

# 嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

計畫編號：CNEE95-05

計畫名稱：石化產業區域性濕沉降二元酸之生成變異探討

執行期間：95 年 1 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

整合型計畫

個別型計畫

計畫總主持人：

計畫主持人：蔡瀛逸

子計畫主持人：



中華民國 96 年 02 月 27 日

# 石化產業區域性濕沉降二元酸之生成變異探討

計畫主持人：蔡瀛逸

計畫參與人員：簡偉庭、張鈞堯

## 一、中文摘要

本研究探討南台灣石化產業所在地區附近 2005 年 5 月至 2005 年 12 月底止，包括梅雨季節、颱風降雨與颱風外圍環流、夏季及冬季降雨之濕沉降二元有機酸特性。五種濕沉降型態中，平均而言，二元有機酸佔物種組成成份的 0.11–0.87%，二元有機酸均以 oxalic acid 為主要物種。三種二元有機酸在各降雨型態中，以冬季濕沉降所佔已分析物種組成比例為最高，主要乃因冬季時期長期沒有降雨，而在降雨時，降雨雨量少及降雨強度小，導致濕沉降中之三種二元有機酸當量濃度較其他降雨型態為高。比較不同季節型態之二元有機酸之 malonic acid:succinic acid (M:S)比值，在梅雨季節、颱風降雨及夏季降雨型態的 M:S 比值，分別為 2.1、2.0 及 1.2，其值介於低比值(0.3–0.5)與高比值 3 之間，由梅雨季節、颱風降雨及夏季降雨型態逆軌跡圖所示，顯示降雨物種經長程傳輸，從海上吹經高雄市區，降雨之部份來源為市區交通的污染排放和在海洋上產生的光化產物溶入降雨中，在外圍環流及冬季降雨型態則有相同的 M:S 比值為 3.4，其 M:S 的比值高於 3，由外圍環流及冬季降雨型態逆軌跡圖顯示降雨中之物種來源主要為交通車輛排放。

**關鍵詞：**降雨、乙二酸、丙二酸、丁二酸、逆軌跡

## Abstract

In this study, characteristics of low-molecular-weight dicarboxylic acids (low- $M_w$  DCAs) in the wet precipitation of the Mei-yu rain, typhoon precipitation and typhoon peripheral circumfluence surrounding the petrochemical industry park in southern Taiwan from May 2005 till December 2005 were investigated. In all 5 types of wet precipitations, the average percentage of low- $M_w$  DCAs constitutes  $0.87 \pm 0.43\%$  of all chemical species. Oxalic acid is the major constituent among all low- $M_w$  DCAs. These three low- $M_w$  DCAs have the highest percentages of all analyzed chemical species in winter wet precipitation. This is mainly because that there is little precipitation in winter and the occasional precipitations have small quantities and intensities thus leading to higher observed equivalent concentrations of low- $M_w$  DCAs than observed for other patterns of precipitation. The ratios of malonic acid to succinic acid (M:S ratio) are 2.1 for the Mei-yu rainy season, 2.0 for typhoon precipitation and 1.2 for summer precipitation. All these ratios are between the low ratio (0.3–0.5) and the high ratio (3) ranges. Based on the backward trajectories for these three precipitation patterns, the chemical species contained in the rainwater have been subject to long-range transportation to be blown from sea to Kaohsiung downtown. Some chemical species originated from local municipal traffic-related pollution react photo-chemically with the species from the ocean and the products are dissolved in the rainwater. Both peripheral circumfluence and the winter precipitation have similar M:S ratios of 3.4, which is higher than 3. The backward trajectories for both precipitation patterns indicate that the main chemical species in the rainwater mainly come from traffic emission.

**Keywords:** precipitation, oxalic acid, malonic acid, succinic acids, backward trajectory.

## 一、緣由與目的

大量空氣污染物排至大氣環境中是造

成雨水酸化之主要原因，其中氮氧化物及硫氧化物為最主要的致酸物質(Furiness et

al., 1998)。氮氧化物與硫氧化物排入空氣中，藉由大氣介質的傳輸，再經化學反應，轉化形成酸性污染物  $\text{SO}_4^{2-}$  及  $\text{NO}_3^-$  等物質，此酸性物質飄浮在空中，溶解到雲、雨、雪、霧等濕性狀態沉降到地面，對地球生態環境產生嚴重影響(Seinfeld and Pandis, 1998)。

濕沉降有機酸的污染來源有二：一為人為的污染，另一為生物源排放(Kawamura et al., 1985; Talbot et al., 1988; Grosjean, 1989)。人為污染來自於石化燃料、工廠廢氣之排、汽機車廢氣排放等排放的廢氣，經由太陽照射光化分解產生(Chebbi and Carlier, 1996)，二元有機酸的貢獻來源在一些城市地區也很重要，除了交通排放及二次光化來源之外，生物源的貢獻是非一般城市地區所造成的(Dutton and Evans, 1996)，生物源的排放來源，從菌類植物新陳代謝過程中產生檸檬酸和醋乙酸，轉變成草酸鹽類，經過水解之後轉變成草酸。然而在新陳代謝過程中，不會產生丙二酸(malonic acid)和琥珀酸(succinic acid)(Dutton and Evans, 1996)。在生物源排放中，濃度在氣相和液相的變化，原歸因於季節性的改變(Pena et al., 2002)，而每日的變化是受人為污染和光化反應(Kawamura et al., 1996)及空氣中對流混合的影響，而 malonic acid : succinic acid (M : S)的比率能夠直接描述濕沉降的污染來源(Avery Jr. et al., 2006)，Yao et al. (2004)有報告指出低 M : S 比率範圍在(0.3—0.5)時，顯示為交通的污染排放，而高 M : S 比率與二次光化程序有相關性，在海洋上 M : S 值為 3 時，顯示出 M : S 比值的意義，代表有光化程序的發生(Kawamura and Sakaguchi, 1999)。

雨水二元有機酸之成分複雜，succinic acid、malonic acid 及 oxalic acid 是三種最為常見之二元有機酸，Kawamura et al. (2001) 在 1981 到 1984 年洛杉磯地區研究發現，三種二元有機酸之濃度多寡依序為 oxalic acid ( $7.8 \mu\text{eq L}^{-1}$ )、succinic acid ( $2.0 \mu\text{eq L}^{-1}$ )、malonic acid ( $1.4 \mu\text{eq L}^{-1}$ )，大部分雨水樣品是在冬季收集的，而在夏季雨水中發現 oxalic acid 有較高的濃度。

