

行政院農業委員會林務局委託研究計畫 tfb-970510

期末報告

平地綠化樹種對空氣懸浮微粒和重金屬
的截留能力比較研究

**COMPARE THE ABILITY OF TREES TO INTERCEPT
AIR PARTICULATE AND HEAVY METAL**



主辦機關：行政院農業委員會林務局

執行機構：國立中興大學森林系

中 華 民 國 九 十 七 年 十 二 月

行政院農業委員會林務局委託研究計畫 tfb-970510

期末報告

平地綠化樹種對空氣懸浮微粒和重金屬的截留能力比較研究

**COMPARE THE ABILITY OF TREES TO INTERCEPT
AIR PARTICULATE AND HEAVY METAL**

計畫主持人：劉瓊霏

計畫參與人員：張湘華、伍珍曄、劉恩好

主辦機關：行政院農業委員會林務局

執行機構：國立中興大學森林系

目錄

中文摘要.....	3
英文摘要.....	4
壹、前言.....	5
貳、前人研究	
一、懸浮微粒的組成及成分來源.....	7
二、懸浮微粒及重金屬對人體健康的影響.....	8
三、綠化樹種截留懸浮微粒的原理及影響截留量的因素.....	9
四、葉片截留懸浮微粒的推估方式.....	12
參、材料方法	
一、試驗樹種.....	15
二、葉片採集.....	18
三、分析項目.....	18
(一)、懸浮微粒及重金屬截留量分析.....	20
(二)、葉內重金屬含量分析.....	22
(三)、文心路綠化樹種葉面積指數 (LAI)量測.....	22
(四)、文心路綠化樹種實際截留懸浮微粒及重金屬總量的估算.....	22
肆、結果與討論	
一、單位葉面積懸浮微粒及重金屬截留量.....	23
二、葉內重金屬含量.....	25
三、綠化樹種對懸浮微粒及重金屬實際截留量.....	30
伍、結論.....	32
陸、參考文獻.....	33
附錄一、期末審查意見回覆表.....	37

摘要

本試驗的目的為利用林務局推廣的綠化樹種中，篩選出截留空氣懸浮固體物以及重金屬較優良之樹種。採集地點為台中市文心南路，該地點車流量大，為台中市之交通樞紐，選用七種樹種作為試驗材料，分別為樟樹、烏柏、台灣欒樹、福木、大葉桃花心木、榕樹、以及小葉欖仁。測得的單位葉面積之懸浮固體截留量以福木最多為 $127.83 \mu\text{g cm}^{-2}$ ，烏柏的懸浮固體截留量最少，僅為 $6.65 \mu\text{g cm}^{-2}$ 。另外本試驗利用全反射 x-ray 螢光光譜儀檢測截留物中的成份，主要為 Fe、Zn、Pb、Ti 等，福木截留重金屬的能力仍為七種樹種之首，其 Fe、Zn、Pb、Ti 的單位面積截留量分別為 $1138.87 \text{ ng cm}^{-2}$ 、 96.52 ng cm^{-2} 、 11.7 ng cm^{-2} 、 49.37 ng cm^{-2} ，相對於烏柏的截留量則分別為 $193.33 \text{ ng cm}^{-2}$ 、 36.53 ng cm^{-2} 、 3.37 ng cm^{-2} 、 28.00 ng cm^{-2} ，顯示福木對空氣污染物的截留能力較其它六種樹種佳。

【關鍵字】 空氣污染、懸浮微粒、全反射 X-ray 螢光光譜儀

Abstract

The purpose of this study is to choose fine species which can intercept the air particles and heavy metals from Forestry Bureau's expanding tree species. The study site that we collected samples is on Wen Shin south road where the amount of cars is large and also the transportation pivot of Taichung city. We choose seven different kinds of species to be the materials for experiment, they are *Sapium sebiferum*, *Cinnamomum camphora*, *Swietenia macrophylla*, *Garcinia subelliptica*, *Koelreuteria formosana*, *Ficus microcarpa var. Microcarpa*, *Ficus microcarpa var. microcarpa*, *Terminalia mantaly* and *Terminalia mantaly*. In terms of the air pollutants intercepted on the canopy, *Garcinia subelliptica*'s amount is the most of all, it is $127.83 \mu\text{g cm}^{-2}$. In addition, *Sapium sebiferum* has the lowest interception, it is only $6.65 \mu\text{g cm}^{-2}$. Besides, we use the total reflection x-ray fluorescence spectrometer to measure the ingredient of the air pollutants, and we found that Fe, Zn, Pb, and Ti are the major elements in the samples. *Garcinia subelliptica* is still the most. Its unit area of collecting metal Fe, Zn, Pb, Ti are $1138.87 \text{ ng cm}^{-2}$, 96.52 ng cm^{-2} , 11.7 ng cm^{-2} , 49.37 ng cm^{-2} , respectively. But for the *Sapium sebiferum*, only $193.33 \text{ ng cm}^{-2}$, 36.53 ng cm^{-2} , 3.37 ng cm^{-2} and 28.00 ng cm^{-2} , respectively. Thus, *Garcinia subelliptica*'s ability to intercept the air pollutants is better than other six kinds of trees.

【keywords】 Air Pollution; Suspended Particulates;

Total Reflection X-ray Fluorescence Spectrometer

壹、前言

在過去四、五十年來，隨著社會及經濟的發展，使環境面臨或多或少的變遷及衝擊。由於地狹人稠的天然限制條件，以及各種經社活動急遽擴張下，使的污染源密度不斷提高，環境負荷日漸嚴重。環保署空氣品質監測年報 (2007)指出，空氣污染指標大於 100 之最大指標污染物，有 O₃ 及懸浮微粒兩種污染物，以 O₃ 占空氣品質不良日數 60.25% 最多，其次為懸浮微粒占 30.75%，且與其它污染物比較，1998 至 2007 年的大氣 NO₂ 及 CO 年平均濃度皆分別降低 21.74 及 31.25%，但 O₃ 及懸浮微粒卻分別上升 26.67 及 7.14%，顯示除了 O₃ 外，懸浮微粒為空氣中主要的污染物。若比較近 10 年來不同類型監測站的測值可發現，交通測站的懸浮微粒 10 年平均濃度皆最大，高達 70.3 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，其次為工業測站達 63 $\mu\text{g m}^{-3}$ 而公園測站只有 23.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，且交通及工業測站 2007 年的懸浮微粒年平均濃度只分別符合國家法規標準濃度 (小於 65 $\mu\text{g m}^{-3}$) 的 20 及 75%，然而各類型測站的 SO₂、NO₂ 及 CO 年平均濃度皆完全符合法規標準，而 99.8% 測站的 O₃ 年平均濃度也達到標準如表 1 所示 (環保署，2007)，顯示懸浮微粒應是目前極需改善的空氣污染物質且車輛及工業為懸浮微粒主要的污染源。

懸浮微粒可能是自然發生的 (如沙塵暴產生的無機砂塵、森林火災及火山爆發所產生的霾害)，也可能是人為的 (如汽機車及工廠燃燒石化燃料)。自然現象所產生的懸浮微粒可以在自然的生態平衡系統去除，而不會使污染物累積，但是，近年來由於人口遽增，大量工業化生產使得空氣中懸浮微粒質顯著地增加，不斷地排放到大氣中的懸浮微粒，已超過自然環境本身所能調節和自淨的能力，而危及到人類的健康及日常生活 (張育森，1997)。都會區的綠化樹種在改善都市生態環境品質上、維護都市生態系統穩定、促進都市永續發展中，發揮著難以取代的功能。一健康且管理良好的綠化栽植，能夠阻擋強風而減緩氣流擾動，且能調節氣溫 (Akbari and Konopacki, 2005)；減少大氣 CO₂ (McPherson, 1998)；吸收 O₃、SO₂ 與 NO₂ 等污染氣體 (McPherson and Simpson, 1998；Nowak et al., 2006)；及截留懸浮微粒 (Beckett et al., 1998；Nowak et al., 2006；Ajmone-Marsan et al., 2008) 等。因此，在高污染的臺灣都會中綠化植栽對減低大氣中污染氣體含量

有顯著貢獻外，對截留大氣的懸浮微粒可能也扮演著重要角色。

政府為改善都市生活品質，近年更加注重環境綠美化及擴建公園綠地。空氣污染的改善，除從生產技術及更新設備減少污染源外，綠化樹種的栽培亦扮演重要角色。因此本研究計畫的目標為經由實際量測值，推估 7 種林務局推廣的平地綠化樹種對懸浮微粒及重金屬的截留量，以作為選擇都會區綠化樹種的參考依據並可用於衡量綠化樹種對都市永續發展真正的貢獻。

表 1 2007 年各類型測站污染物濃度符合國家標準法規的百分比(環保署，2007)

	公園測站	背景測站	一般測站	工業測站	交通測站
站數	2	4	57	4	5
PM ₁₀ (%)【年平均 值小於 65 µg m ⁻³ 】	100	75	68.4	75	20
SO ₂ (%)【日平均值 <0.1 ppm】	100	100	100	100	100
NO ₂ (%)【小時平均 值<0.25 ppm】	100	100	100	100	100
CO(%)【八小時平 均值<9 ppm】	100	100	100	100	100
O ₃ (%)【八小時平 均值<0.06 ppm】	91.4	87.7	91.3	89.3	92.7

