

樹木淨化空氣污染 的研究及應用

孫岩章 (En-Jang Sun)

國立台灣大學生農學院植物醫學研究中心首屆主任

植物醫師 中華民國環境保護學會理事長

行政院環保署公害糾紛裁決委員

電子郵件：eirl5622@ntu.edu.tw；傳真：02-23925622

主題

- 1. 常見空氣污染源及污染物
- 2. 植物淨化空氣污染之原理
- 3. 影響植物淨化空氣污染之因素
- 4. 利用樹木淨化空氣污染之應用

個人簡歷

服 務 機 關	服務部門	職 稱	起 訖 年 月
行政院衛生署環境保護局	第一組	技正	1982/9 ~ 1983/4
行政院衛生署環境保護局	南區環境監視中心	代主任	1983/5 ~ 1986/7
行政院環境保護署		簡任技正	1987/8 ~ 1989/8
美國North Carolina State University	Dept. Plant Pathology	訪問教授二年	1987/8 ~1988/6 2001~2002
中華民國環境保護學會		總編輯	1997~2001
中華民國環境保護學會		理事長	2001~2005
國立台灣大學	植物病理學系	教授、系主任	1989/8 ~ 1994/7
國立台灣大學	植物醫學研究中心	教授、主任	2006~2008
基隆市政府		環境影響評估 委員	1996年起迄今
花蓮縣政府農業局		花蓮無毒農業 輔導主持人	2003~迄今
行政院環境保護署		公害糾紛裁決 委員	2003~迄今

光化空氣污染廣佈於全球百大城市及郊區



主題一、

常見空氣污染源及污染物1

Major Sources of air pollutants in Taiwan

- a. 汽機車污染源(Transportation sources) : Especially from cars, trucks, motorcycles, ships and air planes. Air pollution from transportation sector contributes to the majority of air pollution in most urban cities.
- b. 大眾污染源(Household sources) : Especially from oil-burning, coal-burning, wood-burning, gas-burning, open burning, etc., for heating, cooking, or other activities. Most of them are contributing to the deterioration of indoor air quality.
- c. 農業污染源(Agricultural sources) : Mostly from burning of agricultural waste, forest fire, composting procedure, waste decomposition, pesticide, and farming machines.

主題一、

常見空氣污染源及污染物2

Major Sources of air pollutants in Taiwan

- d. 工業污染源(Industrial sources) : Various manufactures emitted a great amount of toxic gases and particles into the open air. Cement and steel factories were two old major sources in Taiwan. While petrochemical, pulp, electronic, fertilizer, waste incineration, and power industries are all big sources in Taiwan.
- e. 天然污染(Natural air pollution) : Emitted from volcano, wet land, oil well or other special sources.

主題一、 常見空氣污染源及污染物3

Major Sources of air pollutants in Taiwan

- f. 光化污染(Photochemical smog) : Firstly the PAN-type symptoms were found on plants at Los Angeles area in 1950s. At 1958 ozone-type symptoms were found on grape at southern California. Both pollutants were products of photochemical reactions that occurred when the light is strong and the precursors, like VOC and NO_x are abundant in the air. A total of 242 reactions were identified in this complicated smog when alkyls, olefines, aromatics and aldehydes were inter-reacted with many reactive free radicals or active oxygen, like O, OH·, and O₃.
- g. 跨國污染(Transboundary air pollution) : Acid rain can disperse 2000 km far away from the source. Sand storm particles, brown cloud, and forest fire smog (haze) can be sent to other countries or continent.
- h. 全球污染(Global air pollution) : Inert gases like freons, carbon dioxide, etc., can fly over the world surface, contributing to ozone hole in South polar areas and global warming of our earth.

室內外主要空氣污染物

一般空氣污染物一般分爲：

粒狀污染物(particles)：依其粒徑、物化性質分成PM10 (particulate matter < 10um), PM2.5 (particulate matter < 2.5um), 生物性微粒(viable particles)或生物氣膠, 懸浮微粒(suspended particulates), 次微米粒子 (submicron particulate)

氣態污染物(Gase)：含各種有毒氣體。

室內外主要空氣污染物2

Major air pollutants :

氣態污染物： SO_2 , NO , NO_2 , HF , CO , Cl_2 , HCl , NH_3 , H_2S ,
 C_2H_4 , C_3H_6 ,

粒狀污染物： Dust, suspended particles, fly ash, PM_{10} ,
 $\text{PM}_{2.5}$, bioaerosol

一次污染物(Primary pollutants)： like SO_2 , NO , NO_2 , HF ,
 CO , Cl_2 , HCl , NH_3 , H_2S , C_2H_4 , C_3H_6 ,

