

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

030511

「滯塵」之道，喬木先知—常見喬木的滯塵能力研究

學校名稱：新竹縣立成功國民中學

作者： 國二 翁琨閔 國二 朱子鈞 國二 葉南俊	指導老師： 莊麗頤 黃麗如
---	-----------------------------

關鍵詞：滯塵量、喬木、自潔性

摘要

為了解校園常見喬木葉片的滯塵能力，我們以茄苳、臺灣欒樹、小葉欖仁、烏心石、樟樹、肉桂、榕樹、血桐、龍眼、鵝掌柴等 10 種校園植物進行實驗。首先我們先觀察葉片的表面構造與塵埃分布，歸納出與滯塵量相關的特徵。接著比較方格法與紙重法 2 種葉面積計算方法，發現二者方法無顯著差異，再進一步以 6 種不同粒徑大小的落塵，進行沾附與揚塵的滯塵能力實驗。此外，我們也發現植物與水滴的接觸角大小並不會影響滯塵量的大小。隨著落塵的粒徑越來越大，血桐、小葉欖仁、榕樹和臺灣欒樹 4 種喬木的滯塵量也越來越差。無論粒徑大小，滯塵能力最佳的都是血桐、小葉欖仁和榕樹，建議校園可栽種滯塵力強的樹種，以減輕揚塵現象及沙塵暴肆虐時的空氣污染。

壹、研究動機

早上在打掃校園時，發現學校靠近工地的小葉欖仁以及工地內的臺灣欒樹葉片上都沾了不少灰塵，但是距離工地較遠的樹木葉片上就沒有明顯的灰塵，推測可能是因為學校正在新建校舍，工地施工所揚起的塵土所造成的。這樣的情形讓我們聯想到沙塵暴肆虐時，東北季風挾帶霾及沙塵自中國一路南下，不僅影響我們的空氣品質，校園植物的葉片也同樣會有大量沙塵沾附在葉片上。

這引發我們思考，校園裡有哪些滯塵能力佳的植物，可以減少揚塵的危害呢？查閱文獻時發現，在沙塵暴發生時，直徑 0.5mm 的塵埃便會從地面揚起，而工地用的河砂平均值也在 0.5mm 以下，於是我們決定採 1、25、34、350、400 及 500 微米粒徑的砂石及粉塵，測試校園裡大型喬木的滯塵效果。我們從校園中選出 10 種不同的喬木葉片，先進行表面構造觀察與親疏水性測試，再測量葉片重量與葉面積，再以沾附方式與使用風洞模擬揚塵進行實驗，以此找出校園中滯塵效果最好的植物，進而利用園藝設計改善空氣污染的問題。

本實驗與國中階段課程相關內容包括：國民中學自然科學的第二冊第四章植物界、第二冊第六章人類與環境、第五冊第五章地球的環境、第六冊第三章變化莫測的天氣、第六冊第四章全球變遷。



圖 1 靠近工地的小葉欖仁葉片



圖 2 遠離工地的小葉欖仁葉片



圖 3 工地內的臺灣欒樹葉片



圖 4 工地外的臺灣欒樹葉片

貳、 研究目的

- 一、 觀察與比較校園 10 種喬木葉片的表面構造及塵埃分布情形
- 二、 測量與比較不同葉面積計算方式的結果
- 三、 測量與分析 10 種喬木葉片葉面與葉背的自潔效果
- 四、 分析靠近工地的 4 種喬木葉片清潔前後的滯塵量差異情形
- 五、 分析相同樹種靠近與遠離工地在葉片的滯塵量差異情形
- 六、 探討不同粒徑的落塵，在沾附的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響
- 七、 探討不同粒徑的落塵，在揚塵的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

參、 研究設備及器材

一、 生物材料

本研究所選定之樹種，為校園中數量最多的喬木前 10 名，分別為茄苳、臺灣欒樹、小葉欖仁、烏心石、樟樹、肉桂、榕樹、血桐、龍眼、鵝掌柴，如下圖所示。

(一) 10 種樹種之樹型



圖 5 茄苳



圖 6 臺灣欒樹 (冬)



圖 7 臺灣欒樹 (春)



圖 8 小葉欖仁



圖 9 烏心石



圖 10 樟樹



圖 11 肉桂



圖 12 榕樹



圖 13 血桐



圖 14 龍眼



圖 15 鵝掌柴 (冬)



圖 16 鵝掌柴 (春)

(二) 10種樹種之葉片葉面與葉背

表 01 校園常見 10 種喬木的葉片照片

樹種	茄苳	臺灣欒樹	小葉欖仁	烏心石	樟樹
葉面					
葉背					
樹種	肉桂	榕樹	血桐	龍眼	鵝掌柴
葉面					
葉背					

二、滯塵材料

本研究作為不同粒徑大小的滯塵材料有：礬土(氧化鋁)、麵粉、稀土(氧化釷)、海砂、河砂(建築工地用材料)以及研磨後的貝殼砂。其中海砂的來源是南寮漁港路邊所採集的漂砂；貝殼砂則是魚缸專用的底砂，經研鉢研磨後的細小顆粒。河砂則為學校建築工地中所使用的砂土。

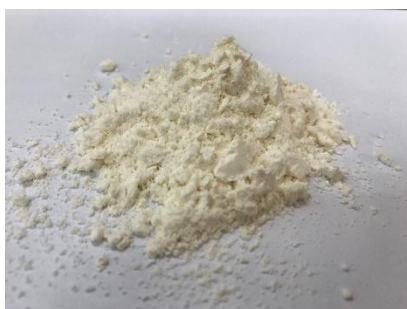


圖 17 麵粉

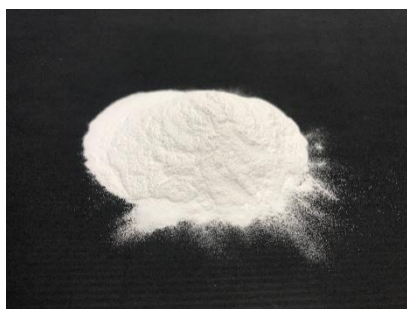


圖 18 稀土(氧化釷)



圖 19 海砂



圖 20 學校工地建築用河砂

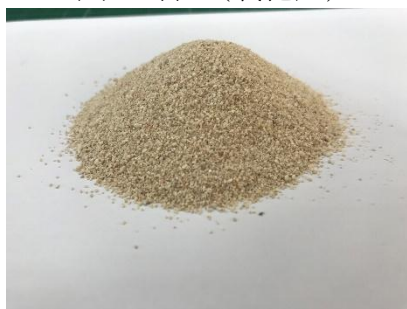


圖 21 研磨後的貝殼砂



圖 22 礬土(氧化鋁)

三、實驗器材

本研究所使用之實驗器材如表 02 所示：

表 02 實驗器材一覽表

器材名稱	數量	器材名稱	數量	器材名稱	數量
研鉢	3 組	小漏斗	1 個	紙箱	2 個
1ml 滴管	1 支	大漏斗	1 個	粗吸管	250 支
30 目篩網	2 個	護目鏡	5 個	膠帶	1 捆
方格紙	1 本	乳膠手套	1 盒	電池	2 個
紗布毛巾	1 盒	延長電線座	1 座	電風扇	1 台
燒杯	5 個	75%酒精	適量	方盤	數個

四、研究儀器

本研究所使用之實驗器材如表 03 所示：

表 03 研究儀器一覽表

儀器名稱	數量	儀器名稱	數量
電子天平（小數點 2 位）	1 台	小型馬達	1 台
精密電子天平（小數點 4 位）	1 台	手持式顯微鏡	1 台
手機（拍照用）	1 台	複式顯微鏡	1 台
平板(量測角度、拍照用)	1 台	目鏡測微器	1 片
筆電	1 台	風速計	1 台



圖 23 電子天平



圖 24 30 目篩網

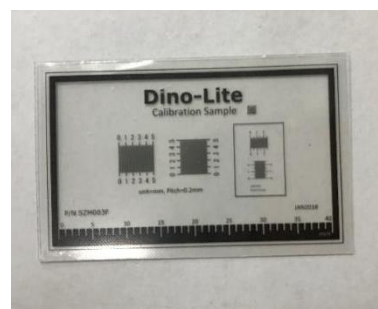


圖 25 目鏡測微器

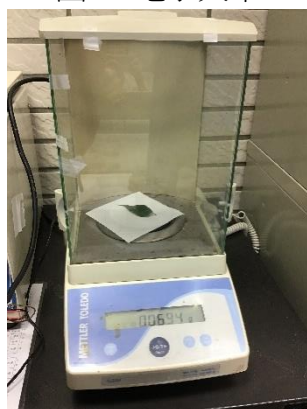


圖 26 精密電子天平



圖 27 複式顯微鏡



圖 28 手持式顯微鏡

五、研究設備

為了進行揚塵的實驗，模擬新竹冬季九降風吹時，巨大陣風造成揚塵的現象，我們利用

紙箱的硬紙板、膠帶、大吸管、篩網及馬達等器材，設計了風洞，並將葉子放進風洞實驗箱中進行實驗。風洞設備如下所示：

(一) 風洞實驗箱示意圖

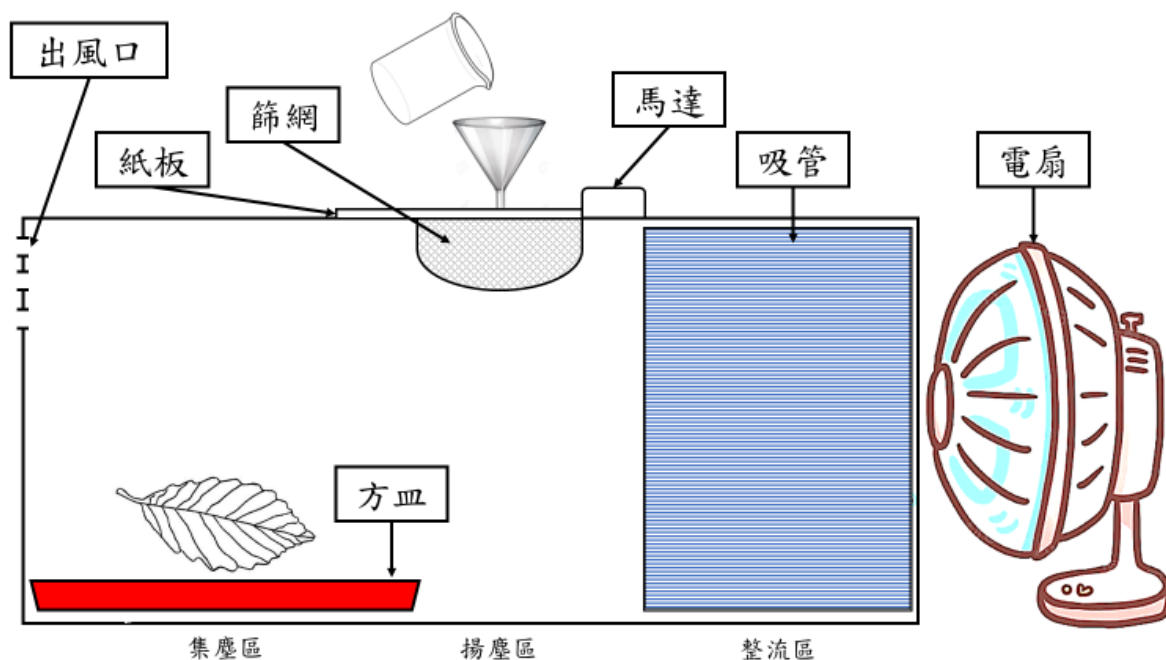


圖 29 風洞示意圖

1. 整流區

- (1) **電扇**：作為風力來源。
- (2) **整流板**：風洞是一種產生人造氣流的管道，我們利用粗吸管水平貼合製成整流板，作為風洞的整流區，讓電扇所吹的風能形成平行風。

2. 揚塵區

- (1) **篩網**：由於河砂與貝殼砂會出現較大粒徑的顆粒，我們以 30 目（篩孔尺寸 $600\mu\text{m}$ ）的篩網可篩去顆粒過大的粉塵，避免粉塵無法被葉片附著。故以此篩網篩去顆粒過大的粉塵。
- (2) **紙板與漏斗**：因氣流進入設備中，沒有離開的出口，將導致粉塵由上方一倒入未落下便由篩網往上飛，造成落塵量減少，產生誤差，因而以紙板擋住往上飄的粉塵，僅留下供漏斗插入的小缺口，並將粉塵由漏斗倒入，可避免此問題。
- (3) **偏心馬達**：因為粉塵在篩網上缺少震動會很難落下，所以在設備上方放置偏心馬達製造震動，使停留在篩網上的粉塵能夠順利落入揚塵區。

3. 集塵區：

(1) 方皿：為了使吹落後的粉塵容易清理，在風洞設備底部放置一方盤，並固定放置葉片於盤面之中段。實驗時，每片葉子都固定於同樣的位置，以確保落塵的位置及距離相同，並且採用單位面積滯塵量來進行比較。

(2) 出風口：

A. 原先無出風口時，被吹落的粉塵容易聚集在底部的最後端，而非平均分布在盤內各部位，增加出風口，可將部分氣流導出。

B. 此出風口亦可將箱內氣流導出，減少因為無出口導致氣流從篩網處吹出，造成粉塵無法落入箱內。

(3) 長尾夾：夾住葉柄，增加重量避免葉片被風吹起。

(二) 面對原先風洞設備問題的改良與解決

1. 篩網：篩去顆粒過大的粉塵，避免無法停留在葉面上的可能。

2. 紙板與漏斗：擋住往上飄的粉塵，將粉塵由漏斗倒入。

3. 偏心馬達：使停留在篩網上的粉塵能夠落入方盤。

4. 出風口：

(1)將箱內氣流導出。

(2)讓粉塵不在剛倒下時被往上吹。

(3)使落塵平均分布在盤內各部位。

(三) 風洞設備的各部位

自製的風洞設備如圖 30~35 所示：



圖30 風洞設備箱



圖31 放置方皿作為集塵區



圖32 整流板



圖33 篩網與偏心馬達



圖34 出風口



圖35 風力來源 (電扇)

肆、研究過程或方法

一、研究方法

(一) 觀察與比較校園 10 種喬木葉片的表面構造及塵埃分布情形

1. 以手持式顯微鏡觀察 10 種喬木葉片之葉面與葉背構造

實驗步驟：

- (1) 選取校園大型喬木數量較多的樹種 10 種，摘取葉片 10~20 片備用。
- (2) 以手持式顯微鏡觀察葉片的葉面與葉背構造。
- (3) 記錄其葉片特徵，包括葉面是否有絨毛、蠟質，或凹凸不平等特徵。

2. 以複式顯微鏡觀察校園中 10 種喬木葉片表面之塵埃分布情形

實驗步驟：

- (1) 選取校園大型喬木數量較多的樹種 10 種，摘取葉片 10~20 片備用。
- (2) 自行架設手電筒置於複式顯微鏡的載物台旁，將光源由上往下照射做為「反射光」，以 40X 觀察葉面與葉背上落塵的分布情形，並拍照紀錄。

(二) 測量與比較不同葉面積計算方式的結果

本研究採用兩種最簡便的方格法與紙重法來計算葉面積：

1. 方格法

- (1) 將葉片描繪在 1 格為 5mm*5mm 的方格紙上，統計葉輪廓所占的方格數，達到或超過半格算一格，不足半格的捨去，把全部方格相加起來即可得到葉面積。
- (2) 每種植物葉片測量 10 片葉片，記錄並求平均葉面積。