貳、前人研究

一、懸浮微粒的組成及成分來源

大氣中懸浮微粒的化學組成極為分歧，一般懸浮微粒內包含來自自然界的元素如 Si、Al、Fe、Na、Cl、K 等，及由人類活動釋放的重金屬元素如 Pb、Zn、Ti、Fe、Mn 等(Manahan, 1996)，如圖 1 所示。空氣污染微粒的不同來源，其成分組成也不相同，唐盛林及林國銓 (1995)收集觀音工業區附近植物葉面及葉背附著的懸浮微粒，並利用掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy, SEM) 觀察各種微粒的外表形態，初步將懸浮微粒分為黑煙粒子、鹽沫結晶類及泥砂粒子，並再配合 x 光微量分析儀 (Energy dispersive x ray microanalyzer, 簡稱 EDX) 分析各類別所含元素，以增進鑑別效果，結果顯示不完全燃燒產生的黑球形黑煙的主要成分為 C、Ca、Si、S，鹽沫結晶主要成分為 Na、Cl，而泥沙粒子主要成分為 Si、Ca、K、Al、Fe。徐慈鴻等(2003)探討台灣地區主要懸浮微粒形態及成分組成，研究結果為大多數工廠煙道樣品以高溫燃燒產生的黑煙類及不規則屑塊比例較高，其元素成分以 C、Si 為主，另包含 S、Al、Ca 等元素；汽機車排放的粒狀物形態為棉團狀的屑塊，其成分以 C 元素為主；鋼鐵、機械工廠之煙道有較高比例的金屬礫塊污染物，主要成分元素為 C、S，另包含 V、Ti 等元素，另外此篇研究也顯示不同性質之粒狀物與鄰近工廠污染源有關，例如水泥廠周邊植物葉表面之懸浮顆粒以 Ca 為主要元素之一，石化工業區周邊葉表面之懸浮顆粒以 C、O 元素為主，電鍍工廠周邊植物葉表面的金屬礫塊粒狀物含有 Cu、Ni 等金屬元素。因此，藉由懸浮微粒的 C、S 及重金屬成分分析可幫助辨識懸浮微粒來源，或者收集污染源周圍植物葉表面的懸浮微粒，也能幫助鑑定此污染源所產生的污染成分(如 N、S 氧化物及重金屬粒子等)。

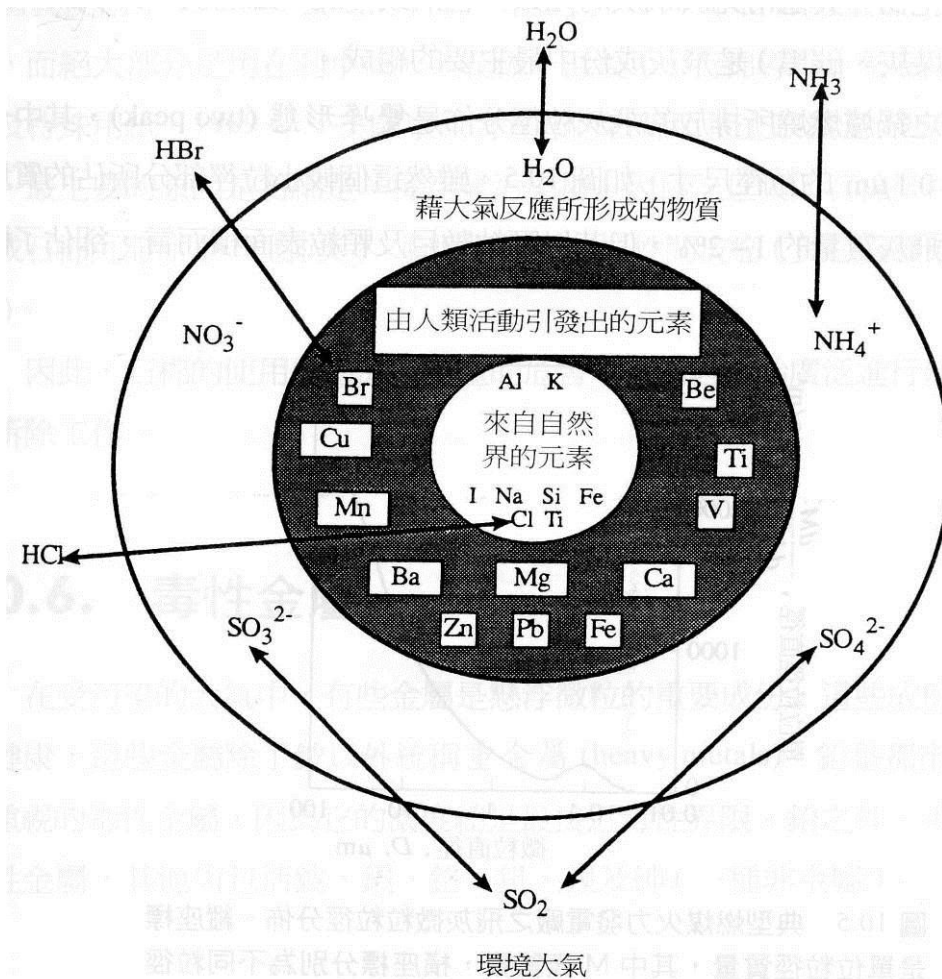


圖 1 一般懸浮微粒內元素的組成及來源(Manahan, 1996)

二、懸浮微粒及重金屬對人體健康的影響

空氣中的懸浮微粒對人體健康有相當嚴重的影響，滯留在鼻咽部和氣管的懸浮微粒，會與進入人體的二氧化硫等有毒氣體產生刺激和腐蝕黏膜的聯合作用，損傷黏膜、纖毛，引起發炎和增加呼吸道阻力。滯留在細支氣管和肺泡的懸浮微粒塵也會與二氧化氮等產生聯合作用傷害肺泡和黏膜，引起支氣管和肺部發炎，長期的持續作用，還會誘發慢性阻塞性肺部疾病並出現二次感染，導致肺心病死亡率增高(黃正義，1988)，除影響呼吸系統外，懸浮微粒亦能直接接觸皮膚和眼睛，阻塞皮膚的毛囊和汗腺，引起皮膚炎和眼結膜炎或造成角膜損傷(曲格平等，1984)。另外，波蘭學者研究發現，高度暴露在懸浮微粒的嬰兒，會導致頭部和身體的比例縮小(Edwards,1996)。

懸浮微粒在大氣污染物中有載體作用，黃正義及黃炯昌(1988)用掃描式電子顯微鏡發現懸浮微粒的顆粒表面能聚集Ni、Cr、Zn等重金屬元素，且在一定條件下能直接與血液、體液和組織器官接觸，產生毒性作用，此外，有些金屬如鉛以顆粒狀態存於大氣，可直接通過呼吸道進入人體，引發鉛中毒。

McMichael等(1985)指出鉛中毒會引發腹痛、貧血、急性腎衰竭及神經腦部病變，長期低濃度的環境鉛暴露，與一般人的高血壓、痛風、及慢性腎臟病或孩童智商不足及過動兒的發生密切相關；而Ti在人體累積量高也可能會導致慢性支氣管炎及肺部纖維化；Zn累積量過多則會導致貧血及免疫力受損等症狀，茲將重金屬及懸浮微粒對人體健康危害的症狀整理如表2。

表 2 懸浮微粒及重金屬對人體健康的影響

污染物	症狀
懸浮微粒	慢性支氣管炎、心律不整、心肌梗塞、嬰兒的頭及身體比例縮小
Ti	慢性支氣管炎、肺部纖維化及淋巴肉瘤增加
Fe	低血壓、肝功能異常、心衰竭、腎衰竭、休克
Zn	貧血、白血球稀少症、免疫力受損及體重減輕
Pb	腦病變、精神智能障礙，影響孩童發育及智商發展

三、綠化樹種截留懸浮微粒的原理及影響截留量的因素

綠化植物對空氣品質的改善效果，除了對 O₃、SO₂ 及 NO_x 等污染氣體的吸收能力外，其也有阻擋、吸附及過濾懸浮微粒的能力，若林木能有效攔截懸浮微粒，或許能降低懸浮微粒及其內含重金屬對人體健康的傷害。Smith (1984)認為懸浮微粒從大氣附著於植物表面有三種方式，分別為沉降作用 (sedimentation)、壓緊作用 (impaction)及沉積作用 (deposition)。粒徑大於 10 μm 的懸浮顆粒大多藉由重力作用沉降於葉表面，而壓緊作用主要是空氣流經某一阻礙時，氣流會分道而行，但空氣中所含的懸浮顆粒常因受重力作用仍直線前進，直到撞到障礙物而沉降為止，而沉積作用主要受雨水影響，當粒徑為 1-5μm 時，其壓緊作用效率很低，此時小雨滴可有效地協助吸附 5μm 以下的粒狀物，以便沉積於葉面上，但雨水也容易將葉表面吸附的粒狀物沖洗掉。

然而不同綠化樹種截留懸浮微粒的效果皆不相同，其主要取決於葉片型態結構、葉面粗糙程度、葉片角度、及樹冠大小及疏密度等因素。柴一新等 (2002)以 SEM 觀察不同截留能力樹種的葉表超顯微構造，發現截留能力最佳的銀中楊 (*Populus alba* × *berolinensis*)葉表面凹凸不平、有淺溝組織，下表面則密佈毛絨，同樣截留能力強的山桃稠李 (*Prunus maackii*)，葉表面密佈蜂窩狀的深溝組織，且可見裡面身藏許多粒狀物；截留粒狀物能力差的野梨 (*Pyrus triloba*)，上表皮無溝狀組織及纖毛，僅有疣狀突起，且表皮有一層蠟質(表 3)。因此，葉表凹凸不平及粗糙多絨毛通常能截留較大的懸浮微粒，如 Weeding 等 (1975)研究顯示，多毛向日葵 (*Helianthus annuus*)葉面截留粒狀物的能力是美國鵝掌楸 (*Liriodendron tulipifera*)蠟質葉的十倍。此外松柏類樹木，並能分泌樹脂及黏液，因此截留能力較強 (Fergusson et al., 1980)。