二次污染物(Secondary pollutants)： O_3 , PAN, and acid
rain

室內外主要空氣污染物3

粒狀污染物中對於人體健康危害最大的是小於2.5微米的粒子及氣體,前者小於2.5微米的粉子又被稱為可吸入性懸浮粒子 (Respirable suspended particles) ,因為越小的粒子越容易懸浮,故易隨著呼吸氣流進入肺部。

其實在空氣中之粒子只要密度小或粒徑小於10微米皆極易懸浮,即很容易由門縫、窗縫或冷氣換氣口進入室內,變成了室內空氣污染的主要成員,換言之,室外空氣品質不良的地區,室內空氣品質(Indoor air quality)一般也會不良,而目前臺灣各都會區即普遍有此嚴重的問題。

室內特有之主要空氣污染物1

除了由室外飄浮進入室內之污染物外,人們在室內所從事的活動,也會製造甚多的室內污染物。(Mainly from cooking, cigarette-smoking, wall-painting, pesticides, detergents, house keeping, organic solvents, mites, pollens, pet fur, mold spore, dust particles, and house remodeling.)有些乃成爲室內特有之空氣污染物

室內特有之粒狀污染物：亦依其粒徑、物化性質分或PM10 (particulate matter < 10um),PM2.5 (particulate matter < 2.5um),生物性微粒(viable particle)或生物氣膠,懸浮微粒(suspended particulates),次微米粒子(submicron particulate) 。其小於2.5微米的粒子又被稱爲可吸入性懸浮粒子。

室內特有之主要空氣污染物2

室內特有之粒狀污染物：

常見微粒有油煙(oil soot),油滴(oil droplet), 抽煙者之二手煙(Environmental Tobacco smoke), 從事宗教活動燒香之香煙,燃燒之黑煙,噴霧製造出之微滴,人員活動及清掃揚起之二次粒子,物質發黴產生之真菌孢子及細菌、各種粉狀物質之飛揚,工作機械產生之微粒,人員口鼻排放之飛沫,地毯塵蟎排泄物、石綿粒子)、殺蟲劑微粒等。

室內特有：生物氣膠，與室外之生物氣膠自有其差異。

室內特有之主要空氣污染物3

室內特有之氣態污染物：在氣態污染物之面,重要的有木材合板傢俱不斷釋出的甲醃,因其已被證明是可能致癌物質,烹調用火產生之一氧化氮及二氧化氮、油漆塗料等揮發產生之苯、甲苯、二甲苯、三氯乙烷等溶劑,清潔用品揮發或釋出之鹽酸、有機溶劑、氨、物質腐敗或發酵發生之醇、醛、酸等、工作機具釋出之各種化學氣體等。

尤其現代的科技,製造了越來越多的特殊家用化學品,其在家中多少皆會成爲空氣污染的一員。

室內空氣品質管理法

- 室內空氣污染已成為各國重視的重要議題，因為人們平均每日約有16小時左右之時間處於室內，即約佔全日61-78 %之時間。如加上在辦公室之時間，乃超過90 %之時間。
- 一旦室內空氣品質不佳，自然影響人體健康至鉅，因而近年來國人癌症排行榜中與空氣污染有關之肺癌大幅增長，而都會區小兒氣喘十年來之發生率也大幅增加。一般認為這與近年來都會區室內外空氣品質不良有一定之關聯。
- 例如在1998年報導指出國內為數最多的機車，所排之廢氣中，普遍含有致癌物多環芳香烴化物(統稱Polycyclic aromatic hydrocarbon, 簡稱PAH)，

我國環保署公佈之室內空氣品質建議值

項目	建議值	類別	單位
二氧化碳 (CO ₂)	8 小時值	第 1 類	600
		第 2 類	1000
一氧化碳 (CO)	8 小時值	第 1 類	2
		第 2 類	9
甲醛 (HCHO)	1 小時值		0.1
總揮發性有機化合物 (TVOC)	1 小時值		3
細菌 (Bacteria)	最高值	第 1 類	500
		第 2 類	1000
真菌 (Fungi)	最高值		1000
粒徑小於等於 10 微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM ₁₀)	24 小時值	第 1 類	60
		第 2 類	150
粒徑小於等於 2.5 微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM _{2.5})	24 小時值		100
臭氧 (O ₃)	8 小時值	第 1 類	0.03
		第 2 類	0.05
溫度 (Temperature)	1 小時值	第 1 類	15 至 28 °C (攝氏)

