

國立臺灣大學理學院海洋研究所

碩士論文

Institute of Oceanography

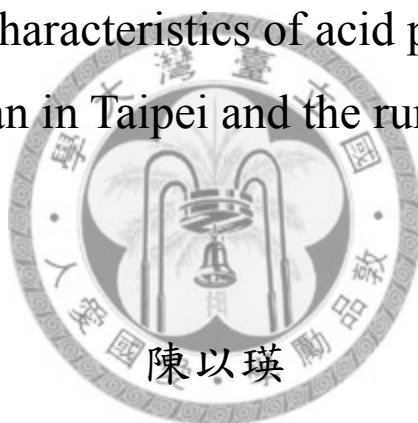
College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

台北陽明山區與嘉義鄉間酸沉降之化學特性探討

Chemical characteristics of acid precipitation
at Yangmingshan in Taipei and the rural site in Chiayi



Chen I-Ying

指導教授：蘇志杰 博士

Advisor: Su Chih-Chieh, Ph.D.

中華民國 97 年 6 月

June, 2008

臺灣大學碩士論文授權書

本授權書所授權之論文為立書人在臺灣大學 理學 學院
海洋 研究所，96 學年度第 二 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：台北陽明山區與嘉義鄉間酸沉降之
化學特性探討

指導教授：蘇志杰 教授

授權事項：

- 一、立書人同意無償授權臺灣大學將上列論文全文資料以微縮、數位化或其他方式進行重製作為典藏之用。臺灣大學在上述範圍內得再授權第三人進行重製。
- 二、立書人同意 有償授權 無償授權【請勾選其一】將前條典藏之資料收錄於資料庫，並以電子形式透過單機、網際網路、無線網路或其他傳輸方式授權用戶進行檢索、瀏覽、下載、傳輸、列印等。臺灣大學得將上述權利再授權于第三者。
- 三、立書人同意第二項有償授權產生之權利金：【選擇無償授權者不需勾選，選擇有償授權者請勾選其一】
 捐贈學校圖書館做為發展基金
 回饋本人

註：前兩條授權均為非專屬授權，立書人仍擁有上述授權著作之著作權。立書人擔保本著作為立書人所創作之著作，有權依本授權書內容進行各項授權，且未侵害任第三人智慧財產權。如有侵害他人權益及觸犯法律之情事，立書人願自行負責一切法律責任，被授權人一概無涉。

論文全文上載網路公開時間：【請勾選其一】

- 授權書繳交後立即公開
 自訂公開時間，自 _____ 年 _____ 月 _____ 日起公開

請填寫您的個人資料，便於日後聯繫使用：

- 常用 E-Mail：r95241315@ntu.edu.tw
- 聯絡電話 1：0921916689
- 聯絡電話 2：(02) 2364-2472
- 聯絡地址：台北市羅斯福路2段101巷43號5F

註：立書人同意上述資料倘有不全、錯誤或其動而未書面通知，導致權利金無法給付，於時間超過一年後，自動將此筆款項捐贈給臺灣大學校務發展基金指定用於圖書館館務使用。

立書人簽名：陳以瑛

中華民國 97 年 7 月 29 日

國立臺灣大學（碩）博士學位論文
口試委員會審定書

論文中文題目

台北陽明山區與嘉義鄉間酸沉降之化學特性探討

論文英文題目

Chemical Characteristics of Acid Precipitation at
Yangmingshan in Taipei and the Rural Site in Chiayi

本論文係陳以瑛君（R95241315）在國立臺灣大學海洋
研究學所完成之碩士學位論文，於民國 97 年 6 月 27 日承下
列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

薛志杰

（簽名）

（指導教授）

陳宏珮

林文列

鄭偉力

系主任、所長

陳以瑛

（簽名）

致謝

本論文得以順利完成，最重要是感謝我的家人，在精神與經濟上的供給，讓以瑛能心無旁騖地順利求學。感謝指導教授蘇志杰老師，兩年來讓我學會如何發現問題與自己找尋解決之道，您循序漸進的教學，辛苦的修改論文，僅此致上我最大的敬意。此外，由衷感謝林斐然教授，與您一起學習的感覺很輕鬆自在，您的關心與親切笑容真可愛，像家人一般，沒有距離地快樂學習。鄭偉力教授及陳宏瑜教授，感謝你們對學生論文細心地指導，在學術上老師的執著與努力精神，是我一輩子所需學習的方向與目標。

求學路上，少薇學姐、智睿學長、鶴瀚學長，謝謝你們每次對我論文內容的寶貴建議，實在獲益良多。兩年的研究生涯，有好多好多想感激的人，無論實質幫助抑或精神鼓舞我的大家：怡雯姐、品彰學長、奕翔、豪章、冠樵、浩庭、那那、貞寧學姐、尚學學長、小皮、靜宜、屈、奕宸、啟軒、峰榮、玲雯、儀真學姐、壯宜學長、宗政、國洲、小胖等及許多未列出的好友，在此以最真摯的心感謝你們，伴我走過這段歲月，生活充滿色彩，謝謝。最後，僅以本論文獻給我最敬愛的爺爺、奶奶、爸爸、媽媽、可愛的兩個弟弟，感謝你們的參予，讓以瑛人生此階段變得更有意義。

摘要

本研究在台北陽明山區與嘉義民雄鄉同步收集雨水標本，採樣時間自 2006 年 1 月至 2007 年 12 月為期兩年，共計 307 個雨水標本。分析項目包括 pH 值(酸鹼計)、導電度(導電度計)及主要離子成分(離子層析儀)，並探討酸沉降之化學特性。

水化學之時空特性顯示，陽明山降雨之酸鹼值加權平均為 4.38，水質偏酸，酸雨發生率為 94%，呈全面性酸化現象。酸化原因為當地既有物質及火山背景所提供的致酸離子之外，尚有來自中國大陸之長程傳輸貢獻，尤其東北季風盛行時，pH 值更低。季節性差異以夏、冬兩季最為明顯，夏季雨水 pH 值較高，各項離子濃度較低，冬季反之。離子濃度貢獻比依次為 $\text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$ 。硫酸根與硝酸根為主要致酸物質。嘉義地區降雨酸鹼值之加權平均為 5.11，水質較北部山區為鹼，酸沉降發生率為 41%。高酸鹼度由農產活動及天然鹼性塵土所提供，當地降水品質受自然來源影響多過於人為活動。夏、秋兩季雨水 pH 值較低，冬季較高。離子濃度貢獻比依次為 $\text{NH}_4^+ > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^-$ 。海水氯鈉比值分析結果顯示，陽明山樣區降水有氯虧損現象，約佔 47%。

降水離子來源，陽明山降水普遍受海鹽影響，其次為當地火山背景、人為活動及境外傳輸；嘉義降水主要受農耕活動影響，其次是塵土或海鹽等。此外， SO_4^{2-} 在各因子間呈中度相關，顯示長程輸送雖在其他強勢因子中並不突顯，但仍相當重要。在沈降量變化方面，陽明山之酸沉降高於嘉義 2—6 倍，且硫酸根比硝酸根沉降量多，主要是受離子濃度影響，其次為雨量。天氣類型方面，發生酸沉降多屬東北季風、沙塵暴或鋒面系統，降水受境外傳輸影響遠大於當地。

比較其他地區降水， SO_4^{2-} 、 NO_3^- 與人為污染相關； Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 與海鹽相關； NH_4^+ 、 K^+ 與農業活動有關； Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 則與當地塵土相關； Cl^- 、 SO_4^{2-} 與火山作用相關。

關鍵詞：酸沉降、陽明山、嘉義、離子成分

Abstract

Wet-only rainwater samples (N = 307) were collected from January 2006 to December 2007 in the last two years at the Yangmingshan site in Taipei and the rural site in Chiayi. The chemical composition of the rainwater was analyzed for pH, conductivity, and major ions by using the pH meter, conductivity meter and Ion Chromatography, respectively. The analysis results will be used to discuss the chemical characteristics of the acid precipitation at these two experiment sites.

The pH value from Yangmingshan experiment site revealed the rainwater is acidic with a volume-weighted mean pH of 4.38. The incidence of acidic deposition is 94% and reveals comprehensively acidification phenomenon. The acidification was caused by the input from local materials and volcanic activities at Tatun volcanoes or the long-range transmissions from the Mainland China. During the northeast monsoon prevailed period, the pH values were lower than other seasons. The seasonal variability of chemical characteristics shows a distinct difference between summer and winter. Despite the higher pH values in the summer, most of the ions were higher in the winter. The concentration of ions follows a general pattern as $\text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$. The SO_4^{2-} and NO_3^- are the major acidification factors. Correspondingly, the rainwater samples collected from Chiayi were more alkaline with a volume-weighted mean pH of 5.11. The incidence of acidic deposition is 41%. The higher values of pH were attributed to the neutralization by agricultural activities and natural alkaline local dusts. The quality of rainwater was largely affected by the natural sources than the anthropogenic activities. The seasonal variability of pH values was lower in the summer and autumn, but higher in the winter. The equivalent concentration of components followed the order: $\text{NH}_4^+ > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^-$. Furthermore, the Cl^-/Na^+ ratios point to the chlorine loss was a universal

phenomenon at Yangmingshan experiment sites, about 47%.

As for the sources of ions, Yangmingshan is largely influenced by the oceanic source; the local volcanic activities, anthropogenic sources and the long-range transmissions are also playing important roles as ion providers. By contrast, the agricultural activities, natural local dust and sea salt may be more important for Chiayi experiment site. Additionally, the long-range transmissions are the most important source for SO_4^{2-} at both experiment sites. The deposition fluxes of SO_4^{2-} and NO_3^- at Yangmingshan site were 6 and 2-fold higher than Chiayi site, respectively. The concentration of the ions is the major factor affects the deposition fluxes of SO_4^{2-} and NO_3^- , and the rainfall plays less important role. According to the weather pattern, most of the acidic deposition occurred during the northeast monsoon and Asian dust storm prevailed season or when the frontal systems paced around Taiwan. It implies that the quality of rainwater is deeply affected by the long-range transmissions than the local inputs.