在葉片形狀影響方面，由於懸浮微粒先在葉尖及葉緣沉積 (因為此處的臨界曾氣流最不穩定) (Smith, 1984)，因此通常比較小的葉片或比較複雜的葉形往往有較佳截留懸浮微粒的效果 (Little, 1977)。植物對懸浮微粒的截留能力也與葉片量多少成正相關，冬天葉片量較少、甚至落葉，截留量低；夏天枝葉茂密，截留量大。有些植物，如垂葉榕 (*Ficus maclellandii*)雖然單位面積截留量不強，但總葉面積很大，故整株樹截留懸浮微粒能力佳，故仍屬優良防塵樹種 (胡羨聰，2007)。樹冠的層次越多 (即葉面積指數越高)，也可增進林木截留懸浮微粒，范基南及李奇倉(1996)為探討不同鄉土樹種對空氣中懸浮固體截留量，在其野外生

長之處，於樹下及樹外分別利用兩台空氣高速採樣器(High volume air sampler)採取空氣中的懸浮微粒，以此分別計算出該樹種落塵截留百分比，研究結果顯示不同樹種的落塵截留率與其葉面積指數(Leaf area index, LAI)呈顯著正相關，其 R^2 為 0.711 (圖 2)。

表 3 樹種葉表的特徵與截留懸浮微粒的能力 (柴一新, 2002)

懸浮微粒截留能力	樹種	葉表特徵
較強	銀葉楊 (<i>Populus alba</i> × <i>berolinensis</i>)	葉上表皮有淺溝組織，表面凹凸不平；下表皮有密佈的毛被
	山桃稠李 (<i>Prunus maackii</i>)	上下表皮無毛，都具有蜂窩狀的溝狀組織，並有一定的深度；對上表皮溝放大400倍，共見到98個表皮組織形成的溝
	忍冬 (<i>Lonicera maackii</i>)	表皮具有蜂窩狀的溝狀組織，放大400倍共見到77個表皮組織形成的溝
中	紫丁香 (<i>Syringa oblata</i>)	上表皮無毛，氣孔周圍有脊狀突起，成束狀不規則排列
	榆葉梅 (<i>Prunus triloba</i>)	上表皮具纖毛，放大40倍可見到18個獨立的纖毛，纖毛密佈整個葉片；且上表皮具有一定的淺溝
較弱	野梨 (<i>Pyrus ussuriensis</i>)	上表皮無纖毛無溝狀組織，僅有疣狀突起，且表皮有一層蠟質
	稠李 (<i>Prunus padus</i>)	上表皮無纖毛無溝狀組織，僅具疣狀突起且表皮無蠟質

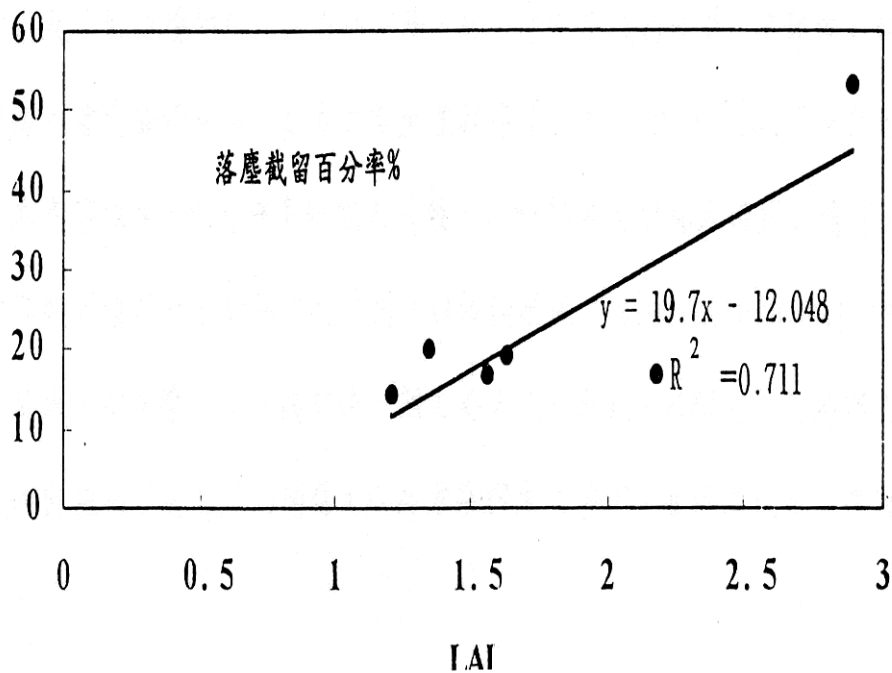


圖 2 葉面積指數與落塵截留百分率分析圖(范基南及李奇倉，1996)

此外，天氣狀況也會影響綠化樹種對懸浮微粒的截留能力。一般植物枝葉可減低風速，使懸浮固體物容易因重力而沉降下來，所以低風速對粒狀物的沉降作用有利，然而截留懸浮固體物的另一種壓縮作用，則在風速較大的情況有利，因此，風強度會影響粒狀物被葉片截留的方式。然而溼度高對懸浮微粒的沉降、壓緊及沉積作用均有促進的效果，因其可增加懸浮微粒的大小、重量及提高植物表面的吸收及滯留能力 (Smith, 1984)。因此，除了氣候因子影響外，依據林木葉片性質選擇對懸浮微粒截留效果佳的綠化樹種，對空氣品質改善有重要的作用。

四、葉片截留懸浮微粒的推估方式

Dochinger (1980)是早期研究林木對空氣中懸浮微粒的減低效果，彼等藉由野外監測城市內數棵樹木對懸浮微粒的攔截作用，進而推估到整個城市樹木對空氣中懸浮微粒的過濾量。這推論會被提出的質疑在於空氣污染物隨空間和時間的變異相當大而且林木的大小和種類在城市內變動也很大，因此為解釋這些變異，足夠大的樣本需要的。另一研究林木能夠降低多少都會區懸浮微粒的方法，是應用氣象和大氣化學的知識，結合林木的生物特性，使用模式以推估特定時間和

地點對空氣污染物的降低量 (Yang et.al, 2005 ; Nowak et al., 2006)。彼等的實驗結果，也驗證如上述，都會區的林木可以降低大量的懸浮微粒。使用模式也有會被提出質疑的地方，如其假設整個都會區的懸浮微粒濃度都是相同的，而且都會區林木一律有均質化的冠層，但實際上卻不然，如都會區的建築、區域的光化學反應、和氣象條件等，都會使都會區懸浮微粒的濃度因地制宜。另外，都會區林木的高度和冠層大小也變異很大，若單純以一片大葉子為參數來計算過濾的空氣汙染物量，是相當值得懷疑的。

由於林冠可以有效的截留懸浮微粒，在降雨時再由雨水沖洗而以穿落水及幹流水的形式落至地表，故可藉由濕沉降法即穿落水加上幹流水中的元素含量與雨水中的元素含量的差，來估算林木對空氣中不同離子的截留量。此法對於不被林木吸收及不會從葉片淋溶釋出的較不活潑離子如 Na、Cl 及 SO₄ 較適用，曾被多位研究人員加以應用且證實與直接監測的結果頗為相近(Linberg and Lovett,1992 ; Cape et.al,1998)，但卻不適用於 K、Ca、Mg 等截留量的推估，且懸浮微粒截留量的推估方面，需要足夠的降雨量才能將樹冠層截留的懸浮微粒完全淋洗釋出，因此許多實驗以直接收集葉表面懸浮微粒的方式，用來直接推估林木對懸浮微粒截留量(柴一新，2002；胡羨聰，2007；Farmer,1993；Free-Smith et al, 1997)，雖然此方式需要花費更多的人力及物力，但能更準確地評估不同綠化樹種對污染物的實際截留量。

