

# 研究成果

## 亞洲沙塵及污染物對台灣空氣品質之影響

劉紹臣（環變中心特聘研究員兼主任）

在過去的幾十年，東亞地區國家的工業及經濟成長速率躋身世界之首，經濟成長帶來富裕的生活，也使得空氣污染物的排放明顯增多。台灣經濟在過去 40 年急速發展，能源的使用量增加約 20 倍左右，實際上，台灣地區目前單位面積之能源使用與空氣污染物排放量（含氣膠）位居全球千萬人以上國家之冠，因此，台灣地區遭逢諸多環境惡化問題，其中尤以臭氧及懸浮微粒污染最為嚴重。

過去幾年，懸浮微粒的問題有顯著地改善，大部分環保署的空氣品質測站所測得之微粒濃度有持續降低的趨勢，降低的原因可能來自於懸浮微粒原生源排放減少以及其前驅物如 SO<sub>2</sub> 的排放減量。另外一方面，台灣許多地區的臭氧濃度卻持續地增加。本文將從近十年來影響台灣空氣品質主要空氣污染—臭氧及懸浮微粒談起。

在每年的東北季風期間，源自於亞洲大陸的大陸冷氣團，不僅使得氣溫降低，並且在適當的天氣條件下，帶來沙塵及長程傳輸的空氣污染物，影響台灣的空氣品質。沙塵暴是東亞地區冬末及春季經常發生的現象，主要發生的地點是位於強風且乾燥少雨的沙漠地區，當強的冷高壓伴隨著鋒面通過上述地區，便很容易產生沙塵暴，並且隨著反氣旋冷高壓之移動路徑，往東及往南傳送。同時，近年來由於大陸的高速工業化，也使得空氣污染物的排放明顯增多。中國大陸的氮氧化物排放由 1990 年每年 8.8 百萬公噸，到 2000 年，增加為每年 14.2 百萬公噸，增加幅度超過 60%，同期間 SO<sub>2</sub> 的排放也有顯著的增加，由每年之 20 百萬公噸增加到約 27.5 百萬公噸，台灣地區的 SO<sub>2</sub> 及氮氧化物排放量分別佔中國大陸排放量之 1.5% 及 3.5%，即使僅有 1% 的中國大陸空氣污染物傳輸至台灣，其影響也是很嚴重的，因此中國大陸的空氣污染物排放對台灣空氣品質造成顯著衝擊的可能性很高，尤其是在冬季及春季。此論點也可藉由衛星所觀測到的氣膠柱密度得到證實（圖 1），據觀測發現，在冬、春兩季其密度於整個西太平洋上空大量增加，實際上即使是夏季及秋季，衛星影像仍顯示出相當程度來自亞洲大陸的影響。