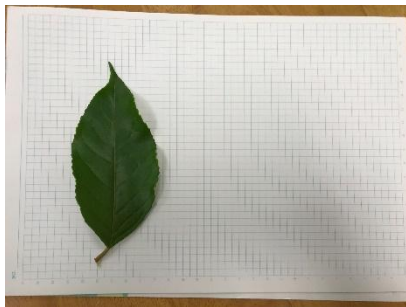


圖 36 方格法步驟 1

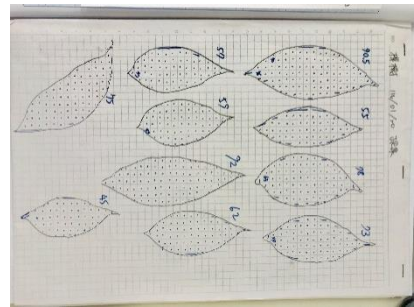


圖 37 方格法步驟 2

2. 紙重法

- (1) 將方格法測葉面積時描繪的方格紙，以每 $100\text{cm}^2=0.85\text{g}$ 的 A4 紙影印，然後將描繪的葉片輪廓剪下，得到紙模並秤重，將此重量乘以 117.647059 ($100/0.85$)，便可求得該葉片的面積。
- (2) 每種植物葉片測量 10 片葉片，記錄並求平均葉面積。



圖 38 將葉片影印



圖 39 剪下的葉片輪廓

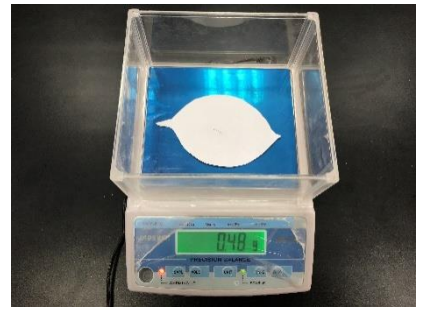


圖 40 進行秤重

(三) 測量與分析 10 種喬木葉片葉面與葉背的自潔效果

本研究採用量測水珠與葉面的接觸角來判斷葉片是否有親疏水性或自潔性。接觸角是在固體表面上，液體界面與固體表面之間，往液體方向的夾角。利用接觸角的大小可以判斷物質表面的親水或疏水程度，接觸角越大，物質的疏水性越大。判定方式：親水性為 $10\sim 90$ 度、疏水性為 90 度 ~ 150 度以上、超疏水性為 150 度以上，也就是具有自潔性（如圖 41）。

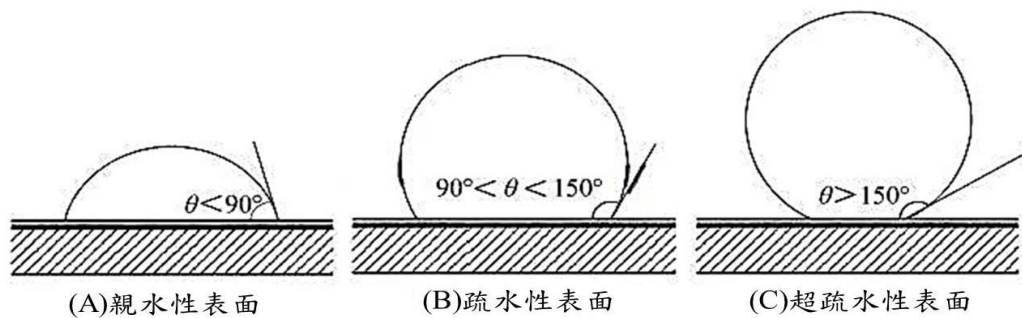


圖 41 親疏水性示意圖

圖片來源：<https://www.paiqinano.com/?p=11786>

測量葉片與水之接觸角的步驟如下：

1. 將各種葉片以 $2\text{cm}\times 2\text{cm}$ 的尺寸裁剪下來，以少許膠帶將其葉面朝上固定邊緣於桌面上備用。
2. 以 1ml 滴管靠近葉面距離 1cm 高之處，滴一滴水珠在葉面，相機拍照記錄。
3. 將照片以平板的量角器 APP 量測水珠與葉面之接觸角角度。
4. 每一種喬木皆採 10 片葉片各裁成正方形，再測量 10 次並求平均值。

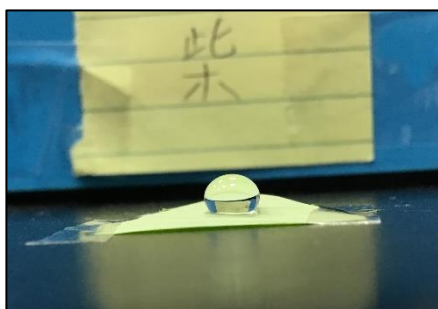


圖 42 步驟 1~2



圖 43 步驟 3

(四)分析靠近工地的 4 種喬木葉片清潔前後的滯塵量差異情形

本研究以距離新校舍工地圍籬 3 公尺以內的 4 種大型喬木樹種：臺灣欒樹、龍眼、小葉欖仁、茄苳，探討其滯塵量的差異。測量滯塵量的實驗步驟如下：

1. 選取校園旁工地附近的 4 種大型喬木樹種：臺灣欒樹、龍眼、小葉欖仁、茄苳，分別摘取葉片 10 片備用。
2. 將葉片以電子天平秤重（滯塵重 W1），並記錄之。
3. 以乾布沾酒精擦拭清潔葉面，秤重（淨重 W0），並記錄之。
4. 以方格法計算每一樹種 10 片葉子的葉面積，並記錄之。
5. 測量並計算單位面積滯塵量：

$$\text{葉片滯塵量 (mg/cm}^2\text{)} = (W1 - W0)/A \times 1000$$

W0：乾淨葉片重（g） W1：乾淨葉片重+微粒量（g）

A：單片的葉面積（cm²） ×1000：將 g 轉為 mg

(五) 分析相同樹種靠近與遠離工地在葉片的滯塵量差異情形

本研究選用靠近工地且在校園其他處也有栽種的三種樹種—臺灣欒樹、茄苳和小葉欖仁，以學校建築工地用的河砂，進行相同樹種在不同位置的單位面積滯塵量數值分析和比較。在此實驗，靠近工地是指距離新校舍工地圍籬 3 公尺以內的植株；而遠離工地則選用距離新校舍工地圍籬 5 公尺以外且至少有一棟其他建築物隔離的植株。另外，由於靠近工地選用的 4 種喬木中，因為龍眼全校只有一棵，故不列入比較。

(六) 探討不同粒徑的落塵，在沾附的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

1. 關於落塵的定義與文獻探討

所謂落塵，是指粒徑超過10μm，能因重力逐漸落下，而引起公眾厭惡之物質。所謂「落塵」及「懸浮微粒」是屬於空氣污染物中的粒狀污染物，兩者合稱為「塵埃」（黃尚義，2009）。

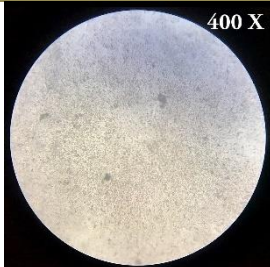
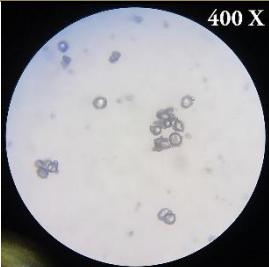
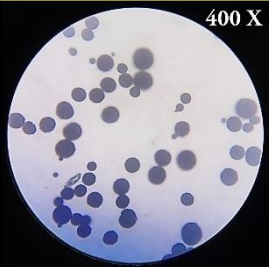
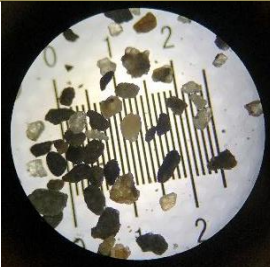
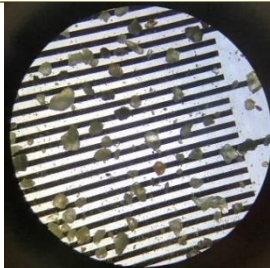
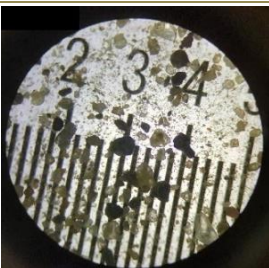
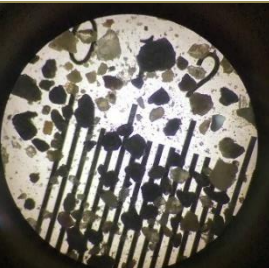
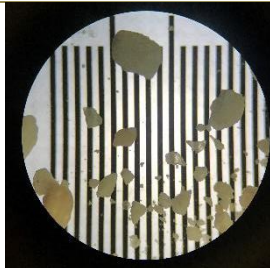
落塵是粒徑>10μm 之粒狀物質，為易自空氣中沈降的固體粒子，例如土壤微粒、工地落塵等，易造成環境髒污。微粒灰塵（fine dust）指粒徑<100μm 之微粒物質；粗粒灰塵（coarse dust）指粒徑>100μm 之微粒物質（張臆勛，2002；孫岩章，2001），然而在大氣中的粒子會一次又一次的因布朗運動而相互碰撞，凝結成更大的粒子，這些大粒子最後會受地球的引力下降至地表，並以落塵的形式沉降（蔡志明，2004）。

2. 模擬不同灰塵顆粒大小進行測試

討論不同顆粒的條件下對葉片滯塵量的影響，透過顯微鏡的目鏡測微器測量視野下的 10 個顆粒，可以歸納出各種灰塵的粒徑大小範圍如表 04 所示。

我們選擇礬土（氧化鋁）、麵粉、稀土（氧化釷）、海砂、河砂（建築用砂）及研磨後的貝殼砂，共 6 種不同粒徑大小的材料，來探討不同粒徑沾附及落塵的條件下，對葉片滯塵量的影響。因研究時間限制，河砂僅採用學校工地用砂來研究。透過顯微鏡的目鏡測微器測量視野下顆粒的平均值，可以歸納出 6 種灰塵的大小範圍如表 04 所示。此外，使用海砂、河砂與貝殼砂時，會先用 30 目（篩孔尺寸 600 μm ）的篩網先將沙子過篩後再使用，以確保篩掉大顆的石礫影響實驗。

表 04 模擬不同粒徑落塵的材料及尺寸一覽表

落塵種類	氧化鋁(礬土)	麵粉	氧化釷(稀土)	海砂
粒徑範圍	1 μm (平均 1 μm)	8 μm ~58 μm (平均 25 μm)	20~53 μm (平均 34 μm)	200 μm ~500 μm (平均 350 μm)
不同落塵在顯微鏡下的照片				
落塵種類	住家工地 A 用砂	住家工地 B 用砂	學校工地用砂	貝殼砂(粗粒塵)
粒徑範圍	100 μm ~400 μm (平均 250 μm)	200 μm ~400 μm (平均 300 μm)	200 μm ~600 μm (平均 400 μm)	160 μm ~800 μm (平均 500 μm)
不同落塵在顯微鏡下的照片				

3. 測量單位面積滯塵量

- (1) 取一片測量完面積的葉子，以乾布擦拭清潔葉面，秤重（淨重 W_0 ）。
- (2) 葉面朝下放入粉塵堆中，再翻面放入粉塵堆，重複三下。
- (3) 拿起葉片，葉尖朝下，抖動三下，秤重（滯塵重 W_1 ），並記錄之。
- (4) 每一樹種做 10 片葉子，重複步驟（1）到（3）。
- (5) 測量並計算單位面積滯塵量，同實驗(四)的步驟 5。

(6) 計算 10 片葉子單位面積滯塵量的平均值。

(7) 重複步驟 (1) ~ (7)，改以不同粒徑落塵進行實驗。

(七) 探討不同粒徑的落塵，在揚塵的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

本研究為了模擬在環境中揚塵的情形，實驗在風洞設備中進行。測量滯塵量的實驗步驟如下：

1. 取一片測量完面積的葉子，以乾布擦拭清潔葉面，秤重（淨重 W_0 ），並記錄之。
2. 將葉片放入風洞設備內的方盤中，蓋上箱子側面的透明片（蓋子）使其成為密閉空間避免砂塵飛出。
3. 以燒杯盛裝重量 100 克的落塵備用，在 30 目篩網上方放一紙板並插入漏斗以防倒入落塵時，被風吹起。
4. 開啟電扇以 2m/s 風速透過整流板吹入風洞，並將落塵倒入篩網處，啟動馬達，使其落下並由風吹送至方盤的葉片上。
5. 將葉片輕輕取出以電子天平秤重（滯塵重 W_1 ），並記錄之。
6. 計算單位面積滯塵量，同實驗(四)的步驟 5。