*第1類為要求較高之區域如醫院等

工廠排出之各類空氣污染



空氣污染無所不在



光化污染的先驅物質主要為碳氫化合物及氮氧化物



Urban Air Quality in Taipei





Four big areas
were found to
be affected by
PAN in
Taiwan at
present time

主題二 植物淨化空氣污染之原理

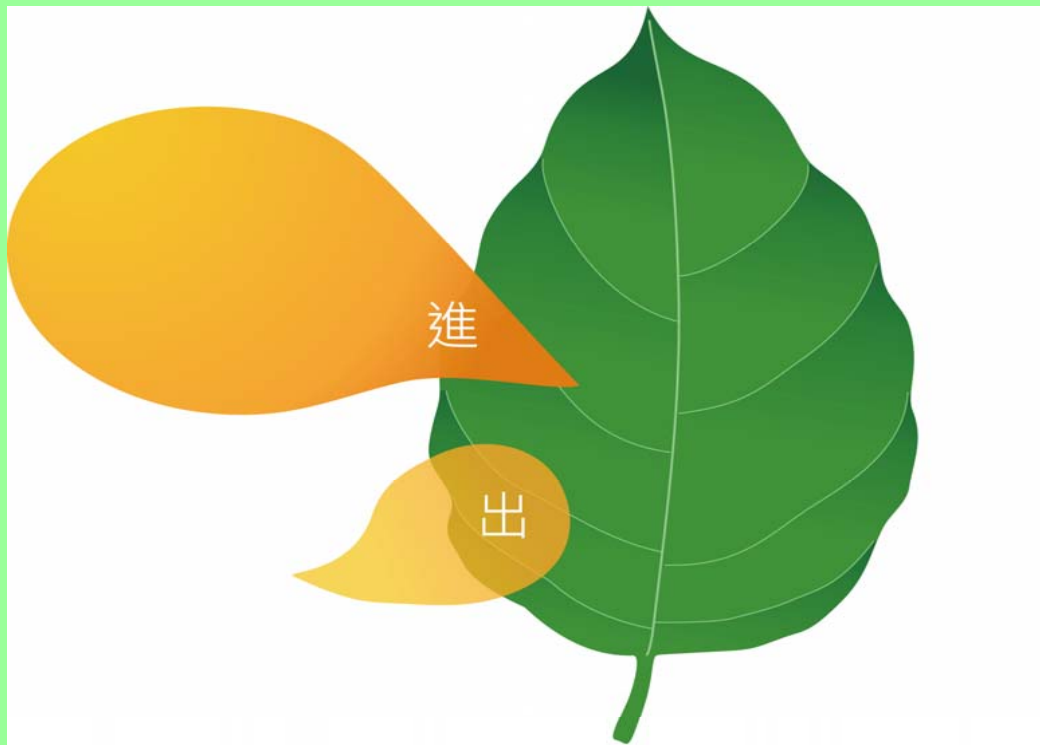


圖1. 污染氣體進出植物的模型，進 > 出表示吸收，
進 < 出表示排放。

植物淨化空氣污染之原理

- 已知植物一般對空氣污染之淨化是以氣態分子為主^(9, 38)，例如已有文獻證實綠色植物可以吸收淨化二氯化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、臭氧(O₃)、氨(NH₃)、硫化氫(H₂S)、氯化氫(HCl)、氟化氫(HF)、氯氣(Cl₂)、過氧硝酸乙醯酯(PAN)、氰酸(HCN)、苯(Benzene)、甲苯(Toluene)、二甲苯(Xylene)、甲醛(HCHO)、硝酸(HNO₃)、丙烯醛(Acrolein)、丙烯睛(Acrylonitrile)等等^(3, 9, 14, 38)。
- 作者等過去曾研究利用連續攪拌熏氣箱(Continuously stirred tank reactor，簡稱CSTR)在溫室內測定綠色植物實際淨化空氣污染物之效果^(1, 5-8, 23, 24, 32-34, 57)，證實綠色植物對臭氧、二氧化硫、二氧化氮、PAN、甲醛及二氧化碳等皆具吸收淨化之能力。

植物淨化空氣污染之研究

- 作者之研究實驗室曾有5位學生以此為論文，**研究對象有行道樹**對臭氧之吸收淨化、一般樹種對二氧化硫、二氧化氮、一氧化氮之吸收淨化、室內外樹種對過氧硝酸乙醯酯(PAN)之吸收淨化、及**室內樹種**對**甲醛、苯**之吸收淨化等等(1, 3-5, 8, 15, 20)。
- 但資料仍極不足，希望未來有關單位能繼續支持此一研究主題課題，讓有關植物淨污軟體更為豐足。

植物淨化空氣污染之研究2

- 有關室內植物如何吸收淨化污染之研究, 美國太空總署(NASA, National Aeronautics and Space Administration)即支持並發表不少之報告。其目的自與太空科技發展有關, 唯此對改善都會區污濁之空氣也會有所幫助。
- 例如1992年由Wolverton & Wolverton發表題為「Interior Plants and Their Role in Indoor Air Quality: An Review」之綜評⁽⁴²⁾, 即證實某些植物對甲醛甚具吸收淨化能力, 而有些植物之淨污能力就很有有限。。

