有植物的對照組，給以相同時間，看有植物和沒植物的微粒濃度下降率。



- 1.準備兩個箱子並分別置入檢測器，其中一個放入植物。
- 2.點燃線香，同時放入箱子約 2 秒，等待至 pm2.5 濃度下降至 500 微克/立方公尺(檢測器正確數值的上限)後，開始數據記錄。
- 3.每 5 分鐘記錄一次，觀察 20 分鐘。
- 4.重複實驗並記錄結果。

實驗 1-2、空氣鳳梨葉片減少懸浮微粒的能力(滯塵能力)

- 1.從空氣鳳梨上隨機取樣葉片 3 片，並從葉基處拔下。
- 2.用一次水(自飲水機取得之 RO 水)沖洗取樣之葉片，洗去葉片上原有之灰塵，並用紙巾將葉片上之水分吸乾。
- 3.將擦乾之葉片置於裝有塵土(取自學校旁工地，並經 250 mesh 之濾網過篩)的夾鏈袋中，使塵土均勻附著於葉片上。
- 4.用鑷子將葉片鉛直夾出，並稍微抖動，讓多餘塵土落下，然後放入盛裝一次水的燒杯中。
- 5.搖晃掏洗出塵土，再將掏洗液通過濾紙，使塵土停留於濾紙上，並潤洗燒杯數次，以盡可能洗去燒杯內剩餘塵土。

6.之後將帶有塵土之潮濕濾紙放入塑膠培養皿中烘乾並秤重得 W_1 值。將

W_1 值減去培養皿加濾紙重量之 W_0 值，可得取樣葉片上附著塵土的重量。

7.用紙膠帶黏滿葉表後以剪刀沿著葉片邊緣剪去多餘部分並撕下，再使用程式 Image J 搭配比例尺算出取樣葉片之總葉面積 (A)，則可估算出該植物單位葉面積之滯塵能力。

$$\text{單位葉面積之滯塵能力} = \frac{W_1 - W_0}{A} \left(\frac{mg}{cm^2} \right)$$

【實驗二】探討毛狀體對空氣鳳梨吸收塑膠微粒的影響 cm

實驗 2-1、平均螢光強度檢測(定量分析)

1.灰階圖案的每個像素，儲存一個數值，表示從黑至白的程度，其中全黑是 0、全白是 255。

0	50	150
50	150	200
150	200	200

2.螢光反應原理

範例：假設圖形有 9 個像素，每個像素的值如圖所示，即總數=9(像素)，閾值(選擇螢光反應值的範圍)：預選 150~255(黑 0，白 255)

3.經過 imageJ 之計算可得下列結果，其每個項目的意義為

Results

File	Edit	Font	Results				
Area	Mean	StdDev	IntDen	%Area	RawIntDen	MinThr	MaxThr

(1)Area(依閾值選到區域)=6(像素)

(2)%Area((依閾值選到區域的百分比)=Area 6/總數 9

(3)IntDen(Area 區域內之值的加總)=150*3+200*3=1050

(4)RawIntDev(校準後選取之值的加總)

(5)Mean(有螢光反應區域的平均值)=IntDen/Area

(6)StdDev(標準差)

(7)MinThr(最小閾值)=150

(8)MaxThr(最大閾值)=255

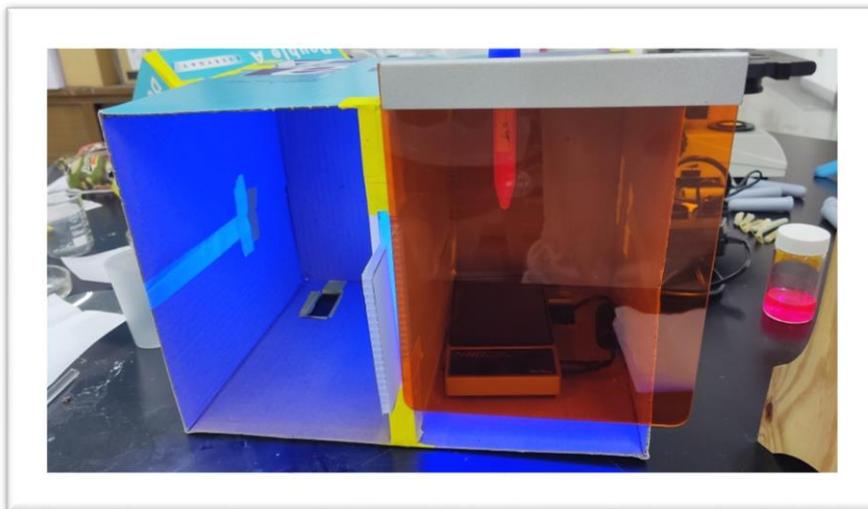
實驗 2-2、去除毛狀體的吸收塑膠微粒影響

採用膠帶以人工方式去除葉面毛狀體，方法則是將膠帶的粘性面輕輕壓在葉子的正面和背面若干次，以拔除毛狀體，此法經文獻證明，並不會影響葉子的正常吸收能力(Zhang et al., 2019)。以除毛的次數做對比，分為沒除毛和以膠帶貼 2 次和 5 次，運用水氣機將塑膠微粒噴出，觀察附著情形。

1.除毛並貼在塑膠盒外側



2.用尼羅紅水溶液將塑膠微粒沖洗，分別置入三支試管中離心，並以藍光觀察結果



【實驗三】塑膠微粒對空氣鳳梨的吸收路徑與影響

實驗 3-1、空氣鳳梨是否吸收塑膠微粒

將整株空氣鳳梨置入充滿 PVC 的昆蟲箱內 2 小時，使其充分吸收 PVC 後，再以尼羅紅丙酮染色後，與無噴過塑膠微粒之植物比較，觀察塑膠微粒的吸收。

- 1.尼羅紅染劑的配置。(將尼羅紅以 1mg : 200ml 加入丙酮配製成染劑。)
- 2.先將整株空氣鳳梨至置入昆蟲箱
- 3.將裝有塑膠微粒的水氣機置入透明盒內，開啟噴霧連續 2 小時
- 4.取一葉片製成橫切面標本，並加入少許尼羅紅丙酮染劑再橫切葉子製成玻片進行觀察。
- 5.比較有無噴過加 PVC 粉的差別。



實驗 3-2、塑膠微粒的吸收路徑

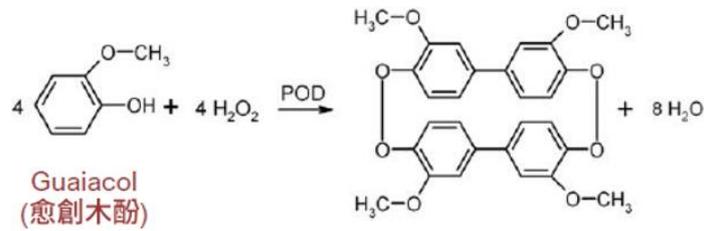
將整株空氣鳳梨置入充滿 PVC 的昆蟲箱內 2 小時，使其充分吸收 PVC 後，再以尼羅紅丙酮染色後觀察其吸收路徑。

- 1.先將整株空氣鳳梨置入昆蟲箱
- 2.將裝有 0.5g PVC 塑膠微粒的水氣機置入透明盒，開啟噴霧連續 2 小時
- 3.每三十分鐘取一葉片製成橫切面標本，並加入少許尼羅紅丙酮劑再製成玻片進行觀察。
- 4.取下的葉片分成尖端、中段、基段作橫切面樣本
- 5.觀察並拍照塑膠微粒的出現情形
- 6.樣本觀察: 將藍光 LED (457nm) 固定於桌面，再將樣本放置到桌面上，接著將手機鏡頭貼上橘色墊板拍攝樣本。

【實驗四】觀察噴灑塑膠微粒對空氣鳳梨體內抗氧化酵素活性的影響

利用愈創木酚與過氧化氫在過氧化酶(peroxidase, POD)的作用下會生成紅棕色的愈創木酚四聚體之反應，以分光光度計 470nm 波長分別測量實驗組(噴灑

塑膠微粒後一週)與對照組(未噴灑塑膠微粒)的葉中部位，在單位時間中四聚體之增加量，以得知 POD 活性大小。



(1)藥品準備

1.Postassium phosphate buffer (50mM,pH=5.8)。

2.POD activity buffer

以 $H_2O_2 : Guaiacol : Buffer = 810\mu L : 900\mu L : 900\mu L$ 配置。

(2)樣品準備

1.樣品磨碎置於離心管，加入 1000 μ L 的 Postassium phosphate buffer。

2.以 6000rpm 離心 20 分鐘後置於冰上保存

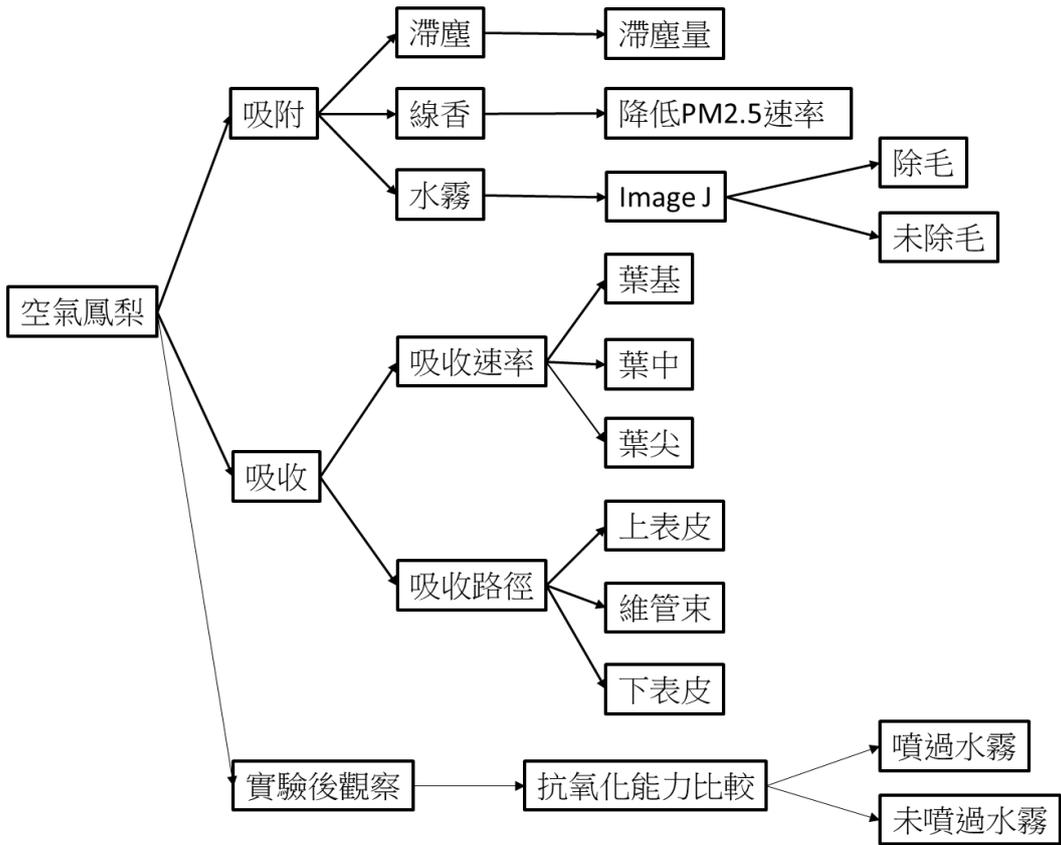
(3)實驗操作

1.將 2610 μ L 的 POD activity buffer 加入比色管，並於分光光度計中架設完成。

2.取離心後的樣品上清液 90 μ L 加入比色管中快速混勻

3.開始數據紀錄，每分鐘測量一次 OD470 之吸光值。

肆、實驗架構圖

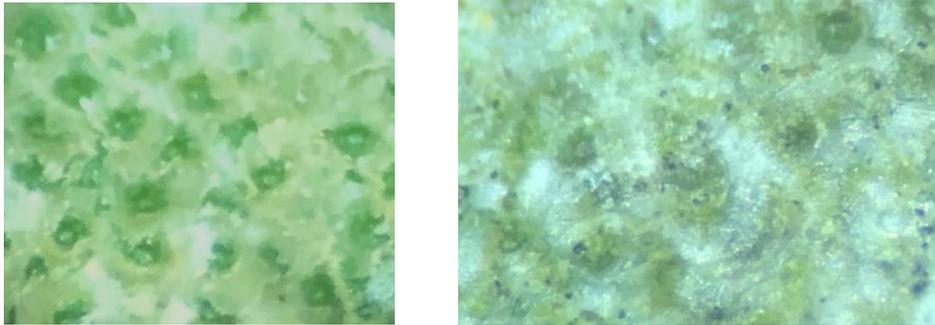


伍、研究結果

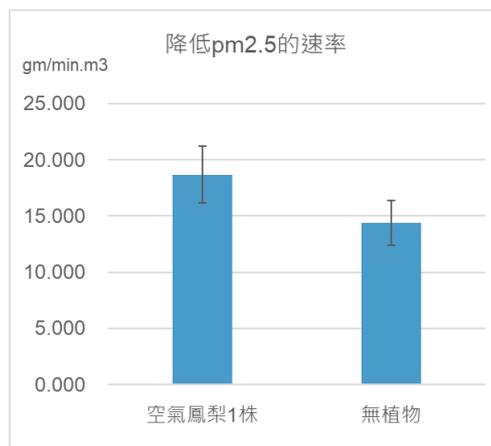
【實驗一】探討空氣鳳梨對空汙之影響

實驗 1-1、空氣鳳梨降低 pm2.5 的速率

- 1.空氣鳳梨葉面外部型態：正常葉面(左側)，線香煙燻一小時(右側)，可以發現毛狀體上增加許多大小不等的黑色顆粒。



- 2.空氣鳳梨降低 pm2.5 的速率



紙箱中放置一株空氣鳳梨(實驗組)與無放置植物(對照組)比較，發現有空氣鳳梨對降低 pm2.5 的速率較快(N=5，t-test 統計有差異性* P<0.05)。

實驗 1-2、空氣鳳梨葉片減少懸浮微粒的能力(滯塵能力) $W_0(mg)$

	$W_0(mg)$	$W_1(mg)$	$A(cm^2)$	$\frac{W_1 - W_0}{A}$
第一組	560	870	23.50	13.19
第二組 (兩張濾紙)	560 + 580	610 + 620	12.66	7.11
第三組 (兩張濾紙)	570 + 570	750 + 810	34.31	12.24