Several source-types of ions have been identified through comparing the results with the observations from other regions. It appears the SO_4^{2-} and NO_3^- are related to the anthropogenic pollution; Na^+ , Cl^- and Mg^{2+} have good correlation with sea salt spray source; NH_4^+ and K^+ are originated from the agricultural activities; Ca^{2+} , K^+ and Mg^{2+} are associated with the local natural dust; and the volcanic degassing process may influence the flux of Cl^- and SO_4^{2-} at Yangmingshan experiment site.

Key words: acid precipitation, Yangmingshan, Chiayi, ion components

目 錄

口試委員會審定書.....	i
誌謝.....	ii
摘要.....	iii
Abstract.....	iv
第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機.....	1
1-2 研究目的.....	2
第二章 文獻回顧.....	3
2-1 酸沉降的定義與組成.....	3
2-2 酸沉降之形成與來源.....	4
2-3 降水水質特性.....	6
2-4 世界酸沉降之研究.....	7
2-5 台灣酸沉降之研究.....	13
第三章 研究方法.....	23
3-1 採樣區域與方法.....	23
3-2 分析項目與方法.....	24
3-3 儀器分析.....	24
3-4 水質分析之品保品管.....	26

3-4-1 檢量線之配置及確認.....	26
3-4-2 方法偵測極限及品質分析.....	27
3-4-3 陰陽離子之平衡關係.....	28
第四章 結果與討論.....	44
4-1 雨水化學特性探討.....	44
4-2 氣損失現象.....	45
4-3 時間趨勢變化.....	47
4-4 降水離子來源與天氣類型.....	48
4-5 酸沉降量.....	51
4-6 與各地降水化學比較.....	54
第五章 結論.....	79
參考文獻.....	81
附錄.....	88

圖 目 錄

圖 2-1	前驅物質在大氣中形成酸沉降之循環過程.....	21
圖 2-2	全球降水 pH 值之空間分佈	21
圖 2-3	美國地區酸雨概況.....	22
圖 3-3	陽明山採樣站之雨水收集桶及自動氣象站.....	34
圖 3-4	本研究水樣分析流程.....	34
圖 3-5	離子層析儀(DIONEX DX-120)主機外型結構.....	35
圖 3-6	離子層析儀主機內部結構.....	36
圖 3-7	雨水標本的圖譜.....	37
圖 3-8	離子層析儀之系統示意圖.....	37
圖 3-9	陰離子標準品 Std 1~5 分析圖譜.....	38
圖 3-10	陰離子標準品檢量線.....	39
圖 3-11	陽離子標準品 Std 1~5 分析圖譜.....	40
圖 3-12	陽離子標準品檢量線.....	41
圖 3-13	氯離子重覆樣品分析品管圖.....	42
圖 3-14	硝酸根離子重覆樣品分析品管圖.....	42
圖 3-15	硫酸根離子重覆樣品分析品管圖.....	42
圖 3-16	銨根離子重覆樣品分析品管圖.....	43

圖 3-17	鈣離子重覆樣品分析品管圖	43
圖 3-18	鈉離子重覆樣品分析品管圖	43
圖 4-1	陽明山雨水 pH 值之頻率分布	59
圖 4-2	嘉義雨水 pH 值之頻率分布	59
圖 4-3	陰、陽離子之當量濃度總和比	60
圖 4-4	降水中離子濃度貢獻比	61
圖 4-5	氯離子於受污染的海岸邊界之晝夜變化	62
圖 4-6	陽明山降水之酸鹼值與雨量之時間序列分布	63
圖 4-7	陽明山降水 pH 值與雨量相關圖	63
圖 4-8	嘉義降水之酸鹼值與雨量之時間序列分布	64
圖 4-9	嘉義降水 pH 值與雨量相關圖	64
圖 4-10	陽明山和嘉義之每月降雨量分布	65
圖 4-11	陽明山和嘉義之月平均 pH 值 (雨量加權)	65
圖 4-12	陽明山雨水酸鹼值及離子當量濃度之月平均	66
圖 4-13	嘉義雨水酸鹼值及離子當量濃度之月平均	67
圖 4-14	陽明山與嘉義雨水酸鹼值之季變化	68
圖 4-15	陽明山雨水酸鹼值與降水量之季變化	68
圖 4-16	嘉義雨水酸鹼值與降水量之季變化	68
圖 4-17	陽明山雨水離子濃度之季變化	69

圖 4-18	嘉義雨水離子濃度之季變化.....	70
圖 4-19	95.2.12 陽明山測站氣流模擬軌跡圖.....	71
圖 4-20	95.2.12 地面天氣圖.....	71
圖 4-21	95.3.19 陽明山測站氣流模擬軌跡圖.....	72
圖 4-22	95.3.19 地面天氣圖.....	72
圖 4-23	95.8.10 嘉義測站氣流模擬軌跡圖.....	73
圖 4-24	95.8.10 天氣地面圖.....	73
圖 4-25	95.7.8 嘉義測站氣流模擬軌跡圖.....	74
圖 4-26	95.7.8 天氣地面圖.....	74
圖 4-27	95.8.10 全台累積雨量圖.....	75
圖 4-28	95.7.8 全台累積雨量圖.....	75
圖 4-29	硫酸根沉降量於兩個樣區之比較.....	76
圖 4-30	硝酸根沉降量於兩個樣區之比較.....	76
圖 4-31	陽明山酸沉降之月變化.....	77
圖 4-33	陽明山酸沉降與離子濃度變化.....	77
圖 4-35	陽明山酸沉降和降雨量之月變化.....	78
圖 4-36	嘉義酸沉降和降雨量之月變化.....	78

表 目 錄

表 2-1	歐洲地區酸沉降概況.....	16
表 2-2	亞洲地區酸沉降概況.....	17
表 2-3	台灣地區酸沉降概況.....	20
表 3-1	不同陰離子標準樣品.....	30
表 3-2	不同陽離子標準樣品.....	30
表 3-3	各陰陽離子重覆分析品管之結果.....	31
表 4-1	所有樣品 pH 值最低前十名.....	55
表 4-2	研究期間侵台颱風資訊.....	55
表 4-3	雨水中陰陽離子比率.....	56
表 4-4	陽明山雨水化學成分之相關矩陣.....	56
表 4-5	嘉義雨水化學成分之相關矩陣.....	57
表 4-6	陽明山與嘉義降水之總雨量、離子濃度、沉降通量.....	57
表 4-7	本研究區與各地降水化學性質之比較.....	58

附 錄

附錄 1	台北陽明山區降水化學成分.....	88
附錄 2	嘉義鄉間降水化學成分.....	91
附錄 3	時事新聞.....	97
附錄 4	陽明山區每週降水中各離子之沈降通量之計算結果.....	99
附錄 5	嘉義鄉間各降水事件中各離子沈降通量之計算結果.....	104



第一章 緒論

1-1 研究動機

1850年，英國化學家史密斯（Robert Augus Smith）分析曼徹斯特地區的雨水時，發現城區與郊區雨水的化學組成成份並不相同，特別的是城區的雨水含有硫的成份。到了1872年，史密斯在他的著作《空氣和降雨：化學氣候學的開端》（Air and Rain: The Beginning of Chemical Climatology）中，全球首次使用酸雨（acid rain）這個術語，這就是酸雨名詞的由來，也早已成為世界共同關注之議題。近一世紀因受全球工業、經濟快速發展，而大量使用化石燃料，使得硫氧化物（ SO_x ）及汽機車排放的氮氧化物（ NO_x ）等酸性物質排放量急速增加。 SO_x 與 NO_x 是造成雨水酸化最主要之污染物，而長程傳輸中，硫酸鹽則為主要致酸物種。自然界中的硫含量並不少但尚稱穩定，若非經石化物質的燃燒或在高溫環境下形成，大氣中要有足夠硫、氮化物在空氣中經光化反應後混合水汽後再降下實為不易。相較於歐美地區，煤炭是亞洲主要的能源來源，對環境污染的影響衝擊甚大。亞洲地區二氧化硫的排放量，在過去二十年間已快速的增加三倍（陳正平等，1996）。

硫氧化物及氮氧化物進入大氣後，經氣相或液相反應轉化成的硫酸及硝酸等酸性物質，可以在大氣中停滯數小時至數星期，並可隨氣流擴散範圍從數十公里至數千公里不等，依污染物之化學性質、當時天候狀況不同而定。此酸性物質可經由顆粒等乾沉降（dry deposition），或藉雲、霧、雨、雪等溼沉降（wet deposition）降落地面，影響範圍無遠弗屆。國內學者研究指出，隨大氣的傳送，本地酸沉降常有部份量是由鄰國所貢獻（林能暉等，2003；彭啟明等，2003；黃柏誠，2002）。酸沉降本屬於局部性的污染，但是因為污染量大增，再經由全球氣流的傳送，使局部性污染最後擴展成區域性及全球性。於是近年來酸沉降也和全球氣候變遷、

其他區域性的公害問題，並列為全球三大環境問題。

1-2 研究目的

台灣地理環境特殊，是個兼具熱帶與亞熱帶氣候的海島；週期性的季風加上受板塊擠壓形成的地理背景，使得台灣境內的高山林立、季節變化相當明顯，造就了許多特殊的生態環境與生物。然而近年國內經濟發展迅速，能源消耗及排放量大增，空氣污染嚴重，而高溫多雨的島國性特徵，有利於溼沉降的生成，使得台灣酸沉降問題具有獨特性且受重視。中國大陸是亞洲污染物的主要貢獻來源，台灣相鄰大陸而盛行風又會造成污染物的跨國輸送，加之台灣亦屬全球雨水酸度偏高地區之一，故此課題值得進一步研究。此外，過去對於放射性核種在雲霧雨中的研究顯示， ^7Be 和 ^{210}Pb 在 pH 值低的環境下，較易從顆粒中脫附 (Su and Huh, 2006)，此結果指出氣溶膠與水汽間的交互作用，須經由雨水化學組成的分析方能進一步了解。