二、 研究架構圖

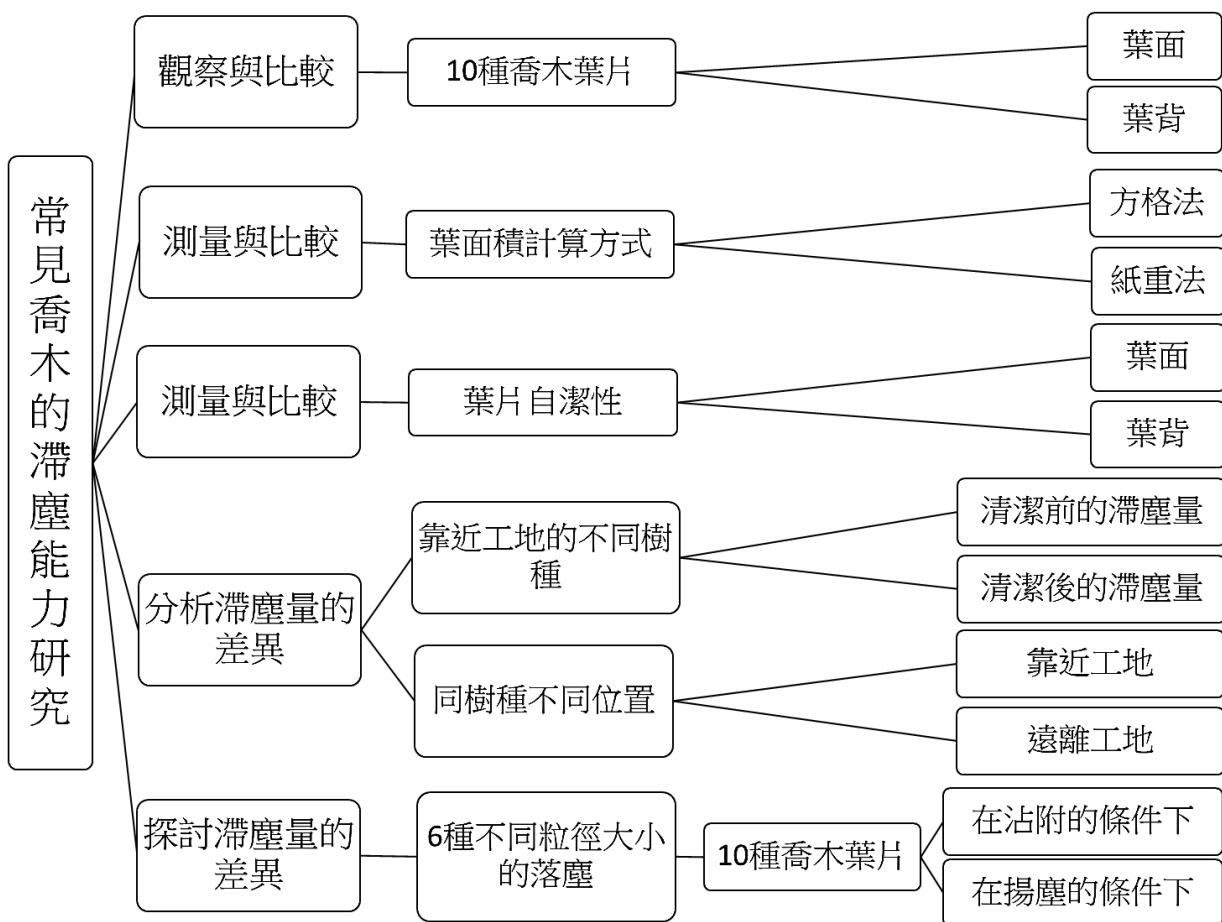


圖 44 研究架構圖

伍、研究結果

一、觀察與比較校園 10 種喬木葉片的表面構造及塵埃分布情形

(一) 實驗紀錄

1. 以手持式顯微鏡觀察的照片紀錄

表 05 10 種校園植物葉面與葉背顯微鏡觀察紀錄表

樹種	茄苳	臺灣欒樹	小葉欖仁	烏心石	樟樹
葉面					
葉背					
樹種	肉桂	榕樹	血桐	龍眼	鵝掌柴
葉面					
葉背					

2. 以複式顯微鏡觀察的照片紀錄

表 06 10 種校園喬木葉片的葉面與葉背顯微鏡觀察紀錄表

樹種	茄苳	臺灣欒樹	小葉欖仁	烏心石	樟樹
葉面					
葉背					
樹種	肉桂	榕樹	血桐	龍眼	鵝掌柴
葉面					
葉背					

(二) 實驗結果

葉面特徵觀察結果如下表所示：

表 07 校園植物葉面和葉背構造觀察與塵埃分布情形紀錄表

編號	樹種	葉片有無絨毛	是否凹凸不平	葉片有無蠟質	葉片上的塵埃分布情形
01	茄苳	無	否	革質，厚，油亮光滑	葉面：白色粉狀塵埃均勻分佈 葉背：塵埃堆積不明顯
02	烏心石	主葉脈有稀疏的毛	否	革質，表面光滑	葉面：黑色塵埃寥寥幾顆 葉背：未見塵埃
03	肉桂	無	否	革質，表面有光澤	葉面：黑色顆粒塵埃零星分布 葉背：黑色顆粒塵埃零星分布
04	龍眼	幼葉葉背有絨毛	否	革質，表面光滑	葉面：粉狀塵埃零星分布 葉背：粉狀塵埃沿葉脈堆積
05	樟樹	無	否	革質，表面光滑	葉面：黑色塵埃寥寥幾顆 葉背：未見塵埃
06	鵝掌柴	幼葉有絨毛	是	革質，表面有凸起	葉面：黑色顆粒塵埃零星分布 葉背：黑色顆粒塵埃沿葉脈堆積
07	血桐	葉面絨毛少 葉背絨毛多	是	紙質，葉脈凸起	葉面：顆粒狀塵埃均勻分佈 葉背：顆粒狀塵埃卡在絨毛之間
08	小葉欖仁	無	否	蠟質，表面有光澤	葉面：黑色粉狀塵埃聚集成堆 葉背：白色粉狀塵埃沿葉脈堆積
09	臺灣欒樹	葉面主葉脈有密佈著毛	否	紙質，表面光滑	葉面：主葉脈絨毛堆滿白粉末 葉背：粉狀塵埃零星分布
10	榕樹	無	否	蠟質，表面有光澤	葉面：黑色塵埃寥寥幾顆 葉背：顆粒狀塵埃均勻分佈

由上表可知，10種喬木葉片中，葉面葉背都具有絨毛的只有血桐；龍眼與鵝掌柴則是幼葉才有絨毛；另外臺灣欒樹與烏心石則是只有在主葉脈才有毛分布，又以烏心石的較尖挺稀疏；葉面凹凸較不平整的是鵝掌柴和血桐；葉面有蠟質的是小葉欖仁和榕樹。

自顯微鏡下觀察葉片上的塵埃分布情形，以茄苳、血桐、小葉欖仁、臺灣欒樹、榕樹的滯塵情形最顯而易見，其中葉面的塵埃量通常比葉背的塵埃量多，像是烏心石與樟樹的葉背幾乎沒有塵埃滯留；唯獨榕樹的葉背塵埃分布明顯比葉面多。塵埃顆粒大小也有不同，臺灣欒樹葉面主葉脈絨毛堆滿白色粉狀塵埃；小葉欖仁的粉狀塵埃則是黑色為主；血桐和榕樹的塵埃則偏向粒徑較大的顆粒狀塵埃。

綜合上述結果，可歸納出**有絨毛、凹凸不平整、具蠟質的葉片，較容易堆積塵埃。**

二、測量與比較不同葉面積計算方式的結果

(一) 實驗數據

1. 方格法

以下是利用方格法測量 10 種喬木葉片葉面積的數據：

表 08 方格法測量葉片面積紀錄表

單位：cm²

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	臺灣欖仁	榕樹			
01	54.50	19.75	22	13.5	22.75	61.75	98.75	11	4.5	20	16.25	8.25	9.75
02	76.25	17	26	14.5	13.75	79.5	64	12.25	5.25	16.75	13.5	8.5	7.5
03	57.75	14.25	26.5	12.25	19.5	80.5	106	10	6.25	18.25	21.5	7.5	4.75
04	36	13	18.25	9.25	18.25	49.25	61.75	9.5	2.25	18.25	14.5	11.5	7
05	67	7.5	20	10.75	14.25	35.75	79.75	8.5	2.25	13.75	20.75	8.5	7
06	50.75	21	21.5	10.5	14.75	49.25	87.75	12.5	2.5	13.75	17	5	8.25
07	35	17.25	12.5	22	23	32.25	48.75	7.25	3.75	17.75	12.5	5	5
08	29.25	17	19	19.5	15.5	31	112.5	6	5.25	19	17	4.75	9
09	46	23	13.5	21.75	18.75	30.25	132.25	8.25	2.75	18.25	13.25	8.5	9
10	59.50	20	2.5	23.25	11.25	31.75	148.75	9.25	2.25	16.5	16.75	4.5	6.75
平均	51.2	16.98	18.18	15.73	17.18	48.13	94.03	6.58		16.73			7.3

2. 紙重法

以下是利用紙重法測量 10 種喬木葉片葉面積的數據：

表 09 紙重法測量葉片面積紀錄表

單位：g

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	臺灣欖仁	榕樹			
01	0.24	0.17	0.17	0.07	0.16	0.4	0.52	0.08	0.07	0.14	0.16	0.07	0.08
02	0.29	0.13	0.15	0.08	0.09	0.52	0.86	0.05	0.04	0.15	0.14	0.05	0.06
03	0.48	0.14	0.22	0.08	0.11	0.23	0.72	0.08	0.02	0.15	0.15	0.07	0.09
04	0.44	0.12	0.15	0.08	0.12	0.3	0.4	0.06	0.07	0.12	0.16	0.06	0.04
05	0.61	0.13	0.19	0.1	0.19	0.27	0.67	0.06	0.04	0.15	0.13	0.07	0.04
06	0.3	0.17	0.09	0.07	0.14	0.31	0.5	0.09	0.02	0.16	0.18	0.06	0.04
07	0.5	0.05	0.11	0.13	0.13	0.24	0.81	0.07	0.07	0.15	0.14	0.05	0.07
08	0.38	0.15	0.19	0.12	0.12	0.67	1.11	0.1	0.03	0.12	0.14	0.06	0.04
09	0.43	0.12	0.18	0.18	0.19	0.64	0.93	0.04	0.03	0.13	0.11	0.04	0.05
10	0.55	0.16	0.15	0.18	0.16	0.43	1.19	0.1	0.02	0.11	0.12	0.06	0.02
總重	4.22	1.34	1.6	1.09	1.41	4.01	7.71	1.14		2.81			1.12
平均重	0.422	0.134	0.16	0.109	0.141	0.401	0.771	0.057		0.1405			0.056
平均葉面積 (cm ²)	49.647	15.765	18.824	12.824	16.588	47.177	90.706	6.706		16.529			6.588

(二) 實驗結果

1. 葉面積的大小排序

由上表可知，採用方格法及紙重法所測定的 10 種植物葉面積，由大到小為：

- (1) 方格法：血桐 > 茄苳 > 鵝掌柴 > 肉桂 > 樟樹 > 烏心石 > 臺灣欖仁 > 龍眼 > 榕樹 > 小葉欖仁
- (2) 紙重法：血桐 > 茄苳 > 鵝掌柴 > 肉桂 > 樟樹 > 臺灣欖仁 > 烏心石 > 龍眼 > 榕樹 > 小葉欖仁

兩種測量方法除了臺灣欒樹和烏心石的數值順序相反，其餘大小排序皆相同。

此外，按照葉片的面積大小亦可分成三類以作為後續滯塵量的比較：

- (1) 超過 40cm²的植物：茄苳、鵝掌柴、血桐。
- (2) 大於 10cm²，小於 40cm²的植物：烏心石、肉桂、龍眼、樟樹、臺灣欒樹。
- (3) 小於 10cm²的植物：小葉欖仁、榕樹。

2. 兩種葉面積測量法的比較

本研究採用方格法及紙重法測量 10 種植物葉片葉面積，結果如表 10 所示，並採用成對樣本 T-test 檢定 ($\alpha=0.05$)，所得結果彙整如下表所示。

由下表可知，10 種植物葉片利用兩種葉面積測定法所得的結果，10 組數值 (p-value) 皆大於 0.05，故兩種葉面積測定方法結果相同，並無顯著差異。

表 10 10 種植物葉片的兩種葉面積測定結果彙整表面積 單位：cm²

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	臺灣欒樹	榕樹
方格法	51.20	16.98	18.18	15.73	17.18	48.13	94.03	6.58	16.73	7.3
紙重法	49.65	15.76	18.82	12.82	16.59	47.18	90.71	6.71	16.53	6.59
T-test	0.813	0.538	0.812	0.227	0.742	0.914	0.815	0.900	0.759	0.258

三、測量與分析 10 種喬木葉片葉面與葉背的自潔效果

(一) 實驗數據

以下是水滴與植物葉片的接觸角量測紀錄：

表 11 植物葉片葉面與水滴的接觸角量測紀錄表 單位：角度（度）

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	臺灣欖樹	榕樹
01	38	47	47	61	53	57	69	72	49	69
02	63	49	45	56	51	58	54	59	55	37
03	48	61	62	60	58	56	76	57	62	83
04	58	54	75	62	72	56	75	60	49	50
05	59	46	46	72	67	46	81	52	57	62
06	54	39	61	64	57	64	69	63	41	41
07	50	69	60	66	53	60	78	41	67	61
08	64	65	61	60	51	64	65	56	53	61
09	64	62	46	55	72	59	52	57	71	58
10	60	60	49	69	61	54	62	50	76	43
平均	55.8	55.2	55.2	62.5	59.5	57.4	68.1	56.7	58	56.5

表 12 植物葉片葉背與水滴的接觸角量測紀錄表 單位：角度（度）

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	臺灣欖樹	榕樹
01	72.11	96.34	79.14	120.21	90.5	107.45	114.21	82.5	80.53	78.24
02	80.34	88.22	80.1	121.2	105.3	110.26	119.27	93.57	84.6	77.38
03	77.34	116.38	83.54	120.32	98.33	101.34	96.13	97.11	70.54	68.24
04	79.51	98.49	93.4	123.8	91.27	106.44	115.5	85.51	50.5	70.24
05	74.38	84.42	93.35	117.57	79.5	105.16	123.3	91.41	65.49	75.56
06	80	92.47	57.9	118.27	91.41	103.11	121.31	80.52	80.18	79.29
07	76.23	94.55	92.22	117.55	81.16	113	113.51	92.56	85.5	78.55
08	84.46	78.78	81.38	118.24	95.23	110.13	130.32	95.36	81.12	82.37
09	80.2	84.2	83.15	107.31	99.49	108.51	122.51	83.17	73.51	76.56
10	82.35	103.1	112.23	117.39	97.36	103.26	124.39	99.15	77.34	89.16
平均	78.69	93.70	85.64	118.19	92.96	106.87	118.05	90.07	74.93	77.56

(二) 實驗結果

由表 11 可知，由於 10 種葉子的平均角度都未超過 90 度，未達疏水的角度，所以都是屬於親水性，也就是 10 種葉片都沒有自潔性。葉背部分，超過 90 度以上，表示葉片具有疏水性，由表 12 可知，烏心石、龍眼、樟樹、鵝掌柴、血桐和小葉欖仁都有疏水性，但這些種類都還未達超疏水性的標準，故仍然沒有自潔性。

綜上所述，10 種校園喬木的葉片，其葉面皆為親水性，沒有自潔效果；但葉背有疏水性的有烏心石、龍眼、樟樹、鵝掌柴、血桐和小葉欖仁。

四、分析靠近工地的4種喬木葉片清潔前後的滯塵量差異情形

(一)實驗數據

實驗數據如下表及圖 45-46 所示：

表 13 四種靠近工地的喬木葉片清潔前後的單位面積滯塵量 單位：mg/cm²

樹種	清潔前 平均葉重(g)	清潔後 平均葉重(g)	灰塵平均 重量(mg)	平均葉面積 (cm ²)	mg/cm ²
臺灣欖樹 (工地內)	0.1407	0.1317	8.98	19.15	0.4676
茄苳 (工地旁)	2.4797	2.4612	18.49	62.82	0.2826
小葉欖仁 (工地旁)	0.5983	0.5911	3.65	20.90	0.1851
龍眼 (工地旁)	0.4489	0.4473	1.60	22.23	0.0716

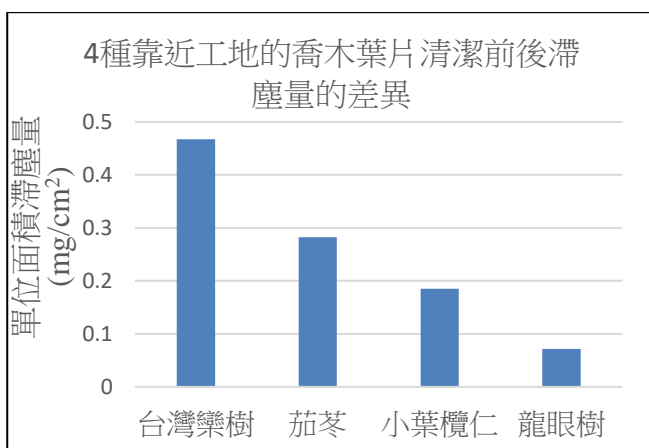


圖 45 四種靠近工地喬木葉片的滯塵量長條圖 圖 46 學校工地與 4 種喬木位置示意圖

(二)實驗結果

由上表及統計圖可知，4 種靠近工地的喬木葉片的單位面積滯塵量，由大到小的排序如下：臺灣欖樹 > 茄苳 > 小葉欖仁 > 龍眼。在工地內的臺灣欖樹的滯塵量遠大於在工地圍籬旁的其他 3 種植物。如圖 46 所示，圍籬外的喬木，又以距離工地最近的茄苳滯塵量最大，而龍眼距離最遠，滯塵量也最少，故越靠近污染源，滯塵量越大。

