

知識天地

綠色植物：都市空氣品質改善的幫手？

張志忠副研究員(環境變遷研究中心)

植物具有綠美化功能，同時光合作用可將二氧化碳轉換為氧，另許多研究顯示植物也具有吸收、吸附或與空氣中之氣態或懸浮態污染物反應後移除污染物之功用，因此也有助於改善空氣的品質。都市中的公園綠樹、馬路邊之行道樹，住家庭院之植栽為忙亂喧囂的都市增添點點綠意，同時也有阻隔噪音、吸收部份日照、提高輻射反照率，減少都市氣溫升高之功效。不過，許多人可能不知道植物會排放程度不等及不同種類之揮發性有機化合物(VOC)，而植物所排放的VOC大多是相當高反應性的物質，易與大氣中之氫氧自由基(hydroxyl radicals, OH)、硝酸自由基(NO₃)等作用，經一連串反應進而生成「臭氧」及「二次有機懸浮氣膠(SOA)」等二次污染物(圖1)，尤其在受污染的都市空氣中，因具有複雜的污染物質，更有利於植物所排放物質與其反應生成二次污染物。

臭氧具有相當強的氧化性，大氣中過高的臭氧會刺激眼睛、對呼吸系統造成傷害。高臭氧也可傷害植物，造成植物較脆弱的葉面老化、斑駁，以及慢速氧化環境中之物質。空氣中的懸浮氣膠(液狀或固體微粒)會對人體健康產生負面影響，主要對呼吸及心血管系統造成危害，尤其是細粒徑很容易進入肺中。細小的氣膠加上酸性的特性，容易引起一些肺部的疾病及呼吸器官、心血管的慢性損害。除此之外，氣膠也會對環境造成衝擊，除了造成在環境中的能見度降低、酸沈降，其直接與非直接效應也會影響地球的輻射平衡，對於全球氣候及局地氣候也有相當的影響潛力。其直接效應包含大氣氣膠對太陽光輻射的吸收與散射；非直接效應則是充當雲的凝結核(cloud condensation nuclei, CNC)間接影響氣候。

植物所排放之臭氧及二次有機氣膠前驅物主要為異戊二烯(isoprene)及萜烯類(terpenes)。而其中isoprene就佔了一半以上。許多與植物排放isoprene的相關研究(enclosure measurement, above-canopy flux measurement)皆顯示植物排放之isoprene與輻射、溫度以及樹種有密切關聯，並有部分研究顯示與大氣中的CO₂、臭氧濃度、樹葉年齡有關。植物排放isoprene具有時間特性-在高溫及強日照的中午時段最有利於植物排放isoprene。植物所排放之isoprene是在植物葉綠素中進行光合作用過程中被製造。因「植物所排放的isoprene會隨溫度增加而明顯增加」(最大排放約在35~40°C)，因此大多數研究認為植物排放isoprene與保護植物去對抗高溫的環境有密切關聯。不過，研究也顯示不同的樹種排放VOC之種類及程度大小差異甚大，甚至有些植物完全不排放isoprene。

到目前為止，在實際野外大氣中isoprene排放與環境因子的研究上，研究地區大多在於先進國家所在的溫帶地區森林，只有少部分在熱帶地區的森林，而更少關於都市中isoprene排放與環境因子的研究，尤其是在高溫的亞熱帶及熱帶大都市的研究。不過，空氣污染幾乎都發生於都市及其周遭下風地區，並且大多數都市最主要的空氣污染為「臭氧」及「懸浮微粒」；而在生成二次空氣污染物的眾多前驅物中，isoprene為相當高反應性的物質，具有相當高的臭氧生成潛勢，且因為「植物所排放的isoprene會隨周遭溫度升高而快速增加其排放量」，因此在「高溫的亞熱帶及熱帶都市」，植物所排放的isoprene對空氣品質的負面影響，理論上很可能遠比溫帶都市來的大。不過因熱帶、亞熱帶及溫帶之樹種不同，因此仍須以實際觀測結果而定。

