

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 比較三種不同型態 PM10 事件其氣膠化學組成及化學變化

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-040-002-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：中山醫學大學公共衛生系

計畫主持人：郭崇義

計畫參與人員：郭崇義，施政甫，陳信宏

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

## 比較三種不同型態 PM<sub>10</sub> 事件其氣膠化學組成及化學變化

計畫編號：NSC 94-2211-E-040-002

執行期限：94 年 8 月 1 日~95 年 7 月 31 日

主持人：郭崇義

執行機關：中山醫學大學公共衛生學系暨研究所

### 摘要

本研究計畫共收集了本土性、境外移入(沙塵暴及非沙塵暴)及農廢燃燒等四種不同型態之樣品，以瞭解不同型態 PM<sub>10</sub> 事件其氣膠化學組成之差異。每一種事件進行連續約 5 天之密集採樣，以瞭解各種型態 PM<sub>10</sub> 事件其氣膠化學組成於短時間內之變化趨勢。採樣地點選擇中部四個空品測站，採樣期間使用安德森高流量採樣器來收集粗粒徑 (PM<sub>10-2.5</sub>) 及細粒徑 (PM<sub>2.5</sub>) 懸浮微粒，並分析其陰陽離子及含碳物質之含量。分析結果發現境外移入之兩種事件中，其微粒中之海鹽成份均較非境外移入事件及平常日之海鹽成份為高，此現象在粗粒徑微粒更為明顯。非沙塵暴之境外移入事件，其細粒徑銨離子及硫酸根離子之濃度均極高，分別為平常日之 4.7 倍及 3.1 倍，推測係由於挾帶大陸高濃度 SO<sub>2</sub> 之氣團，於其長程傳輸過程所衍生出之高量硫酸銨所導致之結果。沙塵暴事件其鈣離子濃度為最高，特別是在粗粒徑微粒。本土性污染事件其細粒徑硝酸根離子濃度及 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/PM<sub>2.5</sub> 比值均明顯較其他事件及平常日之濃度為高，顯示在本土性污染事件出現時，其細粒徑硝酸鹽有大量形成之現象。另細粒徑 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 比值亦遠較其他事件及平常日為高，顯示在本土性污染事件出現時，其硝酸鹽之形成速率遠較硫酸鹽之形成速率為快。

關鍵詞：PM<sub>10</sub> 事件，PM<sub>10-2.5</sub>，PM<sub>2.5</sub>

## Abstract

Four different types of PM<sub>10</sub> episodes, a local episode, a dust-storm episode, a long-range transport with pollutants and a farming waste burning episode, were collected in the present study. In order to further understand the chemical variations during the formation of episode, consecutive sampling period of 5 days were executed. Particulate matter with diameters less than 2.5 μm (PM<sub>2.5</sub>) and ranging between 10 to 2.5 μm (PM<sub>10-2.5</sub>) were simultaneously collected at four air-quality monitoring stations in the Taichung area of central Taiwan. Ionic species and carbonaceous materials on aerosol samples collected from four types of episodes were analyzed and compared. The results showed that relatively high levels of sea salts, especially in coarse aerosol, were observed during the episodes of dust-storm and the long-range transport with pollutants. Very high concentrations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in fine aerosols were also observed during the long-range transport with pollutants. These concentrations were about 4.7 and 3.1 times, respectively, higher than normal days. The results could attribute to the formation of ammonium sulfate during the long-range transport with high concentration of SO<sub>2</sub> in the air mass. The concentrations of Ca<sup>2+</sup> for the episode of dust-storm, especially in coarse aerosol, were much higher than that of other four episodes. The concentrations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and the ratios of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/PM<sub>2.5</sub> during the local episode were significantly higher than those of other episodes. These results have indicated that much more nitrate in fine aerosol was formed during the local episode. Furthermore, very high ratios of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in fine aerosols obtained during the local episode indicating that the formation rate of nitrate was much higher than that of sulfate during the local episode.

