

國立台灣大學生農學院植物病理與微生物學系

碩士論文

Department of Plant Pathology and Microbiology

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

常見室內植物對苯之吸收及反應

Uptake of Benzene by Indoor Plants and Their Responses

to This Pollutant



楊玉婷

Yu-Ting Yang

指導教授：孫岩章 博士

Advisor: En-Jang Sun, Ph.D.

中華民國九十六年七月

July, 2007

誌謝

本論文的完成特別感謝恩師孫岩章教授的悉心指導與教誨，論文寫作期間總是耐心提供各種資訊，不厭其煩指點迷津，老師勤奮不倦向學的態度將永遠是我求學的榜樣。本論文初稿承蒙王亞男教授、林正忠教授、葉德銘教授百忙中詳加審閱逐字斧正，並撥空擔任口試委員提供專業的寶貴意見，在此致上最大感謝。

感謝洪挺軒老師隨時提供心情諮商，是我人生路途上的明燈。

感謝雨亭學長、及昉學長、翁維學長、彥宇學長對我的鼓勵與幫助，感謝戰友阿拍、穎俐、蓉萱、雅博、魁偉在論文寫作期間彼此分享心得、互相打氣，也感謝實驗室成員凱婷、宇威、勝志一路上的關心。

最後特別感謝加興在我碩士生涯帶給我豐富不凡的生活經驗，還有我的家人一直以來對我的包容與照顧。謝謝大家！

中文摘要

揮發性有機物質為室內重要的空氣汙染物，而苯是為致癌物，也是最常見的揮發性有機物質之一。本研究欲以苯為對象，篩選出對苯吸收能力較佳的室內植物，並了解不同環境因素，如光照及二氧化碳濃度等對苯吸收速率之影響。

本研究取十七種常見室內植物，在小型熏氣箱中以 25ppm 之苯進行熏氣，測量各種植物在 500 Lux 弱光下之沈降速率。結果顯示，綠帝王蔓綠絨與綠精靈合果芋之吸收效率最高，沈降速率分別為 0.14mm/sec 與 0.16mm/sec。若以科別為分類，則以天南星科、鐵角蕨科等科對苯有較高的吸收速率。

比較十七種植物在 5000 Lux 強光下與 500 Lux 弱光下之沈降速率差異，結果顯示強光可使十七種植物的氣孔導度增高，且在十七種中有十種植物在強光下的沈降速率比弱光下高，表示多數植物在強光下吸收汙染較多。而其中以黃金心葉蔓綠絨、紅邊椒草及綠帝王蔓綠絨之吸收速率為最高，沈降速率分別為 0.14mm/sec、0.14mm/sec 與 0.12mm/sec。若以科別為分類，則在強光下以胡椒科、天南星科等科對苯有較高的吸收速率。

另在 500 Lux 與 5000 Lux 兩種光照強度下，分別測試 300~400ppm、600~700ppm 兩種二氧化碳濃度下八種植物吸收苯之沈降速率，結果顯示，在低濃度的二氧化碳環境下，強光可使部分植物對苯的沈降速率提升，但在高濃度的二氧化碳下，強光會使大部分植物對苯的沈降速率顯著提升。而不論在強光或弱光下，高濃度的二氧化碳皆會降低植物對苯之沈降速率。

關鍵字：苯；二氧化碳；沈降速率；室內空氣汙染；植物淨汗

Summary

Volatile organic compounds(VOC) are major indoor air pollutants, especially in urban areas. Benzene is one of the VOCs that can be found everywhere, and is a carcinogen. The purpose of this research, therefore, is to screen the plants with higher absorption rate of benzene. The effects of light intensities and carbon dioxide concentrations on the benzene uptake by indoor plants are also studied.

Seventeen common indoor plants were exposed to 25 ppm of benzene 500 Lux light intensity in a 52-L fumigation chamber. Results show that *Philodendron* 'Imperial Green' and *Syngonium podophyllum* 'Pixie' have the highest uptake rate of benzene, with deposition velocities as 0.14mm/sec and 0.16mm/sec, respectively. In terms of plant classification the Araceae family and Aspleniaceae family show the higher uptake to benzene.

When these 17 plants were exposed to 25 ppm of benzene under strong light of 5000 Lux and weak light of 500 Lux, deposition velocities of 10 plants among them were raised due to higher light intensity. Results also show stomatal conductance of these 17 plants were increased by higher light intensity. Under high light, *Philodendron* 'Golden Pride', *Peperomia clusiifolia*, and *Philodendron* 'Imperial Green' have the highest deposition velocity, as 0.14mm/sec, 0.14mm/sec, and 0.12mm/sec, respectively. In terms of plant classification, the Piperaceae family and the Araceae family show the higher uptake of benzene.

Two levels of carbon dioxide as 300~400ppm and 600~700ppm, were applied to 8 plants during exposure to benzene under strong or weak light intensity. Results show that at level of 300~400ppm, deposition velocities of benzene by some plants were increased by higher light intensity, while at high CO₂ level of 600~700ppm, deposition

velocities of benzene by most plants were significantly increased by strong light. Under weak or strong light, however, the doubling of CO₂ significantly decrease the deposition velocity of benzene by all 8 plants.

Keywords: Benzene; Carbon dioxide; Deposition velocity; Indoor air pollutant;

Phytoremediation



目錄

口試委員會審定書.....	i
謝辭.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
第一章 前言.....	1
第二章 前人研究.....	3
一、揮發性有機物質之來源與危害.....	3
二、苯之特性及來源.....	4
三、苯對人體之影響.....	4
四、二氧化碳對植物之影響.....	5
五、利用植物淨化室內空氣污染.....	6
六、植物吸收揮發性有機物質之機制.....	8
第三章 材料與方法.....	10
一、供試植物之介紹.....	10
(一) 供試植物的種類.....	10
(二) 供試植物的栽培管理.....	15
(三) 供試植物的馴化.....	15

二、	室內外揮發性有機物質與苯之含量.....	16
(一)	監測設備.....	16
(二)	監測方法.....	16
三、	十七種室內植物對苯之吸收.....	16
(一)	熏氣系統之設計.....	16
(二)	量測方法與測試理論.....	18
四、	十七種室內植物在不同光強度下對苯之吸收.....	19
(一)	熏氣系統之設計.....	19
(二)	量測方法與測試理論.....	19
五、	八種室內植物在不同二氧化碳濃度下對苯之吸收.....	20
(一)	熏氣系統之設計.....	20
(二)	量測方法與流程.....	21
第四章	結果.....	26
一、	室內外揮發性有機物質與苯之含量.....	27
二、	十七種室內植物對苯之吸收.....	28
三、	十七種室內植物在不同光強度下對苯之吸收.....	35
四、	八種室內植物在不同二氧化碳濃度下對苯之吸收.....	40
第五章	討論.....	50
一、	室內外揮發性有機物質與苯之含量.....	50

二、	十七種室內植物對苯之吸收.....	51
三、	十七種室內植物在不同光強度下對苯之吸收.....	52
四、	八種室內植物在不同二氧化碳濃度下對苯之吸收.....	54
	參考文獻.....	55
	附錄.....	64



圖目錄

圖一、PP 材質熏氣箱，容積約 52 公升，附小型電風扇作為氣體攪拌之用.....	23
圖二、苯的產氣設備，苯液體由桶蓋上橡膠塞滴入，在濾紙上定量揮發為苯蒸氣，再以幫浦將氣體送出.....	24
圖三、二氧化碳小型水氣過濾裝置.....	25
圖四、葉綠素濃度（SPAD-502 reading）與十二種室內植物對苯沈降速率(Vd)之相關性分析.....	34
圖五、虎尾蘭在不同光照與不同二氧化碳濃度下對苯的沈降速率.....	46
圖六、粗肋草在不同光照與不同二氧化碳濃度下對苯的沈降速率.....	46
圖七、火鶴在不同光照與不同二氧化碳濃度下對苯的沈降速率.....	47
圖八、綠帝王蔓綠絨在不同光照與不同二氧化碳濃度下對苯的沈降速率.....	47
圖九、剛果蔓綠絨在不同光照與不同二氧化碳濃度下對苯的沈降速率.....	48
圖十、心葉蔓綠絨在不同光照與不同二氧化碳濃度下對苯的沈降速率.....	48
圖十一、黃金心葉蔓綠絨在不同光照與不同二氧化碳濃度下對苯的沈	

降速率.....49

圖十二、山蘇在不同光照與不同二氧化碳濃度下對苯的沈降速率.....49



表目錄

表一、室內空間及室外特定場所總揮發性有機物質與苯濃度之結果..27	
表二、十七種室內植物在 500Lux 光照強度下對苯的吸收結果.....30	
表三、常見室內不同科別十七種植物對苯沈降速率之比較.....32	
表四、常見室內十二種室內植物對苯的沈降速率及其與葉綠素含量之比較.....33	
表五、十七種室內植物在 5000Lux 光照強度下對苯的吸收.....36	
表六、常見室內十七種植物在 500Lux 和 5000Lux 光照強度下對苯吸收之比較.....37	
表七、常見室內十七種植物在不同光照下氣孔導度的比較.....38	
表八、不同科別室內植物對苯沈降速率之比較.....39	
表九、低濃度 300 至 400ppm 二氧化碳下強光對苯沈降速率的增加率.....42	
表十、高濃度 600~700ppm 二氧化碳下強光對苯沈降速率的提升率...43	
表十一、在弱光下高低二氧化碳濃度對植物吸收苯沈降速率的影響..44	
表十二、在強光下高低二氧化碳濃度對植物吸收苯之沈降速率的影響.....45	

第一章 前言

現代人花在室內環境的時間佔日常生活的 80~90%，室內空氣品質與人體健康的相關性已不容忽視，先進國家皆對室內空氣品質訂定標準，室內空氣污染的防治也成為一大課題。事實上，某些空氣污染物例如揮發性有機物質(Volatile organic compounds, 簡稱 VOC)等，在室內的濃度通常比在室外的濃度還高(Brown *et al.*, 1994)。在揮發性有機物質所含三百多種化合物之中，有些成分即使在低濃度的情況下，也可能對人體造成急性或慢性的危害，同時也是引起「病態建築症候群」(Sick Building Syndrome, SBS)的原因。

病態建築症候群是指當人處於較為封閉的建築物中時，所出現的頭痛、眼部、鼻或喉嚨皮膚的不適、嗜睡、噁心、注意力無法集中、易疲勞、易感冒、對氣味敏感等生理反應。而這些反應一旦在離開該建築物後即可獲得改善(EPA, 2007)。世界衛生組織(WHO)於 1982 年將「病態建築物症候群」定義為：「凡因建築物內空氣污染導致人體異常症狀，如神經毒性症狀(含眼，鼻，喉頭感到刺激等)，不好的味道，氣喘發作等。」此外，這些空氣污染物也可能成為心血管疾病及癌症的元兇(Orwell, 2006; Suh *et al.*, 2000)。

目前已有很多研究證實植物可以吸收各種氣態空氣污染物，包括硫化氫(H₂S)(Cope and Spedding, 1982; Tayler *et al.*, 1983)、氟化氫(HF)(孫, 1984; Sun and Su, 1985)、氨(Hutchinson *et al.*, 1972; Porter *et al.*, 1972; Van Hove *et al.*, 1989; Whitehead and Lockyer, 1987)、過氧硝酸乙烯酯(PAN)(呂, 1997)、二氧化氮(NO₂)、二氧化硫(SO₂)及臭氧(O₃)(Amiro *et al.*, 1984; Atkinson *et al.*, 1988; Black and Unsworth, 1979; Elkies and Ormrod, 1980; Elkies *et al.*, 1982; Garsed and Read, 1977; Hill, 1971; Okano and Totsuka, 1986; Rich *et al.*, 1970; Russell *et al.*, 1985; Sun, 1990; Srivastana *et al.*, 1975; Tayler and Tingey, 1983; Thomas and Hill, 1935)、甲醛(曹, 2001; 陳, 2006; Dingle *et al.*, 2000; Wood *et al.*, 2002)、苯(Wolverton, 1988; Collins *et al.*, 2000;

Cornejo *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 2007; Orwell *et al.*, 2004; Ugrehelidze *et al.*, 1996; Wood *et al.*, 2001; Yoo *et al.*, 2006)、甲苯(Cornejo *et al.*, 1999; Kempeneer *et al.* 2004; Ugrehelidze *et al.*, 1996; Yoo *et al.*, 2006)、正己烷(Wood *et al.*, 2001)等。

由於苯為致癌物，影響健康至鉅，故本研究希望能以苯作為揮發性有機物質的代表，以十七種的室內植物為對象，在小型熏氣系統中，進行常見室內植物對苯的吸收能力的評估。並探討植物吸收苯的效率，與葉綠素含量、光照強度、氣孔導度以及環境中二氧化碳濃度等之關聯性。除了希望篩選出對苯的吸收效果較佳的植物之外，也希望了解適合植物吸收苯的環境條件，而能應用以利用綠色植物淨化苯等揮發性有機物之污染。



第二章 前人研究

一、揮發性有機物質之來源與危害

揮發性有機物質(Volatile Organic Compounds, VOCs)，乃為自一系列化學物質所揮發出的氣體，這些化學物質之中，有些可能對人體健康造成急性或慢性的損害(EPA, 2007)。美國聯邦法典所列的六種標準污染物(PM₁₀及PM_{2.5}、臭氧、二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳和鉛)之外，尚有189種空氣污染物被視為有害空氣污染物(Hazardous Air Pollutants, HAPs)，而其中就有70%屬於揮發性有機物質。

揮發性有機物質的來源可來自於室外，如工業排放、汽機車等；室內可釋放出揮發性有機物質的物品也很多，一般家庭中可能來自於：顏料、油漆、蠟、清潔劑、殺蟲劑、建材、家具、消毒液、化妝品、去污劑；辦公室則有辦公事務用品的影印機、印表機、修正液等。這些物品除了在使用時會釋放揮發性有機物之外，即使在儲藏階段也可能會釋放出來。此外，抽菸與乾洗衣物等行為也會產生揮發性有機物質(行政院環保署，1994；EPA, 2007; Suh *et al.*, 2000)。

揮發性有機物質對人體的危害程度，依其種類不同而有很大的差異。整體來說，可能會造成眼睛、鼻子、喉嚨的刺激，或頭痛、失去協調性、噁心，或引起肝、腎、神經系統、染色體的損害。其中有些物質目前為已知或可能的致癌物質。其危害程度會受暴露劑量與暴露時間長短的影響，而目前對於室內揮發性有機物質的含量對人體健康造成的危害仍屬不完全清楚的狀態(EPA, 2007; Orwell *et al.*, 2004)。

相對於許多空氣污染物，有關總揮發性有機物質的濃度及暴露劑量安定標準相當少見(Suh *et al.*, 2000)，例如澳洲將之定為一小時平均 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日本為 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （日本厚生勞動省，2000），新加坡僅將甲苯訂於3ppm以下，而聯合國世界衛生組織的標準為八小時平均 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （蘇，2006）。目前我國環保署建議在