為了解雨水在時間與空間上的變化，本研究將針對台灣北部與嘉義之雨水水質進行分析，其目的如下：

1. 了解台北陽明山區與嘉義鄉間酸沉降之組成與時空特性比較。
2. 探討離子來源與不同天氣類型之相關性。
3. 以元素沉降通量了解大氣中物質移除機制。
4. 與其他地區比較不同降水特性。
5. 建立基本水化學資料以供未來進行大氣中放射性核種之分析與研究使用。

第二章 文獻回顧

2-1 酸沉降的定義與組成

自然雨水本來就呈弱酸性，一般未經污染的雨水，由於大氣中的二氧化碳溶於水形成弱酸性碳酸，部分解離成碳酸氫根及氫離子，雨水之 pH 值在常溫下可達 5.6。當雨水的 pH 值低於 5.6，則稱為酸性降水(acid precipitation) (Seinfeld and Pandis, 1997)。此外，除了二氧化碳外，還有許多天然形成的致酸因子(如：海洋之二甲基硫、火山爆發釋放之硫化氫、高空閃電所導致之氮氧化物等等)與鹼性因子(自然界釋放之氨、碳酸鈣)，若將其全部考慮進去，均會使雨水進一步酸化，而酸鹼值會降至 5.0 左右，即天然雨水 pH 值約介在 5.0~5.6 之間。因此，在 1980 年代後期起，許多國家及科學家(包含環保署研究報告)，均已將酸鹼值小於 5.0 正式定義為「酸雨」，即確定受到人為酸性污染物的影響(NAPAP, 1990)。

「酸雨」的正確名稱應為「酸性沈降」，它可分為「溼沈降」與「乾沈降」兩大類。濕沈降主要是以霜、雪、雲、雨、霧等降水形式，將大氣中之化學物質沈降至地表。乾沈降則是指大氣中的懸浮微粒或粒徑較大的落塵，因重力作用而自然降落。大氣中百分之八十以上的氣懸微粒都可藉由溼沈降的方式去除，故污染物的移除也以溼沈降較受到重視」(Taiwan Acid Precipitation Monitoring Network, 簡稱TAPMON)。

一般酸雨化學組成中，較重要的物種包括 H^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 等。來源包括自然來源及人為來源，一般而言， NO_3^- 及 SO_4^{2-} 為主要的致酸物質，由硫氧化物與氮氧化物轉化而來。在人為污染排放方面， SO_4^{2-} 與化石燃料使用、火力電廠、含硫有機物燃燒有關； NO_3^- 主要源自工廠高溫燃燒過程，交通工具排放等因素。 Ca^{2+} 及 NH_4^+ 為主要的中和(致鹼)物質。

2-2 酸沉降之形成與來源

當空氣污染物自排放源釋放至大氣後，可能會經由下列過程形成酸雨到達地面(圖 2-1)。

● 輸送(transport)

排放於大氣中的酸性污染物，經由風的吹送，傳輸過程中會與周圍空氣混合及稀釋，其程度視風向及風速而有所不同。

● 擴散(diffusion)

主要是指大氣的擴散能力，污染物不僅隨盛行風作水平方向的輸送，同時也在垂直方向擴散。

● 轉化(transformation)

污染物滯留於大氣中時，常發生光解及氧化反應，轉化為其他致酸物質。

SO₂ 和 NO_x 的特性

SO₂ 與 NO_x 是造成雨水酸化最主要之污染物，當其排放至大氣環境中，經過一連串的光化學反應或催化反應，會產生對環境具破壞性的硫酸鹽與硝酸鹽等衍生性污染物。

➤ SO₂

硫氧化物的主要來源為燃料燃燒，如燃煤或燃油之火力電廠，其次為工廠排放，如煉油廠、硫酸工廠等。它的氧化速率為 0-10% hr⁻¹，它的生命期可長達五天以上，易藉由長程傳輸過程轉化成硫酸，進而逸入雲雨系統，酸化雲水或雨水，當形成硫酸霧後，則能傳送至千里以外的地方。目前在亞洲的排放量以中國大陸居冠(程萬里，1996)。

➤ NO_x

氮氧化物為高溫燃燒下之產物，其來源有燃料燃燒、交通工具或工業排氣、

閃電等。它的氧化速率為 $5-10\% \text{ hr}^{-1}$ ，比 SO_2 的氧化速度快，可以在數小時內由 NO_x 轉化成硝酸氣或鹽類微粒，而形成局部污染物，在降雨時，自大氣中移除而酸化雨水。空氣中以氣態存在的氮化合物，主要有 NO 、 NO_2 、 N_2O 及 NH_3 ，此外還可能有 N_2O_3 、 N_2O_4 、 N_2O_5 等，而通常以 NO_x 代表 NO 和 NO_2 。其中 NO 是無色、無刺激性、不活潑的氣體，毒性不大，但能與人體中血紅蛋白結合，降低輸氧能力。 NO_2 具有光解特性，可吸收紫外線及可見光，具有刺激性臭味且毒性強，約是 NO 毒性的 4~5 倍，對呼吸器官有很強刺激作用，對金屬腐蝕會有較大的影響。

● 移除(removal)

大氣中的物質可經兩種過程移除：

(a) 溼沈降(wet deposition)

主要是以霜、雪、雲、雨、霧等降水形式，將其中之化學物質沈降至地表。一般而言，大氣中污染物的移除以溼沈降較受到重視，百分之八十以上的氣懸微粒都可藉由溼沈降的方式去除。1990 年起，許多國內外研究者已將雨水 $\text{pH} < 5.0$ 定義為「酸雨」(NAPAP, 1990)，即顯示該降水已受到人為污染。

(b) 乾沈降(dry deposition)

主要是指存在大氣中的懸浮微粒或粒徑較大的落塵，因重力作用自然降落。

影響降水水質的因素，除了受大氣環境中污染物之種類及濃度與傳輸過程的直接影響，還受氣象條件與地形特性的間接影響。

酸沉降來源大致可分為兩類：

(一) 自然物質

大氣中包含火山爆發釋放之硫化氫(H_2S)、自然水域表面及土壤微生物及海

藻釋放之硫化氫、海洋之二甲基硫(DMS)、動植物分解產生有機酸、高空閃電所導致之氮氧化物(NO_x)等等，都會使雨水之 pH 值降至 5.0 左右。

(二)人為產物

工業化後，燃料之大量使用，燃燒過程中產生 CO、HC、SO₂、NO_x 及懸浮物等，排放至大氣環境中，經光化學反應生成硫酸、硝酸等酸性物質使得雨水之 pH 值降低，形成酸雨。

總體而言，大氣中硫及氮化合物多半是由人類活動所產生的。

2-3 降水水質特性

為探討酸沉降的化學特性，我們可以藉由簡單的降水 pH 值、導電度和離子成分來分析。

● pH 值

雨水中的氫離子濃度是評估雨水酸化程度常用的簡單指標。而 pH 值(酸鹼值)和水中所含之氫離子濃度有關，其關係可表示為 $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ ，是由溶液中各離子平衡後之氫離子濃度所算得來，也是代表雨水離子中和的結果。換言之，雨水中若有高濃度之硫酸根與硝酸根離子，但因有其他鹼性離子中和之，那麼雨水未必呈現酸性反應(即低酸鹼值)，反之亦然。雨水酸鹼值無疑地可以作為一項先期指標，藉由此值可以大致先了解當地雨水水質酸化程度。但更重要的是必須進一步進行雨水化學成份分析，了解其污染物來源，並計算隨雨水沈降至地表的污染物通量(即所謂沈降量，以公斤/公頃/年為單位)，進而制定控制策略以改善之。

● 導電度

導電度為測量溶液中能夠流過電流的能力，即表示溶液傳導電流的能力。導電度的高低與溶液中離子濃度有關。當導電度越高，顯示溶液中離子含量越多。

● 離子成分

降水中同時含有酸性(陰離子)與鹼性(陽離子)等化學物質，降水酸度是這兩類化學物質間互相平衡的結果。大氣中，特別是受污染的大氣，還有酸或可能形成酸性的物質，它們主要包括硫化合物、氮化合物。其中硫化合物包含 SO_2 、 SO_3 、 H_2S 、 $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ 、 COS 、 CS_2 、 H_2SO_4 、 CH_3SH 、硫酸鹽；氮化合物則包含 NO 、 NO_2 、 N_2O 、 HNO_3 、硝酸鹽；氯化合物與 HCl 和含氯鹽類等。上述酸性物質在降水過程中均能被雨水沖刷而使其雨水變成酸性，形成酸雨。

此外，雨水中各離子濃度受空氣污染及地區環境特性的影響很大，其中鈣、鎂、鉀離子大部分來自土壤、塵埃、水泥廠排放的懸浮微粒極少部份自鹽沫鈉離子主要來自海水鹽沫。銨根離子大部分來自有機物質的腐化及施放化學肥料與土壤性質有密切關係；硝酸根離子主要由汽機車排放 NO_x 轉化而來。硫酸根離子則主要來自人為污染排放。在大氣中存在的氟化物，其主要之發生源為高熱的冶金工業，如鍊鋁工廠磷肥工廠及特種玻璃工場等。氯離子最大產生源為海水鹽沫和氯化氫排放。

2-4 世界酸沉降之研究

五十年代初期，北歐瑞典與挪威的漁業發現突然無故減產，經過多種研究發現與酸雨有關。原因是工業革命後，歐洲工業排放大量酸性氣體，跟隨氣流在空氣中飄流至北歐，當下雨時，酸性氣體會溶入雨水中形成酸雨，落到湖中使得湖泊酸化，導致漁業減產。六十年代，歐洲開始關注酸雨問題，設立大氣化學監測網，結果發現歐洲大陸有廣大的區域受到酸雨的影響，1973-1975 年歐洲經濟合作與發展組織開展了專項研究，証實酸雨幾乎覆蓋了整個西北歐地區，顯示酸雨已是國際間的環境問題。1974 年後，美國也証實在美國東北部與加拿大交界地區有大面積受酸雨影響的區域，幾乎北美有三分之二陸地面積受到威脅，甚至在美國夏威夷群島的迎風側也出現酸雨狀況。繼美國發現酸雨後，東北亞的日本、