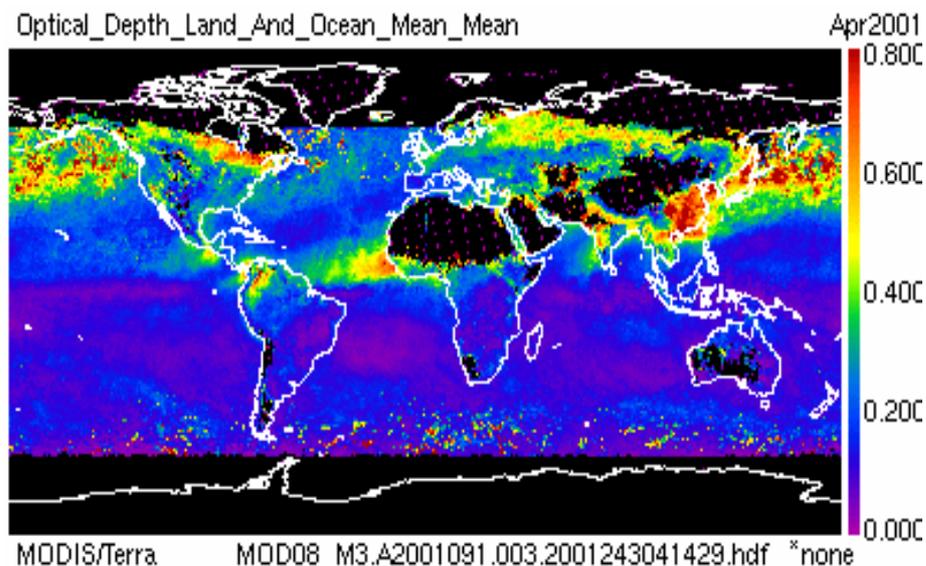


圖 1 MODIS 衛星觀測 2001 年 4 月平均大氣氣膠光學厚度之結果。

為了瞭解長程傳輸的沙塵或污染物對台灣空氣品質的影響，本院環境變遷研究中心與環保署合作，探討過去十年，在東北季風期間，亞洲沙塵及污染物對台灣空氣品質的影響。利用環保署北部背景站的萬里、陽明山、淡

水、宜蘭等監測站量測到的氣象因子及空氣污染物濃度（如： $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$ ）隨時間之變化，對於判斷屬於本地污染或長程傳輸相當重要。從氣候統計，在東北季風期間，約每週有一次的鋒面通過台灣，每當鋒面通過台灣北部，風速在短時間內即達到最大（如萬里站，通常在 8~10 m/s 以上），氣溫也逐漸降至最低，因氣團乃由中國大陸長程傳輸而來，其傳輸路徑常可經由中國大陸之都市化的城市及工業污染區，在適當的天氣條件下，便有機會將沙塵或空氣污染物帶到台灣，因此，分析方法是從氣象資料依是否有鋒面通過，而區分出本地污染個案及長程傳輸所控制之天氣型態。而長程傳輸依是否攜帶沙塵或污染物而分成三類，分別是沙塵暴（dust storm）、長程傳輸但低懸浮微粒濃度（Background）及長程傳輸並帶來污染物（Frontal Pollution）等三類。此長程傳輸之分類原則除  $\text{PM}_{10}$  外，是以污染物如  $\text{CO}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  及  $\text{O}_3$  作為追蹤劑（tracer），如  $\text{CO}$  為工業排放或生物燃燒之產物，其生命期長達 1-2 個月，因此是相當好的人為排放源追蹤劑。以中國大陸到台灣的距離而言，空氣塊約 2~3 天便可由中國大陸傳輸至台灣北部。中國大陸也是東亞地區  $\text{NO}_x$  及  $\text{SO}_2$  的主要來源，從 1975 至 1987 之排放量約以每年 4% 持續成長。 $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}+\text{NO}_2$ )，其主要來源為火力發電及氣機車排放，而  $\text{SO}_2$  之主要來源為以重油木材生煤為燃料之工廠及柴油引擎車輛及火力發電廠等，藉由污染物之逐時濃度變化特性再配合氣象條件，即可對上述長程傳輸之三種類型進一步分類。研究結果顯示，以影響時間而言，本地污染占大部份，為 71%，亦即長程傳輸約可達 30% 左右（Lin et al. 2004）。然而分類上雖然屬於本地污染的個案，也有長程傳輸的貢獻在其中，若將本地污染中屬於長程傳輸的量考慮進來，估計在東北季風期間，台灣北部約有 50%~75% 的  $\text{PM}_{10}$  質量濃度是長程輸送所帶來。其次，若以影響程度而言，亞洲沙塵及污染物對台灣北部及東部的影響最顯著，但因受地形的影響，對台灣西部的衝擊相對較小。以污染物而言，大氣生命期較長的污染物，譬如一氧化碳（ $\text{CO}$ ）懸浮微粒（ $\text{PM}_{10}$ ）及總氧化物（ $\text{O}_3+\text{NO}_2$ ），其對台灣北部影響可高達 50~80%，南部約 15~50%；而大氣生命期較短的污染物，譬如氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）及二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）的影響，相對就較不明顯（Lin et al. 2005）。

表 1 台灣地區過去十年臭氧平均濃度變化趨勢

	O3 趨勢 (%/十年)	O3+NO2 趨勢 (%/十年)
台北	21.6	-1.7
台中	22.5	5.4
高雄	20.2	2.1
宜蘭	20.4	7.4
陽明山	13.2	13
萬里	14	10.2
蘭嶼	14.1	13.1