五、分析相同樹種靠近與遠離工地在葉片的滯塵量差異情形

(一)實驗數據

實驗數據如表 14 與圖 47 所示：

表 14 靠近與遠離工地相同樹種的單位面積滯塵量一覽表

樹種	單位面積滯塵量 mg/cm ²	
	靠近工地	遠離工地
臺灣欖樹	0.47	0.24
茄苳	0.28	0.28
小葉欖仁	0.18	0.17

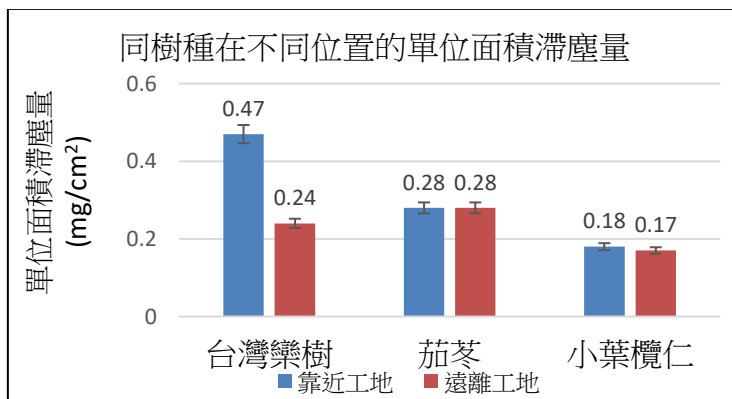


圖 47 同樹種在不同位置的單位面積滯塵量長條圖

(二) 實驗結果

由上表與圖 47 可知，相同樹種在不同位置的葉片單位面積滯塵量的數值比較結果是臺灣欖樹在靠近工地的數值上明顯大於遠離工地的植株，兩者間有明顯的差異，而茄苳和小葉欖仁則在距離上無明顯差異。

六、探討不同粒徑的落塵，在沾附的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

(一) 實驗數據

以下是各種喬木葉片各 10 片的平均單位面積滯塵量數據如下表所示：

表 15 不同植物葉片在不同粒徑落塵下的單位面積滯塵量 單位：mg/cm²

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	台灣欖樹	榕樹
氧化鋁	--	--	--	--	--	--	2.72	2.32	1.11	1.79
麵粉	0.41	1.591	1.431	0.827	1.047	0.145	1.81	2.13	0.66	4.80
氧化鈮	--	--	--	--	--	--	3.36	0.93	0.81	0.87
海砂	0.35	0.31	0.11	0.25	0.06	0.04	1.55	0.46	0.31	0.68
河砂	0.14	0.18	0.28	0.09	0.11	0.10	0.61	0.17	0.36	0.18
貝殼砂	0	0.29	0.33	0.25	0.17	0.15	0.55	0.91	0.03	0.41

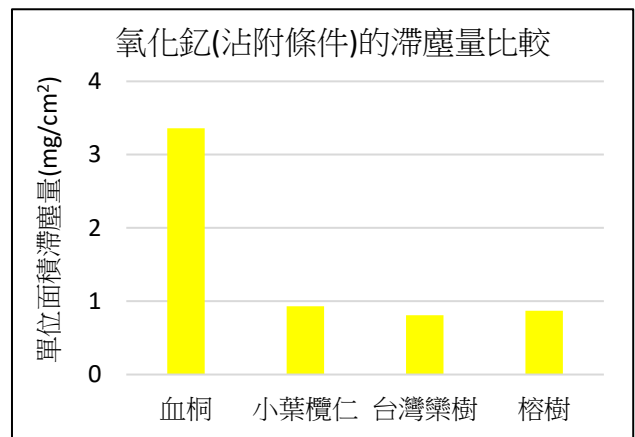
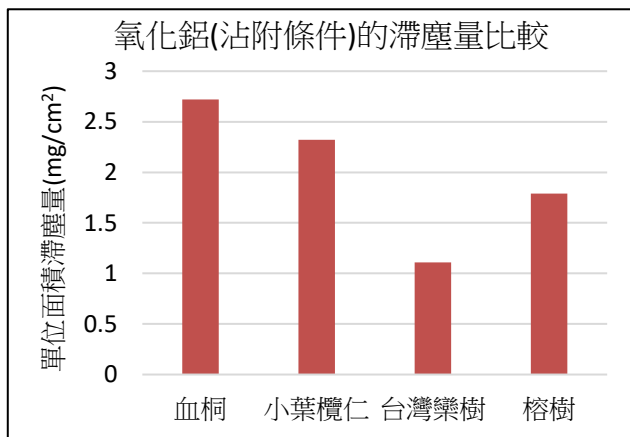


圖 48 氧化鋁(沾附條件)的單位滯塵量比較圖

圖 49 氧化鈮(沾附條件)的單位滯塵量比較圖

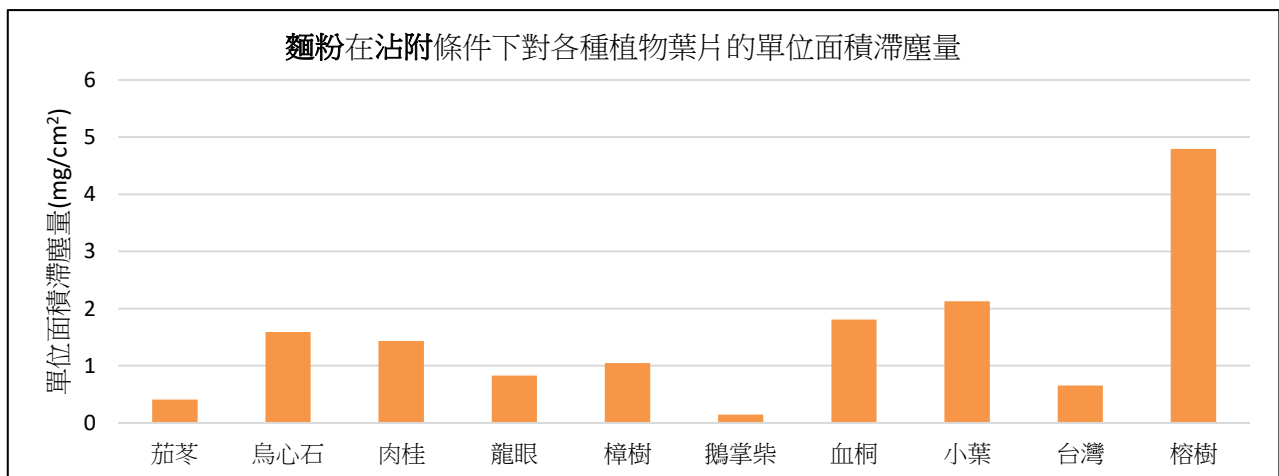


圖 50 麵粉在沾附條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

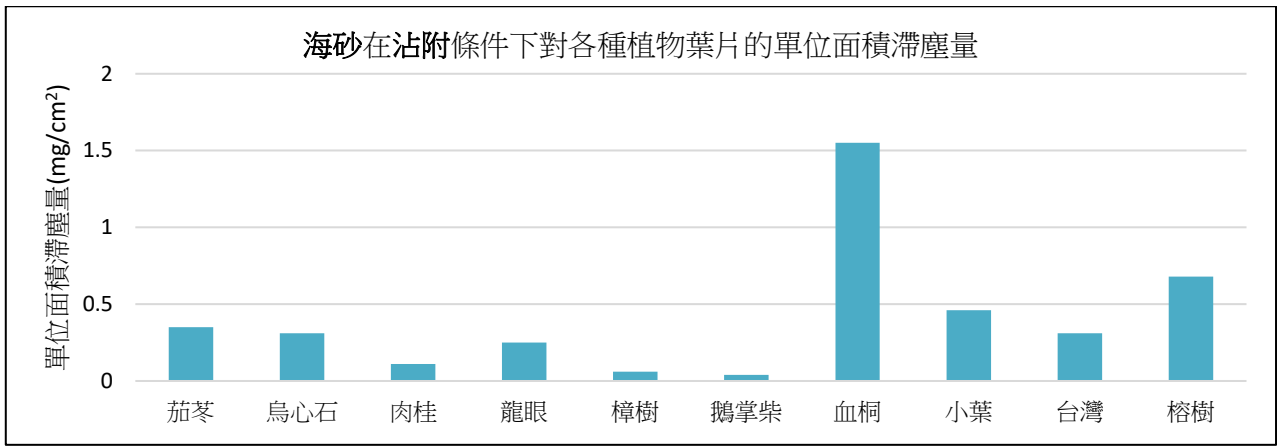


圖 51 海砂在沾附條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

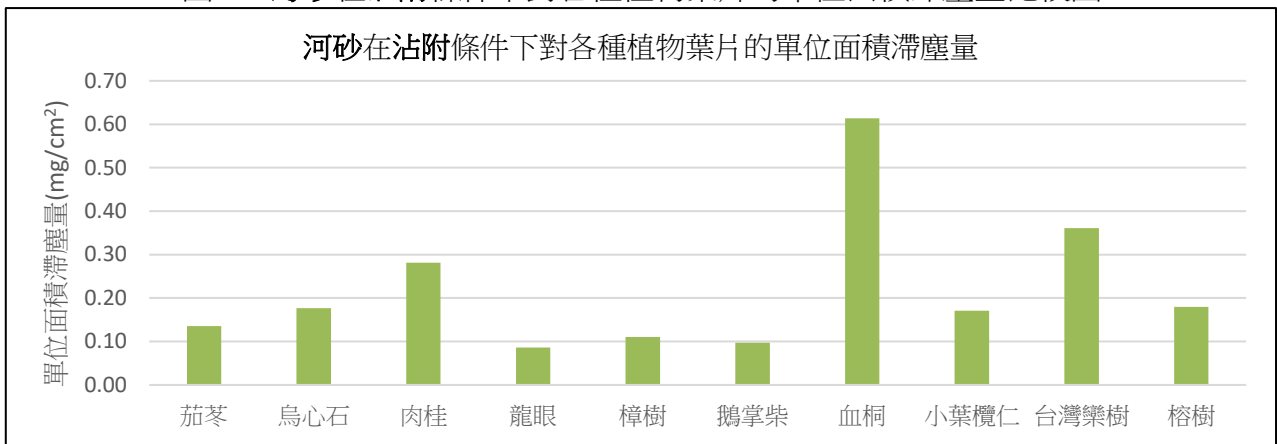


圖 52 河砂在沾附條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

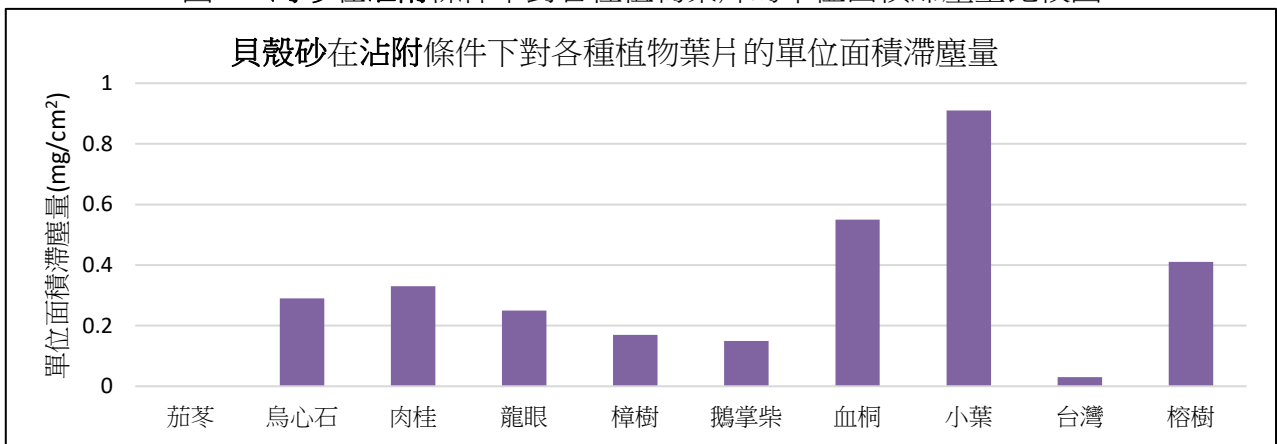


圖 53 貝殼砂在沾附條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

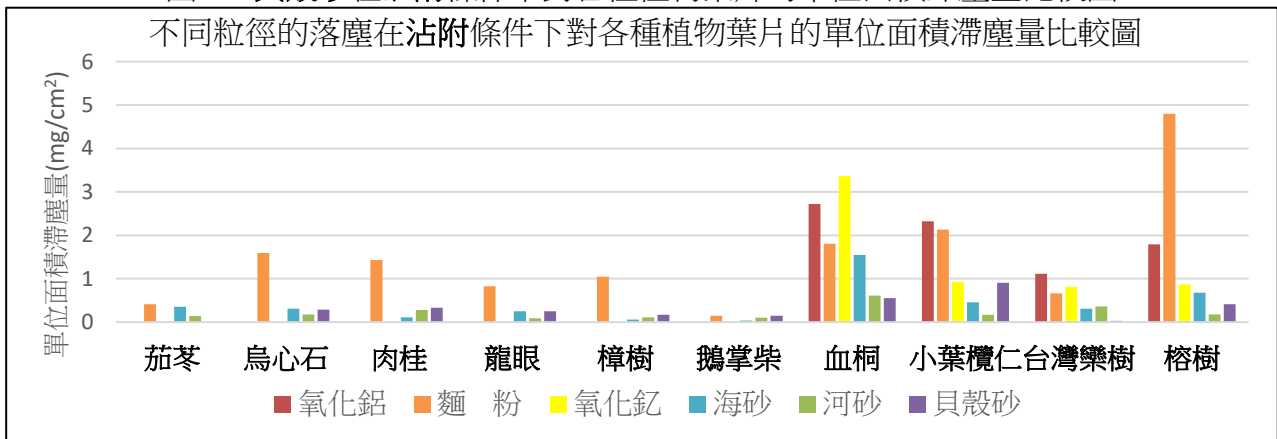


圖 54 不同粒徑的落塵在沾附條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

(二) 實驗結果

由上表及統計圖所得的實驗結果，我們將不同粒徑落塵在沾附條件下，對 10 種植物葉片各 10 片取平均的單位面積滯塵量，由高到低的排序彙整如下表：

表 16 不同粒徑落塵在沾附條件下，對 10 種植物葉片的單位面積滯塵量排名一覽表

名次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 μm 氧化鋁	血桐	小葉欖仁	榕樹	臺灣欖樹	--	--	--	--	--	--
25 μm 麵粉	榕樹	小葉欖仁	血桐	烏心石	肉桂	樟樹	龍眼	臺灣欖樹	茄苳	鵝掌柴
34 μm 氧化鈮	血桐	小葉欖仁	榕樹	臺灣欖樹	--	--	--	--	--	--
350 μm 海砂	血桐	榕樹	小葉欖仁	茄苳	臺灣欖樹	烏心石	龍眼	肉桂	樟樹	鵝掌柴
400 μm 河砂	血桐	臺灣欖樹	肉桂	烏心石	榕樹	小葉欖仁	茄苳	樟樹	鵝掌柴	龍眼
500 μm 貝殼砂	小葉欖仁	血桐	榕樹	肉桂	烏心石	龍眼	樟樹	鵝掌柴	臺灣欖樹	茄苳