室內的揮發性有機物質濃度為 3ppm (1 小時內各測值之算術平均值或 1 小時累計採樣之測值) (行政院環保署, 1994)。

室內高濃度的揮發性有機物質, 多發生於重新裝修、油漆、新傢俱放置及清潔打蠟後的期間。有些揮發性有機物在室內空氣的含量為同種物質在室外含量的 2~5 倍(Suh *et al.*, 2000), 甚至到 7 倍(Brown *et al.*, 1994; Wood *et al.*, 2001)或 10 倍(Rehwagen *et al.*, 2003; Wood *et al.*, 2006), 在裝修、油漆過後, 其含量可能達到室外空氣背景值的 1000 倍之高 (行政院環保署, 1994)。

二、苯之特性及來源

苯 (benzene, 又名 Benzol、Carbon oil、Coal Naphtha、Cyclohexatriene), 為已知致癌物質(Collins *et al.*, 2000; Infante *et al.*, 1977; Johnson *et al.*, 2007; Wang, 1999), 分子式 C_6H_6 , 熔點 $5.5^{\circ}C$, 沸點 $80^{\circ}C$, 在常溫常壓下, 苯為透明無色具芳香味之液體, 易揮發, 微溶於水, 可作為良好有機溶劑。

在室內空氣中, 苯的排放主要來自於香煙、儲存的燃料、顏料、室內停車場或車庫。在工業用途上, 苯可做為溶劑溶解脂肪、蠟、樹脂、油脂、墨水、顏料、塑膠和橡膠, 並可用來萃取種子或核桃的油脂、做為印刷的顏料、工業界面活性劑、醫藥、染料。苯也是汽油的重要組成成份, 佔其體積的 6%。此外, 一般民眾暴露於苯的情況多半是在吸菸或吸二手菸, 或是家庭使用溶劑或汽油等情況 (Collins *et al.*, 2000; Suh *et al.*, 2000)。

三、苯對人體之影響

苯蒸氣對呼吸道、眼睛、皮膚會造成刺激。急性吸入時, 苯會影響神經系統, 導致困倦、暈眩、頭昏、心肌衰弱及協調功能減弱。高濃度則會降低判斷能力、

喪失平衡感、舒適感，可能導致耳鳴、知覺喪失及死亡。在慢性暴露下，苯會造成白、紅血球及血小板的形成受損，可能影響骨髓、引起白血球癌症，或者損害神經系統包括：聽力影響、長期頭痛、暈眩、昏厥、視力受損，平衡感降低等。重覆長期接觸會使皮膚發炎、呈乾燥鱗狀以及起泡，可能產生一級或二級灼傷。苯也可穿過胎盤於胎兒血液中出现，或引起女性月經不規則。高度暴露於苯的工作者的染色體會不正常(EPA, 2007; Wolverton *et al.*, 1989)。

目前我國勞委會將苯在勞工安全上的每日八小時容許濃度值訂為10ppm(孫, 2001)。苯的安全濃度目前仍未知。歐盟在2000年對於苯濃度的建議值為 $5 \mu \text{gm}^{-3}$ (Ballesta *et al.*, 2006)，而長時間暴露的濃度為 $1 \mu \text{gm}^{-3}$ 。英國規定空氣中苯的濃度不得超過平均每年5ppb($15.7 \mu \text{gm}^{-3}$) (Collins *et al.*, 2000)。澳洲將八小時容許濃度訂為5ppm (16mgm^{-3}) (Environment Australia, 2001)。中國大陸對於苯濃度的建議值為 $0.08 \mu \text{gm}^{-3}$ ，但有22.8%的室內採樣偵測的結果超過此一標準(Liu *et al.*, 2007)。



四、二氧化碳對植物之影響

二氧化碳在室內主要的來源是人體的呼吸作用和吸煙(Apte *et al.*, 2000)。

植物長期處於高濃度二氧化碳的環境下時，對植物的生長會有以下的影響：植物的光合作用會被促進，使其累積生物量增加；C3作物的產量會增加，但C4作物的產量影響不大；無論C3或C4的氣孔導度都會降低，但水分利用率會提升；對根系生長的促進作用大於對地上部之促進，但也會使葉片面積增加；對多年生植物的氣孔導度影響較小，但對生長的促進作用仍然很高。有時土壤微生物會受影響，通常可增加微生物的活性(Agrawal and Deepak, 2003; Kimball *et al.*, 2002; Lawlor, 1995; Lawlor and Mitchell, 1991; Wu *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2003)。對C4植物的生長促進作用在植物缺水時的影響較大，在植物水分充足時影響較小。

(Ghannoum *et al.*, 2000)。在組織培養或園藝栽培上，提高二氧化碳的濃度至大約 800ppm 可使植物達到最好的品質或產量(Da Silva *et al.*, 2006; Franco *et al.*, 2006)。

在短時間內暴露在高濃度二氧化碳環境下之植物，其氣孔導度也會有下降之趨勢(陳，2006)。

環保署對辦公大樓室內的二氧化碳濃度標準訂定為 1000ppm (連續 8 小時各測值之算術平均值或 8 小時累計採樣之測值)，而實際辦公大樓內二氧化碳濃度為 500~600ppm 之間 (蘇，2006)。

五、利用植物淨化室內空氣污染

室內空氣品質的提升可以透過三種方式來達成：控制污染源、設計通氣系統以排放汙染氣體、淨化空氣汙染物(EPA, 2007)。在生態上，利用植物淨化有機汙染物本為一經濟有效的方法(Collins *et al.*, 2006; Salt *et al.*, 1995; 1998)。除了透過根系從土壤吸收汙染物的研究之外，自 1935 年開始有學者著手探討植物對空氣中的汙染物質的吸收。Hill (1971)利用苜蓿(alfalfa)及燕麥(oat)對多種氣態汙染物的吸收速率進行研究，證實植物的確可吸收大氣中的 SO₂、NO₂、O₃、Cl₂ 等氣態汙染物。

有些種類的植物確實可以從空氣中吸收揮發性有機物質，某些一年生及多年生植物可以吸收氣態的烷類、環己烷、單環或多環芳香碳氫化合物、酚以及殺蟲劑，且植物主要是經由葉片吸收揮發性有機物質中的苯與甲苯(Ugrekheldze *et al.*, 1996)。花旗松(douglas fir)和大豆的葉片可吸收甲苯(Jen *et al.*, 1995; Keymeulen *et al.*, 1993; 1995)。楓(maple)、沙棗(elaeagnus)、蘋果(apple)和葡萄(vine)都可以吸收苯(Ugrekheldze *et al.*, 1996)。黑莓(blackberry)、瓜類(cucumber)等作物也可以從空氣中吸收苯，而苯除了會在這三類作物的果實中累積，也可在蘋果、黑莓的葉片中測得苯的存在(Collins *et al.*, 2000)。

但生活型態的改變，使得改善室內空氣品質的需求更加迫切。1980 年代後期

起，美國航空暨太空總署為了提升未來在太空站或月球基地的生活品質，和美國景觀工程協會共同進行研究，希望能建立起一個包含人類、植物、微生物、土壤的封閉生態系統。接著在一系列的研究中證實許多植物可移除室內的許多有害氣體，其中可吸收苯的室內植物有：鋤葉蔓綠絨(*Philodendron domestica*)、非洲菊(*Gerbera jamesonii*)、菊花(*Chrysanthemum morifolium*)、白鶴芋(*Spathiphyllum* sp. 'Mauna Loa')、竹蕉(*Dracaena deremensis* var. *Warneckeii* 以及 *D. deremensis* var. *Janet Craig*)、紅邊竹蕉(*D. marginata*)、常春藤(*Hedera helix*)、虎尾蘭(*Sansevieria taurentli*)、粗肋草(*Aglaonema* 'Silver Queen') 等，而雪佛里椰子(*Chamaedorea seifritzii*)、波士頓腎蕨(*Nephrolepis exaltata*)、羅比親王海棗(*Phoenix roebelenii*)等植物也可移除甲醛(Wolverton *et al.*, 1988; 1989; Wolverton and Wolverton, 1993)。

此後開始有更多室內植物移除室內的揮發性有機物及苯之研究。常見的室內植物如大花天竺葵(*Pelargonium domesticum*)、橡膠樹(*Ficus elastica*)、吊蘭(*Chlorophytum comosum*)、長壽花(*Kalanchoe blossfeldiana*)都可以吸收苯和正戊烷(Pentane)，而吊蘭還可吸收三氯乙烯(trichloroethylene, TCE) (Cornejo *et al.*, 1999)。Wood 等人在 2002 年利用澳洲椰子(*Howea forsteriana*) (Kentia Palm)、白鶴芋(*Spathiphyllum wallisii* var. 'Petite') (Peace Lily)、竹蕉(*D. deremensis* var. *Janet Craig*) 進行室內植物吸收室內揮發性有機物質的實驗，結果證實可吸收苯及正己烷。Wood 等人(2002)認為，栽培介質可以迅速的吸收揮發性有機物質，而植物扮演的角色主要在於維持根圈微生物的活性。室內空氣中的甲苯也可被杜鵑(*Azalea indica*)移除(Kempeneer, 2004)。Orwell 等人(2004, 2006)利用澳洲椰子、白鶴芋、竹蕉、紅邊竹蕉、黃金葛(*Epipremnum aureum*) (Devil's Ivy)、鵝掌藤(*Schefflera actinophylla* var. *Amate*) (Queensland Umbrella Tree)等室內植物對苯及揮發性有機物質進行實驗室與辦公大樓的吸收實驗，結果認為植物與根圈土壤微生物整體的微生態系統(potted-plant microcosm)可以吸收氣態的苯，並可作為一經濟有效、可自我調節、易於維持的生物復育系統(bioremediation system)。Liu 等人(2007)從 73 種觀賞植物

中選出對苯的吸收效果最佳的 10 種植物分別為翡翠木(*Crassula portulacea*)、繡球花(*Hydrangea macrophylla*)、東亞蘭(*Cymbidium Golden* var. Elf)、傅園榕(*Ficus microcarpa* var. fuyuensis)、菊花(*Dendranthema morifolium*)、佛手柑(*Citrus medica* var. *sarcodactylis*)、夏雪黛粉葉(*Dieffenbachia amoena* ‘Tropic Snow’)、白鶴芋(*Spathiphyllum* ‘Supreme’)、波士頓腎蕨(*Nephrolepis exaltata* ‘Bostoniensis’)、竹蕉(*D. deremensis* ‘Variegata’)。而在常春藤、白鶴芋(*S. wallisii*)、合果芋(*Syngonium podophyllum* Schott.) (nepthytis)和菱葉藤(*Cissus rhombifolia* Vahl.) (grape ivy)之中，常春藤對苯及甲苯的吸收效果最好，而白鶴芋、合果芋無論對苯或甲苯的吸收效果都比菱葉藤好(Yoo *et al.*, 2006)。

六、植物吸收揮發性有機物質之機制

外來物質進入植物葉片有兩種方式，一是靠擴散方式經由氣孔進入，一是經由表皮進入(Jen *et al.*, 1995; Ugrekhelidze *et al.*, 1996; Collins *et al.*, 2006)。

影響植物吸收揮發性有機物質的因素很多，如不同植物種類對有害氣體的吸收模式與能力不同(Collins *et al.*, 2000; Cornejo *et al.*, 1999; Keymeulen *et al.*, 1993)。葉片氣孔分佈也會影響吸收效率，如楓樹和蘋果葉片下表面的氣孔可以吸收苯與甲苯，而葡萄的葉子無論正面或背面都可以吸收這兩種氣體，但氣孔較多的一面的吸收率較大(Ugrekhelidze *et al.*, 1996)。葉齡的高低也會影響葉片吸收氣態的碳氫化合物，年輕的葉子吸收速率較佳。氣體或揮發性物質雖然主要經由氣孔進入植物葉片之中，但葉片的上表面也可吸收這些物質，顯示葉片的角質層不足以阻擋這些芳香類碳氫化合物(Korte *et al.*, 2002)。這可能是因為隨著葉片老化，表面的角質層也會逐漸增厚，故相較之下，年輕的葉片更易於吸收氣態碳氫化合物(Ugrekhelidze *et al.*, 1996)。而葉片面積大小也是影響植物從葉片吸收有機物質的關鍵(Collins *et al.*, 2000; Simonich and Hites, 1996)。

高等植物無論從根或葉片吸收有機物質之後，會進入不同的生理機制將其代謝掉(Korte *et al.*, 2002)。苯在進入植物葉片之後，芳香環會水解，接著植物細胞可將碳原子轉換為非揮發性的有機酸類，少部分則轉變為胺基酸。一項標定實驗中證實，苯被葉片吸收之後，主要分布於葉綠體與細胞質之中。而完整的菠菜葉綠體可將苯氧化，此一過程在光照環境下比在黑暗強烈(Ugrekheldze *et al.*, 1996)。

在空氣中的有機物質除了可由植物葉片吸收之外，另有一說法為主要是由栽培介質所吸收，如吊蘭可吸收甲醛，但在摘除 50%~100%的葉片之後，其吸收率反而提升(Godish *et al.*, 1989)。但事實上，植物可維持根圈微生物之生態(Orwell *et al.*, 2004; Wood *et al.*, 2002)，甚至具有促進根圈微生物分解有機化合物的能力(Salt *et al.*, 1995; 1998)，因此在室內，觀賞植物以及其根系的土壤微生物可做為一移除揮發性有機物質的系統，做為空氣品質淨化之設備(孫，1999；孫和曹，2006；Orwell *et al.*, 2004; Wolverton Environmental Services, 2007)。



第三章 材料和方法

一、供試植物之介紹

(一) 供試植物的種類

1. 虎尾蘭

學名：*Sansevieria trifasciata* 'Laurentii' 黃邊虎尾蘭

虎尾蘭為龍舌蘭科 (Agavaceae) 虎尾蘭屬 (*Sansevieria*) 的觀葉植物，是一種耐力極為堅忍的植物，在極惡劣的環境下亦可殘存，對栽培環境要求不多。喜好溫暖環境，耐旱性高，在全陽下至戶外或室內陰暗角落均可生存，但在 1000~3000 呎燭光的光度最適生長。虎尾蘭為多年生草本植物，具有多肉質的葉片及短而厚實的地下根莖，葉片多直立生長，呈薄肉質、全緣、略扭曲，葉面佈有橫向帶斑類似虎尾。黃邊虎尾蘭係一栽培種，葉緣鑲有一寬邊金黃色帶斑，較虎尾蘭更具有觀賞性。

2. 粗肋草 (Chinese evergreen)

學名：*Aglaonema* 'Silver Queen' 銀后粗肋草

粗肋草為天南星科 (Araceae) 粗肋草屬 (*Aglaonema*) 的多年生常綠性草本植物，約有 50 餘種，原產於熱帶亞洲地區，喜好溫暖，耐寒力較弱。有些品種具有地下根莖，會萌蘖而生出分株，根系粗短僅分佈於土表附近。雌雄同株異花，佛焰花序。生長速率中等，耐陰性強，耐寒力不佳。本試驗採用銀后粗肋草，為市面常見之品種，葉面幾乎被銀灰色斑塊覆蓋，僅葉緣及羽狀側脈稀疏分佈 4~5 條綠色極細之斑條，葉背呈灰綠色，葉柄亦呈灰綠色。葉形狹窄，葉身長約 22 公分，寬約 3~5 公分。

3. 火鶴 (Flamings flower)