可得平均 $10.85(\frac{mg}{cm^2})$ ，發現與淨化室內空氣之植物單位葉面積滯塵量相

比，大約是第二名。

表 1. 臺灣常見室內植物之單位葉面積滯塵量(mg/cm^2)。

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

(資料來源：淨化室內空氣之植物，第 10 頁)

【實驗二】探討毛狀體對空氣鳳梨吸收塑膠微粒的影響

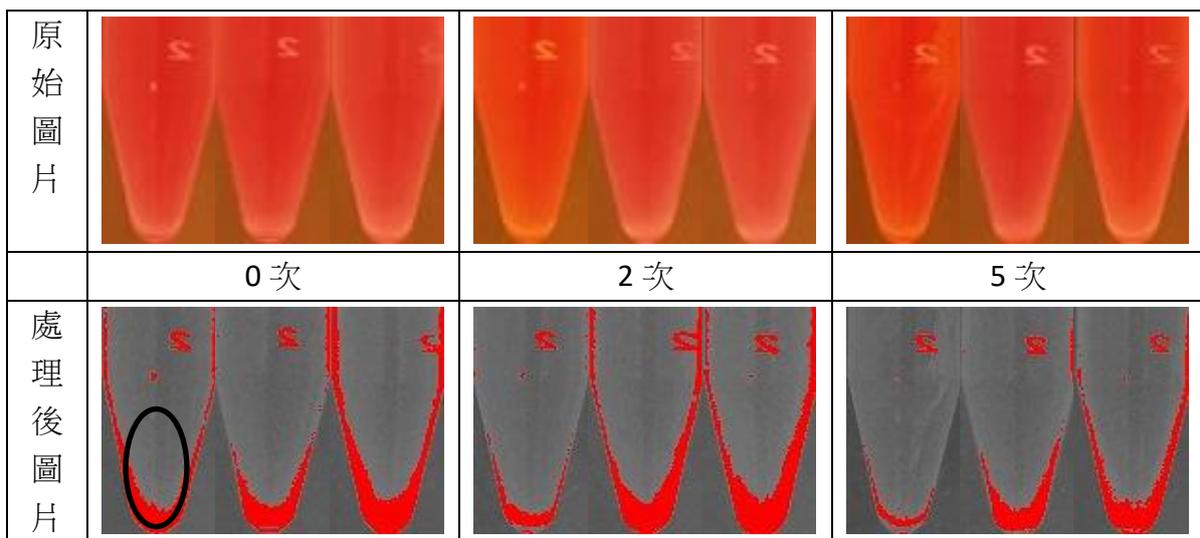
實驗 2-1、平均螢光強度檢測(定量分析)

了解 ImageJ 螢光計量的方法，我們採用 Mean 或 IntDen 作為量化參考，若是選取面積不均等，則採用 Mean 來量化；若是選取面積相等，則採用 Mean 或 IntDen 來量化是一樣的。為了減少誤差，我們控制閾值的選取，首先對尼羅紅染色的 PVC 圖，擷取參考值。計算平均螢光平均閾值：下圖兩張經尼羅紅染色的 PVC 圖，當閾值選擇在 125~255 可得清楚螢光反應。此值可作為往後選擇實驗閾值的參考。



實驗 2-2、去除毛狀體的吸收塑膠微粒影響

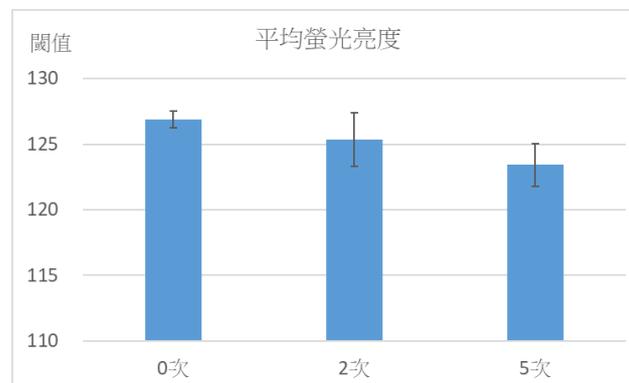
以除毛的次數做對比，分為沒除毛和以膠帶貼 2 次和 5 次，運用水氧機將塑膠微粒噴出，看附著情形。



實驗	次數	Area	Mean	StdDev	IntDen	%Area	RawIntDen	MinThr	MaxThr
N=1	0次	268	126.784	4.919	33978	16.708	33978	120	255
	2次	90	122.511	2.473	11026	5.611	11026	120	255
	5次	18	121.167	1.917	2181	1.122	2181	120	255
N=2	0次	289	126.125	4.801	36450	18.017	36450	120	255
	2次	415	127.147	5.579	52766	25.873	52766	120	255
	5次	243	124.988	3.645	30372	15.15	30372	120	255
N=3	0次	448	127.683	5.111	57202	27.93	57202	120	255
	2次	479	126.367	5.023	60530	29.863	60530	120	255
	5次	300	124.123	4.015	37237	18.703	37237	120	255

	N=1	N=2	N=3	平均亮度	標準差
0次	126.784	126.125	127.683	126.864	0.639
2次	122.511	127.147	126.367	125.342	2.027
5次	121.167	124.988	124.123	123.426	1.636

1. 選取離心管底部橢圓區域並以 Image J 計算平均螢光亮度
2. 閾值控制在 MinThr=120 及 MaxThr=255
3. 依平均螢光亮度 Mean，可得值的大小為 0 次>2 次>5 次。
4. 結果符合預期，毛狀體愈多，PVC 顆粒附著效果越顯著。



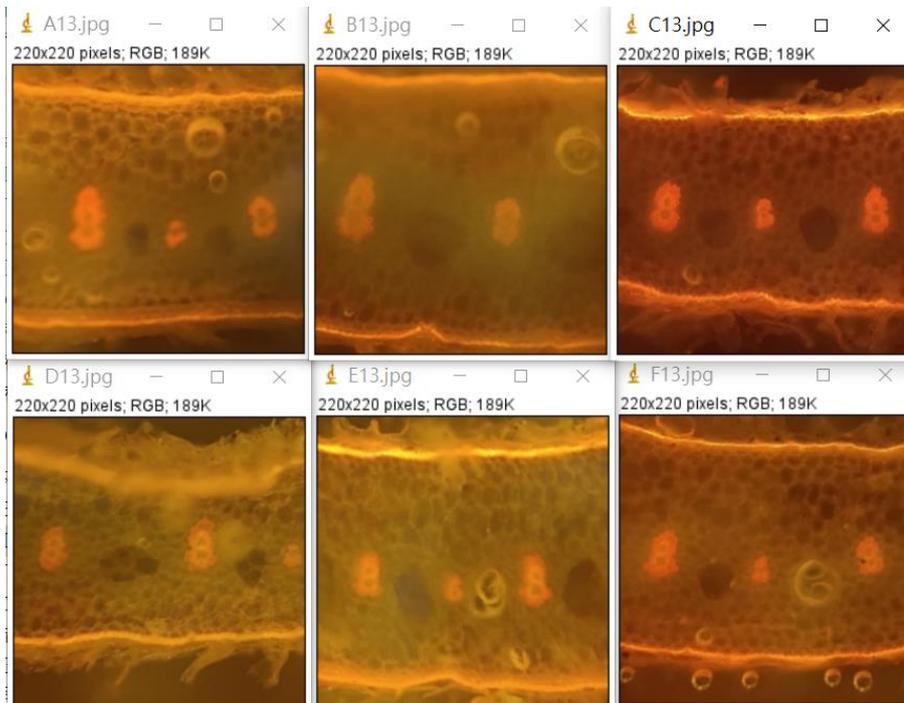
【實驗三】探討空氣鳳梨吸收塑膠微粒的路徑與排出情形

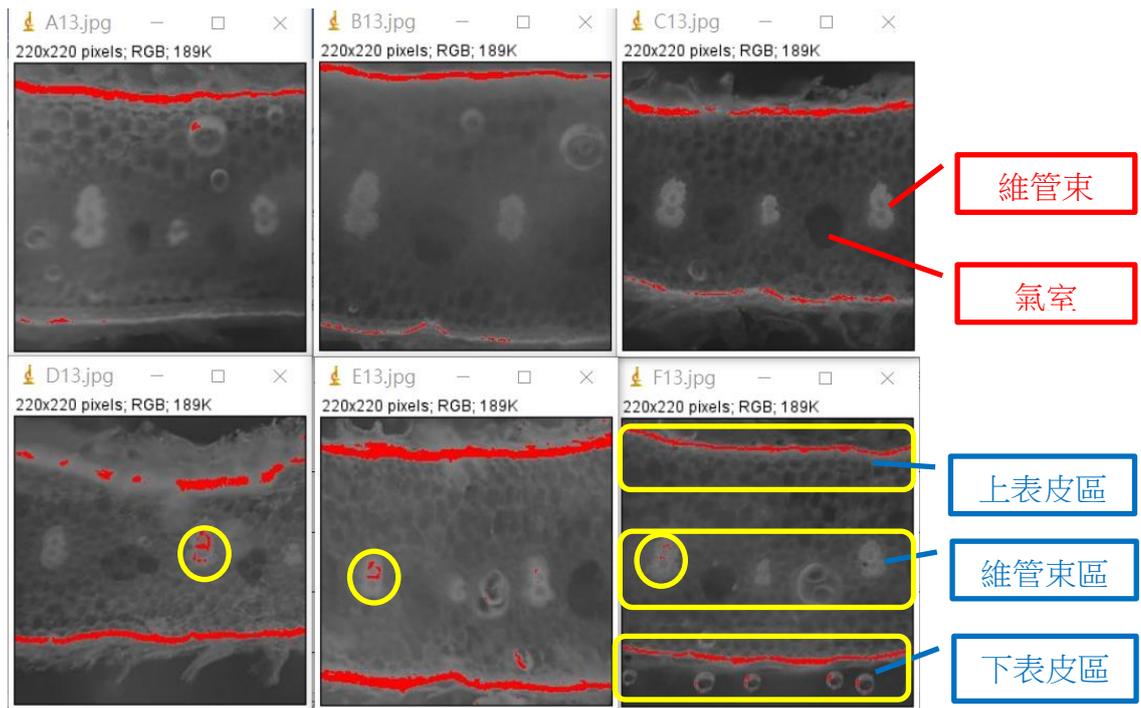
實驗 3-1、塑膠微粒是否能吸收

1.採用水霧機噴霧方法，每 30 分鐘，對葉尖、葉中、葉基進行採樣，再以 Image J 分別對每個樣本的上表皮、維管束、下表皮進行螢光分析。

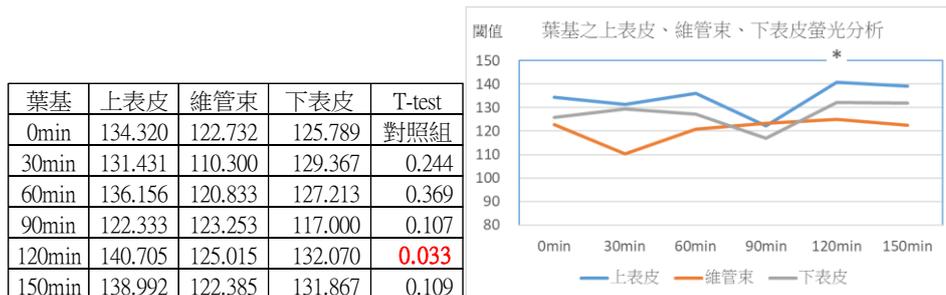
(1)圖片編號說明例如 A13(A：0 分鐘，1：葉基，3：第 3 筆資料)。每張圖片上表皮在上方，下表皮在下方，中間維管束區。

(2)下圖分別是 0、30、60、90、120、150 分鐘，在葉基的採樣 6 張原圖及 Image J 處理圖，閾值則選在 120~255 間。可以觀察到在 30 分鐘後，下表皮有明顯螢光反應。維管束在 90 分鐘時有明顯的螢光反應(黃色圓圈)。