Keywords: PM<sub>10</sub> Episode, PM<sub>10-2.5</sub>, PM<sub>2.5</sub>

## 前言

水溶性陰陽離子其含量常佔大氣懸浮微粒含量很高之比例，其百分比可高達約 50% 左右<sup>(1)</sup>，其中又以硫酸根離子 ( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硝酸根離子 ( $\text{NO}_3^-$ ) 及銨根離子 ( $\text{NH}_4^+$ ) 之含量最為豐富。根據過往的研究，此三種離子在大氣中常形成硫酸銨  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ 、硫酸氫銨  $[(\text{NH}_4)\text{HSO}_4]$  及硝酸銨 ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) 等衍生鹽類，且在中部地區之懸浮微粒佔有很高之比例，其含量約佔  $\text{PM}_{10}$  質量之 23.5~27.3%<sup>(2,3)</sup>。這些衍生性鹽類除了會造成大氣懸浮微粒含量偏高外，亦會影響大氣之能見度<sup>(4-6)</sup> 及氣膠或雨水之酸鹼度<sup>(7-9)</sup>，因此近年來有關此兩種衍生性鹽類在大氣中濃度變化之研究也特別受到重視<sup>(10-19)</sup>。台灣地區由於氣象條件之特異性，造成經常出現不同型態之  $\text{PM}_{10}$  污染事件，Kuo et al.<sup>(20)</sup> 曾以相當完整之數據來說明  $\text{PM}_{10}$  事件 ( $\geq 110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 發生過程其氣膠化學組成有明顯變化情形之理論基礎，也使得有關事件日氣膠組成明顯變異之研究方向有了初步之雛形。雖然 Kuo et al.<sup>(20)</sup> 之研究已初步解釋氣膠化學組成在污染事件日變化之原因，然該研究所調查之  $\text{PM}_{10}$  事件幾乎均是單純天氣型態變化所造成的。台灣中部地區近年來常發生之  $\text{PM}_{10}$  事件包括沙塵暴事件、農廢燃燒事件及由天氣型態改變所造成之事件。由於這些事件之形成機制並不相同，故可利用微粒中之化學組成來探討各種事件之微粒特徵。此外，Kuo et al.<sup>(20)</sup> 之研究係以整個  $\text{PM}_{10}$  微粒為分析對象，並未針對粗細不同粒徑之懸浮微粒做更深入之分析比較。這些不同成份之鹽類在事件日形成時，會受不同污染源粒徑分佈差異及不同形態鹽類形成速率差異等因素之影響，而導致其粒徑在事件日及非事件日有很大差異<sup>(21,22)</sup>。例如沙塵暴期間之氣膠偏向於粗

粒徑，而農廢燃燒事件之氣膠則傾向於細粒徑，至於天氣型態之事件則受天氣型態之種類及當時之氣象條件而有所差異。因此如能進行不同粗細粒徑懸浮微粒之組成分析，將更有助於瞭解懸浮微粒在非事件日及事件日之化學轉化現象，且對未來空氣品質改善措施之擬定亦能提供更正確之方向。

有些研究指出  $\text{PM}_{10}$  濃度在空間分佈上有很大之差異<sup>(23)</sup>，另有些報告更指出這些懸浮微粒上之組成在空間分佈上亦有很大之差異<sup>(12,24-25)</sup>，造成這種空間差異之因素很多，包括工業區等特定污染源之影響、都會區移動污染源之影響、裸露地面揚塵之影響、沿海地區海鹽之貢獻及氣團或風速風向等傳輸作用之影響等。為徹底瞭解沙塵暴、農廢燃燒及單純天氣型態三種型態事件氣膠組成之差異、空間上之差異及氣膠組成在事件日形成過程之變化，本研究計畫比較了三種不同型態  $\text{PM}_{10}$  事件其化學組成之差異，並建立各型態事件之氣膠特徵化資料，藉此建立各種型態  $\text{PM}_{10}$  事件形成過程氣膠化學變化之理論架構。另分析各種事件發生期間之天氣型態及其相關之氣象資料，藉此探討氣膠化學組成變化與大氣氣象及氣態污染物間可能之相關。除此之外，藉由不同事件粗細粒徑分佈不相同之特點，來比較粗細粒徑懸浮微粒在各種型態事件之組成差異。另分析粗細粒徑懸浮微粒在事件形成前後其化學組成之變化情形，藉此瞭解粗細粒徑懸浮微粒在不同型態事件下各種化學物種之轉化情形。

## 方法及材料

本研究計畫選擇中部地區大甲、后里、太平及烏日等四個空氣品質監測站進行空氣中懸浮微粒之採樣，採樣日期為 2005 年 11 月 1 日至 12 日，每一樣品均連

續抽取 24 小時。採樣期間同時使用四部相同廠牌之高流量採樣器(Andersen, IP10 Mass Flow Controlled System 及 Model SA231)，此採樣設備係利用傳統之 Andersen 高流量採樣器再加裝一片高流量 Cascade Impactor 將粗細粒徑分離後再分別收集 PM<sub>10-2.5</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 粗細兩種懸浮微粒，每一次採樣前均先進行流量校正，並執行採樣器採集效能一致性之查核。採樣所使用之濾紙一為溝槽濾紙，為石英材質(TE-230-QZ)，置於採樣腔上端收集粗粒徑(PM<sub>10-2.5</sub>) 懸浮微粒，另一係 Gelman Sciences 所生產之石英濾紙(Tissuquartz 2500QAT-UP)，置於採樣腔下端收集細粒徑(PM<sub>2.5</sub>)懸浮微粒。採樣前濾紙均先於高溫爐 900 °C 處理 4 小時，以降低有機碳及其他雜質。採樣後之濾紙置於室溫及 45±5 %相對溼度下調理 24 小時，精稱後重，由後重與前重之差及所抽取之空氣體積，即可計算出大氣中粗粒徑及細粒徑懸浮微粒之濃度。經稱重後之濾紙則置於 4 °C 冰箱下保存，並儘速分析含碳物質及水溶性陰陽離子。