學名：*Anthurium scherzerianum*

火鶴為天南星科花燭屬 (*Anthurium*) 多年生草本植物，具有縮短莖，直立性，葉片呈卵橢圓至卵披針形，長可達 20 公分，寬 5 公分，全緣、濃綠平滑、革質、葉基鈍、葉端銳，中肋較明顯呈淺綠色。葉柄細長挺立，長高達 25 公分。紅色細長花梗由短莖上抽出，肉穗花序細長彎曲，或呈螺旋狀扭曲，朱紅或黃色；有黃或橙黃色的雄蕊。佛焰苞片呈長卵形，全緣、波狀，常呈彎曲貌，蠟質光滑，長可至 6-7 公分，有些新育成的品種更可長達 12 公分餘。佛焰苞片顏色一般所見為鮮紅、暗紅、粉紅或橙紅色，若有苞片上密撒其他顏色的斑點或佈有斑條，更加富麗多彩。火鶴花一年四季均可見其開花，喜好略冷涼約 10-18°C 及潮濕的環境，在陰暗處如 50-1000 燭光亦可生長，但開花會受到影響。

4. 黛粉葉 (Dumb canes)

學名：*Dieffenbachia maculate* 'Camilla' 白玉黛粉葉

黛粉葉為天南星科黛粉葉屬 (*Dieffenbachia*) 直立型觀葉植物，原產於熱帶美洲。多年生、常綠性、直立植株，具有一粗圓之中央莖桿，節間短，葉多叢聚於莖桿頂部。耐陰、耐熱性高，易度夏，喜高溫多濕環境，在 16°C 以上，光強度約 1000~3000 呎燭光環境下生長良好。本試驗採用白玉黛粉葉品種，植株低矮，葉片簇密群聚，葉長 20~25 公分，葉面的中心呈乳白色，近葉緣為綠色的寬鑲邊，其間則為黃白至淺綠的漸層色彩，十分討喜。

5. 蔓綠絨 (Philodendron)

學名：*Philodendron* 'Imperial Green' 綠帝王蔓綠絨

Philodendron 'Congo' 剛果蔓綠絨

Philodendron oxycardium 心葉蔓綠絨

Philodendron 'Golden Pride' 黃金心葉蔓綠絨

蔓綠絨為天南星科蔓綠絨屬(*Philodendron*)的觀葉植物，在自然野生環境下常攀附在樹幹上生長，大多原產於南美地區。為常綠的蔓性、多年生、草本或蔓灌植物。喜好潮濕的空氣、溫暖明亮的環境，亦可耐遮陰、耐寒，生長適溫 16~26°C。本試驗採用綠帝王蔓綠絨、剛果蔓綠絨、心葉蔓綠絨、黃金心葉蔓綠絨等品種，綠帝王蔓綠絨具有縮短的直立性莖，葉片簇生其上。橢圓形葉，葉基呈凹心形，全緣、微波，綠葉面平滑富光澤，包被新芽的苞片呈鮮豔的紅色，鮮豔具觀賞性。剛果蔓綠絨為較大型直立性之栽培種，不具蔓性且具有強而有力的生長勢，葉片呈深綠色。心葉蔓綠絨不論在國內外均相當普遍，為一蔓性觀葉植物，葉片呈心形光滑，全緣，濃綠色，葉端常具尾尖，幼年期葉片長約 10~15 公分，寬 8~10 公分，至成熟可開花階段時，葉片可長達 30 公分，嫩葉常具天鵝絨般的柔軟觸感而更討喜。黃金心葉蔓綠絨為園藝栽培種，葉面呈圓心型，與圓葉蔓綠絨相同，植株蔓性，可藉氣生根攀附，但對陽光的需求較多，在非直射光的明亮場所，葉色越呈金黃耀眼，老葉及陰葉則稍轉黃綠色。

6. 黃金葛 (Golden pothos)

學名：*Epipremnum aureum* 黃金葛

E. aureum 'Sun Shine' 陽光黃金葛

黃金葛屬於天南星科，是最為一般人熟知的觀葉植物，栽培容易。

卵心形葉片，綠而富光澤，沿平行側脈散佈有不規則的黃乳斑，幼葉較小長約 8~10 公分，成熟葉可達 60 公分；幼葉全緣、卵心型，至老葉常轉變成長卵型，葉緣亦呈羽狀裂。莖呈蔓性，莖節易生氣根。喜高溫多濕環境，生長適溫 20~28°C。本試驗選用葉片呈深綠色的黃金葛外，又選用陽光黃金葛。陽光黃金葛又稱為萊姆黃金葛，葉片呈明亮黃綠色，對光線要求一般比黃金葛多，否則會變得較暗綠，

7. 合果芋 (Goosefoot plant)

學名：*Syngonium podophyllum* cv. Pixie 綠精靈合果芋

S. podophyllum 'Gold Allusion' 金玉合果芋

合果芋屬於天南星科，為多年生常綠蔓性植物，生長快速，栽培管理容易。幼葉葉型呈箭型或戟型之單葉，老葉則易形成掌裂，有三裂、五裂或多裂不等，葉脈呈吻合脈，沿葉緣整齊而平行走向，葉具長柄，新生葉片幼葉色澤淺淡。合果芋對環境適應性極廣，自全陽至陰暗角落，但在明亮處葉片變大，葉色淺淡；到陰暗處則葉片變窄小，葉色濃暗。因此偶爾可以忍受陰暗環境，平日則仍須放在明亮處，生長較健康。其生長適溫為 16-26°C。合果芋種類很多，本實驗選用葉片為深綠色具淡白色葉斑的綠精靈合果芋，以及淺黃綠色帶淡白色葉斑的金玉合果芋。

8. 山蘇 (Bird's nest fern)

學名：*Asplenium nidus*

山蘇為鐵角蕨科 (Aspleniaceae) 觀葉植物，分佈於熱帶、亞熱帶潮濕地區，本省有原生種，生長在中、低海拔山區，常見附生於樹幹或岩壁上，叢生如鳥巢般。株高約 20~60 公分，葉自根莖抽生，圓環形排列，葉片劍狀披針形，葉面光滑明亮，葉色青翠。性耐陰，喜潮濕，可盆栽，

生育適溫為 20~27°C。

9. 馬拉巴栗 (Malabar chestnut)

學名：*Pachira macrocarpa*

馬拉巴栗為木棉科 (Bombacaceae) 常綠或半落葉中喬木，株高可達六公尺，幹基肥大，肉質狀，葉掌狀複葉，小葉 4~7 枚，長橢圓形或披針形，全緣。耐陰耐旱性強，亦耐強光，喜高溫，生育適溫約 20~30°C。

10. 栗豆樹 (Moreton Bay Chestnut or Blackbean)

學名：*Castanospermum australe*

栗豆樹屬於蝶形花科 (Fabaceae)，為常綠中喬木，原產於澳洲。其種子為橢圓形，大如雞蛋，兩個豆瓣，在幼苗出土後變為綠色繼續進行光合作用，並在幼苗期宿存於盆土表面長達一年，故又名綠寶石。為奇數羽狀複葉、小葉互生，葉形為披針狀長橢圓形，約 8-12 公分長，全緣、革質。莢果長達 20 公分，種子為橢圓形，大如雞蛋，可供烤食。幼株可當小盆栽，作為室內植物；成株可長到 12 公尺以上，適合作為庭園觀賞植物或行道樹。幼株耐陰，日照約 50~70%；成株日照須充足。無論幼株或成株，性喜高溫，適宜生長的溫度為 22~30°C。

11. 紅邊椒草 (Red-edged peperomia)

學名：*Peperomia clusiifolia*

紅邊椒草為胡椒科 (Piperaceae) 多年生草本植物，分佈於熱帶、亞熱帶地區。株高約 10-30 公分，莖直立，且呈銅紅色，莖葉肥厚多肉，葉互生，全緣，有柄。葉倒卵型，葉色翠綠，葉緣有銅紅色斑紋鑲嵌，成株能開長條狀、直立性之肉穗。植株低矮，葉色四季常綠，耐陰、耐旱，

極適合盆栽做室內觀葉植物。性喜高溫多濕，生育適溫約攝氏 20-28℃。

12. 圓葉椒草 (Baby rubber plant)

學名：*Peperomia obtusifolia*

圓葉椒草為胡椒科多年生草本植物，直立性植株，生長叢密，株高約 30 公分。單葉互生，葉橢圓形或倒卵型，葉端鈍圓，葉基漸狹至楔形，葉面光滑有光澤，質厚，硬挺，莖及葉柄均肉質粗圓。葉長 5-6 公分，寬 4-5 公分，葉柄長 1 公分，節簡短僅 1-1.5 公分。葉色濃綠，葉柄與莖上則滿佈紅褐細斑點。節間處易發生氣生根。

(二) 供試植物的栽培管理

供試植物的苗木自花市購回後，立即換盆至直徑 11 公分，高 9 公分之圓形花盆中，保留部分的原有介質，並加入土壤：三號根基旺（珍珠石、蛭石）=1：1 之介質，並添加約 1%(v/v)少量有機肥料（順豐牌）。植株放置於室內中，視土壤乾燥程度澆水以保持其土壤水分溼度。

(三) 供試植物的馴化

供試植物分為弱光及強光兩組，弱光組以一般室內常用的鹵素燈泡固定於上午八點～晚上八點照明之，光強度介於 400～700Lux 範圍之間；強光組使用長 105 公分、寬 45 公分、高 60 公分之生態箱 (Ecosystem tank, model TR105P, 森態公司) 照明之，照明時間固定於上午八點～晚上八點，光強度介於 4000～5000Lux 範圍之間。

供試植物自移盆後進行馴化，經過兩週以上才開始進行實驗。

二、室內外揮發性有機物質與苯之含量

(一) 監測設備

本部分實驗使用光離子化偵測計 (Photoionization detector, PID, PhoCheck+ 1000, Ion Science, USA) 進行總揮發性有機物質與苯的監測。其偵測濃度範圍為 0.1~4000ppm，正常操作環境溫度範圍為-20~60°C，可偵測大量範圍的揮發性有機物質。

(二) 監測方法

1. 室內空氣

選擇一般住家、五金材料店家等地進行測量，測量時間為平日下午兩點。

2. 室外空氣

選擇加油站、馬路旁 (基隆路四段) 等地進行測量，測量時間為平日下午兩點以及傍晚六點。



三、十七種室內植物對苯之吸收

(一) 熏氣系統之設計

本實驗之熏氣系統可分為熏氣設備、產氣設備、監測設備三部分，其結構如下所述：

1. 熏氣設備設計

本實驗之熏氣設備圓柱形透明熏氣箱，底面積直徑約 38 公分，高約 46 公分，容積約 52 公升。以竹材為骨架，為了減少材質吸附氣體而影響

實驗結果，骨架上覆塑膠膜以隔絕空氣；熏氣箱外使用 PP 材質塑膜包覆。熏氣箱內裝設一小型風扇做為空氣循環攪拌用，使箱內氣體均勻混合（孫，2006；陳，2006）（圖一）。熏氣箱上方約 40 公分處，裝置一燈架，以一般室內使用之三波長燈泡作為光源，以提供試驗時所需之光照強度 500Lux。

2. 產氣設備設計

苯的產氣設備利用定量揮發的原理，設計一產氣瓶，將一 3 公升 PVC 透明塑膠桶內置入玻璃培養皿，內放置濾紙一張。桶壁分別鑽孔做為進氣孔與出氣孔，進氣孔與出氣孔外接管線。桶蓋上亦鑽孔並加上一橡膠軟塞，軟塞上有通道，用來做為使滴管滴入液態苯之入口（圖二）。

將市售的苯(99.5%, Hayashi Pure Chemical Industries Ltd., JAPAN)，以滴管滴於產器瓶時，苯會落在桶內培養皿內的濾紙之上並迅速揮發，此時利用幫浦經由進氣孔將空氣打入產器瓶內，則可使得自濾紙上揮發而產生之苯氣體，經由另一端的出氣孔的管線而送至熏氣箱內。

3. 監測設備

(1) 苯

利用光離子化偵測計 (Photoionization detector, PID, PhoCheck+ 1000, Ion Science, USA) 進行熏氣箱內苯濃度的監測。

(2) 葉綠素含量 (SPAD)

利用葉綠素計 (Chlorophyll meter, SPAD-502, KONICA MINOLTA SENSING, ING., JAPAN) 進行葉片 SPAD 的測量。

(二) 量測方法與測試理論

1. 量測方法與流程

本部分試驗使用前述十七種室內植物的弱光組，在上午十一點到下午六點之間進行六重複試驗。試驗過程中全程以 500Lux 強度之光對植物照明，測量時間點平均分散於此一測量期間內。

首先將植株花盆及介質部分以 PP 材質塑膠膜包覆，用以隔絕花盆和栽培介質對實驗結果之影響。將植株置入熏氣箱中，通入苯氣體，待濃度提升至 25ppm 時，立刻關上幫浦開始偵測。通氣期間，每過 10 秒測定苯之濃度並記錄一次，連續監測 1.5 分鐘。

實驗結束後，以葉綠素計測量其中十二種植株的葉綠素含量，分別為：火鶴、綠帝王蔓綠絨、剛果蔓綠絨、心葉蔓綠絨、黃金心葉蔓綠絨、黃金葛、陽光黃金葛、山蘇、馬拉巴栗、栗豆樹、紅邊椒草、圓葉椒草。每棵植株隨機選取十個點測量，求出平均值，即為每棵植株的平均葉綠素含量。另以 LI-COR 葉面積儀測量葉面積大小，至少每週測量一次。

2. 測試理論

本實驗理論為，植物置入後熏氣箱內前後之濃度差扣除空箱背景濃度之變化值，即是由植物吸收所造成。

若以每盆植株為單位測量植株吸收的能力，先測定熏氣初始濃度與熏氣後濃度差，扣除空箱熏氣前後濃度差，再除以熏氣時間，則可得每盆單位時間淨汗率。

若測定熏氣前後濃度差、受試葉面積、熏氣箱體積以及熏氣時間，並以下列公式進行計算，即可求出沈降速度 (Vd, deposition velocity)。此測試植物吸收污染能力之方式，主要乃根據質量不減原理。

$$Vd = \frac{[C - C'] - [C - C'']}{C} \times \frac{L}{T \times A}$$

C : 熏氣初始濃度(ppm)

C' : 熏氣後濃度(ppm)

C'' : 空箱熏後濃度(ppm)

L : 熏氣箱容積(mm³)

T : 熏氣時間(s)

A : 葉面積(mm²)

四、十七種室內植物在不同光強度下對苯之吸收

(一) 熏氣系統之設計

本部分實驗延續前一實驗，使用如前述的十七種供試植物的弱光及強光組進行實驗。

熏氣系統可分為熏氣設備、產氣設備、監測設備三部分。產氣設備如前所述，而熏氣設備中之照明設備，在實驗中定為光照強度 500Lux 或 5000Lux。

監測設備為測量苯的光離子化偵測計及葉綠素計如前所述，熏氣前並利用氣孔導度計 (steady state porometer, model LI-1600, Li-Cor, USA) 進行葉片氣孔導度的測量。