韓國等也發現有大區域的雨水酸化現象。八十年代，科學家在長年冰封雪蓋且人煙罕見的格陵蘭島冰層上打鑽，取出 180 年前的冰塊，發現與現在的酸度相比，酸度增長了 99 倍。同時，挪威科學家在北極圈內大面積地區也測到酸雨(酸雪)的蹤跡(酸雨資訊網)。

酸沉降已是全球性的現象，它的影響是多方面，包括環境、經濟甚至政治。若想完全掌握此一跨域性的空氣污染，並確實瞭解酸雨在台灣本地的來龍去脈，除了應致力於台灣地區本身的酸雨研究外，瞭解及應用世界上其他各國的酸雨研究成果亦屬重要(圖 2-2)。

美洲地區

美國自 1980 年起即開始實施硫化物排放量減量計劃，但是對酸性沉降似乎影響不大，尤其以北美地區為雨水酸化最為嚴重(圖 2-3)。1985—1987 年北美地區進行之酸沉降研究顯示，雨水 pH 值平均在 4.2—4.3 之間。主要離子以 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 四種為主(NAPAP, 1993)。南美洲方面，Santos *et al.* (2007) 於 2002—2004 年對巴西進行城市調查指出，雨水 pH 值平均為 5.11，輕微偏酸。銨、硝酸鹽、醋酸鹽、鈉、硫酸鹽為主要離子，其中銨佔了鹼性物質中和酸度之重要地位，可知銨離子在雨水中之組成不容忽略。而當地空氣污染，研判可能因為有大量汽機車排放廢氣及工業活動所致。

歐洲地區

歐洲地區因為工業發達，導致雨水酸化嚴重，其中以歐洲東北部較為嚴重(張雅萍，1998)，而東歐國家(如希臘)則因非洲沙漠塵土之貢獻，中和雨水酸度，所以較不明顯。

Millet *et al.* (2000) 於 1992—1993 年法國東北部之雨水成份顯示，陸地雨水 pH 值平均為 3.60—6.58，沿岸雨水平均為 5.49—7.01。陸地雨水比起沿岸偏酸，此乃由於污染源為交通運輸及工廠之排放。化學組成方面，皆以硫佔陰離子首位。中

和雨水酸度的鹼性物質中，陸地因為地形關係(黃土)，有碳酸鹽類當緩衝；沿岸地區，有大氣中的氨、部份陸源及風化侵蝕後的鹼性塵土。

Aiuppa *et al.* (2003)在 1990 年 12 月至 1991 年 12 月義大利埃特納火山(Mount Etna volcano)南方調查得知，當地雨水 pH 值約 3.80—7.22，偏酸性。化學組成成分上，除了有海水飛沫貢獻的氯、鈉離子，當地風化塵土貢獻的鎂、鉀、鈣離子，人為空氣污染的硫酸鹽與硝酸鹽之外，更重要的是有當地火山背景所提供的氯、硫離子，所以推測這附近的雨水比較酸。

Alagha and Tuncle (2002)在 1995—1999 年黑海地區(近土耳其)的雨水研究顯示，pH 值為 5.21。化學組成有海洋來源之氯、鈉離子，地殼來源之鐵、鋁離子，人為來源之氨、硫酸根離子。從氣流軌跡判斷，區域污染多過當地污染，因為人為污染的酸性物質主要由歐洲經過土耳其遠程傳輸所提供。當冬季來臨時，常因燃燒煤油量增大，雨水 pH 值會小於 5。

非洲地區

1986年7月—1999年6月南非的半乾燥地區調查顯示(Mphepya *et al.*, 2003)，鄉村及工業區之雨水水質皆偏酸，含大量硫酸根。pH值分別為4.9及4.4，水樣數超過94%及98%低於pH值5.6。酸性物質多來自礦物及有機酸。雨水主要化學成分源於海源、陸源、氮源、生物源、人為污染等。1999年7月—2002年6月南非 Kruger 國家公園調查指出(Mphepya *et al.*, 2006)，當地雨水仍偏酸，pH值4.72。酸性物質來源同往年，多數為礦物及少量有機酸。溼沉降的硫與氮沉降量為5.9 kg S·ha⁻¹·yr⁻¹和2.8 kg N·ha⁻¹·yr⁻¹。大部分硫酸成分源於當地工業區排放二氧化硫所致。因此南非雨水成分主要受陸源、海鹽、人為污染等所影響。

亞洲地區

西亞

Alabdula'aly and Khan (1999)於 1994 年沙烏地阿拉伯之利雅德(Riyadh)內 15

個監測站顯示，降水水質呈鹼性，pH 值為 7.56。主要元素以鈣、鈉、硫、氯最多，主要金屬元素為鋅、鉛、鋁，且在第一場降雨事件中的濃度比之後降雨事件高。靠近工廠的監測站，收集到的金屬元素與離子也比較多。

Al-momani *et al.* (1999)於 1996 年 12 月—1998 年 4 月約旦之伊爾比德(Irbid)地區監測雨水顯示，高濃度的鈣與硫佔了全部離子的 52.4%，而鈣佔總陽離子的 39.0%。雨水 pH 值多於 5.0，平均為 6.4，水質偏鹼。高 pH 值主要由天然鹼性塵土(大量碳酸鈣)中和所提供。結果顯示，當地降水品質受大氣中自然來源影響多過於人為汙染。

Demirak *et al.* (2006)於2002年2—4月土耳其西南方Muğla地區之降水觀測指出，全部30個雨水事件的pH值範圍在4.5—7.7，平均為6.9，水質偏鹼。其中只有兩次雨水事件pH值低於5.6。化學成分濃度高低分別為： $\text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{H}^+$ 。陽離子與陰離子的總比值($\Sigma\text{cations}/\Sigma\text{anions}$)為1.52 $\mu\text{eq}/\text{l}$ 。陽離子部分以鈣、鈉、鉀離子佔52%，銨離子佔8%，相對陰離子部分只佔了全部離子成分的40%。結果顯示，Mugla地區的致酸物質硫酸根及硝酸根離子被空氣中大量鹼性物質中和稀釋。而鹼性物質以鈣離子與銨離子最多，推測可能因為當地自然來源的塵土及石灰岩地形所造成，導致鈣離子濃度較高，人為農耕活動造成銨離子濃度也偏高。另外，Demirak (2006)同時在Muğla西北方之Yatağan也做雨水同步監測。pH值在5.1—7.9之間，平均為6.7，水質偏鹼。其中僅三次雨水事件pH值低於5.6。化學成分濃度分別為： $\text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{H}^+$ ，以鈣、硫、鈉離子居多。情況與約旦相似。

南亞

中南亞的沙漠地帶，由於鹼性塵土含量較高(如鈣、鎂離子)，會中和酸性物質，促使雨水pH值偏高，在6.0以上。而高密度工業區，因為污染量高，會使雨水pH值較低(張雅萍，1998)。但是，污染物也會經由大氣的長程傳輸而遷移，一些遠離人為汙染的測站，也有可能收集到偏酸的雨水。

印度的鹼性物質對降水影響研究顯示，主要陽離子為 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ ，陰離子為 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 。其中雨水pH值與鈣離子的相關性最高，其次為鎂離子，而後是銨根離子，銨根離子在大氣中通常以硫酸銨、硝酸銨及氯化銨的形式存在。這些鹼性物質會中和雨水中酸性物，使pH值升高。印度雨水pH值平均約6.3—7.1，化學成分來源為交通運輸及塵土飛揚所致(Singh *et al.*, 2000; Jain *et al.*, 2000)。印度的雨季初期，雨水pH值多高於5.0，到了雨季末期，值則漸漸降低。推測原因可能為降雨量變大，大氣中鹼性物質被稀釋，無法有效中和酸性物質(Balachandran *et al.*, 2000; Agrawal *et al.*, 2001)。另外，Singh *et al.* (2006)於2003年7月—2005年10月Dhanbad (煤城)監測得知，當地雨水pH值範圍為4.01—6.92，平均為5.37。

針對印度沿海地區進行酸沉降調查顯示，在工業化區域附近測站， SO_4^{2-} 及 NO_3^- 含量最高，雨水酸度增加(Agrawal *et al.*, 2001)。而當 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 含量較高時，會中和雨水中之氫離子，使雨水pH值上升，此乃由於鹼性物質中和之結果。其中 Ca^{2+} 來自土壤飛揚及天然礦石開採， NH_4^+ 來自農業活動及肥料工廠。因此，雨水成分主要受當地塵土飛揚、海鹽、交通及工業等人為污染所影響。

東亞

東亞地區(中國大陸、台灣、香港、日本及韓國)的污染物排放量，指出東亞的 SO_2 及 NO_2 ，排放量分別為亞洲總排放量的81%及70%，而大陸排放的 SO_2 及 NO_2 又分別佔東亞地區排放量的86%及68%(程萬里，1996；陳正平等，1996)。顯示東亞地區為亞洲污染物的主要貢獻來源，而中國大陸又為東亞污染物的主要來源，因此東亞地區的酸沉降不僅是地區性的現象，更是跨區域性的問題，污染物長程傳送受到相當的重視。

Nam *et al.* (2001)於1992—1997年曾對南韓五處地點(Kangwha、Seoul、Yangpyong、Hongchon、Inje)進行降水水質監測，平均雨水pH值分別為4.93、4.73、4.87、4.89、4.81。結果顯示雨水在冬季時酸度最強，初夏時呈弱酸性。當颱風

侵襲或北方鋒面下來時，雨水酸度會減弱，且大部分離子濃度有從西往東遞減趨勢，推測可能是受到當地污染以及氣象因素(如降水、鋒面、風暴等)影響。

Kim *et al.* (2001)於1998年南韓Chunchon(郊區)及Seoul(首都首爾)做雨水監測。兩地降水pH值平均都是4.9，電導度值以首都首爾(17.8 μ S/cm)高於郊區(12.3 μ S/cm)，這是因為城市雨水中的溶解性離子(如 SO_4^{2-})多於郊區。化學成分上，兩地區的 SO_4^{2-} 及 NO_3^- 皆佔了總陰離子之90%，陽離子部份則以 NH_4^+ 佔50%。另外，硝酸鹽對雨水酸度的貢獻，郊區比首都重要。