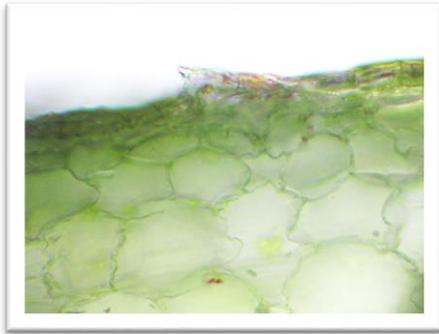
(3)N=1 測量結果



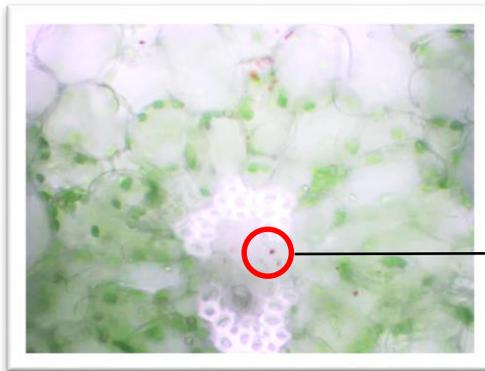
(4)閾值預設 120~255，若該區擷取不到螢光值，則將閾值每次下修 10，直到取到螢光值為止。

2.從圖表看來，可以發現塑膠微粒會進入到空氣鳳梨的維管束。一開始尼羅紅只停留在毛狀體外層，隨時間推移染劑通過毛狀體並經過葉肉細胞並滲入維管束，接著將葉內的 PVC 染色後變為螢光。

3.以顯微鏡觀察葉子橫切面，可見塑膠微粒(暗紅色顆粒)在毛狀體聚集的情形。



4.塑膠微粒(暗紅色顆粒)進入維管束。

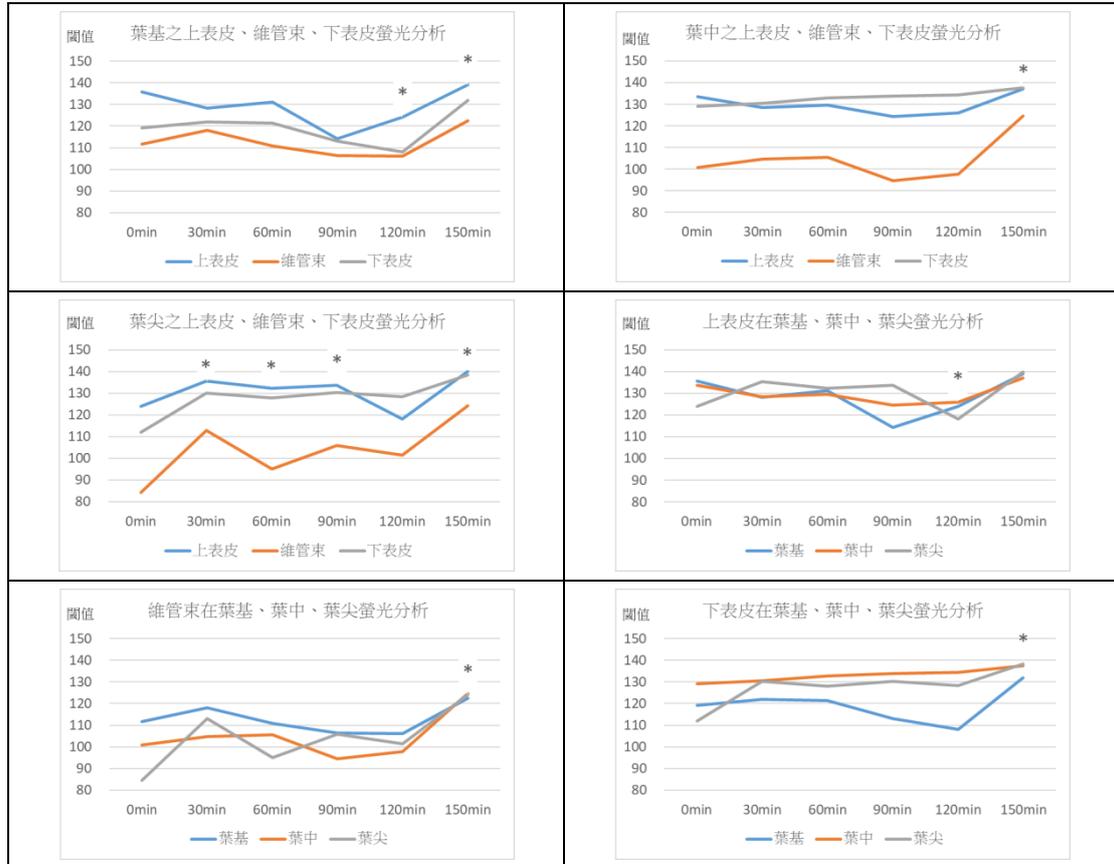


塑膠微粒(PVC)

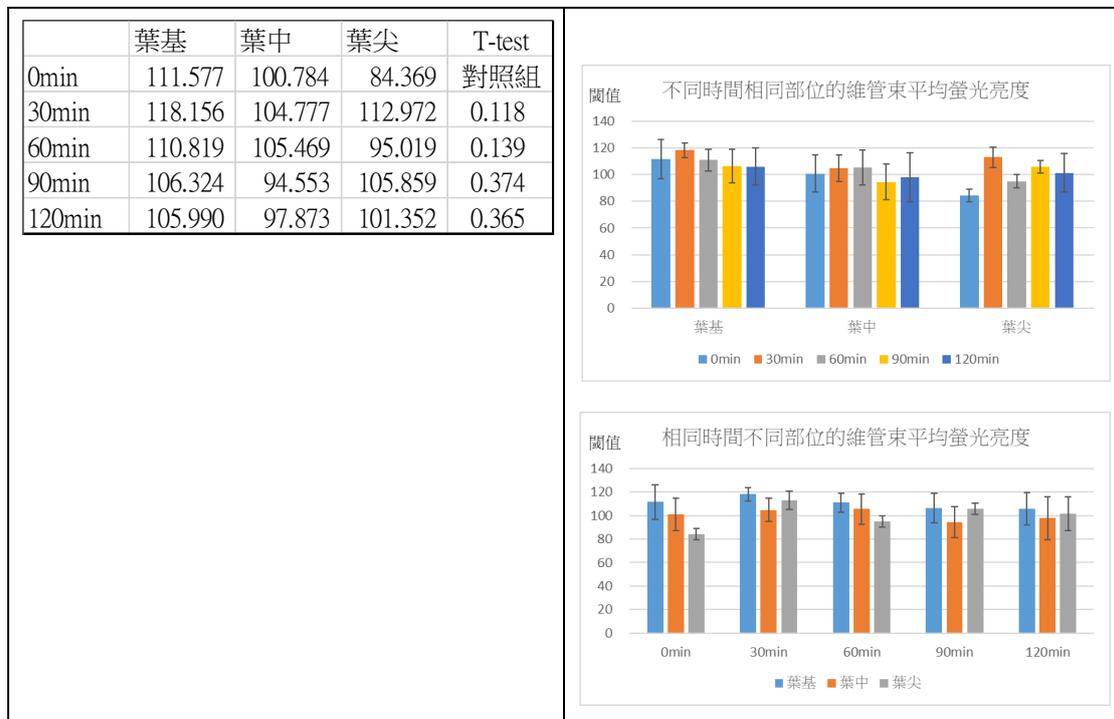
塑膠微粒(PVC)

實驗 3-2、塑膠微粒的運輸路徑與影響

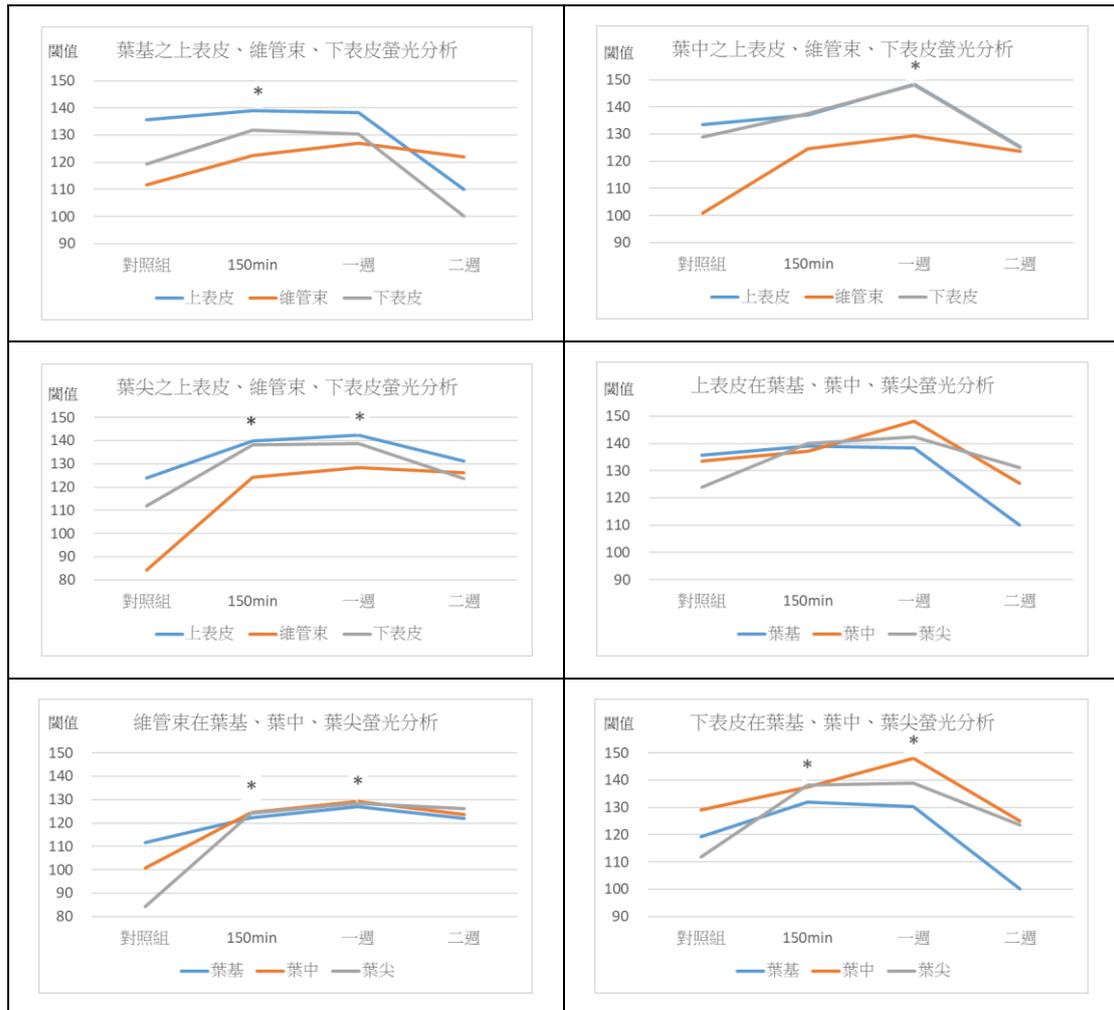
1. 分項結果：各部位的比較



2. 維管束區在不同時間、不同部位的比較



3.恢復觀察



4.(1)各部位的平均螢光強度(Mean)大小關係為：葉基 > 葉中 > 葉尖，塑膠微粒的路徑為從葉基往葉中及葉尖方向運送。

(2)葉基在不同時段的平均螢光強度(Mean)大小關係為：

120(分鐘) > 60 > 30 > 初始，逐漸累積增加。

(3)恢復觀察的結果顯示，二週後塑膠微粒在維管束中仍維持一定濃度，並未從體內排出。

【實驗四】觀察噴灑塑膠微粒對空氣鳳梨體內抗氧化酵素活性的影響

用分光光度計測出愈創木酚四聚體的 $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ 值，再配合其吸光係數 ϵ ($26.6mM^{-1}cm^{-1}$)與比色管長度 1cm(光徑)，以 Beer-Lambert 定律推算出其濃度 C，再除以樣品重量可得到 POD 活性。以對照組為例：

時間	對照1
0	0.000
1	0.012
2	0.028
3	0.045
4	0.060
5	0.074
6	0.084
7	0.091
8	0.098
9	0.103
10	0.107
11	0.109
12	0.111
13	0.114
14	0.115

1.將單位時間吸光度轉換形成的產量

$$c = \frac{\Delta A}{\Delta t(\text{min}) \times \epsilon(mM^{-1}cm^{-1}) \times l(\text{cm})} = \frac{0.115}{14 \times 26.6 \times 1}$$

$$\approx 0.0003088 \left(\frac{mM}{\text{min}} \right) \approx 0.3088 \left(\frac{\mu M}{\text{min}} \right)$$

2.單位換算

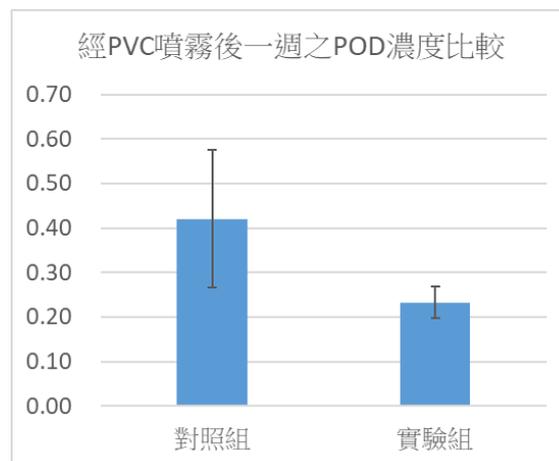
$$0.3088 \left(\frac{\mu M}{\text{min}} \right) = 0.3088 \left(\frac{\mu mole}{L \cdot \text{min}} \right) = 0.3088 \left(\frac{nmole}{mL \cdot \text{min}} \right)$$