(二) 量測方法與測試理論

本部分實驗採用弱光組及強光組，在上午十一點到下午六點之間進行實驗。實驗過程中，弱光組全程以 500Lux 強度之光對植物照明，強光

組全程以 5000Lux 強度之光對植物照明。每種處理進行六重複，測量時間點平均分散於此一測量期間內。

為了明白光線對氣孔導度的影響，不論弱光組或強光組，在熏氣前使用氣孔導度計測量植株的氣孔導度大小，皆利用氣孔導度計測量同株植物頂端完全展開新葉之氣孔導度，測量三次。

將植株花盆及介質部分以 PP 材質塑膠膜包覆，用以隔絕花盆和栽培介質對實驗結果之影響。將植株置入熏氣箱中，通入苯氣體，待濃度提升至 25ppm 時，立刻關上幫浦開始偵測。通氣期間，每過 10 秒測定苯濃度並記錄一次，連續監測 1.5 分鐘。

本部分實驗之測試理論與計算方法如前所述。



五、八種室內植物在不同二氧化碳濃度下對苯之吸收

(一) 熏氣系統之設計

1. 熏氣箱設備設計

本部分實驗選用虎尾蘭、粗肋草、火鶴、綠帝王蔓綠絨、剛果蔓綠絨、心葉蔓綠絨、黃金心葉蔓綠絨、山蘇共八種植物進行實驗。

熏氣系統亦分為熏氣箱、產氣設備、監測設備三部分。熏氣箱與產氣設備如前所述。

2. 產氣設備設計

(1) 苯

苯的產氣設備如前所述。

(2) 二氧化碳

熏氣箱內二氧化碳濃度利用熏氣箱外的室內空氣平衡之，必要時才使用產氣設備輔助。產氣設備為一小型水氣過濾裝置，將人體呼吸產生之氣體中的水氣去除，並自另一端管線送至熏氣箱（圖三）。

3. 監測設備

(1) 苯及氣孔導度及葉綠素含量

光離子化偵測計、氣孔導度計、葉綠素計如前所述。

(2) 二氧化碳

利用紅外線二氧化碳測定儀（CO₂/Temperature monitor, Telaire 7001, USA）進行二氧化碳的監測。

(二) 量測方法與流程

本部分實驗選用虎尾蘭、粗肋草、火鶴、綠帝王蔓綠絨、剛果蔓綠絨、心葉蔓綠絨、黃金心葉蔓綠絨、山蘇等八種植物的弱光組及強光組，在上午十一點到下午六點之間進行實驗。實驗過程中，弱光組全程以 500Lux 強度之光對植物照明，強光組全程以 5000Lux 強度之光對植物照明。每種處理進行六重複，測量時間點平均分散於此一測量期間內。

本部分實驗的量測方法如前所述，但流程上在熏氣前，先利用氣孔導度計測量同株植物第二年輕葉片之氣孔導度，測量三次。並將熏氣箱內二氧化碳濃度調整成低濃度：300~400ppm 之間，或高濃度：600~700ppm 之間。

待二氧化碳濃度調整好，即立刻進行苯的熏氣實驗。將植株花盆及介質部分以 PP 材質塑膠膜包覆，並將植株置入熏氣箱中，利用幫浦通入 25ppm 的苯氣體，開始偵測。通氣期間，每過 10 秒測定並記錄一次，連

續監測 1.5 分鐘。

熏氣結束後，將植株取出，再次利用氣孔導度計測量同一葉片之氣孔導度。





圖一、PP 材質熏氣箱，容積約 52 公升，附小型電風扇作為氣體攪拌之用。



圖二、苯的產氣設備，苯液體由桶蓋上橡膠塞滴入，在濾紙上定量揮發為苯蒸氣，再以幫浦將氣體送出。



圖三、二氧化碳小型水氣過濾裝置。



第四章 結果

一、室內外揮發性有機物質與苯之含量

根據在室內的一般住家及建材行實地測量結果，發現在一般室內環境中，無論揮發性有機物質或苯的背景值都是 0ppm，而在住家內若有使用指甲油或去光水的時候，揮發性有機物質與苯的濃度皆會增加，在靜止無風的時候讀值為 0ppm，但在人的輕微動作擾動之下，揮發性有機物質與苯的濃度則分別為平均 15.1ppm 及 12.8ppm。而在測量期間，甚至可達到 300ppm 以上的讀值。

根據在室外的加油站與馬路旁的實地測量結果，發現兩處的揮發性有機物質及苯的背景值都是 0ppm，但在加油站的油槍周圍 30 公分與 2 公尺之處，則分別有平均 69ppm 以及 2.6ppm 的揮發性有機物質被測得，而在加油槍周圍 30 公分處有平均 19.6ppm 的苯被測得，而距離 2 公尺處則未測得。在測量期間，揮發性有機物質以及苯甚至分別可達到 600ppm 以及 300ppm 以上的讀值（表一）。

表一、室內空間及室外特定場所總揮發性有機物質與苯濃度之結果

測量地點 ^x	平均 TVOC 濃度(ppm) ^y	平均 Benzene 濃度(ppm)
室內		
住家 A	0	0
住家 B (指甲油周圍 20 公分處)	15.1	12.8
五金材料店	0	0
室外		
加油站 (油槍周圍 30 公分處)	69	19.6
加油站 (油槍周圍 2 公尺處)	2.6	0
馬路旁	0	0

^x 測量時間室內為下午兩點，室外為下午六點。

^y 每數值為重複測量三次之平均值

二、十七種室內植物對苯之吸收

利用前述設計之熏氣系統，在上午十一點到下午六點之間，測量時間點平均分散於此一測量期間內，在室內使用固定光源(500 Lux)，對十七種室內植物，以 25ppm 濃度的苯氣體熏氣，進行苯之吸收力測試。各種類植物的吸收效率以沈降速率(deposition velocity)表示之，結果如表三。

將六次重複之結果計算出沈降速率，經最小顯著差異測驗法(least significant difference test)檢定後，結果顯示在 500Lux 之光照強度下，綠帝王蔓綠絨、綠精靈合果芋兩種植物對苯的吸收效果最好，綠帝王蔓綠絨以 0.14mm/sec、綠精靈合果芋以 0.16mm/sec，顯著優於其他十五種植物（表二）。此外，火鶴、心葉蔓綠絨、黃金心葉蔓綠絨及山蘇也有不錯的表現。

將十七種植物依不同科別區分為龍舌蘭科（虎尾蘭）、天南星科（粗肋草、火鶴、黛粉葉、綠帝王蔓綠絨、剛果蔓綠絨、心葉蔓綠絨、黃金心葉蔓綠絨、黃金葛、陽光黃金葛、綠精靈合果芋、金玉合果芋）、鐵角蕨科（山蘇）、木棉科（馬拉巴栗）、蝶形花科（栗豆樹）、胡椒科（紅邊椒草、圓葉椒草），再求出各科植物的沈降速率。經最小顯著差異測驗法檢定之後，結果顯示在 500Lux 之光照強度下，天南星科沈降速率平均 0.07 mm/sec，以及鐵角蕨科沈降速率 0.08 mm/sec，對苯的吸收效果最好，其次是胡椒科，沈降速率平均為 0.06 mm/sec（表三）。

供試植物中，除去有明顯雜色葉斑的種類，剩下十二種植物進行葉綠素含量和沈降速率關係的實驗。此十二種植物為：火鶴、綠帝王蔓綠絨、剛果蔓綠絨、心葉蔓綠絨、黃金心葉蔓綠絨、黃金葛、陽光黃金葛、山蘇、馬拉巴栗、栗豆樹、紅邊椒草、圓葉椒草。將六次重複實驗結果以最小顯著差異測驗法檢定之後，發現此十二種植物之中火鶴及綠帝王蔓綠絨的沈降速率顯著高於其他十種植物。此外，葉綠素含量最高為剛果蔓綠絨與紅邊椒草，SPAD 分別是 66.55 和 66.96。其次則為圓葉椒草、火鶴和綠帝王蔓綠絨，SPAD 分別是 56.9、55.56 和 52.30。再其

次有綠帝王蔓綠絨、黃金葛、心葉蔓綠絨和山蘇等。SPAD 介於 30~40 之間的有馬拉巴栗和栗豆樹，低於 20 的有黃金心葉蔓綠絨和陽光黃金葛（表四）。

沉降係數最高的火鶴及綠帝王蔓綠絨，葉綠素含量皆頗高，但是葉綠素含量顯著低於其他種類植物的黃金心葉蔓綠絨與陽光黃金葛，其沉降係數卻與其他多數植物並無顯著差異。以同為蔓綠絨屬的四種蔓綠絨互相比較，結果發現葉綠素含量由大至小排列為：剛果蔓綠絨、綠帝王蔓綠絨、心葉蔓綠絨、黃金心葉蔓綠絨，彼此互相都有顯著差異，但和沉降係數的結果差異頗大。葉綠素含量與沉降速率之間經相關性比較後，相關係數為 $r^2=0.0372$ ，其相關性並不顯著（圖四）。



表二、十七種室內植物在 500Lux 光照強度下對苯的吸收結果

植物名稱	每盆單位時間 淨汗移除率 ^x (ppm/min)	平均葉面積 ^y (cm ²)	沈降速率 ^z (mm/sec)
<i>Sansevieria trifasciata</i> 'Laurentii' 黃邊虎尾蘭	0.12	653	0.04 ^{bc}
<i>Aglaonema</i> 'Silver Queen' 銀后粗肋草	0.14	372	0.05 ^{bc}
<i>Anthurium scherzerianum</i> 火鶴	0.22	349	0.08 ^b
<i>Dieffenbachia maculate</i> 'Camilla' 白玉黛粉葉	0.14	624	0.05 ^{bc}
<i>Philodendron</i> 'Imperial Green' 綠帝王蔓綠絨	0.15	250	0.14 ^a
<i>Philodendron</i> 'Congo' 剛果蔓綠絨	0.09	617	0.05 ^{bc}
<i>Philodendron oxycardium</i> 心葉蔓綠絨	0.10	417	0.08 ^{bc}
<i>Philodendron</i> 'Golden pride' 黃金心葉蔓綠絨	0.08	386	0.07 ^{bc}
<i>Epipremnum aureum</i> 黃金葛	0.16	928	0.05 ^{bc}
<i>Epipremnum aureum</i> 'Sun Shine' 陽光黃金葛	0.17	714	0.05 ^{bc}
<i>Syngonium podophyllum</i> 'Pixie' 綠精靈合果芋	0.16	213	0.16 ^a
<i>Syngonium podophyllum</i> 'Gold Allusion' 金玉合果芋	0.11	392	0.05 ^{bc}
<i>Asplenium hidus</i> 山蘇	0.12	450	0.08 ^{bc}

<i>Pachira macrocarpa</i> 馬拉巴栗	0.17	728	0.05 ^{bc}
<i>Castanospermum australe</i> 栗豆樹	0.12	616	0.03 ^c
<i>Peperomia clusiifolia</i> 紅邊椒草	0.12	330	0.05 ^{bc}
<i>Peperomia obtusifolia</i> 圓葉椒草	0.15	513	0.06 ^{bc}

^x 每盆單位時間淨汙率為每分鐘濃度變化值扣除空箱變化值後除以株數而得。

^y 平均葉面積 = 各盆植物的葉面積大小之和 / 總盆數

^z 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) ($P < 0.05$)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。



表三、常見室內不同科別十七種植物對苯沈降速率之比較

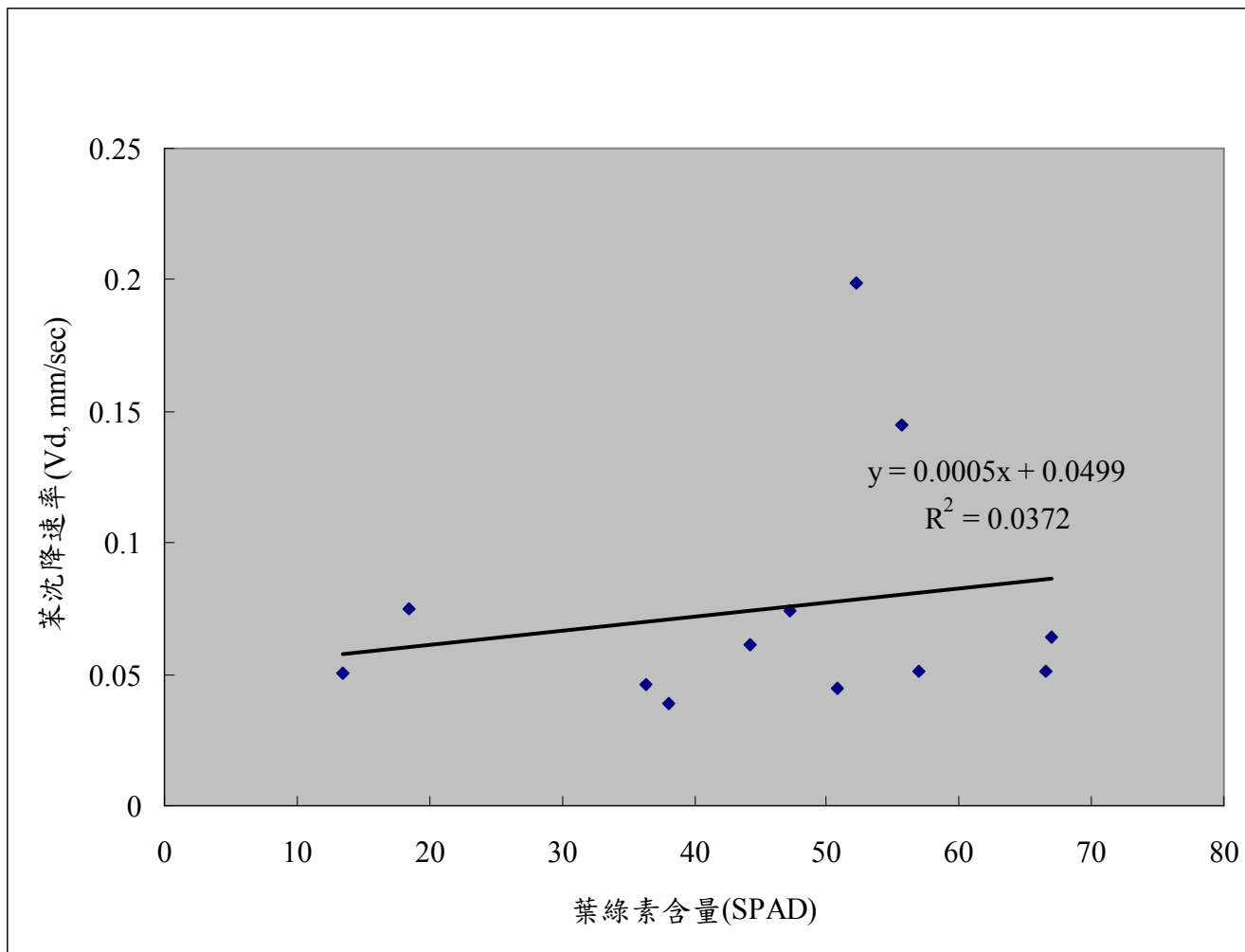
植物科別	品種名	植物種類	平均沈降速率 ^x (mm/sec)
Agavaceae 龍舌蘭科	虎尾蘭	1	0.04 ^{cd}
Araceae 天南星科	粗肋草、火鶴、黛粉葉、 綠帝王蔓綠絨、剛果蔓綠 絨、心葉蔓綠絨、黃金心 葉蔓綠絨、黃金葛、陽光 黃金葛、綠精靈合果芋、 金玉合果芋	11	0.07 ^a
Aspleniaceae 鐵角蕨科	山蘇	1	0.08 ^a
Bombacaceae 木棉科	馬拉巴栗	1	0.05 ^{bc}
Fabaceae 蝶形花科	栗豆樹	1	0.03 ^d
Piperaceae 胡椒科	紅邊椒草、圓葉椒草	2	0.06 ^b