1973年以後日本才開始重視酸沉降的問題，1983—1987年是日本酸雨調查第一個五年計畫，雨水的pH值在4—5之間(張雅萍，1998)。Zhang *et al.* (2004)在日本東岸及東中國海兩區域共設了五個監測站(日本三個，東中國海兩個)，調查顯示主要離子成分皆由海源、地殼源、人為來源所提供，pH值平均分別為5.8、5.7。日本東岸雨水中，含有許多 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及地殼源元素，東中國海雨水則以海鹽、飛沫所提供的離子較多(如：鈉與氯)。

1970年大陸開始對酸沉降進行監測，當時結果顯示長江以南有90%城市之pH值低於5.6，其中有以西南地區最為嚴重。1998年對西南地區做觀測得知，當地雨水主要元素為 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 。

中國大陸西南地區的酸雨情形，具有高 SO_2 排放潛勢的北方都市如北京及天津，降水pH值並不低(分別為6.74及6.26)，反而低 SO_2 排放潛勢的南方都市如慶州，降水pH值卻低至4.49。黃海及渤海沿岸之 SO_2 排放量佔全國之40%，而該地區之降水pH值並不低，反而揚子江流域降水pH值偏低。其分析影響降水pH值的因素，包括酸雨前驅物排放量、土壤特性、氣象條件、年降水量及平均溫度等，結論以土壤pH值對降水pH值的影響最大。中國西南地區的調查結果亦顯示，雖然該地硫酸鹽濃度相當高(與歐洲中部相當)，且高地湖泊的酸中和能力較低，但由於植物、土壤及大氣中的石灰質塵土(calcareous dust)提供了大量的鹼性陽離子，因此該地之湖泊並無酸化情形，湖水pH值也在6.5以上(張亞萍，

1998；酸雨資訊網)。由此可知，酸雨的形成或危害，與環境之中和能力有密切關聯性，如當地土質特性、植被披覆程度及大氣中總懸浮微粒濃度等因子有關。

大洋洲區

斐濟 Suva(首都)之雨水 pH 值平均為 5.17，主要離子以鈉及氯最多，濃度為 98.15 μM 及 109.57 μM 。雨水成份主要以當地環境(鹼性塵土)、人為汙染及海鹽等所提供(Koshy *et al.*, 1997)。

由上述世界酸沉降之研究得知，酸雨較嚴重的地區為北美、歐洲、東亞及中國大陸西南地區。美國環保署指出，由於美國四季的盛行風向，大多為由西向東或由南向北，使得 SO_2 及 NO_x 排放量並不多的東北各州，卻有很高的 SO_4^{2-} 及 NO_3^- 溼沉降量，這說明了酸雨的影響是無遠弗界的。中亞洲的沙漠地帶，由於鹼性塵土(如：鈣、鎂、鉀)的中和，提高了雨水的pH值，甚至有些地區達6.0以上。觀測得知，東南亞各國及西太平洋島國的雨水酸度較低，而工業產能較大的中國大陸、香港、台灣、日本及韓國等國家，因為污染量高，其雨水酸度有明顯偏高的現象(Sequeira *et al.*, 1998)。但是因為污染物長程輸送的結果，一些遠離人為汙染的測站，也會收集到低pH值的雨水。

2-5 台灣酸沉降之研究

1972—1974年起，中央氣象局於各氣象測站開始進行全國雨水收集。七十年代雨水酸化情況並不顯著，幾乎全台雨水pH值都大於5.0以上，但也發現北部較南部的值略低。當時雖無雨水化學分析，但已推論台北地區可能已經受二氧化硫及氮氧化物之嚴重污染，並受地形及氣候影響。1979年5—6月包括台灣北部、嘉

義、高雄、屏東等地區降水之分析結果顯示平均值約4.2左右，最低值可達3.48，其中夏季颱風雨水較不酸，但五、六月間梅雨季的酸雨pH值已與北美及歐洲地區的酸雨pH值相近，顯示當時台灣已有明顯酸雨現象(酸雨資訊網)。

1980年代，台灣經濟起飛，國內對於酸沉降也陸續有大量學者研究及零星碩、博士論文發表。1984—1986年資料顯示，全台pH平均值為4.91，部分地區已漸漸有雨水酸化情況，尤其高雄、台北，因此推測台灣當地污染物排放與雨水酸化現象應有相關。以季節而言，春季較嚴重，秋季較輕；就區域分析，東北、北部雨水酸化較嚴重，東部輕微。張雅萍（1998）於台北市進行長達17年(1981—1997年)的雨水監測，雨水pH平均值為4.91，範圍在3.15—7.66之間，酸雨頻率占78%。季節性差異以夏、冬兩季最為明顯。夏季時pH值及陰陽離子濃度較低，冬季時較高。雨水化學成分，陰離子以 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 為主，陽離子以 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 Na^+ 為主，而中和酸度的鹼性物質為 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 。監測17年中， NH_4^+ 、 NO_3^- 、 F^- 的沉降通量每年有上升趨勢， $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的當量比值與歐美地區相當。

1990年起，環保署開始展開計劃性的酸沉降研究，全國大規模之酸雨監測，仿照美國與日本當時酸雨計畫之儀器及操作程序，在全國設置14個採樣站。主要工作為調查酸沉降物長期演變趨勢及時空之分布，並建立完整的監測及分析模式，以提供研究成果供各方面引用。1991—1999年監測顯示，全台pH值以北部雨水最低。就空間分布上，台北地區部pH值平均4.39(陳雄文等，2002)，最低測站有台北站、龜山站及中壢站，主要是受當地人為污染及境外長程傳輸影響所致。而pH值最高的測站以中部最高，尤其嘉義，pH曾達7.36最高，因受當地農業活動產生高濃度鹼性物質(銨根離子及鈣離子)中和作用所致。高雄地區pH值約4.69，主要受當地污染源排放酸性物質影響(吳德源，1995)。此外，環保署空氣品質自動監測站資料顯示，雨水中主要致酸成分硫酸根與硝酸根離子於1994年後均有顯著的降低改善現象，推測這可能與台灣1986年開始陸續實施燃料含硫量管制及政府徵收空污費有關。雨水中除了致酸離子有降低之趨勢外，主要之鹼性鈣離子亦有顯著下降現象，然而由於酸鹼中和之效應，因此自1996年以後雨水pH

值大致維持不變。

季節變化上，北部地區以春、冬季發生酸雨比例較高，造成原因除當地人為汙染外，還可能伴隨東北季風之境外傳輸現象所致；南部地區冬季發生酸雨機率較低，推測可能因為冬季雨量少，加上中和物質(鈣離子、銨根離子)在冬季時濃度較高所致，而夏季發生酸雨相對機率提高；東部地區以春冬兩季發生酸雨比例較高，可能是受東北季風之長程輸送現象所致(曾韋迪，2005)。

2000 年後，政府實施污染物排放管制上仍持續進行中，但雨水監測卻出現明顯惡化現象，推測可能是中國大陸近年來經濟發展，大量燃燒煤油，經大氣之長程傳輸而導致台灣接收雨水惡化的結果。全台測站分析顯示(陳等，2002)，當年 pH 值年平均平均值，除了阿里山、嘉義站、台南站、高雄站、以及澎湖站外，其餘各站均為小於 5.00 屬酸雨，其中雨水酸化最嚴重的前五者均屬北部地區(中壢、台北、宜蘭、新竹、及基隆站)。季節平均變化上(蔡世源，2004)，北部 pH 值年平均平均值大多以春、冬兩季最低，而中南部以夏季為最低。陰離子部分，硫酸鹽與硝酸鹽大部分以春季較高，氣離子在全部地區均以秋、冬為高；陽離子部分，各站於不同季節時之濃度差異並不明顯。

酸沈降量為濕沈降量與乾沈降量之和。北部地區之硝酸鹽有 50% 以上是以濕沈降方式沈降，而愈往南部，濕沈降所占比例愈低。這應是北部降雨時間及降雨量較南部大，導致北部地區濕沈降所占比例較高。由酸沈降量空間特徵分布得知，固定污染源較為密集的地區之硫酸鹽有一半以上是以濕沈降的方式沈降，因為地面排放之 NO_x 有一半以上在一天以內已形成 HNO_3 ，並且以乾沈降方式沈降至地面，但 SO_2 則只有 20% 以乾沈降方式沈降，因此硫酸鹽在大氣中停留時間較長，其主要去除機制為濕沈降。硫酸鹽濕沈降和雨量具相關性，而發生較大雨量之地區易發生較大之硫酸鹽濕沈降量(張仲德，2002)。

天氣型態是影響長程傳輸作用的主要因素。降水和天氣型態有很大之關係，在各種不同天氣型態下之空氣來源亦影響降水的特性。在發生酸雨的總日數當

中，大多屬東北季風、鋒面系統之天氣型態，另外資料顯示，硫酸根與硝酸根離子於東北季風之天氣型態下受長程傳輸的影響最高，此可知台灣在東北季風時最易受長程傳輸的影響。

亞洲地區諸國中，尤其工業產能較大的大陸、日本及韓國等東亞國家，一則因為距離台灣較近，再者盛行風可能對台灣造成污染物的跨國輸送，污染物長程傳送受到相當的重視。觀測指出，在東北季風天氣型態，大陸沿岸污染物僅需一天即可到達台灣，因此酸沈降不僅是地區性的現象，更是跨區域性的問題，真是值得國人進一步研究(Ueda *et al.*, 1995)。

表 2-1 歐洲地區酸沉降概況
(部分修改自張雅萍，1998、吳德源，1995)

研究者	研究區域	pH 值(平均)
EMEP (1978—1982)	英國、北歐、法國、北部、瑞士、歐洲東北部	4.5
	比利時北部、西德、東捷克、波蘭	4.1
Ezcurra <i>et al.</i> (1988)	西班牙 Vitoria	4—7.1
Moselloand Tartari (1992)	義大利 Pallanza	4.26
Aiuppa <i>et al.</i> (2003)	義大利埃特納火山南方	3.80—7.22
Samara <i>et al.</i> (1992)	希臘北部 Thessaloniki 地區	5.55
Millet <i>et al.</i> (2000)	法國東北部陸地	3.60—6.58
	法國東北部沿岸	5.49—7.01
Alagha <i>et al.</i> (2002)	黑海地區 (近土耳其)	5.21