Avery Jr. et al. (2006) 於 1996 年 9 月到 1998 年 5 月在美國北卡羅萊納州的威明頓雨水研究發現二元有機酸的平均當量濃度依序為 oxalic acid ( $3.6 \mu\text{eq L}^{-1}$ )、succinic acid ( $2.0 \mu\text{eq L}^{-1}$ )、malonic acid ( $1.4 \mu\text{eq L}^{-1}$ )，從威明頓進行濕沉降的逆軌跡，回推濕沉降逆軌跡的起源，其路徑來源分別為五個方向，分別為西方、北方、南方、北大西洋和南大西洋，從五個方向的 M : S 比值，比較二元有機酸 succinic acid 和 malonic acid 濕沉降污染來源，在南方和西方的有相似的低 M : S 比值( $0.3 - 0.5$ )，顯示有交通污染排放，在北大西洋和南大西洋有相似的高 M : S 比值，其比值接近 3，顯示有光化反應產物的帶入，而北方的 M : S 比值介於中間，顯示部分來源為交通污染排放及光化反應產物的發生。

Kawamura and Steinberg (1996) 在南加州連續時間收集雨水，研究二元有機酸，測量 oxalic acid ( $0.4 - 56 \mu\text{eq L}^{-1}$ )、succinic acid ( $0.06 - 14.6 \mu\text{eq L}^{-1}$ )、malonic acid ( $0.02 - 11.0 \mu\text{eq L}^{-1}$ )，其污染進一步指出這些二元酸，一部分來自氣膠微粒吸濕沉降，一部份來自氣相的成份，其來源為交通運輸污染排放及光化作用。

由上述的文獻探討均顯示濕沉降二元酸的組成特性與生成在大氣環境的重要性。因此，本研究針對南台灣石化產業所影響地區，探討不同降雨條件之二元酸之濃度分布特性。

## 二、研究方法

### 2.1. 濕沉降之採樣

本計畫將進行之濕沉降，以兩部自行設計的大氣濕沉降採樣器(TSAI，Real-Time wet deposition monitor，Model TRD 6958)，可在降雨時自動記錄收受集雨水延時及降雨量，雨停後感應自動關閉，將採集所得之降雨樣品帶回實驗室。同時在採樣地點放置攜帶式氣象測定儀(Davis，Weather monitor II)，進行大氣氣膠及濕沉降採集之同步氣象條件觀測，以提供本研究之 GTx 模式必須的氣象資料。

計畫設計之濕沉降採集，選擇位於在台南縣仁德嘉南藥理科技大學校舍樓頂(距地面 20 m)，為所處石化工業及工業區附近，可代表南台灣典型石化工業污染空氣品質區。

## 2.2. 採樣前樣品之調理

濕沉降採集後，水樣置入超音波震盪萃取器(Branson 5210)振盪萃取 90 分鐘，再以 0.2 μm 之纖維濾紙過濾，過濾後之萃取液置入有蓋的試管，先量測 pH 值，將試管緊後，放入 0 °C 之冷藏箱內存放，避免物種揮發損失。

## 2.3. 微粒之化學成份分析

濾液注入 gradient pump (Dionex GP50) 之 IC (Dionex DX-600) 中進行分析，其中管柱為 AS11 規格為 250×4mm ID，anion suppression system (ASRS-ultra)，流洗液為 NaOH 水溶性溶液及 MeOH，注入量為 1000 μL，分析樣品中二元有機酸，包括 succinic acid、malic acid、malonic acid、tartric acid、maleic acid、oxalic acid 等六種二元酸之含量。

剩下之濾液，再分析水溶性陰、陽離子包括 F<sup>-</sup>、Br<sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> (Tsai and Kuo, 2005)。剩下之濾液，再利用 Ion Pac CS12A，CG12A (4 mm)，流洗液為 20 mM MSA，流速為 0.5 mL/min，測定陽離子。

## 三、結果與討論

### 3.1 梅雨季節降雨物種離子成份比例

由 Fig. 1 梅雨季節之濕沉降的當量濃度組成發現，在梅雨季節濕沉降之無機鹽類所佔比例以 Na<sup>+</sup> (22.03±39.79%) 最大，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (16.12±23.61%)，再其次為 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (14.97±18.83%)，其中 Na<sup>+</sup> 佔其最大量，受盛行風南風或西南風之吹襲，顯示降雨組成受到海鹽成分影響。而降雨之 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 來源由 Fig. 2 所示之逆軌跡路徑顯示降雨路徑經過轉繞到臺南南方工業廢氣排放造成。

### 3.2 颱風時期降雨物種離子成份比例

Fig. 3 為颱風時期濕沉降組成當量濃度比例，以 Cl<sup>-</sup> (40.43±26.69%) 所佔比例最大，其次為 Na<sup>+</sup> (35.14±21.20%)，再其次為 Mg<sup>2+</sup> (7.45±5.04%)，顯示出颱風過境台灣時，降雨中海洋飛沫組成所造成影響甚鉅，Fig. 4 為外圍環流時期濕沉降組成當量濃度比例，以 Na<sup>+</sup> (20.04±23.61%) 所佔比例最大，其次為 Cl<sup>-</sup> (15.85±21.80%)，再其次為 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (14.91±20.92%)，而外圍環流降雨組成當量濃度比例和颱風有部分相同的趨勢，Cl<sup>-</sup> 及 Na<sup>+</sup> 所佔成份比例減少，但所佔物種比例仍是最高等，由 Fig. 5 所示之逆軌跡路徑可得知顯示外圍環流降雨組成亦受海鹽成分的影響。