3.反應發生的總體積為 2.7 mL，考慮實際參與作用的空氣鳳梨葉片中每毫

$$\text{克的 POD 含量} = \frac{0.3088 \left(\frac{nmole}{mL \cdot \text{min}} \right) \times 2.7mL}{\frac{0.0279g}{1000\mu L} \times 90\mu L} \approx 0.3321 \frac{nmole}{\text{min} \cdot \text{mg}}$$

(參考 Mitsch and White, 2020 第 6 頁)

	N=1	N=2	N=3	N=4	平均	標準差
對照組	0.3321	0.2908	0.6389	0.5962	0.4206	0.1553
實驗組	0.2655	0.2506	0.1824	0.2559	0.2329	0.0362



陸、討論

【實驗一】探討空氣鳳梨對空汙之影響

實驗 1-1 空氣鳳梨對線香微粒濃度下降影響

- 1.線香煙霧濃度在小容器內容易超過儀器可偵測數值範圍，可以用較大的容器如昆蟲箱，且線香在箱內的時間儘量控制在一秒內。原本猜測放有植物的箱子會比與沒有放東西的箱子，其線香微粒的濃度下降幅度較大，經 t-test 檢驗一致，確有顯著差異。另外也觀察到，兩者數據都下降，推測是否是因為實驗空間無法做到完全密閉的影響。
- 2.在燃燒線香的情況下，數據顯示放有空氣鳳梨植株的生態箱中的微粒濃度下降速度比沒有植物的對照組快。推測空氣鳳梨植株具有淨化空氣中懸浮微粒的能力，且可以加速微粒濃度的下降。
- 3.植物通過吸收二氧化碳進行光合作用的過程中，同時吸收空氣中的微粒，並將其固定在植物的葉表面上，從而達到淨化空氣的效果。然而，我們只測試了空氣鳳梨對線香微粒的淨化效果，可以進一步檢測其他污染源和懸浮微粒的種類和濃度。

實驗 1-2 空氣鳳梨葉片減少懸浮微粒的能力(滯塵能力)

- 1.空氣鳳梨的葉片具有一定的滯塵能力，可以阻擋和固定空氣中的懸浮微粒，從而減少其在空氣中的存在量。此外，實驗過程中使用的塵土也可能影響實驗結果的準確性。
- 2.植物的滯塵能力通常與其葉表面的微觀結構和表面化學性質有關，例如葉片上的蠟質層和微小毛細孔可以吸附微粒，從而達到淨化空氣的效果。因此，空氣鳳梨的葉片具有一定的滯塵能力應該與毛狀體構造有關。

【實驗二】探討毛狀體對空氣鳳梨吸收塑膠微粒的影響

實驗 2-1、平均螢光強度檢測(定量分析)

- 1.從 Image J 的圖片上，確實看到螢光反應，在進一步了解其螢光計量原理後，我們以 Image J 做定量分析。
- 2.圖片來源需透過手機拍照，無法直接由儀器取得影像，是誤差之一。另外為減少電腦自行判斷的誤差，所以控制閾值取得數據，但有時該區在閾值範圍內擷取不到數值，我們並未將 Mean 值設為 0，而假設 PVC 存在，因角度問題影響螢光反應，所以選擇下修閾值，每次以 10 為單位，直至取到數據為止。
- 3.ImageJ 是免費軟體，取得方便，若其周邊儀器能有更好的配合，將使量化效果更精確、更穩定。

實驗 2-2、去除毛狀體的吸收塑膠微粒影響

- 1.這個實驗的目的是為了比較沒有除毛、以膠帶貼 2 次和 5 次對於塑膠微粒附著情形的影響。最初選定 0 次 5 次 10 次作為撕毛狀體的次數但是實驗結果顯示 5 次和 10 次極為相近，推測應該是 5 次便已經幾乎撕光所有的毛狀體，最終決定改成 0 次 2 次 5 次。
- 2.在沒有除毛的情況下，塑膠微粒會黏在表皮毛狀體上，因此而在使用膠帶貼 2 次和 5 次的情況下，因為毛狀體減少，空氣鳳梨吸附能力逐漸減弱，因此黏第 2 次和黏 5 次的實驗結果的圖片亮度均較低。
- 3.使用尼羅紅水溶液將塑膠微粒沖洗到試管中，再進行離心。尼羅紅是一種螢光染料，能夠使塑膠微粒在藍光下發出紅色螢光。因此，使用藍光觀察試管中的塑膠微粒，能夠以肉眼觀察到微粒的含量。這個方法對於研究塑膠微粒在環境中的分佈有很大的幫助。
- 4.將葉片貼在昆蟲箱上方，以水氧機噴霧，觀察塑膠微粒的附著情形。這個實驗結果會受到葉片表面的形態、結構的影響，因此不同的葉片可能會有不同的結果，我們儘量選取大小相似的葉片進行實驗。
- 5.遇到的問題:
 - (1)我們試過做完實驗後染劑，然後沖刷到濾紙上，再烘乾進行觀察，

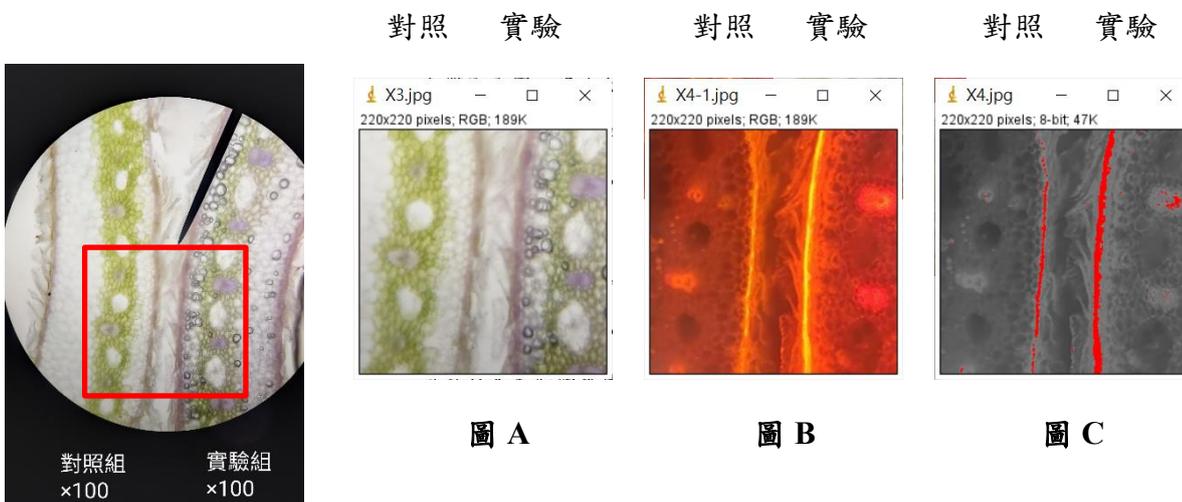
然而實驗結果並不好觀察，推測在沖刷塑膠微粒的同時毛狀體也一同被沖下，導致觀察不易，便改為沖進離心管在進行兩次離心後，去除上層毛狀體懸浮液，再測量下層塑膠微粒螢光強度。

(2)離心後的結果不易區分哪些是毛狀體哪些是塑膠微粒，推測是染劑成分的問題，於是將本來的尼羅紅加水 1:200 改為尼羅紅加丙酮 1:200，在顯微鏡下觀察確認，並不會染到毛狀體。

【實驗三】探討空氣鳳梨吸收塑膠微粒的路徑與排出情形

實驗 3-1、空氣鳳梨的毛狀體是否能吸收塑膠微粒

比較圖 A 的左側對照組和右側實驗組，可以發現在一般燈光下實驗組有較明顯的紫色線條，且對照組粉紫色的塑膠微粒有滲透入維管束內。圖 B 是照藍光之後，右側實驗組螢光顯色更明顯。圖 C 是藉由 Image J 的分析，能看出維管束的螢光反應，也能得到量化比較的數據，使我們能探討不同時間及部位的差異。

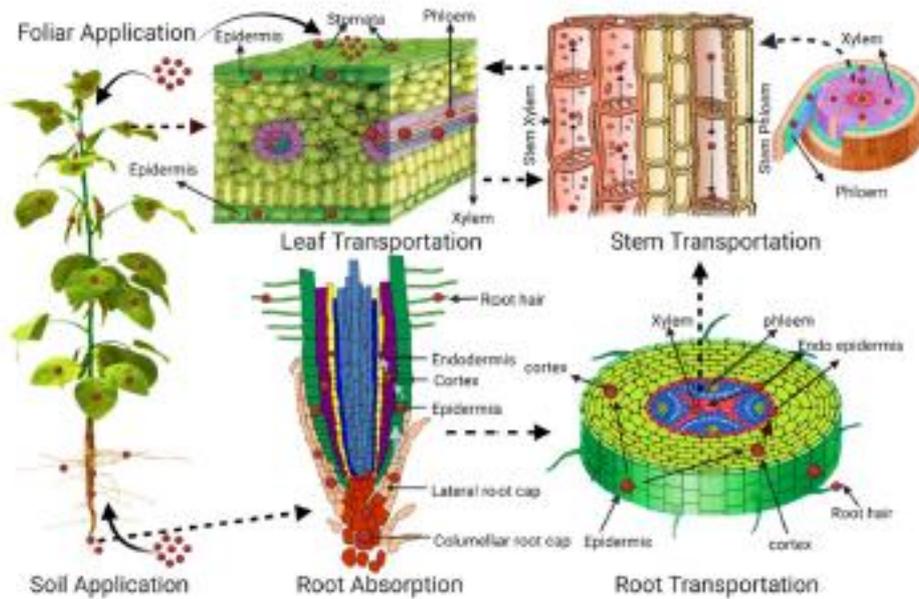


實驗 3-2、塑膠微粒的運輸路徑與影響

- 1.葉基部分可快速累積較多的塑膠微粒，可能此處較寬、表面積較大，分布較多毛狀體，因此可以吸收更多微粒。此外，之前的研究結果是水份主要由較多毛狀體的基部進入至維管束內，再由分布在下表皮的氣孔產

生蒸散作用的拉力，往葉尖輸送(吳和洪，2016)。此外，溶於水中的鹽類硝酸鉀也是相似路徑，經由毛狀體進到植物體內，透過水的蒸散拉力將鹽類由葉基部運輸至尖端，以抵抗高鹽逆境(林和陳，2021)。微粒長距離的運送與水分及鹽類一致

- 2.進入基部或表皮的毛狀體可能具有似根部內皮管制哨的功能，需主動運輸無機鹽類至葉肉組織，走原生質絲(共質體)路徑吸收。但就塑膠微粒而言，主要螢光出現位置是分布在細胞外圍，推測走離質路徑進入維管束組織。



- 3.塑膠微粒已被證實可藉由各種管道進入動物體內，在植物體主要是由根部、葉子氣孔進入輸導組織內(如上圖 Azeem et al., 2021)，再逐漸影響食物鏈及生態系。在此實驗中為首次發現塑膠微粒能由毛狀體進入至維管束，並進一步探討其運輸路徑，且發現物理性微粒會對植物有長期的影響，可能堆積無法分解的微粒在老葉中，未來可作為環境變化的採樣監測。

【實驗四】觀察噴灑塑膠微粒對空氣鳳梨體內抗氧化酵素活性的影響

- 1.植物行光合作用或呼吸作用的過程中，會產生活性氧類(reactive oxygen

species, ROS)的代謝廢物，累積大量的自由基，可能傷害胞器的膜或甚至核酸，藉由細胞製造的抗氧化物，進行連鎖反應與活性氧類作用消除過多的自由基，降低氧化壓力進而保護細胞 (Bermudez and Pignata, 2011)。

2.由結果發現空氣鳳梨的抗氧化物檢測中，原本對照組過氧化酶(peroxidase, POD)含量並不高，可能是其已演化出具備許多獨特的抗氧化策略，例如角質化的毛狀體以適應強光高溫或輻射環境下等逆境。此外，當物理性微粒進入維管束，可能阻塞並造成運輸代謝的能量消耗減緩，降低活性氧類的產生，因此反而呈現抗氧化物較低的情形。目前空汙對空氣鳳梨的生理研究不多，可以進一步作長期的環境影響探討。

柒、結論

從空氣鳳梨植株對線香微粒濃度下降的影響和空氣鳳梨葉片減少懸浮微粒的能力，顯示出具有一定的空氣淨化效果，由於毛狀體能夠吸附和固定空氣中的懸浮微粒，包括線香微粒和塑膠微粒等，從而降低微粒濃度。此外，我們發現毛狀體可以經離質路徑吸收塑膠微粒至維管束中，從葉基往葉尖方向的路徑，累積在植物體內。長期而言，植物體本身的抗氧化能力可能因此受到影響而降低。另外，需要注意的是，植物的淨化效果受到多種因素的影響，包括空氣鳳梨的種類、空氣中污染物的種類和濃度、植物的生長狀況等，因此在實際應用中，需要綜合累積多方面資料，以作為檢測環境空汙的指標性植物。未來若能應用毛狀體構造於仿生材質，或許可以生產淨化空氣的工具。