參、材料及方法

一、試驗樹種

本試驗選擇台中市文心南路至文心路兩旁的7種行道樹為試驗對象，且選擇樹種皆為林務局平地綠化造林推廣林木，茲將這7種樹種的型態特徵簡介如下(劉等，1994)：

1.樟樹

學名：*Cinnamomum camphora*

別名：本章、香樟、油樟

樹型：常綠大喬木，呈圓形樹冠，
樹皮暗褐色，有縱裂

葉特徵：革質互生，卵形或橢圓形，
全緣，表面光滑

花特徵：雌雄同花，圓錐花序腋生於
枝頂端，花黃綠色

果特徵：漿果扁球形、成熟時由綠色
轉為黑紫色



2.烏柏

學名：*Sapium sebiferum*

別名：瓊仔

樹型：常綠大喬木，呈圓形樹冠

葉特徵：紙質互生，菱形，
全緣，表面光滑。

花特徵：圓錐花序，花序長5-10cm，
花黃色。

果特徵：朔果略球形



3.榕樹

學名：*Ficus microcarpa* var.
microcarpa

別名：正榕、烏松

樹型：常綠大喬木，幹多分枝

葉特徵：革質互生，葉橢圓或倒卵形，
全緣，表面平滑

果特徵：果球形，紅熟



4. 台灣欒樹

學名：*Koelreuteria formosana*

別名：苦楝舅、苦苓江

樹型：落葉喬木，平展傘形樹冠

酷似苦楝

葉特徵：二回羽狀複葉，小葉卵形

花特徵：夏末秋初開花，金黃色，

圓錐花序頂生。

果特徵：蒴果3室，囊狀膨大

，紅褐色。



5. 大葉桃花心木

學名：*Swietenia mahagoni*

樹型：喬木，呈圓形樹冠

葉特徵：偶數羽狀複葉，小葉斜卵形，先端漸尖

花特徵：夏季開花，花黃綠色，花瓣倒

卵形，雄蕊筒壺狀

果特徵：蒴果



6. 福木

學名：*Garcinia subelliptica*

別名：福樹

樹型：中喬木

葉特徵：葉長橢圓形，長約14cm

花特徵：花序穗狀，長約15cm，

萼片及花瓣5片

果特徵：果扁圓，黃熟，徑約4cm



7.小葉欖仁

學名：*Terminalia mantaly*

別名：非洲欖仁樹、細葉欖仁樹

樹型：落葉大喬木、冠幅傘形

葉特徵：葉片小，細密且單薄，提琴狀倒卵形，冬季落葉

花特徵：花期秋季，穗狀花序淡綠白色，花小而不顯著

果特徵：核果，長卵形，初為綠色，成熟時呈褐黑色



二、葉片採集

一般認為 15mm 的雨量就可以沖掉植物葉片上的粒狀物 (Wang et al., 2000)，因此為了避免降雨影響葉片的懸浮微粒截留量，每個月固定為降雨後的第 6 天採集葉片。每個試驗樹種分別選取 3 株樣木視為 3 重複，於每株樣木冠層東、西、南、北四個方向多點採集葉片，採樣高度為樹高 3-4 m 處，葉片採集後封存於乾淨塑膠袋內，並將採集的葉片帶回實驗室分析。

三、分析項目

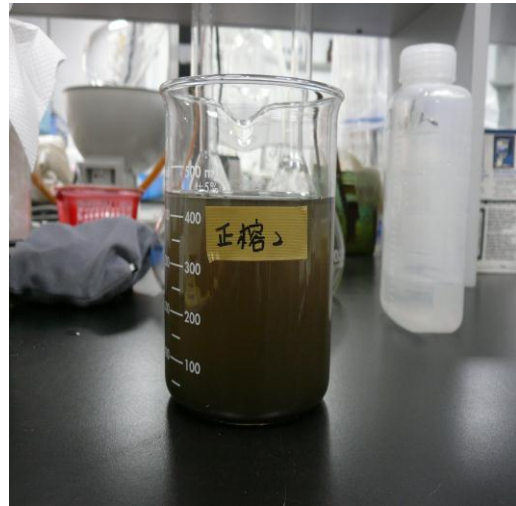
(一)、懸浮微粒及重金屬截留量分析

1. 懸浮微粒截留量

數算 200 片樣木葉片浸泡於去離子水中，以超音波震盪器震盪洗下葉片附著的懸浮微粒 90min，用鑷子將葉片小心夾出，並再用去離子水充分潤洗每片葉片，將懸浮微粒溶液定量至 500 ml 後，取 50 ml 懸浮微粒溶液用已烘乾秤重 (W1) 的濾紙 (Gelman-science GN-6 grid 0.45 μ m sterilized filter paper) 過濾，將濾紙以 105 $^{\circ}$ C 烘 1 小時，再以精密天平秤重 (W2)，兩次重量的差值，即為採集樣木上截留的懸浮微粒，其分析方式參考(石鳳，1990)的水質分析手冊，實驗流程如圖 3 所示。夾出的葉片晾乾後，用葉面積儀 (LAI-3000)測定總葉面積 (A)，而 (W2-W1)/A 即為單位葉面積的懸浮微粒截留量 (μ g cm $^{-2}$)。



A. 葉片浸泡於去離子水後，進行超音波震盪 90 分鐘



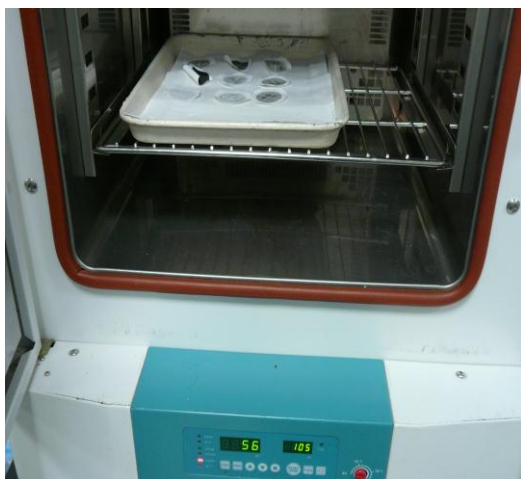
B. 取出葉片，燒杯內為富含懸浮微粒的溶液



C. 過濾懸浮微粒溶液



D. 取下濾膜



E. 濾膜以 105°C 烘 1 小時



F. 濾膜稱重，計算單位葉面積截留量

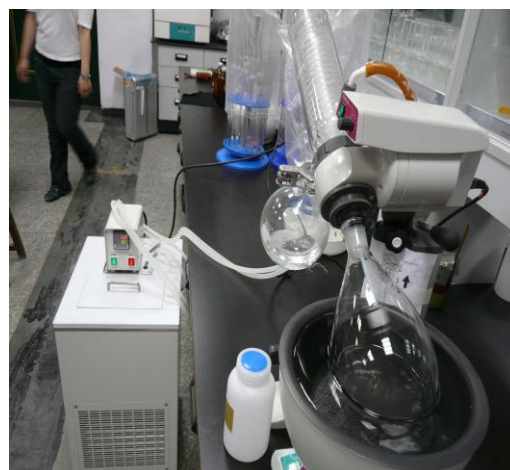
圖 3 懸浮微粒截留量分析流程圖

2. 重金屬截留量

將每株樣木的懸浮微粒溶液置於濃縮瓶內，以濃縮機去除大部分水分後，倒入 50 ml 的消化瓶內並將濃縮瓶內殘留的懸浮微粒以去離子水一齊洗入消化瓶內，將消化瓶置於消化板上，將溫度調整於 250°C，當消化瓶內大部份水分被蒸發後，再加入 HNO₃ : HF = 2:1 的消化液進行消化 4 小時，最後將消化液定量為 50 ml。取 0.5 ml 消化液並加入 0.5 ml Ga (1ppm) 以作為重金屬標準品，均勻混合後，取出 10 μl 滴於石英片上，以真空乾燥器抽乾水分後，利用全反射 X-ray 螢光光譜儀 (TX-2000, Italy) 分析樣本內的重金屬含量，其分析流程如圖 4 所示，測定方法修改自 (Wannaz et al, 2006) 之研究報告。



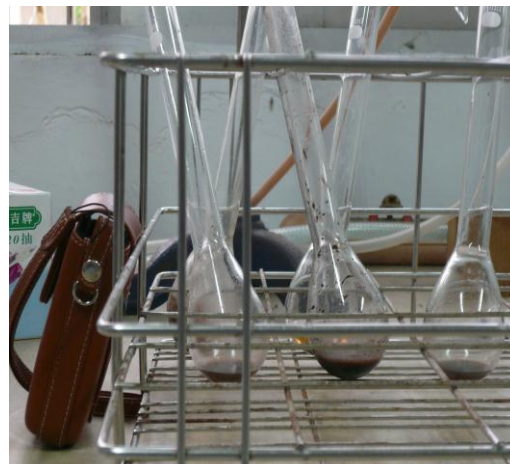
A. 以超音波震盪洗下葉表面的懸浮微粒



B. 濃縮去除大部分的水分



C. 濃縮液再以 250°C 加熱以蒸發殘餘水分

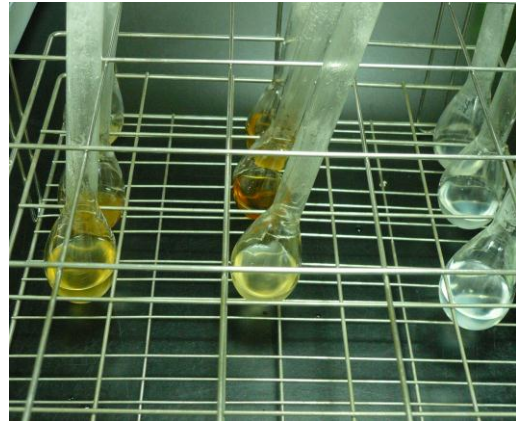


D. 蒸發至濃縮液只剩 10-20 ml

圖 4 重金屬截留量分析流程圖(一)



E. 加入消化液(HNO_3 : HF =2 : 1),
以 250°C 高溫進行消化



F. 溶液澄清即消化完全



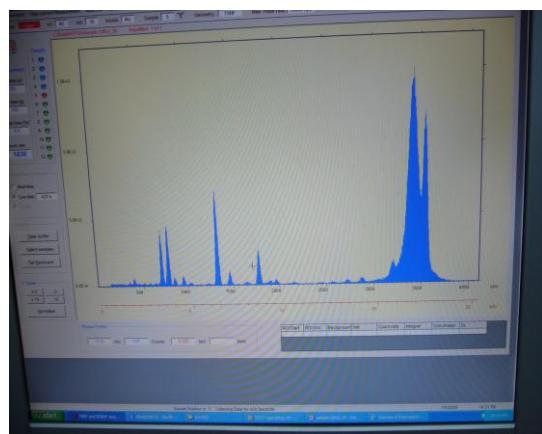
G. 過濾消化液並定量



H. 消化液及 Ga 均勻混合後滴於
石英片上



I. 利用全反射 X-ray 螢光光譜儀分析
重金屬濃度



J. 圖譜分析以計算單位葉面積的
重金屬截留量

圖 4 重金屬截留量分析流程圖(二)

