

國立台灣大學森林研究所

碩士論文

指導教授：王亞男 博士・孫岩章 博士

Advisor : Dr. Wang Ya-Nan • Dr. Sun En-Jang



空氣污染微粒在植物表面之沈降與脫離

Deposition and Removal of Air Pollution Particles on Plant Surfaces

研究生：蔡志明

Graduate student : Tsai Chih-Ming

中華民國九十三年六月

June, 2004

中文摘要

本研究研發已利用電腦掃描器，進行葉片面積之量測工具。主要係掃描葉片成圖檔，利用圖片中的像素與程式軟體計算掃描後的葉面積值，發現此種方法可快速獲得精確的葉面積值。

另已設計揚塵器及揚塵箱利用人工揚塵箱測試 13 種樹種葉片之滯塵效率，結果發現龍柏之滯塵效率為最高、其次為木麻黃、羅漢松。另發現在固定風向條件下懸浮微粒會依慣性作用而積聚葉緣地方，又比較 13 種樹種發現一般葉面積小之樹種滯塵量較葉面積大者為高，而一般經噴濕後滯塵量皆比乾者為大。

本研究另經測試 6 種植物乾及濕枝條之滯塵效率，所用微粒包括有塵土及水泥微粒。結果顯示濕枝條的滯塵量一般皆比乾枝條多，且枝條在噴濕潤後不易乾燥者如正榕及楓香會具有較大的滯塵量。

經設計均勻揚塵箱及人工降雨淋洗箱後，本研究已模擬並量測降雨對 7 種植物葉表四種微粒之淋洗效率，結果發現除了艷紫荊葉表水泥比塵土微粒淋洗效率大之外，其他 6 種植物葉表各微粒之淋洗效率依次排列為塵土 > 水泥 > 燃煤飛灰 > 燃油飛灰。

各種受測之植物之水滴接觸角皆被量測，以探討接觸角和滯塵效率及降雨淋洗效率間的相關性，結果發現 10 種葉片的水滴接觸角對葉表塵土之相關性 R^2 為 0.6658，而與水泥間之 R^2 為 0.7668，7 種葉片的水滴接觸角對葉表燃煤飛灰之相關性 R^2 為 0.6117，此三項顯示呈現高度相關性，但對燃油飛灰間之 R^2 為 0.0283 顯示接觸角與之無相關性。

English Summary

A computer scanner method was developed to measure the leaf area in this study. This method calculated the leaf area by counting total dot numbers on each scanned map of leaves.

In order to evaluate the dust catching efficiency of plant leaves, a dust chamber was designed and a dust generator were used to produce dust for the experiments. The dust catching efficiency of 13 tree species were determined in the chamber. Results showed that *Juniperus chinensis* var. *Kaizuka* had the best efficiency, followed by *Casuarina equisetifolia* and *Podocarpus costalis*. We found that the amount of particulate matters was usually highest at the edge of each leaf due to inertia function. The species with smaller leaf area usually have higher dust-catching efficiency as compared with those larger leaf area. Wet leaves have higher dust catching efficiency as compared with dry leaves.

The dust-catching efficiency of plant stems was also determined for 6 species. Both dust and cement particulate were used in this study. Results showed that wet stems have higher dust-catching efficiency as compared with dry stems. Wet stems (eg. *Ficus microcarpa* and *Liquidambar formosana*) which are difficult to be dry usually have higher dust deposition as compared with the others.

Rain-cleaning efficiencies of soil dust, cement dust, coal-fired fly ash and oil-fired fly ash on 7 plant leaves were compared in a simulated rain chamber. The rain-cleaning efficiency of cement dust on *Bauhinia blakeana* is higher than those of soil dust. While the 6 plants showed their rain-cleaning efficiency of all particles in the descending order as dust > cement > coal-fire fly ash > oil-fire fly ash.

The contact angles between water droplet and leaf surface were measured with an instrument . These contact angles were compared with dust-catching efficiencies, as well as rain-cleaning efficiency. The R^2 between contact angle and the rain-cleaning efficiency of dust for 10 species was 0.6658. For cement, the R^2 is 0.7668 . For coal-fired fly ash particles in 7 species, the R^2 is 0.6117. Results show that they are closely related. But oil-fired fly ash particles, R^2 is 0.0283, did not show strong correlation relationship.



目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
目錄	iv
圖目錄	viii
表目錄	x
第一章 前言	1
(一) 研究動機和目的	1
(二) 研究流程	2
第二章 文獻回顧	3
(一) 葉面積的測定	3
(二) 空氣污染物種類及微粒來源	5
1. 懸浮微粒 (suspended particulate matter)	10
2. 落塵 (dust fall)	11
3. 空氣品質	12
(三) 微粒對人體的影響	14
(四) 植物與大氣微粒之相關性	16
1. 微粒對植物的影響	16
2. 植物捕捉微粒	17
3. 植物與飛灰 (fly ash) 微粒之關係	19
(五) 淋洗作用-蓮花效應原理	20
1. 接觸角 (Contact Angle) 的意義及其影響	20
2. 蓮花效應 (lotus effect)	21
3. 蓮花效應的物理背景	24
第三章 材料與方法	25
(一) 葉面積測定之研究	25
1. 嘗試以掃瞄器量測葉面積	25

2. 利用掃瞄器及 LI-COR 葉面積儀量測紙面積之比較.....	25
3. 利用掃瞄器及 LI-COR 葉面積儀對三種植物葉片量測面積比較.....	27
(二) 乾濕葉片滯塵量的比較研究.....	28
1. 揚塵器與揚塵箱之設計.....	28
2. 塵土微粒之來源.....	31
3. 植物的種類.....	31
4. 葉片來源及處理.....	31
5. 箱內風速及風向之測定.....	31
6. 受測葉片前處理.....	31
7. 葉片滯塵之操作.....	33
8. 噴濕葉片滯塵量的測定.....	34
(三) 乾濕枝條滯塵量的比較研究.....	35
1. 乾枝條滯塵量的測定.....	35
2. 所用之微粒.....	35
3. 植物的種類.....	35
4. 乾枝條滯塵量之測定.....	35
5. 噴濕枝條滯塵量的測定.....	36
(四) 降雨淋洗葉表四種微粒之模擬.....	37
1. 人工污染均勻分布揚塵箱之設計.....	37
2. 人工降雨淋洗設備之設計.....	41
3. 微粒來源.....	44
4. 葉表微粒淋洗之操作.....	44
(五) 接觸角影響葉表微粒殘留之研究.....	48
1. 葉片接觸角的測定.....	48
2. 葉面的水滴流觀察.....	48
第四章 結果.....	49

(一) 葉面積測定之研究	49
1.6 塊黑色色紙面積測定	49
2. 鵝掌藤、正榕及福木各 20 片葉片測定	49
(二) 乾濕葉片滯塵量的比較研究	51
1. 離體葉片滯塵量的測定之結果	51
2. 離體葉片滯塵量的測定之結果	51
3. 乾濕離體葉片滯塵量相互比較	53
(三) 乾濕枝條滯塵量的比較研究	55
1. 乾濕枝條滯塵量之測定	57
2. 乾濕枝條對塵土及水泥滯塵量之比較	56
(四) 降雨淋洗葉表四種微粒之模擬	58
1. 設備設計	58
2. 葉表塵土、水泥、燃煤飛灰及燃油飛灰之微粒淋洗	59
3. 本研究另取大葉桉、芋及苜宿葉表塵土及水泥微粒之淋洗	61
(五) 接觸角影響葉表微粒殘留之研究	62
1. 接觸角 (Contact Angle 簡稱 CA) 測定之結果	62
2. 葉面的水滴流動觀察	62
3. 葉片的水滴接觸角與塵土滯塵量的相關性分析	63
4. 葉片的水滴接觸角與濕葉片塵土滯塵量的相關性分析	64
5. 葉片的水滴接觸角與濕葉片對乾葉片塵土滯塵量增幅的相關性分析	65
6. 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表塵土微粒殘留百分比間相關性分析	66
7. 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表水泥微粒殘留百分比間相關性分析	67

8. 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃煤飛灰殘留百分比間相關性分析·····	69
9. 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃油飛灰殘留百分比間相關性分析·····	70
第五章 討論·····	72
(一) 葉面積測定之研究·····	72
1. 以掃瞄方式測定·····	72
2. 以 LI-COR 葉面積儀測定·····	72
3. 掃瞄方法及 LI-COR 葉面積測定實用性·····	72
(二) 乾濕葉片滯塵量的比較研究·····	74
1. 乾葉片滯塵量測定·····	74
2. 濕葉片滯塵量測定·····	75
3. 乾濕葉片滯塵量之增幅·····	76
(三) 乾濕枝條滯塵量的比較研究·····	77
(四) 降雨淋洗葉表四種微粒之模擬·····	78
(五) 接觸角影響葉表微粒殘留之研究·····	79
1. 接觸角與葉表自淨能力相關性之探討·····	79
2. 水滴移除葉表塵土及水泥微粒之現象·····	79
3. 接觸角與乾濕葉片塵土滯塵量及濕葉片對乾葉片塵土滯塵量增加倍數的相關性·····	79
4. 接觸角與四種微粒淋洗殘留百分比的相關性·····	80
5. 蓮花效應的啟發·····	80
第六章 結論·····	82
第七章 引用文獻·····	83

圖目錄

圖 2-1：葉面積測定	4
圖 2-2：人類呼吸系統構造	14
圖 2-3：接觸角 θ ：液滴表面與固體表面邊界切線所形成的夾角	21
圖 2-4：水珠會夾帶灰塵顆粒離開葉面	22
圖 2-5：粗糙表面及平滑表面水滴流動 (a) 當水滴向下滑動在平滑表面微粒仍留在表面只稍為下移 (b) 當水滴向下滑動在粗糙表面微粒會附著水滴表面而被帶走	23
圖 2-6：Young' s equation 圖示	24
圖 3-1：人工揚塵箱及揚塵器構造簡圖	29
圖 3-2：人工揚塵箱及揚塵器構造實圖	30
圖 3-3：無局限及局限之沉降情況	38
圖 3-4：人工污染均勻分佈之設計簡圖	39
圖 3-5：人工污染均勻分佈之設計實圖	40
圖 3-6：人工淋洗設備簡圖	42
圖 3-7：人工淋洗設備實圖	43
圖 4-1：13 種樹種葉片對塵土之滯塵量比較	52
圖 4-2：6 種樹種乾濕枝條四種處理滯塵量之比較	57
圖 4-3：人工模擬降雨對四種微粒在七種葉片上的淋洗效率比較	60
圖 4-4：8 種植物葉片先滯塵（塵土或水泥），再加 20 μ l 水滴觀測水滴流動情形	63
圖 4-5：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表塵土微粒殘留百分比相關性	67
圖 4-6：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表水泥微粒殘留百分比相關性	68
圖 4-7：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃煤飛灰微粒殘留百分比	

相關性.....	70
圖 5-1：揚塵箱內風及微粒流經葉片時葉片滯塵情形.....	75



表目錄

表 2-1:微粒常見中英名對照及說明·····	8
表 2-2:空氣中微粒分類·····	9
表 2-3:空氣污染指標 (PSI) 的定義·····	12
表 2-4:中華民國台灣現行空氣品質標準·····	13
表 3-1:13 種測試滯塵量之基本資料·····	32
表 3-2:10 種植物的性狀及應用·····	45
表 4-1:6 塊黑色色紙以掃描方法及 LI-COR 葉面積儀測定，以成對 t test 檢定 ($\alpha=0.05$) ·····	49
表 4-2:鵝掌藤、正榕及福木各 20 片葉片以掃描方法及 LI-COR 葉面 積儀測定，並以成對 t test 檢定 ($\alpha=0.05$) 之結果·····	50
表 4-3:13 種樹種葉片對塵土之滯塵量比較，單位為 mg/cm^2 ·····	52
表 4-4:5 種樹種噴濕之葉片單位面積平均滯塵量(塵土)單位為 mg/cm^2 ·····	53
表 4-5:5 種樹種離體葉片在乾燥及噴濕時在揚塵箱內滯塵量之比較 ·····	54
表 4-6:6 種樹種枝條對塵土及水泥的滯塵能力比較*(單位為 mg/cm^2) ·····	55
表 4-7:6 種樹種的乾濕潤枝條對塵土及水泥的滯塵比較·····	56
表 4-8:人工模擬降雨對四種微粒在七種葉片上的淋洗效率比較·····	60
表 4-9:三種植物葉表塵土及水泥微粒淋洗後之殘留百分比·····	61
表 4-10:15 種植物新鮮近軸葉片的靜態接觸角·····	62
表 4-11:葉片的水滴接觸角與塵土滯塵量間的相關性分析·····	64
表 4-12:葉片的水滴接觸角與濕葉片塵土滯塵量的相關性分析·····	65
表 4-13:葉片的水滴接觸角與濕葉片對乾葉片塵土滯塵量的相關性 分析·····	65

表 4-14：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表塵土殘留百分比間的相關性分析·····	66
表 4-15：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表水泥微粒殘留百分比間的相關性分析·····	68
表 4-16：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃煤飛灰微粒殘留百分比間相關性分析·····	69
表 4-17：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃油飛灰微粒殘留百分比間相關性分析·····	71



第一章 前言

(一) 研究動機和目的

1. 研究動機

在台灣這塊狹小的土地中，地狹人稠，人口密度居高不下，人為所排放污染微粒也日漸增加，如汽機車、工廠及家庭排放之廢氣等皆會影響大氣之品質。處於環境中的植物不但是氧氣的製造者，還可以吸收大氣中的有害氣體及吸附懸浮微粒和落塵，因而淨化空氣污染。

大氣中因人為污染而存有不同的懸浮微粒，植物體除了根部以外，地上部的任何器官只要與大氣有接觸的地方都可捕捉微粒，觀察都市內的行道樹或森林公園植物，不論是莖或葉多少皆沾有微粒，表示枝條及葉片都具有滯塵的效果。台灣地區雨量充沛，降雨是植物體表洗淨的唯一因子，故本論文藉由模擬設計，針對不同的植物枝條及葉片，探討其滯塵效果並模擬降雨淋洗的影響，期待可篩選出枝條及葉片滯塵能力高的樹種，以求提供未來都市綠化選種之參考依據。

2. 研究目的

主要目的有下列幾個方向：

目的—：利用程式軟體配合電腦週邊硬體之應用量測葉面積。

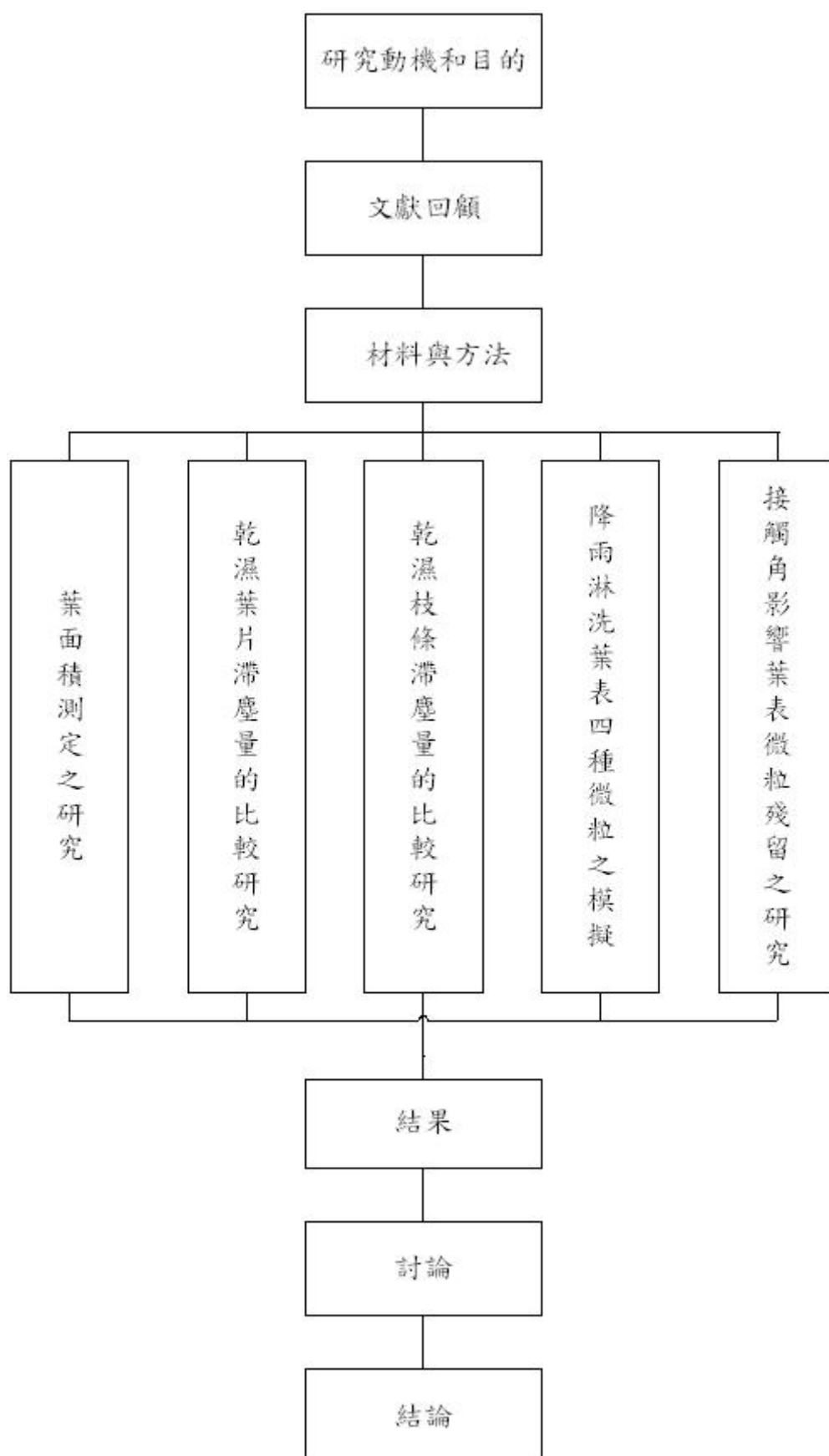
目的二：找出乾葉片滯塵能力高的樹種並與濕葉片的滯塵能力作比較。

目的三：找出乾枝條滯塵能力高的樹種並與濕枝條的滯塵能力作比較。

目的四：模擬降雨淋洗葉表微粒，求取淋洗效率大的植物。

目的五：探討接觸角影響葉表微粒殘留之關聯性。

(二) 研究流程



第二章 文獻回顧

(一) 葉面積的測定

一般面積的求法有很多種，正方形、長方形及圓形等圖形，都可依數學固定公式求解，但遇到不規則的圖形，也就是多邊形狀態，我們就會使用各種方法求出最合理的答案。計算不規則圖形時（如台灣的地形平面圖）學校中教學以方格法估算圖形的面積；或以微積分的函數模式積分方法求解。然而對於不規則的圖形面積，漸漸地同以數學的模式及原理變化引伸出各式各樣的求法。盧及潘（2003）提出枇杷葉面積的求法有下列之幾種：

1. 方格法

將葉片描在標準計算紙上，統計葉輪廓占的小方格數，達到或超過半格算一格，不足半格的捨去，把全部方格相加起即可得到葉面積。

2. 紙重法

將方格法測葉面積時描繪的紙膜減下，得到紙膜稱重（精確到 $1/10000\text{g}$ ），將此重量乘以 $K_{\text{紙}}$ （ $K_{\text{紙}}$ 即 $1\text{g}=\text{標準紙的面積 cm}^2$ ）。

3. 光電面積儀法

即利用 LI-COR3000 面積儀測定葉面積。

4. 求積儀法

用航海儀器 QJ1 型求積儀按 1：1 比例測定葉輪廓所占的面積。

5. 鮮重法

將 60 片葉片稱總重 W ，然後將此 60 片以光電面積儀求出葉面積 S ，則 S/W 為單位葉片重量有多少的面積之比值，由此可求面積。

6. 係數法

量 60 片各葉片的葉長 A （葉基至葉尖）及葉寬 B （與主脈垂直最寬處），則由 $A \times B$ 除以光電面積儀法所得的面積 S ，可得系數 $C=(A$

$\times B) \div S$ 。由 60 次的係數求其平均值，可供估計葉面積。

7. 直線回歸估測法

以光電面積儀求得的葉面積為 Y ，分別以葉長、葉寬及長寬積為 X ，用公式 $b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$ 和 $a = \frac{\sum y - b \sum x}{n}$ ($n=60$) 求得面積對長、寬及長寬積的直線回歸方程式 $Y=a+Bx$ ，即有三種的估測葉面積方法。

除了以上的七大項方式外，計算葉面積方法現在已有更現代化的電腦運用程式軟體輔助來估測葉面積值。圖 2-1 (<http://vschool.scu.edu.tw/happy1/class/paper/paper5/pic.htm>) 為單葉面積的計算模式，乃利用電腦軟體以掃描方式掃描葉片入電腦再以程式的運算求出葉投影的面積。