捌、參考資料

- 1.林予加、陳以晴。2021年。探討空氣鳳梨吸收鹽類的構造與運輸鹽類的機制。61屆全國科展作品。
- 2.吳思儀、洪禎林。2016年。鳳言鳳語—空氣鳳梨毛狀體與吸收路徑探討。55屆全國科展作品。
- 3.梁群健、顏俊宇。2015年。空氣鳳梨輕鬆玩。麥浩斯出版，城邦文化事業公司發行。台北市。207頁。
- 4.Azeem, I.; Adeel, M.; Ahmad, M.A.; Shakoor, N.; Jiangcuo, G.D.; Azeem, K.; Ishfaq, M.; Shakoor, A.; Ayaz, M.; Xu, M.; et al. 2021. Uptake and Accumulation of Nano/Microplastics in Plants: A Critical Review. *Nanomaterials*, 11, 2935. <https://doi.org/10.3390/nano11112935>
- 5.Bermudez G M A and Pignata M L (2011) Antioxidant Response of Three *Tillandsia* Species Transplanted to Urban, Agricultural, and Industrial Areas. *Arch Environ Contam Toxicol* 61:401–413.
- 6.Mitsch M and White B. 2020. A Simple, Quantitative Peroxidase Assay Demonstrating Enzyme Inhibition with L-cysteine. *Advances in Biology Laboratory Education*, 41: Article 44.
- 7.Pascal S. Raux, Simon Gravelle, Jacques Dumais. 2020. Design of a unidirectional water valve in *Tillandsia*. *Nature*, 396.
- 8.Peng, Bo-Yu et al. Biodegradation of Polyvinyl Chloride (PVC) in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae. *Environment International* 145: 106106, 2020.
- 9.Zhang R, Zheng G, Li P. 2019. Effects of foliar trichomes on the accumulation of atmospheric particulates in *Tillandsia brachycaulos*. *Open Life Sci.* 14: 580–587.
- 10.淨化室內空氣之植物：應用及管理手冊。行政院環保署編印
(<https://freshair.epa.gov.tw/object/%E6%B7%A8%E5%8C%96%E5%AE%A4%E5%85%A7%E7%A9%BA%E6%B0%A3%E4%B9%8B%E6%A4%8D%E7%89%A9%E6%87%89%E7%94%A8%E5%8F%8A%E7%AE%A1%E7%90%86%E6%89%8B%E5%86%8A.pdf>)
- 11.葉名倉等(2022年12月初版二刷)。高中化學(V)。臺南市：南一書局
- 12.Nile red。(2023, June 7)。Wikipedia。取自：
https://en.wikipedia.org/wiki/Nile_red

玖、附錄

實驗 3-2

1.分項結果

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>葉基</th> <th>上表皮</th> <th>維管束</th> <th>下表皮</th> <th>T-test</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0min</td> <td>135.737</td> <td>111.577</td> <td>119.291</td> <td>對照組</td> </tr> <tr> <td>30min</td> <td>128.205</td> <td>118.156</td> <td>121.961</td> <td>0.452</td> </tr> <tr> <td>60min</td> <td>131.175</td> <td>110.819</td> <td>121.242</td> <td>0.306</td> </tr> <tr> <td>90min</td> <td>114.278</td> <td>106.324</td> <td>113.083</td> <td>0.086</td> </tr> <tr> <td>120min</td> <td>124.013</td> <td>105.990</td> <td>108.135</td> <td>0.020</td> </tr> <tr> <td>150min</td> <td>138.992</td> <td>122.385</td> <td>131.867</td> <td>0.045</td> </tr> </tbody> </table>	葉基	上表皮	維管束	下表皮	T-test	0min	135.737	111.577	119.291	對照組	30min	128.205	118.156	121.961	0.452	60min	131.175	110.819	121.242	0.306	90min	114.278	106.324	113.083	0.086	120min	124.013	105.990	108.135	0.020	150min	138.992	122.385	131.867	0.045	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>葉中</th> <th>上表皮</th> <th>維管束</th> <th>下表皮</th> <th>T-test</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0min</td> <td>133.589</td> <td>100.784</td> <td>129.031</td> <td>對照組</td> </tr> <tr> <td>30min</td> <td>128.524</td> <td>104.777</td> <td>130.541</td> <td>0.481</td> </tr> <tr> <td>60min</td> <td>129.549</td> <td>105.469</td> <td>132.843</td> <td>0.323</td> </tr> <tr> <td>90min</td> <td>124.464</td> <td>94.553</td> <td>133.742</td> <td>0.244</td> </tr> <tr> <td>120min</td> <td>126.087</td> <td>97.873</td> <td>134.301</td> <td>0.346</td> </tr> <tr> <td>150min</td> <td>137.083</td> <td>124.611</td> <td>137.554</td> <td>0.095</td> </tr> </tbody> </table>	葉中	上表皮	維管束	下表皮	T-test	0min	133.589	100.784	129.031	對照組	30min	128.524	104.777	130.541	0.481	60min	129.549	105.469	132.843	0.323	90min	124.464	94.553	133.742	0.244	120min	126.087	97.873	134.301	0.346	150min	137.083	124.611	137.554	0.095
葉基	上表皮	維管束	下表皮	T-test																																																																			
0min	135.737	111.577	119.291	對照組																																																																			
30min	128.205	118.156	121.961	0.452																																																																			
60min	131.175	110.819	121.242	0.306																																																																			
90min	114.278	106.324	113.083	0.086																																																																			
120min	124.013	105.990	108.135	0.020																																																																			
150min	138.992	122.385	131.867	0.045																																																																			
葉中	上表皮	維管束	下表皮	T-test																																																																			
0min	133.589	100.784	129.031	對照組																																																																			
30min	128.524	104.777	130.541	0.481																																																																			
60min	129.549	105.469	132.843	0.323																																																																			
90min	124.464	94.553	133.742	0.244																																																																			
120min	126.087	97.873	134.301	0.346																																																																			
150min	137.083	124.611	137.554	0.095																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>葉尖</th> <th>上表皮</th> <th>維管束</th> <th>下表皮</th> <th>T-test</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0min</td> <td>123.996</td> <td>84.369</td> <td>111.887</td> <td>對照組</td> </tr> <tr> <td>30min</td> <td>135.500</td> <td>112.972</td> <td>130.150</td> <td>0.030</td> </tr> <tr> <td>60min</td> <td>132.193</td> <td>95.019</td> <td>127.933</td> <td>0.019</td> </tr> <tr> <td>90min</td> <td>133.705</td> <td>105.859</td> <td>130.192</td> <td>0.021</td> </tr> <tr> <td>120min</td> <td>118.110</td> <td>101.352</td> <td>128.280</td> <td>0.174</td> </tr> <tr> <td>150min</td> <td>139.921</td> <td>124.127</td> <td>138.277</td> <td>0.029</td> </tr> </tbody> </table>	葉尖	上表皮	維管束	下表皮	T-test	0min	123.996	84.369	111.887	對照組	30min	135.500	112.972	130.150	0.030	60min	132.193	95.019	127.933	0.019	90min	133.705	105.859	130.192	0.021	120min	118.110	101.352	128.280	0.174	150min	139.921	124.127	138.277	0.029	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>上表皮</th> <th>葉基</th> <th>葉中</th> <th>葉尖</th> <th>T-test</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0min</td> <td>135.737</td> <td>133.589</td> <td>123.996</td> <td>對照組</td> </tr> <tr> <td>30min</td> <td>128.205</td> <td>128.524</td> <td>135.500</td> <td>0.478</td> </tr> <tr> <td>60min</td> <td>131.175</td> <td>129.549</td> <td>132.193</td> <td>0.489</td> </tr> <tr> <td>90min</td> <td>114.278</td> <td>124.464</td> <td>133.705</td> <td>0.261</td> </tr> <tr> <td>120min</td> <td>124.013</td> <td>126.087</td> <td>118.110</td> <td>0.020</td> </tr> <tr> <td>150min</td> <td>138.992</td> <td>137.083</td> <td>139.921</td> <td>0.106</td> </tr> </tbody> </table>	上表皮	葉基	葉中	葉尖	T-test	0min	135.737	133.589	123.996	對照組	30min	128.205	128.524	135.500	0.478	60min	131.175	129.549	132.193	0.489	90min	114.278	124.464	133.705	0.261	120min	124.013	126.087	118.110	0.020	150min	138.992	137.083	139.921	0.106
葉尖	上表皮	維管束	下表皮	T-test																																																																			
0min	123.996	84.369	111.887	對照組																																																																			
30min	135.500	112.972	130.150	0.030																																																																			
60min	132.193	95.019	127.933	0.019																																																																			
90min	133.705	105.859	130.192	0.021																																																																			
120min	118.110	101.352	128.280	0.174																																																																			
150min	139.921	124.127	138.277	0.029																																																																			
上表皮	葉基	葉中	葉尖	T-test																																																																			
0min	135.737	133.589	123.996	對照組																																																																			
30min	128.205	128.524	135.500	0.478																																																																			
60min	131.175	129.549	132.193	0.489																																																																			
90min	114.278	124.464	133.705	0.261																																																																			
120min	124.013	126.087	118.110	0.020																																																																			
150min	138.992	137.083	139.921	0.106																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>維管束</th> <th>葉基</th> <th>葉中</th> <th>葉尖</th> <th>T-test</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0min</td> <td>111.577</td> <td>100.784</td> <td>84.369</td> <td>對照組</td> </tr> <tr> <td>30min</td> <td>118.156</td> <td>104.777</td> <td>112.972</td> <td>0.118</td> </tr> <tr> <td>60min</td> <td>110.819</td> <td>105.469</td> <td>95.019</td> <td>0.139</td> </tr> <tr> <td>90min</td> <td>106.324</td> <td>94.553</td> <td>105.859</td> <td>0.374</td> </tr> <tr> <td>120min</td> <td>105.990</td> <td>97.873</td> <td>101.352</td> <td>0.365</td> </tr> <tr> <td>150min</td> <td>122.385</td> <td>124.611</td> <td>124.127</td> <td>0.049</td> </tr> </tbody> </table>	維管束	葉基	葉中	葉尖	T-test	0min	111.577	100.784	84.369	對照組	30min	118.156	104.777	112.972	0.118	60min	110.819	105.469	95.019	0.139	90min	106.324	94.553	105.859	0.374	120min	105.990	97.873	101.352	0.365	150min	122.385	124.611	124.127	0.049	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>下表皮</th> <th>葉基</th> <th>葉中</th> <th>葉尖</th> <th>T-test</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0min</td> <td>119.291</td> <td>129.031</td> <td>111.887</td> <td>對照組</td> </tr> <tr> <td>30min</td> <td>121.961</td> <td>130.541</td> <td>130.150</td> <td>0.150</td> </tr> <tr> <td>60min</td> <td>121.242</td> <td>132.843</td> <td>127.933</td> <td>0.121</td> </tr> <tr> <td>90min</td> <td>113.083</td> <td>133.742</td> <td>130.192</td> <td>0.256</td> </tr> <tr> <td>120min</td> <td>108.135</td> <td>134.301</td> <td>128.280</td> <td>0.352</td> </tr> <tr> <td>150min</td> <td>131.867</td> <td>137.554</td> <td>138.277</td> <td>0.050</td> </tr> </tbody> </table>	下表皮	葉基	葉中	葉尖	T-test	0min	119.291	129.031	111.887	對照組	30min	121.961	130.541	130.150	0.150	60min	121.242	132.843	127.933	0.121	90min	113.083	133.742	130.192	0.256	120min	108.135	134.301	128.280	0.352	150min	131.867	137.554	138.277	0.050
維管束	葉基	葉中	葉尖	T-test																																																																			
0min	111.577	100.784	84.369	對照組																																																																			
30min	118.156	104.777	112.972	0.118																																																																			
60min	110.819	105.469	95.019	0.139																																																																			
90min	106.324	94.553	105.859	0.374																																																																			
120min	105.990	97.873	101.352	0.365																																																																			
150min	122.385	124.611	124.127	0.049																																																																			
下表皮	葉基	葉中	葉尖	T-test																																																																			
0min	119.291	129.031	111.887	對照組																																																																			
30min	121.961	130.541	130.150	0.150																																																																			
60min	121.242	132.843	127.933	0.121																																																																			
90min	113.083	133.742	130.192	0.256																																																																			
120min	108.135	134.301	128.280	0.352																																																																			
150min	131.867	137.554	138.277	0.050																																																																			

2.維管束區在不同時間、不同部位的比較

葉基	1	2	3	平均	標準差
0min	121.000	91.000	122.732	111.577	14.568
30min	123.000	121.167	110.300	118.156	5.605
60min	110.625	101.000	120.833	110.819	8.098
90min	94.000	101.718	123.253	106.324	12.379
120min	92.956	100.000	125.015	105.990	13.756

葉中	1	2	3	平均	標準差
0min	91.795	90.250	120.308	100.784	13.820
30min	91.000	111.508	111.824	104.777	9.743
60min	101.594	91.746	123.068	105.469	13.077
90min	80.603	90.833	112.222	94.553	13.174
120min	72.053	110.000	111.565	97.873	18.268