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) (P<0.05)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

表四、常見室內十二種室內植物對苯的沉降速率及其與葉綠素濃度之比較

植物名稱	沉降速率 (mm/sec) ^x	SPAD-502 reading (value)
火鶴	0.08 ^{abc}	55.62 ^{bc}
綠帝王蔓綠絨	0.12 ^a	52.30 ^{cd}
剛果蔓綠絨	0.05 ^{bc}	66.55 ^a
心葉蔓綠絨	0.07 ^{bc}	47.28 ^{ef}
黃金心葉蔓綠絨	0.08 ^{ab}	18.48 ^h
黃金葛	0.05 ^{bc}	50.78 ^{de}
陽光黃金葛	0.05 ^{bc}	13.48 ⁱ
山蘇	0.08 ^{abc}	44.28 ^f
馬拉巴栗	0.05 ^{bc}	36.33 ^g
栗豆樹	0.03 ^c	38.04 ^g
紅邊椒草	0.05 ^{bc}	66.96 ^a
圓葉椒草	0.06 ^{bc}	56.90 ^b

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) ($P < 0.05$)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。



圖四、葉綠素濃度 (SPAD-502 reading) 與十二種室內植物對苯沈降速率(Vd)之相關性分析。

三、十七種室內植物在不同光強度下對苯之吸收

本部分實驗利用前述設計之熏氣系統，測量時間點平均分散在上午十一點到下午六點之間，對已馴化二週以上的十七種植物進行實驗。所有植物分為弱光組和強光組，弱光組以 500Lux 光強度照明之，強光組以 5000Lux 的光強度照明之。

強光組的十七種植物以每盆為單位時，對苯的吸收效率最高的是虎尾蘭、剛果蔓綠絨及馬拉巴栗。但在考慮葉面積大小之後，將十七種植物的吸收效率以沈降速率(Deposition velocity)表示之。六次重複之結果經最小顯著差異測驗法檢定後，發現在 5000Lux 強光下，黃金心葉蔓綠絨、紅邊椒草和綠帝王蔓綠絨三種植物對苯的吸收效果最好，其沈降速率分別為 0.14mm/sec、0.14mm/sec 和 0.12mm/sec (表五)。

在強光是否可提升沈降速率方面，相較於 500Lux 弱光下的沈降速率，紅邊椒草、黃金心葉蔓綠絨、金玉合果芋、虎尾蘭等四種植物在 5000Lux 強光下，其沈降速率皆大幅提升 (表六)，17 種植物中有 10 種有增加，但強光提升率在不同植物種類之間的差異頗大，如黃金葛、綠精靈合果芋、山蘇、馬拉巴栗、綠帝王蔓綠絨等皆未見增加。

另比較 500Lux 和 5000Lux 強光下，各植物在熏氣前的氣孔導度，在使用 paired t-test 檢定後發現，在 5000Lux 光照強度下各植物的氣孔導度均顯著大於 500Lux 光照強度下之植物($P>0.05$) (表七)。

在比較十七種植物所屬的六種科別在 5000Lux 光照強度下的沈降速率差異時，可以發現胡椒科的平均沈降速率為 0.11mm/sec，顯著高於其他五科，其次為天南星科，平均沈降速率為 0.08mm/sec。對照 500Lux 光照強度下的沈降速率，可以看出天南星科無論在弱光或是強光下，對於苯皆有良好的吸收能力(表八)。

表五、十七種室內植物在 5000Lux 光照強度下對苯的吸收

植物名稱	每盆移除率 ^x (ppm/min)	平均葉面積 ^y (cm ²)	沉降速率 ^z (mm/sec)
虎尾蘭	0.17	876	0.07 ^{def}
粗肋草	0.11	523	0.07 ^{cdef}
火鶴	0.09	375	0.08 ^{cdef}
黛粉葉	0.08	387	0.07 ^{def}
綠帝王蔓綠絨	0.09	292	0.12 ^{abc}
剛果蔓綠絨	0.16	664	0.07 ^{def}
心葉蔓綠絨	0.13	505	0.10 ^{bcd}
黃金心葉蔓綠絨	0.13	304	0.14 ^a
黃金葛	0.11	974	0.04 ^{ef}
陽光黃金葛	0.10	800	0.04 ^{ef}
綠精靈合果芋	0.08	355	0.09 ^{cde}
金玉合果芋	0.12	449	0.09 ^{cde}
山蘇	0.00	530	0.06 ^{def}
馬拉巴栗	0.16	1217	0.03 ^f
栗豆樹	0.08	746	0.04 ^{ef}
紅邊椒草	0.12	355	0.14 ^{ab}
圓葉椒草	0.11	501	0.07 ^{def}

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) ($P < 0.05$)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

^y 平均葉面積 = 各盆植物的葉面積大小之和 / 總盆數

^z 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) ($P < 0.05$)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

表六、常見室內十七種植物在 500Lux 和 5000Lux 光照強度下對苯吸收之比較

植物種類	沈降速率 ^x (mm/s)		強光對弱光下沈降 速率增加率 ^y
	500 Lux	5000 Lux	
虎尾蘭	0.04 ^{bc}	0.07 ^{def}	82.4 %
粗肋草	0.05 ^{bc}	0.07 ^{cdef}	48.8 %
火鶴	0.08 ^b	0.08 ^{cdef}	-3.6 %
黛粉葉	0.05 ^{bc}	0.07 ^{def}	52.9 %
綠帝王蔓綠絨	0.14 ^a	0.12 ^{abc}	-11.1 %
剛果蔓綠絨	0.05 ^{bc}	0.07 ^{def}	31.1 %
心葉蔓綠絨	0.08 ^{bc}	0.10 ^{bcd}	26.1 %
黃金心葉蔓綠絨	0.07 ^{bc}	0.14 ^a	100.7 %
黃金葛	0.05 ^{bc}	0.04 ^{ef}	-26.0 %
陽光黃金葛	0.05 ^{bc}	0.04 ^{ef}	-20.6 %
綠精靈合果芋	0.16 ^a	0.09 ^{cde}	-44.1 %
金玉合果芋	0.05 ^{bc}	0.09 ^{cde}	98.9 %
山蘇	0.08 ^{bc}	0.06 ^{def}	-20.3 %
馬拉巴栗	0.05 ^{bc}	0.03 ^f	-39.7 %
栗豆樹	0.03 ^c	0.04 ^{ef}	52.8 %
紅邊椒草	0.05 ^{bc}	0.14 ^{ab}	168.4 %
圓葉椒草	0.06 ^{bc}	0.07 ^{def}	11.3 %

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) (P<0.05)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

^y 強光對弱光沈降速率增加率 = (強光下沈降速率平均值 - 弱光下沈降速率平均值) / 弱光下沈降速率平均值 × 100%

表七、常見室內十七種植物在不同光照下氣孔導度的比較

植物種類	熏氣前氣孔導度 (mmol m ⁻² s ⁻¹)		強光對弱光氣孔度 增加率 ^x
	500 Lux	5000 Lux	
虎尾蘭	44.59	71.53	60.4%
粗肋草	14.34	44.70	211.7%
火鶴	10.94	28.69	162.2%
黛粉葉	18.20	22.50	23.7%
綠帝王蔓綠絨	8.73	19.57	124.1%
剛果蔓綠絨	4.70	13.46	186.5%
心葉蔓綠絨	2.51	23.35	830.3%
黃金心葉蔓綠絨	3.34	46.44	1291.8%
黃金葛	19.52	48.43	148.1%
陽光黃金葛	27.76	88.89	220.2%
綠精靈合果芋	13.80	39.07	183.1%
金玉合果芋	10.30	40.78	296.1%
山蘇	48.87	88.12	80.3%
馬拉巴栗	18.38	52.88	187.7%
栗豆樹	18.23	30.84	69.2%
紅邊椒草	20.44	22.10	8.2%
圓葉椒草	25.33	30.59	20.8%

^x 強光對弱光氣孔導度增加率 = (強光下氣孔導度平均值 - 弱光下氣孔導度平均值) / 弱光下氣孔導度平均值 × 100%

表八、不同科別室內植物對苯沈降速率之比較

植物科別	沈降速率 ^x (mm/s)		強光對弱光沈降速率增加率 ^y
	500Lux	5000Lux	
龍舌蘭科	0.04 ^{cd}	0.07 ^{bc}	75%
天南星科	0.07 ^a	0.08 ^b	14%
鐵角蕨科	0.08 ^a	0.06 ^c	-25%
木棉科	0.05 ^{bc}	0.03 ^d	-40%
蝶形花科	0.03 ^d	0.04 ^d	33%
胡椒科	0.06 ^b	0.11 ^a	83%

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) (P<0.05)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

^y 強光對弱光沈降速率提升率 = (強光下沈降速率平均值 - 弱光下沈降速率平均值) / 弱光下沈降速率平均值 × 100%



四、八種室內植物在不同二氧化碳濃度下對苯之吸收

利用前述設計之熏氣系統，在上午十一點到下午六點之間，在室內使用 500Lux 和 5000Lux 光照強度，分別在二氧化碳 300~400ppm 以及 600~700ppm 濃度下，對八種室內植物以 25ppm 濃度的苯氣體熏氣，進行苯之吸收力測試。各種類植物的吸收效率以沈降速率(Deposition velocity)表示之。

在低濃度二氧化碳的環境下，提供 500Lux 強光處理時，八種植物中對苯的沈降速率最高的是綠帝王蔓綠絨，其次是黃金心葉蔓綠絨。提供 5000Lux 強光處理時，對苯的沈降速率最高的是黃金心葉蔓綠絨，其次是綠帝王蔓綠絨。八種植物中有五種植物，在 5000Lux 強光下的平均沈降速率有提升的趨勢，但在使用 paired t-test 檢定之後，發現兩種不同處理並無顯著差異（表九）。

在高濃度二氧化碳的環境下，提供 500Lux 弱光照強度處理時，八種植物中對苯的沈降速率最高的是綠帝王蔓綠絨。提供 5000Lux 光照強度處理時，對苯的沈降速率最高的是綠帝王蔓綠絨以及黃金心葉蔓綠絨。在使用 paired t-test 檢定之後，發現強光組的沈降速率顯著高於弱光組的沈降速率，表示強光的處理對於沈降速率的提升有顯著性差異 ($P<0.05$) (表十)。

使用 paired t-test 檢定比較同為 500Lux 光照處理的八種植物，在低濃度與高濃度二氧化碳的兩種環境下分別對苯的沈降速率加以比較，後發現在 500Lux 弱光下，高濃度二氧化碳會使植物降低對苯的沈降速率，即低於低濃度二氧化碳者 ($P<0.05$) (表十一)，表示高濃度的二氧化碳對沈降速率具有抑制作用。

如前所述，使用 paired t-test 檢定比較同為 5000Lux 弱光處理的八種植物，在低濃度與高濃度二氧化碳的兩種環境下分別對苯的沈降速率後加以比較，也發現在 5000Lux 強光下，高濃度二氧化碳會降低植物對苯的沈降速率，即低於低濃度二氧化碳者 ($P<0.05$) (表十二)，表示高濃度的二氧化碳對沈降速率同樣具有抑制作用。

再利用最小顯著差異測驗法分別對八種植物進行檢定，結果發現這八種植物之中，只有粗肋草、黃金心葉蔓綠絨、山蘇等三種植物，在不同光照強度以及二氧化碳濃度下的沈降速率彼此之間有顯著差異（圖六、圖十一、圖十二）。其中粗肋草和黃金心葉蔓綠絨的結果類似，在 5000Lux 強光且低濃度二氧化碳下，苯沈降速率，明顯高於在 500Lux 弱光高濃度的二氧化碳者之沈降速率。而山蘇不論在 500Lux 或 5000Lux 的光照強度下，在低濃度二氧化碳環境中的苯沈降速率皆顯著高於高濃度二氧化碳者之沈降速率。其他五種植物雖然在統計上看不出不同處理的差異，但普遍可看出各植物在低濃度二氧化碳環境中的沈降速率比高濃度二氧化碳者較高之趨勢（圖五～圖十二）。



表九、低濃度 300 至 400ppm 二氧化碳下強光對苯沈降速率的增加率

植物種類	沈降速率 ^x		強光對弱光苯下沈降速率增加率 ^y
	500Lux	5000Lux	
虎尾蘭	0.03 ^c	0.07 ^b	114%
粗肋草	0.05 ^{bc}	0.08 ^b	41%
火鶴	0.10 ^{abc}	0.09 ^b	-13%
綠帝王蔓綠絨	0.15 ^a	0.12 ^{ab}	-23%
剛果蔓綠絨	0.05 ^c	0.08 ^b	74%
心葉蔓綠絨	0.08 ^{abc}	0.08 ^b	6%
黃金心葉蔓綠絨	0.13 ^{ab}	0.16 ^a	25%
山蘇	0.10 ^{abc}	0.09 ^b	-17%

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) (P<0.05)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

^y 強光對弱光苯沈降速率增加率 = (強光下沈降速率平均值 - 弱光下沈降速率平均值) / 弱光下沈降速率平均值 × 100%

表十、高濃度 600~700ppm 二氧化碳下強光對苯沈降速率的提升率

植物種類	沈降速率 ^x		強光對弱光苯沈降速率
	500Lux	5000Lux	增加率 ^y
虎尾蘭	0.03 ^b	0.05 ^{ab}	43%
粗肋草	0.02 ^b	0.06 ^{ab}	144%
火鶴	0.05 ^{ab}	0.05 ^{ab}	-6%
綠帝王蔓綠絨	0.09 ^a	0.10 ^a	12%
剛果蔓綠絨	0.06 ^{ab}	0.06 ^{ab}	6%
心葉蔓綠絨	0.06 ^{ab}	0.08 ^{ab}	28%
黃金心葉蔓綠絨	0.04 ^b	0.10 ^a	140%
山蘇	0.05 ^{ab}	0.04 ^b	-16%

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) (P<0.05)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

^y 強光對弱光苯沈降速率增加率 = (強光下沈降速率平均值 - 弱光下沈降速率平均值) / 弱光下沈降速率平均值 × 100%

表十一、在弱光下高低二氧化碳濃度對植物吸收苯沈降速率的影響

植物種類	沈降速率 ^x		低對高二氧化碳苯 沈降速率增加率 ^y
	低濃度二氧化碳	高濃度二氧化碳	
虎尾蘭	0.03 ^c	0.03 ^b	-8%
粗肋草	0.05 ^{bc}	0.02 ^b	57%
火鶴	0.10 ^{abc}	0.05 ^{ab}	51%
綠帝王蔓綠絨	0.15 ^a	0.09 ^a	42%
剛果蔓綠絨	0.05 ^c	0.06 ^{ab}	-22%
心葉蔓綠絨	0.08 ^{abc}	0.06 ^{ab}	24%
黃金心葉蔓綠絨	0.13 ^{ab}	0.04 ^b	69%
山蘇	0.10 ^{abc}	0.05 ^{ab}	54%