表 2-2 亞洲地區酸沉降概況
 (部分修改自張雅萍，1998、吳德源，1995)

研究者	研究區域	pH 值(平均)
西亞		
Alabdula'aly <i>et al.</i> (1999)	沙烏地阿拉伯 Riyadh	7.56
Al-momani <i>et al.</i> (1999)	約旦 Irbid	6.4
AJ-Momani <i>et al.</i> (1995)	土耳其	5.17
Demirak <i>et al.</i> (2006)	土耳其西南方 Muğla	6.9
Demirak (2006)	土耳其 Yatağan	6.7
Örnektekin <i>et al.</i> (2003)	地中海東北部	5.02-7.38
南亞		
Ahmad <i>et al.</i> (1993)	孟加拉 Dhaka & Savar	5.5、6.0
Khemani <i>et al.</i> (1993)	印度 Uttar Pradesh	5.7
Khemani <i>et al.</i> (1994)	印度 Chembur-Trombay	6.4
Prakasa Rao <i>et al.</i> (1995)	印度 Silent Valley	5.3
Agrawal <i>et al.</i> (2001)	印度東北方 Sonbhadra U.P.	4.8—6.6
Mouli <i>et al.</i> (2004)	印度 Tirupati	6.78
Balachandran <i>et al.</i> (2000)	印度首都 Delhi	6.25±0.47
Obaidy <i>et al.</i> (2002)	印度北方 Roorkee urban	7.05

Rastogi <i>et al.</i> (2006)	印度西方 Ahmedabad	5.2–7.4
Singh <i>et al.</i> (2006)	印度東方 Dhanbad	5.37
Hegde (2007)	印度西南海岸	6.16±0.75
Safai <i>et al.</i> (2004)	印度 Pune	6.1

東亞

Matsumoto (1993)	日本 Nara	4.7
Yamato <i>et al.</i> (1993)	日本 Kitakyushu City	4.93
Hara <i>et al.</i> (1995)	日本 Nationwide (29 sites)	4.8
Zhang <i>et al.</i> (2004)	日本 Chofu、Tokyo、Nakaminato	5.6、5.9、5.7
Lee <i>et al.</i> (1999)	韓國 Sochung、Chungchon、Kunsan	4.9、4.7、4.8
Chung <i>et al.</i> (1996)	韓國 (6 sites)	4.5–5.3
Nam <i>et al.</i> (2001)	韓國 (3 sites)	4.73–4.93
Kim <i>et al.</i> (2001)	南韓 Chunchon、Seoul	4.9、4.9
Wang and Zhang (1993)	大陸 (14 sites)	4.05–6.95
Huang <i>et al.</i> (1993)	大陸 (9 sites)	3.4–5.64
Wang and Wang (1996)	大陸 North (6 sites)	5.8
Wang and Wang (1996)	大陸 South (4 sites)	4.7

Tu <i>et al.</i> (2004)	大陸南京	5.15
Wei <i>et al.</i> (2005)	大陸高苑 Jinyun Moutain	5.23
Huang <i>et al.</i> (2007)	大陸深圳	5.02
Zhang <i>et al.</i> (2006)	大陸浙江金華市	4.54
Ayers <i>et al.</i> (1995)	香港	4.5
Ayers <i>et al.</i> (1996)	香港	4.5
吳德源(1995)	台灣 Kaohsiung	4.58
張雅萍(1998)	台灣 Taipei	4.91
<hr/>		
東南亞		
Granat <i>et al.</i> (1996)	泰國 Srinakarin Dam、Nam Pung Dam	5.2、5.0
Mohamed (1993)	馬來西亞 Klang Valley	~5.42
Mohamed <i>et al.</i> (1996)	馬來西亞 Klang Valley、Petaling Jaya	~5.4
Ayers <i>et al.</i> (1996)	印尼 Jakarta	4.8
<hr/>		

表 2-3 台灣地區酸沉降概況

(部分修改自張雅萍，1998、吳德源，1995)

研究者	研究時間	研究區域	pH值 (平均)
呂等	1972-1974	台北、高雄	5.4—6.1、7.50
孫岩章、吳瑞鈺	1979	台北、高雄	4.22、6.60
金恆鏞	1980—1986	台北市(植物園)	4.8
張斐章等	1980—1990	台北市	4.47
張雅萍	1981—1997	台北(植物園)	4.91
鄭福田	1984—1986	全省分七區	<5.6 (54%)
高雄市環保局	1986	高雄	5.10
陳淨修	1986—1989	永和市	<5.6 (87.9%)
鄭福田等	1990—1999	台北、高雄	4.39、4.69
中央大學	1990—1999	宜蘭	4.5
King <i>et al.</i>	1994	台北、台中、南投、 高雄、台東、宜蘭	4.80、6.41、5.51 4.88、5.32、4.78
吳德源	1996	高雄	4.58
薛美莉	1998—1999	中部山區(烏石坑試驗站)	5.04
行政院環保署	2001—2002	台北、高雄	4.79、5.86
中央大學	2004—2006	台北、高雄	4.84、5.03

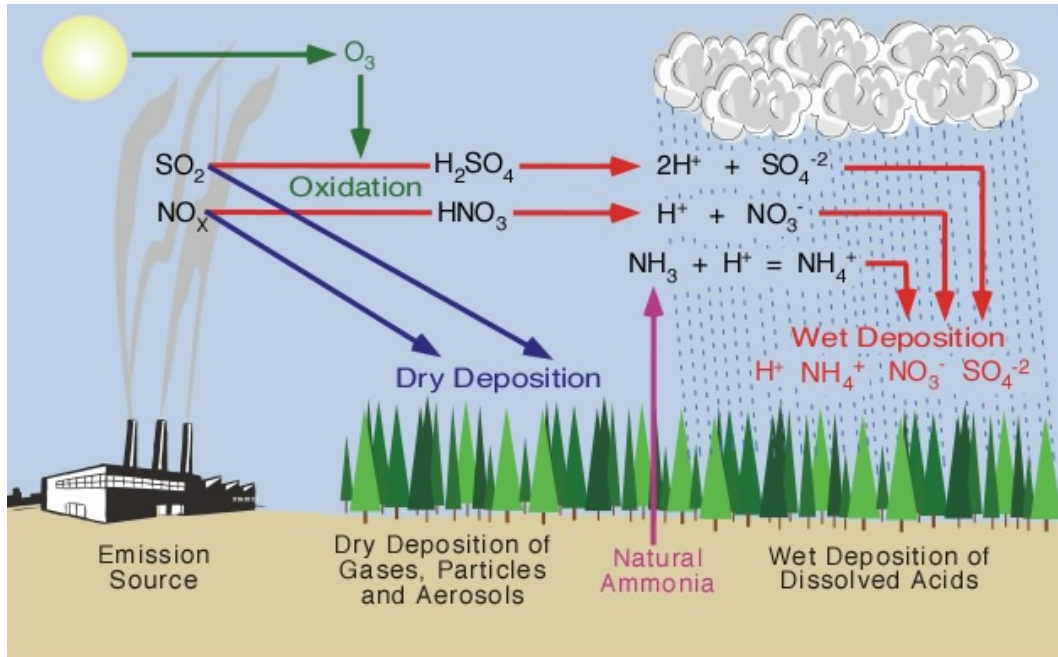


圖 2-1 前驅物質在大氣中形成酸沉降之循環過程

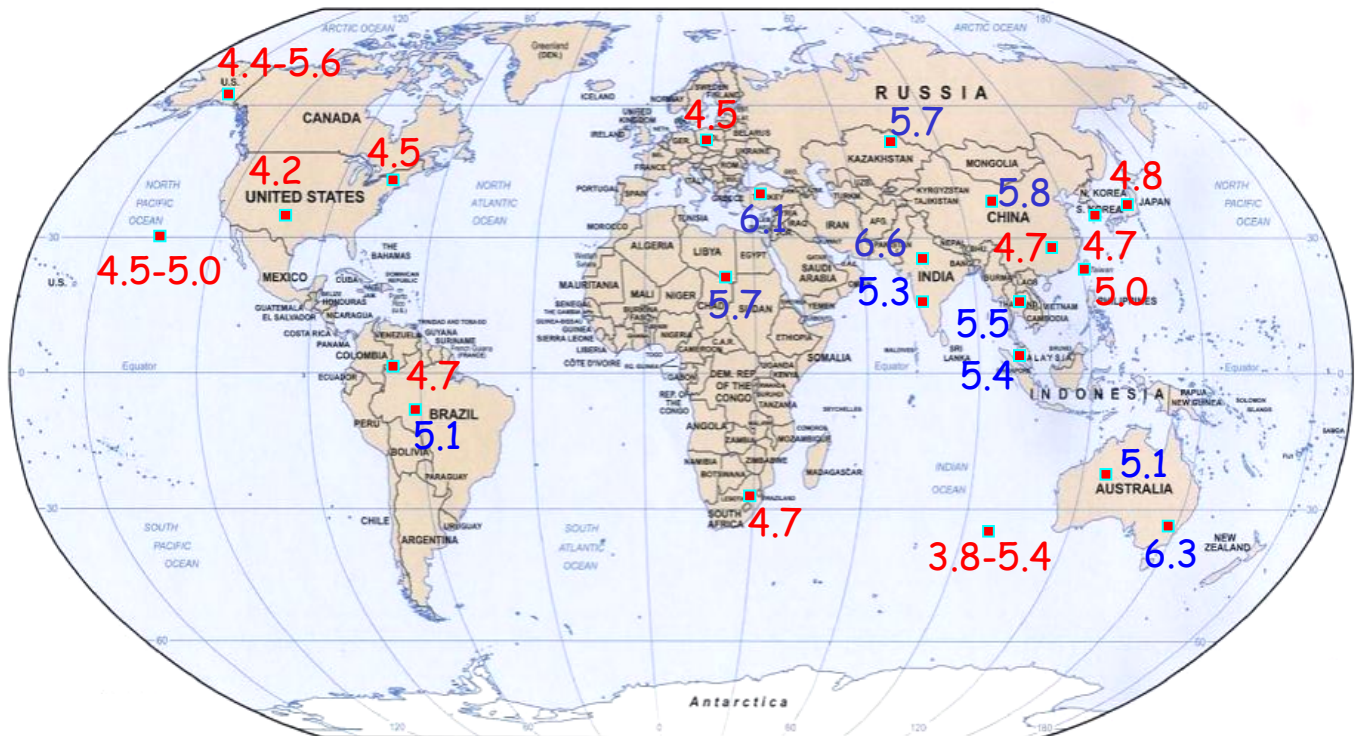


圖 2-2 全球降水 pH 值之空間分佈

(NAPAP, 1993; Demirak et al, 2006; Mphopya et al, 2006.)