葉尖	1	2	3	平均	標準差
0min	91.186	80.412	81.510	84.369	4.841
30min	123.250	110.667	105.000	112.972	7.627
60min	91.072	92.000	101.985	95.019	4.940
90min	103.111	102.000	112.466	105.859	4.694
120min	90.765	91.577	121.713	101.352	14.401

0分鐘	1	2	3	平均	標準差
葉基	121.000	91.000	122.732	111.577	14.568
葉中	91.795	90.250	120.308	100.784	13.820
葉尖	91.186	80.412	81.510	84.369	4.841

30分鐘	1	2	3	平均	標準差
葉基	123.000	121.167	110.300	118.156	5.605
葉中	91.000	111.508	111.824	104.777	9.743
葉尖	123.250	110.667	105.000	112.972	7.627

60分鐘	1	2	3	平均	標準差
葉基	110.625	101.000	120.833	110.819	8.098
葉中	101.594	91.746	123.068	105.469	13.077
葉尖	91.072	92.000	101.985	95.019	4.940

90分鐘	1	2	3	平均	標準差
葉基	94.000	101.718	123.253	106.324	12.379
葉中	80.603	90.833	112.222	94.553	13.174
葉尖	103.111	102.000	112.466	105.859	4.694

120分鐘	1	2	3	平均	標準差
葉基	92.956	100.000	125.015	105.990	13.756
葉中	72.053	110.000	111.565	97.873	18.268
葉尖	90.765	91.577	121.713	101.352	14.401

3.恢復觀察

葉基	上表皮	維管束	下表皮	T-test
對照組	135.737	111.577	119.291	對照組
150min	138.992	122.385	131.867	0.045
一週	138.230	127.051	130.371	0.063
二週	110.000	121.857	100.200	0.204

葉中	上表皮	維管束	下表皮	T-test
對照組	133.589	100.784	129.031	對照組
150min	137.083	124.611	137.554	0.095
一週	148.249	129.334	148.093	0.018
二週	125.318	123.750	125.039	0.375

葉尖	上表皮	維管束	下表皮	T-test
對照組	123.996	84.369	111.887	對照組
150min	139.921	124.127	138.277	0.029
一週	142.374	128.487	138.833	0.029
二週	131.127	126.158	123.581	0.102

上表皮	葉基	葉中	葉尖	T-test
對照組	135.737	133.589	123.996	對照組
150min	138.992	137.083	139.921	0.106
一週	138.230	148.249	142.374	0.066
二週	110.000	125.318	131.127	0.222

維管束	葉基	葉中	葉尖	T-test
對照組	111.577	100.784	84.369	對照組
150min	122.385	124.611	124.127	0.049
一週	127.051	129.334	128.487	0.036
二週	121.857	123.75	126.158	0.056

下表皮	葉基	葉中	葉尖	T-test
對照組	119.291	129.031	111.887	對照組
150min	131.867	137.554	138.277	0.050
一週	130.371	148.093	138.833	0.027
二週	100.200	125.039	123.581	0.355

實驗四

時間	對照1	對照2	對照3	對照4	時間	實驗1	實驗2	實驗3	實驗4
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.012	0.007	0.002	0.001	1	0.012	0.008	0.003	0.003
2	0.028	0.025	0.037	0.030	2	0.028	0.016	0.005	0.007
3	0.045	0.041	0.064	0.054	3	0.040	0.024	0.008	0.010
4	0.060	0.054	0.084	0.073	4	0.049	0.031	0.011	0.013
5	0.074	0.062	0.094	0.088	5	0.057	0.036	0.014	0.016
6	0.084	0.070	0.108	0.097	6	0.065	0.040	0.016	0.018
7	0.091	0.078	0.116	0.105	7	0.071	0.045	0.017	0.020
8	0.098	0.083	0.121	0.111	8	0.076	0.048	0.019	0.022
9	0.103	0.087	0.126	0.117	9	0.079	0.050	0.020	0.023
10	0.107	0.091	0.127	0.119	10	0.083	0.052	0.021	0.024
11	0.109	0.094	0.132	0.123	11	0.085	0.053	0.022	0.025
12	0.111	0.096	0.135	0.126	12	0.086	0.055	0.023	0.026
13	0.114	0.099	0.137	0.128	13	0.088	0.055	0.024	0.027
14	0.115	0.100	0.138	0.131	14	0.089	0.056	0.024	0.027
重量g	0.0279	0.0277	0.0174	0.0177	重量g	0.0270	0.0180	0.0106	0.0085

【評語】 052103

1. 本研究主要是探討空氣鳳梨葉子作為清淨環境空氣和降低 PM2.5 濃度以及物理性微粒的功能。
2. 本研究實驗結果發現空氣鳳梨的具有很好的滯塵能力，及其葉片具有減少懸浮微粒的能力，並推測此能力可能與毛狀體結構有關。進一步透過影像分析，推測出微粒可能的吸附路徑為葉基→葉中→葉尖。最後發現微粒會降低植株的抗氧化能力。
3. 本研究在空氣鳳梨如何滯塵及吸附懸浮微粒的觀察上有初步之結果，鼓勵未來在實際應用可行性上進行系統優化。

作品海報

摘要

本研究主要是探討空氣鳳梨葉子作為清淨環境空氣和降低PM2.5濃度以及物理性微粒的功能。為了解空氣鳳梨的吸附能力，我們先測量空氣鳳梨的滯塵能力，發現高居室內植物滯塵能力第二名；其次是測量植株能否降低線香微粒濃度，發現其葉片具有減少懸浮微粒的能力，顯示其具有空氣淨化效果；猜測上述能力應與毛狀體結構有關，於是著手測量去毛後的吸附能力，得知毛狀體是影響吸附能力的關鍵。接著我們學習Image J操作，進一步了解空氣鳳梨在各部位的吸收能力及運送途徑。透過影像分析，推測微粒的路徑為葉基→葉中→葉尖。最後探討吸附微粒後植株與對照組的抗氧化能力，發現實驗組明顯降低，說明微粒會對空氣鳳梨造成氧化壓力並影響生理代謝。

壹、研究動機

本篇所探討的空氣鳳梨能利用葉子特化的表皮細胞—毛狀體，吸收空氣中的水氣與無機鹽類，從而取代根的功能。除了方便種植之外，我們想知道空氣鳳梨是否還有可能應用於環境空氣清淨，降低空污PM2.5濃度，以及除濕或減少灰塵的功能，因此設計了以下研究。

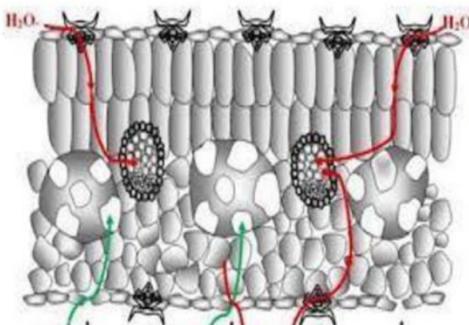
貳、研究目的

- 一、探討空氣鳳梨對環境空氣清淨，降低空污PM2.5。
- 二、探討空氣鳳梨毛狀體收集塵土的功效。
- 三、探討塑膠微粒是否能夠由毛狀體進入空氣鳳梨。
- 四、探討塑膠微粒溶液輸送進入維管束內的路徑及影響。
- 五、塑膠微粒對空氣鳳梨的抗氧化力影響。

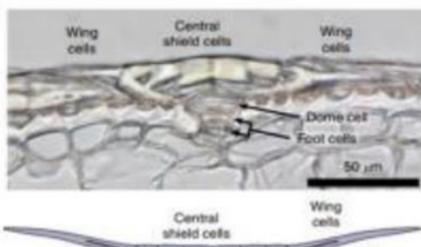
參、背景資料

空氣鳳梨葉子常有著銀白色光澤，這是因為有適應環境的利器—毛狀體的原因。毛狀體是一種葉毛細胞，由表皮細胞特化而來，可以折射掉過強的陽光，提供光保護(photo-protection)的功能，有減少水份散失與降溫的效果(梁和顏，2015)。本研究主要是觀察(Tillandsia capitata)卡比他他空氣鳳梨，因其葉片大較易採樣，尤其是其毛狀體發達較易觀察。

此種空氣鳳梨的氣孔只分布在下表皮，主要在晚上開啟，而葉子的毛狀體大多分布在上表皮與基部。另外，根部似乎不具輸導能力，僅靠葉表的毛狀體吸收水份，水份主要由基部的毛狀體進入至維管束內，再由下而上因打開的氣孔產生蒸散作用的拉力(圖一)，推測毛狀體可吸水後改變環細胞的膨壓，鱗毛平鋪使水份進入(圖二)。此外，進入基部或表皮的毛狀體可能具有似根部內皮管制哨的功能，需主動運輸無機鹽類至葉肉組織，走原生質絲(共質體)路徑吸收(吳和洪，2016)。



圖一、水分和二氧化碳進入空氣鳳梨的路徑(吳思儀、洪煥林，2016)



圖二、毛狀體的構造 (Pascal S. et al., 2020)

肆、研究方法與過程

一、實驗器材：

培養皿(個)、燒杯(數個)、膠帶(一卷)、鑷子(支)、解剖針(支)、刀片(數片)、蓋玻片(數片)、載玻片(數片)、滴管(數支)、手套(數雙)、解剖顯微鏡(一台)、光學複式顯微鏡(一台)、空氣鳳梨(數十株)、烘箱、水氧機、離心機、離心管、濾紙、昆蟲箱、微量吸管、藍光UV燈、TES-5321A(PM2.5 Air Quality Monitor)、Arduino PM2.5偵測器。

二、實驗藥品：

PVC粉、尼羅紅染劑、丙酮。

聚氯乙烯(葉名倉等，2022年)(Polyvinyl Chloride) PVC是一種白色粉末固體，一般的粉狀微粒大小約為70-150 μm (Peng, 2020)。是由氯乙烯聚合而成的高分子聚合物，是除了聚乙烯、聚丙烯之後，第三種最廣泛生產的合成塑膠聚合物。

尼羅紅(Wikipedia, 2023, June 7)是一種親脂性染料，其化學式為 $\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{O}_2\text{N}_2$ 。它可以將PVC染色，並且在藍光照射下會發出橘紅色的螢光。



三、實驗流程：

【實驗一】探討空氣鳳梨受PM2.5的影響

實驗1-1、空氣鳳梨對線香微粒濃度下降影響

使用兩個生態箱分別放入感測器，一組放入植物，一組做為沒有植物的對照組，給予相同時間，看有植物的和沒植物的微粒濃度下降率。



- 1.準備兩個箱子並分別置入檢測器，其中一個放入植物。
- 2.點燃線香，同時放入箱子約2秒，等待至PM2.5濃度下降至500微克/立方公尺(檢測器正確數值的上限)後，開始數據記錄。
- 3.每5分鐘記錄一次，觀察20分鐘。
- 4.重複實驗並記錄結果。

實驗1-2、空氣鳳梨葉片減少懸浮微粒的能力(滯塵能力)

- 1.從空氣鳳梨上隨機取樣葉片3片，並從葉基處拔下。
- 2.用一次水(自飲水機取得之RO水)沖洗取樣之葉片，洗去葉片上原有之灰塵，並用紙巾將葉片上之水分吸乾。
- 3.將擦乾之葉片置於裝有塵土(取自學校旁工地，並經250 mesh之濾網過濾)的夾鏈袋中，使塵土均勻附著於葉片上。
- 4.用鑷子將葉片鉛直夾出，並稍微抖動，讓多餘塵土落下，然後放入盛裝一次水的燒杯中。
- 5.搖晃淘洗出塵土，再將淘洗液通過濾紙，使塵土停留於濾紙上，並潤洗燒杯數次，以盡可能洗去燒杯內剩餘塵土。
- 6.之後將帶有塵土之潮濕濾紙放入塑膠培養皿中烘乾並秤重得值。將 W_1 值減去培養皿加濾紙重量 W_0 之值，可得取樣葉片上附著塵土的重量。
- 7.用紙膠帶黏滿葉表後以剪刀沿著葉片邊緣剪去多餘部分並撕下，再使用程式Image J搭配比例尺算出取樣葉片之總葉面積(A)，則可估算出該植物單位葉面積之滯塵能力= $\frac{W_1 - W_0}{A} (\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2})$

【實驗二】探討毛狀體對空氣鳳梨吸收塑膠微粒的影響cm

實驗2-1、平均螢光強度檢測(定量分析)

- 1.灰階圖案的每個像素，儲存一個數值，表示從黑至白的程度，其中全黑是0、全白是255。

0	50	150
50	150	200
150	200	200

2.螢光反應原理

範例：假設圖形有9個像素，每個像素的值如圖所示，即總數=9(像素)，閾值(選擇螢光反應值的範圍)：

預選150~255(黑0，白255)

3.經過ImageJ之計算可得下列結果，每個項目的意義為

File	Edit	Font	Results				
Area	Mean	StdDev	IntDen	%Area	RawIntDen	MinThr	MaxThr

- (1)Area(依閾值選到區域)=6(像素)
- (2)%Area((依閾值選到區域的百分比)=Area 6/總數9
- (3)IntDen(Area區域內之值的加總)=150*3+200*3=1050
- (4)RawIntDev(校準後選取之值的加總)
- (5)Mean(有螢光反應區域的平均值)=IntDen/Area
- (6)StdDev(標準差)
- (7)MinThr(最小閾值)=150
- (8)MaxThr(最大閾值)=255