分析陰陽離子時，先割取適量濾紙(約 0.15 克)，並使用精密天平( Mettler Model AT261 )精稱之，稱重後濾紙置於鐵氟龍燒杯中並加入 10 mL 之去離子水，使用超音波振盪器振盪 15 分鐘，以 0.45 μm 濾紙過濾，並定量至 25 mL，經萃取之樣品立即使用離子層析儀( DX-120 )分析陽離子( Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>)及陰離子( Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)，分析陽離子之層析管為 CS-12A，分析陰離子之層析管為 AS-12A，上機前萃取液再以 Milieux-HV 13 mm, 0.45 μm 濾頭過濾樣品並直接打入離子層析儀。分析時陰離子之流洗液濃度調配為 ( 0.3 mM NaHCO<sub>3</sub>+2.7 mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> )，並將流速控制在 1.5 mL/min，

陽離子之流洗液為 20 mM Methane Sulfonic Acid，其流速則控制在 1.0 mL/min。

分析含碳物質時，均勻稱取兩份適當之石英濾紙，一份直接使用 Shimadzu SSM-5000A 總有機碳分析儀測其 CO<sub>2</sub>，並使用葡萄糖來配製檢量線，求得樣品含碳量，此一部份即為總碳(TC)。另一份將其置於氣密式高溫爐(Carbolite Model CWF1200)，以 0.5 L/min 流速提供 O<sub>2</sub>，並於 340°C 條件下分解有機碳 1 小時，樣品取出後再置於 Shimadzu SSM-5000A 總有機碳分析儀中分析 CO<sub>2</sub>，所得之值即為元素碳(EC)。由總碳扣除元素碳所得即為有機碳(OC)，最後並分別將其轉換成大氣中的濃度。

### 結果與討論

本研究計畫原先僅規劃本土性污染、沙塵暴及農廢燃燒等三種型態之事件，然因境外移入事件中包括沙塵暴及非沙塵暴兩種事件，此兩種事件之特徵差異很大，故將其區別開來，另將非事件日(平常日)之數據亦加以列出，以方便比較。表 1 為四種不同型態事件及平常日之氣象條件及污染物(PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>)之基本資料，除非沙塵暴之境外移入事件僅有一次案例外，其餘事件均有兩次以上之案例。溫度在五種型態之事件中，其差異並不明顯，但在濕度上則有較明顯之差異。在非沙塵暴及沙塵暴兩種境外移入事件中，其濕度均顯著低於其他三種事件之濕度，這是因為此兩種事件均由大陸北方乾燥氣團下所造成之結果。在風速之比較中，以本土性污染事件有最低之風速值，而以非沙塵暴之境外移入事件有最高之風速值。郭等<sup>(20)</sup>之研究指出，本土性污染事件大部份出現於高壓迴流之天氣型態。Lin et al.<sup>(26)</sup>之研究指出，出現高壓迴流之天氣型態時，中

部地區會形成一個低風速之低壓槽，致使污染物不易擴散，故極易形成高懸浮微粒之事件，此種非由境外移入之污染事件，一般均將其歸類於本土性污染事件。Lin et al.<sup>(27)</sup>之研究指出，發生本土性污染事件時，部份污染物(尤其是 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 及 O<sub>3</sub>)會有明顯之日變化現象，但在境外移入之污染事件發生期間，其日變化現象容易消失。本研究所收集之案件，大致上均符合此一現象。

由表 1 中 SO<sub>2</sub> 及 NO<sub>2</sub> 兩種氣態污染物之濃度，知在出現本土性污染事件時，其 SO<sub>2</sub>(9.05ppb)及 NO<sub>2</sub>(34.5ppb)兩種氣態污染物之濃度均很高，且明顯高於其他型態事件之濃度。這是因為大部份之本土性污染事件大都屬高壓迴流天氣型態，當此種氣團穿越中央山脈後，會籠罩中部地區，並造成該地區氣態污染物及懸浮微粒濃度均同時升高之現象。由於 SO<sub>2</sub> 及 NO<sub>2</sub> 在大氣中之生命週期均不長，故較不利於長程傳輸，但 SO<sub>2</sub> 之生命週期又較 NO<sub>2</sub> 之生命週期為長，本研究所收集之非沙塵暴之境外移入事件屬於較短程之境外移入案例。由表 1 中知非沙塵暴之境外移入事件其 SO<sub>2</sub> 及 NO<sub>2</sub> 濃度均不是很高，但其 NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> 之比值明顯較其他型態事件之比值為低，而其餘型態事件之 NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> 比值則在一定範圍間變化。該數據顯示在此次之境外移入事件，其氣團係挾帶了大陸沿岸地區高濃度之 SO<sub>2</sub> 污染物，致使其 NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> 之比值明顯偏低。

圖 1 為此五種型態間其粗粒徑及細粒徑微粒所佔之百分比，由該圖可知沙塵暴事件其粗粒徑微粒所佔之百分比明顯較其他事件及平常日為高。另由圖之數據可發現，除沙塵暴事件外，其餘事件及平常日其細粒徑微粒所佔之百分比大都高達 70% 以上，顯示中部地區大氣中之懸浮微粒之