空氣污染實驗溫室



利用CSTR測試淨污



PAN儀器監測



二氧化硫監測儀



SOP 綜合評估常用樹種對各種污染物之淨化能力

- 植物之淨化污染實與污染對植物之沉降（deposition）為同義詞，故淨化能力皆可用沉降速率(Deposition velocity)加以表示之。
- 沉降速率(簡寫為Vd)一般以 mm/sec為單位，且不因當地污染濃度之高低而改變，只會因氣體種類、阻力大小、植物種類而變化，即使是懸浮微粒、二氧化碳等也都可以用此表示其被吸收或沉降之快慢
- 在本研究中將特別利用此一參數做為全文中樹種淨污能力比較之依據。

SOP 綜合評估常用樹種對各種污染物之淨化能力： V_d 之重要應用

- V_d 之重要應用如下：
- (A) 由 V_d 可求全株之吸收量：公式為全株吸收量 = $V_d \times C \times A$ 而 $V_d = \{[NO_2]_{empt} - [NO_2]_{leaf}\} / [NO_2]_{empt} * F/A$
- 式中C為當地該污染物之濃度，單位為ppm；A 為全株葉片之總面積
- (B) 由 V_d 可比較不同樹種之淨污能力：按 V_d 一般以mm/sec為單位， V_d 大者表示該污染進到植物體內之速度較快，也就表示該植物對該污染淨化能力較高。
- (C) 由 V_d 可比較不同氣體被吸收潛力之大小：同理 V_d 一般以mm/sec為單位， V_d 大者表示該污染進到受體植物體內之速度較快，也就表示該污染氣體被吸收潛力較大。

SOP 綜合評估常用樹種對各種污染物之淨化能力： V_d 之重要應用2

- V_d 之重要應用續：
- (D) 由 V_d 可比較晝夜植物之淨污能力：同理因 V_d 一般以 mm/sec為單位，在白天之 V_d 一定大於晚上之 V_d ，這是因晚上氣孔關閉，氣體進入植物體內之潛力大降，故由晚上測得之 V_d 與白天測得之 V_d 加以比較，即可求取兩者之比值。
- (E) 由 V_d 可比較植物與其他受體淨污能力之差異：因為例如土壤、海洋、建築物都一樣會因污染之沉降造成淨污現象，故其淨污潛能一樣可用 V_d 值加以表示也。

SOP 綜合評估常用樹種對各種污染物之淨化能力：Vd 之重要應用3

- Vd 之重要應用續：
- (F) 由Vd可比較不同生長情況下植物之淨污能力：同理因Vd一般以 mm/sec為單位，在不同生長情況下測得之Vd一定有所差異，例如在乾早期因氣孔多關閉即會阻礙氣體之吸收。其他如營養、病蟲害、光照強弱、氣溫高低、株齡、葉齡、部位等也都會影響植物之淨污能力。
- (G)由負值Vd可比較不同植物之排污潛力：按負值Vd即表示植物不吸收該污染，反而排放該污染，故若一再證實Vd為負值，則可比較不同植物之排污潛力。

因
$$Vd = \{[NO_2]_{empt} - [NO_2]_{leaf}\} / [NO_2]_{empt} * F/A$$

主題三

影響植物淨化空氣污染之因素

影響植物淨化空氣污染之因素

- 已知光照、晝夜、生物時鐘、植物體質強弱、病蟲害、遺傳差異、營養差異、污染濃度、相對濕度等皆會影響植物對於污染氣體之吸收⁽⁹⁾。所以，植物對於污染之淨化是一種生物科學，其本身變異(Variation)極大，調控上自然也較困難。
- 話雖如此，但如果能在室內擁有類似森林般的環境，相信是現代都市人最大的福音及享受。

植物對甲醛吸收需要光照

- 由實驗可知，植物在不照光的情形下，其淨化甲醛能力只為照光者之 $1/33\sim 1/4$ ，故有必要人為提供光照，讓其一面行光合作用放出氧，吸收二氧化碳及甲醛。

主題 四

利用樹木淨化空氣污染之應用

表120、十六種樹種白天吸收苯之沉降速率(Vd)比較結果

喬木	Vd(mm/s)	灌木	Vd(mm/s)	室內植物	Vd(mm/s)
樟樹	0.20	金露華	0.31	鵝掌藤	0.34
印度紫檀	0.21	杜鵑	0.72	馬拉巴栗	0.27
烏心石	0.17	馬櫻丹	0.40	蒲葵	0.08
光臘樹	0.08	月橘	0.10	山蘇	0.16
茄苳	0.27	仙丹花	0.13		
台灣欖	0.22	朱槿	0.24		