(二)、葉內重金屬含量分析

將洗淨的葉片以70°C烘3天，取出並磨成粉末。稱取0.2 g葉片粉末，加入3.75 ml HCl及1.25 ml HNO₃進行消化後，定量至10 ml。取0.5 ml 消化液及作為重金屬標準品的0.5 ml Ga (1ppm)均勻混合後，再經由全反射X-ray螢光光譜儀(TX-2000, Italy)測出葉片內所含的重金屬種類及含量。

(三)、文心路綠化樹種葉面積指數 (LAI)和樹冠幅量測

本研究係使用 LI-COR LAI-2000 植冠分析儀在台中市文心南路路段，在清晨和傍晚於每株樣木冠層下東、西、南、北四個方向量測每株行道樹的 LAI。現在已有許多光學儀器可用以量測林冠的孔隙率(Decagon Sunfleck Ceptometer, LI-COR Quantum Sensor, LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer; Welles 1990)。其中 LI-COR LAI-2000 可說是近年來最常見的地面測量方式，而此儀器在台灣亦有多名研究人員有報告發表(Deblonde et al. 1994; Lindorth 2008; 林登秋等 1999；陳青香等 2007)。LI-COR LAI2000 Canopy Analyzer 為一攜帶式的儀器，由一個控制記錄器及一個魚眼的光感應鏡頭組成，鏡頭上的感應器可同時監測來自以 7°、23°、38°、53°及 68°為中心的五個角度的散射光所形成的影像，再用一濾光鏡限制所進來的光其波長在 490 nm 以下，以減少由綠色葉面所輻射出來的的光波。將在植冠上方及下方所測得之光照環境相比，可分別求得五個環所得影像的孔隙率(gap fraction)。該儀器所附之應用程式 C2000.EXE 可從孔隙率的資料，利用以下的方程式來求得葉面積指數(LI-COR 1992)。

$$LAI = -2 \sum_{i=1}^5 \ln(T(\theta_i)) \cos \theta_i W(\theta_i) \quad \text{公式一}$$

其中 θ_1 - θ_5 分別為 7°、23°、38°、53°及 68°。

LI-COR LAI-2000 之優點是它的移動性高，且儀器所附的程式可以快速的計算林冠的孔隙率及葉面積指數。而且對如坡地造成的遮蔽，在所附的程式中，提供相當具彈性的建議處理方法。因此本計畫將利用 LI-COR LAI-2000

Canopy Analyzer 測量葉面積指數。均質之天空狀態為使用 LAI-2000 之首要條件，若天空之陰晴狀態不均質，則可能在植冠上下方量測時，背景之光照條件不同，而使得在比對林冠上下方光照環境時，反應的不只是上下方的差異，也包含了背景光照環境之不同。因此該儀器附有 30°-270° 之遮蔽蓋，以使得儀器所感應之天空範圍中，光照環境盡量呈現均質狀態。遮蔽蓋也可用以避免不必要的物體如量測者及鐵塔等進入鏡頭內。

LAI-2000 在農作物的生長研究上，相當簡便。一個分析儀可以在量測植冠上方之光照環境後，立刻量測植冠下方之光照環境，以確保在量測植冠上下方時的天空狀況相同。也有許多研究人員將 LAI-2000 運用在森林的研究上(Gower and Norman, 1991; Hanan and Begue 1995; Lindorth et al. 2008)，由於針葉多成簇分布，不符讓儀器利用孔隙率計算葉面積指數時，假定葉子在植冠為隨機分布的條件，一些研究人員，致力於找出 LAI2000 運用在針葉林時，如何校正並已獲致不錯的結果(Smith et al. 1993; Stenberg 1996; Sampson et al. 2003)。

另樹冠幅部份，係利用 50 m 的捲尺，以樹幹中心為基準點，分別在樹種的四個垂直方位處以目視法進行檢測。

(四)、文心路綠化樹種實際截留懸浮微粒及重金屬總量的估算

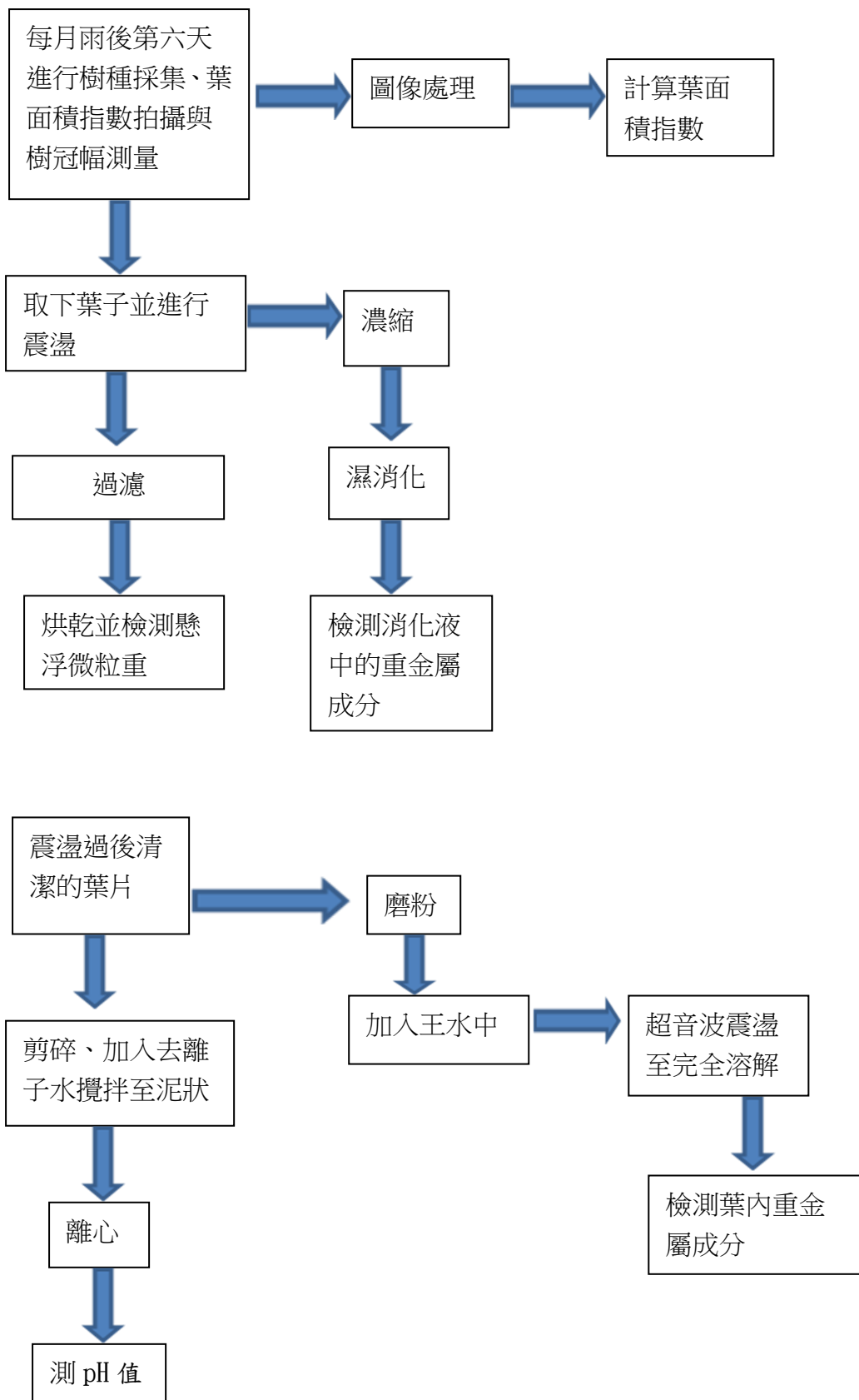
單株林木截留量估算主要利用單位葉面積截留的懸浮微粒及重金屬含量乘以樹冠福及葉面積指數求得，而綠化樹種實際截留懸浮微粒及重金屬的總量即為林木單株的截留量乘以文心南路至文心路兩旁的總樣木株樹而求得，以懸浮微粒為例估算方式如下：

單株林木懸浮微粒截留量 (g) = 單位葉面積懸浮微粒截留量 ($\mu\text{g cm}^{-2}$) \times

樹冠福(m^2) \times 葉面積指數 $\times 0.01$

總懸浮微粒截留量 (g) = 單株林木截留量(g) \times 總株樹

在估算單株林木重金屬截留量方面，只要將單位葉面積懸浮微粒截留量替換成單位葉面積重金屬截留量即可。



實驗流程圖

肆、結果與討論

一、單位葉面積懸浮微粒截留量

試驗分析結果為福木葉片單位面積截留的懸浮固體含量最高，達 127.82 $\mu\text{g cm}^{-2}$ ，而樟樹、台灣欒樹、大葉桃花心木、榕樹及小葉欖仁的單位面積平均截留量數值相差不多，均介於 10-21 $\mu\text{g cm}^{-2}$ 之間，唯樟樹的數值偏高為 21.95 $\mu\text{g cm}^{-2}$ ，最低是烏桕僅截留 6.65 $\mu\text{g cm}^{-2}$ (如表 4 所示)，由實驗結果可發現此三樹種單位葉面積對懸浮微粒的截留量有極大的差異。林木對懸浮微粒截留量的大小與葉片型態結構、粗糙度、著生角度及樹冠疏密度等都有相關，由於七種綠化樹種葉表面光滑且無覆蓋絨毛，因此葉面粗糙度不是導致樹種截留量顯著差異的原因。