主要來源，可能是燃燒後之污染物及衍生性之鹽類。

表 2 為四種型態事件及平常日細粒徑微粒中陰陽離子及含碳物質之濃度，鈉離子濃度在兩種境外移入事件中有較高值，顯示境外移入事件有攜帶部份海鹽成份入境。與鈉離子同為海鹽之氯離子，其濃度卻以本土性污染事件有最高之測值，且高於鈉離子濃度之 3 倍多，由於鈉離子濃度在本土性污染事件中並未出現相對應之高值，故推測本土性事件其氯離子應有很大之部份係由本土污染源所貢獻的。細粒徑銨離子以非沙塵暴之境外移入事件有最高之測值(18.7μg/m<sup>3</sup>)，此測值尚高於本土性污染事件銨離子濃度之 2 倍。另由硫酸鹽之濃度中，亦發現非沙塵暴之境外移入事件有最高之測值(23.9μg/m<sup>3</sup>)，顯示非沙塵暴之境外移入事件中其細粒徑微粒中含有高量之硫酸銨。由表 1 知非沙塵暴之境外移入事件中其氣團含有較高之 SO<sub>2</sub>，在其長程傳輸過程容易衍生出較多之硫酸銨，故導致非沙塵暴之境外移入事件其細粒徑銨離子及硫酸根離子均在極高之測值。

鉀離子之濃度普遍均很低，基本上農廢燃燒易產生較高之鉀離子，本研究共收集兩次農廢燃燒期間之資料，由於各地區農民燃燒農廢之時間均不一致，前後可能拖到一個半月之久，故其樣品間之變異很大。如以每單位微粒所含鉀離子之量來表示，則其中有一次樣品之測值高達 0.49μg/m<sup>3</sup>，遠較非農廢燃燒期間之平均測值(0.25μg/m<sup>3</sup>)為高。由於另一次樣品之鉀離子濃度並不高，故表 2 中兩次農廢燃燒其鉀離子之平均濃度並未較其他事件為高。鈣離子濃度以兩種境外移入事件中有較高之測值，其中又以沙塵暴之境外移入事件有較高值，此種現象在粗粒徑鈣離子(表 3)更為明顯，顯示大陸沙塵暴的確對台

灣中部地區具有實質之影響。大陸來襲之沙塵暴，其懸浮微粒中含有較高鈣離子之情形，已有相當之研究報告加以證實<sup>0</sup>，但大部份之研究報告仍以 PM<sub>10</sub> 為研究對象，能明顯指出沙塵暴之鈣離子傾向於粗粒徑的報告則不多。細粒徑硝酸鹽濃度以本土性污染事件有較高之測值 (10.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，Kuo et al.<sup>(20)</sup>指出台灣地區由於氣溫普遍較高，老化氣膠中之硝酸銨極易從氣膠中揮發，造成老化氣膠中之硝酸鹽之比例並不高，但本土性事件來臨時，其硝酸鹽極易形成，造成新形成之氣膠中會含有較高比例之硝酸鹽。如與平常日之細粒徑硝酸鹽濃度比較，本土性污染事件中其細粒徑硝酸鹽濃度約高出了 3 倍之多。在含碳物質方面，除平常日之總碳濃度較低外，其餘型態事件中其總碳濃度之差異並不大，此現象在元素碳及有機碳亦相似，且元素碳之濃度均較有機碳之濃度為高，此為中部地區之特色。

表 3 為粗粒徑微粒中陰陽離子及含碳物質之濃度，鈉離子濃度在兩種境外移入事件中仍有較高值，其中又以沙塵暴事件特別明顯，由於海鹽較傾向於粗粒徑，顯示沙塵暴事件所攜帶之海鹽成份不低。細粒徑銨離子在非沙塵暴之境外移入事件有極高測值之現象，在粗粒徑中則未出現，且粗粒徑硫酸鹽濃度在非沙塵暴之境外移入事件亦未有極高測值出現之現象，顯示長程傳輸過程較有利於細粒徑硫酸銨之形成。與粗粒徑鈉離子同為海鹽來源之粗粒徑鎂離子及氯離子，其濃度仍以沙塵暴事件為最高，分別為 0.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  及 2.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高於平常日之 3.2 倍及 8.4 倍。鈣離子濃度亦以沙塵暴事件為最高 (2.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，其測值遠較同一事件細粒徑鈣離子之濃度為高，且高於平常日粗粒徑鈣離子濃度之 7.2 倍，此數據顯示粗粒徑

鈣離子較細粒徑鈣離子更適合當作大陸沙塵暴來襲之指標。粗粒徑硝酸鹽之濃度在本土性污染事件中，其測值並未較其他型態事件之測值為高，此一現象與 Kuo et al.<sup>(28)</sup>所發現的相似，這是因為本土性污染事件發生初期，有較大量之細粒徑衍生性硝酸鹽迅速形成，但粗粒徑硝酸鹽(如 NaNO<sub>3</sub>)之較可能來源為塵土或氯損失所形成的，故表 3 中未見粗粒徑硝酸鹽之濃度在本土性污染事件中有較高之趨勢。粗粒徑含碳物質之濃度明顯均較細粒徑含碳物質之濃度為低，顯示中部地區含碳物質明顯來自燃燒後所排放之物質。