表121、十六種樹種白天吸收甲醛之沉降速率(Vd)比較結果

喬木	Vd(mm/s)	灌木	Vd(mm/s)	室內植物	Vd(mm/s)
樟樹	0.38	金露華	0.25	鵝掌藤	0.20
印度紫檀	0.23	杜鵑	0.19	馬拉巴栗	0.27
烏心石	0.28	馬櫻丹	0.08	蒲葵	0.22
光臘樹	0.26	月橘	0.55	山蘇	0.17
茄苳	0.40	仙丹花	0.53		
台灣欖	0.37	朱槿	0.41		

表281、 台灣六種大樹全株全年對甲醛之淨污總量

台灣六種大樹全株年對HCHO之淨污總量									備註
樹種	樹齡	株高	總葉面積	大氣濃度	Vd-HCHO	秒株淨污量*	年株淨污量	年頃淨污量**	
	(y)	(m)	(m ²)	(ppm)	(mm/sec)	(ug/pl/sec)	(g/pl/yr)	(kg/ha/yr)	
樟樹	10	10.5	103.23	0.06	0.03	0.23	7.3	2.2	
印度紫檀	30	12.5	347.49	0.06	0.01	0.25	7.9	2.4	
烏心石	30	14	86.07	0.06	0.21	1.32	41.6	12.5	
光蠟樹	10	9.0	51.58	0.06	0.50	1.89	59.6	17.9	
茄苳	10	9.6	115.6	0.06	0.32	2.7	85.1	25.5	
台灣欖	10	11.3	56.67	0.06	0.83	3.44	108	32.4	

*秒株淨污量 = Vd-HCHO × 大氣平均濃度 × 總葉面積 × 轉換係數；

**年頃淨污量以每公頃種植300株計算。

表37、綜合評估22種植物淨化污染能力之結果

※淨污力評比：

A表優良，

B表中等，

C表不佳

D表排放

BVOC

序號	樹種	二氧化氮 Vd (mm/s)	二氧化氮淨污力排比※	二氧化硫 Vd (mm/s)	二氧化硫淨污力排比※	臭氧 Vd (mm/s)	臭氧淨污力排比※	PAN吸收 Vd (mm/s)	PAN淨污力排比※	異戊二烯排放
01	茄 苳	0.28	B	0.46	B	0.38	C	0.030*	B	-
02	樟 樹	0.19	B	0.25	B	0.46	C	0.017	B	-
03	烏心石	0.12	B	0.13	C	0.44	C	0.015	B	-
04	大葉桃花心木	0.09	C	0.17	C	0.27	C	0.010	B	-
05	印度紫檀	0.56	A	0.30	B	1.02	A	0.047	B	-
06	小葉欖仁	0.94	A	0.62	A	0.80	B	0.089	A	-
07	台灣檫	0.85	A	0.66	A	1.40	A	0.105	A	-
08	苦 楝	0.98	A	0.73	A	0.72	B	0.0450	B	-
09	黃連木	2.03	A	1.34	A	1.97	A	0.0940	A	-
10	相思樹	0.47	B	0.35	B	0.72	B	0.0726	A	-
11	水黃皮	0.29	B	0.38	B	0.65	B	0.0073	C	+
12	阿勃勒	0.21	B	0.39	B	0.56	B	0.0162	B	-
13	錫蘭橄欖	0.23	B	0.29	B	0.49	C	0.020	B	+
14	竹 柏	0.20	B	0.37	B	1.04	A	0.0143	B	-
15	羅漢松	0.13	B	0.30	B	0.67	B	0.0502	B	-
16	春不老	0.09?		0.84	A	0.34	C	0.0105	B	-
17	牛 樟	0.14	B	0.49	B	0.39	C	0.0090	C	-
18	肖 楠	0.41	B	0.42	B	0.40	C	0.0106	C	-
19	大葉山欖	0.19	B	0.26	B	0.49	C	0.0261	B	-
20	瓊崖海棠	0.31	B	1.72	A	1.31	A	0.0527	B	-
21	光臘樹	0.34	B	0.36	B	0.27	C	0.01	C	-
22	正榕	0.23	B	0.47	B	0.43	C	0.0147	B	

室內淨污生態箱之設計1

- 吾人認為廿一世紀應是一個提倡並推動「室內生態」之世紀，即應設法在室內建構綠地、花園，讓人們每日皆可與綠色植物共同生活及生存。因為綠色植物確已證實可以吸收並去除許多種類的氣態污染物^(9, 38)。
- 但植物是一種活生生的生命，其不是物理性之機器，對於污染氣體之吸收自然有其條件及代價。換言之，植物是有選擇地吸收污染，也有可能於日夜時間上及污染對象上之「喜好」或選擇。