### 3.3 夏季/冬季降雨物種離子成份比例

Figs. 6-7 為夏季及冬季濕沉降組成當量濃度比例，夏季以 Na<sup>+</sup> (24.71±40.98%) 為最大量，其次為 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (16.69±21.55%) 及 Cl<sup>-</sup> (13.59±22.95%)，冬季降雨物種比例以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (19.93±7.98%) 為最大，其次為 Na<sup>+</sup> (15.51±10.59%) 及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (13.34±7.79%)，Na<sup>+</sup> 及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 為降雨組成之主要物種，其物種組成冬夏季略有不同，夏季 Cl<sup>-</sup> 佔的比例較高，冬季則是 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 佔的比例為高，此乃風向的關係，造成降雨物種不同的影響，夏季盛行西南風，海鹽成份佔其較高比例，冬季盛行東北季風，嘉義、臺南為農業縣，因農業活動及施肥頻繁對降雨物種組成所影響。由 Fig. 8 所示之逆軌跡路徑可得知夏季降雨組成來源為工業污染排放和石化燃料燃燒所轉化溶入並受到海洋飛沫的影響。

### 3.4 季節性之二元酸比例

由 Figs. 1, 3-4, 6-7 之各季節溼沉降二元酸比例發現二元有機酸不論各種天氣型態及季節性，所佔比例多寡依序為 oxalic acid 為最大量、其次為 malonic acid、再者為 succinic acid。尤其在冬季降雨量少且降雨強度小，使冬季降雨中之三種二元有機酸的含量佔降雨物種比例成為五種季節降雨中豐富的季節。

### 3.5 各地之降雨物種綜合比較

濕沉降因地區性不同，無機鹽類及二

元有機酸之濃度表現亦有所不同，不同季節之降雨組成亦有不同之結果，Table 1 為各地區濕沉降無機鹽類比較， $\text{Na}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  及  $\text{SO}_4^{2-}$  是世界各地區濕沉降主要的組成物種，而  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  及  $\text{SO}_4^{2-}$  在濕沉降中鹼性物質與酸性物質在各地更是受到注目，台南夏季濕沉降之酸鹼性物質相較於東京地區(Fujita et al., 2000)及巴西地區(Flues et al., 2002)的濃度為高，臺南地區梅雨季節、颱風降雨、外圍環流及夏季濕沉降之  $\text{SO}_4^{2-}$  當量濃度，除了低於以色列、地中海地區及中國北京外， $\text{SO}_4^{2-}$  當量濃度都比其他各地濃度為高，冬季時期濕沉降台南地區之  $\text{NH}_4^+$  則是高於其他各地區，另外，地殼元素  $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  與  $\text{Ca}^{2+}$  除了冬季之外，其他不同天氣型態其當量濃度臺南地區略低於薩丁尼亞、以色列、地中海地區及印度。颱風降雨時期之  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  跟以色列地區(Mamane and Gottlieb, 1995)相似，且濃度有較高，此乃因在以色列附近的死海鹽份含量極高，導致以色列內陸地區降雨鹽份極高。

世界各地濕沉降二元有機酸之濃度從 Table 2 所示，每個地區之二元有機酸之含量變化不同，有機酸濃度因雨水在空間與時間的不同而有變化(Avery Jr. et al., 2006)。在奧地利與臺南地區，oxalic acid 為最大量、其次為 malonic acid、再者為 succinic acid。在臺南地區梅雨季節、颱風、外圍環流及夏季濕沉降之三種二元有機酸與其他各地區相較下明顯偏低，顯示台灣在雨季時期，大量的降雨，因稀釋的作用，造成三種二元有機酸當量濃度的降低，而在冬季時期，是屬於南台灣的乾季，降雨的頻率較小，降雨時降雨量少及降雨強度小，導致濕沉降中之三種二元有機酸當量濃度較高，尤其 oxalic acid 當量濃度略高於其他國家。由 Table 2 所示之世界各地區濕沉降之二元有機酸依序以 oxalic acid、succinic acid、malonic acid 是主要的三大組成。

### 3.6 不同季節型態之二元酸 M : S 比值

比較不同季節型態之二元有機酸

(M : S) 比值如 Fig. 9 所示，在梅雨季節、颱風降雨及夏季降雨型態有較相似的 M : S 比值，分別為 2.1、2.0 及 1.2，而 M : S 的比值介於低比值(0.3—0.5)與高比值 3 之間，由各時期的逆軌跡圖所示，風向長程傳輸過程，從海上吹入經過高雄市區，顯示降雨之部份來源為市區交通的污染排放和在海洋上產生的光化產物溶入降雨中，在外圍環流及冬季降雨型態則有相同的 M : S 比值為 3.4，其 M : S 的比值高於 3，由逆軌跡圖所示其與交通排放人為污染有關，顯示降雨中之物種來源為交通排放(Avery Jr. et al., 2006)。

## 四、結論

由南台灣石化產業影響區域之環境濕沉降無機鹽類與二元酸獲致以下結論：

1. 在梅雨季節濕沉降中，降雨物種來源多為工廠廢氣排放及海鹽成份所造成影響，受盛行風南風或西南風之吹襲，經過高雄加工區，帶進大量污染物，在研究的臺南郊區降雨造成之影響。夏季降雨組成來源為工業污染排放和石化燃料燃燒所轉化溶入並受到海洋飛沫的影響。
2. 在五種不同季節濕沉降之二元有機酸濃度依序為的 oxalic acid，malonic acid 次之，再者為 succinic acid，二元有機酸佔降雨物種比例在冬季降雨比例為高達 0.87%，在颱風降雨，二元有機酸佔降雨物種比例最低僅 0.11%，顯示在冬季時期，長期沒降雨，當有降雨時，降雨量少，降雨強度小，造成比例佔最高。
3. 各季節型態之二元有機酸(M : S)比值，在梅雨季節、颱風降雨及夏季降雨型態 M : S 比值較相似，分別為 2.1、2.0 及 1.2，而 M : S 的比值介於低比值(0.3—0.5)與高比值 3 之間，由梅雨季節、颱風降雨及夏季降雨型態逆軌跡圖所示，風向長程傳輸過程，從海上吹入經過高雄市區，因此顯示降雨之部份來源為市區交通的污染排放和在海洋上產生的光化產物溶入降雨中，在外圍環流及冬季降雨型態則有相同的 M : S 比值為 3.4，其 M : S