註：--表示未測量。

從上表可知，在沾附落塵條件下，不論落塵的粒徑大小，單位面積滯塵量最好的是前三名是血桐、小葉欖仁和榕樹；鵝掌柴則是 10 種植物中滯塵量最差的。

血桐對粒徑大小 350 μm 以內的滯塵力都非常好；小葉欖仁則對 34 μm 以內的滯塵表現佳；榕樹對於 25 μm 的單位面積滯塵量最高，數值達到 4.8 mg/cm^2 ，是所有數值中最高的；茄苳則在不同粒徑上的滯塵力有很大差異，對於海砂有較好的表現，對麵粉和貝殼砂的滯塵力卻很差。

再從下圖來分析結果，可發現塵埃在沾附條件下，隨著落塵的粒徑越來越大，4 種喬木的滯塵量也越來越差；榕樹對於平均 25 μm 粒徑的滯塵力最佳；血桐則對平均 34 μm 粒徑的單位面積滯塵量最大。

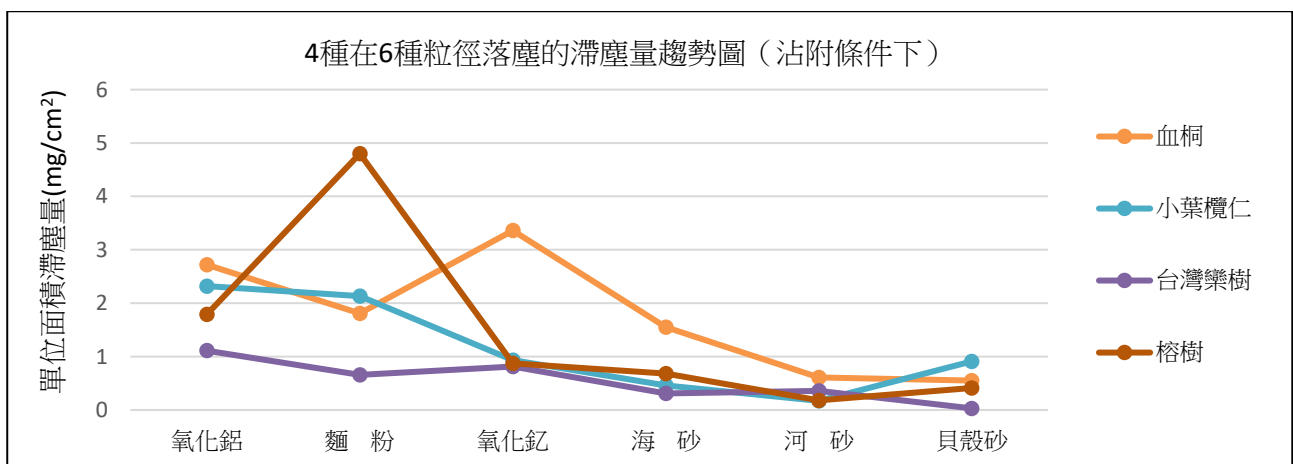


圖 55 在沾附條件下，4 種喬木對於粒徑由小到大的落塵之單位滯塵量趨勢圖

七、 探討不同粒徑的落塵，在揚塵的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

(一) 實驗數據

10 種喬木葉片各 10 片的平均單位面積滯塵量數據如下表所示：

表 17 不同植物葉片在不同粒徑揚塵下的單位面積滯塵量 單位：mg/cm²

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	臺灣欖樹	榕樹
氧化鋁	--	--	--	--	--	--	1.14	1.04	0.77	0.94
麵粉	0.25	1.23	0.99	0.51	0.93	0.03	1.45	1.37	0.31	3.97
氧化鈮	--	--	--	--	--	--	0.83	0.53	0.50	0.48
海砂	0.10	-0.12	0.22	0.25	-0.12	-0.15	3.72	0.15	0.34	0.68
河砂	0.28	0.08	0.07	0.13	0.07	0.10	0.28	0.17	0.24	0.15
貝殼砂	-1.82	0.24	-1.54	0.57	-0.06	-0.52	-0.27	-3.04	-0.06	0.14

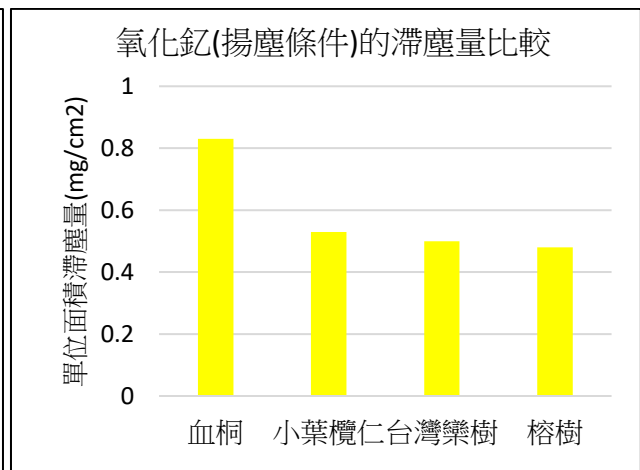
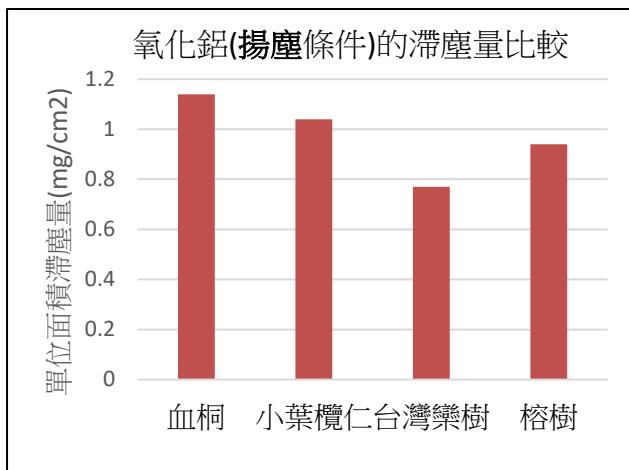