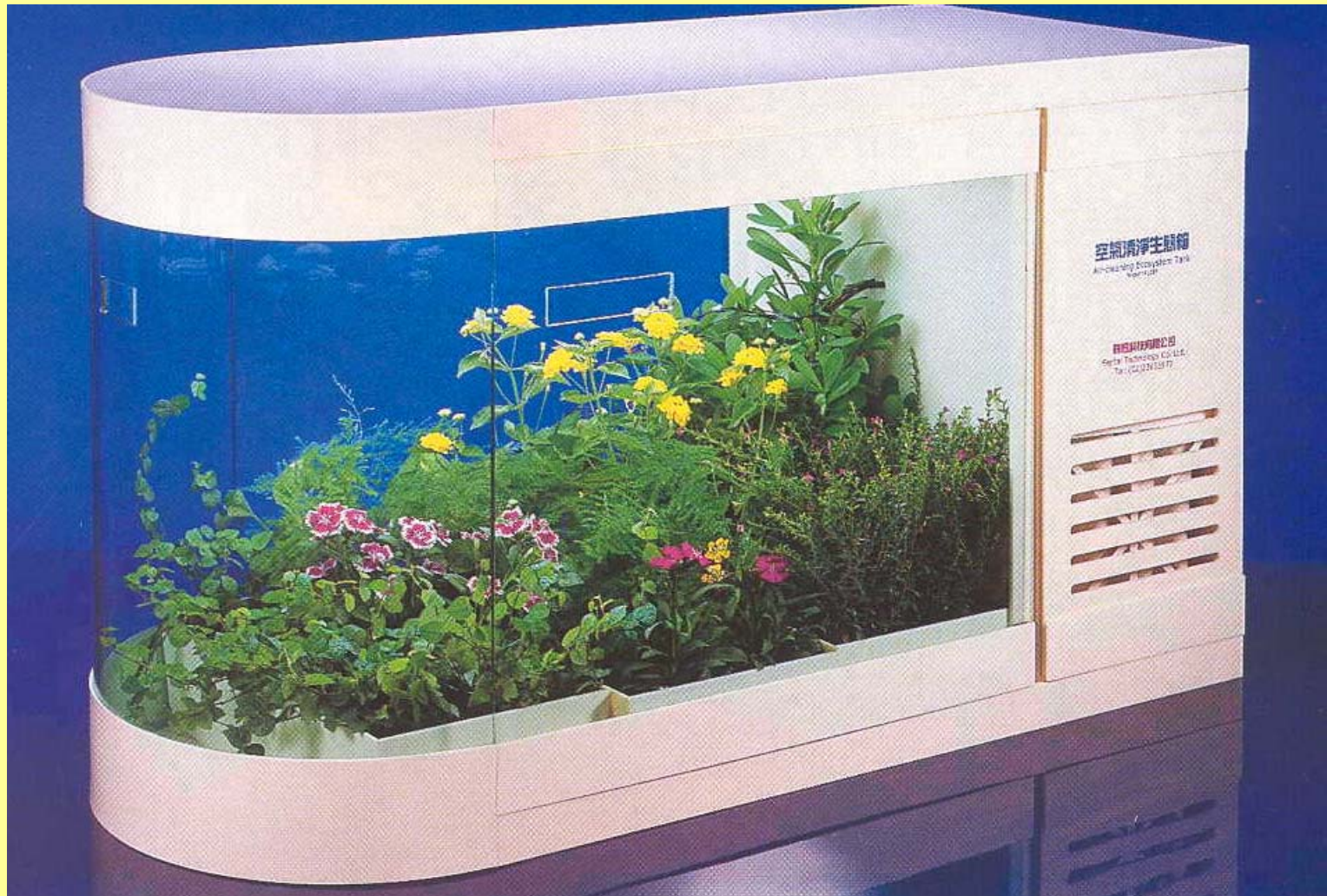
室內淨污生態箱之設計2

- 基於人類社會，尤其當今台灣都會地區，確實有室內優良空氣品質之迫切需求，吾人乃設計一種可以同時濾除污染又消除二氧化碳、增加氧氣之淨污植物生態箱⁽¹³⁾，希冀可以對改進室內空氣污染略盡棉薄之力。
- 有關其構造乃如下圖一及圖二所示。