在本研究所檢測之八種陰陽離子中，部份離子屬原生性鹽類，而部份離子則為衍生性鹽類，衍生性鹽類係由氣態污染物經大氣化學反應而形成，由於其在微粒中所佔之百分比很高，且對大氣化學反應能提供有用之資訊，頗值得進一步分析探討。表 4 為衍生性鹽類佔粗細微粒之分率，由表中細粒徑之數據可發現，除非沙塵暴之境外移入事件其(NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)/PM<sub>2.5</sub> 比值偏高(0.59)外，其餘型態事件之該比值均無很大差異。表中這些數據顯示細粒徑微粒中有 1/3 以上為衍生性鹽類，而非沙塵暴之境外移入事件其衍生性鹽類之比例更高達約 60%，造成非沙塵暴之境外移入事件其比值偏高之原因，可能係因其氣團中挾帶高濃度之 SO<sub>2</sub>，在其長程傳輸過程逐漸衍生出硫酸銨等鹽類。粗粒徑微粒之該比值大都小於細粒徑微粒之該比值，顯示衍生性鹽類較傾向於細粒徑。在四種型態事件及平常日中，其粗粒徑微粒之衍生性鹽類之比值以農廢燃燒事件為最高 (0.34)，而沙塵暴事件(0.14)及平常日(0.15)均有較低值。

為進一步瞭解不同粒徑微粒中，兩種主要陰離子(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)在不同型態事

件中之變化情形，特別利用此兩陰離子間之濃度比值及其與其他物質間之比值來加以分析探討，其在細粒徑與粗粒徑微粒中所得之結果，分別如表 5 及表 6 所示。由表 5 中之  $\text{NO}_3^-/\text{PM}_{2.5}$  比值，知本土性污染事件其該比值(0.12)明顯大於其他事件，如與平常日之比值比較，本土性污染事件之該比值約高出了 2 倍，此結果顯示本土性污染事件形成過程十分有利於細粒徑硝酸鹽之形成。 $\text{SO}_4^{2-}/\text{PM}_{2.5}$  之比值則以非沙塵暴之境外移入事件為最高(0.28)，顯示非沙塵暴之境外移入事件在其長程傳輸過程有利於細粒徑硫酸鹽之形成。在細粒徑  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  比值中，以本土性污染事件之比值為最高(0.80)，高於平常日(0.31)約 2.6 倍，顯示發生本土性污染事件時硝酸鹽之形成速率遠超過硫酸鹽之形成速率。

在粗粒徑之比較上，本土性污染事件之  $\text{NO}_3^-/\text{PM}_{10-2.5}$  比值(0.12)仍略高於平常日之該比值(0.09)，但已較兩種境外移入事件為低。粗粒徑  $\text{SO}_4^{2-}/\text{PM}_{10-2.5}$  之比值明顯較細粒徑之該比值為低，顯示硫酸鹽主要偏向於細粒徑微粒中，在四種型態之事件及平常日中，以農廢燃燒事件之  $\text{SO}_4^{2-}/\text{PM}_{10-2.5}$  比值為最高(0.12)，其餘型態事件中之比值相差很小。粗粒徑  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  比值明顯高於細粒徑之該比值，此係由於硝酸鹽及硫酸鹽在粗細粒徑分佈不同所導致之結果，此一比值在四種型態之事件及平常日中之差異並不明顯。

### 結論

本研究共收集到本土性、境外移入(沙塵暴及非沙塵暴)及農廢燃燒等四種不同型態之事件，在此四種不同型態之事件中，有兩種事件屬於非境外移入事件，而兩種事件則屬於境外移入事件，另列出非事件(平常日)之數據作為比較。分析結果

發現境外移入之兩種事件中，其微粒中之海鹽成份均較非境外移入事件及平常日之海鹽成份為高，此一現象又以粗粒徑微粒更為明顯。非沙塵暴之境外移入事件，其細粒徑銨離子及硫酸根離子之濃度均極高，分別為平常日之 4.7 倍及 3.1 倍，推測係由於挾帶大陸高濃度  $\text{SO}_2$  之氣團，於其長程傳輸過程所衍生出之高量硫酸銨所導致之結果。沙塵暴事件其鈣離子濃度明顯較其他事件及平常日為高，此現象又以粗粒徑微粒更為明顯。本土性污染事件其細粒徑硝酸根離子濃度及  $\text{NO}_3^-/\text{PM}_{2.5}$  比值均明顯較其他事件及平常日之濃度為高，顯示在本土性污染事件出現時，其細粒徑硝酸鹽有大量形成之現象。另細粒徑  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  比值亦遠較其他事件及平常日為高，顯示在本土性污染事件出現時，其硝酸鹽之形成速率遠較硫酸鹽之形成速率為快。

