

森林釋出異戊二烯對大氣品質之影響

◎國立中興大學森林學系·吳金村

前言

隨著經濟成長，人們對於生活品質之要求也日益提高，台灣社會型態由農業轉為工業社會，雖然豐厚了人們的物質生活，卻也因為各類工廠的設立、車輛數快速成長等因素，產生日益複雜之空氣污染問題。環保署於1982年起即陸續設置空氣品質監測站，並於1992年空污法修正公告後，逐年推行污染防治措施。此外，環保署引進美國環保署用以評估空氣品質優劣之空氣污染指標（Pollutant Standard Index, PSI）。當PSI值大於100時，表示空氣品質不良，對呼吸系統不好且較敏感之人會使其症狀惡化。同時空氣污染亦會對植物造成傷害，嚴重時甚至導致農作物產量降低。

歷年PSI值大於100之指標污染物皆以懸浮微粒及臭氧為主，近幾年懸浮微粒改善趨勢明顯，而臭氧污染情形則尚未有所改善。因此，空氣品質不良指標污染物之結構亦隨之改變，懸浮微粒所佔的比例逐年下降，臭氧所佔比例則相對上升，近年來懸浮微粒已有明顯改善，而臭氧污染情形至今尚未有所改善（行政院環保署，2000）。

如同其他先進國家一般，二氧化硫等傳統空氣污染物已有效改善，但卻面臨臭氧等二次污染問題。臭氧的前驅物包含氮氧化物（NOX）及揮發性有機化合物（volatile organic compounds, VOCs）。參考美國喬治亞州的亞特蘭大都會區防制臭氧問題之經驗發現，單只降低氮氧化物及人為排放的揮發性有機化合物（anthropogenic volatile organic compounds, AVOCs），無法有效降低臭

氧濃度。植物所釋出之生物源揮發性有機化合物（Biogenic volatile organic compounds, BVOCs）對於都會區中之光化學煙霧有潛在的重要性，如果忽略生物源揮發性有機化合物對臭氧形成的影響，將使得降低臭氧濃度的計劃受到阻礙。而BVOCs中以異戊二烯之釋出量較多而活性亦較大，故探討植物釋出異戊二烯之路徑及原因有其必要性。

光化學煙霧（photochemical smog）

光化學煙霧通常是指在陽光下，空氣中的各種成分交互作用後生成的空氣污染物，此煙霧具有高度氧化力，它會刺激眼睛及喉嚨，傷害植物，促使橡膠製品破裂，具臭味且會降低能見度。此現象由美國Haggen-Smit（1952）首先提出，他認為光化學煙霧是汽車所排放出之氮氧化物與碳氫化合物，在有強烈之太陽輻射下，作用產生一系列之光化學反應而形成的，主要的成分包括了臭氧、醛類與過氧硝酸乙醯（peroxyacetylnitrate, PAN）。

光化學煙霧屬於空氣污染裡的二次污染現象。二次污染是指空氣污染物並非由污染源直接排放出來的物種，而是上述物種經過大氣中化學反應而形成的有害物種，稱為二次污染物。防制二次空氣污染現象與一次空氣污染現象最大的差別，在於無法直接監測，也就是說二次污染現象牽涉到化學反應所形成，物質濃度的大小與污染源排放量大小沒有直接的線性比例關係，因此造成擬定防治策略的複雜性與困難度。從各種排放源排放出之物種經過不同途徑最後生成二次污染物，這些物種稱之為空氣污染前驅物（precursors）。眾多的前驅物中，可

分為人為及生物源產生兩種，對於人為產生的物種排放量可以有效的控制，然而對於生物源所釋出之物種無法調整或控制，只能將這些釋放量作為背景值，在擬定防治策略時予以考慮。

(一) 前驅物

1. 氮氧化物之來源

氮氧化物主要來源來自人為排放，如工業鍋爐、加熱爐、焚化爐、柴油車和汽機車的引擎、水泥工業及鋼鐵業的窯爐等，上述機具所排放的氮氧化物大多是一氧化氮，少量為二氧化氮。其中以交通工具的排放量最多，約佔總排放量之65%。

2. 揮發性有機化合物之來源

VOCs的來源非常複雜，主要來源可分為AVOCs及BVOCs兩種。石油化學工業、工業製造及建築過程室內外過程中的塗裝程序、燃料油品或石化原料原料之運輸貯存裝卸作業及印刷業都是AVOCs排放源，此外汽機車、柴油車也是重要的排放源之一，包括燃燒不完全尾管排氣中的油氣成分及柏油路經熱蒸散之排出成分，此外洗潔劑、殺蟲劑及膠合劑內亦含有AVOCs的成分。

BVOCs之主要成分包括甲烷、異戊二烯及單萜類，另外還有倍半萜類、醋酸鹽類、醛類、酮類、醚類、酯類、烯類、芳香族、正烷烴類、醇類等十二類。歷年來學者發現BVOCs之反應性較AVOCs強，此特性對大氣化學極具重要性，其中又以異戊二烯及萜類(terpenes)在大氣中之活性極強，因此視為重要的光化學煙霧之前驅物。