張育森(1997)研究報告中指出環境中的懸浮微粒物停留在樹葉上的方式有停著、附著和黏著三種。「停著」是指固體微粒暫時落於葉片上，若風吹起，其就會被帶走，「附著」是指固體微粒是固著於葉片上的氣孔及絨毛上，需要較大的風雨才能將其帶走，「黏著」是指固體微粒受到葉面的黏性物質所黏附，即使在大風大雨情況下，也只有部份會被帶走，通常枝葉會分泌樹脂黏液者，其表現為黏著。由於福木葉片及枝條內含豐富的白色乳汁，當強風吹落葉片或折損枝條溢出的乳汁將會散佈布於葉表面，增加葉面對懸浮微粒的黏附力，且福木葉片上揚剛好可以承接因重力而落下的塵埃，又因葉面堅硬不易因風吹而搖動，故大部分的懸浮微粒都可被截留在葉面上。相對的，烏桕葉片薄而輕，且葉柄細長容易隨風搖曳，在搖晃的同時可能震落葉面上的懸浮微粒，且葉面下垂不易承接落下的塵埃，因此停著的懸浮微粒容易再次飄散於大氣中，故單位葉面積截留能力差，且菩提樹及楓香葉片平滑且枝條軟垂的特性也類似烏桕，因此張育森(1997)的研究報告也指出菩提樹及楓香對懸浮微粒的截留量為 17 種台灣常見的綠化樹種中最低。

此外，Simth (1984)認為葉間或葉緣、葉脈附近的氣流較不穩定，較有利於壓緊作用的進行，因此通常比較小的葉片(即葉緣周長和葉面積比值較大者)有較

佳的截留效果，且張育森(1997)以 SEM 觀察榕樹、茄苳及木棉等葉表面光滑的樹種，發現懸浮微粒大多沉降於葉緣，此現象與 Simth (1984)推論相符，但本次試驗平均葉面積較小的台灣欒樹及小葉欖仁其單位葉面積的截留量分別只為 13.88 及 16.10 $\mu\text{g cm}^{-2}$ (表 4)，顯示葉片大小不是影響單位葉面積截留量的主要因素。

然而，通常葉片越大，每片葉截留懸浮微粒的含量也較大，因此若將單位面積截留懸浮固體含量換算為每片葉截留懸浮微粒含量，則平均葉面積最大的福木，其單葉截留量仍最大，且顯著高於其他樹種達 4813.3 μg ，其次為大葉桃花心木 426.67 μg ，截留量最低者仍為烏柏 85 μg (表 4)。雖然樟樹單位葉面積截留量高於大葉桃花心木，但由於大葉條花心木的平均葉面積遠高於樟樹，約為樟樹的 4 倍，因此大葉桃花心木單葉的截留量會高於樟樹，顯示即使單位葉面積截留量較高，但若葉片較小仍會減低每個葉片對懸浮微粒的截留能力。

表 4 台中市文心路兩旁七種綠化樹種單位葉面積懸浮微粒截留量及每片葉截留量

樹種	平均葉面積 (cm^2)	單位面積的懸浮微粒截留量 ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	單葉懸浮微粒截留量 (μg)
烏柏	12.64 (0.35)	6.65 (1.46)	85 (30.41)
樟樹	10.38 (0.97)	21.95 (23.43)	235 (117.58)
台灣欒樹	7.91 (0.06)	13.88 (0.36)	110 (13.23)
福木	38.38 (12.75)	127.82 (334.09)	4813.3 (889.34)
大葉桃花心木	37.87 (67.03)	10.78 (1.88)	426.67 (213.85)
榕樹	9.56 (2.91)	12.15 (0.44)	118.33 (45.37)
小葉欖仁	4.57 (0.03)	16.10 (28.57)	75 (45.83)

註：括號為標準差

(二)單位葉面積重金屬截留量

本次試驗以全反射 X-ray 螢光光譜儀測定懸浮微粒內的重金屬含量，有別於一般使用的感應偶合電漿-原子發射光譜儀 (ICP-AES, U.S.A.)，全反射 X-ray 螢光光譜儀將能更方便及快速檢測廢水、石油、花粉、血液、樹皮等其他樣本內所含的重金屬種類及含量(Griesel, 2006)，因此本次試驗藉由全反射 X-ray 螢光光譜儀檢測可得知葉表面截留的懸浮微粒內大致含有 Ti、Mn、Fe、Ni、Zn、Sr、Pb 等重金屬元素且 Fe 元素含量特別多(如圖 5 及表 5 所示)，並以七種樹種截留的懸浮微粒內都含有的 Fe、Zn、Pb 及 Ti 含量為分析依據。

本次試驗選擇的試驗樹種為種植於文心路兩旁的行道樹，因此推測葉片截留的重金屬主要來自汽機車排放的廢氣、輪胎磨損及金屬車身及零件的剝落產生(徐西奎等，2007)，因而道路污染源主要會產生 Ti、Fe、Zn、Mn 及 Pb 等重金屬(Banerjee et al., 2003；Sezng et al.,2003)。

若探討不同樹種對重金屬的截留量，則可發現對懸浮微粒截留量最高的福木，對 Fe、Zn、Pb、Ti 等重金屬截留量仍為最高，而懸浮微粒截留量低的烏柏，對 Fe、Zn 及 Ti 等重金屬截留量最低(如表 5 所示)，進一步分析可得知單位葉面積懸浮微粒截留能力為福木>樟樹>小葉欖仁>台灣欒樹>榕樹>大葉桃花心木>烏柏，而單位葉面積重金屬截留能力為福木>大葉桃花心木>樟樹>小葉欖仁>台灣欒樹 \cong 榕樹>烏柏，分析結果顯示除了大葉條花心木外，其餘 6 種綠化樹種的懸浮微粒及重金屬截留能力的表現趨勢一致，其單位葉面積懸浮微粒截留量越高，重金屬截留量則越高，因此進一步分析七種綠化樹種截留的懸浮微粒內重金屬佔有的百分比(表 6)，則可發現除了大葉桃花心木外，其他六種樹種截留的懸浮微粒內的 Fe、Zn、Pb、Ti 等重金屬含量百分比分別只有 1.56~3.02%、0.11~0.61%、0.01~0.05%及 0.08~0.46%，而大葉桃花心木截留的懸浮微粒內的各重金屬含量百分比分別為 9.51%、1.32%、0.24%及 0.84%，顯示其 Fe、Zn、Pb、Ti 重金屬組成百分比約為其他樹種的 6.1~3.1 倍、12~2.2 倍、24~4.8 倍及 10.5~1.8 倍。

由於一般岩石風化所形成的砂礫及土壤顆粒內大部份的組成元素為 O、Si、Al、Ca、Mg，而 Zn、Pb、Ti 等人類來源的重金屬污染物只佔少部份，因此推測福木、樟樹、小葉欖仁、台灣欒樹、榕樹、烏柏等六種樹種截留的懸浮微粒主要來自地面揚塵或者汽機車排放的金屬氧化物與落塵的結合顆粒，因此林木對重金屬的截留量取決於對懸浮顆粒的截留能力。然而，汽機車及工廠排放污染廢氣內的懸浮顆粒粒徑大致小於 $2.5 \mu\text{m}$ (即為 fine particle)，此類懸浮微粒重量輕但重金屬含量比例高。由於大葉桃花心木的樣木位置位於台中市復興路及文心路的交叉口附近，此交叉口車流量大，且大葉桃花心木截留的懸浮微粒內重金屬含量百分比高 (表 6)，顯示大葉條花心木截留的懸浮微粒主要來自汽機車排放的廢氣。

人為活動產生的重金屬會釋放至大氣中，成為大氣氣溶膠系統的重要組成份，其本身可發生一系列連續的化學轉化作用，同時還能夠氧化眾多化學物質，另外一些重金屬還會催化大氣有機物質的光化學反應，產生次生大氣污染物 (胡星明等，2008)。重金屬不僅影響大氣中其他污染物的轉化作用，對人體健康也有莫大影響。大氣中的重金屬通過呼吸及皮膚吸收進入人體，從而直接影響人體健康，McMichael 等(1985)指出環境中高含量的 Pb 會累積在血液內，進而影響嬰兒及孩童的大腦及神經系統，產生智力及行為發展遲緩的現象。龍潭等(2002)研究發現，大氣中重金屬含量增加可導致高血壓及心臟病發病率上升。然而許多懸浮微粒內不但含有較多的重金屬污染物，且含有多種致癌的持久性有機污染物，其與重金屬的協同作用更產生很強的毒理作用，危害人體健康(Hou et al., 2006)，因此藉由綠化樹種截留重金屬不僅能改善空氣品質，更能有效增進人體健康。