### 參考文獻

1. 郭崇義、鄭文伯, 2002. 台中縣高污染事件成因之探討。台中縣環境保護局專案研究報告。
2. 鄭曼婷、林煜棋、黃美倫, 2000. 台灣中部地區大氣硫酸鹽和硝酸鹽微粒的空間分佈。第八屆氣膠科技研討會論文集, pp. 337-378。
3. 郭崇義、洪伶慈, 2001. 利用水溶性離子來探討中部近海地區  $\text{PM}_{10}$  氣膠之化學特性。台灣海洋學刊, 39: 19-28。
4. Groblicki, P. J., Wolff, G. T. and Countess, R. J., 1981. Visibility-reducing species in the Denven "brown cloud" — I. Relationship between extinction and chemical composition. Atmos. Environ., 15:2473-2484.



5. Partsinis, S., Novakov, T., Ellis, E. C. and Friedlander, S. K., 1984. The carbon containing component of the Los Angeles aerosol: Sources apportionment and contributions to the visibility budget. *J. Air Pollut. Control Ass.*, 34:643-650.
6. Baik, N. J., Kim, Y. P. and Moon, K. C., 1996. Visibility study in Seoul, 1993. *Atmos. Environ.*, 30: 2319-2328.
7. Seto, S., Oohara, M. and Ikeda, Y., 2000. Analysis of precipitation chemistry at a rural site in Hiroshima Prefecture, Japan. *Atmos. Environ.*, 34: 521-628.
8. Poor, N., Pribble, R. and Greening, H., 2001. Direct wet and dry deposition of ammonia, nitric acid, ammonium and nitrate to the Tampa Bay Estuary, FL, USA. *Atmos. Environ.*, 35: 3947-3955.
9. Watanabe, K., Ishizaka, Y. and Takenaka, C., 2001. Chemical characteristics of cloud water over the Japan Sea and the Northwestern Pacific Ocean near the central part of Japan: airborne measurements. *Atmos. Environ.*, 35: 645-655.
10. Kaneyasu, N., Ohta, S., Muraio, S., 1995. Seasonal variation in the chemical composition of atmospheric aerosols and gaseous species in Sapporo, Japan. *Atmos. Environ.*, 29:1559-1568.
11. Lee, H. S., Kang, C. M., Kang, B. W. and Kim, H. K., 1999. Seasonal variations of acidic air pollutants in Seoul, South Korea. *Atmos. Environ.*, 33: 3143-3152.
12. Wang, H. and Shooter, D., 2001. Water soluble ions of atmospheric aerosols in three New Zealand cities; seasonal changes and sources. *Atmos. Environ.*, 35: 6031-6040.
13. Zhuang, H., Chan, C.K., Fang, M., Wexler, A.S., 1999. Size distributions of particulate sulfate, nitrate, and ammonium at a coastal site in Hong Kong. *Atmos. Environ.*, 33, 843-853.
14. Xiaoxiu, L., Xiaoshan, Z., Yujing, M., Anpu, N. and Guibin, J., 2003. Size fractionated speciation of sulfate and nitrate in airborne particulates in Beijing, China. *Atmos. Environ.*, 37: 2581-2588.
15. Xiu, G., Zhang, D., Chen, J., Huang, X., Chen, Z., Guo, H. and Pan, J., 2004. Characterization of major water-soluble inorganic ions in size-fractionated particulate matters in Shanghai campus ambient air. *Atmos. Environ.*, 38:227-236.
16. Fang, G. C., Chang, C. N., Wu, Y. S., Fu, P. P. C., Yang, C. J., Chen, C. D. and Chang, S. C., 2002. Ambient suspended particulate matters and related chemical species study in central Taiwan, Taichung during 1998-2001. *Atmos. Environ.*, 36: 1921-1928.
17. Wang, G., Huang, L., Gao, S. and Wang, L., 2002. Characterization of water-soluble species of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> aerosols in urban area in Nanjing, China. *Atmos. Environ.*, 36: 1299-1307.
18. Lin J. J., 2002. Characterization of the major chemical species in PM<sub>2.5</sub> in the Kaohsiung City, Taiwan. *Atmos. Environ.*, 36: 1911-1920.