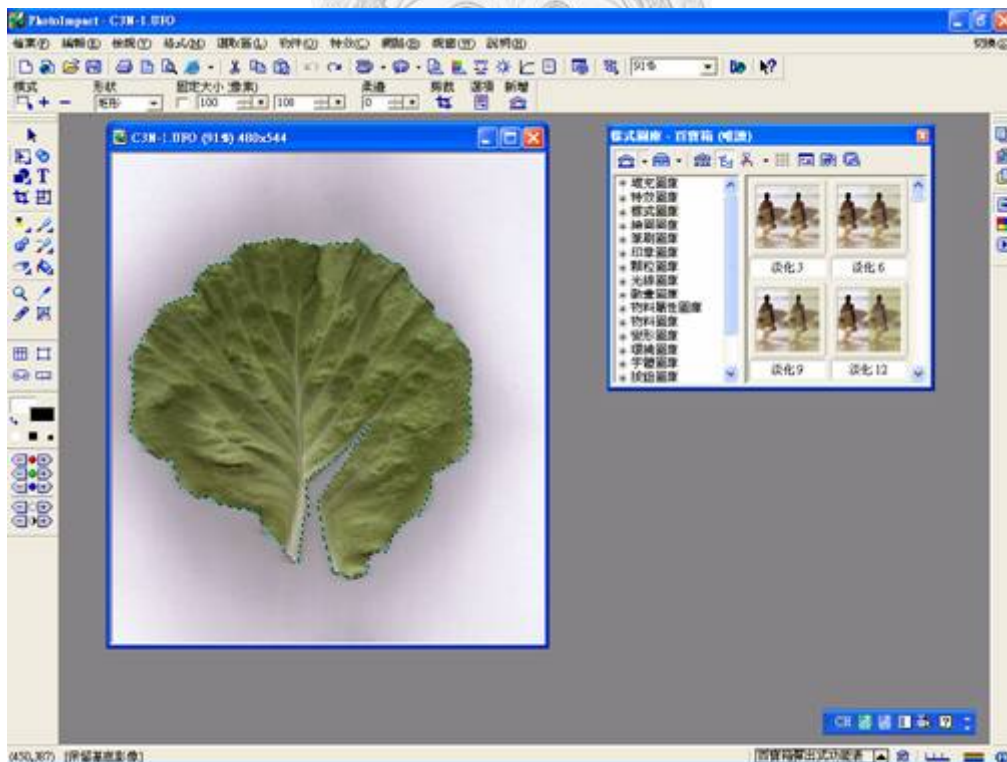


圖 2-1：葉面積測定 (<http://vschool.scu.edu.tw/happy1/class/paper/paper5/pic.htm>)。

圖 2-1 為本論文主要測定葉面積的重要參考資訊之來源，乃用電腦計算像素，找出像素與面積的關聯性，經換算則可求出單葉葉片的葉面積值 (<http://vschool.scu.edu.tw/happy1/class/paper/paper5/pic.htm>)。

(二) 空氣污染物種類及微粒來源

凡人為造成大氣品質在物理、化學或生物學上之特性發生改變，而影響其正當功能者，皆稱為空氣污染。任何一種揮發性的化學物質溢散入大氣中皆可能變成空氣污染物，如果此一物質對生物具有毒性，則為重要空氣污染物（孫岩章，2001）。依據我國空氣污染防制法（82.2.1 修正公佈）第二條第一款定義「空氣污染物」是「指空氣中足以直接或間接妨害國民健康或生活環境之物質」。空氣污染防制法施行細則（82.2.1 修正公佈）第二條所定空氣污染種類如下：

A. 氣狀污染物：

- 硫氧化物（ SO_2 及 SO_3 合稱 SO_x ）
- 一氧化碳（CO）
- 氮氧化物（NO 及 NO_2 合稱 NO_x ）
- 碳氫化合物（ C_xH_x ）
- 氯氣（ Cl_2 ）
- 氯化氫（HCl）
- 氰化氫（HCN）
- 二硫化碳（ CS_2 ）
- 氟化物氣體（HF 及 SiF_4 ）
- 鹵化物（ $\text{C}_m\text{H}_m\text{X}_x$ ）
- 全鹵化烷類（CFCs）

B. 粒狀污染物：

- 總懸浮微粒：係指懸浮於空氣中之微粒
- 懸浮微粒：係指粒徑在 10 微米（ μm ）以下之微粒

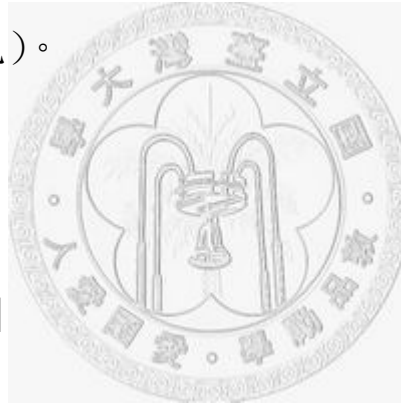
- 落塵：粒徑超過 10 微米 (μm)，能因重力逐漸落下，而引起公眾厭惡之物質
- 金屬燻煙及其化合物：含金屬或其化合物之微粒
- 黑煙：以碳粒為主要成分之暗灰色至黑色之煙
- 酸霧：含硫酸、硝酸、磷酸、鹽酸等微滴之煙霧
- 油煙：含碳氫化合物之藍白色煙霧

C. 二次污染物：

- 光化學煙霧：經光化學反應產之微粒物質懸浮於空氣中，能造成視程障礙
- 光化學性高氧化物：經光化學反應產生之強氧化性物質，如臭氧、過氧硝酸乙醯酯 (PAN) 等 (能將中性碘化鉀溶液游離出碘者為限，但不包括二氧化氮)。

D. 惡臭物質：

- 氨氣 (NH_3)
- 硫化氫 (H_2S)
- 硫化甲基 [$(\text{CH}_3)_2\text{S}$]
- 硫醇類 (RSH)
- 甲基胺類 [$(\text{CH}_3)_x\text{NH}_{3-x}$, $x=1, 2, 3$]



E. 有機溶劑蒸氣

F. 塑、橡膠蒸氣

G. 石棉：石綿及含石綿之物質

H. 其他經中央主管機關指定公告之物質

微粒的來源及種類組成，各有不同的說法，在名詞與定義有所不同，將常見之中英文對照及說明於表 2-1 列出 (陳佩伶等，2001)，空氣中不同的物質具有不同的粒徑大小，不論氣狀或液狀，其粒徑大小皆不一。早川一也 (1987) 在空氣中微粒的分類 (表 2-2) 詳述各粒徑

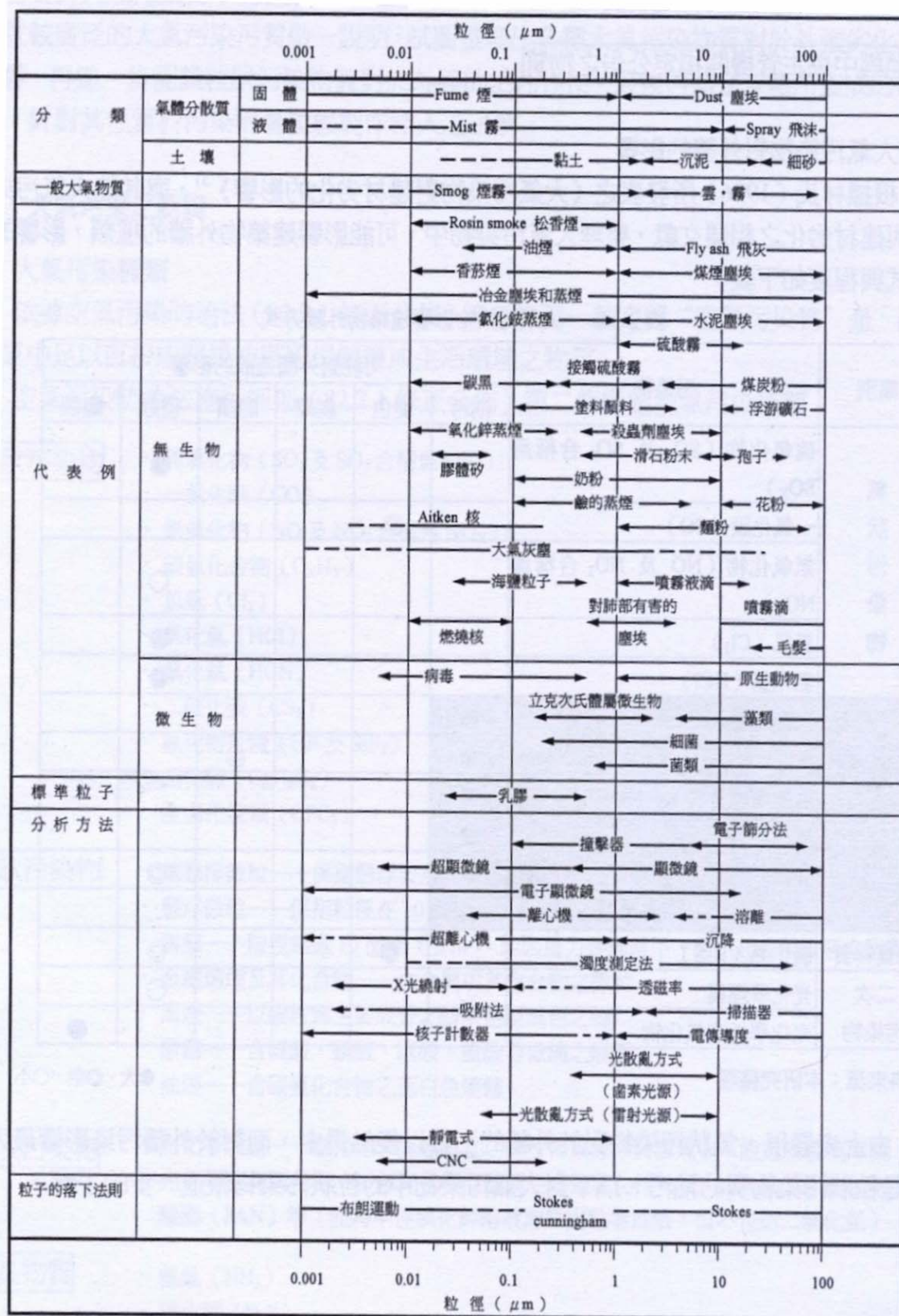
大小的分布，如大氣中的塵埃(dust)分布範圍極廣一般在 $1\mu\text{m}$ 以上，有些更甚至超過 $100\mu\text{m}$ 以上。每種的微粒都有其不同的大小粒徑之範圍，像水泥塵埃、煤煙塵埃及飛灰(fly ash)其粒徑都在 $1\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 占大多數的比例。而不同的粒徑分析方式，也能從表中取得重要的資訊以及分析的方法。



表 2-1：微粒常見中英名對照及說明（陳佩伶等，2001）

英文名詞	中文名詞	說 明
Aerosol	氣膠、氣溶膠	具有超微小的液體或固體粒子之氣體懸浮體；又分：分散氣膠 (dispersion aerosol) 及凝結氣膠 (condensation aerosol)。
Dust (dustfall)	落塵、粉塵、工業煙塵、塵埃、灰塵	粒徑在 10mm 以上，在空氣中能因重力作用逐漸落下之顆粒。通常由於體積較大的物質受物理粉碎而成，因顆粒大對人體健康之影響較小。
Fly ash	飛灰	鍋爐或為焚化設施排氣中之固體微小粒子，主要成份為不能燃燒之矽鋁氧化物。
Fog	霧	空氣中懸浮的液體小滴。
Fume	煙、金屬煙、煙霧	自氣相狀態凝結的固體粒子，通常自熔煉物質揮發後經化學（如：氧化）反應而形成，如鋼鐵工廠的電溶爐、矽鐵爐、銑鐵爐、鋁業公司電解工廠，熔煉鋁錠工廠及煉銅廠等所排放的金屬氧化物皆屬之。
Haze	霾、輕霧	當粒子周圍有水蒸氣包覆或環繞時之氣膠稱之。
Mist	酸霧、輕霧、靄、煙	懸浮於大氣且接近地表之液體通常是含水之微粒，透明且因重力而掉落。
Particulate	微粒	在氣體介質中存在的粒狀污染物之通稱，此粒狀污染物可能以固體或液體之型態存在，懸浮微粒有時可與氣膠 (aerosol) 換替使用。
Particulate matter	粒狀物質	空氣中，顆粒性物質的污染物其粒徑在 0.03~1000 μm 。可包括：懸浮微粒、金屬煙、黑煙、酸霧、及落塵等。
Smog	煙霧	由 smoke 及 fog 所生之名詞；指未完全燃燒產生之碳氫化合物，如汽、機車引擎排放之廢氣成分，經過光化作用產生多種有機粒子、臭氧、醛類、酮類、有機酸、過氧化氮等成分，可刺激眼睛和呼吸道，危害人體健康及植物發育。
Smoke	黑煙、煙、煙霧	泛指不完全燃燒所產生之微粒或黑煙。
Soot	油煙	粒徑小，由含碳物質不完全燃燒所產生，為帶有焦油及碳之黏性黑煙，
Suspended particulates	懸浮微粒	粒徑在 10 μm 以下之粒子，又稱浮游塵，單位以 mg/Nm^3 表示之。懸浮微粒在大氣中不易沉降，小於 1 μm 之粒狀物質很容易進入人體呼吸系統之支氣管而沉積肺部，影響肺功能，影響人體健康；懸浮微粒會導致能見度降低。
Total Suspended Particulate (TSP)	總懸浮微粒	懸浮在空氣中粒狀物質之總稱，包括 10 μm 以下可被人體呼吸道吸入者及 10 μm 以上者，二者總合稱為總懸浮微粒。總懸浮微粒為評估大氣中粒狀物質污染程度之指標，中華民國台灣地區環境空氣品質標準所訂總懸浮微粒濃度，24 小時平均值為 250 mg/Nm^3 ，年平均值為 130 mg/Nm^3 。

表 2-2：空氣中微粒分類（早川一也，1987）



空氣中固體微粒的來源可分為自然的或是人為的，但大部分是屬於某些活動的副產物。自然產生的來源為森林火災的黑煙、飛揚的塵土、海洋泡沫彈射的鹽沫微滴、火山爆發之濃煙、外太空隕石飛入產生的宇宙塵、土壤顆粒以及生物性微粒—細菌、花粉、孢子、昆蟲等；人為產生來源為機動車輛的排氣、電廠的排煙、人為的燃燒、營建工程等。這些微粒產生的過程會決定了微粒的化學成份及粒徑之大小、形態及其他各種特性等（陳佩伶等，2001；Fennelly, 1975, 1979；John, 1993）。

依微粒的形成過程可將微粒分成一次微粒(primary particulate)及二次微粒(secondary particulate)。一次微粒是指直接排放進入大氣中之微粒，其粒徑約在1~20 μm 左右，來源通常為風揚塵土、工業排放及燃燒排放，其主要種類有黑煙、花粉、飛灰、塵埃等，二次微粒相較之下粒徑更小，大小範圍在0.01~1.0 μm 左右，大致上可分為硫酸化物(sulfates)、氮氧化物(nitrates)及碳氫化物(hydrocarbons)等，二次微粒主要是由一些氣體如 SO_2 、 NO_x 、 O_3 、 NH_3 、 H_2O 及碳氫化物在大氣中反應而形成(Fennelly, 1975)。

其次大氣中的微粒一般指「粒狀污染物」而言，而『塵埃』指落塵及懸浮微粒，是屬於空氣污染物中的粒狀污染物（張育森，1997）。一般而言粒狀污染物對環境的危害是多元的。以下將對『懸浮微粒』及『落塵』情況二者來詳述說明，並說明微粒對『空氣品質』的影響。

1. 懸浮微粒(suspended particulate matter)

空氣中除了揮發性氣體分子外，尚承載許多微小的顆粒，其中包括液態與固態顆粒，稱之為懸浮微粒(suspended particulate matter, SPM) 或有時稱為氣膠(aerosol)。泛指在氣流中懸浮之固態或液態粒

子，在述及一般空氣品質時多以此為評估項目。一般醫學界認為 $10\mu\text{m}$ 以下之顆粒方可進入人體呼吸道，其中以 $2.5\mu\text{m}$ 以下之顆粒對呼吸系統之危害最烈。故目前環保單位對於空氣懸浮微粒之污染程度改用「粒徑小於等於 $10\mu\text{m}$ 之懸浮微粒 (Particulate matter $\leq 10\mu\text{m}$ ，簡稱 PM10)」及「粒徑小於等於 $2.5\mu\text{m}$ 以下之懸浮微粒 (Particulate matter $\leq 2.5\mu\text{m}$ ，簡稱 PM2.5)」為標準(孫岩章, 2001); 另外根據王寶貫(2003)提到德國大氣化學家雍耶 (christian Junge) 之論述大氣中的微粒按其大小分為三類：艾特肯粒子 (Aitken Particles)：粒徑小於 $0.1\mu\text{m}$ 的微粒；大粒子：粒徑 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 的微粒；巨粒子：粒徑大於 $1\mu\text{m}$ 的微粒，真正能在空氣中長久懸浮的粒子要比 1mm 小得多，通常在 $10\mu\text{m}$ 以下。而這些浮粒已經小到不能用肉眼直接分辨，通常須用顯微鏡，甚至用電子顯微鏡才能看見它們。只有當它們濃度相當大的時候，藉由強光的照射才能讓我們的肉眼看到一層似霧的東西。

微小粒子懸浮於氣流中，由於被迅速運動之氣體分子撞擊，因此這些粒子會向各方向作隨機運動，對於某一特定粒子而言，在某一時段內會有淨位移產生，但對整體微粒群而言，可把此現象看成粒子在氣體中運動。在 1827 年英國植物學家勞伯·布朗 (Robert Brown) 利用一般顯微鏡觀察懸在水面上花粉粒時，發現這些花粉粒會做連續快而不規則的隨機移動，這種現象稱為布朗運動。此布朗運動之理論可適用於描述懸浮於空氣中的微粒 (劉宣良等, 2003; 鄭福田等, 2001)。

2. 落塵 (dust fall)

落塵為粒徑 $> 10\mu\text{m}$ 之粒狀物質，為易自空氣中沉降的固體粒子，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 (張臆勛, 2002; 孫岩章, 2001)，然而在大氣中的粒子會

一次又一次的因伯朗運動而相互碰撞，凝結成更大的粒子，此些大粒子最後會受地球的引力下降至地表，並以落塵的形式沈降。

3. 空氣品質

大氣中微粒的角色是不容忽視的，因在大氣的質量上占有一席之地。空氣中的微粒會減少能見度，因為微粒會吸收或分散光線，故懸浮微粒或落塵，會影響到空氣品質。依據空氣污染防制法（81.2.1修正公布）第二條第五款定義『空氣品質標準』是「指室外空氣中空氣污染物濃度限值」。通常最常用來代表空氣品質的數字就是「空氣污染指標（Pollutants Standards Indexes, PSI）」。所謂的空氣污染指標乃針對空氣中的一氧化碳（CO）、二氧化硫（SO₂）、總懸浮微粒（Total suspended particulate, 簡稱 TSP）、光化學氧化物（或臭氧）及二氧化碳（CO₂）等五種污染物，測其濃度之後換算成 0~500 的指數，以代表空氣的清淨程度。這之間共分為五等級，其數字範圍及意義如表 2-3 所示（環保署網站 <http://www.epa.gov.tw>），然而我國的空氣品質標準如表 2-4。

表 2-3：空氣污染指標（PSI）的定義（環保署網站 <http://www.epa.gov.tw>）。

等級	PSI 範圍	意義
1	0~50	良好
2	51~100	中等
3	101~200	不良
4	201~300	極不良
5	301~500	有害

表 2-4：中華民國台灣現行空氣品質標準（環保署網站 <http://www.epa.gov.tw>）

項目		標準值		單位
懸浮微粒	總懸浮微粒（TSP）	二十四小時值	250	μg/m ³ （微克/立方公尺）
		年幾何平均值	130	
	粒徑小於等於 10μm 之懸浮微粒（PM10）	日平均值	125	
		年平均值	65	
二氧化硫（SO ² ）		小時平均值	0.25	ppm（體積濃度百萬分之一）
		日平均值	0.1	
		年平均值	0.03	
二氧化氮（NO ² ）		小時平均值	0.25	ppm（體積濃度百萬分之一）
		年平均值	0.05	
一氧化碳（CO）		小時平均值	35	ppm（體積濃度百萬分之一）
		八小時平均值	9	
臭氧（O ₃ ）		小時平均值	0.12	Ppm（體積濃度百萬分之一）
		八小時平均值	0.06	
鉛（Pb）		月平均值	1.0	μg/m ³ （微克/立方公尺）

- 註：1. 小時平均值：係指一小時內各測值之算術平均值。
2. 八小時平均值：係指連續八個小時之小時平均值之算術平均值。
3. 日平均值：係指一日內各小時平均值之算術平均值。
4. 二十四小時值：係指連續採樣二十四小時所得之樣本，經分析後所得之值。
5. 月平均值：係指全月中各日平均值之算術平均值。
6. 年平均值：係指全年中各日平均值之算術平均值。
7. 年幾何平均值：係指全年中各二十四小時值之幾何平均值。

(三) 微粒對人體的影響

人類的呼吸系統由外而內大略可分為以下三個部分：

1. 頭部：包括鼻腔、嘴、咽、喉等。
2. 支氣管：包括氣管、支氣管直到終端支氣管。
3. 肺泡：包括肺泡囊及相關連接管路。

懸浮微粒所造成的危害與微粒在呼吸系統內的沈積位置有相當密切的關係，而微粒的沈積位置又與微粒本身的粒徑相關，因此微粒的大小是微粒對人體健康危害程度的關鍵因素之一。懸浮微粒因下列種種機制的作用而由氣流中沈積至呼吸道壁面，這些機制隨著微粒的大小、氣流速度、呼吸道的大小而有不同的效應。

1. 由作用於微粒重力引起的沈降 (Sedimentation) 沈積。
2. 因空氣分子撞擊微粒造成布朗運動 (Brownian Motion) 而產生的擴散 (Diffusion) 沈積。
3. 帶電微粒與呼吸道壁因靜電感應引的靜電吸附 (Electrostatic Precipitation) 沈積。
4. 微粒因慣性無法隨氣流轉向而撞擊呼吸道壁所引起的衝擊 (Impaction) 沈積。
5. 微粒因本身形體與呼吸道壁接觸所引起的攔截 (Interception) 沈積。

在上述沈積機制中，沈降、擴散與靜電係發生於呼吸道內，而衝擊與攔截沈積則是發生於分叉管道內（勞工安全衛生研究報告，1994）。一般來說，擴散作用針對小微粒，而慣性衝擊、攔截與重力沈降作用於大微粒。由於此兩極化的機制，大、小微粒均易被濾除，