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) (P<0.05)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

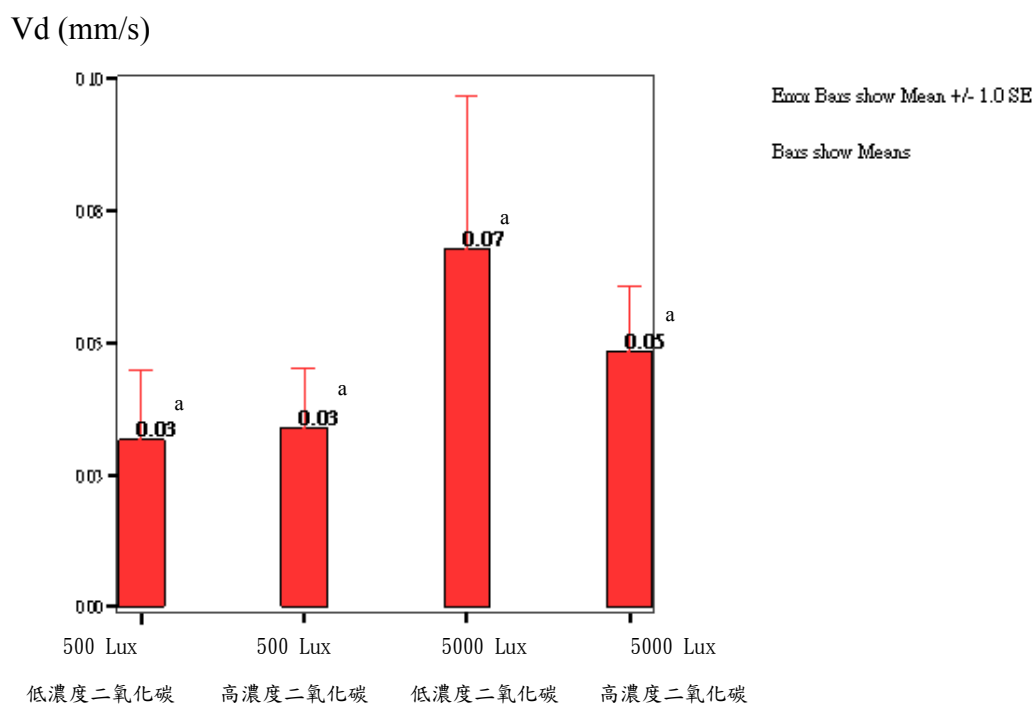
^y 低對高二氧化碳苯沈降速率增加率 = (低濃度二氧化碳環境之沈降速率平均值 - 高濃度二氧化碳環境之沈降速率平均值) / 高濃度二氧化碳沈降速率平均值 × 100%

表十二、在強光下高低二氧化碳濃度對植物吸收苯之沈降速率的影響

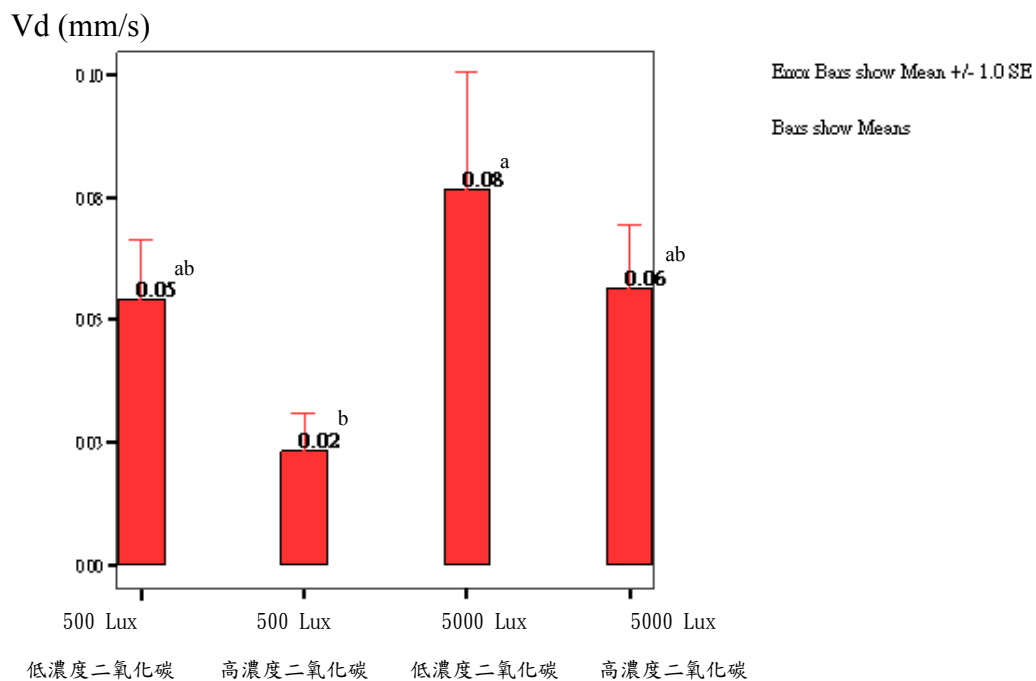
植物種類	沈降速率 ^x		低對高二氧化碳 苯沈降速率增加率 ^y
	低濃度二氧化碳	高濃度二氧化碳	
虎尾蘭	0.07 ^b	0.05 ^{ab}	28%
粗肋草	0.08 ^b	0.06 ^{ab}	26%
火鶴	0.09 ^b	0.05 ^{ab}	47%
綠帝王蔓綠絨	0.12 ^{ab}	0.10 ^a	15%
剛果蔓綠絨	0.08 ^b	0.06 ^{ab}	25%
心葉蔓綠絨	0.08 ^b	0.08 ^{ab}	8%
黃金心葉蔓綠絨	0.16 ^a	0.10 ^a	40%
山蘇	0.09 ^b	0.04 ^b	54%

^x 每數值為重複試驗六次之平均值，並依照最小顯著差異法(Least significant difference test) (P<0.05)，英文字母相同者表示兩者之間無顯著差異。

^y 低對高二氧化碳苯沈降速率增加率 = (低濃度二氧化碳環境之沈降速率平均值 - 弱濃度二氧化碳環境之沈降速率平均值) / 高濃度二氧化碳沈降速率平均值 × 100%

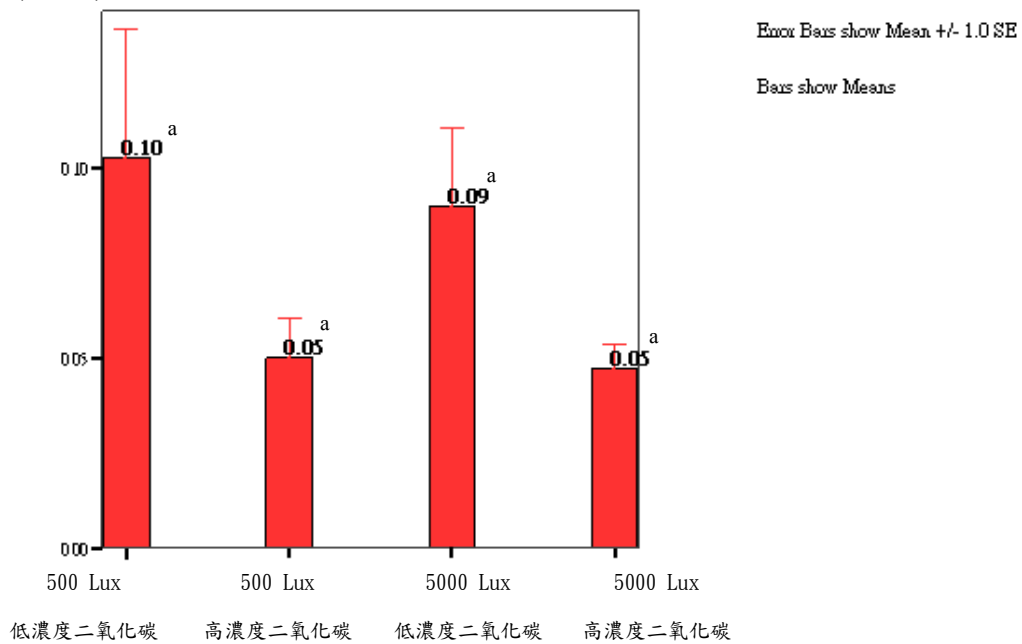


圖五、虎尾蘭在不同光照與不同二氧化碳濃度下的沉降速率



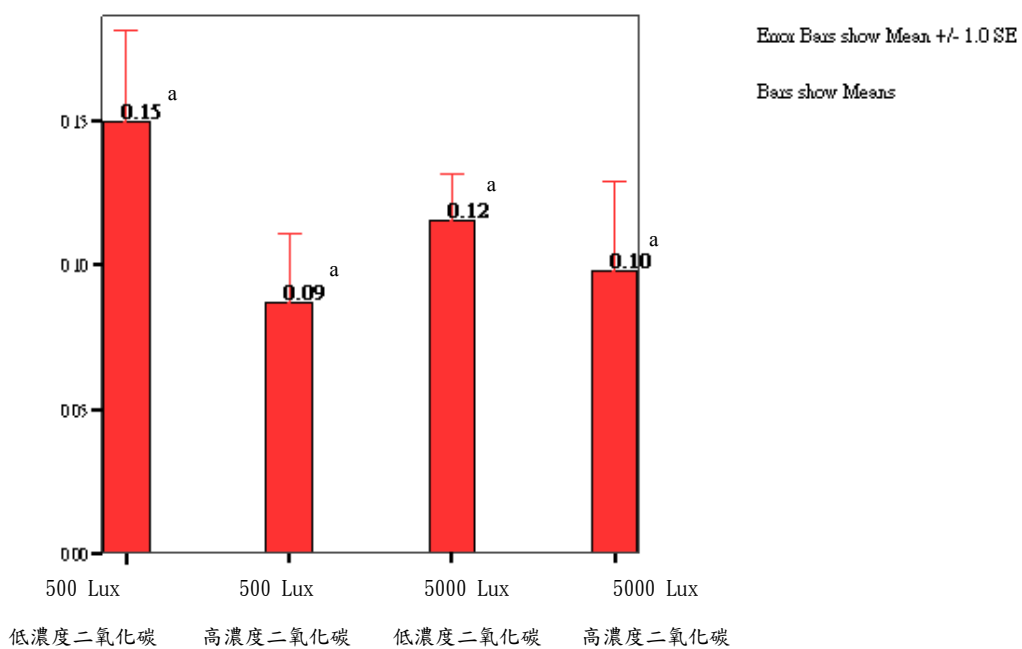
圖六、粗肋草在不同光照與不同二氧化碳濃度下的沉降速率

Vd (mm/s)

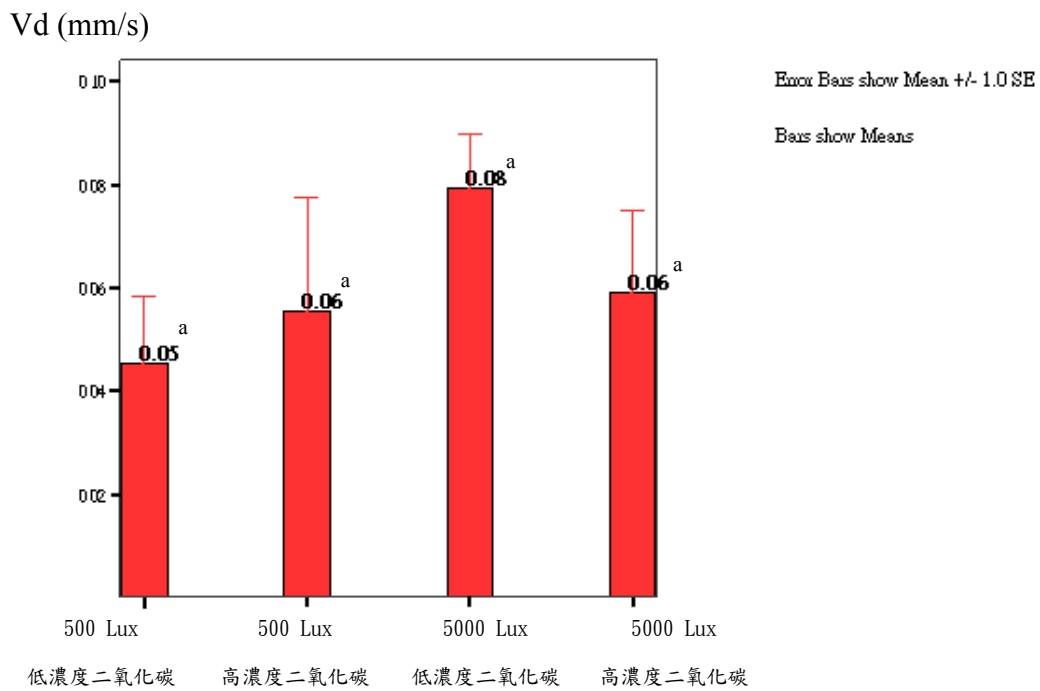


圖七、火鶴在不同光照與不同二氧化碳濃度下的沉降速率

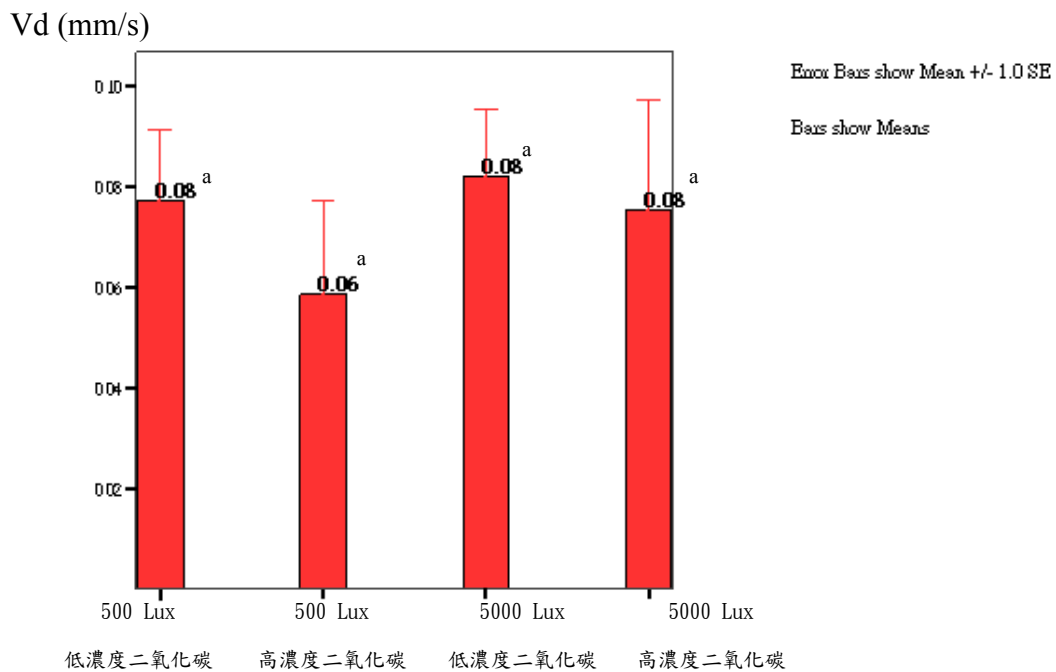
Vd (mm/s)