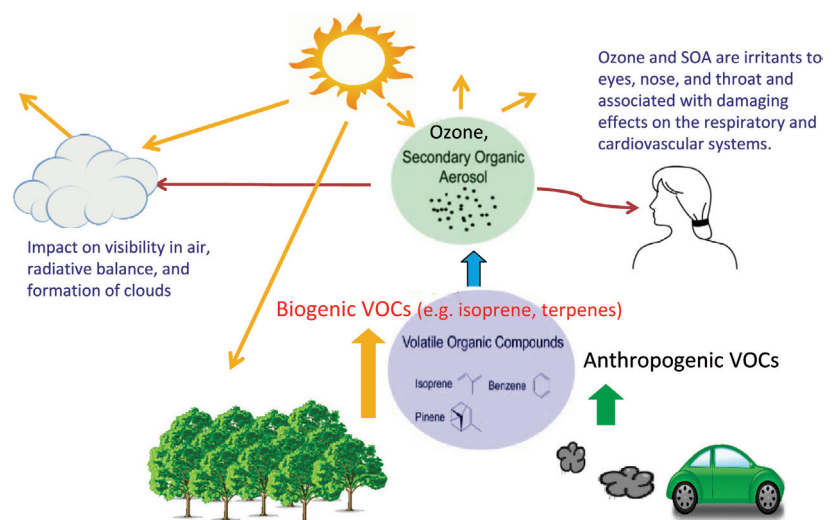


圖1 空氣中二次污染物—臭氧、二次有機懸浮氣膠之前驅物來源、生成及對環境影響之示意圖

都市中人為源及植物源排放isoprene所佔比重

都市中isoprene的來源，不同於鄉野郊外之isoprene幾乎只來自於植物排放，都市大氣中之isoprene不僅有植物經光合作用所排放，也有從機動車輛引擎燃燒不完全後所排放的廢氣。進一步瞭解都市中之人為源及植物源排放isoprene所佔比重以及對生成二次空氣污染物的潛力是必要的，這將相當有助於控制管理isoprene之排放，進而改善都會空氣品質。以北臺灣之臺北都會區為例，研究團隊以臺灣大學校園大氣觀測站進行觀測實驗。臺大校區及附近之樹種以榕樹、白千層、楓香、樟樹、臺灣欒樹等熱帶及亞熱帶低海拔樹種為主，校園外周遭為典型的都會街道、商業及住宅區。此觀測點高度較高(約距地25公尺)且周圍較為空曠，區域內空氣混合較均勻；觀測時期分為夏、秋兩季用以進行探討季節人為源及植物源排放的差異性。對於isoprene來自於人為源及植物源排放所佔比例，可使用人為源排放特徵指標-1,3-丁二烯(1,3-butadiene)用以區分。圖2為都會區夏季及秋季之溫度、經1,3-butadiene計算所得的人為源貢獻之isoprene值以及實際觀測到之isoprene濃度值(人為及植物排放加總)。而「植物源所排放之isoprene」可由「實際觀測到之isoprene濃度值」扣除「人為源貢獻之isoprene值」。

在高溫的夏季時期溫度變動範圍約介於25至37°C間，白天時段內觀測到的isoprene濃度約介於1~3 ppbv，並可看出每日最高值出現在中午時段，相當符合植物排放isoprene的時間特性。位於亞熱帶的臺北都會之夏季全日isoprene平均值(0.719 ppbv)相較於其它溫帶都市及鄉村地區(0.1-0.29 ppbv)之夏季isoprene平均濃度高出甚多，此結果也顯示了在高溫的亞熱帶都市，植物所排放之高濃度的isoprene對大氣中二次污染物生成應具有相當大的影響性。另人為排放isoprene(圖2a)僅在早晚交通通勤時段略高(來自於車輛排放之廢氣)，相較於植物源排放的貢獻，人為排放的貢獻在夏季顯得相當的小。從此結果也可知在亞熱帶都市之夏季大氣中之isoprene幾乎主要來自植物排放的貢獻，而都市中繁忙交通的貢獻量仍遠不及都市中植物之貢獻。