而剩下中間一些比較不容易被收集的微粒，其粒徑一般稱之為最易穿透的粒徑（the Most Penetration Size, MPS）或者是 Collection Minimum。一般最易穿透粒徑約略在 $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ 左右（林宛筠，2002）。

圖 2-2 為一般人類呼吸系統基本構造，說明不同的粒徑會在人體的內部停留，一般微粒可經由鼻腔、氣管而後到達肺部沈積在肺泡上，甚至被吸入到血液及淋巴液裡，嚴重地影響到我們的健康。更可怕的是這些微粒常常具有很強的「吸附能力」，假如微粒本身又黏著很多有害病毒或致癌物，被人體吸入後，將可因此產生慢性病（chronic）、急性病（acute）及致癌（carcinogenic）等，其產生的影響不可忽視。

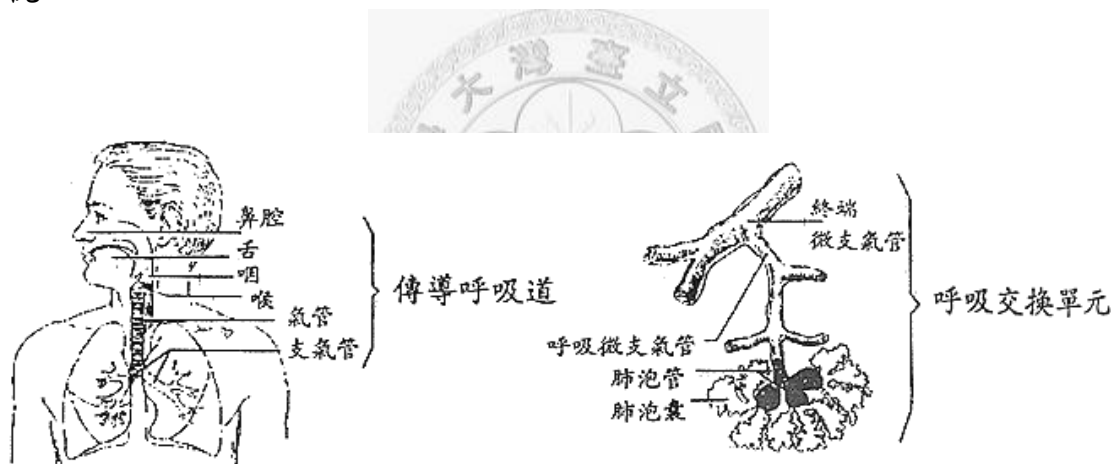


圖 2-2：人類呼吸系統構造 (<http://www.iosh.gov.tw/data/f2/sp7-1.htm>)。

如 1952 年 12 月倫敦發生煙霧事件時，大氣中懸浮微粒含量比平常高 5 倍，達到 $4.46\text{mg}/\text{m}^3$ ，引起居民死亡率遽增。可見大氣中懸浮微粒濃度突然增高，對人類健康能造成急性危害，對患有心肺疾病的老人及兒童威脅更大（鄭福田、李俊璋，1984）。1956 年 12 月英國倫敦災難事件維持了 18 小時之久，結果死亡人數比正常的超出 1000 人（孫岩章，2001）。以大陸的沙塵暴出現在台灣的情形，依據郭漢良等（2004）報導，受到沙塵影響台灣地區的天空霧茫茫，從北到南的上呼吸道感

染合併氣喘的病患增加，出現眼睛發紅、咳嗽、打噴嚏症狀者更不可勝數，另外胡恩蕙（2004）報導麥茵茲診所皮膚科醫師黃美月指出，最近門診人數多了一成，原因就是沙塵暴中夾帶著細菌、病毒，加上天氣回暖，皮膚排汗、分泌油脂增加，使灰塵，細菌容易附著在臉部，造成毛囊感染發炎。所以微粒對人類健康直接或間接的影響不可忽視。

（四）植物與大氣微粒之相關性

1. 微粒對植物的影響

植物與大氣中的微粒二者之間的交互作用會影響大氣的空氣品質、人類的健康及植物生理特性，一般微粒對植物的影響可分為物理性及化學性二者。Krajickova & Mejstrik (1984) 發現微粒可以造成物理性的堵塞氣孔，特別是和氣孔孔徑大小相近（8~12 μm ）或更小的微粒。而不同來源的微粒具有不同的化學組成，故能影響土壤性質或直接對植物表面發生作用。另外當微粒降落於植物葉片上時，容易阻礙陽光穿透及堵塞氣孔，因而妨礙光合作用、呼吸作用和蒸散作用，又微粒亦可能含有一些有毒物質（如氟化物）可溶解滲透進入植物體內，影響植物生育（孫岩章，1985）。若微粒沈降於花的雌蕊柱頭上則會影響受粉，減少產量；若長期落在地表上，會改變土壤性質，間接影響作物生長；若落於觀賞花卉，則使品質降低（陳佩伶等，2001）。

微粒中的水泥灰塵是很特殊的顆粒（Lerman & Darley, 1975），當與空氣中水分或雨露結合後，會在植物表面形成硬殼，完全覆蓋葉片，對植物造成嚴重傷害（孫 2001），水泥灰塵降落在果樹的子房上會抑制果實的發育，其溶液可抑制花粉發芽（Anderson, 1914），微粒附著於葉片上會增加葉溫 2-4 $^{\circ}\text{C}$ ，主要原因是因為增加光的吸收（Eller, 1997）；Farmer (1993) 指出許多微粒會造成葉片的傷害如

水泥對 *Tilia cordata* 產生細胞破壞、皮脫落及葉片壞疽；石灰對 *Tsuga canadensis* 針狀葉產生黃化現象。而台灣曾有火力發電廠的黑煙會對甘藍及芥菜造成大量的吸附，對植物的品質產生嚴重的污染（孫岩章，1992）。

2. 植物捕捉微粒

不論是大氣中的懸浮微粒或是落塵，植物在捕捉微粒的角色皆占有重要的一席之地，一株植物除了地下部（根部）以外，地上部與大氣接觸的任何位置，都具有滯塵的功能。任何一株樹木皆能截取對人體有害的微粒子，造成微粒的吸附，但是有些曾經風吹而再被吹走成為懸浮微粒，不過葉表微粒也因雨水的淋洗和落葉回歸到土壤中（Smith, 1990），第二年植物又再生長新枝條及新葉再一次又可捕捉大氣微粒。

一株長成的樹一年約可截取 50 噸左右的微粒子（Dwyer *et al.*, 1992）。在芝加哥，樹木一年（於 1991 年）可淨化約 6.145 噸的空氣污染物，相當於美金九百餘萬元的直接經濟效益（McPherson *et al.*, 1994）。依據蔣美珍和劉嘉蓉（1992）在中國大陸之測定，1 公頃的雲杉林每年約可滯塵 32 噸，松樹林為 36.4 噸，橡樹林為 56 噸，山毛櫸林為 68 噸；又一般森林要比裸露地表吸附煙塵的能力大 75 倍。植物的枝葉茂密，具有降低風速的作用，隨著風速的減慢，空氣中攜帶的大量粒子塵埃也隨較易沈降。

森林亦有防風、防潮、防霧、防止飛砂等效果，可滯留或吸附工廠排出的煤煙、塵埃及廢氣（路統信，1985）。植物葉表面因多氣孔及絨毛，且有些能分泌黏性和汁液，故能增加阻擋、吸附和過濾之作用，所以植物就好像是天然的空氣過濾器，使通過枝葉的空氣淨化，有些

蒙塵的枝葉經過風力或雨水沖洗後又可恢復其滯塵的能力。

一般樹木都有一定截塵能力，但不同的樹種截塵能力卻相差很大，據吳欽傳（1992）指出，這和植物葉片的大小，葉面的粗糙程度以及葉子的著生角度等因素有關；一般葉片寬大、平展、硬挺而風吹不易晃動、葉片粗糙多茸毛的植物，吸滯粉塵的能力較強。同一報告指出，有些植物如懸鈴木（*Platanus acerifolia*），雖然單位面積的截滯能力不算很強，但植株的總葉面積卻很大，所以全樹的截塵能力就很強，仍屬優良的防塵樹種。Bach（1972）在風洞試驗中發現，葉表具細短絨毛的向日葵（*Helianthus annuus*）葉片吸塵量比葉表光滑質的鵝掌楸的截塵量高出10倍之多，且亦發現潮濕的葉可增加微粒之沈降。

植栽的配置及地點亦影響當地大氣中微粒的濃度，特別是裸露地。諺曰：『大風揚沙、雨來成泥』，裸露地是大部分揚塵的發源地，中亞地區大尺度沙塵暴常會影響到台灣的空氣，而台灣地區河谷中的砂土、礫石灘、都市中的裸露地及工地亦均是揚塵的來源。都市中裸露地的形成除施工造成外，亦會經由人類踐踏和缺光而產生。裸露地一經地被植物的覆蓋，其揚塵的減少將非常顯著。雖然揚塵很難控制，卻可利用樹木之枝幹及葉片，攔截或吸附一些懸浮微粒，減少空氣中之微粒濃度。根據環保署針對鄉土樹種之落塵截留量及抗性之比較研究顯示，樹木之葉片數量愈多且愈密，滯留空氣中之落塵即愈多，亦即淨污能力視其總葉面積大小而定，另草地也有減塵作用，它不只能吸附空氣中的灰塵更能夠固定地面塵土，如有草皮的足球場比無草皮的足球場，其空氣中的含塵量，平均減少 2/3 至 5/6（行政院環境保護署，2002）。

都市中的微粒，很多是由行道樹、灌木及草坪來攔截，而學校及都市的森林公園都扮演著重要的截塵角色，像台北市的大安森林公園中植物就是最大的主人。而台灣最近興起的環保公園，不但具有防治空氣污染的功效，更具有美化環境、調節社區或都市環境的效果（行政院環境保護署，1997）。不論何種目的，種植的植物均必須健康，才能使不同的植物承受微粒的污染並淨化大氣的微粒，提昇空氣品質，扮起『都市之肺』的地位。

3. 植物與飛灰 (fly ash) 微粒之關係

燃煤會產生 CO_2 、 SO_x 、 NO_x 和許多微粒，包括飛灰 (fly ash)、燃燒氣體 (flue gas) 及殘渣。燃煤飛灰含有微小玻璃狀的微粒，當這些微粒沈降在葉表會抑制植物正常的光合作用及呼吸作用，亦會影響土壤的物理化學性質，因為飛灰通常為鹼性 (pH 8.5~12.5)，然而有些卻為酸性 (pH 6.0~6.7) (Dharmendra *et al.*, 2002; Carlson and Adriano 1993)。燃煤飛灰主要有灰白色球形粒子及不整形多洞之薄片微粒，其中灰白色球形粒子在掃描式電子顯微鏡下具有完全球形之形態；燃油飛灰則會產生蜂窩狀球形黑煙外，另會排放 1 至 $3\mu\text{m}$ 之細點球形煙塵，及小於 $1\mu\text{m}$ 之不定形煙塵。而燃煤及燃油所產生的飛灰之不同為燃煤為實球狀，而燃油為蜂窩狀 (孫岩章，1993)。

飛灰微粒粒徑很小，因此會長期懸浮在空氣中。然而在潮濕的情況，飛灰微粒會固著在葉表及果實的外表，而提高了對植物體傷害的可能性。空中飄浮的飛灰微粒可能影響植物的生長及另影響植物表面生長的微生物，而葉面上的飛灰微粒會吸收大陽光的熱能，增加葉溫及呼吸作用的速率 (Dharmendra *et al.*, 2002)。

台灣地區植物受飛灰微粒污染的研究報告資料很少，以基隆及台北地區甘藍受黑煙污染之案例來看。可知黑煙在葉表之分布以雨水較

易匯集之部位為最多，如葉柄基部等，此些黑煙經証實後來自燃油火力發電廠所產生的飛灰微粒，明顯指標物種為小於 $1\text{ }\mu\text{m}$ 之不定形煙塵及約 $2\text{ }\mu\text{m}$ 的反光球形黑煙。不論何種黑煙只要落於觀賞花卉，將使品質降低。此些黑煙對植物產生之危害，可作為污染源鑑定之依據，即可由受體模式追查粒狀污染物的來源（孫岩章，1992；陳武揚，1996；陳佩伶等，2001），在降雨淋洗葉表微粒之研究方面，已知降雨對粒徑介於 $20\sim 30\text{ }\mu\text{m}$ 的微粒最具淋洗效果，而對於 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下的微粒則不太有作用（Ingold, 1971）。

（五）淋洗作用-蓮花效應原理

降雨可以淋洗葉片上已附著的微粒，但降雨對不同的植物卻有不同的微粒淋洗效率，這主要是由於葉表面的因子所影響，近年來奈米（nm）科技已盛行於世界，而葉表構造乃是奈米構造之一。以微粒淋洗作用而言，植物表面中的地景（leaf surface landscape）是最大的關鍵。張育森（2003）提到只要經常性的灑水可將原有存在葉片上的塵埃洗去，使得葉片又可恢復滯塵的能力，同時可增加葉片對塵埃的粘著作用。但是有關植物葉表微粒淋洗作用的研究報告很少，茲將重要者列舉如下：

1. 接觸角（Contact Angle）的意義及其影響

若在固體表面上放置一液滴，由於液滴表面張力的影響，固體表面與液滴邊界的切線所形成的夾角稱之為接觸角（ θ ）（劉權昇，2001）如圖 2-3。例如一滴水滴在一個平面上的夾角如果是 0° ，則這個平面上的材料對水而言是百分之百的可濕性（Wettable）。反之，如果為 180° ，則稱為不可濕（non-wettable），像水銀瀉地時會結成一粒粒的小圓球，便是不可濕的例子。

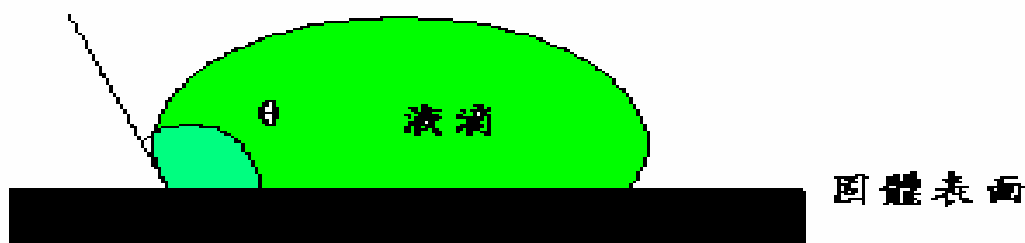


圖 2-3：接觸角 θ ：液滴表面與固體表面邊界切線所形成的夾角（王寶貫，1995）。

對純水水滴而言，其對一般的固體表面的接觸度都介於 0° 到 180° 之間。到目前為止我們所知的材料中對水滴產生最大接觸角的是鐵弗隆（ $\theta \approx 100^\circ$ ）。通常我們把接觸角低的材料稱為親水性（Hydrophilic），接觸角高的材料為疏水性的（Hydrophobic）（王寶貫，1995）。在大自然中許多動植物的表面即為疏水性，如鵝毛表面為疏水性，故只要下雨或經湖水、河水的淋洗就會造成自我潔淨（self-cleaning），而植物中最顯著的代表者即為蓮花（lotus），所以只要一經下雨就會自動去除葉表面的塵埃。因蓮花葉面具有很大的接觸角，具有強的疏水性。

2. 蓮花效應（lotus effect）

唐朝鄭允瑞的『詠蓮』說：「本無塵土氣，自在水雲鄉；楚楚淨如拭，亭亭生妙香」。宋朝文人周敦頤於『愛蓮說』文中寫道：「水陸草木之花，可愛者甚蕃。……予獨愛蓮之出淤泥而不染，濯清漣而不妖，中通外直，不蔓不枝」，蓮花，花之君子者也。蘇東坡在『永遇樂』中所描述的「圓荷瀉露」的景象—小水滴在蓮葉上滾動，慢慢聚集成大水滴，等到蓮葉承受不住了，水滴就從葉上滑落（徐世昌，2002）。

蓮花效應（lotus effect）主要是指蓮葉表面具有超疏水（superhydrophobicity）以及自潔（self-cleaning）的特性。由於蓮葉

具有疏水、不吸水的表面，落在葉面上的雨水會因表面張力的作用形成水珠，換言之，水與葉面的接觸角(contact angle)會大於 140 度，只要葉面稍微傾斜，水珠就會滾離葉面。因此，即使經過一場傾盆大雨，蓮葉的表面總是能保持乾燥；此外，滾動的水珠會順便把一些灰塵污泥的顆粒一起帶走，達到自我潔淨的效果，這就是蓮花總是能一塵不染的原因（圖 2-4）（http://nano.nchc.org.tw/dictionary/lotus_effect.php）。

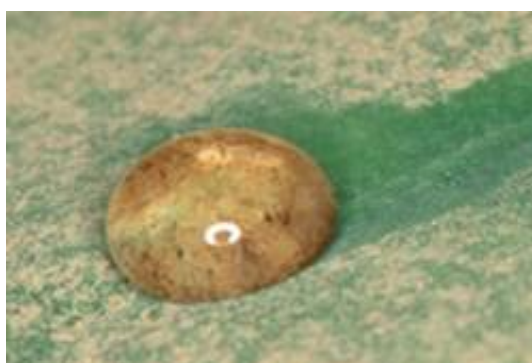


圖 2-4：水珠會夾帶灰塵顆粒離開葉面
（http://nano.nchc.org.tw/dictionary/lotus_effect.php）

在自然界中，不同的植物各有不同的洗淨能力，而蓮花效應卻是洗淨效率最好最佳的寫照。由於淋洗作用的研究著作非常少，Barthlott & Neinhuis（1997）曾利用人造的灰塵粒子污染赫蕉（*Heliconia densiflora*）、倪藤（*Gnetum gnemon*）、玉蘭（*Magnolia denudata*）、林山毛櫸（*Fagus sylvatica*）、蓮花（*Nelumbo nucifera*）、芋（*Colocasia esculenta*）、甘藍（*Brassica oleracea*）及 *Mutisia decurrens* 的花瓣等七種植物葉面及一種植物的花瓣，然後置於 15 度的傾斜角利用人造雨淋洗，最後得到赫蕉（*Heliconia densiflora*）、倪藤（*Gnetum gnemon*）、玉蘭（*Magnolia denudata*）、林山毛櫸（*Fagus sylvatica*）四種的表面粒子殘留的狀況高達 40% 以上，而在蓮花（*Nelumbo nucifera*）、芋（*Colocasia esculenta*）、甘藍（*Brassica oleracea*）及 *Mutisia decurrens* 的花瓣上四種的粒子殘留比例皆小

於 5%，又於文中敘述當水滴向下滑動在平滑表面微粒仍留在表面只稍為下移，而水滴向下滑動在粗糙表面，則微粒會附著水滴表面而被帶走（圖 2-5）。

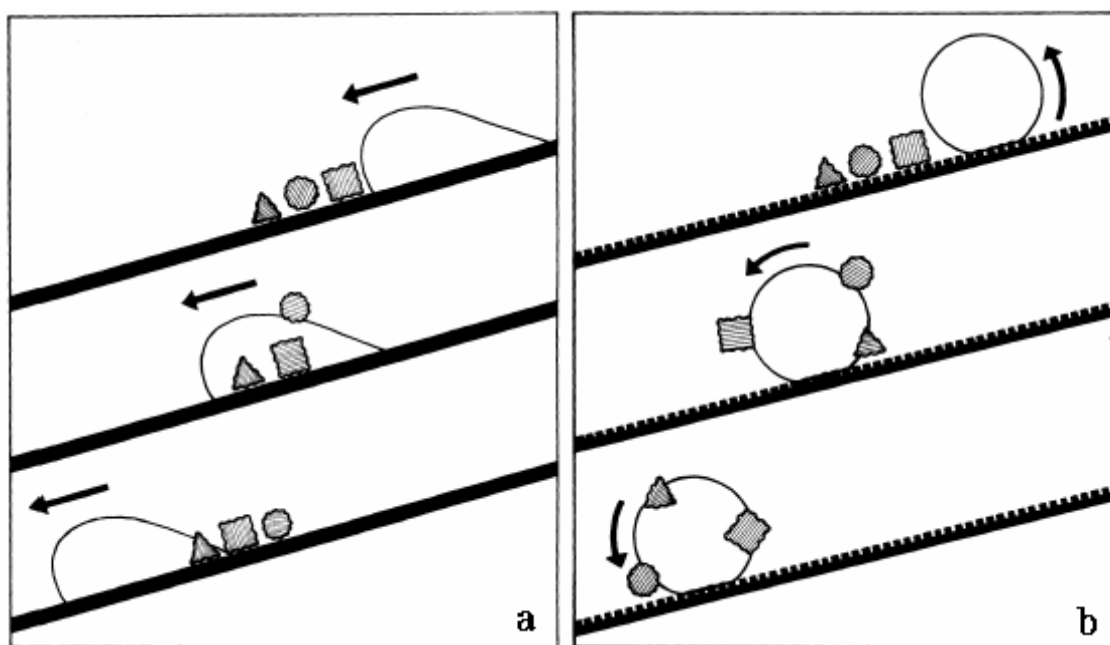


圖 2-5：粗糙表面及平滑表面水滴流動（a）當水滴向下滑動在平滑表面微粒仍留在表面只稍為下移（b）當水滴向下滑動在粗糙表面微粒會附著水滴表面而被帶走（Barthlott W. & Neinhuis C., 1997）

徐世昌（2002）在蓮葉表面結構之研究提到蓮葉的表面具有甚多突出物，由掃描式電子顯微鏡可看到還有纖毛的微構造，並經由微纖毛構造，使灰塵和蓮葉表面上的接觸面積減少，因此減少了灰塵和蓮葉間的吸附力量。而當水滴由葉面上滾過時，由於灰塵和水滴間的接觸面積大，灰塵粒子和水滴間有較強的吸附力，所以很容易就被水滴帶走，這就是蓮花出淤泥而不染的原因了。由於蓮葉葉面同時也具有奈米尺度的物理構造與疏水性的化學組成，因此才有自潔（self-cleaning）的功能。

