

# 都市林木對空氣污染物的淨化

◎林業試驗所育林組·成允聖、陳財輝 (thchen@tfri.gov.tw)

## 前言

林木在改善都市生活環境品質上，發揮著難以取代的功能，包括調節溫度、提供休閒遊憩場所及截留或吸收空氣中的汙染物質等。其中林木對於淨化空氣的效益廣受各國重視，都市林木之林冠能藉由物理的攔截與葉表面對污染物的吸附達到淨化空氣的功效，植物的葉片能截留空氣中沉降之懸浮微粒，並於降雨時藉著淋洗作用，將污染物帶至地面，而林木的氣孔則能吸收氣狀汙染物，再將其轉化為植物可利用之養分。

隨著經濟與社會的快速發展，空氣品質與環境改善等議題越來越受重視，空氣汙染物依其主要特性可分為氣狀汙染物(硫氧化物、一氧化碳、氮氧化物)、粒狀汙染物(落塵、懸浮微粒)、二次汙染物(臭氧、過氧硝酸乙醯酯)、毒性物質(氯氣、甲醛)及惡臭物質(氨氣、硫化氫)等五類，對人體健康的危害十分嚴重。世界衛生組織指出在2012年內全世界有700萬人死於空氣汙染危害，占總死亡人數的1/8，其中又以東南亞與西太平洋地區最為嚴重，而臺灣根據衛福部的統計2016年有9,372人死於肺癌，是臺灣死亡人數最多的癌症，且其中有超過半數的人沒有吸菸，顯示出臺灣環境空氣汙染問題的嚴重。

利用都市林木來改善空氣汙染被認為是具有經濟效益且永續的方法。都市林木對於空氣品質之改善，除了仰賴林木本身對於空氣汙染物之吸收及攔截，更需藉由適地適木的原則，

篩選對於空氣汙染物抵抗能力佳之樹種，並透過栽植空間的配置、林木撫育管理手段等知識配合，才能達到都市林生態服務功能最佳化。

## 植物移除大氣污染物的機制

樹木可以藉由簡單的物理方式攔截粒狀汙染物，其攔截能力的強弱會受到樹木本身的型態特徵影響，像是葉片的結構、幾何特性、表皮與角質層特徵、葉序排列、樹高與樹冠幅以及排放源的位置與高度等。一般而言，較大的植株、短葉柄與粗糙的葉面相較於較小的植株、長葉柄與光滑的葉表面能攔截較多粒狀汙染物，此外具有特殊葉片結構的植物也多有較高的攔截量，像是木麻黃因具有退化小枝，可使沙塵微粒易於卡進這些地方，因此提高木麻黃攔截粒狀汙染物的量(圖1)。若更進一步透過顯微鏡觀測葉表面，則會發現不論是針葉樹或闊葉樹，其葉面上所能截留的粒狀汙染物，其粒徑大小約在0.2至70.4  $\mu\text{m}$ 間，而影響其截留粒徑大小的特性包含葉面的生理特性(粗糙、光滑、有毛等)、葉表面上的化學組成(蠟含量的多寡)及葉表皮的結構(厚度、形態等)。

粒徑較小( $< 0.2 \mu\text{m}$ )的汙染物與氣狀的汙染物，如硫氧化物、一氧化碳、氮氧化物等，則會隨葉片自然的氣體交換透過氣孔進入植體內(圖2)。研究發現經由氣孔進入葉部後的氣狀汙染物，會於細胞內的液胞中反應或是附著於細胞間隙的水膜上。如二氧化硫在進入葉片後，會迅速的與水結合形成亞硫酸氫鹽，再氧化成硫酸鹽，進而被植物體利用，而一氧化氮及二氧化氮則會在進入葉片