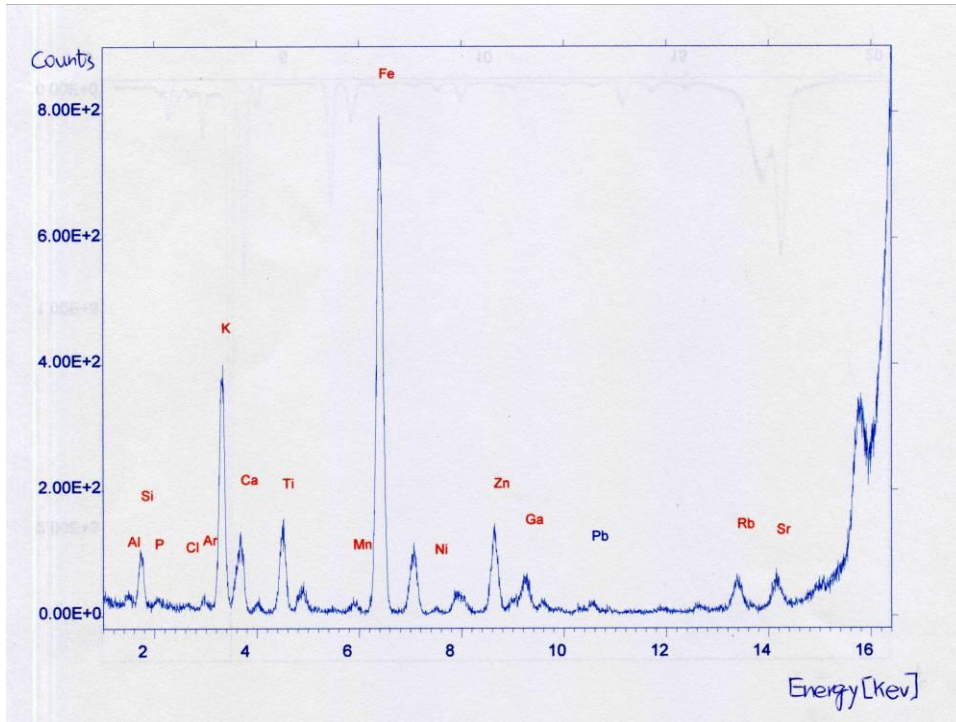


圖 5 樟樹葉片截留的懸浮微粒內的重金屬種類

表 5 台中市文心路兩旁七種綠化樹種單位葉面積重金屬截留量

樹種	Fe(ng cm^{-2})	Zn (ng cm^{-2})	Pb(ng cm^{-2})	Ti(ng cm^{-2})
烏柏	193.33	36.53	3.37	28.00
	(90.79)	(7.15)	(3.60)	(4.05)
樟樹	463.91	86.15	4.98	65.27
	(301.02)	(51.95)	(1.80)	(19.75)
台灣欒樹	371.45	32.87	3.00	29.56
	(56.08)	(16.61)	(0.14)	(5.96)
福木	1631.78	124.28	15.26	79.77
	(807.98)	(19.91)	(6.70)	(28.16)
大葉桃花心木	945.00	127.63	22.06	77.68
	(97.51)	(35.56)	(11.76)	(46.14)
榕樹	357.41	43.67	2.51	29.81
	(100.13)	(5.11)	(1.15)	(4.10)
小葉欖仁	689.85	59.36	3.82	34.06
	(81.10)	(8.52)	(2.65)	(5.77)

註：括號內為標準差

表 6 七種綠化樹種截留的懸浮微粒內重金屬佔有的百分比

	Fe(%)	Zn(%)	Pb (%)	Ti(%)
烏柏	3.02 (1.22)	0.61 (0.30)	0.05 (0.04)	0.46 (0.21)
樟樹	2.32 (1.05)	0.40 (0.11)	0.03 (0.02)	0.36 (0.26)
台灣欒樹	2.80 (0.46)	0.31 (0.11)	0.02 (0.00)	0.22 (0.05)
福木	1.56 (1.05)	0.11 (0.04)	0.01 (0.01)	0.08 (0.04)
大葉桃花心木	9.51 (3.90)	1.32 (0.75)	0.24 (0.19)	0.84 (0.70)
榕樹	3.01 (1.16)	0.36 (0.05)	0.02 (0.01)	0.25 (0.04)
小葉欖仁	5.28 (2.60)	0.44 (0.18)	0.03 (0.04)	0.27 (0.19)

註：括號內為標準差

二、葉內重金屬含量

由本次試驗結果顯示，葉片中的金屬含量仍以 Fe 最多，其次為 Zn 及 Pb，而 Ti 已無法從葉片偵測到（表 7）。然而，文心路兩旁七種綠化樹種葉片對 Ti 的截留量為 Pb 截留量的 4~10 倍，顯示林木對 Ti 重金屬元素的吸收量遠低於 Pb。

若比較不同樹種間葉內重金屬含量的差異可發現，單位葉面積對重金屬截量能力最佳的福木，葉內 Zn 及 Pb 含量也最多；單位葉面積重金屬截留量次佳的大葉桃花心木，葉內的 Zn 含量僅次於福木，而 Fe 含量甚至高於福木，為葉內 Fe 含量最多的樹種；單位葉面積重金屬截留量最低的烏柏，葉內 Fe、Zn 及 Pb 含量並非最低，反而高居第二位或第三位，顯示葉表面對重金屬的截留量不是影響葉內重金屬含量的主要因素。然而，烏柏截留的懸浮微粒內的重金屬百分比僅次於大葉桃花心木，推測懸浮微粒內的重金屬含量可能是影響葉內重金屬含量的重要原因，即重金屬百分比越大，重金屬元素可能越容易被林木吸收。

有部份研究顯示葉表面對重金屬吸收力較低，但其葉片中的重金屬含量較大的元素仍與空氣中的懸浮微粒成分相似，估計土壤中的主要重金屬粒子可能仍然是來自於空氣中懸浮微粒的直接沉降，落於地表直接滲入土壤，以及葉片枯落後葉片中的重金屬也可能有部分流入土壤中。

表 7 台中市文心路兩旁七種綠化樹種葉內的重金屬含量

樹種	Fe($\mu\text{g g}^{-1}$)	Zn($\mu\text{g g}^{-1}$)	Pb($\mu\text{g g}^{-1}$)
烏柏	304.63 (169.5)	83.97 (14.68)	4.78 (1.08)
樟樹	211.57 (23.51)	69.17 (22.89)	2.45 (1.71)
台灣欒樹	192.02 (12.88)	83.95 (16.57)	4.87 (1.68)
福木	260.65 (143.117)	99.97 (12.38)	7.2 (4.28)
大葉桃	467.28	87.32	1.47
花心木	(231.16)	(29.98)	(0.92)
榕樹	149.35 (40.96)	48.12 (13.93)	1.98 (1.65)
小葉欖仁	121.95 (85.18)	74.27 (57.82)	1.32 (1.55)

註：括號內為標準差

三、綠化樹種對懸浮微粒及重金屬實際截留量

(一)、懸浮微粒實際截留量

范基南(1996)研究發現，葉面積指數愈高，其截留之落塵百分比愈高。但表8中顯示出單株林木樹種的截留能力以小葉欖仁最佳，福木並不如預期。可能是由於文心南路上的福木大多以盆栽種植為主，高度以及樹冠幅都不如其他樹種好，故在總懸浮微粒量截留量方面並不如其他樹種。不過小葉欖仁的樹冠幅相較於其他樹種為廣，樹葉小而多，接觸面積較大，雖種植的數目不多，在單株林木懸浮微粒的截留能力上相較於接近數目的其他樹種而言相當不錯，也是值得多加種植的行道樹種。

總懸浮微粒截留量所顯示的是台中市文心南路的行道樹的截留現況。當初在規畫行道樹種時，以樟樹為主要種植樹種，故實際數目相當多，其總懸浮微粒截留量達13827.34 g。

表 8 台中市文心路兩旁七種綠化樹種對懸浮微粒實際截留量

樹種	LAI	平均樹冠幅 (m)	樹種總棵數 (棵)	單株林木 截留量 (g)	總懸浮微粒截留量 (g)
烏柏	2.09	2.30	18 (2%)	2.32	41.73
樟樹	1.84	3.28	948 (81%)	14.58	13827.34
台灣欖樹	1.86	2.46	13 (1%)	4.99	64.91
福木	2.14	0.70	17 (1%)	4.53	76.93
大葉桃花 心木	1.87	2.20	127 (11%)	3.22	408.45
榕樹	2.33	3.52	19 (2%)	11.12	211.28
小葉欖仁	2.38	4.46	24 (2%)	24.75	594.03

註：括號內為標準差

(二)、懸浮微粒內重金屬實際截留量

表 9 是台中市文心路兩旁七種綠化樹種的單株林木對重金屬的截留量比較，其中大葉桃花心木在懸浮微粒截留量低，但對重金屬截留量卻相當高。由於大葉桃花心木樣木位置接近兩條主要道路的交叉口，因此汽機車排放的 fine particle(粒徑小於 $2.5\mu\text{M}$)可能是主要的污染源，而導至其懸浮微粒內重金屬含量升高。