3. 蓮花效應的物理背景

蓮花效應主要在形容水與固體界面二者間之一種行為，這種研究已被推廣至葉表面 (Dettre and Johnson 1964; de Gennes 1985; Adamson 1990; Myers 1991)。在熱力學的平衡狀態下，其接觸角與整個系統的自由能平衡關係可由 Young' s equation $\gamma^{sa} - \gamma^{ws} = \gamma^{wa} \cos \theta$ 即氣—固與液—固界面張力的差等於氣—液界面張力乘上接觸角的餘弦函數來表示 (圖 2-6)， γ =interfacial tensions; sa=solid/air; ws=water/solid; wa=water/air; θ =CA，界面張力 γ^{sa} 值大之固體比界面張力 γ^{sa} 值小之固體容易濕 (劉權昇，2001; Ulman, 1991)

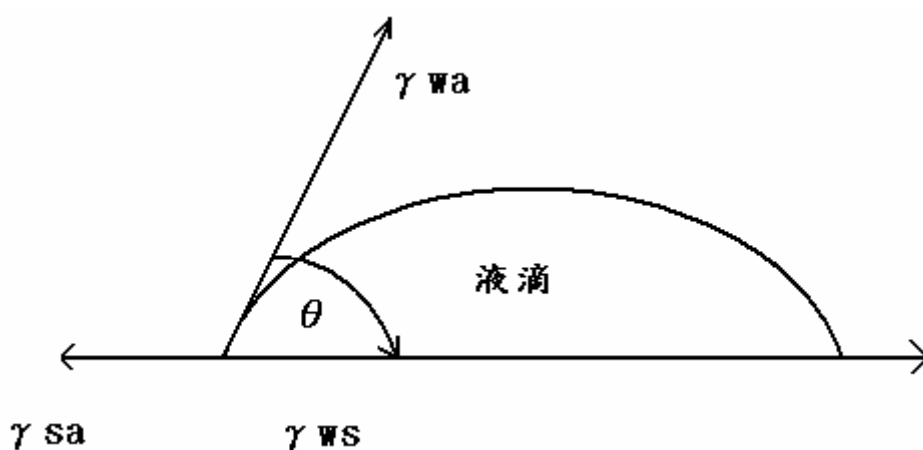


圖 2-6：Young's equation 圖示 (Ulman, 1991)

當液體潤濕固體表面時，原本氣—固的界面被液—固的界面所取代，而氣—固與液—固之界面張力的差，稱之為「濕潤張力」。當氣—固的界面張力大於液—固的界面張力時，也就是固體和液體間的吸引力大於固體和氣體間的吸引力時，固體和氣體間的界面張力會將液—固界面拉伸。換句話說，被濕潤的固體表面有較低的界面張力，因此液體會在固體表面擴張。從固—氣的界面張力觀點來看，當接觸角越小，餘弦函數 ($\cos \theta$) 會越大，固—氣的界面張力也會越大，此時表示固體表面較易被濕潤。而當接觸角越大，固—氣的界面張力越低 (如鐵氟龍)，代表越不易被濕潤，水滴在蓮葉表面的接觸角很大，代表蓮葉與空氣間的界面張力很低，水滴不易濕潤其表面 (徐世昌，2002)。

第三章 材料與方法

(一) 葉面積測定之研究

1. 嘗試以掃瞄器量測葉面積

使用的原理為類似方格法，由電腦掃瞄後不論規則或不規則之圖形，皆可定義為固定解析度下之 dot 所組成，故利用電腦圖片中具有水平解析度 dpi (dot per inch) 及垂直解析度 dpi 之特性，即可量測葉面積。dpi 單位換算即每 1 inch=2.54cm 內有多少個 dot，只要利用電腦程式算出平面圖形的總 dot 數目，再經單位換算就可求出平面圖形的面積值。

如上述方法將葉片置於掃瞄器內掃瞄，存檔以點陣圖檔形式儲存 (*.bmp)，必須注意解析度的大小值即 dpi 設定為已知，再利用其軟體計算此掃瞄器所掃到的單面之葉面積。

2. 利用掃瞄器及 LI-COR 葉面積儀量測紙面積之比較

取 6 塊約略相同的正方形黑色色紙，面積為 $5\text{cm} \times 5\text{cm}=25\text{cm}^2$ ，置於掃瞄器內掃瞄，依下列步驟求出：

Step 1：掃瞄之前的圖形格式，以滑鼠點選印表機軟體中的『輸出類型』，選擇『黑白』，再選擇『點陣圖』後，用滑鼠按 enter 使之成為設定輸出的型式。

Step 2：完成 step1 之後再選定『輸出解析度』輸入其設定值（一般定為 300）。

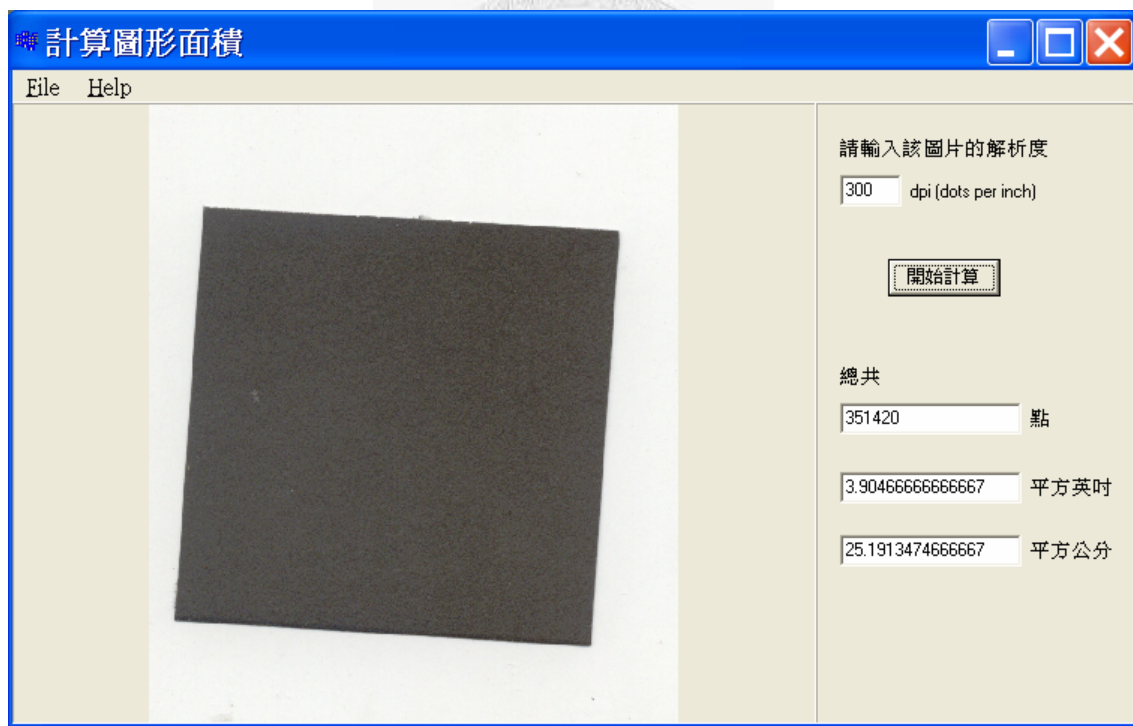
Step 3：框起欲計算的面積後，掃瞄至目的地至『桌面』（此路徑可依操作者改變）存檔。

Step 4：打開計算圖形面積的軟體（程式軟體由台大資工所吳善全學長提供），點選『file』。

Step 5：『open』 step3 所存檔的位置（即桌面）。

Step 6：在軟體中的右上角中輸入該圖片中的解析度………dpi(dots per inch)。此時必須輸入在掃描器所輸入的 dpi（葉面積軟體上的 dpi 一定要與掃描時的 dpi 相等）。

Step 7：在葉面積軟體上，按『開始計算』，此時就會立刻顯現總點數，並由此計算出平方英吋及平方公分。



Step 8：即得掃描器掃描黑色色紙的面積。

另外以同樣的 6 塊黑色色紙以 LI-COR 葉面積儀測定而相互比較。

3. 利用掃描器及 LI-COR 葉面積儀對三種植物葉片量測面積比較

選定正榕、鵝掌藤和福木等 3 種植物，葉片各 20 片，同以掃描器掃描及 LI-COR 葉面積儀量測所有葉片，結果進行成對 t 值檢定 (paired t test) 分析此二種方法的差異。



(二) 乾濕葉片滯塵量的比較研究

1. 揚塵器與揚塵箱之設計

13 種植物葉片滯塵的測定，係使用揚塵箱及揚塵器如圖 3-1。揚塵箱主要由 pump、流量計、有瓶蓋之保持瓶、四個 8 公分正方形之風扇、壓克力箱及流動的管線共同組合而成。所用之揚塵箱體為 60×35×45 公分（長×寬×高）之壓克力箱，各壓克力壁厚為 0.5 公分。箱內靠近塵土入口之底部並排四個 8 公分正方形的風扇，風扇口朝上，距箱子底部為 20 公分高。風扇目的在造成箱內空氣的流動及循環。揚塵箱之構造如圖 3-3，空氣由 pump 進入流量計，再流入保持瓶，瓶口蓋鑽有二個小口並接二膠管一為空氣流入，另一為空氣流出，流入之膠管伸入瓶內塵土之內部，使空氣進入時產生氣流帶起微粒。流出膠管之出口則接近瓶蓋，且必須高於塵土之上方，使吹起之微粒可進入此管而流向揚塵箱進口處。

當微粒由揚塵器送出，送到揚塵箱時，其進口處連到揚塵箱上分叉為四個正方形小孔（為 0.3cm×0.3cm），其目的是使微粒均勻進入箱內，並可均勻循環，微粒進口相對一端設有空氣出口也同樣為四個正方形小孔（0.3cm×0.3cm），四個小孔連結接有一條軟管，且軟管內填入棉花，使箱內的空氣過濾後排出至箱外。另在揚塵箱前方設有一個可打開的活動門，做為實驗材料進出之用；揚塵箱上蓋之中央有一列的尼龍細線作為風場指標（圖 3-1&圖 3-2）。

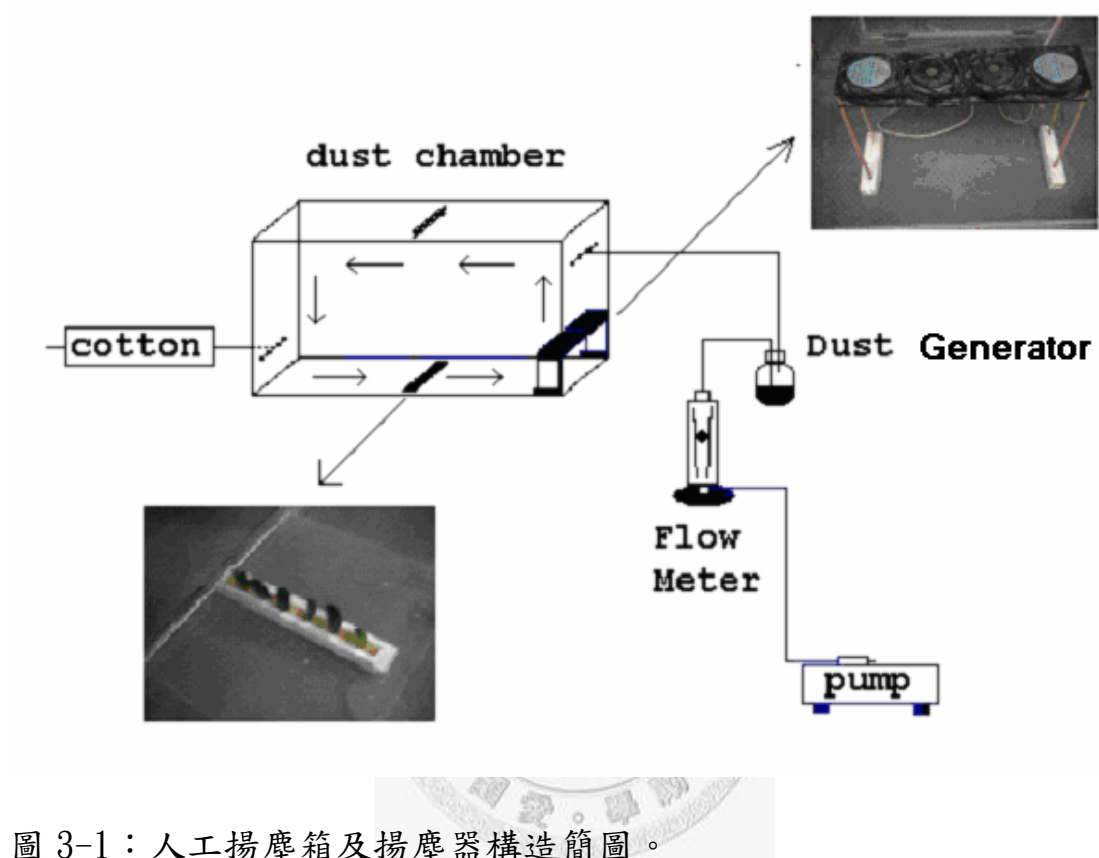


圖 3-1：人工揚塵箱及揚塵器構造簡圖。



圖 3-2：人工揚塵箱及揚塵器構造實圖。

2. 塵土微粒之來源

塵土材料係取台大農場之田土及建築施工地區附近的黃土共兩種，並以 42mm 的篩網過篩做為試驗之用。

3. 植物的種類

本試驗受測植物的種類共計有 13 種，皆取自台大校園，包括有：

(a) 喬木：白千層、正榕、樟樹、台灣欒樹、黑板樹、福木、木麻黃、羅漢松、龍柏。

(b) 灌木：鵝掌藤、月橘、金露花、杜鵑。

此 13 種植物的性狀及應用詳細資料如表 3-1。

4. 葉片來源及處理

各植物皆以利剪剪取當年生枝條，選取時避開已沾有污濁灰塵者，防其破壞葉片表面微細構造。摘取植株的原生潔淨葉片後，立刻進行滯塵試驗。



5. 箱內風速及風向之測定

由風速計測得風扇的上方 10cm 處風速範圍約為 1~2m/sec，箱內靠中央上方風速範圍約為 0.8~1.8m/sec，箱內風扇對邊（箱內氣體排出處）中央處風速範圍約為 0.5~1m/sec，箱底靠中央之位置（受測位置）其風速範圍約為 0.5~0.7m/sec。

6. 受測葉片前處理

將待試之植物帶有葉柄之葉片一端插入已設計好的保麗龍凹槽，此凹槽並以海綿塊填滿，每一海綿塊以刀片切割一縫線以夾住葉柄使葉片或小葉直立。受測葉片係豎立於揚塵箱底部中央區，如圖 3-2。

表 3-1：13 種測試滯塵量之基本資料（張育森，2003；段木干，1980；鄭武燦，2000）。

樹種	學名	性狀	應用
月橘	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	常綠灌木或喬木，葉互生、奇數羽狀複葉，小枝近於無柄，互生 3~5 對，卵形長橢圓形，先端鈍而微凹，基部歪形。	大型盆、花槽、綠籬、修剪造型。
杜鵑	<i>Rhododendron simsii</i> & R. spp	常綠灌木，葉橢圓、至披針形，末端尖、表面濃綠色疏生硬毛。	觀賞植物。
鵝掌藤	<i>Scheffera</i> <i>arboricola</i> Hayata	常綠灌木，側枝細長，葉互生掌狀複葉，小葉長橢圓全緣。	盆栽、綠籬、地被、斜坡水土保持。
金露花	<i>Duranta repens</i> L.	常綠灌木，小枝方形，葉具銳利、短柄對生膜質，先端銳尖基部闊楔狀、全緣或上半部有鋸齒。	觀賞植物、綠籬。
白千層	<i>Melaleuca</i> <i>leucadendron</i> (L.) L.	常綠大喬木，樹皮具薄層，全體肥厚具海綿質。葉具短柄互生，長橢圓形，葉脈平行。	庭園樹、行道樹、防風林。
樟樹	<i>Cinnamomum</i> <i>camphora</i> (L.) Sieb.	常綠大喬木，葉螺旋狀互生，有短柄、革質、闊卵形、波緣，表面深綠、背面粉白、3 出脈。	行道樹。
正榕	<i>Ficus microcarpa</i> L. f.	常綠大喬木，枝條平滑，有氣生根。葉有柄、革質、橢圓、先端鈍或凹、基部鈍形。	園藝盆栽、觀賞植物，行道樹、園景植物。
台灣 樂樹	<i>Koelreuteria</i> <i>formosana</i> Dummer	落葉喬木，葉 2 回奇數或偶數羽狀複葉，小葉軸基部膨大、具短小葉柄、對生或互生，紙質、長卵形，先端銳尖、基部歪形、淺重鋸齒。	觀賞植物。
黑板樹	<i>Alstonia scholaris</i> (L.) R. Br.	常綠大喬木，枝輪生有乳液。葉輪生長橢圓形硬革質，背淺白、頂端鈍圓。	行道樹栽植、庭園栽植。
福木	<i>Garcinia</i> <i>subelliptica</i> Merr.	常綠喬木，小枝方形粗糙，葉有柄十字對生、厚革質、闊橢圓形、先端鈍或凹、表面暗綠而有光澤。	行道樹栽植、庭園栽植。
羅漢松	<i>Podocarpus costalis</i> (Thunb.) D. Don	常綠喬木，幹直立、多分枝，葉密互生，披針形、質厚、深綠色。	庭園樹、觀賞植物。
木麻黃	<i>Casuarina</i> <i>equisetifolia</i> L.	常綠喬木，樹幹灰褐色。樹冠長圓錐形，枝條開展，小枝細，多節，節間 4mm。鱗片葉三角狀披針形，6-8 枚輪生成鞘齒。	台灣各地海岸均有栽植
龍柏	<i>Juniperus chinensis</i> <i>var. kaizuka</i> Hor.	常綠喬木，樹冠圓柱狀，尖塔形。葉鱗片狀密接對生，全體深綠色。	觀賞植物，生籬。

7. 葉片滯塵之操作

打開揚塵箱門後，每次測定時植物葉片皆一律置於揚塵箱內的中間底部，使每個葉面的方向與氣流的方向成 90 度，然後鎖上揚塵箱的門開始揚塵。此時揚塵器內已裝有受測微粒，即開始揚塵 5 分鐘，並以手隨時搖動揚塵器，風速流量計流速調為 5NL/min(N 表示 Normal)，揚塵結束後，風扇仍然持續轉動 2 分鐘，即取出受測葉片進行水洗及秤重。

上述滯塵試驗完成後，即取葉片每 1~3 葉為一組（視樹種而定），每種植物 5 個重覆，置入已事先秤重的試管中（試管重量為 W_0 ），加以適量的水，並以超音波震盪 20 秒，取出葉片前並以洗滌瓶清洗後再取出，將試管放入烘箱中以 110°C 蒸乾試管的全部水份，然後稱取重量（ W_1 ），則 $W_1 - W_0$ 為葉片攔截微粒的重量。葉片於洗滌取出後，即以小剪刀剪去原插入海綿中的部份，然後以剩下者進行葉面積測定（此值為 $A \text{ cm}^2$ ），依此葉片之滯塵量公式如下：

$$\text{葉片滯塵量 (mg/cm}^2\text{)} = \frac{W_1 - W_0}{A} \times 1000$$

W_0 ：乾淨試管重 (g)

W_1 ：乾淨試管重 + 微粒量 (g)

A ：單面的葉面積 (cm^2)。

$\times 1000$ ：將 g 轉為 mg

上述 13 種植物皆取單位葉面積的滯塵量之平均值及作圖，並利用統計分析軟體 SAS 進行 Duncan 多變域分析(Duncan' s multiple range test) 以比較 13 種植物葉片之滯塵能力。

8. 噴濕葉片滯塵量的測定

試驗步驟與前述葉片滯塵量測定之方法，唯一不同是保麗龍凹槽已插好的葉片，皆是以噴霧器噴到全濕為主，再置入揚塵箱內進行滯塵試驗。本試驗受測植物為：白千層、正榕、樟樹、月橘、杜鵑等 5 種植物，皆測定葉片濕潤狀態下的滯塵量並求平均值及作圖，並與乾葉片滯塵量互相比較。



(三) 乾濕枝條滯塵量的比較研究

1. 乾枝條滯塵量的測定

枝條來源為台大校園內的植株，皆以修枝剪選取植株的枝條，選擇時盡可能避免分叉太多的枝條，其選擇直徑的範圍為 0.5~1.5 公分之直徑，若有分枝則以修枝剪去除，各剪取長 12.5 公分的枝條（每種植物取 5 個重覆）並以自來水沖洗處理，待乾燥後將枝條插於海綿塊切割線之間使之直立，插入的長度為 2.5 公分，頂端以透明膠帶貼住圓形切口，即供滯塵測試。

2. 所用之微粒

塵土及水泥微粒，其中塵土之來源如前所述，而水泥則取自於建築材料行。

3. 植物的種類

本試驗受測植物的種類共計有 6 種，包括喬木：正榕、福木、艷紫荊及灌木：月橘、鵝掌藤、杜鵑。

4. 乾枝條滯塵量之測定

將上述枝條，置於人工揚塵箱（圖 3-1），測定方法如前述葉片者，即受測微粒為塵土，時間皆為 5 分鐘，風速流量計流速為 5NL/min，揚塵結束後，風扇再持續轉動 2 分鐘，之後取出受測枝條再進行測量工作。

枝條滯塵後，即枝條（每種植物 5 個重覆）放入事先已秤重的試管中（試管重量為 W_a ），加以適量的水，並以超音波震盪 20 秒，取出枝條前以洗滌瓶清洗後再取出，將試管放入烘箱中以 110°C 蒸乾全部水份，然後稱取重量（ W_b ），則 $W_b - W_a$ 為枝條攔截微粒的總重量。其枝

條滯塵量的計算公式如下：

$$\text{枝條滯塵量 (mg/cm}^2\text{)} = \frac{Wb - Wa}{D \times \pi \times 10} \times 1000$$