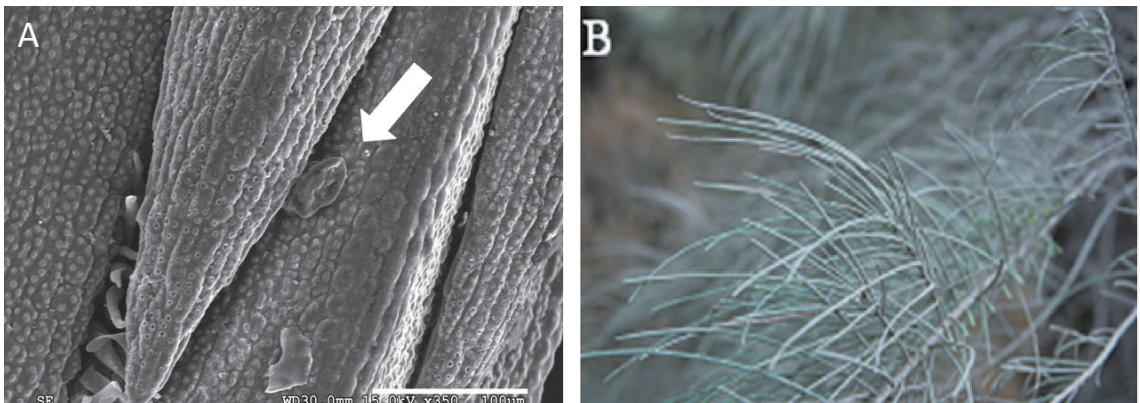


圖1 木麻黃因具有退化小枝使沙塵微粒易於卡進這些地方。(A)沙塵微粒滯留於木麻黃小枝鞘齒間(1/200  $\mu\text{m}$ )。(B)木麻黃小枝。(沈秉昂, 2012)。

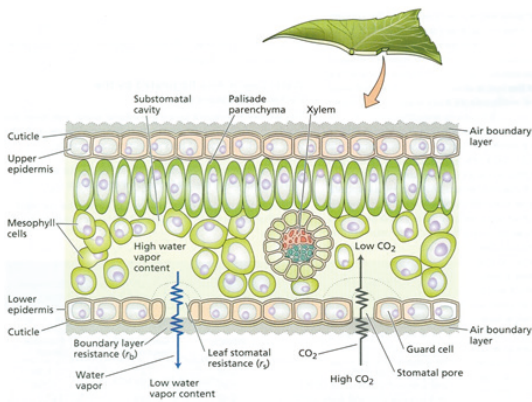


圖2 氣狀汙染物會隨葉片自然的氣體交換透過氣孔進入植體內(Taiz L. and Zeiger E. 2010)。

後與水反應形成亞硝酸鹽及硝酸鹽，這些物質會再經同化作用成為植物體的養分。

林木也能於降雨時藉由交換作用移除空氣汙染物，當降水通過樹冠時，樹體的養分會與雨水中的化學成分產生交換作用，部分養分會被淋溶到雨水中，而溶入雨水中的大氣汙染物則會藉此進入植體，同時樹體表面所附著的粉塵與汙染物也會溶解到水中，並

藉由穿落水與幹流水等方式進入土壤。

### 空氣汙染對植物體本身的影響

植物於低濃度的空氣汙染中並不影響生長，如硫氧化物與氮氧化物等空氣汙染物質可被植物吸收並轉化成可利用之養分，然高濃度的空氣汙染則可能對植物造成傷害。當葉片累積過多的粒狀汙染物時，會因受光量降低使光合色素的合成量減少，導致葉綠素的降低，且當粒狀汙染物上的離子溶入細胞液後會產生鹼性的環境使光合色素降解，並使生物合成所需的反應酵素受到抑制。

而生長在長期受氮氧化物汙染地區的植物，其株高與葉片數量皆會受到抑制，且死亡比例較高，此外暴露在高濃度的二氧化硫中會導致葉片褪綠、組織壞死、呈現壞疽徵狀或落葉。因此選擇樹種時應考量其對空氣汙染物的耐受能力。