圖 56 氧化鋁(揚塵條件)的單位滯塵量比較圖 圖 57 氧化鈮(揚塵條件)的單位滯塵量比較圖

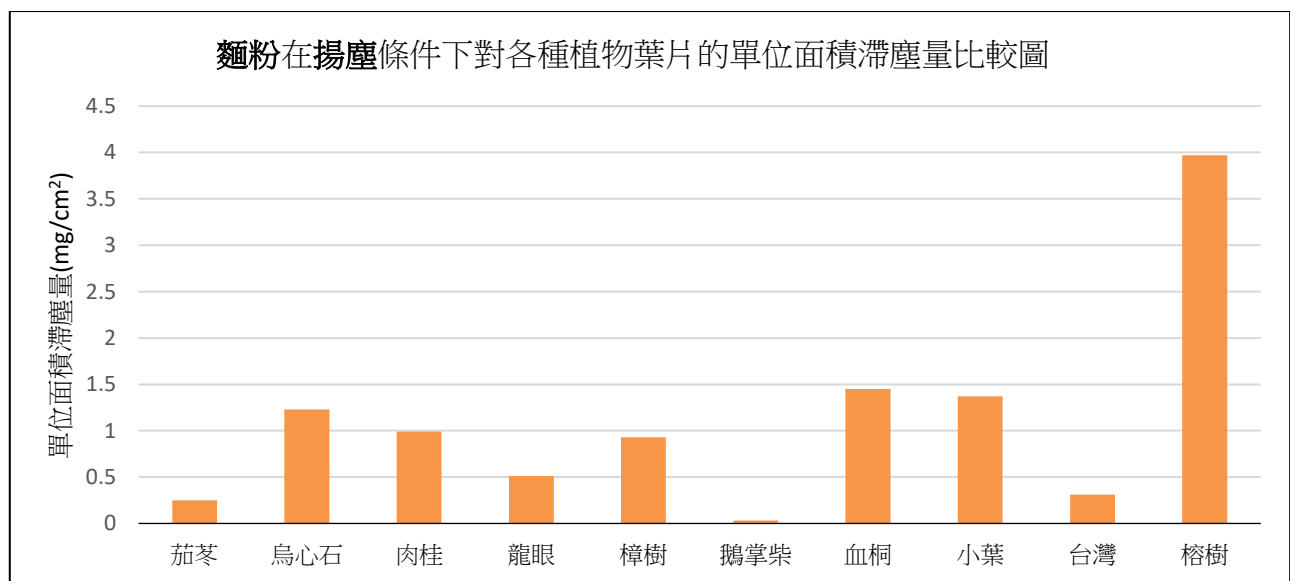


圖 58 麵粉在揚塵條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

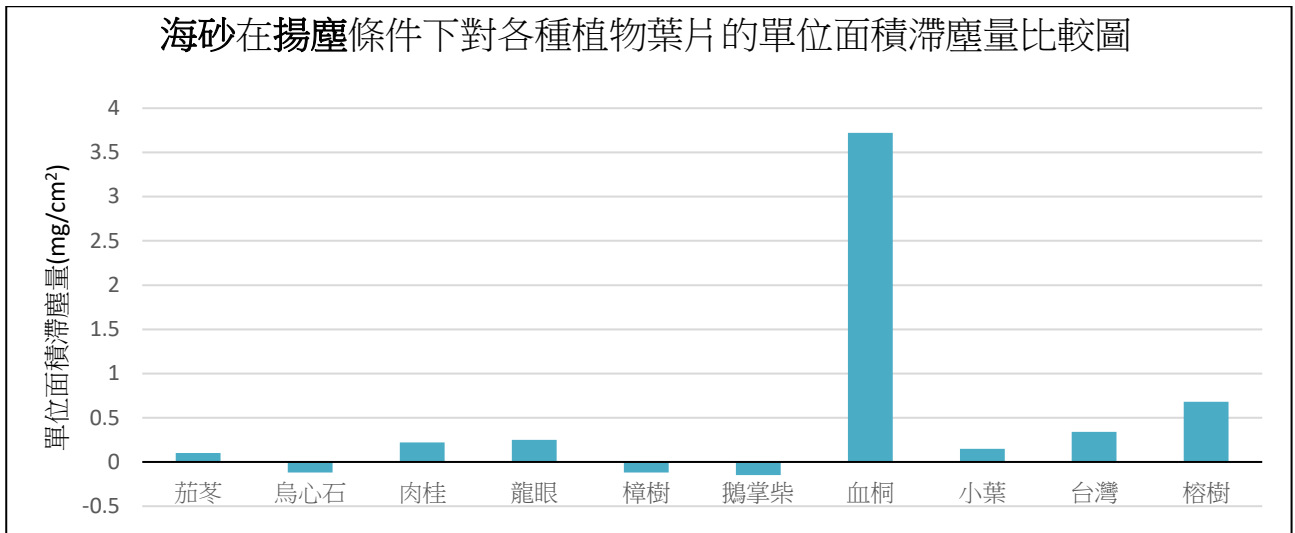


圖 59 海砂在揚塵條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

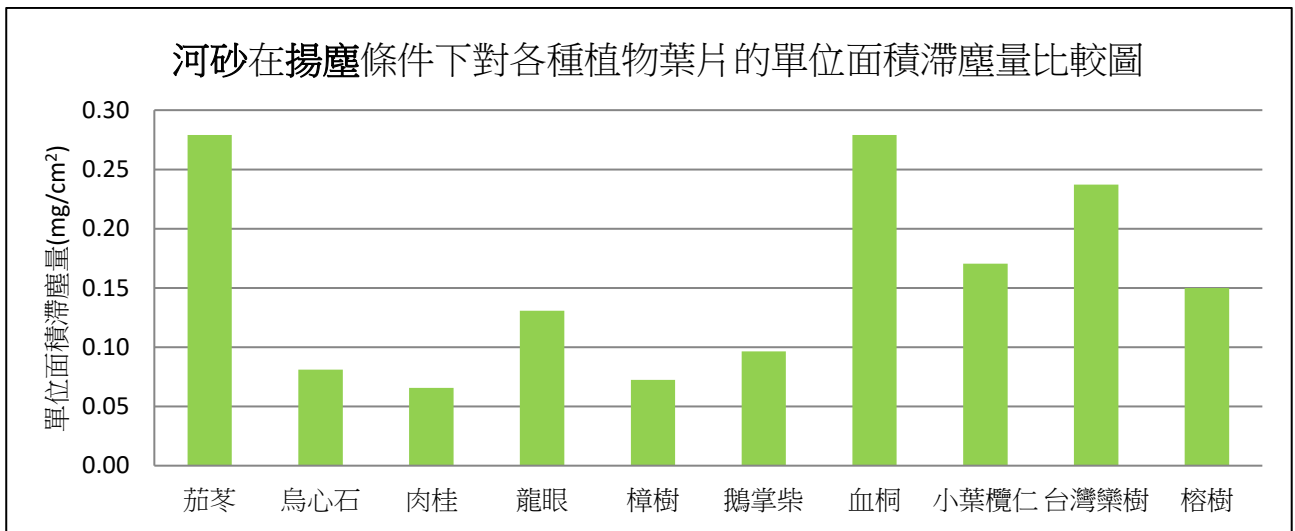


圖 60 河砂在揚塵條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

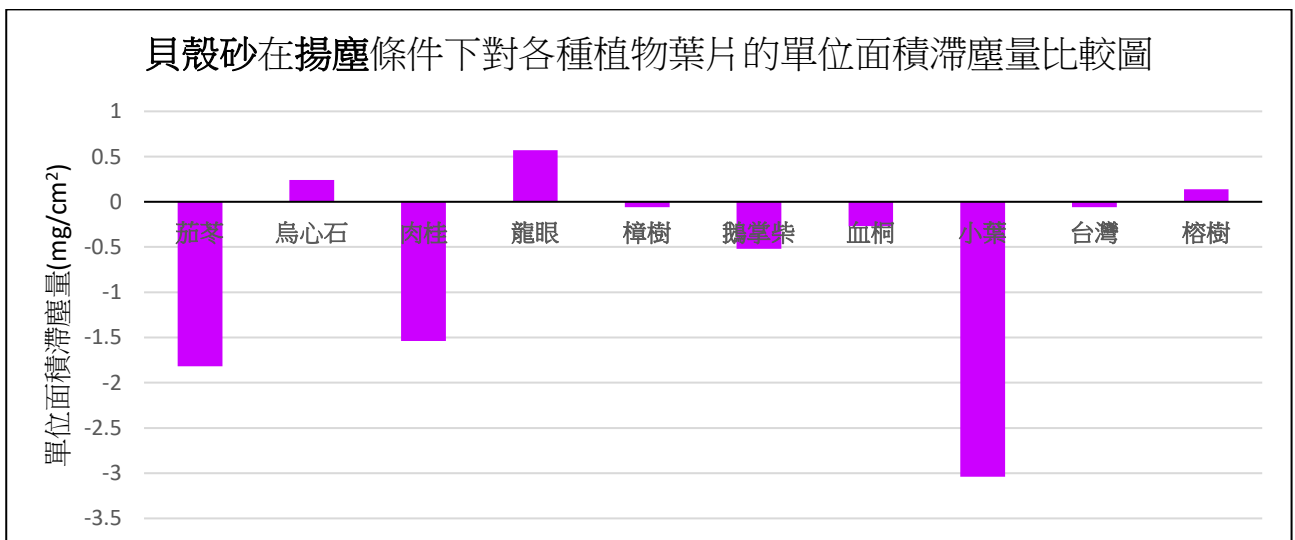


圖 61 貝殼砂在揚塵條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

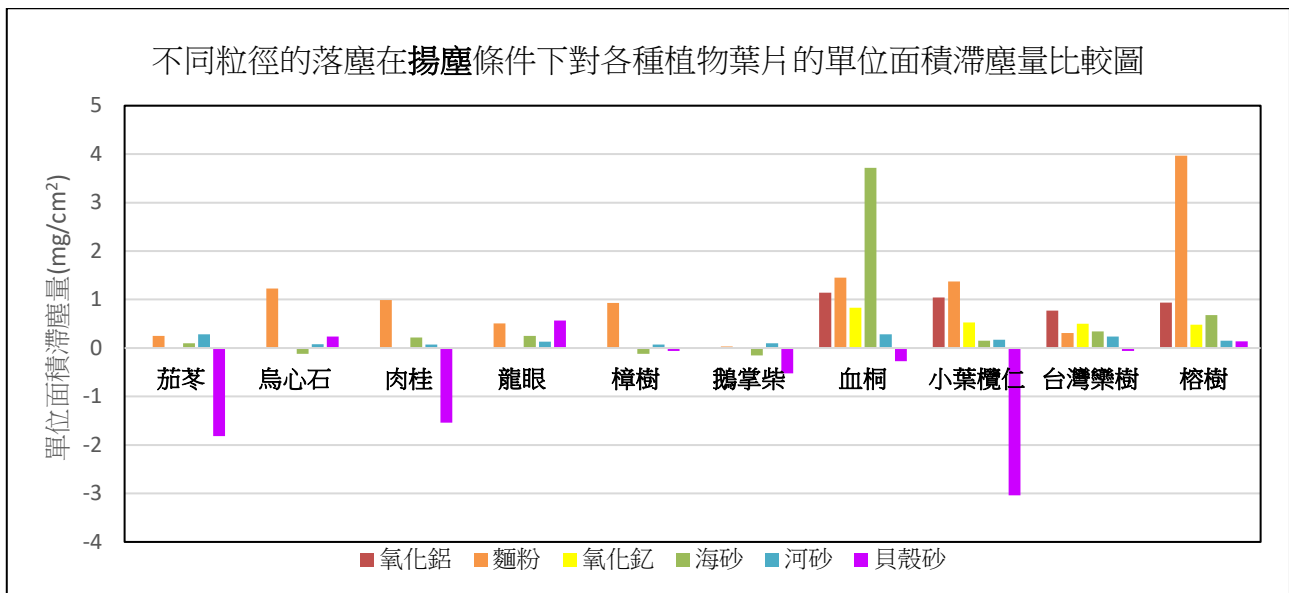


圖 62 不同粒徑的落塵在揚塵條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

(二) 實驗結果

由上表及比較圖可知，6種不同粒徑的落塵，在揚塵條件下，對10種植物葉片的單位面積滯塵量，由高到低的排序彙整如下表：

表 18 不同粒徑落塵在揚塵條件下，對10種植物葉片的單位面積滯塵量排名一覽表

名次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1µm 氧化铝	血桐	小葉欖仁	榕樹	臺灣欖樹	--	--	--	--	--	--
25µm 麵粉	榕樹	血桐	小葉欖仁	烏心石	肉桂	樟樹	龍眼	臺灣欖樹	茄苳	鵝掌柴
34µm 氧化鋯	血桐	小葉欖仁	臺灣欖樹	榕樹	--	--	--	--	--	--
350µm 海砂	血桐	榕樹	臺灣欖樹	龍眼	肉桂	小葉欖仁	茄苳	*	*	*
400µm 河砂	血桐 = 茄苳	臺灣欖樹	小葉欖仁	榕樹	龍眼	鵝掌柴	烏心石	肉桂 = 樟樹		
500µm 貝殼砂	龍眼	烏心石	榕樹	*	*	*	*	*	*	*

註：--表示未測量；*表示滯塵量為負值，不列入比較。

1. 氧化铝 (1µm) 的單位面積滯塵量比較：
血桐 > 小葉欖仁 > 榕樹 > 臺灣欖樹
2. 麵粉 (25µm) 的單位面積滯塵量比較：
榕樹 > 血桐 > 小葉欖仁 > 烏心石 > 肉桂 > 樟樹 > 龍眼 > 臺灣欖樹 > 茄苳 > 鵝掌柴
3. 氧化鋯 (34µm) 的單位面積滯塵量比較：
血桐 > 小葉欖仁 > 臺灣欖樹 > 榕樹

4. 海砂 (350 μm) 的單位面積滯塵量比較：

(1) 血桐>榕樹>臺灣欒樹>龍眼>肉桂>小葉欖仁>茄苳>烏心石=樟樹>鵝掌柴

(2) 烏心石、樟樹和鵝掌柴的數值是負的，可能是因為風吹會使葉片蒸散作用增加，造成葉片重量變比較輕，結果變成負值。

5. 河砂 (400 μm) 的單位面積滯塵量比較：

血桐=茄苳>臺灣欒樹>小葉欖仁>榕樹>龍眼>鵝掌柴>烏心石>肉桂=樟樹

6. 貝殼砂 (500 μm) 單位面積滯塵量比較：

龍眼>烏心石>榕樹，其餘皆為負值。

綜合上述結果，可以歸納出在揚塵條件下，不論粒徑大小，單位面積滯塵量最好的是血桐、榕樹、小葉欖仁和臺灣欒樹。榕樹對 25 μm 粒徑的滯塵力最好；茄苳與血桐對於 400 μm 粒徑的滯塵效果是 10 種植物中最好的；龍眼則對 500 μm 粒徑有極佳的滯塵效果。

再從下圖來分析結果，可發現在揚塵的條件下，臺灣欒樹和小葉欖仁的滯塵量並未隨著粒徑越大而有很大的差異，而榕樹仍然對 25 μm 的粒徑有極佳的滯塵力；血桐則對平均 350 μm 粒徑的海砂有最棒的滯塵力。

由於採揚塵的方式進行實驗，烏心石、樟樹和鵝掌柴對海砂；小葉欖仁、臺灣欒樹與血桐對於貝殼砂，其滯塵量都呈現負值，推測可能風吹造成植物的蒸散作用變快，葉片本身重量減輕了。

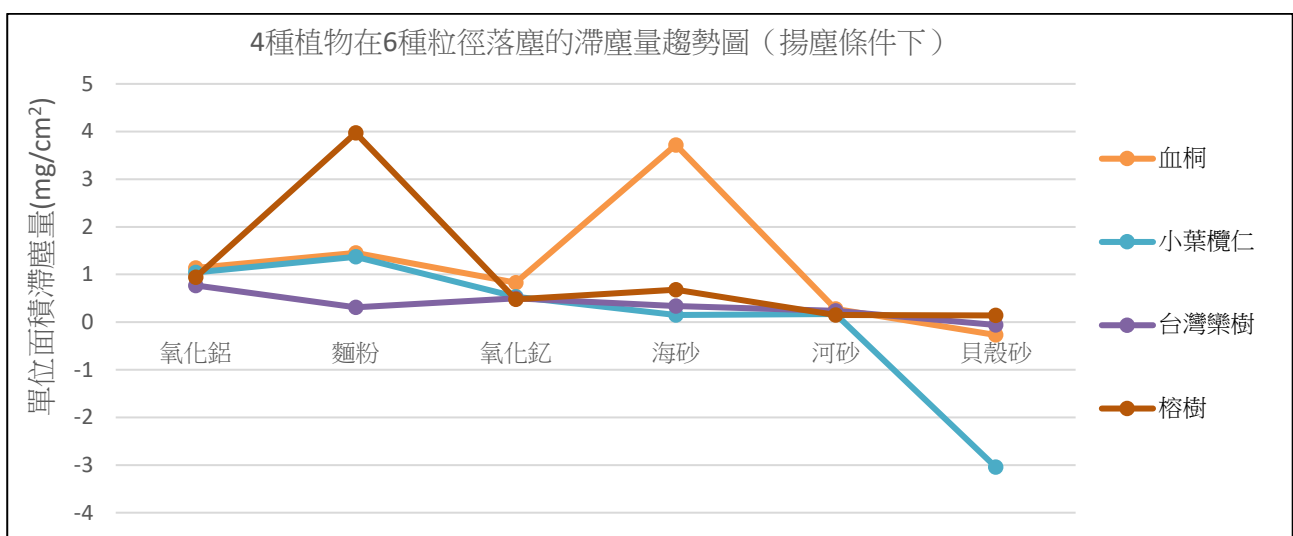


圖 63 在揚塵條件下，4 種不同喬木對粒徑由小到大的落塵之單位滯塵量趨勢圖

陸、討論

一、觀察與比較校園 10 種喬木葉片的表面構造及塵埃分布情形

綜合研究一和研究四的結果，我們發現，10種校園植物中，滯塵量最好的是榕樹、血桐和小葉欖仁。比較葉片特徵可以發現，榕樹和小葉欖仁是葉面積最小的；血桐的葉面有許多絨毛。過去的研究指出，一般葉片寬大、平展、硬挺而風不易抖動，葉面粗糙多絨毛的植物能吸滯大量的塵埃，因此植物葉片的絨毛是截留吸附塵埃的重要植物型態特徵（黃尚義，2009）。此敘述與我們血桐的研究結果一致。

10種喬木中，由於葉片面積大的血桐滯塵量最好，但葉片面積第二大的茄苳滯塵效果不好；鵝掌柴滯塵量更是最差，因此我們認為葉面面積大小與滯塵量無直接相關。

此外，黃尚義（2009）表示，植物滯塵量大小與葉片型態、結構、葉面粗糙程度、葉片著生角度，以及樹冠大小、疏密度等因素有關。我們的實驗未來也可針對葉片著生角度、樹冠大小及疏密度等因素做實驗與比較。

二、測量與比較不同葉面積計算方式的結果

本研究在採集葉片時，發現有些樹種的葉片，本身葉片大小就有很大的差距，觀察後，決定像是血桐這類大片的葉子，儘可能取成熟葉片 10 片來計算平均葉面積；而具有羽狀複葉的臺灣欖樹、小葉欖仁以及葉形較小的榕樹，則取 20 片求平均。

本研究結果顯示，方格法與紙重法兩種葉面積測定方法結果相同，採用 T-test 檢定後沒有顯著差異。近年來隨著影像處理技術的進步與更新，植物葉片面積已經能夠簡單的利用一般商業影像處理軟體（如 PhotoImpact、Photoshop 等）獲得正確而快速的估測（陳榮坤，2011）。我們實際使用 Photoshop 分析像素來估算葉片面積，發現誤差比較大，因此未來可能嘗試編寫較精準的程式來計算葉面積，以節省更多實驗時間。

大量進行滯塵的實驗過程中，我們意外發現，小葉片用方格法，血桐、茄苳、鵝掌柴等大葉片則用紙重法在計算葉面積上會比較迅速有效率！

三、測量與分析 10 種喬木葉片葉面與葉背的自潔效果

進行水滴與葉片的接觸角測試時，為了滴出一樣大小的水滴，我們使用 1ml 的滴管，在距離葉面 1 公分高處滴下，使水滴大小保持一致，並利用螢幕將照片放大，以 APP 量角度，可量出比較精準的接觸角。為解決測量誤差的問題，所有樹種都採 10 片葉片裁成邊長 2 公分的正方形，測量 10 次求平均值。我們同時也發現，使用量角器 APP 比線上量角器（網頁版）測量較精準、快速。

實驗結果顯示 10 種校園喬木不論葉面或葉背都沒有自潔效果；但葉背有疏水性的

有烏心石、龍眼、樟樹、鵝掌柴、血桐和小葉欖仁。蔡志明（2004）將羅漢松、杜鵑、白千層、正榕、金露花、樟樹、台灣欖樹、月橘、黑板樹、鵝掌藤及福木等 11 種乾葉片塵土滯塵量與水滴接觸角測定值比較，結果顯示葉片的水滴接觸角與塵土滯塵量間並無相關性（ $R^2=0.082$ ）。我們以 10 種校園喬木的河砂滯塵量數據與水滴接觸角測定值比較，相關係數 $R=0.11$ ，兩者相關性非常微弱，表示接觸角的大小並不會影響滯塵量的大小。雖然使用植物葉片不同，但此結果與蔡志明相同。

四、分析 4 種喬木葉片清潔前後以及相同樹種不同距離在葉片滯塵量的差異情形

實驗結果發現無論何樹種，位於工地內的滯塵量遠大於在工地外的樹種，故越靠近污染源，滯塵量越大；但我們也發現，距離 3 公尺且有圍籬阻隔與距離新校舍工地圍籬 5 公尺以外的茄苳和小葉欖仁，滯塵量在距離上沒有差異，應該是工地圍籬就有很好的阻隔效果。查閱文獻時，曾看過「植生牆」的研究，章錦瑜、鄒君瑋與林思媛（2016）認為植生牆有增進建築物的美觀、降低噪音、吸附灰塵、淨化空氣以及建立絕緣層而達到冬暖夏涼之節能效益，因此我們認為新校舍建築工地圍籬也可增設植生牆達到更好的防塵與淨化空氣的效果。

五、探討不同粒徑的落塵，在沾附的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

（一）落塵材料的選擇

選擇落塵材料時，由於落塵是大小為粒徑 $>10\mu\text{m}$ 之粒狀物質，為易自空氣中沈降的固體粒子，例如土壤微粒、工地落塵等（張臆勛，2002；孫岩章，2001），故選擇顆粒在 $8\sim 58\mu\text{m}$ 之間，平均 $25\mu\text{m}$ 大小的麵粉，作為模擬微粒落塵進行實驗。

模擬學校建築工地的落塵部分，由於河砂粒徑差異很大，而且建築用砂又分為粗砂（ $>0.5\text{mm}$ ）、中砂（ $0.35\text{-}0.5\text{mm}$ ）與細砂（ $0.25\text{-}0.35\text{mm}$ ），礙於研究時間限制，我們直接選用了學校建築工地用的河砂進行實驗。此外，由於學校靠近頭前溪下游，冬天的出海口風沙非常大，於是採集了南寮漁港路邊的漂沙（海砂），發現海砂是三者粒徑大小最平均的，約 $350\mu\text{m}$ 左右，便決定用海砂進行試驗。

最後採用魚缸底砂（即貝殼砂）做實驗，卻又發現顆粒過大無法通過篩網，因此用研鉢研磨，解決了顆粒太大的問題。

通過縣賽後，因為麵粉主要由澱粉組成，思考以麵粉模擬微粒塵的適切性，於是續做了平均 $34\mu\text{m}$ 的氧化釷（稀土）及平均 $1\mu\text{m}$ 的氧化鋁（礬土）的實驗，選擇先前滯塵量較好的 4 種植物：血桐、小葉欖仁、臺灣欖樹及榕樹進行測試。

本研究礙於疫情爆發，材料的選擇上缺乏 $100\sim 300\mu\text{m}$ 的落塵材料，我們認為未來

可使用不同目數的標準篩對河砂進行過篩，來解決目前的問題。

(二) 可能影響滯塵量的其他因素

由於研究開始時是冬天，在採集臺灣欒樹的葉片時遇到較大的困難，因為大部分葉片都枯萎了，綠色葉片比較少；續做研究後又發現，小葉欒仁春季比冬季的平均葉片面積大了三倍(表 19)，而茄苳、龍眼、鵝掌柴、血桐等不同季節的葉面積差異也很大。因此我們認為季節很可能也會影響植物葉片的滯塵量。此外，由於南洋杉葉型較為立體，可能有較好的滯塵量，但因葉面積較難測量，因此最後沒有採用南洋杉的數據。未來有時間，可進行不同季節、乾濕葉片以及針葉、落葉及常綠喬木的比較。