的比值高於 3，由外圍環流及冬季降雨型態逆軌跡圖所示，高 M : S 的比值顯示，降雨中之物種來源為交通車輛排放。

## 五、參考文獻

- Avery Jr., G.B., Kieber, R.J., Witt, M., Willey, J.D., 2006. Rainwater monocarboxylic and dicarboxylic acid concentrations in southeastern North Carolina, USA, as a function of air-mass back-trajectory. *Atmospheric Environment* 40, 1683-1693.
- Chebbi, A., Carlier, P., 1996. Carboxylic acids in the troposphere, occurrence, sources, and sinks: a review. *Atmospheric Environment* 30, 4233-4249.
- Dutton, M.V., Evans, C.S., 1996. Oxalate production by fungi: its role in pathogenicity and ecology in the soil environment. *Canadian Journal of Microbiology* 42, 881-895.
- Flues, M., Hama, P., Lemes, M.J.L., Dantas, E.S.K., Fornaro, A., 2002. Evaluation of the rainwater acidity of a rural region due to a coal-fired power plant in Brazil. *Atmospheric Environment* 36, 2397-2404.
- Fujita, S., Takahashi, A., Weng, J.-H., Huang, L.-F., Kim, H.-K., Li, C.-K., Huang, F.T.C., Jeng, F.-T., 2000. Precipitation chemistry in East Asia. *Atmospheric Environment* 34, 525-537.
- Furiness, C., Smith, L., Ran L., Cowling E., 1998. Composition of emissions of nitrogen and sulfur oxides to deposition of nitrate and sulfate in the USA by state in 1990. *Environmental Pollution* 102, 313-320.
- Grosjean, D., 1989. Organic acids in southern California air: ambient concentrations, mobile source emissions, in situ formation and removal processes. *Environmental Science and Technology* 23, 1506-1514.
- Kawamura, K., Ng, L.L., Kaplan, I.R., 1985. Determination of organic acids (C1-C10) in the atmosphere, motor exhausts, and engine oils. *Environmental Science and Technology* 19, 1082-1086.
- Kawamura, K., Sakaguchi, F., 1999. Molecular distribution of water soluble carboxylic acids in marine aerosols over the Pacific Ocean including tropics. *Journal of Geophysical Research* 104, 3501-3509.
- Kawamura, K., Steinberg, S., Kaplan, I.R., 1996. Concentrations of monocarboxylic and dicarboxylic acids and aldehydes in southern California wet precipitation: comparison of urban and nonurban samples and compositional changes during scavenging. *Atmospheric Environment* 30, 1035-1052.
- Kawamura, K., Steinberg, S., Ng, L., Kaplan, I.R., 2001. Wet deposition of low molecular weight mono- and di-carboxylic acids, aldehydes and inorganic species in Los Angeles. *Atmospheric Environment* 35, 3917-3926.
- Mamane, Y., Gottlieb, J., 1995. Ten years of precipitation in Haifa, Israel. *Water, Air, and Soil Pollution* 82, 549-558.
- Pena, R.M., Garcia, S., Herrero, C., Losada, M., Vazquez, A., Lucas, T., 2002. Organic acids and aldehydes in rainwater in a northwest region of Spain. *Atmospheric Environment* 36, 5277-5288.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 1998. *Atmospheric chemistry and physics of Air Pollution*. John Wiley & Sons, Inc., New York 997-1074.
- Talbot, R.W., Beecher, K.M., Harris, R.C., Cofer III, W.R., 1988. Atmospheric geochemistry of formic and acetic acids at a mid-latitude temperate site. *Journal of Geophysical Research* 93, 1638-1652.
- Yao, X., Fang, M., Chan, C.K., Ho, K.F., Lee, S.C., 2004. Characterization of dicarboxylic acids in PM2.5 in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 38, 963-970.