### 不同樹種對空氣汙染的截留差異

因植物的形態特徵對汙染物的截留與耐受程度皆不相同，因此針對環境選擇合適的

林木相當重要。一般而言，在汙染濃度較低的地方，闊葉樹種攔截到的汙染物濃度高於針葉樹種。

在臺灣常見行道樹中，樟樹在高汙染之環境下有較高之滯塵能力，榕樹則是平均單位葉面積滯塵量較大，而杜鵑及木麻黃則對於空氣中鉛含量的變化靈敏，因此適合做為空氣汙染的指標植物，相思樹及苦楝對於空氣中的氮氧化物吸收量較高，水黃皮及無患子則是對二氧化硫的截留能力較佳。

即使同一樹種間，樹齡、樹高與位置配置，也都會對空氣汙染截留量造成差異，樹高較高或樹冠幅較大的林木，對乾性沈降物的捕捉能力較好。

## 都市林在淨化空氣上的功效

近年來全球都市化的程度越來越顯著，根據聯合國人口司的統計，2018年全球有55%的人(約42億人)居住於都市當中，而在臺灣則是高達78.2%的人(約1860萬人)居住於都市當中。隨著都市人口越來越密集，都市環境的規劃也越來越重要。若要評估都市林淨化空氣汙染物的功效，需先從單木的評估開始，藉由測定單位葉面積的二氧化碳吸收速率，再將二氧化碳與汙染物的擴散速率之比值加以換算即可得以下公式。

$$\text{單木SO}_2\text{的吸收速率} = 11.4 \times C_{\text{SO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

$$\text{單木NO}_2\text{的吸收速率} = 8.53 \times C_{\text{NO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

$$\text{單木O}_3\text{的吸收速率} = 7.14 \times C_{\text{O}_3} \times U_{\text{CO}_2}$$

其中 $U_{\text{CO}_2}$ 為二氧化碳吸收速率， $C_{\text{SO}_2}$ 、 $C_{\text{NO}_2}$ 、 $C_{\text{O}_3}$ 則分別為二氧化硫、二氧化氮與臭氧的大氣濃度( $\mu\text{g cm}^{-3}$ )。接著計算單木的總葉量後加入時間即可得到單木的汙染物年吸

收量，此時配合調查綠地林木的組成，即可得知都市內綠地對空氣淨化的實際功效。

由於都市土地較珍貴，在都市林配置上應先評估現有綠地淨化空氣的效能，考量氣候環境條件並配合當地市街配置，找出汙染較嚴重的重點建置區域。在選址上應優先考量工廠或交通幹線等空氣汙染排放源附近或學校、醫院等需重點保護之區域。此外綠地的配置還要考量地形、風向等自然條件，整合資訊做最有效的規劃。

在都市綠地種類的配置上，從行道樹、小面積的住宅庭院、社區公園至大面積的都會公園、郊區綠林帶都需要互相搭配，行道樹與建物的庭院綠籬作為第一線隔絕道路揚塵等粒狀汙染物極有功效，但相較於大面積的公園綠地，其對於環境中氣狀汙染物的吸收量則相對較少。日本九州就對其主要都市的行道樹與公園綠地對氮氧化物的吸收量進行比較，發現行道樹的吸收量只占全部綠地的1.6%。因此，在設計都市綠地配置計畫方案時，應考量各種綠地的特性，才能用最小的面積達到預期最大效果。

## 結論

隨著都市人口越來越集中，如何營造良好的都市環境與空氣品質將是重要課題。在維護空氣品質上，林木除了能截留及吸收空氣中的汙染物質外，還具有調節溫度、涵養水源、提供休閒遊憩場所等功能，是具有經濟效益且永續的方法。然在設置綠帶時應考量到植物本身的特性、攔截吸附的量及對汙染物質的耐受能力，此外還應考量當地地理特性及各種綠地功能，於重點區域做最有效的規劃植栽。☀