在秋季時期溫度變動較大，範圍約介於15至30°C間，觀測到之植物排放isoprene最高值出現在中午高溫、高輻射時段；另經1,3-butadiene計算所得的人為排放isoprene則明顯的在早晚交通通勤時段較高，並且與早晚之isoprene實際觀測值相當接近，顯示秋季時之isoprene排在早晚交通通勤時段及夜晚時幾乎由人為排放源所主導，而白天中午時段附近則加入了植物源排放的貢獻，這個情況在10/23 ~ 10/26時期內溫度較高時較為明顯。另外，當白日天候不佳，如圖2b中10/26 ~ 10/29時期(大都為陰雨天、溫度低於20°C)，isoprene排放幾乎由人為排放源所主導。

植物排放之isoprene對生成二次空氣污染物的潛力

對於進一步瞭解都市中之植物源排放isoprene對生成二次空氣污染物的潛力，可使用isoprene與氫氧自由基(OH)之光化學反應性來與其它前驅物進行比較。光化學反應性為各前驅物與氫氧自由基(OH)之光化學反應速率及其在空氣中濃度的乘積。圖3為夏季白天臺北都會(臺大大氣觀測站)常見之66種二次空氣污染物前驅物與氫氧自由基(OH)之光化學反應性比較。如先前所述，isoprene具

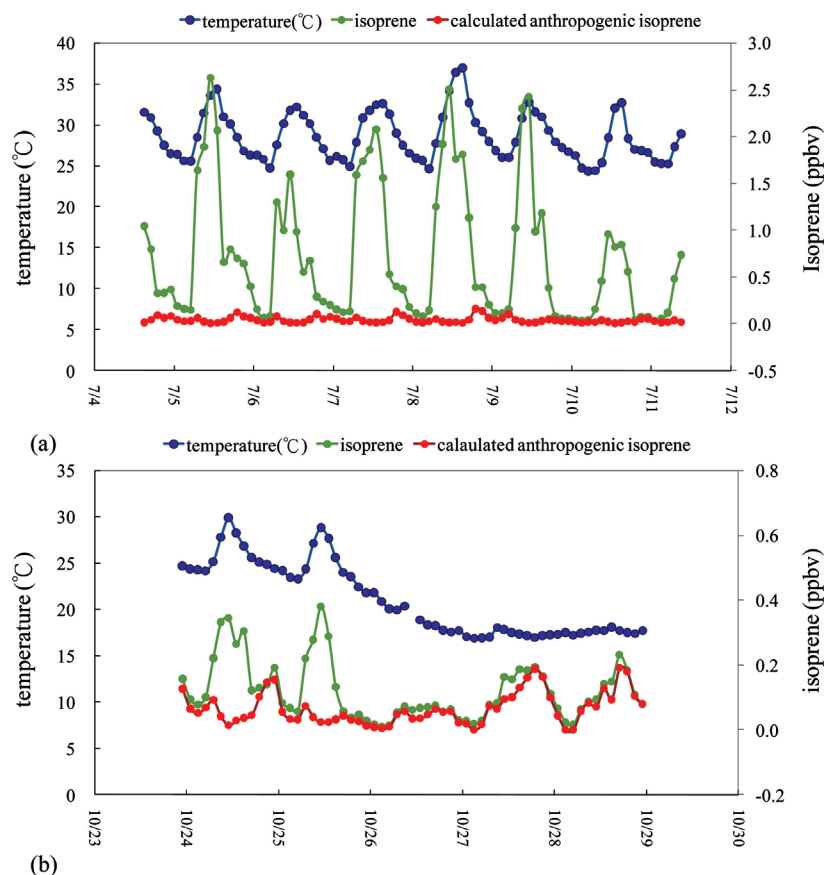


圖2 臺北都會區(臺大大氣觀測站) (a)夏季及(b)秋季之溫度、isoprene 實際觀測濃度值與計算所得的人為源貢獻之isoprene

有相當高與氫氧自由基(OH)之反應速率，且在高溫亞熱帶臺北都會區的夏季白天時期具有高觀測的isoprene濃度(1~3 ppbv)，此二項條件使得isoprene光化學反應潛勢明顯高於都會區其它常見且主要來自人為源排放的二次空氣污染物前驅物種，如乙烯(ethene)、丙烯(propene)、甲苯(toluene)、二甲苯(xylene)等。