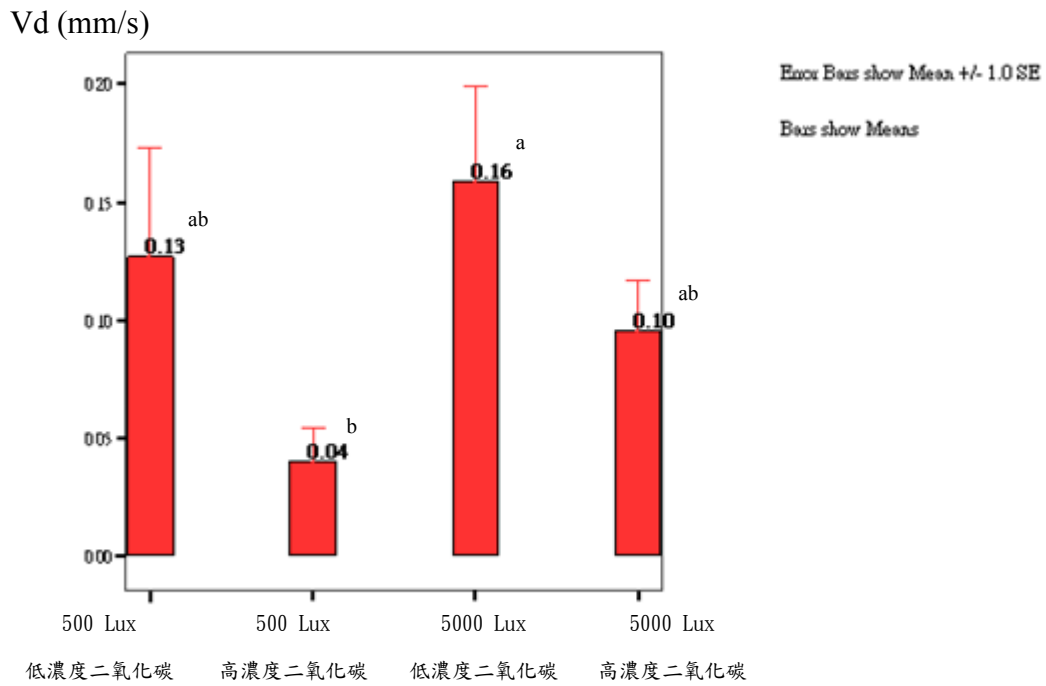
圖八、綠帝王蔓綠絨在不同光照與不同二氧化碳濃度下的沉降速率



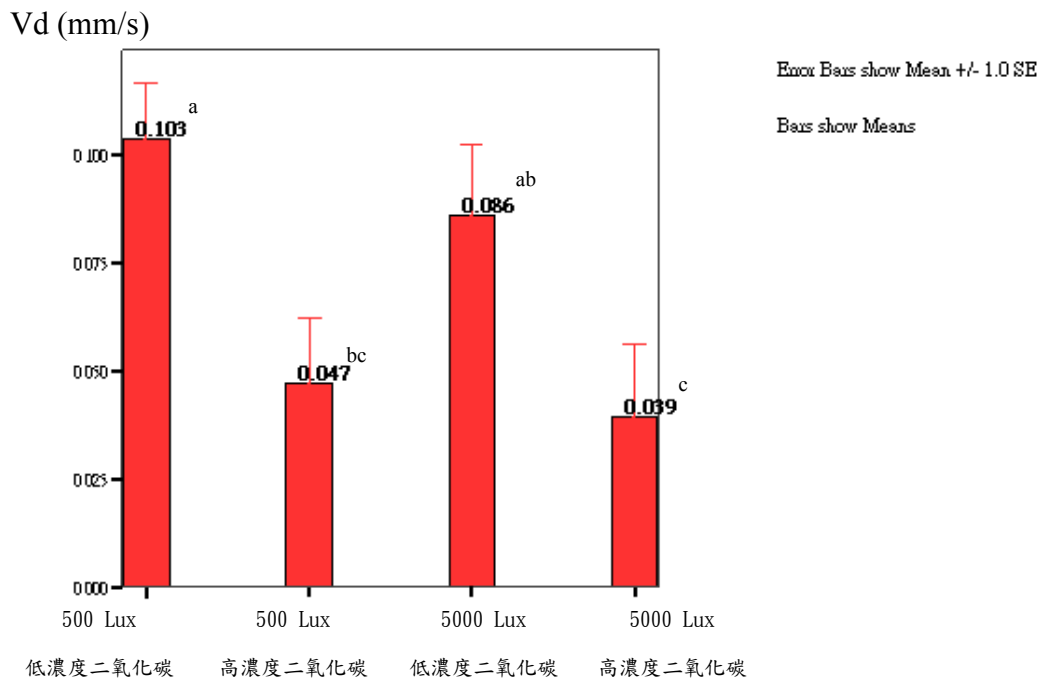
圖九、剛果蔓綠絨不同光照與不同二氧化碳濃度下的沉降速率



圖十、心葉蔓綠絨在不同光照與不同二氧化碳濃度下的沉降速率



圖十一、黃金心葉蔓綠絨在不同光照與不同二氧化碳濃度下的沈降速率



圖十二、山蘇在不同光照與不同二氧化碳濃度下的沈降速率

第五章 討論

一、室內外揮發性有機物質與苯之含量

相關主管機關對於室內揮發性有機物質的規範以及有害性的評估很少(Suh *et al.*, 2000)。我國環保署對室內的揮發性有機物質濃度建議值為 3ppm (行政院環保署, 1994), 而一般辦公室室內空氣中的總揮發性有機物質濃度為 0.038~3.86ppm 之間, 其中高於環保署標準者為上下班時段車輛進出頻繁, 且大樓通風不佳所造成揮發性有機物質濃度之累積, 此外其餘時段皆符合建議值 (蘇, 2006)。

由表一吾人所測的結果可看出, 一般室內環境中大部份時段揮發性有機物質與苯的濃度皆為 0ppm, 本研究中測試的住家已居住九年, 一般室內揮發性有機物質的濃度在居住一年之後會顯著的減少, 但和室內通風設備並無顯著關聯 (Ikeda and Park, 2006)。但在有使用指甲油的室內, 則可測出苯之存在, 因揮發性有機物質易在某些特定活動下產生(Suh *et al.*, 2000), 如吸煙、使用指甲油等溶劑或顏料之用品, 若長時間暴露在這些易釋放揮發性有機物質的族群則會增加罹癌的風險(Rennix *et al.*, 2005)。長期間暴露於苯的環境下, 已有很多致癌的案例 (Infante *et al.*, 1977; Johnson *et al.*, 2007; Wang, 1999)。由於現代人花在室內的時間已占了 80%~90%, 因此受室內空氣污染的危害往往比室外的危害大(Suh *et al.*, 2000)。

在馬路上及加油站附近吾人所測的揮發性有機物質濃度為 0ppm, 但在加油站附近, 其加油槍附近揮發性有機物質的濃度大幅可提升到 69ppm, 而苯則有 19.6ppm。在其他室外環境中, 則大部分的地點所測得的揮發性有機物質及苯濃度都是 0ppm。在加油站因汽油中有 6% 為苯, 故加油站附近的苯仍是一項隱憂。

二、十七種室內植物對苯之吸收

由十七種植物之實驗結果可知，植物確實可以吸收苯，且各種植物的吸收效率不同，如表二，即在相同環境下仍有不同的沈降速率 (Collins *et al.*, 2000; Cornejo *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 2007; Ugrehelidze *et al.*, 1996; Orwell *et al.*, 2004; Wolverton, 1988; Wolverton, 1988; Wood *et al.*, 2001; Yoo *et al.*, 2006) (表二)。以不同科別做為分類時可大致看出，天南星科與鐵角蕨科的吸收能力最強(表三)，這與室內植物吸收甲醛之實驗結果一致 (曹，2001)。

十七種植物之中，綠帝王蔓綠絨與綠精靈合果芋的吸收效果最好，可與前人證實鋤葉蔓綠絨(Wolverton, 1988)以及合果芋(Yoo *et al.*, 2006)對苯的良好吸收效果相互對照。然而同為蔓綠絨屬的另外三種蔓綠絨卻有較低的沈降速率，這可能顯示出同屬植物之間的差異性。

由於葉面積是影響植物吸收有害氣體的重要因素(Collins *et al.*, 2000; Simonich and Hites, 1996)，在計算植物吸收效率時多半會考慮單位葉面積的吸收率(Liu *et al.*, 2007; Ugrehelidze *et al.*, 1996; Orwell *et al.*, 2004; Wood *et al.*, 2001; Yoo *et al.*, 2006)，或考慮葉片的生物質量(Cornejo *et al.*, 1999)。本研究所用之沈降速率亦然 (孫，1993；Wesely and Hicks, 1997)。但以園藝栽培的觀點，植物是以花盆為單位，因此本結果同時也表示出每盆植物的降汗或吸收率(Orwell *et al.*, 2004)。日後若需考慮植物移除有害氣體的效率，也可將每盆植栽或每單位體積之吸收效率納入考慮 (陳，2006)，以探討室內每一單位植被之淨汗效果。

本實驗中，苯的吸收效率和植物葉綠體含量多寡沒有顯著的關聯。苯進入植物體內，分布位置主要在葉綠體與細胞質之中，而完整的菠菜葉綠體可將苯氧化(Ugrehelidze *et al.*, 1996)，但苯的代謝是否與光合作用有關，以及光合作用率的提升是否能促進苯的吸收則有待未來之實驗驗證之。

三、十七種室內植物在不同光強度下對苯之吸收

在 5000Lux 的光照處理下，黃金心葉蔓綠絨、紅邊椒草和綠帝王蔓綠絨三種植物對苯的吸收能力最強（表五），其中，黃金心葉蔓綠絨和紅邊椒草的沈降速率和 500Lux 相比都有大幅提升，但綠帝王蔓綠絨則是稍微下降（表六）。

統計結果顯示光照強度並未使十七種植物在強光下的沈降速率都提升，這可能與不同品種間的差異有關。但 17 種中有 10 種在強光下比弱光下有較高之吸收。而其他學者之研究則顯示，從長期（20 天以上）熏氣的實驗結果看來，植物與微生物的生態系統無論有無光照處理都可以移除苯，而植物最終無論在強光或無光的情況下，對苯吸收率的差別並不大(Orwell *et al.*, 2004; Wood *et al.*, 2002)。

理論上光度的大小會影響植物氣孔的開合（呂，1997；陳，2006；Hill, 1971；Leuning *et al.*, 1979；Thomas and Hill, 1935），本次實驗結果也印證在 5000Lux 強光下各植物的氣孔導度均顯著大於 500Lux 弱光者（表七）。而事實上，植物除了由氣孔吸收苯之外，表皮角質層也是一影響的關鍵(Jen *et al.*, 1995；Ugrekheldze *et al.*, 1996)，角質層的厚度則和品種及葉齡有關(Collins *et al.*, 2006)。因此光照強度增強導致氣孔導度的增加，並不能完全推導出沈降速率提升之結果，因為沉降吸收另與葉肉導度(mesophyll conductance)有關。室內植物在短期內對甲醛的吸收已被報導會受到光度增強而提升（陳，2006），但在苯之吸收方面則較不顯著，其原因可能有二：(1)不同氣體進入植物體內的代謝路徑不同(Collins *et al.*, 2006)，如甲醛進入植物體內後由 Formaldehyde dehydrogenase (FDH)轉換為 Formate，隨後再由 Formate dehydrogenase (FTDH)轉換為二氧化碳(Schmitz *et al.*, 2000)，二氧化碳再進入光合作用中循環。而苯並非酵素基質，進入植物體內的第一步驟的水解非由酵素進行反應(Ugrekheldze *et al.*, 1997)。(2)本次實驗為避免小型密閉空間二氧化碳濃度與濕度的影響，測量時間較短，而前述甲醛實驗的測定時間則較長，達 15 分鐘。依據經驗，植物對有害氣體的吸收率會隨時間長短

而改變，通常在前幾分鐘時的吸收效率最高，然後可能會漸漸下降，光照強度對沈降速率的影響也許並非短期立即可看出的反應。

另外從不同科別植物在 5000Lux 強光下的沈降速率結果可看出，在強光下胡椒科的吸收效率最好，其次為天南星科。綜合強光與弱光的結果可知，天南星科無論在強光與弱光下都有不錯的表現，而鐵角蕨科的山蘇在光照不強之處反而對苯的吸收效率較高。

四、八種室內植物在不同二氧化碳濃度下對苯之吸收

本次研究所採用的 300~400ppm 與 600~700ppm 兩種濃度的二氧化碳，係參考室內環境中的二氧化碳，一般二氧化碳為 340ppm 左右，而其兩倍值即為 600~700ppm。但在一般辦公室也可能超過環保署〈室內空氣品質建議書〉公告的 1000ppm 之大小（蘇，2006）。故一般室內植物應有機會面臨此兩種濃度之二氧化碳。

二氧化碳是植物營養來源的一部分，近年全球暖化卻與二氧化碳的提升有關，使關於二氧化碳對植物的影響的研究越來越多。一般說來，高濃度的二氧化碳會使植物氣孔關閉(Agrawal and Deepak, 2003; Kimball *et al.*, 2002; Lawlor, 1995; Lawlor and Mitchell, 1991; Wu *et al.*, 2004; Zhao *et al.*, 2003)，但會增加光合作用及植物之生長。

由實驗結果可知，在低濃度的二氧化碳環境下，強光會使一些植物對苯的沈降速率增加，但並非全部，但在高濃度的二氧化碳環境下，強光會使大部分植物對苯的吸收率顯著高於弱光者(表九和十)。已知二氧化碳在 1000ppm 的濃度時，會使植物的氣孔關閉（陳，2006），但在 600~700ppm 的範圍之間的濃度，似乎不會使氣孔完全關閉。這可能是因為二氧化碳在高濃度時使得氣孔導度下降，但

另一方面強光反會使氣孔導度提升，進而增加植物經由氣孔吸收苯的能力。

由表十一和十二也可看出無論在弱光或強光，高濃度二氧化碳環境下的沈降速率多顯著低於低濃度二氧化碳的沈降速率，表示二氧化碳濃度的增加無論光照情形如何，皆會使植物對苯的沈降速率下降。

另比較八種植物在高低二氧化碳濃度及強光弱光共四種組合情況下的沈降速率，結果發現粗肋草與黃金心葉蔓綠絨在強光配低二氧化碳時的沈降速率，明顯高於弱光配高濃度二氧化碳者。此與前述強光可促進高濃度二氧化碳可抑制植物對苯吸收之結果相符，故可視為典型代表之植物。而山蘇雖然在弱光下有較高的沈降速率，但在低二氧化碳下仍比高濃度二氧化碳有較高的沈降速率，亦足以為高濃度二氧化碳會抑制苯沈降速率之代表，而弱光下有高沉降，可能與山蘇不喜強光的特性有關。