實驗2-2、去除毛狀體的吸收塑膠微粒影響

採用膠帶以人工方式去除葉面毛狀體，方法則是將膠帶的粘性面輕輕壓在葉子的正面和背面若干次，以拔除毛狀體，此法經文獻證明，並不會影響葉子的正常吸收能力(Zhang et al., 2019)。以除毛的次數做對比，分為沒除毛和以膠帶貼2次和5次，運用水氧機將塑膠微粒噴出，觀察附著情形。

1.除毛並貼在塑膠盒內側



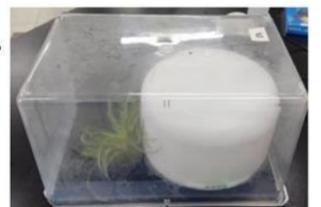
- 2.用尼羅紅丙酮染劑將塑膠微粒沖洗，分別置入三支試管中離心，並以藍光觀察結果。

【實驗三】塑膠微粒對空氣鳳梨的吸收路徑與影響

實驗3-1、空氣鳳梨是否吸收塑膠微粒

將整株空氣鳳梨置入充滿PVC的昆蟲箱內2小時，使其充分吸收PVC後，再以尼羅紅丙酮染劑染色後，與無噴過塑膠微粒之植物比較，觀察塑膠微粒的吸收。

- 1.尼羅紅染劑的配置。(將尼羅紅以1mg:200ml加入丙酮配製成染劑。)
- 2.先將整株空氣鳳梨至置入昆蟲箱
- 3.將裝有塑膠微粒的水氧機置入箱內，開啟噴霧連續2小時。
- 4.取一葉片製成橫切面標本，並加入少許尼羅紅丙酮染劑再橫切葉子製成玻片進行觀察。
- 5.比較有無噴過加PVC粉的差別。



實驗3-2、塑膠微粒的吸收路徑

將整株空氣鳳梨置入充滿PVC的昆蟲箱內2小時，使其充分吸收PVC後，再以尼羅紅丙酮染色後觀察其吸收路徑。

1. 先將整株空氣鳳梨置入昆蟲箱
2. 將裝有0.5g PVC塑膠微粒的水氧機置入透明盒內，開啟噴霧連續2小時
3. 每三十分鐘取一葉片製成橫切面標本，並加入少許尼羅紅丙酮劑再製成玻片進行觀察。
4. 取下的葉片分成尖端、中段、基段作橫切面樣本
5. 觀察並拍照塑膠微粒的出現情形
6. 樣本觀察: 將藍光 LED (457nm) 固定於桌面，再將樣本放置到桌面上，接著將手機鏡頭貼上橘色墊板拍攝樣本。

【實驗四】觀察噴灑塑膠微粒對空氣鳳梨體內抗氧化酶的影響

(1)藥品準備

1. Postassium phosphate buffer (50mM, pH=5.8)。
2. POD activity buffer
以 H_2O_2 : Guaiacol : Buffer = 810 μ L : 900 μ L : 900 μ L 配置。

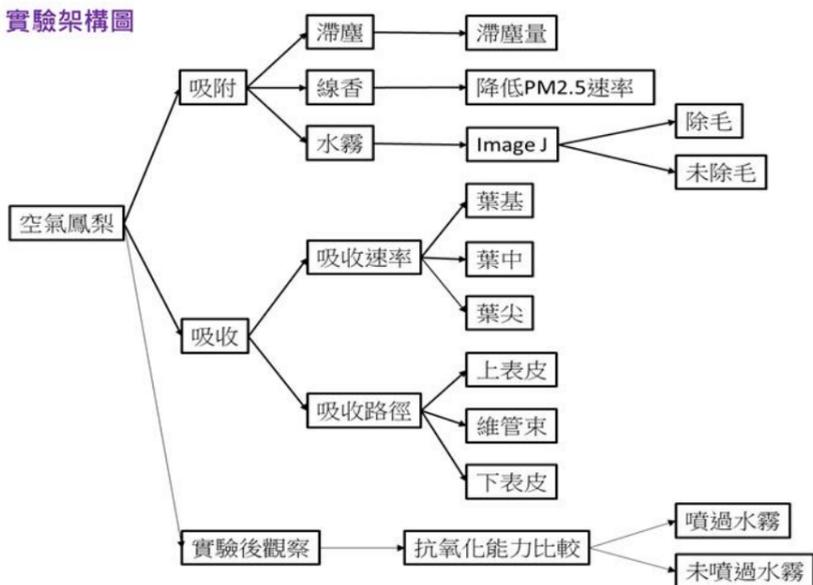
(2)樣品準備

1. 樣品磨碎置於離心管，加入1000 μ L的Postassium phosphate buffer。
2. 以6000rpm離心20分鐘後置於冰上保存

(3)實驗操作

1. 將2610 μ L的POD activity buffer加入比色管，並於分光光度計中架設完成。
2. 取離心後的樣品上清液90 μ L加入比色管中快速混勻
3. 開始數據紀錄，每分鐘測量一次OD470之吸光值。

四、實驗架構圖

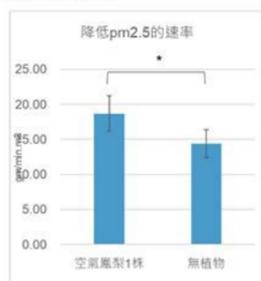


伍、研究結果

【實驗一】探討空氣鳳梨對空汙之影響

實驗1-1、空氣鳳梨降低pm2.5的速率

1. 空氣鳳梨葉面外部型態：正常葉面(左側)，線香煙燻1小時(右側)，可以發現毛狀體上增加許多大小不等的黑色顆粒。



2. 空氣鳳梨降低pm2.5的速率

紙箱中放置一株空氣鳳梨(實驗組)與無放置植物(對照組)比較，發現有空氣鳳梨對降低pm2.5的速率較快(N=5，t-test統計有差異性* P<0.05)。

實驗1-2、空氣鳳梨葉片減少懸浮微粒的能力(滯塵能力)

	W_0 (mg)	W_1 (mg)	A (cm ²)	$\frac{W_1 - W_0}{A}$
第一組	560	870	23.50	13.19
第二組 (兩張濾紙)	560+580	610+620	12.66	7.11
第三組 (兩張濾紙)	570+570	750+810	34.31	12.24

可得平均10.85($\frac{mg}{cm^2}$)，發現與淨化室內空氣之植物單位葉面積滯塵量相比，大約是第二名。

表1. 臺灣常見室內植物之單位葉面積滯塵量(mg/cm²)。

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

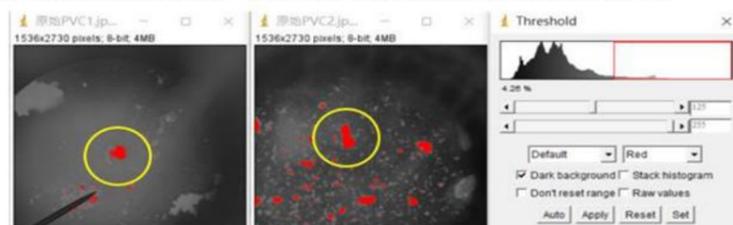
(資料來源：淨化室內空氣之植物，第10頁)

【實驗二】探討毛狀體對空氣鳳梨吸收塑膠微粒的影響

實驗2-1、平均螢光強度檢測(定量分析)

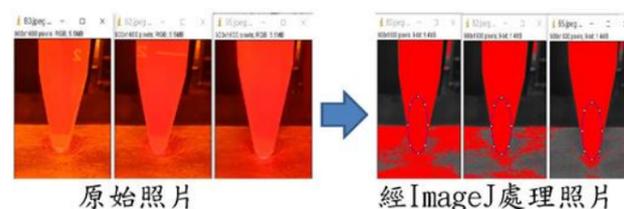
了解ImageJ螢光計量的方法，我們採用Mean或IntDen作為量化參考，若是選取面積不均等，則採用Mean來量化；若是選取面積相等，則採用Mean或IntDen來量化是一樣的。為了減少誤差，我們控制閾值的選取，首先對尼羅紅染色的PVC圖，擷取參考值。

計算平均螢光平均閾值：下圖兩張經尼羅紅染色的PVC圖，當閾值選擇在125~255可得清楚螢光反應。此值可作為往後選擇實驗閾值的參考。



實驗2-2、去除毛狀體的吸收塑膠微粒影響

以除毛的次數做對比，分為沒除毛和以膠帶貼2次和5次，運用水氧機將塑膠微粒噴出，看附著情形。



File	Edit	Font	Results					
Area	Mean	StdDev	IntDen	%Area	RawIntDen	MinThr	MaxThr	
1	67872	115.752	5.744	7856310	100.000	7856310	100	255
2	67872	112.065	3.886	7606078	100.000	7606078	100	255
3	67872	111.173	4.862	7545554	100.000	7545554	100	255

1. 因選區區域內均有螢光反應，故螢光反應面積Area與選區區域面積相等都是67872(pixels)，且%Area=100。
2. 為使變因變小，閾值控制在MinThr=100及MaxThr=255。
3. 不論選取平均螢光亮度Mean或是螢光總亮度為IntDen，都可得到0次>2次>5次。

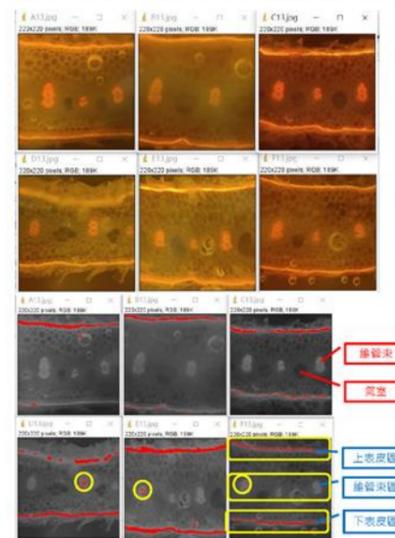
	平均螢光亮度	螢光總亮度	螢光亮度比較
0次	115.752	7856310	大
2次	112.065	7606078	中
5次	111.173	7545554	小

4. 結果符合預期，毛狀體愈多，PVC顆粒附著效果越顯著。

【實驗三】探討空氣鳳梨吸收塑膠微粒的路徑與排出情形

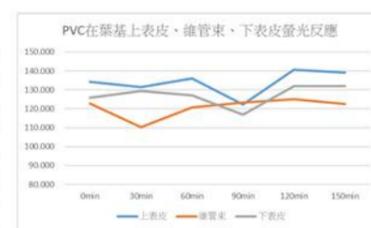
實驗3-1、塑膠微粒是否能吸收

1. 採用水氧機噴霧方法，每30分鐘，對葉尖、葉中、葉基進行採樣，再以Image J分別對每個樣本的上表皮、維管束、下表皮進行螢光分析。
- (1) 圖片編號說明例如A13(A: 0分鐘，1: 葉基，3: 第3筆資料)。每張圖片上表皮在上方，下表皮在下方，中間維管束區。
- (2) 下圖分別是0、30、60、90、120、150分鐘，在葉基的採樣6張原圖及Image J處理圖，閾值則選在120~255間。可以觀察到在30分鐘後，下表皮有明顯螢光反應。維管束在90分鐘時有明顯的螢光反應(黃色圓圈)。



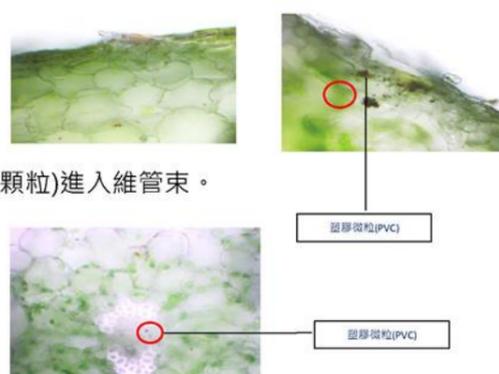
(3)N=1測量結果

葉基	上表皮	維管束	下表皮
0min	134.320	122.732	125.789
30min	131.431	110.300	129.367
60min	136.156	120.833	127.213
90min	122.333	123.253	117.000
120min	140.705	125.015	132.070
150min	138.992	122.385	131.867



(4) 閾值預設120~255，若該區擷取不到螢光值，則將閾值每次下修10，直到取到螢光值為止。

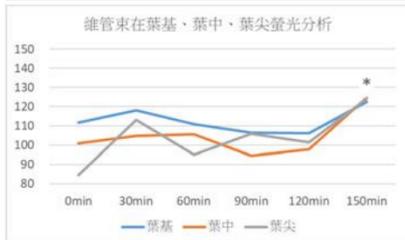
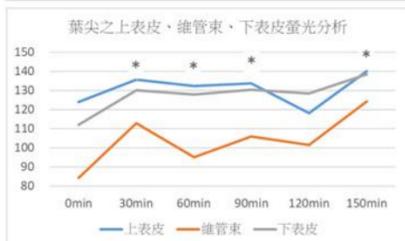
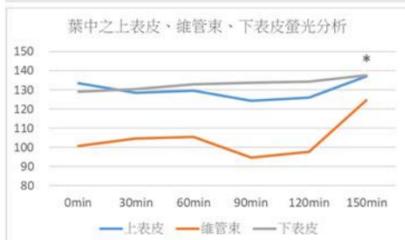
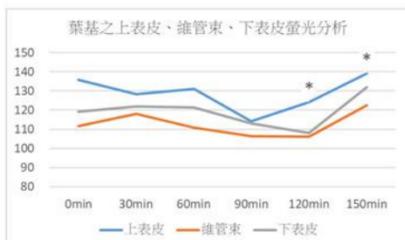
2. 從圖表看來，可以發現塑膠微粒會進入到空氣鳳梨的維管束。一開始尼羅紅只停留在毛狀體外層，隨時間推移染劑通過毛狀體並經過葉肉細胞並滲入維管束，接著將葉內的PVC染色後變為螢光。
3. 以顯微鏡觀察葉子橫切面，可見塑膠微粒(暗紅色顆粒)在毛狀體聚集的情形。