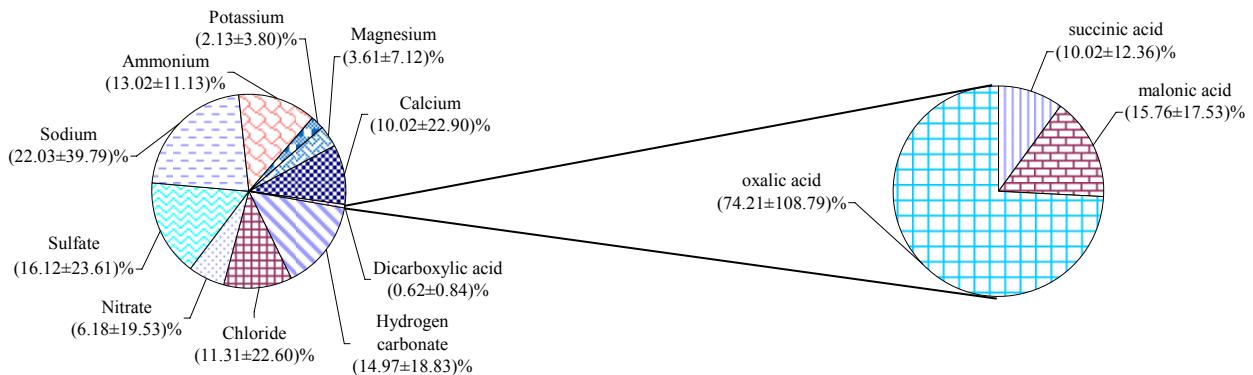


Fig. 1. 2005 年梅雨季節濕沉降之無機鹽類及二元有機酸當量濃度比例

Back trajectory, 2005/06/02 12:00

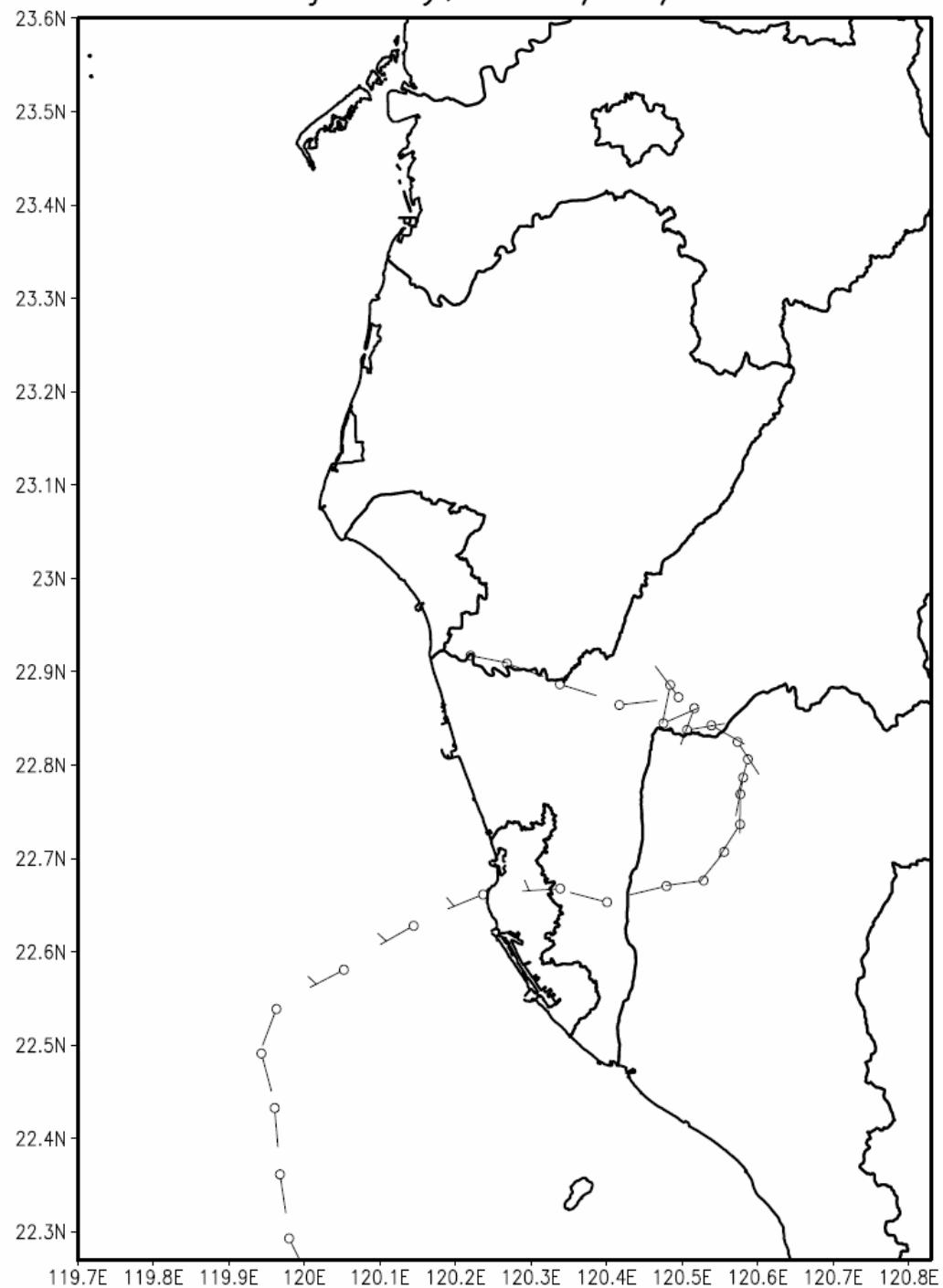


Fig. 2. 2005 年 6 月 2 日梅雨季節降雨之逆軌跡圖

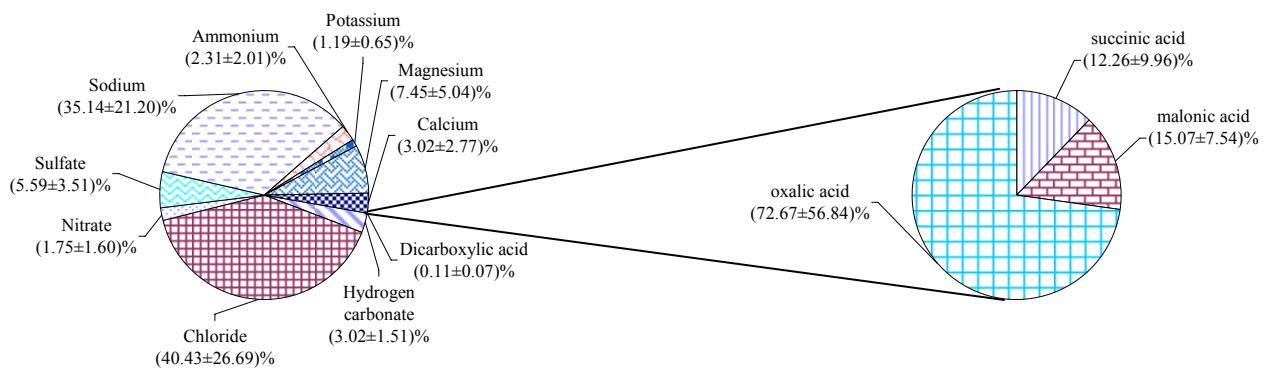


Fig. 3. 2005 年颱風濕沉降之無機鹽類及二元有機酸當量濃度比例

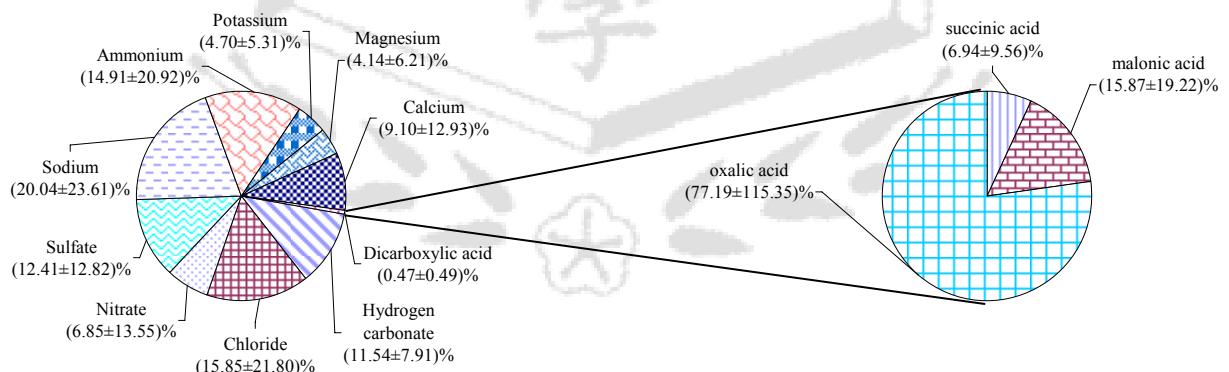


Fig. 4. 2005 年外圍環流濕沉降之無機鹽類及二元有機酸當量濃度比例

## Back trajectory, 2005/09/22 12:00

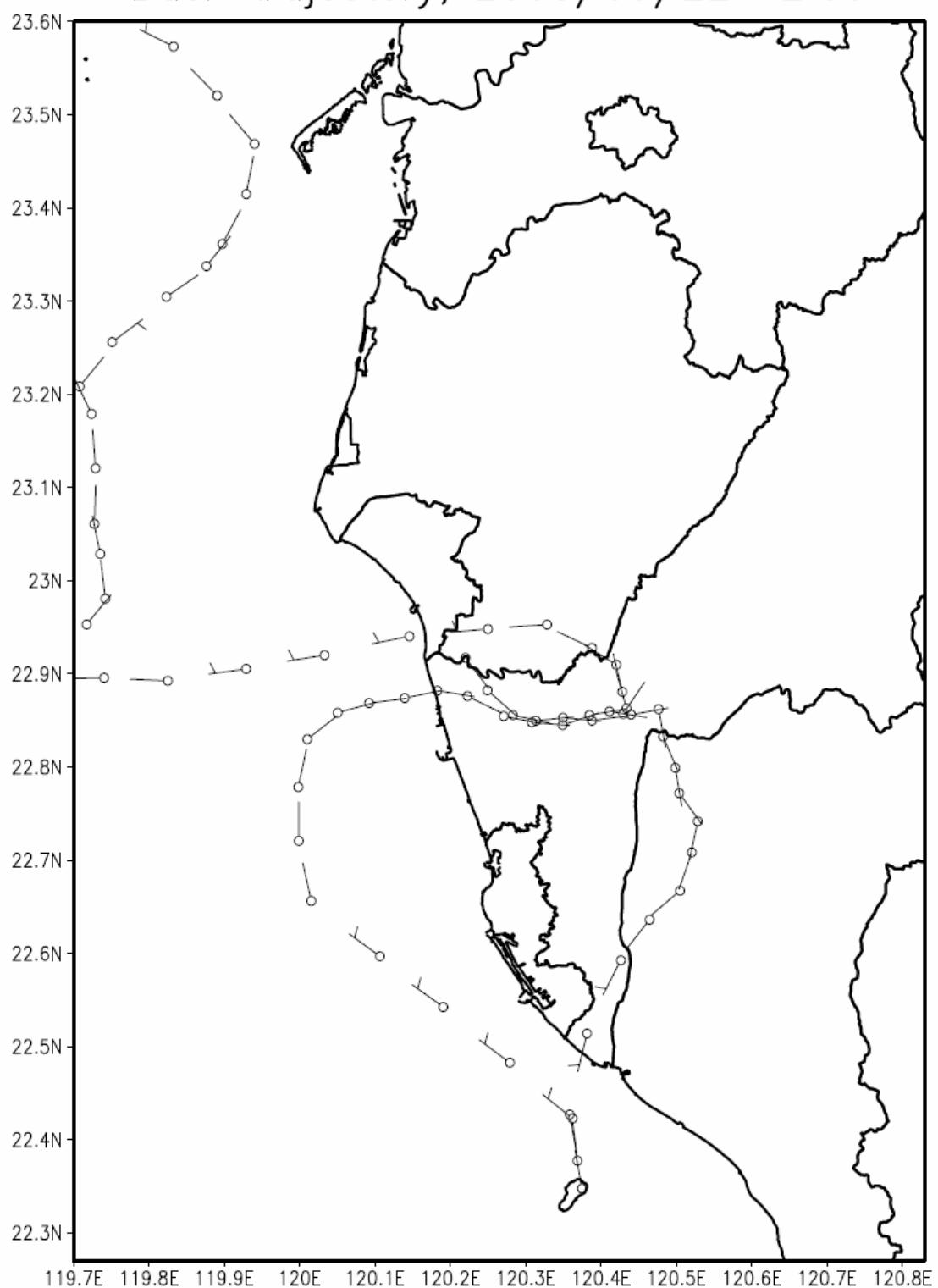


Fig. 5. 2005 年 9 月 22 日外圍環流降雨之逆軌跡圖

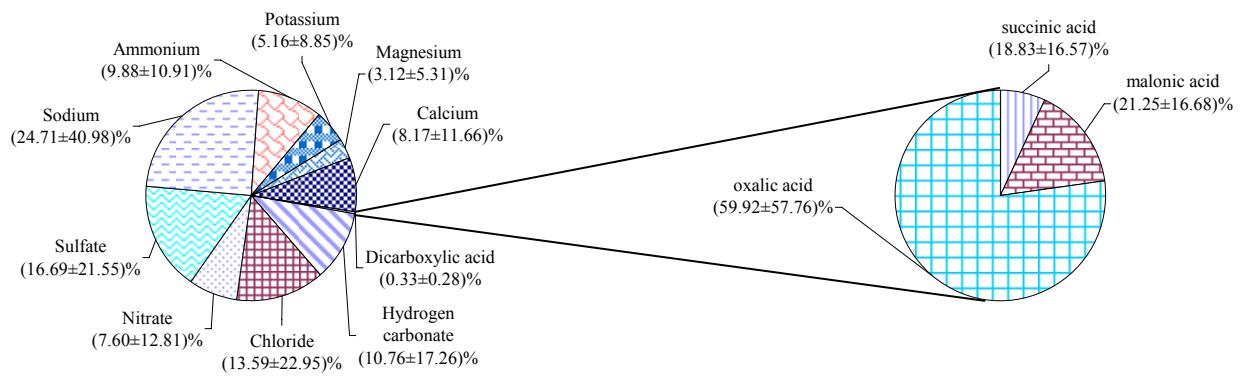


Fig. 6. 2005 年夏季濕沉降之無機鹽類及二元有機酸當量濃度比例

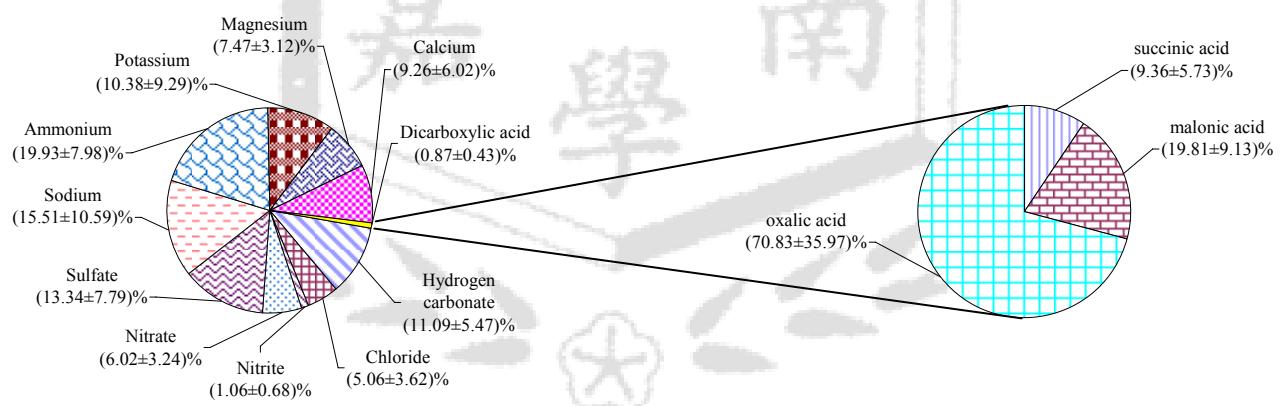


Fig. 7. 2005 年冬季濕沉降之無機鹽類及二元有機酸當量濃度比例

## Back trajectory, 2005/08/19 22:00

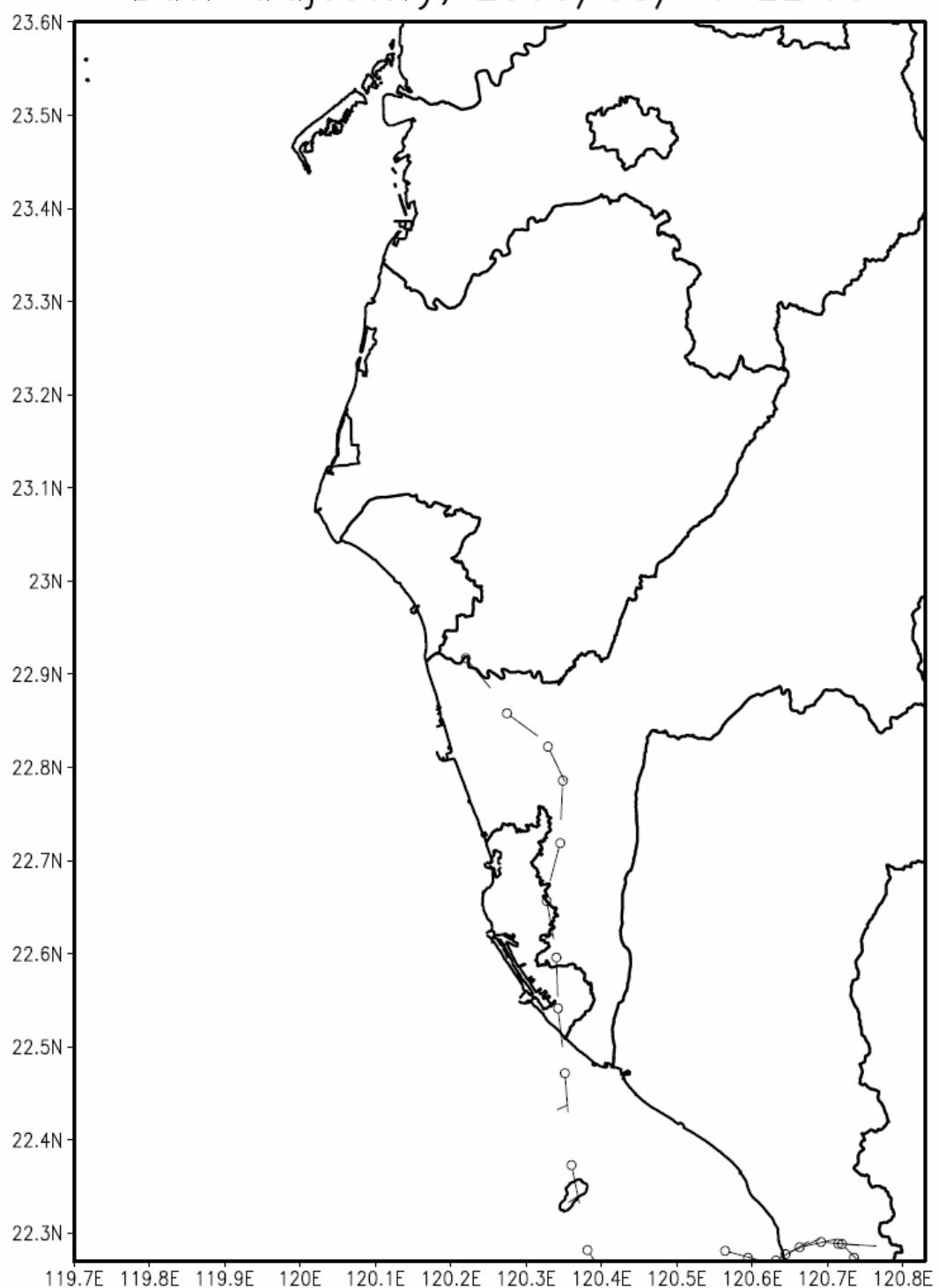


Fig. 8. 2005 年 8 月 19 日夏季降雨之逆軌跡圖

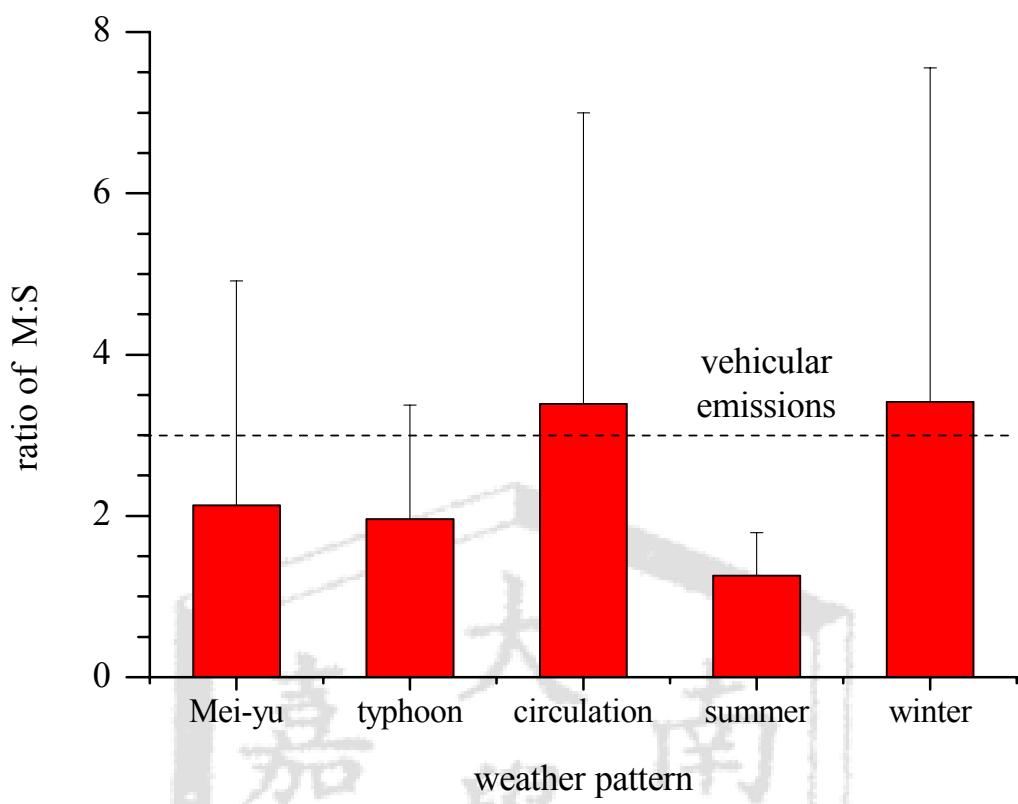


Fig. 9. 2005 年不同季節型態之二元有機酸(M : S)比率圖

Table 1. 各地區濕沉降之無機鹽類當量濃度比較 ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )

地區	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
Athens (Dikaiakos et al., 1990)	67.7	21.9	14.5	31	137	94.2	23.6	100	— <sup>a</sup>
Sardinia (LeBolloch and Guerzoni, 1995)	252—266	25	12—17	73—77	70—84	322—332	18—29	75—90	—
Israel (Mamane and Gottlieb, 1995)	300	17.1	19.2	119	228	318	15.5	187	—
South china (1992) (Wang and Wang, 1996)	23.4	101.0	—	77.2	—	—	138.0	20.0	—
Spain (Avila and Alarcon, 1999)	22.3	22.9	4.0	9.8	57.5	28.4	20.7	46.1	—
Mediterranean (Samara and Tsitouridou, 2000)	53.0	58.0	23.0	19.0	257.0	66.0	27.0	160.0	—
Tokyo (summer) (Fujita et al., 2000)	16.0	24.0	1.0	5.0	13.0	34.0	34.0	51.0	—
Seoul (May 1996 to April 1998) (Lee et al., 2000)	10.5±35.6	66.4±110	3.5±6.1	6.9±15.3	34.9±92.3	18.2±52.2	29.9±49.0	70.9±118	—
N Africa (2000—2001) (Glavas and Moschonas, 2002)	38.1	10.5	4.7	10.2	35.3	36.7	12.6	30.5	—
Beijing (2003) (Tang et al., 2005)	—	210.7	—	—	159.0	—	117.9	380.1	—