參考文獻

1. 呂宜玲 1997 植物對過氧硝酸乙烯酯的吸收及其反應。國立台灣大學植物病蟲害研究所論文。
2. 行政院環保署 1994 室內空氣品質建議值。行政院環保署。
3. 孫岩章 1993 綠色植物淨化空氣的機能。科學農業 41(7, 8): 163-176。
4. 孫岩章 1999 利用空氣清淨生態系統裝置改善室內空氣品質的一種設計。中華民國環境保護學會會誌 22:131-141。
5. 孫岩章 2001 環境污染與公害鑑定。第二版，科技圖書。台北。
6. 孫岩章 2006 空氣品質淨化區主要六種樹種全年淨化空氣汙染物總量評估計畫期中報告。行政院環保署科技計畫。
7. 孫岩章、曹慧嫻 2006 室內無塵無菌綠化環保生態箱之建構。室內空氣品質管理研討會，中華民國環境保護學會與行政院環境保護署。
8. 陳彥宇 2006 常見室內植物對甲醛及二氧化碳之吸收及反應。國立台灣大學植物病理與微生物學研究所論文。
9. 曹慧嫻 2001 常見室內植物對甲醛之吸收及其反應。國立台灣大學植物病理學研究所論文。
10. 蘇惠貞 2006 室內空氣品質的健康影響、防制與管理。室內空氣品質管理研討會。中華民國環境保護學會與行政院環境保護署。
11. 蘇國澤 2006 室內空氣汙染之監測。室內空氣品質管理研討會。中華民國環境保護學會與行政院環境保護署。
12. 日本厚生省 2000 總揮發性有機化合物 (Total Volatile Organic Compounds: TVOC) の空氣質指針策定の考え方について シックハウス (室內空氣汙染) 問題に関する検討会中間報告書—第4回及び第5回のまとめ 厚生労働省

13. Agrawal, M., and Deepak, S. S. 2003. Physiological and biochemical responses of two cultivars of wheat to elevated levels of CO₂ and SO₂, singly and in combination. *Environmental Pollution* 121 (2):189-197.
14. Andersson, K., Bakke, J. V., Bjorseth, O., Bornehag, C. G., Clausen, G., Hongolo, J. K., Kjellman, M., Kjaergaard, S., Levy, F., Molhave, L., Skerfving, S., and Sundell, J. 1997. TVOC and health in non-industrial indoor environments - Report from a Nordic scientific consensus meeting at Langholmen in Stockholm, 1996. *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate* 7 (2):78-91.
15. Apte, M. G., Fisk, W. J., and Daisey, J. M. 2000. Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in US office buildings: An analysis of the 1994-1996 BASE study data. *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate* 10 (4):246-257.
16. Ballesta, P. P., Field, R. A., Connolly, R., Cao, N., Caracena, A. B., and Saeger, E. D. 2006. Population exposure to benzene: One day cross-sections in six European cities. *Atmospheric Environment* 40:3355-3366.
17. Brown, S. K., Sim, M. R., Abramson, M. J., and Gray, C. N. 1994. Concentrations of volatile organic-compounds in indoor air - A review. *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate* 4 (2):123-134.
18. Collins, C. D., Bell, J. N. B., and Crews, C. 2000. Benzene accumulation in horticultural crops. *Chemosphere* 40 (1):109-114.
19. Collins, C., Fryer, M., and Grosso, A. 2006. Plant uptake of non-ionic organic chemicals. *Environmental Science & Technology* 40 (1):45-52.
20. Cornejo, J. J., Munoz, F. G., Ma, C. Y., and Stewart, A. J. 1999. Studies on the decontamination of air by plants. *Ecotoxicology* 8 (4):311-320.
21. Culotta, L., Gianguzza, A., and Orecchio, S. 2005. Leaves of *Nerium oleander* L.

- as bioaccumulators of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the air of Palermo (Italy): Extraction and GC-MS analysis, distribution and sources. *Polycyclic Aromatic Compounds* 25 (4):327-344.
22. Da Silva, J. A. T., Giang, D. D. T., and Tanaka, N. 2006. Photoautotrophic micropropagation of *Spathiphyllum*. *Photosynthetica* 44 (1):53-61.
 23. De Kempeneer, L., Sercu, B., Vanbrabant, W., Van Langenhove, H., and Verstraete, W. 2004. Bioaugmentation of the phyllosphere for the removal of toluene from indoor air. *Applied Microbiology and Biotechnology* 64 (2):284-288.
 24. Ellacott, M. V., and Reed, S. 1999. Development of robust indoor air quality models for the estimation of volatile organic compound concentrations in buildings. *Indoor and Built Environment* 8 (6):345-360.
 25. Environment Australia. 2001. Air toxics and indoor air quality in Australia. www.environment.gov.au/atmosphere/airquality/indoorair/
 26. EPA. 2007. An Introduction to Indoor Air Quality. www.epa.gov/iaq/voc.html
 27. Franco, J. A., Martinez-Sanchez, J. J., Fernandez, J. A., and Banon, S. 2006. Selection and nursery production of ornamental plants for landscaping and xerogardening in semi-arid environments. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 81 (1):3-17.
 28. Ghannoum, O., Caemmerer, S. V., Ziska, L. H., and Conroy, J. P. 2000. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment. *Plant, Cell and Environment* 23:931-942.
 29. Godish, T., and Guindon, C. 1989. An assessment of botanical air purification as a formaldehyde mitigation measure under dynamic laboratory chamber conditions. *Environmental Pollution* 62 (1):13-20.
 30. Hill, A. C. 1971. Vegetation: A sink for atmospheric pollutants. *Journal of the Air*

- Pollution Control Association 21:341-346.
31. Hodgson, A. T. 1995. A review and a limited comparison of methods for measuring total volatile organic compounds in indoor air. *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate* 5 (4):247-257.
 32. Infante, P. F., Rinsky, R. A., Wagoner, J. K., and Young, R. J. 1977. Leukaemia in benzene workers. *The Lancet* 2:76-78.
 33. Jen, M. S., Hoylman, A. M., Edwards, N. T., and Walton, B. T. 1995. Experimental method to measure gaseous uptake of C-14-toluene by foliage. *Environmental and Experimental Botany* 35 (3):389-398.
 34. Johnson, E. S., Langard, S., and Lin, Y. S. 2007. A critique of benzene exposure in the general population. *Science of the Total Environment* 374 (2-3):183-198.
 35. Jokl, M. V. 2000. Evaluation of indoor air quality using the decibel concept based on carbon dioxide and TVOC. *Building and Environment* 35 (8):677-697.
 36. Jones, A. P. 1999. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment* 33 (28):4535-4564.
 37. Keymeulen, R., Schamp, N., and Vanlangenhove, H. 1993. Factors affecting airborne monocyclic aromatic hydrocarbon uptake by plants. *Atmospheric Environment Part a*, 27 (2):175-180.
 38. Keymeulen, R., Schamp, N., and Vanlangenhove, H. 1995. Uptake of gaseous toluene in plant-leaves - a 2 compartment model. *Chemosphere* 31 (8):3961-3975.
 39. Kimball, B. A., Zhu, J., Cheng, L., Kobayashi, K., and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment. *Yingyong Shengtai Xuebao* 13 (10):1323-1338.
 40. Korner, C. 2006. Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist* 172 (3):393-411.

41. Korte, F., Kvesitadze, G., Ugrehelidze, D., Gordeziani, M., Khatisashvili, G., Buadze, O., Zaalishvili, G., and Coulston, F. 2000. Organic toxicants and plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 47 (1):1-26.
42. Lawlor, D. W. 1995. Photosynthesis, productivity and environment. *Journal of Experimental Botany* 46:1449-1461.
43. Lawlor, D. W., and Mitchell, R. A. C. 1991. The effects of increasing co₂ on crop photosynthesis and productivity - A review of field studies. *Plant Cell and Environment* 14 (8):807-818.
44. Leuning, R., Neumann, H. H., and Thurtell, G. W. 1979. Ozone uptake by corn (zea-mays-l) - general-approach. *Agricultural Meteorology* 20 (2):115-135.
45. Liao, S. S. T., Baconshone, J., and Kim, Y. S. 1991. Factors influencing indoor air-quality in Hong-Kong - measurements in offices and shops. *Environmental Technology* 12 (9):737-745.
46. Liu, Y. J., Mu, Y. J., Zhu, Y. G., Ding, H., and Arens, N. C. 2007. Which ornamental plant species effectively remove benzene from indoor air? *Atmospheric Environment* 41 (3):650-654.
47. Orwell, R. L., Wood, R. A., Burchett, M. D., Tarran, J., and Torpy, F. 2006. The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: II. Laboratory study. *Water Air and Soil Pollution* 177 (1-4):59-80.
48. Orwell, R. L., Wood, R. L., Tarran, J., Torpy, F., and Burchett, M. D. 2004. Removal of benzene by the indoor plant/substrate microcosm and implications for air quality. *Water Air and Soil Pollution* 157 (1-4):193-207.
49. Park, J. S., and Ikeda, K. 2006. Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years in new and older homes. *Indoor Air* 16 (2):129-135.
50. Posniak, M., Makhniashvili, I., and Koziel, E. 2005. Volatile organic compounds in the indoor air of Warsaw office buildings. *Indoor and Built Environment* 14

(3-4):269-275.

51. Rehwagen, M., Schlink, U., and Herbarth, O. 2003. Seasonal cycle of VOCs in apartments. *Indoor Air* 13 (3):283-291.
52. Rennix, C. P., Quinn, M. M., Amoroso, P. J., Eisen, E. A., and Wegman, D. H. 2005. Risk of breast cancer among enlisted army women occupationally exposed to volatile organic compounds. *American Journal of Industrial Medicine* 48 (3):157-167.
53. Righi, E., Aggazzotti, G., Fantuzzi, G., Ciccarese, V., and Predieri, G. 2002. Air quality and well-being perception in subjects attending university libraries in Modena (Italy). *Science of the Total Environment* 286 (1-3):41-50.
54. Rogers, H. H., and Dahlman, R. C. 1993. Crop responses to CO₂ enrichment. *Vegetatio* 104:117-131.
55. Salt, D. E., Blaylock, M., Kumar, N., Dushenkov, V., Ensley, B. D., Chet, I., and Raskin, I. 1995. Phytoremediation - a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Bio-Technology* 13 (5):468-474.
56. Salt, D. E., Smith, R. D., and Raskin, I. 1998. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49:643-668.
57. Schmitz, H., Hilgers, U., and Weidner, M. 2000. Assimilation and metabolism of formaldehyde by leaves appear unlikely to be of value for indoor air purification. *New Phytol.* 147:307-315.
58. Simonich, S. L., and Hites, R. A. 1995. Organic pollutant accumulation in vegetation. *Environmental Science & Technology* 29 (12):2905-2914.
59. Suh, H. H., Bahadori, T., Vallarino, J., and Spengler, J. D. 2000. Criteria air pollutants and toxic air pollutants. *Environmental Health Perspectives* 108:625-633.
60. Tani, A., Kato, S., Kajii, Y., Wilkinson, M., Owen, S., and Hewitt, N. 2007. A

proton transfer reaction mass spectrometry based system for determining plant uptake of volatile organic compounds. *Atmospheric Environment* 41 (8):1736-1746.

61. Thomas, M. D., and Hill, G. R. 1935. Absorption of sulphur dioxide by alfalfa and its relation to leaf injury. *Plant Physiology* 10 (2):291-307.
62. Wang, Q. B., and Chen, J. J. 2003. Variation in photosynthetic characteristics and leaf area contributes to *Spathiphyllum* cultivar differences in biomass production. *Photosynthetica* 41 (3):443-447.
63. Wesely, M. L., and Hicks, B. B. 1977. Some factors that affect deposition rates of sulfur-dioxide and similar gases on vegetation. *Journal of the Air Pollution Control Association* 27 (11):1110-1116.
64. Wolkoff, P., Clausen, P. A., Jensen, B., Nielsen, G. D., and Wilkins, C. K. 1997. Are we measuring the relevant indoor pollutants? *Indoor Air* 7 (2):92-106.
65. Wolverton, B. C. 1988. Foliage plants for improving indoor air quality. in: National Foliage Foundation Interiorscape Seminar, Hollywood, F. L.
66. Wolverton Environmental Services. 2007. Indoor Air Pollution. Wolverton Environmental Services, Inc.
67. Wolverton, B. C., Douglas, W. L., and Bounds, K. 1989. A study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement, An interim report. Pages 14. National aeronautics and space administration; Stennis space center; Sverdrup technology, Inc.
68. Wolverton, B. C., Johnson, A., and Bounds, K. 1989. Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement, Final Report, September. Pages 30. N. A. S. A.
69. Wolverton, B. C., McDonald, R. C., and Watkins, E. A. 1984. Foliage plants for removing indoor air-pollutants from energy-efficient homes. *Economic Botany*

38 (2):224-228.

70. Wolverton, B. C., and Wolverton, J. D. 1993. Plants and soil microorganisms: removal of formaldehyde, xylene, and ammonia from the indoor environment. *Journal of the Mississippi Academy of Sciences* 38 (2):11-15.
71. Wong, O. 1999. A critique of the exposure assessment in the epidemiologic study of benzene-exposed workers in China conducted by the Chinese Academy of Preventive Medicine and the US National Cancer Institute. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 30 (3):259-267.
72. Wood, R. A., Burchett, M. D., Alquezar, R., Orwell, R. L., Tarran, J., and Torpy, F. 2006. The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: I. Office field-study. *Water Air and Soil Pollution* 175 (1-4):163-180.
73. Wood, R. A., Orwell, R. L., Tarran, J., Torpy, F., and Burchett, M. 2002. Potted-plant/growth media interactions and capacities for removal of volatiles from indoor air. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 77 (1):120-129.
74. Wood, R., Orwell, R., Tarran, J., and Burchett, M. 2001. Pot-plants really do clean indoor air. *The Nursery Papers*, Sydney. p.1-4.
75. Wu, D. X., Wang, G. X., Bai, Y. F., and Liao, J. X. 2004. Effects of elevated CO₂ concentration on growth, water use, yield and grain quality of wheat under two soil water levels. *Agriculture Ecosystems & Environment* 104 (3):493-507.
76. Yoo, M. H., Kwon, Y. J., Son, K. C., and Kays, S. J. 2006. Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatiles on the plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131 (4):452-458.
77. Zhao, D., Reddy, K. R., Kakani, V. G., Read, J. J., and Sullivan, J. H. 2003. Growth and physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to

elevated carbon dioxide and ultraviolet-B radiation under controlled environmental conditions. *Plant Cell and Environment* 26 (5):771-782.



附錄



附圖一、黃邊虎尾蘭



附圖四、白玉黛粉葉



附圖二、銀后粗肋草



附圖五、綠帝王蔓綠絨



附圖三、火鶴



附圖六、剛果蔓綠絨



附圖七、心葉蔓綠絨



附圖十、陽光黃金葛



附圖八、黃金心葉蔓綠絨



附圖十一、綠精靈合果芋



附圖九、黃金葛



附圖十二、金玉合果芋



附圖十三、山蘇



附圖十六、紅邊椒草



附圖十四、馬拉巴栗



附圖十七、圓葉椒草



附圖十五、栗豆樹