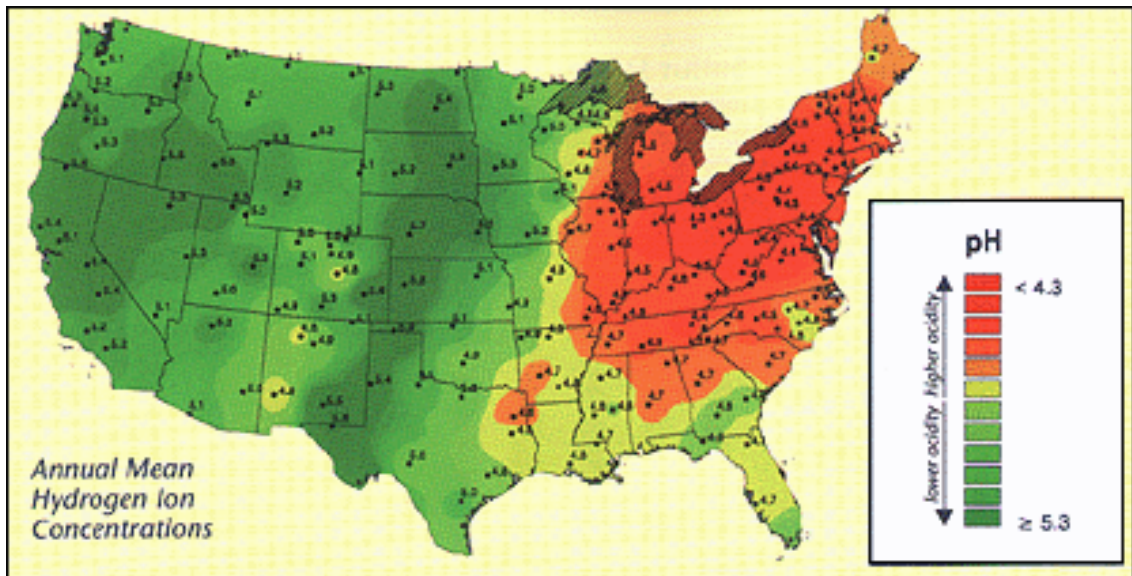


圖 2-3 美國地區酸雨概況(摘自 NAPAP)



第三章 研究方法

3-1 採樣區域與方法

本研究共分析兩年份之標本，採集時間從2006年1月至2007年12月止，共收集到307個雨水樣本。採樣地點有兩處，分別位於台北陽明山區與嘉義縣民雄鄉。台北陽明山採樣站之座標為北緯 $25^{\circ}09'50.40''$ ；東經 $121^{\circ}33'55.79''$ ，位處七星山與竹高山間鞍部，東北方連接低勢河谷地形，冬季主要受東北季風侵襲，夏季則以西南氣流影響為主；全年風向以北風至西北風為主，佔全年58%；其次為南風至東南風，佔全年24%（圖3-1）。地形上，本測站位於大屯火山群之東北側，由風向與地形關係可知影響測站的氣流並未經過大屯火山群之主要火山，故受當地火山來源物質影響不大。此外，陽明山鄰近台北都會區，人為活動產生之污染量較多。嘉義縣民雄鄉採樣站之座標為北緯 $23^{\circ}32'09.22''$ ；東經 $120^{\circ}26'31.30''$ ，主要由農耕活動為主之平原包圍，工業污染低，相對於北部測站，可觀察該區由西南氣流引入之中南半島與中國大陸華南地區氣團對台灣南部地區的影響。採樣地點如圖3-2所示。

本研究兩樣區均配置有雨水收集器，為一直徑30公分，高40公分的20升塑膠製收集桶，上接一蒸餾水沖洗過之漏斗（直徑25公分），以便雨水流入。台北樣區除了有雨水收集器外，另附有自動氣象站，會自動紀錄樣區之氣壓、雨量、風向、風速、溫度、濕度等氣象資料，此外，本研究還會以中央氣象局竹子湖與鞍部測站資料做輔助參考，如圖3-3所示。而嘉義樣區只有雨水收集器，氣象資料直接以距採樣站4.5公里之中央氣象局嘉義氣象站的觀測資料為主。標本採集時間間距兩樣區並不相同。北部山區降水事件頻繁，以一周為採樣單位，規律蒐集雨水樣本；而南部樣區降水機率較低，時間不規律，因此以每一場雨為單位採集之。當採樣時如遇雨量資料有問題或遺失時，會參考中央氣象局之雨量資料來校正或補遺我們所量測的降水記錄。

3-2 分析項目與方法

收集的原始水樣先不經任何處理，直接測其電導度、pH值及記錄雨量。本實驗之電導度均以HORIBA CONDUCTIVITY METER B-173之電導度計量測，pH值以HORIBA COMPACT pH METER B-212之pH值計測定，並且利用pH=4及pH=7之標準緩衝溶液校正。測量後隨即登記數值並註明採樣地點、日期、降雨量、降雨時刻及樣品編號，然後樣本立即冷藏帶回實驗室。在實驗室雨水樣品以孔徑0.4 μm 之濾膜過濾(Whatman PC MB 47mm)，取50ml濾液於離心管中，以離子層析儀(DIONEX DX-120)進行陰陽離子成分分析，其中 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 以陽離子管柱測定， F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 以陰離子管柱測定。若未能及時分析完畢，應將水樣置於4 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏庫內儲存，避免發生化學成分改變，且應於一週內完成所有樣品之分析。本研究水樣的分析流程如圖3-4所示。

3-3 儀器分析

本研究為了瞭解溼沉降的組成成分，分析項目除了pH值、導電度、雨量等資訊外，更重要的是雨水中的元素濃度。主要陰、陽離子以離子層析儀 (Ion Chromatography; IC) 進行偵測，以下將簡述儀器原理與構造 (王等, 2003)。

離子層析儀(簡稱IC)基本上是利用電導度之偵測器，分析水溶性之陰陽離子，並可同時量測多種元素。當水樣中之待測陰陽離子，隨特定流洗液流經離子交換層析管柱時，會因為與交換樹脂間親和力不同而分離。分離後的待測離子流經一高容量離子交換樹脂之抑制裝置，會被轉換成具高導電度之形態，流洗液則轉換成低導電度。經轉換後之待測陰、陽離子最後流經電導度偵測器，會依其滯留時間及波峰面積予以定性及定量 (NIEA)。

本實驗室離子層析儀(DIONEX DX-120)之主機外型結構如圖 3-5，內部結構如圖 3-6。儀器分析過程可以分為三步驟，首先是利用酸或鹼流洗液，經離子

交換樹脂分析管柱進行分離程序，之後由抑制器的抑制作用再生，最後進行導電度之偵測，透過積分運算得到一個定性定量的圖譜，如圖 3-7。離子層析儀之系統如圖 3-8。

離子層析儀之基本結構：

A.幫浦

B.分離管柱：充填之樹脂多為低容量有機離子交換樹脂，可耐強酸強鹼。

C.抑制管柱：高容量交換樹脂，可降低沖提液之電導度與提高分析離子之解離度

D.偵測器：電導度計

E.資料處理系統

適用分析範圍：

能監測大部分主要陰陽離子，在某些分析上，可取代 A.A.、GC、NMR、Ion Meter 等。可分析的陰離子有： F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^- 、 SO_4^{2-} ，陽離子有： Li^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} 。

特點：

- 1.可同時分析多種離子，並做定性及定量分析。
- 2.靈敏度高，適用濃度範圍廣。
- 3.分析快速，每個離子不超過兩分鐘。

實驗儀器與試劑如下所示：

一. 陰離子部分

流洗液：2.7 mM Na_2CO_3 / 0.3 mM $NaHCO_3$ 2L

流速：1.10 mL/min

壓力：1800 ~ 2300 psi

電導度：14 ~ 18 μS

偵測器：電導度偵測器

標準溶液：Merck standard (1000 ppm)

包含F、Cl、 NO_2 、Br、 NO_3 、 PO_4 、 SO_4 等元素

二. 陽離子部分

流洗液：20 mM MSA 2L

流速：1.00 mL/min

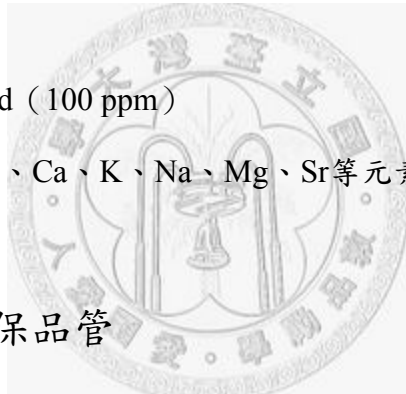
壓力：2100 ~ 2400 psi

電導度：0 ~ 3 μS

偵測器：電導度偵測器

標準溶液：Merck standard (100 ppm)

包含 NH_4 、Li、Ca、K、Na、Mg、Sr等元素



3-4 水質分析之品保品管

為了確保實驗之精密度及準確度，進行數據分析之前，必須先對原始樣品之數據進行篩選，因為不管在採樣或是分析的過程中，有可能因為人為操作或標本已受污染而影響結果產生誤差，故在分析前必須先過濾有問題的數據及樣本，才能繼續處理資料。本實驗為了增加實驗之可信度，另外進行了檢定工作，期待能將實驗誤差降到最低。