Wb：試管＋微粒總重（g）

Wa：試管原重（g）

D：枝條直徑（為枝條受測部位上下之平均值）

π ：即圓周率以 3.14 統一計算

$\times 10$ ：表示枝條長

$\times 1000$ ：將 g 轉為 mg

另以水泥為受測微粒，其操作及測定與塵土者完全相同。

5. 噴濕枝條滯塵量的測定

受測微粒為塵土及水泥，受測枝條在置入揚塵箱之前皆先以噴霧器噴水至全濕，然後置入揚塵箱內測定，其操作及測定方法如同前述。

上述 6 種樹種枝條之滯塵量求皆求取平均值，再以統計分析系統 SAS 軟體進行 Duncan 多變域分析，以比較其滯塵能力之差異。

(四) 降雨淋洗葉表四種微粒之模擬

1. 人工污染均勻分布揚塵箱之設計

(1) 均勻分布原理：

當氣懸微粒在一個有限的空間內時，每一個粒子會因沈降運動引起一個向下流場，而向下流場亦將引起一上升氣流而致平衡，(鄭&劉，2001)，而且在一個有限的空間中氣懸微粒會互相的碰撞產生更大的粒子受重力而沈降，且均勻的分佈於箱體的底部 (Barthlott W. and Neinhuis C., 1997)。

故本均勻分布揚塵箱之設計主要係依據密閉空間內的擴散原理，當微粒被揚塵裝置送入箱體時，微粒太重者或是微粒互相碰撞聚結成大微粒者，會立刻沈降到可移動的底板，而只有更小的微粒會擴散到各處充滿整個箱體的空間，故此時代表著密閉箱內有均勻的微粒濃度，依據此一原理，當抽出可移動板時，其均勻微粒會持續的沈降到葉片的置物區，此時在受測區的每個位置將可接受均勻的微粒 (圖 3-3)。

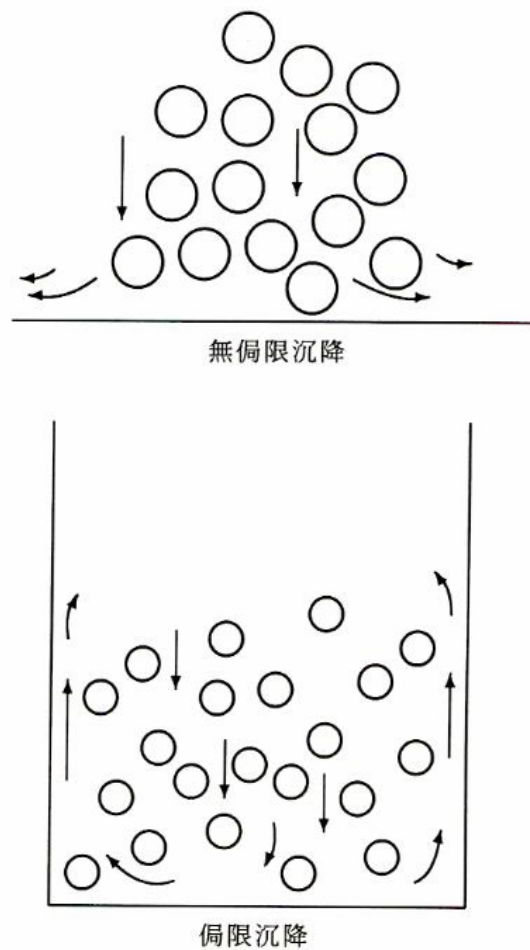


圖 3-3：無侷限及侷限之沈降情況（鄭&劉，2001）。

（2）均勻分布揚塵箱之材料組成

人工污染均勻分布之裝置由 pump、流量計、含蓋之保特瓶（蓋子有二個出口，各接一膠管作為空氣的注入和流出之用）和均勻分布之箱體所共同組合而成（圖 3-4&圖 3-5）。此空箱體由長×寬×高（35cm×35cm×95cm）之優塑板組合而成，上頂蓋為 35cm×35cm 之優塑板，底部為 50cm×50cm 之壓克力板，中間為三塊優塑板加一塊壓克力板（各 35cm×95cm）圍成長方體，而距底部高 35cm 處有一個可抽出移動的優塑板（圖 3-4&圖 3-5）。

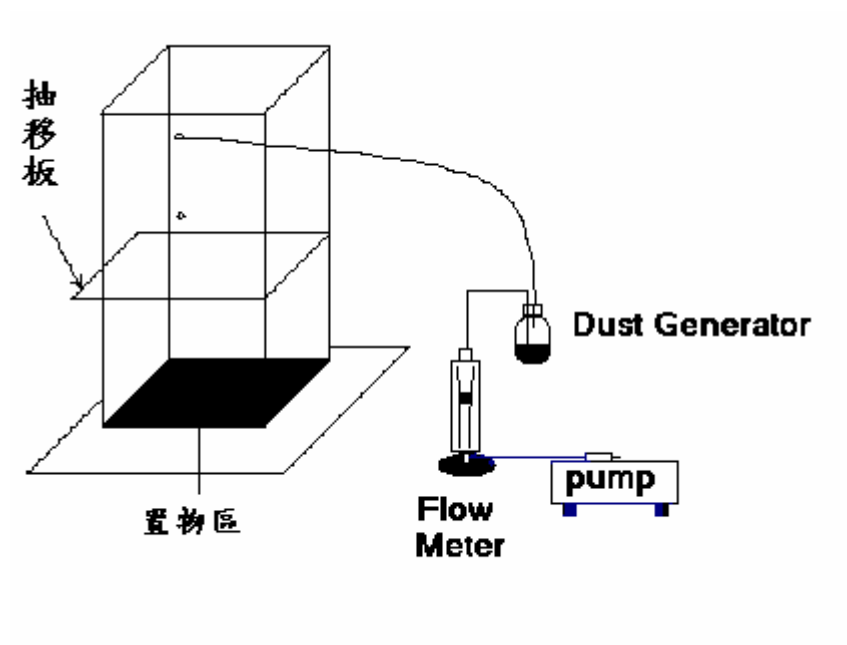


圖 3-4：人工污染均勻分布揚塵箱之設計簡圖



圖 3-5：人工污染均勻分布揚塵箱之設計實圖

2. 人工降雨淋洗設備之設計

本降雨淋洗設備外型為長方體如圖 3-6 及圖 3-7 底部由一個長×寬（60cm×60cm）的壓克力板所組成，正方體四周亦由壓克力板所構成，但於其中一片的角落鑽有一個小口，做為雨水排水。於底板上中央區域架設一塊平放的石磚（長×寬×高=23cm×23cm×7cm），作為供試植物材料置放處。

壓克力正方體頂部處架設二支鋼管並支撐一山型紗網（兩層其網孔為 0.2cm），做為截留雨水大液滴分散及增加均勻度之用。壓克力箱頂部設有木條架起之本架，其上置有一個保麗龍板中央挖一小口，架設噴頭以發生降雨。



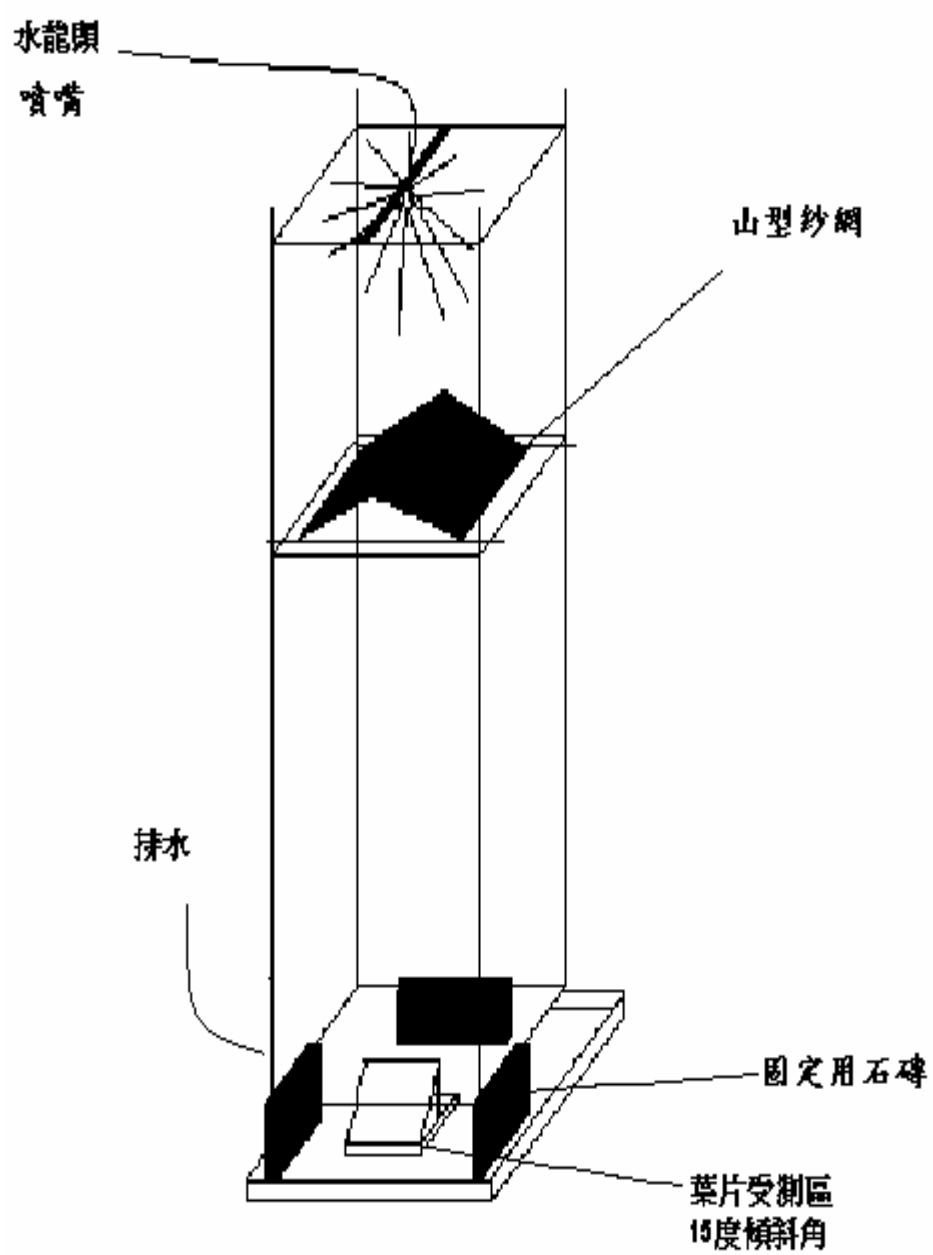


圖 3-6：人工淋洗設備簡圖



圖 3-7：人工淋洗設備實圖

3. 微粒來源

- (1) 塵土：同前述者。
- (2) 水泥：同前述者。
- (3) 燃油飛灰：顆粒輕細深黑色（由基隆市協和發電廠提供）。
- (4) 燃煤飛灰：顆粒較重灰黑色（由台北縣深澳發電廠提供）。

4. 葉表微粒淋洗之操作

- (1) 植物種類取 7 種包括：

喬木：正榕、艷紫荊、白千層、樟樹

灌木：月橘、鵝掌藤、杜鵑

受測的 7 種植物性狀及應用詳細資料於表 3-2。



表 3-2：10 種植物的性狀及應用（段木干，1980；鄭武燦，2000）

樹種	學名	性狀	應用
白千層	<i>Melaleuca leucadendron</i> (L.) L.	常綠大喬木，樹皮具薄層，全體肥厚具海綿質。葉具短柄互生，長橢圓形，葉脈平行。	庭園樹、行道樹、防風林。
樟樹	<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Sieb.	常綠大喬木，葉螺旋狀互生，有短柄、革質、闊卵形、波緣，表面深綠、背面粉白、3 出脈。	行道樹。
正榕	<i>Ficus microcarpa</i> L.f.	常綠大喬木，枝條平滑，有氣生根。葉有柄、革質、橢圓、先端鈍或凹、基部鈍形。	園藝盆栽、觀賞植物，行道樹、園景植物。
大葉桉	<i>Eucalyptus maculate</i> Smith	常綠喬木，樹皮粗糙，小枝帶紅色。葉有柄互生，卵狀披針形，先端銳尖，側脈多顯著，主脈成直脈相交。	觀賞樹木，耕地防風林，藥物植物。
艷紫荊	<i>Liquidambar formosana</i> Hance	喬木，樹皮灰褐色，有淺裂，小枝圓形，幼枝有絨毛，老漸光滑。	行道樹。
月橘	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	常綠灌木或喬木，葉互生、奇數羽狀複葉，小枝近於無柄，互生 3~5 對，卵形長橢圓形，先端鈍而微凹，基部歪形。	大型盆、花槽、綠籬、修剪造型、單植、列植、群植。
杜鵑	<i>Rhododendron simsii</i> & R.spp	常綠灌木，葉橢圓、至披針形，末端尖、表面濃綠色疏生硬毛。	觀賞植物。
鵝掌藤	<i>Scheffera arboricola</i> Hayata	常綠灌木，側枝細長，葉互生掌狀複葉，小葉長橢圓全緣。	盆栽、綠籬、地被、斜坡水土保持。
芋	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schoot	草本植物。單葉具葉柄，直立，淡綠色，卵狀心形，葉基心形。	觀賞植物，經濟植物。
苜蓿	<i>Trifolium repens</i> .L.	草本植物，莖由基部分歧或斜上。葉互生有柄，複葉由 3 小葉形成，小葉倒卵形，上部有鋸齒，下部楔形。	綠肥植物，牧草，指標植物，地被植物。

（2）葉片材料的準備

取 7 種植物葉片或小葉，每種葉片或小葉的取樣不一，詳細如下：

正榕：取中肋與葉緣之間的地方以小刀截取長×寬（3cm×1cm）之長方形，以雙面膠貼於載玻片上。

白千層：直接於葉片取長×寬（3cm×1cm）之長方形、以雙面膠貼於載

玻片上。

樟樹：取法如同正榕者。

艷紫荊：取法如同正榕者但避開有葉脈之地方。

月橘：直接取葉片黏於載玻片上。

杜鵑：取法如同正榕者。

鵝掌藤：取法如同正榕者。

(3) 葉表塵土及水泥微粒淋洗之操作

7 種樹種各取 6 片葉子即為 6 個重覆，置於人工污染均勻分布揚塵箱中的置物區。在抽移板關閉情況下先揚塵 2 分鐘後，關掉 pump 電源，待 15 秒後，較重的粒子沈降至抽移板，即取抽移板，經過 45 秒的沈降後立刻取出葉片材料，置於顯微鏡放大 200 倍讀取單位面積粒子數。視野面積固定為 $250\mu\text{m}\times 250\mu\text{m}$ ，粒徑取 $\geq 5\mu\text{m}$ 以上者，每個葉片讀取 15 個視野值求平均，即視為葉片單位面積原有的粒子數（此值為原有粒子數=A），將已觀測過的植物材料連同載玻片再置於人工淋洗設備的淋洗區（圖 3-5&圖 3-6），設定傾斜角為 15 度，經人工模擬降雨 1mm 之後（雨滴直徑約 30~400 μm ），即取出葉片再置於顯微鏡下以同樣方法算出殘留的粒子數，每一葉片觀測 15 個視野值求平均（此值的粒子數=B）則可計算單位殘留的粒子數占原有粒子數之百分比公式如下：

$$\text{葉片上粒子殘留所占百分比} = \frac{B}{A} \times 100\%$$

A：淋洗前單位面積的粒子數

B：淋洗後單位面積的粒子數

另再取大葉桉、芋及苜蓿等 3 種（植物性狀及應用於表 3-2），大葉桉取法如同前述正榕者，芋如同前述白千層者，苜蓿取法如同前月橘者。

(4) 葉表燃油及燃煤飛灰微粒淋洗之操作

a. 葉表燃油飛灰微粒淋洗之操作

以精密天平秤取 0.05g，燃油飛灰倒入已裝滿 1000ml 水的保特瓶中，經劇烈的搖晃後，使用 eppendorf 微量吸管吸取 1 μ l 的體積，滴在葉片上 3 個定點，立即以針尖在葉片水滴邊緣刺一小洞作為記號，並於葉片適當位置以原子筆標記編號，而後置於乾燥箱中，乾燥至不見小滴（時間約 40 $\pm$ 5 分鐘），待乾燥後置於光學顯微鏡 200 倍視野下，以原針頭所刺小洞為起點，觀測整個視野中微粒粒徑 $\geq 5\mu\text{m}$ 的粒子數得到 A 值淋洗前的粒子數，而後置於圖 3-6 之淋洗受測區，取 15 度傾斜角，將葉片有刺洞的一方視為上方，有數字標記者視為下方，經模擬降雨 1 mm 後，再取出葉片於光學顯微鏡下依同法觀測計算原視野殘留的微粒粒子數得到 B 值為淋洗後的粒子數，即可計算葉片上粒子殘留百分比。

b. 葉表燃煤飛灰微粒淋洗之操作

以精密天平秤取 0.1g，倒入已裝滿 1000ml 水的保特瓶中，其餘步驟如同燃油飛灰者。

上述燃油飛灰與燃煤飛灰粒淋洗之結果，皆與上述塵土及水泥者相互比較探討分析不同樹種葉片之微粒淋洗情況。

(五) 接觸角影響葉表微粒殘留之研究

1. 葉片接觸角的測定

(1) 測接觸角之原理

乃依據圖 2-3 之原理進行測定，量測儀器來自台大化學系牟中原教授研究室。使用前先以載玻片對水滴進行校正，在接觸角儀器內有一放大鏡及可調整之 180 度刻度，之後即以液滴滴入葉片上，液滴與葉片表面的交叉點，以十字切線對正儀器內的刻度，在最短的時間讀值，即為所量測的接觸角 θ 。

(2) 各種受測植物之接觸角測定：

摘取黑板樹、羅漢松、台灣欒樹、白千層、樟樹、福木、正榕、大葉桉、艷紫荊、金露花、月橘、鵝掌藤、杜鵑、芋和苜蓿等 15 種植物各 6 片全展開的葉片，在近中肋的地方截取 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 的葉片，以雙面膠固定葉片於載玻片上，使之成為水平狀態。測接觸角時，乃以固定水滴 ($10 \mu\text{l}$) 的去離子水。滴於葉上測定靜態接觸角，每 1 葉片於不同地方各測 3 個接觸角值求平均，重覆 6 次。

2. 葉面的水滴流動觀察

(1) 植物種類

正榕、大葉桉、艷紫荊、月橘、鵝掌藤、杜鵑、芋和苜蓿等 8 種，其植物的性狀及應用於表 3-2。

(2) 試驗之操作

受測微粒為塵土及水泥，將葉片置於人工均勻分布揚塵箱中的置物區，揚塵 5 分鐘後，關掉電源，待 10 秒後抽取抽移板，使微粒均勻分佈沈降 5 分鐘。然後將植物葉片置於 15 度傾斜板上，以固定之 $20 \mu\text{l}$ 的水滴於葉片上方約 0.5~1cm 處滴下，以數位相機拍攝流動的情形。

第四章 結果

(一) 葉面積測定之研究

1. 6 塊黑色色紙面積測定

以掃描方法及 LI-COR 葉面積儀測定 6 塊黑色色紙面積結果如表 4-1，並採用成對 t test 檢定 ($\alpha=0.05$) 所得到 t 的絕對值為 $|t|=4.0586 > t_{0.05/2, 5}=2.5705$ ，結果顯示此二種方法測定所得到的面積值具有顯著差異。而且發現除了第 1 次測定值以 LI-COR 葉面積儀得到的值 25.52 cm^2 高於掃描方法 25.19 cm^2 外，其他 5 次所得到的值都以掃描方法較高。

表 4-1：6 塊黑色色紙以掃描方法及 LI-COR 葉面積儀測定，以成對 t test 檢定 ($\alpha=0.05$)。

黑色色紙面積測定值	
掃描方法 (cm^2)	LI-COR 葉面積儀 (cm^2)
25.19	25.52
25.62	23.41
25.36	21.38
25.38	22.27
25.62	22.8
25.45	21.78
平均 25.44 ± 0.16	平均 22.86 ± 1.48
成對 t test 檢定 $ t =4.0586$	

2. 鵝掌藤、正榕及福木各 20 片葉片測定

以掃描方法及 LI-COR 葉面積儀測定鵝掌藤、正榕及福木各 20 片葉片葉面積結果如表 4-2，並採用成對 t test 檢定 ($\alpha=0.05$)，所得到 t 的絕對值為鵝掌藤面積 $|t|=14.6218 > t_{0.05/2, 19}=2.093$ ；正榕面

積 $|t| = 10.0191 > t_{0.05/2, 19} = 2.093$; 福木面積 $|t| = 6.9147 > t_{0.05/2, 19} = 2.093$ 。經由測定發現此二種方法測得的葉面積結果呈現顯著差異，表示這二種所得到的葉面積結果是不一樣的。而且發現以掃描方法所得到的葉面積值皆比 LI-COR 葉面積儀所測定的值為高。