(二) 光化學反應(photochemical reaction)

大氣中之光化學反應基本上是氧化反應，有人

將這種反應比喻為低溫觸媒氧化反應，人為排放之NO、SO₂、CO、VOCs及生物源VOCs，最終都將氧化成H₂O、CO₂、H₂SO₄及HNO₃，並透過與鹼性物質如NH₃的中和，再經過物理的相變及大氣的移除沈降作用，完成這些物質在大氣中之循環。

但在大氣中光化學反應機制中，NO₂經過光解作用產生NO及氧原子，氧原子再與O₂反應產生臭氧，此為目前大家所知道唯一在對流層中生成臭氧之路徑。而光解作用所產生之NO會再和O₃反應產生NO₂。此循環在充分日照條件下，這些物種間的反應速率極快，約需數分鐘，NO、NO₂、O₃的濃度即可達到平衡狀態，臭氧濃度與NO₂濃度成正比，與NO濃度成反比。前述人為排放之NO_x中90%以上為NO，所以如果大氣中之NO₂僅由人為產生，則不可能生成數百ppb的臭氧，故大氣中會產生大量之NO₂是由NO經氧化途徑生成。一般認為大氣背景中之臭氧會與水汽作用生成羥自由基(hydroxyl radical)，雖然濃度很低仍能氧化VOC生成過氧化物(RO₂)，而此過氧化物則能提供能量氧化NO使其變成NO₂，而NO₂再經由上述之路徑產生臭氧。此循環中之VOC與羥自由基的反應通常會生成中間物種以及新的羥自由基，所以羥自由基在光化反應中不但沒有減少，反而會生成更多的羥自由基，進而導致更多之臭氧產生。

異戊二烯(isoprene)

全球的植物一年所釋出之異戊二烯約有3×10¹¹公斤，這和植物釋出甲烷的量相近，和甲烷不同的是異戊二烯的活性大，會迅速的和羥自由基產

生氧化反應，又會和氮氧化物發生複雜的反應產生臭氧，所以其在大氣化學中扮演著重要的角色。

異戊二烯的分子式為 C_5H_8 ，化學式為 $CH_2=C(CH_3)CH=CH_2$ ，常溫下為無色揮發性液體，活性高。異戊二烯於植物細胞中，經二羧甲基戊酸（mevalonic acid）生合成路徑生成，乙醯輔酶A（acetyl coenzyme A）轉換成isopentenyl pyrophosphate（IPP）及其異構物dimethylallyl pyrophosphate（DMAPP），而DMAPP之焦磷酸根（pyrophosphate）酸解後即為異戊二烯。

異戊二烯為二次代謝產物，故其生合成速率和光合作用有關，是以會對光合作用產生影響的因子，也會影響異戊二烯的釋放量，如溫度、光照強度及二氧化碳濃度。以白樺和櫟木為例，30℃時光合作用所固定的碳約有2%用於生成異戊二烯，二氧化碳濃度過高或過低皆會抑制異戊二烯之產生，此外亦與植物種類、生長環境等因素有關。溫度與光度為影響異戊二烯釋放量的兩個最重要的因素之一，異戊二烯的釋出對於溫度非常的敏感，葉面溫度升高10℃後，短時間內異戊二烯的釋放量也會增加為原來的數倍，增加的量會隨著樹種而有所不同，有些樹種可能增加至原來的十倍。另一個重要因素為光度，異戊二烯釋放量會隨著光度增加而增加。根據研究結果顯示，植物的光合作用速率對於溫度的變化有靈敏的反應，當溫度上升達約44℃之後，光合作用的速率會迅速的下降，這個時候葉片已經遭到重大且不可還原的破壞，植物在高溫的情況下會釋出較多量的異戊二烯，來幫助植物抵抗高溫，使它在一定的範圍內保護光合作用

免於受高溫的危險。當葉片暴露在光照強度 $1000\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ （此約為陽光強度的一半）和純氮的環境（可抑制植物釋出異戊二烯）中，在葉片沒有釋出異戊二烯的情況下，當溫度達到37.5℃時，葉綠素的螢光放射量會增加（此現象代表葉片已經遭到重大的破壞），而在有加入17.5ppm異戊二烯之情況下，葉綠素的螢光放射量在45℃時才增加。

結語

污染的空氣會為害森林，但有些樹種會釋出多量的異戊二烯，與大氣中之氮氧化物反應產生臭氧，來污染空氣。因此在含有高濃度氮氧化物之環境，如工業區及都市，其周遭之公園及行道樹之樹種選擇極為重要，除考慮其生長所需條件及遮蔽效果外，更應選擇無或低異戊二烯釋放量之樹種，以減少臭氧之產生，期能降低臭氧對人體及動植物的危害。☼（參考文獻請逕洽作者）