從 1994~2003 十年間空氣污染物濃度變化趨勢可知，冷鋒過境後台灣之臭氧平均濃度約增加 15%，顯示源自亞洲大陸，代表光化污染物的臭氧，對台灣的背景臭氧濃度的影響有顯著的增加，這對台灣近年來日趨嚴重的臭氧問題意義重大。表 1 顯示台灣地區過去十年臭氧平均濃度變化趨勢，台北、台中及高雄都增加超過 20%，在比較小的城市如宜蘭也相當大，即使是背景站如陽明山及蘭嶼也超過 10%。

由於臭氧對人體及植物有害，是一種嚴重的空氣汙染物，近年來對台灣地區空氣品質的影響尤其嚴重，圖 2 取自今年環保署的統計資料，顯示從民國 86 年開始，台灣地區的主要空氣汙染物即已由臭氧就取代懸浮微粒，成為最嚴重的空氣汙染物，最近幾年更占總污染事件的 70%，但臭氧增加的原因却一直困擾著環保署。

根據本中心的研究，長程傳輸增加是台灣地區臭氧增加的一個重要原因，其他的可能原因則包括臭氧的光化生成率及氮氧化物濃度變化，這兩種可能原因是目前環境變遷研究中心在環保署資助下的一項主要研究計畫。

臭氧長程傳輸增加的影響當然不限於台灣，對整個亞洲甚至全世界都會有影響，日本及香港的觀測資料顯示出較台灣更大的臭氧增加趨勢，且日本資料顯示臭氧增加可遠溯至 1970 年代，尤有甚者，在夏威夷 3.4 公里高山觀測站也測得自 1970 年代就開始的增加趨勢，這表示臭氧的增加趨勢可能有全球性的影響。對台灣而言，若線性回溯臭氧增加至 1970 年代，目前所觀測到的臭氧背景值大約有一半來自長程傳輸！可惜台灣較可靠的臭氧觀測資料較短，無法驗證這項重要推論。

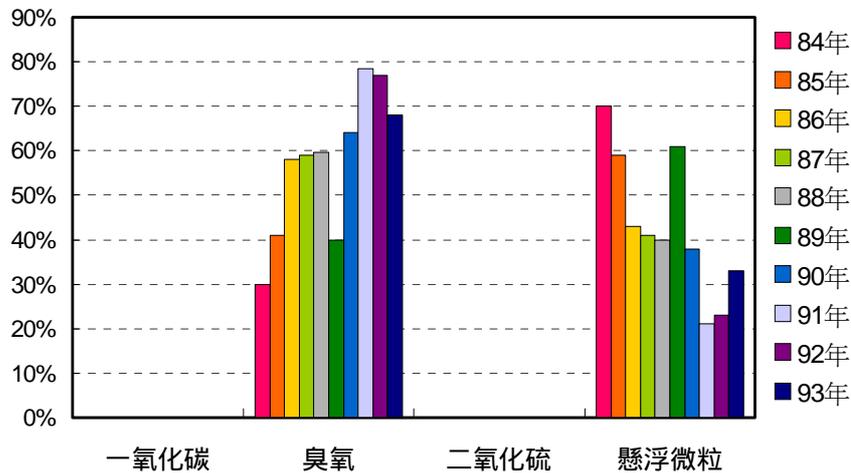


圖 2 空氣污染指標大於一百之指標污染物比較分佈圖。

參考文獻

Lin, C.-Y., Shaw C. Liu, Charles C.-K. Chou, Saint-Jer Huang, Chung-Ming Liu, Ching-Huei, Kuo, and Chea-Yuan Young, **2005**: Long-range transport of aerosols and their impact on the air quality of Taiwan. *Atmospheric Environment*, 39, 6066-6076

Lin, C.-Y., S. C. Liu, C. C.-K. Chou, T. H. Liu, C.-T. Lee, C.-S. Yuan, C.-J. Shiu, and C.-Y. Young, **2004**: Long-Range Transport of Asian Dust and Air Pollutants to Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Science*, 15, No5, 759-784.