India (2000—2002) (Rastogi and Sarin, 2005)	252—266	1.7—220	0.6—53	1.5—251	5.5—1057	322—332	1.0—115	4.8—431	8—836
Lord Sri Venkateswara (July 2000—June 2001) (Mouli et al., 2005)	32.4	19.7	32.7	50.5	135.2	32.8	39.3	124.1	—
Brazil (June 1999—June 2000) (Flues et al., 2002)	37±42	29±48	11±11	12±23	33±46	17±13	17±25	74±84	—
高雄楠梓 (林, 1997)	63.9	102.7	20.4	20.6	101.5	73.0	36.7	112.1	—
台中地區 (沈, 1998)	15	44	25	4	48	37	24	43	—
台南地區(梅雨季節)(本研究)	76.3±133.4	45.1±37.3	7.3±12.7	12.5±23.86	34.7±76.7	39.1±75.7	21.4±65.4	55.8±79.1	51.9±63.1
台南地區(颱風)(本研究)	531.1±315.6	34.8±29.9	17.9±9.74	112.5±75.0	45.6±41.2	611.0±397.3	26.4±23.9	84.4±52.2	45.7±22.4
台南地區(外圍環流)(本研究)	108.4±123.6	80.6±109.6	25.4±27.8	22.4±32.5	49.3±67.7	85.7±114.2	37.1±71.0	67.2±67.2	62.4±41.4
台南地區(夏季)(本研究)	150.9±243.8	60.4±64.9	31.5±52.6	19.1±31.6	49.9±69.4	82.9±136.6	46.4±76.2	101.9±128.2	65.7±102.6