表 19 10 種喬木葉片在不同季節之平均葉面積比較一覽表 單位：cm²

葉面積	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欒仁	臺灣欒樹	榕樹
冬季	51.20	16.98	18.18	15.73	17.18	48.13	94.03	6.58	16.73	7.3
春季	68.49	18.43	12.88	32.01	17.93	67.99	111.90	20.90	10.85	8.0

(三) 葉片對麵粉滯塵量較高的原因

從表 17 可發現，10 種喬木對於麵粉的單位面積滯塵量大都比其他類的落塵數值高，推測可能是因為麵粉是以澱粉為主，本身具有黏性所造成。

六、探討不同粒徑的落塵，在揚塵的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

(一) 數值為負值的原因

有部分樹種的葉片在進行風洞實驗後，重量比實驗前還輕，造成單位面積的滯塵量數值小於0，由於揚塵實驗有吹風的步驟，可能是吹風後使得蒸散作用增加而使本身葉片的重量減輕，導致即使有砂塵落在葉片上，數值仍是負的。蔡志明(2004)也提及，試驗中發現具有枝條的榕樹葉片在測定前讀值秤重，置揚塵箱內滯塵再秤重，常有不增反減之現象，推定具枝條葉片有失水的問題。

我們也發現使用離體葉片進行實驗期間，水分依然持續蒸散，以精密天平秤重可發現重量明顯下降，故認為葉片的蒸散作用會減輕葉片重量，是造成滯塵量呈現負值的主要原因。

(二) 落塵粒徑太小在實驗上遭遇的問題

氧化鋁因為粒子過小(1 μ m)，材質本身容易結塊，揚塵實驗時不容易經過篩網再落下，且容易沾附在漏斗壁上，因此實驗時我們去掉篩網及漏斗，改以手搓方式，再配合風洞吹風，粉末依舊定量，可蒐集完有用數據。我們發現，由於微小分子因為重量太輕，分子間的凡得瓦力及靜電力容易使分子聚集，未來或許可以利用超音波振盪器破壞分子間的作用力，使粒子間不易聚集，或許可模擬 PM2.5 滯塵的狀況。

柒、結論

一、觀察與比較校園 10 種喬木葉片的表面構造及塵埃分布情形

有絨毛、凹凸不平整、具蠟質的葉片，較容易堆積塵埃。

二、測量與比較不同葉面積計算方式的結果

方格法與紙重法兩種葉面積測定方法結果相同，並沒有顯著差異。小葉片用方格法，茄苳、血桐等大葉片用紙重法在計算葉面積上會比較迅速有效率！

三、測量與分析 10 種喬木葉片葉面與葉背的自潔效果

10 種校園喬木的葉片，其葉面皆為親水性；葉背有疏水性的有烏心石、龍眼、樟樹、鵝掌柴、血桐和小葉欖仁，但都未能達到自潔的效果。而且葉片的水滴接觸角與塵土滯塵量間並無相關性。

四、分析靠近工地的 4 種喬木葉片清潔前後的滯塵量差異情形

4 種靠近工地的喬木葉片單位面積滯塵量由大到小為：臺灣欖樹 > 茄苳 > 小葉欖仁 > 龍眼。工地內的滯塵量遠大於在工地外的樹種，越靠近污染源，滯塵量越大。

五、分析相同樹種靠近與遠離工地在葉片的滯塵量差異情形

臺灣欖樹在靠近工地的數值上明顯大於遠離工地的植株，兩者間有明顯的差異，而茄苳和小葉欖仁則在距離上無明顯差異。

六、探討不同粒徑的落塵，在沾附的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

(一) 在沾附條件下，不論粒徑大小，單位面積滯塵量最好的前三名是血桐、小葉欖仁和榕樹；鵝掌柴是 10 種植物中滯塵量最差的。

(二) 榕樹對於平均 25 μm 粒徑的滯塵力最佳；血桐則對平均 34 μm 粒徑的滯塵量效果最好。

(三) 隨著落塵的粒徑越來越大，血桐、小葉欖仁、榕樹和臺灣欖樹 4 種喬木的滯塵量也越來越差。

七、探討不同粒徑的落塵，在揚塵的條件下，對 10 種喬木葉片滯塵量的影響

(一) 在揚塵條件下，不論粒徑大小，血桐、榕樹、小葉欖仁和臺灣欖樹都有極佳的滯塵效果。榕樹對 25 μm 粒徑的滯塵力最好；茄苳與血桐對於 400 μm 粒徑的滯塵效果最好的；龍眼則對 500 μm 粒徑有極佳的滯塵效果。

- (二) 在揚塵條件下，臺灣欒樹和小葉欖仁的滯塵量並未隨著粒徑越大而越小。
- (三) 揚塵實驗會造成烏心石、樟樹和鵝掌柴對海砂；小葉欖仁、臺灣欒樹與血桐對於貝殼砂，其滯塵量都呈現負值，推測葉片的蒸散作用是造成數值為負的主要原因。

八、應用

根據研究結果發現，無論是沾附或揚塵的條件，10 種校園常見喬木的滯塵能力最佳的為血桐、小葉欖仁和榕樹。本校位置靠近頭前溪下游，河口容易引起揚塵，建議新校舍在植栽規劃上，可栽種這些滯塵能力較強的樹種在迎風處，對於河口的揚塵和沙塵暴肆虐時所造成的空氣污染，將有很好的防治效果。

捌、參考資料及其他

- [科普]什麼是親水性？什麼是疏水性？什麼是超疏水性？（2021年01月26日）。取自：<https://www.paiqinano.com/?p=11786>
- 何敏暄、呂笛璇、陳芃瑄(2018)。「塵室」獵人-植物滯塵量的研究。中華民國第58屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 李睦樂、王冠人、蘇冠中(2013)。「變「型」綠巨人，天空之「塵」終結者-探討樹的滯塵力」。中華民國第53屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 徐世昌（2002）。蓮花的自潔功能與奈米科技的應用。《科學發展》，354，60~63。取自：
國立嘉義大學（2011）。何坤益（主持人）。《臺灣河岸生態綠帶樹種篩選與現況調查計畫研究報告》。行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列編號 100-00-5-03。取自：
<file:///C:/Users/uset/Downloads/592415133071.pdf>
- 章錦瑜、鄒君瑋、林思媛（2016）。植生牆視覺景觀偏好之研究。《造園景觀學報》，21(2)：25~51。
- 陳沛宜、沈芃君(2017)。「有滯者，是淨塵—海濱植物滯塵力之探討」。全國高級中等學校小論文，地球科學類。取自：<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/11/2017110500373081.pdf>
- 陳榮坤（2011）。數位影像在量測植物葉面積的應用。《臺南區農業專訊》，76，8~9。取自：
<https://book.tndais.gov.tw/Magazine/mag76/76-3.pdf>
- 黃尚義（2009）。《樹木綠帶滯塵效果之研究》（未出版的碩士論文）。屏東縣：國立屏東科技大學森林系。
- 葉德銘（2010）。《淨化室內空氣之植物應用及管理手冊：居家生活版》。台北市：環保署。
- 葉德銘（2018）。應用植物淨化室內空氣。《科學發展》，552，29~33。
- 蔡志明（2004）。《空氣污染微粒在植物表面之沈降與脫離》（未出版的碩士論文）。臺北市：國立台灣大學森林研究所。
- 鄧廷安、張翔崑（2015）。《埃到你無法呼吸》。中華民國第55屆中小學科學展覽會作品說明書。

【評語】 030511

【優點】

1. 研究主題與環境保護及生活相關，瞭解不同植物的種類(包含不同葉面，蠟面，絨毛)與可能之滯塵能力。
2. 研究記錄詳實，實驗過程完整。
3. 研究成果可提供建築規劃相關的環境保護參考。

【建議】

1. 風洞的設計會造成擾流，強化了絨毛葉面的捕抓能力，這與一般的滯塵能力(因重力沉降於植物體表面)不同，所以討論的部分可能需說明這點。
2. 探討樹葉滯塵源由，提出實用建議，唯與地球科學主題聯繫性低。

作品簡報

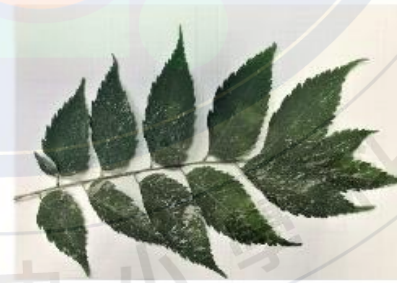
「滯塵」之道，喬木先知—

常見喬木的滯塵能力研究

組別：國中組

科別：地球科學科

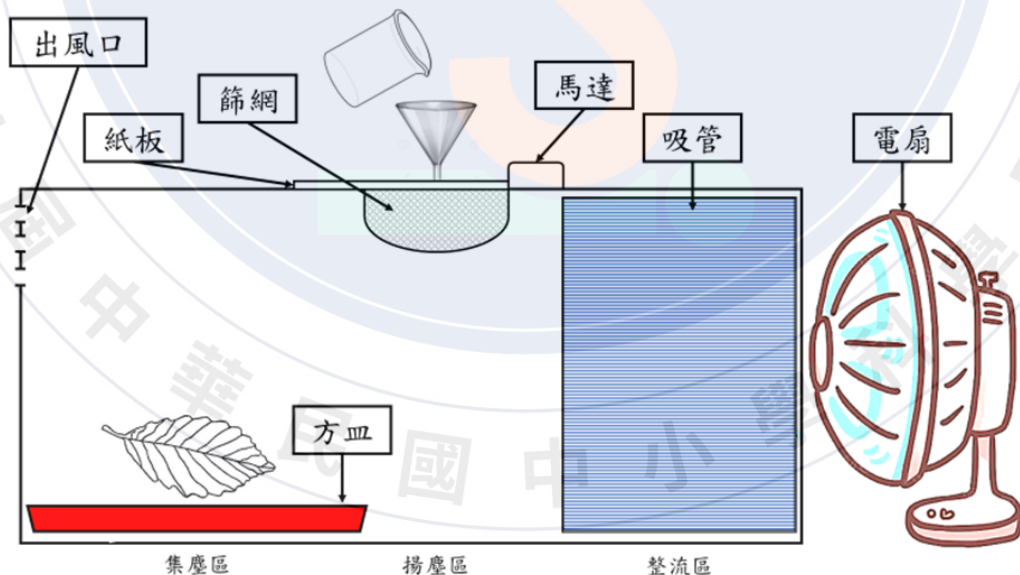
編號：030511



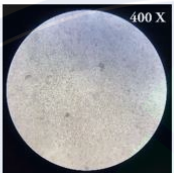
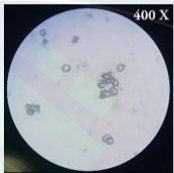
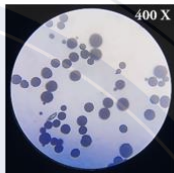
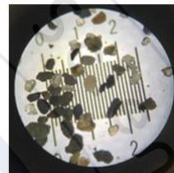
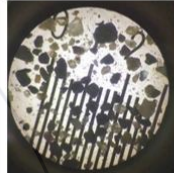

前言

觀察發現學校工地周圍的小葉欖仁及臺灣欒樹葉片因工地揚起的塵土沾染了不少灰塵。這讓我們聯想到沙塵暴時，東北季風挾帶霾及沙塵一路南下，不僅影響空氣品質，校園植物的葉片也同樣有大量沙塵沾附在葉片上。

此現象引發我們思考，校園有哪些滯塵能力佳的植物，可以減少沙塵暴的危害呢？於是我們選用十種校園常見喬木，並採用六種不同粒徑大小的塵埃，以自製風洞模擬滯塵的情境，來測試校園喬木的滯塵效果，進而找出改善空氣品質的方法。



文獻探討

落塵種類	氧化鋁(礬土)	麵粉	氧化鈮(稀土)	海砂	學校工地用砂	貝殼砂(粗粒塵)
粒徑範圍	1 μm (平均 1 μm)	8 μm ~58 μm (平均 25 μm)	20~53 μm (平均 34 μm)	200 μm ~500 μm (平均 350 μm)	200 μm ~600 μm (平均 400 μm)	160 μm ~800 μm (平均 500 μm)
不同落塵在顯微鏡下的照片						

● 塵埃

「落塵」及「懸浮微粒」是屬於空氣污染物中的粒狀污染物，兩者合稱為「塵埃」（黃尚義，2009）。

● 落塵

落塵是粒徑 $>10\mu\text{m}$ 之粒狀物質，為易自空氣中沈降的固體粒子，例如土壤微粒、工地落塵等，易造成環境髒污。微粒灰塵 (fine dust) 指粒徑 $<100\mu\text{m}$ 之微粒物質；粗粒灰塵 (coarse dust) 指粒徑 $>100\mu\text{m}$ 之微粒物質（張臆勳，2002；孫岩章，2001）。

● 懸浮微粒

係指粒徑 $<10\mu\text{m}$ 之微粒。10 μm 之懸浮微粒，簡稱PM10；粒徑小於等於2.5 μm 以下之懸浮微粒，簡稱PM2.5（孫岩章，2001）。

研究方法

$$\text{葉片滯塵量 (mg/cm}^2\text{)} = (W1 - W0) / A \times 1000$$

W0：乾淨葉片重 (g)

W1：乾淨葉片重 + 微粒量 (g)

A：單片的葉面積 (cm²)

×1000：將 g 轉為 mg

(一) 葉片與塵埃觀察

- 手持顯微鏡
- 複式顯微鏡

(二) 葉面積測定之研究

- 方格法
- 紙重法

(三) 葉片自潔性研究

- 測量水滴與葉面及葉背之接觸角

(四) 靠近工地植物滯塵量

- 清潔前秤重 → 清潔後秤重 → 計算單位面積滯塵量

(五) 距離遠近的滯塵量

- 實驗組：靠近工地 → 計算單位面積滯塵量
- 對照組：遠離工地 → 計算單位面積滯塵量

(六) 沾附條件的滯塵量

- 清潔，秤重 → 沾塵，秤重 → 計算單位面積滯塵量

(七) 揚塵條件的滯塵量

- 清潔，秤重 → 置入風洞揚塵，秤重 → 計算單位面積滯塵量

研究結果

【研究一】

有絨毛、不平整、具蠟質的葉片容易滯塵。

【研究二】

表 10 10 種植物葉片的兩種葉面積測定結果彙整表

單位：cm²

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	臺灣欖樹	榕樹
方格法	51.20	16.98	18.18	15.73	17.18	48.13	94.03	6.58	16.73	7.3
紙重法	49.65	15.76	18.82	12.82	16.59	47.18	90.71	6.71	16.53	6.59
T-test	0.813	0.538	0.812	0.227	0.742	0.914	0.815	0.900	0.759	0.258

【研究三】

表 11-12 植物葉片葉面與葉背水滴的接觸角量測紀錄表

單位：角度（度）

樹種	茄苳	烏心石	肉桂	龍眼	樟樹	鵝掌柴	血桐	小葉欖仁	臺灣欖樹	榕樹
葉面接觸角	55.8	55.2	55.2	62.5	59.5	57.4	68.1	56.7	58	56.5
葉背接觸角	78.69	93.70	85.64	118.19	92.96	106.87	118.05	90.07	74.93	77.56