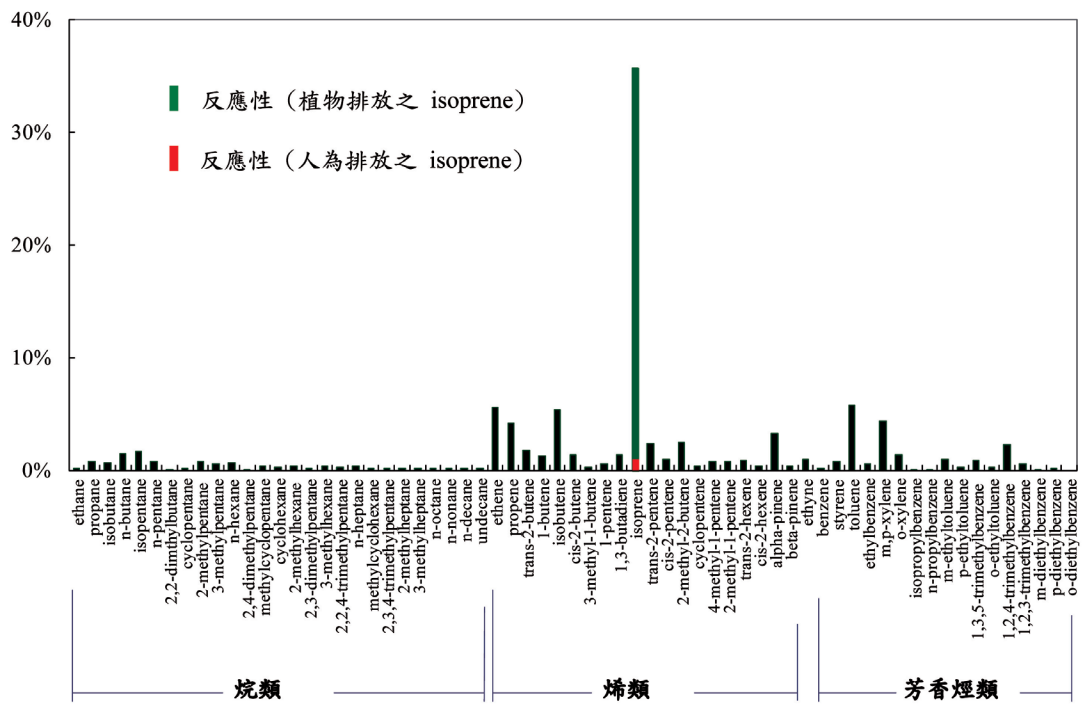


圖3 夏季白天臺北都會區(臺大大氣觀測站)常見之66種二次空氣污染物前驅物與氫氧自由基(OH)之光化學反應性比較

其中isoprene光化學反應潛勢來自於植物排放所貢獻的比例約佔66種常見前驅物總反應性的34.6%，而來自人為源(汽機車排放)僅約為1.1%。

結語

植物具有綠美化及多種有益於生活環境品質的功用，尤其對於喧囂繁忙都會區綠意的點飾、空氣的淨化更是不可或缺。但從另一角度看，許多植物也可能會排放高反應性的物質，易生成臭氧及二次有機懸浮氣膠等二次污染物，尤其在受污染的都市空氣中，更容易惡化空氣品質。以亞熱帶的臺北都會區(臺大大氣觀測站)為例，夏季白天時，isoprene光化學反應潛勢來自於植物排放所貢獻的比例約佔66種常見前驅物總反應性的34.6%，著實令人訝異。不過，不同植物會排放種類不同及程度不等之VOC，因此對於都會區中大面積的植栽(公園、行道樹等)樹種的選擇將是控制排放isoprene及其它高反應性VOC排放多寡的關鍵。雖然生活上的事物難以完美，但有智慧的與環境取得平衡，保留正面的效益，降低負面的衝擊，是我們須不斷努力的目標。