台南地區(冬季)(本研究)	244.9±157.9	314.8±118.9	163.9±138.5	117.9±46.4	146.1±89.7	79.9±53.9	95.1±48.3	210.6±116.2	175.1±81.6

a : 無資料提供

Table 2. 各地區濕沉降之二元有機酸當量濃度比較 ( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )

地區	succinic acid	malonic acid	oxalic acid
California (Kawamura et al., 1996)	0.06—14.6	0.02—11.0	0.4—56
Whiteface Mountain, USA (Khwaja et al., 1995)	— <sup>a</sup>	15.7	19.8
Puy de Dome, France (Voisin et al., 2000)	—	—	1.6
Sonnblick, Austria (Limbeck and Puxbaum, 2000)	1.5	0.8	3.9
Los Angeles (Kawamura et al., 2001)	2.00	1.50	7.80
Austria (spring 1999 and 2000) (Loflund et al., 2002)	2.59	3.92	8.64
Wilmington North Carolina (September 1996 and May 1998) (Avery Jr. et al., 2006)	2.00	1.40	3.60
台南地區(梅雨季節) (本研究)	0.21±0.26	0.34±0.38	1.60±0.27
台南地區(颱風) (本研究)	0.21±0.17	0.26±0.13	1.25±0.98
台南地區(外圍環流) (本研究)	0.13±0.18	0.31±0.37	1.49±2.23
台南地區(夏季) (本研究)	0.38±0.33	0.43±0.34	1.21±1.17
台南地區(冬季) (本研究)	1.29±0.79	2.73±1.25	9.74±4.95

a : 無資料提供