研究結果

【研究四】

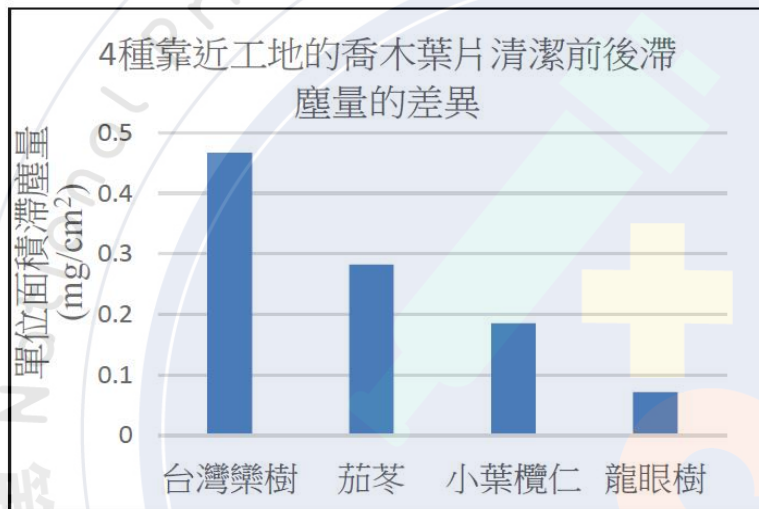


圖 45 四種靠近工地喬木葉片的滯塵量長條圖



圖 46 學校工地與 4 種喬木位置示意圖

表 14 靠近與遠離工地相同樹種的單位面積滯塵量一覽表

樹種	單位面積滯塵量 mg/cm ²	
	靠近工地	遠離工地
臺灣欒樹	0.47	0.24
茄苳	0.28	0.28
小葉欖仁	0.18	0.17

【研究五】

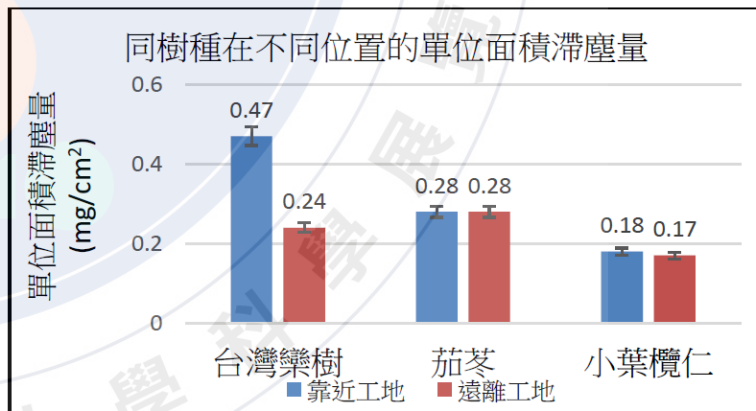


圖 47 同樹種在不同位置的單位面積滯塵量長條圖

研究結果

【研究六】

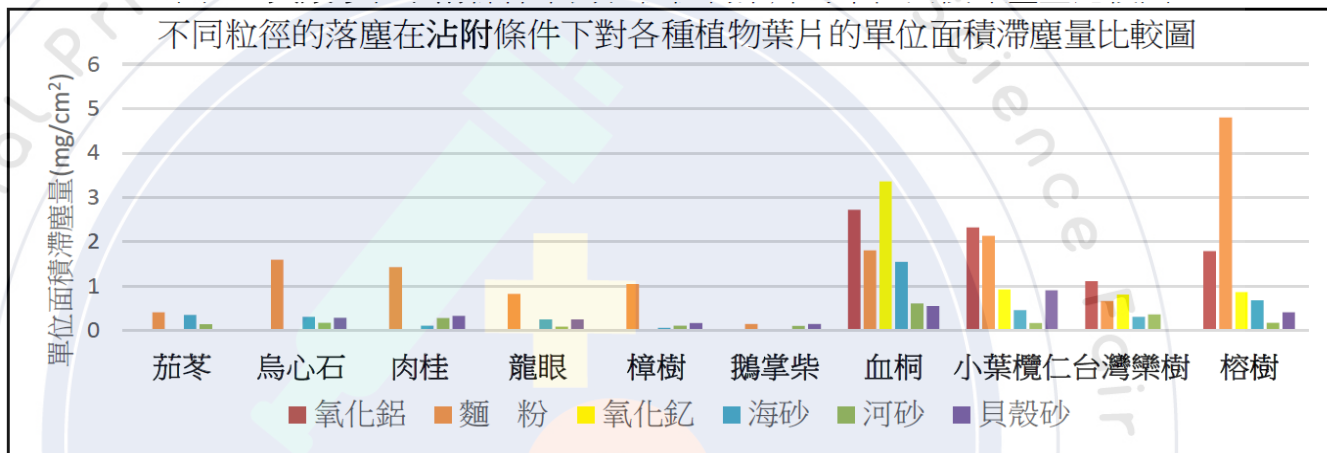


圖 54 不同粒徑的落塵在沾附條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

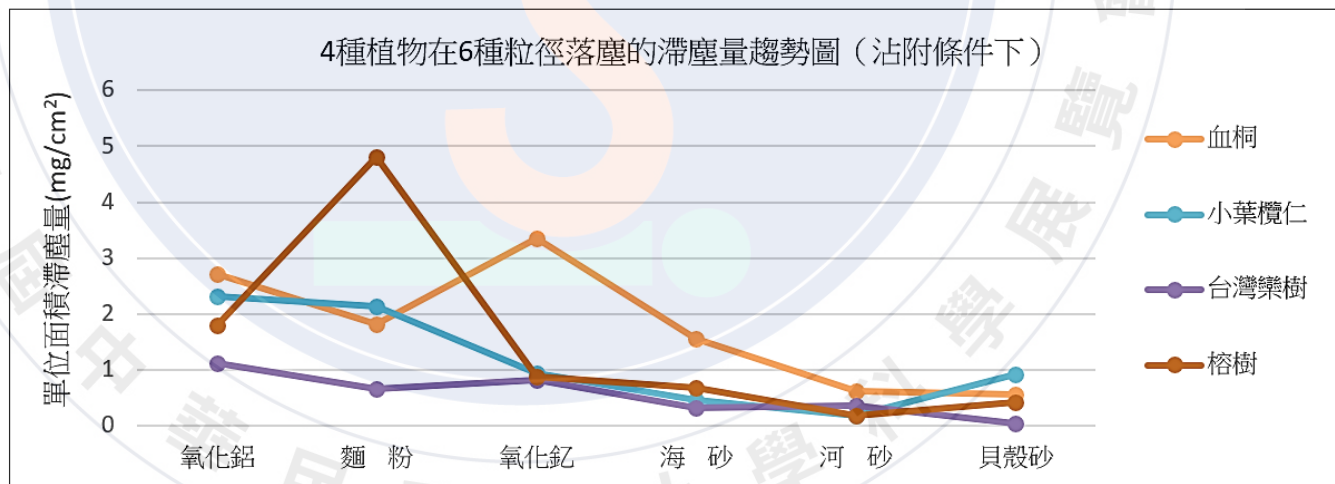


圖 55 在沾附條件下，4種喬木對於粒徑由小到大的落塵之單位滯塵量趨勢圖

研究結果

【研究七】

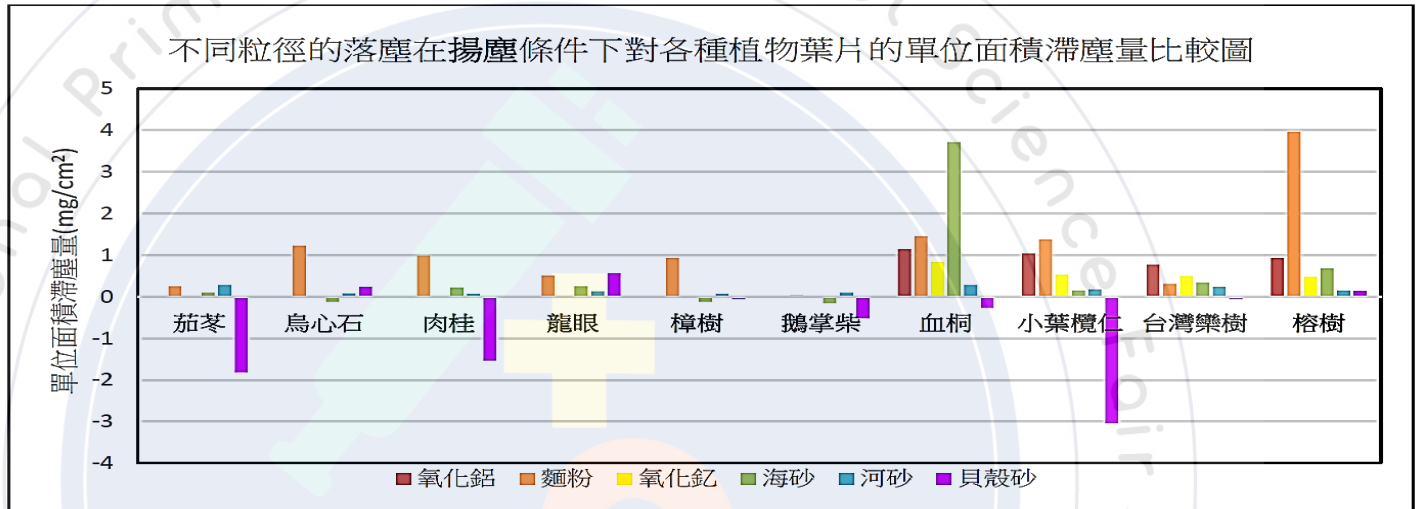


圖 62 不同粒徑的落塵在揚塵條件下對各種植物葉片的單位面積滯塵量比較圖

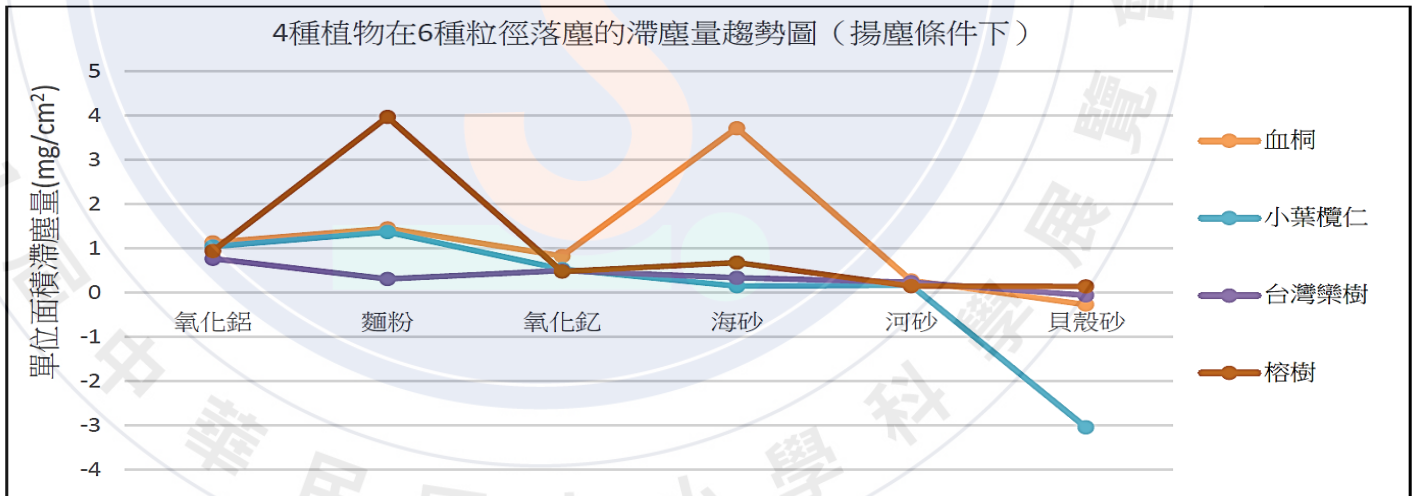


圖 63 在揚塵條件下，4種不同喬木對粒徑由小到大的落塵之單位滯塵量趨勢圖

討論

- 從研究一、六及七的結果歸納可知，血桐、榕樹及小葉欖仁滯塵量好與葉表有絨毛、蠟質有關，葉面積大小與滯塵能力則無直接相關。
- 葉面積大者使用紙重法，葉面積較小者使用方格法，較快速有效率。
- 葉片的水滴接觸角與滯塵量間並無相關性（ $R = 0.11$ ），接觸角的大小與滯塵效果無直接關聯，與文獻結果相符。
- 有圍籬阻隔，不同距離同樹種的滯塵量就沒有差異。從文獻中得知「植生牆」亦有吸附落塵之效，故建議施工時可增設植生牆。
- 本研究礙於疫情爆發，材料的選擇上缺乏 $100\sim 300\mu\text{m}$ 的落塵材料，未來可使用不同目數的標準篩對河砂進行過篩，來解決此問題。
- 季節很可能也會影響植物葉片的滯塵量。
- 10種喬木對於麵粉的滯塵量大都比其他落塵數值高，可能是因為麵粉本身具有黏性所造成。
- 葉片的蒸散作用會減輕葉片重量，是造成滯塵量呈現負值的主因。
- 氧化鋁粉粒徑僅 $1\mu\text{m}$ ，顆粒過小本身易結塊，無法如其他粉塵通過漏斗及篩網落下，未來或許可以利用超音波振盪器破壞分子間的作用力，使粒子間不易聚集，或許可模擬PM2.5滯塵的狀況。

結論

- 一、有絨毛、不平整、具蠟質的葉片較容易滯塵。
- 二、方格法與紙重法兩種葉面積測定方法結果相同，無顯著差異。
- 三、10種喬木葉片無自潔性，且水滴接觸角與塵土滯塵量無相關性。
- 四、越靠近污染源，滯塵量越大。
- 五、喬木在沾附條件下的滯塵能力：
 - (一) 不論粒徑大小，滯塵能力最好的是血桐、小葉欖仁和榕樹。
 - (二) 榕樹對於 $25\mu\text{m}$ 粒徑的滯塵效果最佳；血桐對於 $34\mu\text{m}$ 粒徑落塵的滯塵效果最好。
 - (三) 隨著粒徑越大，血桐、小葉欖仁、榕樹和臺灣欖樹的滯塵量越差。

結論

六、喬木在揚塵條件下的滯塵能力：

- (一) 不論粒徑大小，血桐、榕樹、小葉欖仁、台灣欒樹的滯塵能力最佳。
- (二) 榕樹對於 $25\mu\text{m}$ 粒徑之落塵滯塵效果最好；茄苳、血桐對於 $400\mu\text{m}$ 之落塵的滯塵量最高；龍眼對於 $500\mu\text{m}$ 粒徑落塵之滯塵效果最佳。
- (三) 揚塵時因為風吹，加速葉片的蒸散作用會減輕葉片重量，是造成滯塵量呈現負值的主因。

七、應用與建議

常見喬木的滯塵力最佳的為血桐、小葉欖仁和榕樹。建議新校舍在植栽規劃上，可在迎風處栽種這些滯塵能力較強的樹種，對於河口的揚塵和沙塵暴肆虐時所造成的空氣污染，將有很好的防治效果。

參考資料

- 徐世昌（2002）。蓮花的自潔功能與奈米科技的應用。科學發展，354，60~63。
- 陳榮坤（2011）。數位影像在量測植物葉面積的應用。臺南區農業專訊，76，8～9。取自：<https://book.tndais.gov.tw/Magazine/mag76/76-3.pdf>
- 黃尚義（2009）。樹木綠帶滯塵效果之研究（未出版的碩士論文）。屏東縣：國立屏東科技大學森林系。
- 蔡志明（2004）。空氣污染微粒在植物表面之沈降與脫離（未出版的碩士論文）。臺北市：國立台灣大學森林研究所。