表 4-2：鵝掌藤、正榕及福木各 20 片葉片以掃描方法及 LI-COR 葉面積儀測定，並以成對 t test 檢定 ($\alpha=0.05$) 之結果。

20 片鵝掌藤葉片		20 片正榕葉片		20 片福木葉片	
掃描方法 (cm^2)	LI-COR 葉面積儀 (cm^2)	掃描方法 (cm^2)	LI-COR 葉面積儀 (cm^2)	掃描方法 (cm^2)	LI-COR 葉面積儀 (cm^2)
13.15	12.25	8.01	6.36	46.7	43.54
14.36	12.59	11.91	9.76	63.71	61.37
15.92	13.39	11.14	8.63	47.95	46.1
13.68	11.67	9.97	8.26	46.71	42.87
22.99	20.23	6.41	5.46	58.39	58.12
25.47	22.58	7.36	6.16	47.27	46.17
18.52	16.22	8.47	6.72	47.12	42.94
17.81	15.56	6.84	5.43	43.97	42.97
20.49	18.26	11.32	9.3	51.48	43.77
23.29	21.41	6.81	5.09	60.71	60.58
14.52	12.72	9.42	8.12	32.84	30.3
15.17	13.28	10.17	7.72	46.77	45.5
11.49	9.73	7.48	7.24	58.19	55.24
14.1	13.19	13.17	10.46	32.29	30.62
13.62	12.53	6	5.1	51.55	48.76
14.28	13.23	12.7	10.04	37.16	33.62
8.91	7.26	8.74	7.33	54.53	52.22
10.45	8.77	8.69	5.37	44.29	41.63
13.04	11.33	7.17	6.57	42.2	39.51
11.02	8.74	7.82	6.06	45.15	42.42
平均 15. 61	平均 13. 74	平均 8. 98	平均 7. 25	平均 47. 94	平均 45. 41
成對 t test 檢定 $ t = 14.6218$		成對 t test 檢定 $ t = 10.0191$		成對 t test 檢定 $ t = 6.9147$	

(二) 乾濕葉片滯塵量的比較研究

1. 離體葉片滯塵量的測定結果

(1) 人工揚塵箱的試驗

預備試驗時以 9 個載玻片（暫代替葉片）置於箱底內部 9 個位置，以固定的距離間隔分成 3 行 3 列去測定微粒沈降量，結果發現每一個載玻片上的微粒重量差異不大。但再取具有枝條的榕樹葉片一再的測試，發現 9 個位置的滯塵量會有明顯的不同，其迎風的葉片明顯具有大的滯塵量，背風處的滯塵量非常稀少，故無法以全枝作為單位面積滯塵的比較測定。

又於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，故本試驗經過多次驗證後皆一行離體葉片垂直向風，測定其滯塵量。

(2) 離體葉片於人工揚塵箱內的滯塵量

13 種樹種離體葉片滯塵的結果，如表 4-3 及圖 4-1，經統計分析軟體進行 Duncan 多變域分析 (Duncan' s multiple range test , $\alpha = 0.05$)，得知滯塵量範圍為 $0.199 \sim 4.32 \text{mg/cm}^2$ ，且以龍柏及木麻黃滯塵量最多，福木滯塵量最少。但杜鵑、白千層、正榕、金露花、樟樹、台灣欒樹、月橘、黑板樹、鵝掌藤等 10 種樹種的滯塵量之間沒有顯著差異

表 4-3：13 種樹種葉片對塵土之滯塵量比較，單位為 mg/cm^2 。

樹種	滯塵量平均值* (mg/cm^2)
龍 柏	$4.3239 \pm 0.41a$
木麻黃	$2.979 \pm 0.32b$
羅漢松	$1.2103 \pm 0.19c$
杜 鵑	$0.5708 \pm 0.11d$
白千層	$0.5698 \pm 0.10d$
正 榕	$0.491 \pm 0.06d$
金露花	$0.4509 \pm 0.09d$
樟 樹	$0.4487 \pm 0.05d$
台灣欒樹	$0.4313 \pm 0.04de$
月 橘	$0.4068 \pm 0.05de$
黑板樹	$0.3887 \pm 0.07de$
鵝掌藤	$0.3728 \pm 0.05de$
福 木	$0.1998 \pm 0.02e$

*為各 5 重覆之平均值，英文字母相同者表示經 Duncan' s 多變

域分析後無顯著差異 ($\alpha=0.05$)。

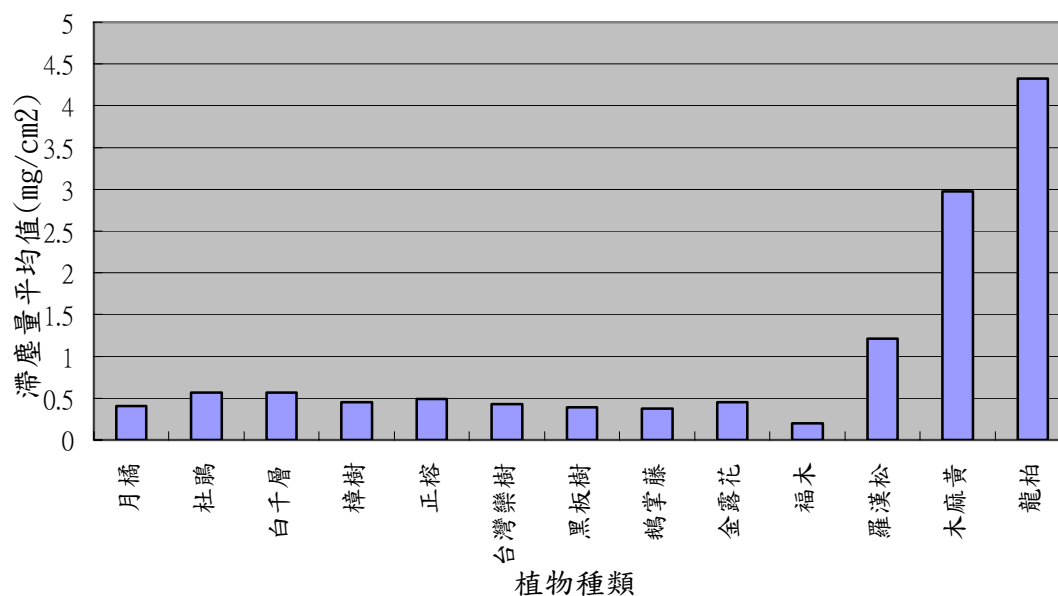


圖 4-1：13 種樹種葉片對塵土之滯塵量比較。

2. 離體濕葉片滯塵量的測定

取白千層、正榕、樟樹、月橘、杜鵑等 5 種樹種離體葉片，經噴濕後進行滯塵值測定，結果表 4-4。

表 4-4: 5 種樹種噴濕之葉片單位面積平均滯塵量(塵土)單位為 mg/cm^2

樹種	滯塵量平均值 mg/cm^2
白千層	$1.3913 \pm 0.18a^*$
杜鵑	$1.1612 \pm 0.09b$
樟樹	$1.1498 \pm 0.17b$
月橘	$0.7881 \pm 0.23b$
正榕	$0.5747 \pm 0.12c$

*為各 5 重覆之平均值，英文字母相同者表示經 Duncan' s 多變域分析後無顯著差異 ($\alpha=0.05$)。

由表 4-4 可得知 5 種植物離體噴濕之葉片滯塵能力中以白千層的滯塵量為 $1.3913 \text{mg}/\text{cm}^2$ 最大，杜鵑、樟樹和月橘次之，而正榕的滯塵量 $0.5747 \text{mg}/\text{cm}^2$ 為最小。

3. 乾濕離體葉片滯塵量相互比較

月橘、杜鵑、白千層、樟樹及正榕等 5 種植物的離體葉片與噴濕葉片滯塵量之比較結果如表 4-5。5 種樹種的噴濕葉片滯塵量皆遠高於乾葉片的滯塵量，濕葉片滯塵量所得到的倍數以樟樹 2.56 倍為最高，白千層 2.45 倍，杜鵑 2.03 倍，月橘 1.94 倍，最小為正榕 1.17 倍。由相互之比較可知噴濕葉片的滯塵量皆大於乾葉片滯塵量。

表 4-5: 5 種樹種離體葉片在乾燥及噴濕時在揚塵箱內滯塵量之比較*。

樹種	乾燥葉片滯塵量 其平均值 mg/cm^2	濕潤葉片滯塵量 其平均值 mg/cm^2	噴濕葉片比較葉 片之滯塵量比值
月橘	0.4068 ± 0.05	0.7881 ± 0.23	1.94
杜鵑	0.5708 ± 0.11	1.1612 ± 0.09	2.03
白千層	0.5698 ± 0.10	1.3913 ± 0.18	2.45
樟樹	0.4487 ± 0.05	1.1498 ± 0.17	2.56
正榕	0.4910 ± 0.06	0.5747 ± 0.12	1.17

*各為 5 重覆之平均值



(三) 乾濕枝條滯塵量的比較研究

1. 乾濕枝條滯塵量之測定

取月橘、艷紫荊、正榕、楓香、福木及鵝掌藤等 6 種樹種之枝條進行滯塵量測定，各有四種處理：乾枝條/塵土；乾枝條/水泥；濕枝條/塵土；濕枝條/水泥，以 Duncan 多變域分析探討差異性結果如表 4-6。

表 4-6: 6 種樹種枝條對塵土及水泥的滯塵能力比較*(單位為 mg/cm^2)。

樹種 處理	月橘	艷紫荊	正榕	楓香	福木	鵝掌藤
乾枝條/塵土	0.4177± 0.06a*	0.1931± 0.01b	0.4726± 0.03a	0.4644± 0.08a	0.4677± 0.13a	0.2101± 0.02b
乾枝條/水泥	0.7051± 0.14a	0.3975± 0.09c	0.5803± 0.13b	0.3983± 0.03c	0.4531± 0.05c	0.2538± 0.03d
濕枝條/塵土	0.4676± 0.06c	0.437± 0.05c	0.7159± 0.05b	1.4443± 0.16a	0.5076± 0.11c	0.7116± 0.10b
濕枝條/水泥	1.3168± 0.16d	1.401± 0.15d	2.8392± 0.21a	2.0836± 0.22b	1.6886± 0.23c	0.8362± 0.13e

*各為 5 重覆之平均值，同列英文字母相同者表示經 Duncan's 多變

域分析後無顯著差異 ($\alpha=0.05$)。

由表 4-6 顯示：正榕、福木、楓香和月橘等乾枝條之塵土滯塵量比鵝掌藤和艷紫荊為大。在水泥方面則以月橘乾枝條的滯塵量為最高，其次為正榕，再次為福木、楓香和艷紫荊，而以鵝掌藤為最低。

在枝條噴濕情況下，對塵土之滯塵量以楓香枝條最高，其次正榕，鵝掌藤，再次為福木、月橘和艷紫荊。噴濕枝條對水泥之滯塵量則以正榕為最高，其次為楓香，再次為福木，後為艷紫荊及月橘，而鵝掌藤為最低。

2. 乾濕枝條對塵土及水泥滯塵量之比較

上述枝條滯塵量四種處理的結果，另比較如表 4-7&圖 4-2，發現濕枝條的滯塵量都比乾枝條的滯塵量大，而四種處理中以鵝掌藤濕枝條的塵土滯塵量比乾枝條滯塵量有最大高達 3.37 倍的增幅，其次為楓香的 3.11 倍增幅。在水泥滯塵方面，以楓香濕枝條的滯塵量有最大 5.23 倍的增幅，其次為正榕的 4.89 倍增幅。

表 4-7：6 種樹種的乾濕潤枝條對塵土及水泥的滯塵比較*。

樹種	微粒種類	乾枝條滯塵量平均值 (mg/cm^2)	濕枝條滯塵量平均值 (mg/cm^2)	濕枝條比乾枝條之滯塵量比值
月橘	塵土	0.4177 ± 0.06	0.4676 ± 0.06	1.12
	水泥	0.7051 ± 0.14	1.3168 ± 0.06	1.87
艷紫荊	塵土	0.1931 ± 0.01	0.4370 ± 0.05	2.19
	水泥	0.3975 ± 0.09	1.4010 ± 0.15	3.52
正榕	塵土	0.4726 ± 0.03	0.7159 ± 0.05	1.51
	水泥	0.5803 ± 0.13	2.8392 ± 0.21	4.89
楓香	塵土	0.4644 ± 0.08	1.4443 ± 0.16	3.11
	水泥	0.3983 ± 0.03	2.0836 ± 0.22	5.23
福木	塵土	0.4677 ± 0.13	0.5076 ± 0.11	1.09
	水泥	0.4531 ± 0.05	1.6886 ± 0.23	3.73
鵝掌藤	塵土	0.2101 ± 0.02	0.7116 ± 0.10	3.37
	水泥	0.2538 ± 0.03	0.8362 ± 0.13	3.29

*各為 5 重覆之平均值。

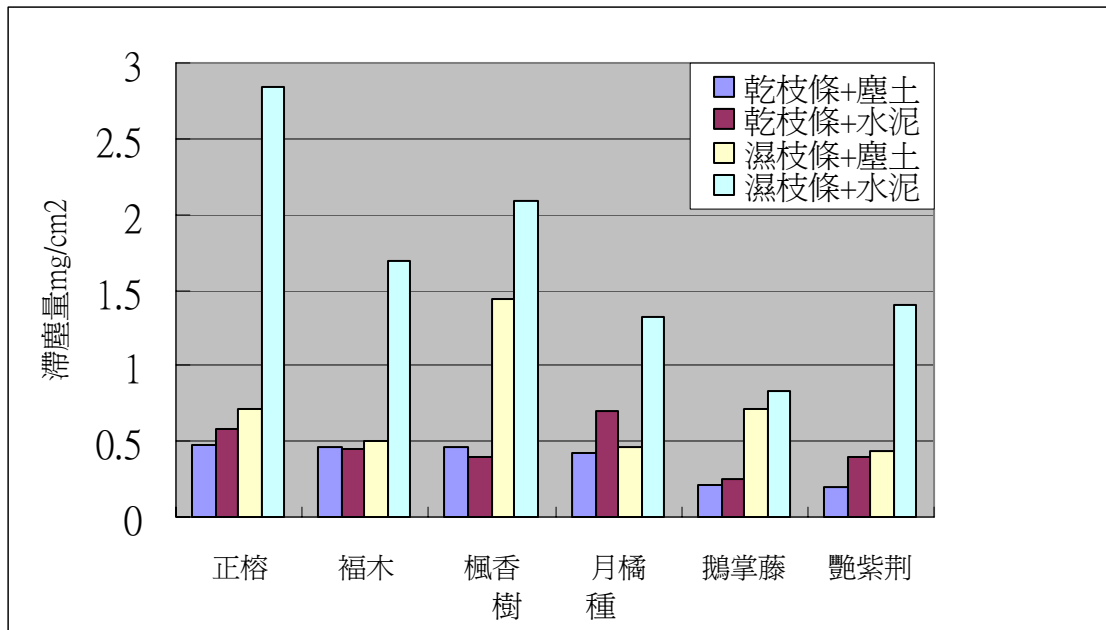


圖 4-2：6 種樹種乾濕枝條四種處理滯塵量之比較。



(四) 降雨淋洗葉表四種微粒之模擬

1. 設備設計

(1) 人工均勻分布揚塵箱之之設計

本試驗發現當微粒經揚塵器進入抽移板上半部的密閉區時，重的微粒會立刻下沉至抽移板上，此時其他懸浮微粒會擴散至整個密閉的箱體，且當試驗結束後，會發現很多微粒附著於壁上，但不會影響置物區的均勻分布。以載玻片於預備試驗測試均勻分佈的結果，發現於 200 倍顯微鏡下放大每一個視野算出的微粒數，誤差值很小，作為本設計可造成微粒之均勻分布。

然而微粒送入的總量與抽移板抽出的時間亦會影響結果，當進入微粒量大時，15 秒後即可在抽移板看到微粒之沉降，且時間愈久則會積更多的微粒，使於顯微鏡下無法算出粒子數目。故本試驗必須調整通入的量且每一個處理必須固定。經多次的試驗結果發現以揚塵 2 分鐘，再延著 15 秒後抽取抽移板，使微粒沉降 45 秒，則可得最適當的粒子數目。

(2) 人工淋洗設備設計

本試驗所模擬之人工降雨裝置，當雨滴由噴頭下降至山型紗網時則會有分散之現象，而且在葉片受測區雨滴會逢機落下，達到模擬降雨的效果。又在本試驗中的雨滴粒徑經紗網過濾後皆屬固定範圍，此與自然界中的雨滴會有差異，但這是無法避免的情況。

在預備試驗中以一個壓克力盛雨器置於葉片受測區，即設定水龍頭開啟的大小，並計算降雨時間與盛雨器集雨量間之關係，發現一般以降雨 2min 即可測定最佳淋洗效率。

2. 葉表塵土、水泥、燃煤飛灰及燃油飛灰之微粒淋洗

取正榕、艷紫荊、月橘、白千層、樟樹、杜鵑和鵝掌藤等 7 種植物之葉片，先均勻滯塵後淋洗，總計算共殘留百分比，結果如表 4-8 & 圖 4-3。由表 4-8 及圖 4-3 顯示，受測的 7 種植物中燃油飛灰的殘留百分比皆高於其他 3 種污染的微粒，而此 7 種植物葉片對燃油飛灰的殘留百分比皆高於 63.5% 以上，表示一般葉片對燃油飛灰的微粒滯留程度相當高，在燃煤飛灰方面一般殘留百分比範圍為 49.83%~67.5% 之間，表示滯留的量也很大。而水泥殘留百分比範圍為 7.35%~42%，塵土殘留百分比範圍為 9.3%~40.76% 之間。表示兩者之淋洗效率較高。 燃油及燃煤飛灰之微粒以同樣的處理方法置於人工均勻分布區沈降時（圖 3-4），葉片上沈降之微粒會有群聚的現象，當置於人工降雨設備（圖 3-7）淋洗 1mm 後，則微粒在葉片上會分散，且變的無法量化。當使用 eppendorf 微量吸取 1 μ l 的懸浮液滴於葉時，艷紫荊葉片上的水滴甚難附著即有滑動的情況，推測與接觸角有關，因為接觸角愈大者小滴會在葉表面上形成圓球形，甚至造成滑落。

在顯微鏡下觀察葉片上水滴乾燥後會形成一個明顯乾掉之痕跡，在燃油飛灰微粒則有蜂窩狀球形的黑煙、細點煙塵及小於 1 μ m 之不定形煙塵而燃煤飛灰微粒有灰白色球形粒子不整形多洞薄片粒子。又可發現燃油及燃煤之樣品都有類似油漬的反光現象。

表 4-8：人工模擬降雨對四種微粒在七種葉片上的淋洗效率比較。

植物種類	降雨後微粒殘留百分比*			
	塵土	水泥	燃煤飛灰	燃油飛灰
正榕	17.18±3.96	34.20±5.38	67.50±19.00	74.33±8.00
艷紫荊	9.30±2.38	7.35±3.18	50.00±4.00	77.00±11.00
月橘	11.34±5.5	37.44±12.23	64.49±11.84	73.44±8.13
白千層	40.76±7.41	42.00±7.85	69.54±5.29	74.32±16.81
樟樹	19.87±4.83	39.75±10.07	59.95±15.78	75.11±14.02
杜鵑	10.58±6.51	32.45±16.53	63.43±17.38	92.17±9.56
鵝掌藤	14.68±4.4	26.88±7.06	49.83±12.00	63.50±12.00

*塵土和水泥微粒係經乾沈降後，計數單位面積之粒數，淋雨二分鐘，再計數殘留量，求取百分比；燃煤及燃油微粒係以懸浮液滴於葉表，經乾燥後計數面積之粒數，淋雨二分鐘，再計數殘留量，求取百分比。

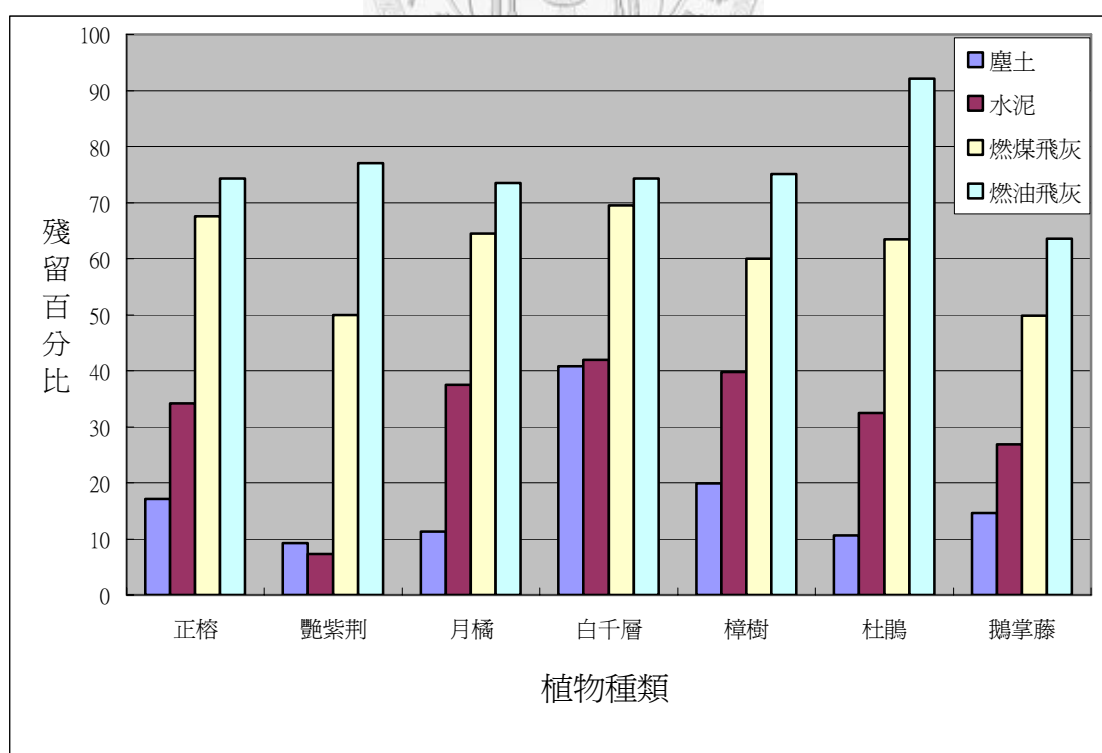


圖 4-3：人工模擬降雨對四種微粒在七種葉片上的淋洗效率比較。。

3. 本研究另取大葉桉、芋及苜蓿葉表塵土及水泥微粒之淋洗

大葉桉、芋及苜蓿葉片進行塵土及水泥微粒淋洗之的殘留百分比測試，其結果如表 4-9。由表 4-9 顯示大葉桉對塵土及水泥微粒殘留百分比大於芋及苜蓿，表示芋及苜蓿的淋洗效率比大葉桉高，其原因應與下述接觸角有關。