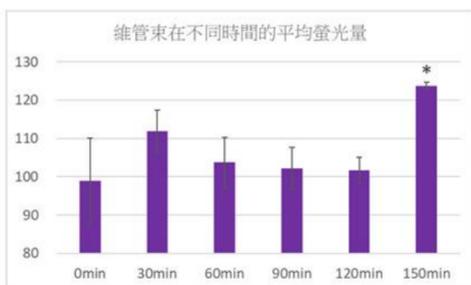
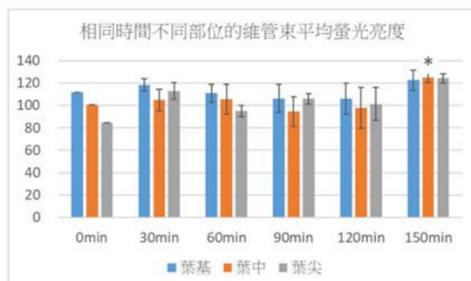
4. 塑膠微粒(暗紅色顆粒)進入維管束。

實驗3-2、塑膠微粒的運輸路徑與影響

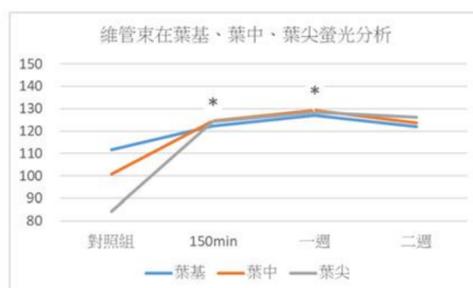
1.分項結果: 各部位的比較



2.維管束區在不同時間、不同部位的比較



3.恢復觀察



4.(1)各部位的平均螢光強度(Mean)大小關係為：

葉基>葉中>葉尖，塑膠微粒的路徑為從葉基往葉中及葉尖方向運送。

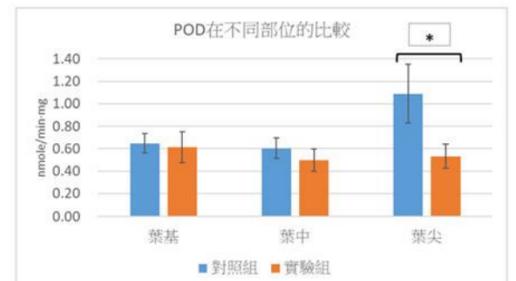
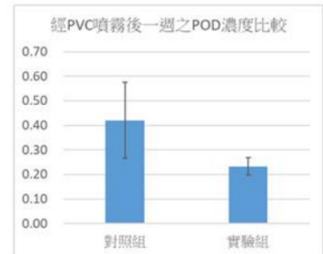
(2)維管束區的觀察，葉內塑膠微粒的強度(Mean)略有增加現象，至150(分鐘)與對照組有顯著差異。

(3)恢復觀察的結果顯示，二週後塑膠微粒在維管束中仍維持一定濃度，並未能從體內排出。

【實驗四】觀察噴灑塑膠微粒對空氣鳳梨體內抗氧化酵素的影響

1.POD 檢測在實驗組(噴霧PVC)較對照組低，反而呈現抗氧化物較低的情形。

2.一週後的POD活性下降量：葉尖>葉中>葉基。



陸、討論

【實驗一】探討空氣鳳梨對空汙之影響

- 線香煙霧濃度在小容器內容易超過儀器可偵測數值範圍，可以用較大的容器如昆蟲箱，且線香在箱內的時間儘量控制在一秒內。原本猜測放有植物的箱子會比與沒有放東西的箱子，其線香微粒的濃度下降幅度較大，經t-test檢驗有顯著差異。
- 在燃燒線香的情況下，數據顯示放有空氣鳳梨植株的昆蟲箱中的微粒濃度下降速度比沒有植物的對照組快。推測空氣鳳梨植株具有淨化空氣中懸浮微粒的能力，且可以加速微粒濃度的下降。
- 植物通過吸收二氧化碳進行光合作用的過程中，同時吸收空氣中的微粒，並將其固定在植物的葉表面上，從而達到淨化空氣的效果。然而，我們只測試了空氣鳳梨對線香微粒的淨化效果，可以進一步檢測其他污染源和懸浮微粒的種類和濃度。
- 空氣鳳梨的葉片具有一定的滯塵能力，可以阻擋和固定空氣中的懸浮微粒，從而減少其在空氣中的存在量。此外，實驗過程中使用的塵土也可能影響實驗結果的準確性。
- 植物的滯塵能力通常與其葉表面的微觀結構和表面化學性質有關，例如葉片上的蠟質層和微小毛細孔可以吸附微粒，從而達到淨化空氣的效果。因此，空氣鳳梨的葉片具有一定的滯塵能力應該與毛狀體構造有關。

【實驗二】探討毛狀體對空氣鳳梨吸收塑膠微粒的影響

- 圖片來源需透過手機拍照，無法直接由儀器取得影像而產生誤差。另外為減少電腦自行判斷的誤差，所以控制閾值取得數據，但有時該區在閾值範圍內擷取不到數值，我們並未將Mean值設為0，而假設PVC存在，因角度問題影響螢光反應，所以選擇下修閾值，每次以10為單位直至取到數據為止。
- 為了比較沒有除毛、以膠帶貼2次和5次對於塑膠微粒附著情形的影響。實驗結果顯示5次和10次極為相近，推測應該是5次便已經幾乎撕光所有的毛狀體，最終決定改成0次、2次、5次。
- 在沒有除毛的情況下，塑膠微粒會黏在表皮毛狀體上，因此而在用膠帶貼2次和5次的情況下，因為毛狀體減少，空氣鳳梨吸附能力逐漸減弱，因此黏第2次和黏5次的實驗結果的圖片亮度均較低。
- 我們試過做完實驗後染染劑，然後沖刷到濾紙上，再烘乾進行觀察，然而實驗結果並不好觀察，便改為沖進離心管進行兩次離心後，去除上層毛狀體懸浮液，再測量下層塑膠微粒螢光強度。離心後的結果不易區分哪些是毛狀體哪些是塑膠微粒，推測是染劑成分的問題，於是將本來的尼羅紅加水1:200改為尼羅紅加丙酮1:200，在顯微鏡下觀察確認，並不會染到毛狀體。

柒、結論

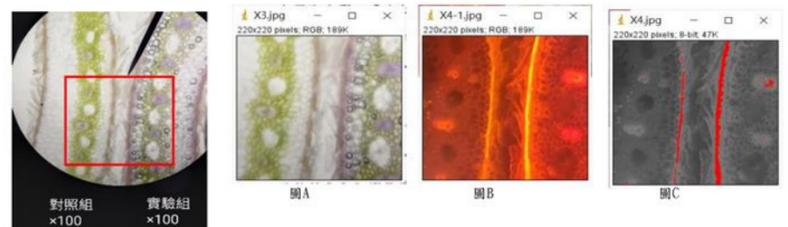
從空氣鳳梨植株對線香微粒濃度下降的影響和空氣鳳梨葉片減少懸浮微粒的能力，顯示出具有一定的空氣淨化效果，由於毛狀體能夠吸附和固定空氣中的懸浮微粒，包括線香微粒和塑膠微粒等，從而降低微粒濃度。此外，我們發現毛狀體可以離質路徑吸收塑膠微粒至維管束中，從葉基往葉尖方向的路徑，累積在植物體內，尤其在葉尖部位顯著降低植物的抗氧化能力，並對植物有長期的影響。在實際應用中，需要綜合累積多方面資料，以作為檢測環境空汙的指標性植物。

捌、參考資料

- 林子加、陳以晴。2021年。探討空氣鳳梨吸收鹽類的構造與運輸鹽類的機制。61屆全國科展作品。
- 吳思儀、洪禎林。2016年。鳳凰凰語—空氣鳳梨毛狀體與吸收路徑探討。55屆全國科展作品。
- 梁群健、顏俊宇。2015年。空氣鳳梨輕鬆玩。麥浩斯出版，城邦文化事業公司發行。台北市。207頁。
- Azeem, I.; Adeel, M.; Ahmad, M.A.; Shakoar, N.; Jiangcuo, G.D.; Azeem, K.; Ishfaq, M.; Shakoar, A.; Ayaz, M.; Xu, M.; et al. 2021. Uptake and Accumulation of Nano/Microplastics in Plants: A Critical Review. *Nanomaterials*, 11, 2935. <https://doi.org/10.3390/nano11112935>

【實驗三】探討空氣鳳梨吸收塑膠微粒的路徑與排出情形

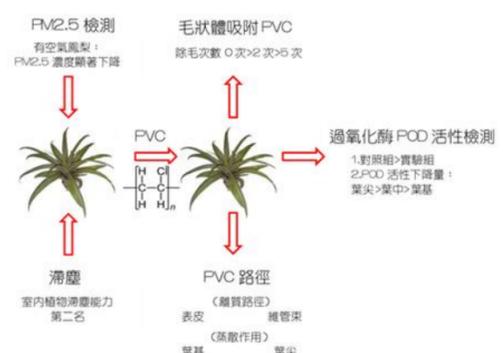
- 比較圖A的左側對照組和右側實驗組，可以發現在一般燈光下實驗組有較明顯的紫色線條，且粉紫色的塑膠微粒有滲透入維管束內。圖B是照藍光之後，右側實驗組螢光顯色更明顯。圖C是藉由Image J的分析，能看出維管束的螢光反應，也能得到量化比較的數據，使我們能探討不同時間及部位的差異。



- 葉基部分可快速累積較多的塑膠微粒，可能此處較寬、表面積較大，分布較多毛狀體，可以吸收更多微粒。之前的研究結果顯示水份主要由較多毛狀體的基部進入至維管束內，再由分布在下表皮的氣孔產生蒸散作用的拉力，往葉尖輸送(吳和洪，2016)。此外，溶於水中的鹽類硝酸鉀也是相似路徑，經由毛狀體進到植物體內，透過水的蒸散拉力將鹽類由葉基部運輸至尖端，以抵抗高鹽逆境(林和陳，2021)。
- 進入葉的毛狀體可能具有似根部內皮管制哨的功能，需主動運輸無機鹽類至葉肉組織，走原生質絲(共質體)路徑吸收。但就塑膠微粒而言，主要螢光出現位置是分布在細胞外圍，推測走離質路徑進入維管束組織。
- 塑膠微粒已被證實可藉由各種管道進入動物體內，在植物體主要是由根部、葉子氣孔進入輸導組織內(Azeem et al., 2021)，再逐漸影響食物鏈及生態系，在此實驗中首次發現塑膠微粒能由毛狀體進入至維管束，且發現物理性微粒會對植物有長期的影響，可能堆積無法分解的微粒在老葉中，未來可作為環境中空汙變化的採樣監測。

【實驗四】觀察噴灑塑膠微粒對空氣鳳梨體內抗氧化酵素的影響

- 在萃取葉片樣本的時候，若是在離心之前先經過浸提，可以讓更多酵素溶入萃取液，進而使光吸收量大幅增加。
- 原本對照組過氧化酶(peroxidase, POD)含量並不高，可能是其已演化出具備許多獨特的抗氧化策略，例如角質化的毛狀體以適應強光高溫或輻射環境下等逆境。此外，當物理性微粒進入維管束，可能阻塞並造成運輸代謝的能量消耗減緩，降低活性氧類的產生，因此反而呈現抗氧化物較低的情形。
- 一週後的POD活性下降量：葉尖>葉中>葉基，可能是因為PVC微粒會從葉基輸送到葉尖並累積於葉尖，使得其對葉尖的影響最顯著，此現象可以為PVC運送方向的另一項證據。



5.Pascal S. Raux, Simon Gravelle, Jacques Dumais(2020). Design of a unidirectional water valve in *Tillandsia*. *Nature*, 396.

6.Zhang R, Zheng G, Li P. 2019. Effects of foliar trichomes on the accumulation of atmospheric particulates in *Tillandsia brachycaulos*. *Open Life Sci.* 14: 580–587.

7.淨化室內空氣之植物：應用及管理手冊。行政院環保署編印
(<https://freshair.epa.gov.tw/object/%E6%B7%A8%E5%8C%96%E5%AE%A4%E5%85%A7%E7%A9%BA%E6%B0%A3%E4%B9%8B%E6%A4%8D%E7%89%A9%E6%87%89%E7%94%A8%E5%8F%8A%E7%AE%A1%E7%90%86%E6%89%8B%E5%86%8A.pdf>)