另單株福木截留懸浮微粒內重金屬量低於烏柏，其主要導因於福木所截留的懸浮微粒內重金屬百分比最低，顯示其葉片截留的高含量懸浮微粒有更大部份來自飛揚的塵土。

表 9 台中市文心路兩旁七種綠化樹種的單株林木對重金屬的截留量

樹種	LAI	平均樹冠幅(m)	Fe (mg)	Zn (mg)	Pb (mg)	Ti (mg)
烏柏	2.09 (0.18)	2.30 (0.15)	66.74 (32.93)	12.51 (2.17)	1.20 (1.31)	9.60 (1.23)
樟樹	1.84 (0.40)	3.28 (0.32)	292.36 (174.25)	55.85 (38.55)	3.03 (1.16)	39.51 (10.98)
台灣欒樹	1.86 (0.33)	2.46 (0.32)	123.87 (34.97)	13.00 (1.21)	1.05 (0.50)	9.75 (2.27)
福木	1.99 (0.47)	0.70 (0.13)	34.80 (8.45)	2.78 (0.35)	0.33 (0.06)	1.74 (0.15)
大葉桃花心木	1.87 (0.92)	2.20 (0.02)	201.95 (95.19)	25.89 (7.93)	4.13 (0.14)	14.25 (0.57)
榕樹	2.33 (0.35)	3.52 (1.00)	305.40 (77.29)	40.54 (21.61)	2.04 (0.52)	27.63 (14.64)
小葉欖仁	2.38 (0.33)	4.46 (0.37)	1017.74 (32.93)	88.23 (2.17)	5.59 (1.31)	50.05 (1.23)

註：括號內為標準差

伍、結論與建議

一、許多林木單位葉面積對重金屬截留量與懸浮微粒截留量的表現趨勢一

致，大致為：

福木 > 樟樹 > 小葉欖仁 > 台灣欒樹 > 榕樹 > 烏桕。

二、藉由懸浮微粒內佔有的重金屬百分比可以初步判定位於交叉路口的大

葉桃花心木最主要的污染源為汽機車廢氣。

三、影響單株林木截留懸浮微粒或重金屬的主要因素為樹冠幅，而對懸浮

微粒及重金屬截留能力最佳為小葉欖仁及樟樹，最差為烏桕及福木。

陸、參考文獻

- 方穎、張金池、王玉華 (2007) 南京市主要綠化樹種對大氣固體懸浮物淨化能力及規律研究。生態與農村環境學報 23(2): 36-40。
- 石鳳城 (2002) 水質分析與檢測。新文京開發出版有限公司 pp.115-117。
- 林登秋、林則桐、江智民、夏禹九、金恆鏞 (1999) 颱風對台灣東北部天然闊葉樹林林冠干擾之研究。中華林學季刊 32(1):67-78。
- 范基南、李奇倉 (1996) 鄉土樹種之落塵截留量及抗性比較。抗空氣污染之鄉土樹種及草種之篩選。
- 胡羨聰、殷愛華、吳小英、陸耀東 (2007) 珠三角地區城市園林綠帶滯塵樹種選擇。園林植物栽培應用 3: 44-46。
- 胡星明、王麗平、華建洪 (2008) 城市大氣重金屬污染分析。安徽農業科學 36(1): 302-303。
- 陳青香、林登秋、黃正良 (2007) 台灣中部蓮華池試驗林天然闊葉林與人工杉木林葉面積指數變動及其對初級生產力估算之影響。台灣林業科學 20(1):73-87。
- 唐盛林、林國銓 (1995) 觀音工業區空氣微粒之觀測及初步鑑定。林業試驗所研究報告季刊 10(2): 185-193。
- 柴一新、祝寧、韓煥金 (2002) 城市綠化樹種的滯塵效應-以哈爾濱市為例。應用生態學報 13(9): 1121-1126。
- 徐西奎、崔素萍、汪瀾 (2007) 城市道路重金屬污染及其防治技術。微量元素及健康研究 24(6): 61-64。
- 徐慈鴻、李貽華、陳佩伶、蔣慕鎔 (2003) 葉片表面不同粒狀物之形態類及成分分析 植物保護學會刊 45: 305-320。
- 張育森 (1997) 綠色植物對塵埃污染之淨化機能。科學農業 45(1):

33-40。

環保署 (2007) 空氣品質監測年報。行政院環保署 pp.74-75。

Akbari, H.S., Konopacki, S. (2005) Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* 33: 721-756.

Banerjee, D.K. (2003) Heavy metal levels and solid phase speciation in street dusts of Delhi, India. *Environmental Pollution* 123: 95-105.

Beckett, K. P., P. H. Freer-Smith and G. Taylor (1998) Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99: 347-360.

De Jesus Jr, W.C., Do Vale FXR, R.R Coelho., L.C.Costa (2001) Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. *Agronomy Journal* 93:989-991.

Dochinger, L.S. (1980) Interception of airborne particles by tree plantings. *Journal of Environmental Quality* 9: 265–268.

Griesel, S., R. Mundry, A. Kakuschke, S. Fonsara, U. Siebert and A. Prange (2006) Mineral elements and essential trace elements in blood of seals of the North Sea measured by total–reflection X-ray fluorescence analysis. *Spectrochimica Acta Part B* 61:1158-1165.

Hou, X. and G. Zhuang (2006) Characteristic and source of polycyclic aromatic hydrocarbons and fatty acids in PM_{2.5} aerosols in dust seasons in China. *Atmospheric Environment* 40: 3251-3262.

Lindroth, A., F. Lagergren, M. Aurel, B. Bjarnadottir, T. Christensen, E. Dellwik, A. Grelle, A. Ibrom, T. Johansson, H. Lankreijer, S. Launiainen, T. Laurila, M. Molder, E. Nikinmaa, K. Pilegaard, B.D. Sigurdsson, T. Versala (2008) Leaf area index is the principal scaling parameter for both gross photosynthesis and ecosystem respiration of Northern deciduous and

- coniferous forests. *Tellus B* 60(2):129-142.
- Little, P. (1997) Depositions of 2.75, 5.0 and 8.5 μ m particles to plants and soil surface. *Environmental Pollution* 12: 293-305.
- McMichael, A. J. P. A. Baghurt, E. F. Robertson, G. V. Vimpani and N. R. Wigg (1985) The port pirie study: blood lead concentration in early childhood. *Medicine Journal* 143: 499-503.
- McPherson, E.G. (1998) Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24:124-142.
- McPherson, E.G., Simpson, J.R., (1999) Carbon dioxide reduction through urban forestry: Guideline for professional and volunteer tree planters. Technical report, USDA, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- Nowak, D. J., D. E. Crane and J. C. Stevens (2006) Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening* 4:115-123.
- Sampson, D.A., T.J. Albaugh, K.H. Johnsen, H.L. Allen, S. J. Zarnoch (2003) Monthly leaf area index estimates from point-in-time measurements and needle phenology for *Pinus taeda*. *Canadian Journal of Forest Research* 33(12):2477-2490
- Sezign, N., H. K. Ozcan, G. Demir, S. Nemlioglu and C. Bayat (2003) determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environmental International* 29: 979-985.
- Smith, W. H. (1984) Pollution uptake by plants, In M. Treshow (Ed.) *Air Pollution and Plant Life*. pp.417-450. John Wiley and Sons. Ltd., New York.

- Smith, N.J., J.M. Chen, T.A. Black (1993) Effects of clumping on estimates of stand vegetation area index using the LI-COR LAI2000. *Canadian Journal of Forest Research* 23:1940-1943.
- Stenberg P. (1996) Correcting LAI-2000 estimates for the clumping of needles in shoots of conifers. *Agricultural and Forest Meteorology* 79(1-2):1-8.
- Wedding, J. B., R. W. Carlson, J. J. Stukel and F. A. Bazzaz (1975) Aerosol deposition on plant leaves. *Environmental Science Technology* 9: 151-153.
- Wannaz, E. D., H. A. Carreras, C. A. Perez and M. L. Pignata (2006) Assessments of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emissions sources in Argentina. *Science of the Total Environment* 361:267-278.
- Yang, J., J. McBride, J. Zhou, Z. Sun (2005) The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry and Urban Greening* 3: 65-78.

附錄一、期末審查意見回覆表

期末建議	回覆
郭委員幸榮	
1.各樹種的截留種類和及量受區域性污染源及樹種特性影響，二者如何分離以達到樹種比較之研究目的？	感謝委員的意見；本研究以台中市文心南路為試驗地點，該地點車流量大，為台中市之交通樞紐，故其區域性主要為污染源為交通，次為塵土飛揚。藉由懸浮微粒內重金屬百分比來分離以達到樹種比較之研究目的。
2.建議將 LAI 的估算法撰應寫清楚	感謝委員的指正；本研究係以 LI-COR LAI-2000 植冠分析儀量測 LAI，已在材料和方法中說明清楚。
李委員明仁	
1.本計畫選用樟樹、烏柏、台灣欒樹、福木、以及大葉桃花心木等五種林務局推廣的綠化樹種，在台中市交通要道測定各樹種單位葉面積對空氣懸浮微粒和重金屬之截留量，並分析比較其截留能力差異。	感謝委員對本計畫的肯定。
2. 本研究結果顯示，福木對空氣污染物的截留能力為最佳。	感謝委員對本計畫的肯定。
3. 本研究具實用價值，達到預期目標	感謝委員對本計畫用心的肯定。
4.建議：通過期末審查	感謝委員對本計畫的肯定。

廖委員天賜	
1.內容充實，已符合期末審查標準。	感謝委員對本計畫用心的肯定。
2.取樣地區微環境之懸浮微粒及重金屬含量與林木之截留關係為何？可否推估截留比率？季節是否有影響？	感謝委員的指正；懸浮微粒及重金屬的污染成份來源不同，一定會影響林木對這些污染物之截留量和截留比率，也會受季節變化的影響，但這些並非本計畫的研究重點。若未來繼續有關此方面的研究，當包含這些內容。