室內空氣品質管理法

- 室內空氣品質管理法//公布於民國100年11月23日
- 第一條 為改善室內空氣品質，以維護國民健康，特制定本法。
- 第二十四條 本法自公布後一年施行。

圖一、家居型淨污植物生態箱



圖二、桌上型淨污植物生態箱



生態箱植物淨污能力測試

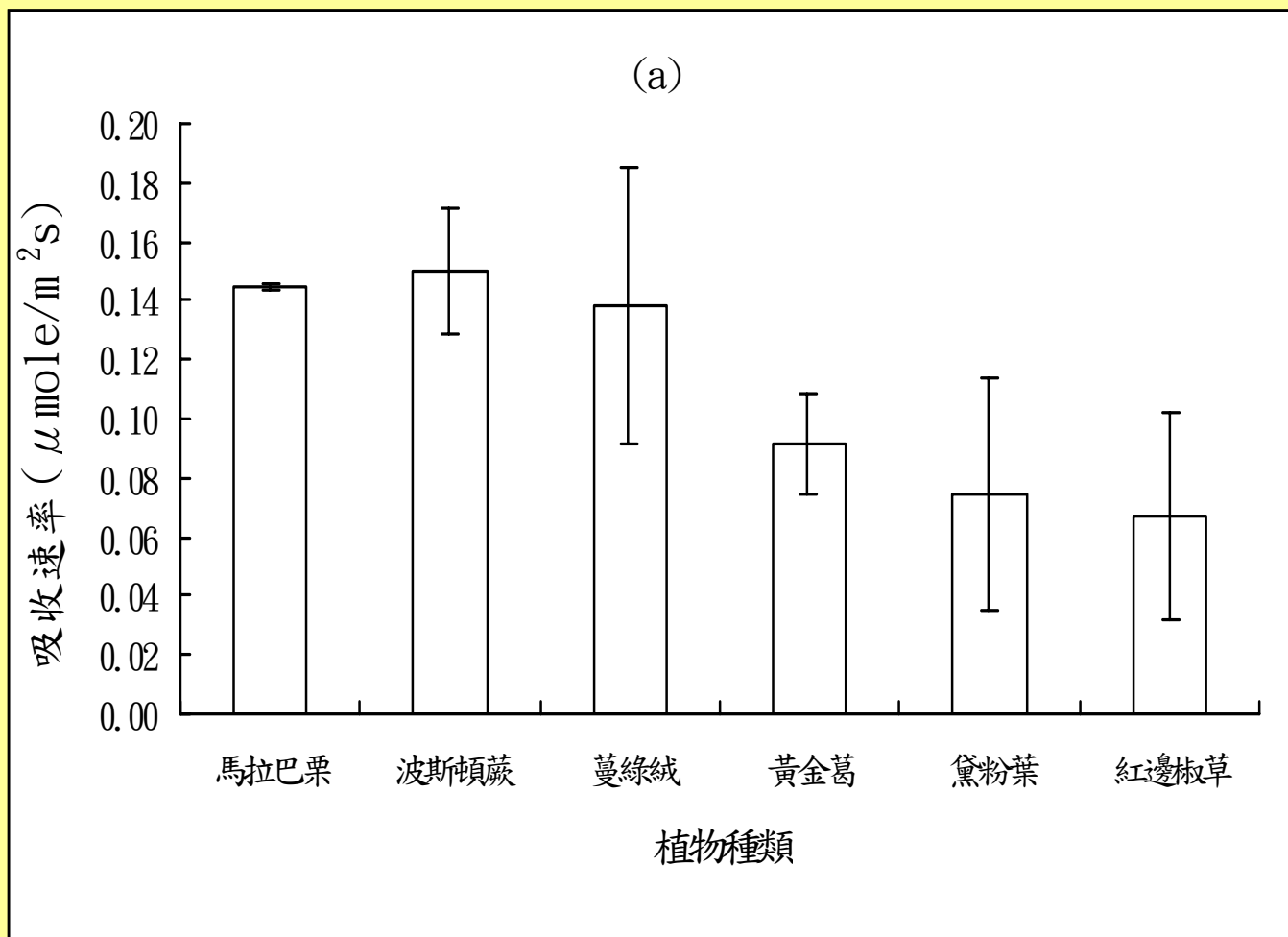
表一 兩種秋海棠植物葉片對臭氧之吸收速率測定結果⁽¹³⁾

植物品種	學名	單位面積葉片對 100ppb 臭氧之吸收速率 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{sec}$)	臭氧對葉片之降速度 Vd (mm/sec)
季秋海棠	<i>Begonia Semperflorens</i>	0.34	1.73
豨格海棠	<i>Begonia elatior</i>	0.25	1.30