表 4-9：三種植物葉表塵土及水泥微粒淋洗後之殘留百分比。

植物種類	降雨後微粒殘留百分比*	
	塵土	水泥
大葉桉	9.458±3.03	29.152±8.20
芋	2.823±1.97	1.067±0.45
苜蓿	1.052±0.62	0.635±0.74

*塵土和水泥微粒係經乾沈降後，計數單位面積之粒數，淋雨二分鐘，再計數殘留量，求取百分比。

(五) 接觸角影響葉表微粒殘留之研究

1. 接觸角 (Contact Angle 簡稱 CA) 測定之結果

本研究取黑板樹、羅漢松、台灣欒樹、白千層、樟樹、福木、正榕、大葉桉、艷紫荊、金露花、月橘、鵝掌藤、杜鵑、芋和苜蓿等 15 種植物之新鮮葉片進行水滴接觸角之測定如表 4-10，可得知不同的葉片其接觸角也不同，於試驗中發現當 10 μ l 之水滴滴到葉表面時，有 3 種植物的葉面之小水滴會有移動的現象，直到平衡時才可測出。又一般測的時間必須在 10 秒內完成，否則水滴會漸漸的蒸散揮發影響測值。

表 4-10：15 種植物新鮮近軸葉片的靜態接觸角 (°)。

植物	接觸角	植物	接觸角	植物	接觸角
艷紫荊	146.9 $\pm$ 5.2	正榕	90.7 $\pm$ 1.7	金露花	95.16 $\pm$ 2.93
鵝掌藤	102.7 $\pm$ 3.8	台灣欒樹	92.5 $\pm$ 4.28	月橘	92.2 $\pm$ 7.6
大葉桉	116.7 $\pm$ 6.2	黑板樹	108.94 $\pm$ 3.76	杜鵑	106.2 $\pm$ 9.7
樟樹	99.6 $\pm$ 7.33	白千層	66.66 $\pm$ 2.29	芋	159.0 $\pm$ 1.0
羅漢松	91.94 $\pm$ 3.79	福木	104.1 $\pm$ 5.42	苜蓿	136.2 $\pm$ 6.0

2. 葉面的水滴流動觀察

取艷紫荊、鵝掌藤、大葉桉、杜鵑、月橘、正榕、苜蓿和芋等 8 種植物之葉片，先置均勻分布的揚塵箱置物區，經微粒（包括塵土及水泥）沈降 5 鐘後，再以水滴（20 μ l）滴到葉片，即可觀察其流動情形，結果如圖 4-4。發現正榕、大葉桉、鵝掌藤、杜鵑和月橘等 5 種植物之葉片，不論是否沾有塵土或水泥，20 μ l 之水滴皆無法立刻流動，若再增加水量才可以令其滑下。反之在芋、苜蓿和艷紫荊 3 種植物葉片上 20 μ l 水滴滴下時能立刻滑下，且能帶走已沾在葉面的塵土及水泥，達到自我洗淨之情況。

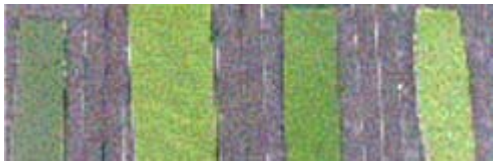
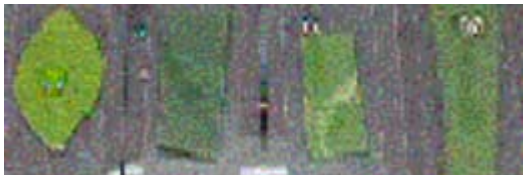
樹種	正榕	大葉桉	鵝掌藤	杜鵑	月橘	芋	苜蓿	艷紫荊
塵土								
20μl 水滴								
水泥								
20μl 水滴								

圖 4-4：8 種植物葉片先滯塵（塵土或水泥），再加 20μl 水滴觀測水滴流動情形。

3. 葉片的水滴接觸角與塵土滯塵量的相關性分析

將羅漢松、杜鵑、白千層、正榕、金露花、樟樹、台灣欒樹、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如表 4-11。顯示葉片的水滴接觸角與塵土滯塵量間並無相關性其 $R^2=0.082$ ，此說明接觸角的大小並不會影響滯塵量的大小。

表 4-11：葉片的水滴接觸角與塵土滯塵量間的相關性分析。

植物種類	葉片塵土滯塵量 (mg/cm ²)	接觸角 (°)	判定係數 (R ²)
羅漢松	1.2103	91.94	0.082
杜 鵑	0.5708	106.2	
白千層	0.5698	66.66	
正 榕	0.491	90.7	
金露花	0.4509	95.16	
樟 樹	0.4487	99.6	
台灣欒樹	0.4313	92.5	
月 橘	0.4068	92.2	
黑板樹	0.3887	108.94	
鵝掌藤	0.3728	102.7	
福 木	0.1998	104.1	

4. 葉片的水滴接觸角與濕葉片塵土滯塵量的相關性分析

將杜鵑、白千層、正榕、樟樹及月橘等 5 種植物濕葉片塵土滯塵量與接觸角測定值比較結果如表 4-12，顯示葉片的水滴接觸角與濕葉片塵土滯塵量間並無相關性 ($R^2=0.0913$)。此顯示接觸角之大小並不會影響濕葉片的滯塵量。

表 4-12：葉片的水滴接觸角與濕葉片塵土滯塵量的相關性分析。

植物種類	濕葉片塵土滯塵量 (mg/cm ²)	接觸角 (°)	判定係數 (R ²)
杜 鵑	1.1612	106.2	0.0913
白千層	1.3913	66.66	
正 榕	0.5747	90.7	
樟 樹	1.1498	99.6	
月 橘	0.7881	92.2	

5. 葉片的水滴接觸角與濕葉片對乾葉片塵土滯塵量增幅的相關性分析

將杜鵑、白千層、正榕、樟樹及月橘等 5 種植物濕葉片塵土對乾葉片塵土滯塵量增加倍數與接觸角測定值比較結果如表 4-13，顯示葉片的水滴接觸角與濕葉片對乾葉片塵土滯塵量之增幅間並無相關性 (R²=0.0281)，接觸角的大小不會影響葉片噴濕造成滯塵量之增幅。

表 4-13：葉片的水滴接觸角與濕葉片對乾葉片塵土滯塵量的相關性分析。

植物種類	濕葉片對乾葉片塵土 滯塵量的倍數	接觸角 (°)	判定係數 (R ²)
杜 鵑	2.03	106.2	0.0281
白千層	2.45	66.66	
正 榕	1.17	90.7	
樟 樹	2.56	99.6	
月 橘	1.94	92.2	

6. 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表塵土微粒殘留百分比間相關性分析

將杜鵑、白千層、正榕、樟樹、月橘，鵝掌藤、艷紫荊、大葉桉、芋及苜蓿等 10 種植物葉片經降雨後葉表塵土殘留百分比與葉片的水滴接觸角比較結果如表 4-14 及圖 4-5，結果顯示二者間呈現相關性 ($R^2=0.6658$)，表示接觸角愈大則降雨後葉表塵土殘留百分比有愈小之趨勢，於試驗過程中會發現艷紫荊、芋及苜蓿等 3 種植物之接觸角較大經降雨後水滴無法濕潤葉表，且會快速的滑落，淨化污染微粒。

表 4-14：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表塵土殘留百分比間的相關性分析。

植物種類	降雨後葉表塵土 微粒殘留百分比	接觸角 (°)	判定係數 (R^2)
杜 鵑	10.58	106.2	0.6658
白千層	40.76	66.66	
正 榕	17.18	90.7	
樟 樹	19.87	99.6	
月 橘	11.34	92.2	
鵝掌藤	14.68	102.7	
艷紫荊	9.30	146.9	
大葉桉	9.45	116.7	
芋	2.82	159	
苜蓿	1.05	136.2	

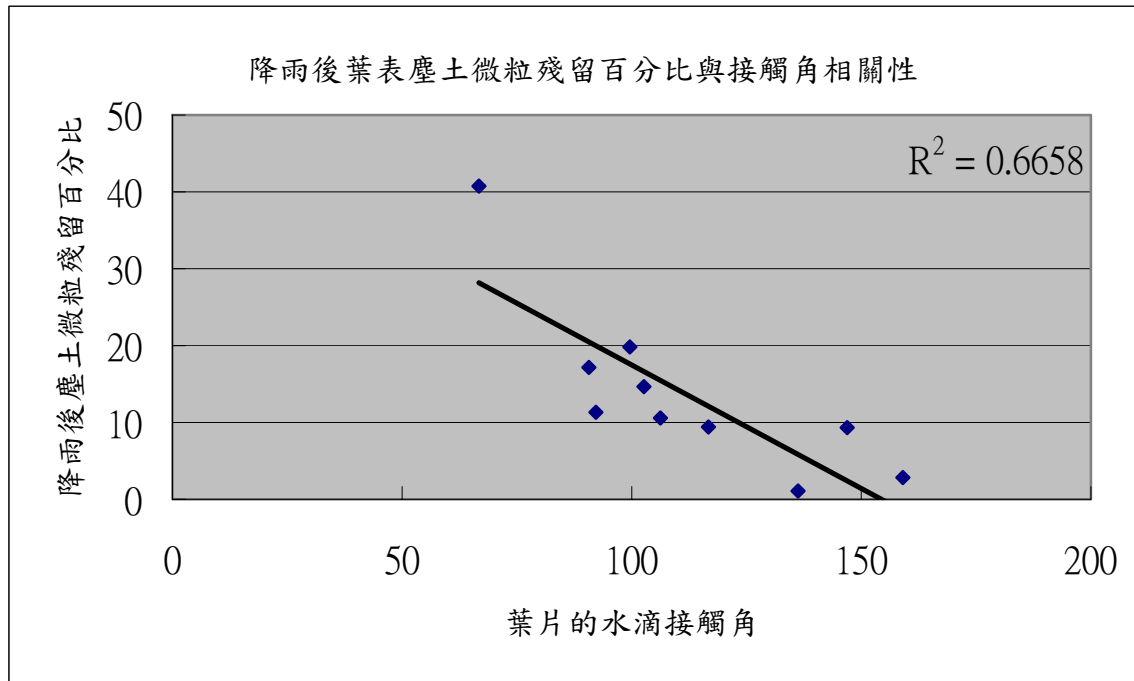


圖 4-5：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表塵土微粒殘留百分比相關性。

7. 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表水泥微粒殘留百分比間相關性分析

將杜鵑、白千層、正榕、樟樹、月橘，鵝掌藤、艷紫荊、大葉桉、芋及苜蓿等10種植物葉片經降雨後葉表塵土殘留百分比與葉片的水滴接觸角比較，結果如表 4-15 及圖 4-6，結果顯示二者間呈現高度相關性 ($R^2=0.7668$)，表示接觸角愈大則降雨後葉表水泥微粒殘留百分比則愈小，此現象比淋洗塵土微粒殘留百分比有更高的相關係數。表示著葉片的水滴接觸角會影響其葉片的水泥微粒淋洗殘留量。

表 4-15：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表水泥微粒殘留百分比間的相關性分析。

植物種類	降雨後葉表水泥 微粒殘留百分比	接觸角 (°)	判定係數 (R^2)
杜 鵑	32.45	106.2	0.7668
白千層	42.00	66.66	
正 榕	34.20	90.7	
樟 樹	39.75	99.6	
月 橘	37.44	92.2	
鵝掌藤	49.83	102.7	
艷紫荊	7.35	146.9	
大葉桉	29.15	116.7	
芋	1.06	159	
苜蓿	0.63	136.2	

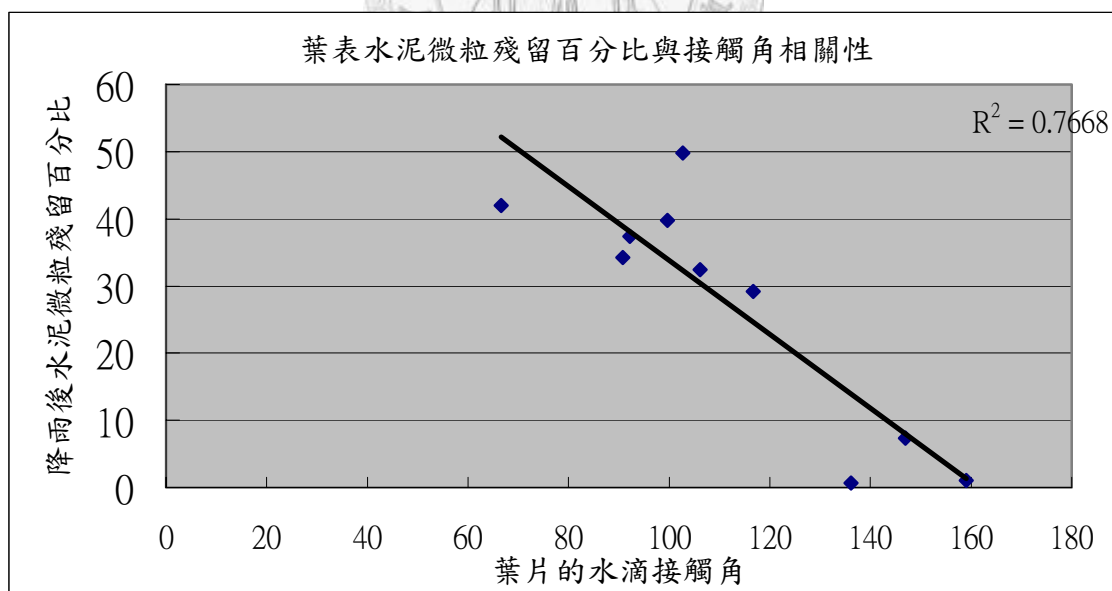


圖 4-6：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表水泥微粒殘留百分比相關性。

8. 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃煤飛灰殘留百分比間相關性分析

將杜鵑、白千層、正榕、樟樹、月橘，鵝掌藤及艷紫荊等 7 種植物葉片經降雨後葉表燃煤飛灰微粒留百分比與葉片的水滴接觸角比較，結果如表 4-16 及圖 4-7，顯示二者間呈現相關性 ($R^2=0.6117$)，表示接觸角愈大則降雨後葉表燃煤微粒殘留百分比則愈小，此說明葉片的水滴接觸角會影響葉片的水泥微粒殘留量。然而試驗中發現降雨後葉片上以懸浮液滴於葉表乾燥後的痕跡於光學顯微鏡下觀察依然存在。

表 4-16: 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃煤飛灰微粒殘留百分比間相關性分析。

植物種類	降雨後葉表燃煤 微粒殘留百分比	接觸角 (°)	判定係數 (R^2)
杜 鵑	64.43	106.2	0.6117
白千層	69.54	66.66	
正 榕	67.50	90.7	
樟 樹	59.95	99.6	
月 橘	64.49	92.2	
鵝掌藤	49.83	102.7	
艷紫荊	50.00	146.9	

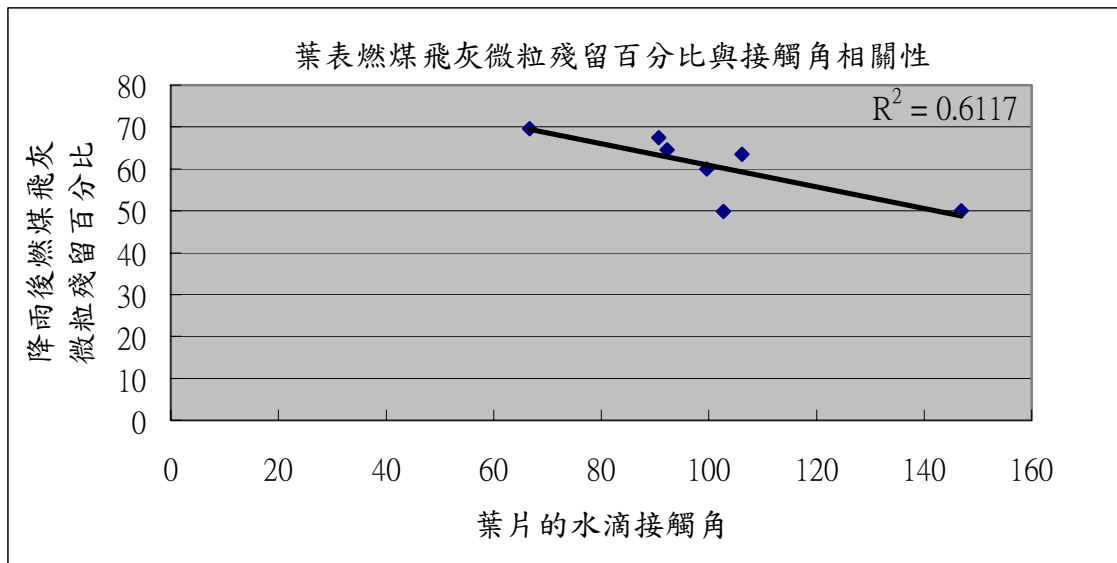


圖 4-7：葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃煤飛灰微粒殘留百分比相關性。

9. 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃油飛灰殘留百分比間相關性分析

將杜鵑、白千層、正榕、樟樹、月橘，鵝掌藤及艷紫荊等 7 種植物葉片經降雨後葉表燃煤飛灰微粒留百分比與葉片的水滴接觸角比較結果如表 4-17，結果顯示二者間呈不相關性 ($R^2=0.0282$)，表示接觸角大小與降雨後葉表燃油飛灰微粒殘留百分比並無相關，此說明葉片的水滴接觸角不影響葉片的燃油飛灰微粒殘留量。在試驗中發現降雨後葉片上以懸浮液滴於葉表乾燥後其痕跡依然存在。

表 4-17: 葉片的水滴接觸角與降雨後葉表燃油飛灰微粒殘留百分比間相關性分析。

植物種類	降雨後葉表燃油飛灰 微粒殘留百分比	接觸角 (°)	判定係數 (R^2)
杜 鵑	92.17	106.2	0.0283
白千層	74.32	66.66	
正 榕	74.33	90.7	
樟 樹	75.11	99.6	
月 橘	73.44	92.2	
鵝掌藤	63.50	102.7	
艷紫荊	77.00	146.9	



第五章 討論

(一) 葉面積測定之研究

1. 以掃瞄方式測定

本研究發現以 6 塊黑色色紙固定 25cm^2 經掃瞄器掃瞄所得到的面積其精確度非常的高，約達 98.24% 左右，而且只要掃瞄一次即可獲得所需的值，並且也可以同時放多數的葉片，掃瞄一次即可得到所有葉片的面積值。經測試不同的輸出解析度，結果皆可獲得相近的面積值，表示不影響精確度。此種掃瞄方法最大之好處是對精準且可一次完成，但必須將葉片採下來才可，是其缺點。

2. 以 LI-COR 葉面積儀測定

發現 LI-COR 葉面積儀測定 6 塊黑色色紙固定 25cm^2 所得到的面積精確度為 91% 左右，而此方法是以手拉測定葉片經感光而測得，會因人為的操作而影響每一次的測定值，不過在速度上存其優勢，且可不破壞葉片，是其優點。

3. 掃瞄方法及 LI-COR 葉面積測定實用性

本試驗比較二種葉面積的測定法，發現二種方法所測得的面積值有高達九成以上之精準度，不過採用成對 t test 之結果發現有顯著差異。但在實用性，以 LI-COR 葉面積儀比較好，因為可隨身攜帶，而且不需要摘下葉片即可測得葉面積值。LI-COR 葉面積儀是貴重儀器，會因手動而有人為誤差，本研究掃瞄法可有最精確之測值且可節省費用。

以掃瞄方法測定葉面積若於技術上再加改善及研究，如套用筆記型電腦及掃瞄器等利用數位影像功能，由拍照原理拍得葉面積的圖片，並且輸入電腦運算即可獲得所需的葉面積，而且也可以不一定要

摘取植物上的葉片才能求得葉面積，在技術上值得開發研究，且未來
可以不必摘取葉片亦能求得葉面積，在技術上甚值得開發研究。



(二) 乾濕葉片滯塵量的比較研究

1. 乾葉片滯塵量測定

13 種植物乾葉片滯塵的結果以龍柏的滯塵量為最大，其次木麻黃，羅漢松居第三，而福木葉片葉面積最大，但反而只有較小的滯塵量，此種結果與 Little (1977) 所報導微粒的沈降速率和葉面積成反比相吻合。其滯塵量原理符合圖 5-1，因為葉片面積很小並且又有不少的凹陷處可累積其滯塵量。另外杜鵑滯塵量也不可忽視，因杜鵑本身的葉片覆有絨毛，增加葉片截塵效率。一般粗糙而多絨毛的葉片具有較佳的截塵能力 (吳欽傳，1992；Little, 1977；Wedding *et al.*, 1975)，福木、鵝掌藤或黑板樹之類因表面無絨毛及加上光滑，使得滯塵量相對較少。

當風與微粒一起流動時微粒會隨著氣流的方向流動，並由於慣性作用使滯留在葉片的迎風處大於背風處並且會累積，此與王寶貫 (1995) 提到流體流經一個障礙物時速度愈大其慣性作用力也愈大之原理相同。故微粒受慣性作用力經過葉片時會沈積至迎風處，而針葉樹的葉片單位葉面積極小，且受到風場的影響，單位面積滯塵量變大，而闊葉樹的葉片雖葉表面很大，但由於受風場流動影響無法均勻沈降，整體的單位面積滯塵量乃變少，此些現象皆與 Rosinski & Nagamoto (1965) 所報導者相符，彼等認為大部份的微粒會累積在向風面的葉緣，而後新的一層微粒再累積於其上，其厚度會逐漸增加直到達成平衡為止。