19. Bari, A., Ferraro, V., Wilson, L. R., Luttinger, D. and Husain, L., 2003. Measurements of gaseous HONO, HNO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, NH<sub>3</sub>, particulate sulfate and PM<sub>2.5</sub> in New York, NY. *Atmos. Environ.*, 37: 2825-2835.
20. Kuo, C. Y., Chen, H. H., Shih, J. F. and Wong, R. H., 2005. Variations of nitrate and sulfate in the atmosphere on the days of high and low particulate matters. *Environ. Toxicol. Chem.*, 24 : 9-14.
21. Yoshizumi, K. and Hoshi, A., 1985. Size distribution of ammonium nitrate and sodium nitrate in atmospheric aerosols. *Environ. Sci. Technol.*, 19: 258-261.
22. Shimohara, T., Oishi, O., Utsunomiya, A., Mukai, H., Hatakeyama, S., Eun-Suk, J., Uno, I. and Murano, K., 2001. Characterization of atmospheric air pollutants at two sites in northern Kyushu, Japan – chemical form, and chemical reaction. *Atmos. Environ.*, 35: 667-681.
23. Yang, K.L., 2002. Spatial and seasonal variation of PM<sub>10</sub> mass concentrations in Taiwan. *Atmos. Environ.*, 36: 3403-3411.
24. Lee, J. H., Kim, Y. P., Moon, K. C., Kim, H. K. and Lee, C. B., 2001. Fine particle measurements at two background sites in Korea between 1996 and 1997. *Atmos. Environ.*, 35: 635-643.
25. Turnbull, A. B. and Harrison, M., 2000. Major component contributions to PM<sub>10</sub> composition in the UK atmosphere. *Atmos. Environ.*, 34: 3129-3137.
26. Lin, P.L. 2001. Meteorological modeling of air pollution episodes for the Central Air Basin: Simulation and validation. EPA-89-FA11-03-231. Environmental Protection Administration, Taiwan, Republic of China.
27. Lin, C.Y., Liu, S.C., Chou, C.-K., Liu, T.H., Lee, C.T., Yuan, C.S., Shiu, C.J., and Young, C.Y., 2004. Long-Range Transport of Asian Dust and Air Pollutants to Taiwan. *TAO*. 15: 759-784.
28. Kuo, C.Y., Lin, C.Y., Chiang, W.F., Ko, L.C., Wu, C.W., Shang, W.L., 2006. Variations of Chemical Compositions in Coarse Aerosols and Fine Aerosols in Two Successive Episodes. *Environ. Toxicol. Chem.* 25: 2059-2066.

表 1 不同型態事件及平常日之氣象條件及污染物濃度

	本土性 (N=16)*	非沙塵暴 (N=1)	沙塵暴 (N=3)	農廢 (N=2)	平常日 (N=15)
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	137±28.6	136±28.4	123±23.7	109±37.0	52.6±14.2
SO <sub>2</sub> (ppb)	9.05±3.93	8.59±0.63	5.31±2.55	7.77±3.32	6.20±2.86
NO <sub>2</sub> (ppb)	34.5±13.9	15.6±6.40	23.1±7.20	23.4±12.1	19.8±7.72
溫度(°C)	21.2±3.16	21.4±0.92	19.9±1.46	23.4±3.97	21.7±6.81
溼度(%)	71.4±8.38	60.1±3.04	62.5±10.5	71.2±6.53	71.4±5.95
風速(m/s)	1.51±1.01	5.09±1.33	2.23±1.61	2.50±2.30	2.23±1.85