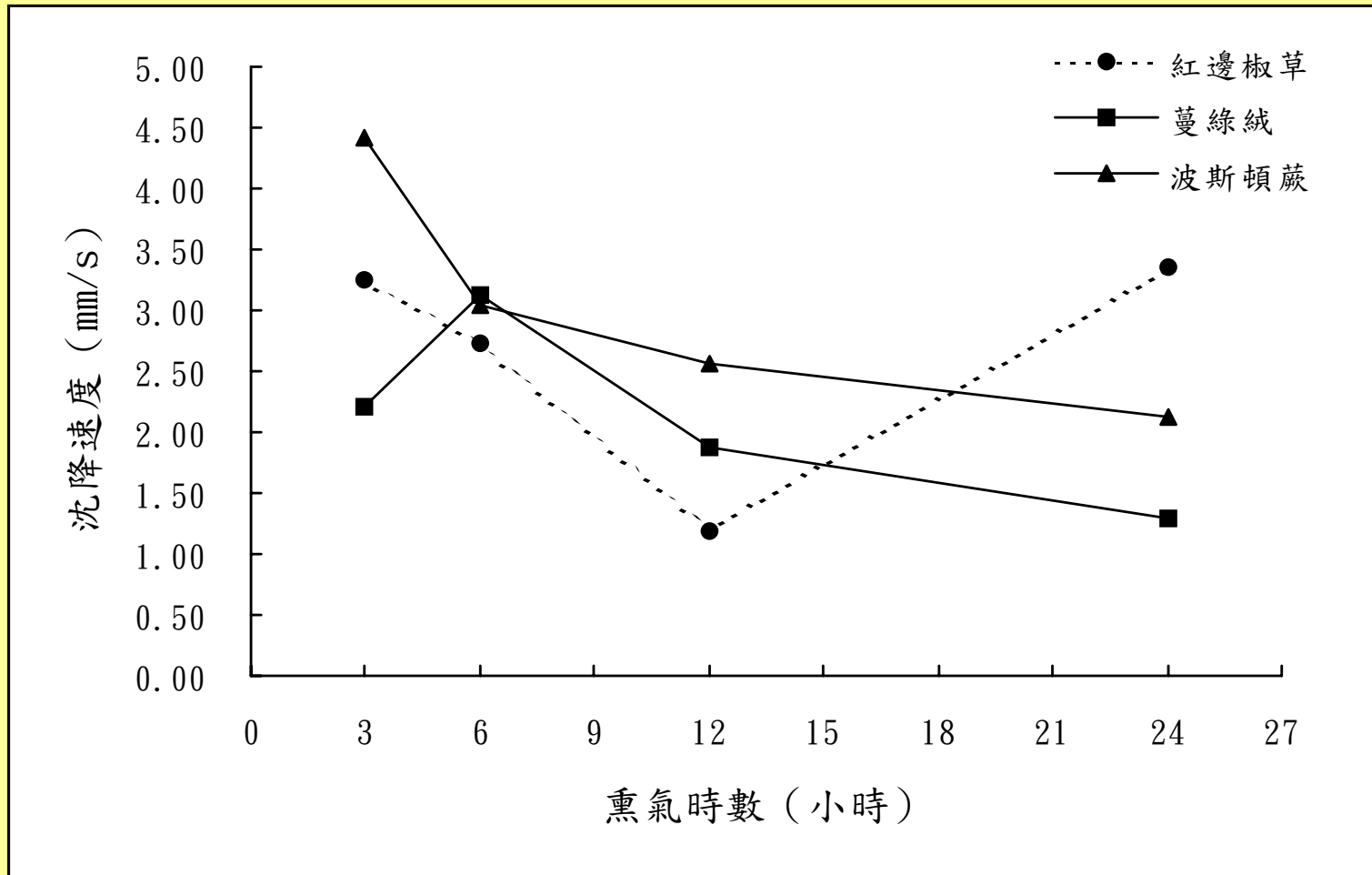
生態箱六種植被對室內甲醛之吸收測試

- 本研究係於甲醛濃度 1.23 ± 0.07 ppm條件下，室溫 $19 \sim 26^\circ\text{C}$ 。植被包括波斯頓蕨、紅邊椒草、蔓綠絨、黃金葛、馬拉巴栗及黛粉葉六種植物，置於生態箱內照光1小時後，測試其對甲醛之吸收力
- 結果如表二、表三及圖三，可知馬拉巴栗之沈降速度最大為 3.14 ± 0.07 mm/s (n=2)，其次依序為波斯頓蕨 2.86 ± 0.39 mm/s (n=3)、蔓綠絨 2.50 ± 0.78 mm/s (n=4)、黃金葛 1.92 ± 0.14 mm/s (n=3)、黛粉葉 1.49 ± 0.99 mm/s (n=4)及紅邊椒草 1.30 ± 0.70 mm/s (n=4)；
- 可知馬拉巴栗與波斯頓蕨屬吸收力較強之植被，蔓綠絨及黃金葛屬吸收力中等之植被，而黛粉葉及紅邊椒草則屬吸收力較弱之植被。

圖三、六種植被對甲醛濃度 $1.19\pm 0.20\text{ppm}$ 之吸收速率(a)



生態箱三種植被連續照光熏氣24小時，對甲醛濃度 $1.21\pm 0.17\text{ppm}$ 之沈降速度變化情形



應用空氣清淨生態箱可於室內或廠內淨化污染



環境教育法簡介

- 環境教育法//中華民國 99 年6 月5 日通過
- 第一條 為推動環境教育，促進國民瞭解個人及社會與環境的相互依存關係，增進全民環境倫理與責任，進而維護環境生態平衡、尊重生命、促進社會正義，培養環境公民與環境學習社群，以達到永續發展，特制定本法。
- 第二十六條 本法自公布後一年施行。

敬祝健康 並請指教