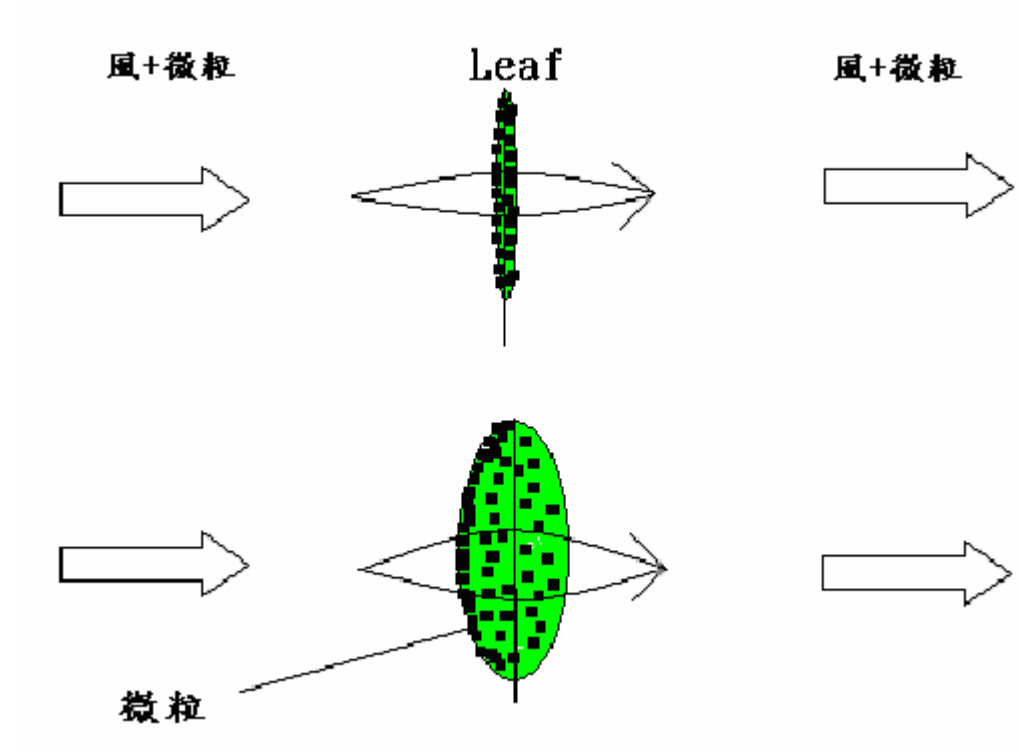


圖 5-1：揚塵箱內風及微粒流經葉片時葉片滯塵情形。

2. 濕葉片滯塵量測定

試驗發現當葉片噴濕時，正榕之葉片亦無法長期保溼在風速為 $0.5 \sim 0.7 \text{ m/sec}$ 情況下，葉片上的水分在試驗過程中很快為風所吹乾，此與正榕葉表本身的構造有關，即榕樹的表面具有蠟質（陳武揚，1996），故 5 種濕葉片之滯塵以正榕滯塵量最佳。

樟樹的葉片本身有波狀的形狀，故噴濕測定滯塵量，發現濕葉片為乾葉片的 2.56 倍，遠大於其他的 4 種葉片（表 4-3），此與 Little（1977）中所報告複雜的葉形可增加滯塵能力的現象一致。又因有樟樹葉片噴濕會有水膜形成。故其滯塵量一定大於乾葉片者。濕葉片的水膜因影響滯塵量甚鉅。

3. 乾濕葉片滯塵量之增幅

何綠萍（1992）報導樹葉蒙塵的方式有停著、附著和黏著三種，塵土在不同的植物葉片會有不同的吸附情形，一般的落塵幾乎為停著，具多毛的葉表面以附著居多，而黏著的則為葉片最佳滯留方式。本研究試驗可知葉片的表面起伏度及葉表的臘質都是滯塵的關鍵，另外濕潤狀況亦絕對的關連性，像榕樹的葉表具有臘質，較不易附著水份對滯塵能力有不利之影響。而愈不易乾燥的植物葉片甚滯塵能加會增，此與王嘉宏（1998）的研究濕潤葉片比乾燥葉片有較大的滯塵能力相吻合。

本試驗的結果可作為都市地區植栽設計的參考，植物對於操場、路面裸露地、崩塌地等，之塵土具滯塵效能，故在植栽的配置以龍柏、木麻黃、羅漢松、杜鵑等為最佳選擇。又植物在潮濕狀態皆可提高滯塵量，則都市公園的灑水應不容忽視。



(三) 乾濕枝條滯塵量的比較研究

由 6 種受測植物得知正榕、福木、楓香和月橘等四種植物的枝條滯塵量最大，而枝條直徑比艷紫荊及鵝掌藤小，直徑愈大者平均的枝條滯塵量會愈少。其原因與風場的壓緊作用（impaction）有關，壓緊作用主要受氣流的影響，當空氣流經某一阻礙物時，氣流會分道而行，但空氣中所含的微粒會因慣性作用而直線前進，直到撞擊到障礙物為止，故壓緊作用會特別的顯著。Chamberlain（1967）指出阻礙物在數公分或更小距離內會更顯著，此與本試驗結果似相符合。在水泥方面月橘及正榕有最大滯塵量原因可能系水泥的微粒比塵土重，而受測的枝條直徑也較小之故。

由枝條試驗得知楓香的枝條被噴濕後在受測區的風速（範圍約 0.5~0.7m/sec）下，不易被吹乾，故易增加滯塵量，而比乾枝條的滯塵量增加甚多。在正榕及鵝掌藤被沾濕後其滯塵量亦增幅不少，尤其鵝掌藤的枝條本身有凹處，塵土乃有沈積之增加。由乾濕枝條滯塵的試驗結果，可推斷枝條凹凸起伏的形態會影響，滯塵量又如正榕及楓香的枝條經噴濕後不易乾燥，故可增加滯塵。Little（1977）證實：塵埃在枝條的沈積速度（deposition velocity）通常比葉片上的快很多，因此認為樹木即使在沒有葉片的冬天仍有相當的滯塵能力。本試驗中發現乾枝條的滯塵量，正榕、福木、楓香和月橘等 4 種為較大者，故建議可造此 4 種做為校園植栽之樹種。

(四) 降雨淋洗葉表四種微粒之模擬

本研究已對七種植物探討人工模擬降雨對四種微粒之淋洗之成效，發現在艷紫荊、芋及苜蓿等 3 種植物上葉表塵土及水泥微粒經降雨淋洗後殘留百分比都低於 10% 以下（表 4-8 & 表 4-9），表示塵土及水泥微粒的淋洗效率甚高，推測塵土及水泥微粒只是在葉表面附著，故降雨水滴可帶走葉表上微粒。試驗中也觀察發現白千層葉片在降雨淋洗 1mm 後，塵土及水泥微粒會有滯留在葉表的絨毛上，故淋洗效率低。而樟樹及正榕葉片經降雨淋洗 1mm 後，塵土及水泥微粒會轉移至低處表示淋洗不完全。

以艷紫荊葉片對四種微粒之淋洗效率相比較，發現塵土及水泥微粒的淋洗效率大，而燃油及燃煤飛灰之微粒淋洗效率則甚低。推測燃油及燃煤飛灰之微粒多少附有油性，因為劇烈搖動懸浮液後以滴管吸取滴於葉片上時會發現有類似彩虹的反射。因有油性故會增加淋洗脫附的困難度。

以正榕植物為例，發現經降雨淋洗 1mm 後，塵土殘留百分比為 17.182%，水泥殘留為 34.208%，燃煤飛灰殘留為 67%，燃油飛灰殘留為 74%（表 4-8）顯示正榕植物受四種微粒淋洗效率大小為塵土 > 水泥 > 燃煤飛灰 > 燃油飛灰。

(五) 接觸角影響葉表微粒殘留之研究

1. 接觸角與葉表自淨能力相關性之探討

本試驗中發現艷紫荊、苜蓿及芋三種植物葉表面不但具有防水的功能，而且也不易沾水，故可達到自我洗淨的能力（表 4-8&表 4-9&圖 4-4）。而測定三種植物葉面的接觸角分別為 $146.9 \pm 5.2^\circ$ 、 $136.2 \pm 6.0^\circ$ 及 $159.0 \pm 1.0^\circ$ （表 4-7）。由此可知接觸角愈大者則愈不易沾水，表面自淨能力也更強，只要葉面稍微傾斜水珠就會受重力牽引而滑落，順便帶走葉表沾有的微粒，達到自淨能力，這種現象也就是符合 Barthlott W. 和 Neinhuis C. (1997) 在文中所提到的蓮花效應 (lotus effect)。

2. 水滴移除葉表塵土及水泥微粒之現象

如圖 4-4 所示：8 種植物葉片滴加 $20\mu\text{l}$ 水滴時，有艷紫荊、苜蓿及芋等 3 種沾有塵土及水泥微粒的植物葉片會立刻滑落，而正榕、大葉桉、鵝掌藤、杜鵑及月橘等 5 種植物葉片反而只會停留在原處，此些結果塵可由接觸角大小加以解釋，因接觸角與淋洗作用具有高度的相關性，不過到底需要幾度以上的接觸角才能造成水滴滑落，則尚未清楚。目前只能推測接觸角範圍在於 $116.7 \pm 6.2 \sim 136.2 \pm 6.0$ 度之間或以上就會具有大的淋洗效率。

3. 接觸角與乾濕葉片塵土滯塵量及濕葉片對乾葉片塵土滯塵量增加倍數的相關性

由表 4-11、表 4-12 及表 4-13 可知接觸角大小與乾濕葉片的塵土滯塵量以及濕葉片對乾葉片塵土滯塵量所增加的倍數皆不是正相關。推測立地植物的葉片滯塵量受到環境因子的影響較大，例如風速大小會影響葉片的滯塵，其葉表本身的構造亦會影響滯塵。

4. 接觸角與四種微粒淋洗殘留百分比的相關性

由表 4-14、表 4-15 及表 4-16 可得知，葉片的水滴接觸角對葉表塵土、水泥及燃煤飛灰微粒之淋洗殘留百分比具有相關性，表示雨滴滴至葉片上若接觸角愈大就會愈易帶走葉表殘留的微粒，然而對葉表燃油飛灰微粒之淋洗殘留則不呈相關性，推測係因燃油飛灰具有油膜，黏著力甚鉅，故不受接觸角大小之影響。

5. 蓮花效應的啟發

植物葉表最外層的皮層 (cuticle) 是接觸環境的第一線，也是第一線的保護層 (Dickinson 1960)，大氣中的微粒種類繁多，植物的葉表不可避免地需承受微粒的侵入或附著，在粗糙的葉表面，當微粒沈降後，一經大雨的淋洗就會自我洗淨，又恢復到原先乾淨的葉片。此一蓮花效應在防禦疾病、真菌、花粉、微生物和無機的微粒上扮演著一種重大的意義。很多陸生的植物及動物具有防水的表面及微結構的特性，構造上為疏水，這特別的表面提供了非常有效率的反吸附作用。依此特點人們乃可以更開發此種人工合成表面 (汽車表面、建築物的外表、雨衣外表等等) 作為無數的技術應用 (Barthlott W. & Neinhuis C., 1997)。

蓮花出淤泥而不染已為大家所知，經科學的研究已知是蓮葉表面構造為奈米 (nanometer) 結構，其疏水性奈米尺寸的纖毛，具有自淨的功能。而鯨魚及海豚的皮膚擁有奈米尺寸的孔洞，也有自潔的功能，不但可以此防止有害微生物的附著，也可以減少游行所產生的摩擦力 (徐世昌，2002)。從蓮葉的自潔功能的現象，我們可以依此探討生物的一些特性，如近來的「仿生學」旨意為效法自然，蓮花效應便是其中一項重大的例子，甚他如啄木鳥的腦殼有最緊密組織的抗震骨骼；

蜘蛛絲有五倍鋼鐵的硬度與延展性；墨魚的瞬間加速可以達到每小時 20 哩；蜂鳥飛行 600 哩旅程耗費不到十分之一盎司的能量；蝙蝠的回音定位促進了雷達的開發與改進；壁虎的腳可抵抗地心引力而不落下等等 (<http://www.bioweb.com.tw/>)，這些都是師法自然的應用。



第六章 結論

- (一) 量測葉片的葉面積，以電腦掃描器掃描葉片成圖檔，再利用圖片中的像素與程式軟體計算掃描後的葉面積值，發現此種方法可快速獲得精確的葉面積值，而且只要掃描一次可獲得多數葉片的葉面積。
- (二) 利用人工揚塵箱測試 13 種樹種葉片之滯塵效率，結果發現龍柏之滯塵效率（塵土）為最高、其次為木麻黃、羅漢松，最低則為福木。且在固定風向條件下懸浮微粒會依慣性作用而積聚葉緣地方，一般葉面積小之樹種滯塵量較葉面積大者為高，而一般經噴濕後滯塵量皆比乾者為大。
- (三) 測試 6 種植物乾及濕枝條之滯塵效率（塵土及水泥微粒）。結果顯示濕枝條的滯塵量一般皆比乾枝條多，且枝條在噴濕潤後不易乾燥者如正榕及楓香會具有較大的滯塵量。
- (四) 模擬降雨並量測 7 種植物葉表四種微粒之淋洗效率，結果發現除了艷紫荊葉表水泥比塵土微粒淋洗效率大之外，其他 6 種植物葉表各微粒之淋洗效率依次排列為塵土 > 水泥 > 燃煤飛灰 > 燃油飛灰。
- (五) 探討接觸角和降雨對葉表微粒淋洗效率間的相關性，結果發現 10 種葉片的水滴接觸角對葉表塵土之 R^2 為 0.6658，而與水泥間之 R^2 為 0.7668，而 7 種植物葉片的水滴接觸角對燃煤飛灰之 R^2 為 0.6117，此三項顯示呈現高度相關性。

第七章 引用文獻

- 王嘉宏。1998。綠化植物滯塵能力及耐塵性之研究。國立台灣大學園藝學研究所碩士論文。92 pp.
- 王寶貫。1995。雲物理學、渤海堂文化公司。382 pp.
- 王寶貫。2003。野馬與塵埃—大氣懸浮粒子。科學發展 370 期。pp. 66-69.
- 行政院環境保護署。1997。綠化樹種篩選之研究。行政院環境保護署。50pp.
- 行政院環境保護署。2002。空氣品質淨化區成果彙編。行政院環境保護署。144 pp.
- 吳欽傳。1992。綠化植物減輕大氣污染的效應。(馮采芹編)綠化環境效應研究。中國環境科學出版社。pp. 71-76.
- 何綠萍、劉耘、馮采芹。1992。城市綠地的防塵效應(馮采芹編)綠化環境效應研究。中國環境科學出版社。pp. 71-76.
- 林宛筠。2002。不同纖維方向的濾嘴對主流煙微粒收集效率之影響。國立台灣大學公共衛生學院職業醫學與工業衛生研究所碩士論文。
- 胡恩蕙。2004. 2. 21。天氣回暖 汗多了 沙塵暴來襲 臉易髒。民生報 A15 版。
- 段木干。1980。植物大辭典第一冊~第四冊。國立編譯館。
- 徐世昌。2002。蓮花的自潔功能與奈米科技的應用。科學發展 354 期。pp. 60-63.
- 孫岩章。1985。環境污染及破壞對植物之影響。科學農業 33：97-122.
- 孫岩章。1992。植物表面燃油火力電廠黑煙微粒之顯微鏡鑑定與 X 光微量分析。植物病理學會刊 1：196-202.
- 孫岩章。1993。大氣中重油燃燒黑煙之顯微鏡鑑定。中華民國環境保護學會會誌 第十六卷第一期。pp. 35-43.

- 孫岩章。2001。環境污染與公害鑑定（第二版）。科技圖書公司。
- 孫臆勛。2002。灰塵與雨水作用造成建築物外牆污染之研究—以表面粗度與角度因子探討之。國立成功大學建築研究所碩士論文。
- 張育森。1997。綠化樹種篩選之研究—綠化植物對都市落塵與懸浮微粒滯留及抗性之比較研究。行政院環境保護署。84 pp.
- 張育森。2003。都市地被植物之選擇與應用方式對改善空氣品質之影響。行政院環境保護署。132 pp.
- 郭漢良、陳大鵬、林秀美、殷延泉。2004. 2. 17。『沙』手天空 灰濛濛一片。民生報 A3 版。
- 陳佩伶、徐慈鴻、李貽華。2001。植物表面及不同來源之粒狀物形態觀察。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊第 108 號。pp. 1-8.
- 陳武揚。1996。植物葉表沈降性微粒之鑑定及植物對微粒之淨化化用。國立台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文。
- 勞工安全衛生研究報告。1994。氣膠肺部沈積模式之探討。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所。pp8-19.
- 路統信。1985。森林・環境・綠化。豐年出版社。254pp.
- 蔣美珍、劉嘉蓉。1992。西湖環境綠化對淨化二氧化硫和滯塵的效應。（馮采芹編）綠化環境效應研究。中國環境科學出版社。pp. 60-67.
- 劉宣良、許家銘。2003。口罩與過濾、科學發展 368 期。pp. 66-71.
- 劉權昇。2001。微觸印刷研究。國立台灣大學化學工程研究所碩士論文。
- 鄭武燦。2000。台灣植物圖鑑（上）（下）冊。茂昌圖書有限公司。
- 鄭福田、李俊章。1984。台北市粒狀空氣污染之研究、中國工程學刊 7（2）：81-99.
- 鄭福田、劉希平。2001。微粒導論。華泰文化事業公司。177 pp.
- 盧美英、潘介春。2003。枇杷葉面積測定方法的研究。福建果樹總第

124 期 pp. 1-3.

早川一也。1987。クリーンルーム スーパークリーンルームの理論と実際。株式会社。井上書院。pp. 20-21.

Adamson A. W. 1990 Physical Chemistry of Surfaces. Wiley, London.

Anderson, P. J. 1914 The effect of dust from cement mills on the setting of fruit. Plant World 17 : 57-68.

Bach, W. 1972 Atmospheric Pollution. McGraw-Hill, New York. p144.

Barthlott W., Neinhuis C., 1997 Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. Planta 202 : 1-8.

Carlson C.L., Adriano D.C. 1993 Environmental impacts of Coal Combustion Residues. J. Environ. Qual. Vol.22 : 227-243.

Chamberlain A. C. 1967 Deposition of particles to natural surfaces. In : Gregory, P.H. and Monteith, J.L. (eds.) Airborne Microbes 17th Symp. Soc.Gen.Microbiol.Cambridge University Press, London. pp.138-164.

de Gennes P. G. 1985 Wetting : statics and dynamics. Rev Mod Physics 57 : 827-863.

Dettre R.H., Johnson R.E. 1964 Contact angle hysteresis II. Contact angle measurements on rough surface. In : Fowkes F.M. (eds.) Contact Angle, Wettability and Adhesion. Advances in chemistryseries, vol 43. American Chemical Society, Washington, pp136-144.

Dharmendra K. G., Upendra N. R., Rudra D. T. and Masahiro I. 2002 Impacts of fly-ash on soil and plant responses. J. Plant Res 115 : 401-409.

- Dickinson S. 1960 The mechanical ability to breach the host barriers. In : Horsfall J.G. and Dimond A.E. (eds) Plant pathology an advances treatise. Academic Press, New York. pp203-232.
- Dwyer, J.E., McPherson, E.G., Schroeder, H.W. and Rowntree R. A. 1992 Assessing the benefits and costs of the urban forest. J. Arboric. 18 (5) : 227-234.
- Eller, B.M. 1977 Road dust induces increase of leaf temperature. Environ. Poll. 13 : 99-107.
- Farmer, A.M. 1993 The effects of dust on vegetation-a review. Environ. Poll. 79 : 63-75.
- Fennelly, P.F., 1975 Primary and secondary particulates as pollutants. J. Air Pollut. Control Assoc. 25 (7) : 697-704.
- Fennelly, P.F. 1979 The origins and influence of airborne particles. Phytopathology 69 : 998-1001.
- Ingold, C.T. 1971 Fungal Spores. Clarendon Press, Oxford. p302.
- John, W. 1993 The characteristics of environmental and laboratory generated aerosols. In : Willeke, K. and Baron, P. A. (eds.) Aerosol Measurement Principles, Techniques and Application. Van Nostrand Reinhold. New York. pp54-76.
- Krajickova, A. and Mejstrik. V. 1984 The effect of fly ash particles on the plugging of stomata. Environ. Pollut. 36 : 83-93.
- Lerman, S. L. and Darley, E. F. 1975 Particulates. Academic Press. New York. pp.141-158.
- Little, P. 1977 Depositoin of 2.75, 5.0 and 8.5 μm particles to plant and soil surface. Environ. Pollut. 12 : 293-305.

- McPherson, E. G, David J.N. and Rowan A.R. 1994 Chicago Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. USDA Forest Service. 202 pp.
- Myers D. 1991 Surfaces, Interfaces and Colloids : Principles and Applications. New York, N.Y. : VCH Publisher.
- Rosinki, J. and Nagamoto, C. T. 1965 Particle deposition on and reentrainment from coniferous trees, Part I : Experiments with trees. Kolloid Z. Z. Polym., 204 : 111-119.
- Smith, W. H. 1990 Air pollution and Forests. Springer-Verlag. New York. 618pp.
- Ulman, A. 1991 An Introduction to Ultrathin Organic Films. Academic Press. Boston. 442pp.
- Wedding, J. B., Carlson, R. W., Stukel, J. J. and Bazzaz, F. A. 1975 Aerosol deposition on plant leaves. Environ. Sci. Technol. 9 : 151-153.

葉面積測定

<http://vschool.scu.edu.tw/happy1/class/paper/paper5/pic.htm>

環保署網站 <http://www.epa.gov.tw>

人類呼吸系統構造 <http://www.iosh.gov.tw/data/f2/sp7-1.htm>

蓮花效應 http://nano.nchc.org.tw/dictionary/lotus_effect.php

造成空氣污染的兇手

http://earth911.gcc.ntu.edu.tw/html/knowledge/hurt_earth/airpopu.htm

華文生技網 <http://www.bioweb.com.tw/>