\*發生次數

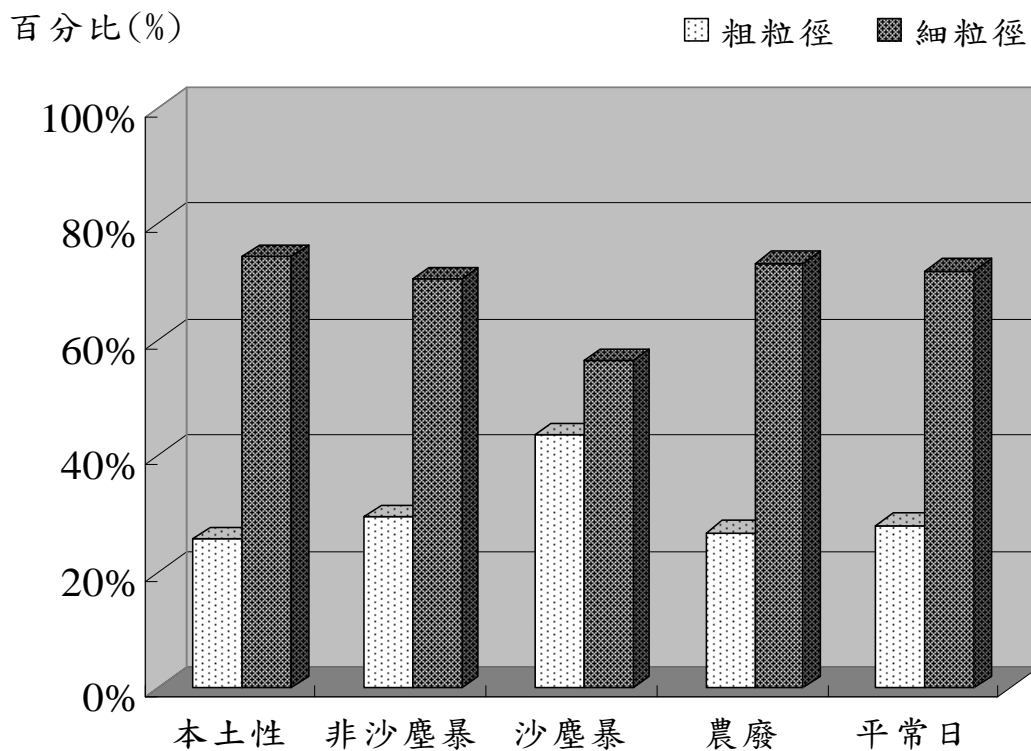


圖 1. 四種不同型態事件日及平常日其粗細粒徑微粒之百分比

表 2 細粒徑微粒之化學組成( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	本土性 (N=45)*	非沙塵暴 (N=4)	沙塵暴 (N=21)	農廢 (N=22)	平常日 (N=48)
Na <sup>+</sup>	0.32±0.12	0.49±0.18	0.59±0.17	0.35±0.26	0.20±0.05
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	9.21±3.44	18.7±3.70	5.32±1.45	6.46±3.91	3.96±2.79
K <sup>+</sup>	0.74±0.55	0.91±0.11	0.77±0.33	0.49±0.32	0.25±0.1
Mg <sup>2+</sup>	0.06±0.05	0.10±0.02	0.10±0.04	0.04±0.04	0.03±0.02
Ca <sup>2+</sup>	0.17±0.08	0.39±0.04	0.43±0.30	0.16±0.19	0.17±0.09
Cl <sup>-</sup>	0.98±0.76	0.50±0.27	0.77±0.43	0.64±0.56	0.23±0.27
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.2±5.99	6.44±2.13	5.59±3.78	5.21±5.84	3.22±5.40
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13.1±3.84	23.9±3.33	9.98±2.11	13.37±6.82	7.79±3.68
TC	15.8±4.32	12.4±1.50	16.5±3.82	11.4±2.41	8.03±3.10
EC	9.66±2.61	7.55±1.23	7.49±2.08	6.61±1.49	4.74±2.01
OC	6.15±2.42	4.86±1.35	7.49±2.63	4.75±1.48	3.28±1.88

\*樣本數

表 3 粗粒徑微粒之化學組成( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	本土性 (N=45)	非沙塵暴 (N=4)	沙塵暴 (N=21)	農廢 (N=22)	平常日 (N=48)
Na <sup>+</sup>	0.95±0.63	1.15±0.10	1.64±0.69	0.86±0.48	0.51±0.29
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.71±0.47	0.37±0.19	0.47±0.32	0.99±1.17	0.22±0.32
K <sup>+</sup>	0.14±0.10	0.14±0.04	0.29±0.44	0.12±0.09	0.08±0.03
Mg <sup>2+</sup>	0.45±0.95	0.19±0.02	0.66±1.31	0.12±0.07	0.08±0.05
Ca <sup>2+</sup>	0.54±0.25	0.98±0.17	2.02±1.88	0.35±0.12	0.28±0.12
Cl <sup>-</sup>	1.19±1.76	0.04±0.01	2.69±1.45	0.67±0.53	0.32±0.30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.56±2.02	5.24±0.54	5.18±2.51	3.79±2.08	1.73±1.55
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.50±0.94	1.67±0.21	1.93±0.91	2.23±2.42	0.69±0.35
TC	3.12±0.82	2.57±0.44	3.46±0.89	5.38±4.49	2.45±1.23
EC	1.39±0.50	1.26±0.07	1.82±0.41	2.62±2.58	0.92±0.61
OC	1.73±0.55	1.31±0.49	1.85±0.73	2.76±2.01	1.53±0.87

\*樣本數

表 4 衍生性鹽類佔細粒徑及粗粒徑微粒之比例

	本土性 (N=45)*	非沙塵暴 (N=4)	沙塵暴 (N=21)	農廢 (N=22)	平常日 (N=48)
$(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})/\text{PM}_{2.5}$	0.39	0.59	0.31	0.39	0.35
$(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})/\text{PM}_{10-2.5}$	0.20	0.24	0.14	0.34	0.15

\*樣本數

表 5 細粒徑硝酸離子與硫酸離子在細粒徑微粒中之比例

	本土性 (N=45)*	非沙塵暴 (N=4)	沙塵暴 (N=21)	農廢 (N=22)	平常日 (N=48)
$\text{NO}_3^-/\text{PM}_{2.5}$	0.12	0.08	0.08	0.07	0.06
$\text{SO}_4^{2-}/\text{PM}_{2.5}$	0.16	0.28	0.15	0.22	0.20
$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$	0.80	0.27	0.61	0.59	0.31

\*樣本數

表 6 粗粒徑硝酸離子與硫酸離子在粗粒徑微粒中之比例

	本土性 (N=45)*	非沙塵暴 (N=4)	沙塵暴 (N=21)	農廢 (N=22)	平常日 (N=48)
$\text{NO}_3^-/\text{PM}_{10-2.5}$	0.12	0.17	0.10	0.17	0.09
$\text{SO}_4^{2-}/\text{PM}_{10-2.5}$	0.05	0.06	0.04	0.12	0.04
$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$	3.23	3.17	3.12	2.36	2.39

\*樣本數