3-4-1 檢量線之配置及確認

檢量線是以一系列已知待測物濃度之標準溶液與其相對應儀器感應訊號值，所繪製而成的相關曲線。

(1) 原則上每次分析時必須製配新的檢量線。配置檢量線至少需要五種不同濃度

之適當標準溶液(即七種不同陰陽離子之標準品貯備溶液調配至理論濃度,如 1~5ppm), 其中不包含空白零點的標準溶液, 待測樣品之濃度則應介於上述濃度範圍, 且介於檢量線最高濃度 20%~80%之間為恰當。

- (2) 檢量線之相關紀錄必須註明配置日期、標準溶液來源、標準溶液濃度、檢測項目、配置流程及儀器感應訊號值等資料。
- (3) 由儀器感應所得之感應訊號值相對應標準溶液濃度, 繪成一以座標線性方程式表示之相關性圖, 並標其座標軸。
- (4) 利用直線的最小平方差方程式可求得一直線迴歸方程式, 並計算其相關係數 r 。 r^2 值應大於或等於 0.995。
- (5) 離子層析儀之相對誤差宜在正負 15%以內, 檢量線才有適用性。反之, 則需再進行確認步驟, 若仍大於適用範圍則必須重新置配檢量線。本實驗之陰、陽離子分析檢測過程如下:

注入標準溶液前先讓流洗液清洗儀器至少 1 小時左右, 確定穩定後才開始由低至高濃度分別注入標準液 Std 1~5 (即 1~5ppm), 標準溶液的層析分離結果如圖 3-9 (陰離子) 及 3-10 (陽離子)。以波峰面積積分值為 X 值, 標準樣品為 Y 軸, 作圖畫檢量線並求其線性迴歸值, r^2 值須大於或等於 0.995, 才可繼續注入標品進行分析, 如圖 3-10 (陰離子) 及 3-12 (陽離子)。利用此線性迴歸方程式可求取樣品濃度, 濃度範圍適用於 Std 1~5 之間。如果雨水標本濃度過高, 則須先稀釋再重測比較精準。不同陰、陽離子標準樣品分別如表 3-1 及表 3-2 所示。

3-4-2 方法偵測極限及品質分析

為了確認實驗室檢驗過程之正確與精密度, 通常可以利用方法偵測極限、空白樣品分析、重覆樣品分析、查核樣品分析、添加標準品分析等方式達成。本實驗採取方法偵測極限及重覆樣品分析。

一、方法偵測極限(method detection limit, MDL)

- (1) 使用超純水當作試劑水，液中不得有其他干擾物，製做檢量線。
- (2) 取之前配置的標準溶液重複分析樣本 10 次，將測得結果依檢量線求得濃度。
- (3) 計算 10 次測定值之標準偏差，取三倍標準偏差即為方法偵測極限。

$$MDL = 3S$$

二、重覆樣品分析

- (1) 重覆分析之樣品必須為可定量之樣品，通常至少每十個標本就應內插一個重覆樣品分析，並且紀錄測定值。若每批次樣品數少於 10 個，則每批次應執行一個重覆分析之樣品。
- (2) 列出重覆樣品之差異值，建立可接受極限。如果重覆分析差異落於極限(即管制上下限)以外，則分析值視為不可信，應立即剔除並採取修正，重覆樣品分析及計算。各陰陽離子重覆分析品管之結果詳見表 3-3，離子成份之重覆分析品管圖見圖 3-13~圖 3-18。
- (3) 若無法執行樣品之重覆分析，至少也要執行查核樣品之重複分析。實驗室要記錄重覆樣品編號、分析日期、重覆分析測定值。

3-4-3 陰陽離子之平衡關係

鑑定雨水中陰陽離子之當量濃度總和比值，可以做為水質分析準確度之指標。如果降水的化學組成有所改變，就會影響降水中陰陽離子間的平衡關係，這樣水質酸度也會發生變化。

本實驗分析之陰離子項目為 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^- 、 SO_4^{2-} ，陽離子項目為 Li^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 。由於雨水為電中性，理論上陰陽離子之當量濃度總和應該大致相等，比值為 1。若陰陽離子當量總和趨近於 100%，則表示雨水中主要的陰陽離子種類多已測出，實驗誤差降至最低，數據具高可信度。此外，也可利用陰陽離子各成分含量所佔比例看出雨水中陰陽離子

成分的比率。

$$\text{陰陽離子當量總和之比值(\%)} = \frac{\text{陰離子當量總和}}{\text{陽離子當量總和}} \times 100\%$$

陰離子當量總和 = $[F^-] + [Cl^-] + [NO_2^-] + [Br^-] + [NO_3^-] + [PO_4^-] + 2[SO_4^{2-}]$

陽離子當量總和 = $[Li^+] + [Na^+] + [NH_4^+] + [K^+] + 2[Mg^{2+}] + 2[Ca^{2+}] + 2[Sr^{2+}]$

理論上該比值應該為 1

[] 表各離子之莫耳濃度(單位：mole/l)

N 表各離子之價數

$N \times []$ 表各離子之當量濃度(單位：eq/l)

由於雨水的化學組成複雜，陰陽離子種類很多，很難針對所有離子均進行濃度分析。通常實驗只測定主要陰、陽離子，檢驗兩者之間是否接近即可。此外，水質中未檢驗到的成分(如： CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 HNO_3^- 等陰離子， Al^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 等陽離子)，可能是造成陰陽離子不平衡之因素。

表 3-1 不同陰離子標準樣品

Standard	Concentration (mg/l)						
	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻
Std 1	0.40	1.00	2.00	1.00	2.00	4.00	2.00
Std 2	0.80	2.00	4.00	2.00	4.00	8.00	4.00
Std 3	1.20	3.00	6.00	3.00	6.00	12.00	6.00
Std 4	1.60	4.00	8.00	4.00	8.00	16.00	8.00
Std 5	2.00	5.00	10.00	5.00	10.00	20.00	10.00

表 3-2 不同陽離子標準樣品

Standard	Concentration (mg/l)						
	Li ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Sr ²⁺
Std 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Std 2	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Std 3	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Std 4	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Std 5	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

表 3-3 各陰陽離子重覆分析品管之結果

次數	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺
1	2.91	2.96	2.88	2.99	2.97	2.98
2	2.93	2.99	2.98	2.82	2.92	2.87
3	3.00	3.06	3.08	2.84	2.96	2.95
4	2.95	3.00	2.96	2.79	2.89	2.87
5	3.03	3.07	3.06	2.84	2.99	2.96
6	2.95	2.99	2.96	2.97	3.07	3.04
7	3.02	3.11	3.06	2.86	3.00	3.02
8	2.92	2.93	2.86	3.05	3.06	3.03
9	2.94	2.98	2.92	2.86	3.03	3.01
10	2.92	2.97	2.99	2.89	2.95	2.94
平均值(m)	2.96	3.01	2.98	2.89	2.98	2.97
標準偏差(s)	0.04	0.05	0.08	0.08	0.06	0.06
相對誤差(%)	1.45	1.81	2.57	2.89	1.93	2.05
管制上限(UCL)	3.08	3.17	3.21	3.14	3.16	3.15
管制下限(LCL)	2.83	2.84	2.75	2.64	2.81	2.78
警告上限(UWL)	3.04	3.12	3.13	3.06	3.10	3.09
警告下限(LWL)	2.87	2.90	2.82	2.72	2.87	2.84

註：

濃度單位：mg/l

相對誤差 = (標準偏差/平均值) × 100%

管制上限 UCL = m+3s

警告上限 UWL = m+2s

管制下限 LCL = m-3s

警告下限 LWL = m-2s

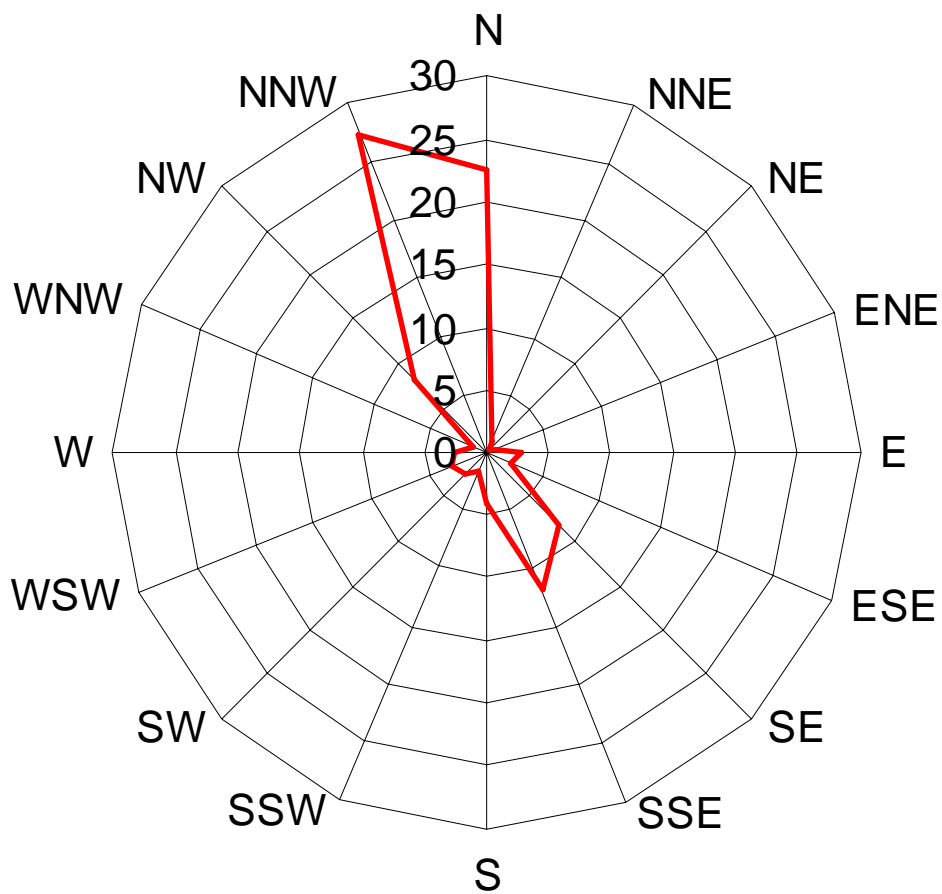
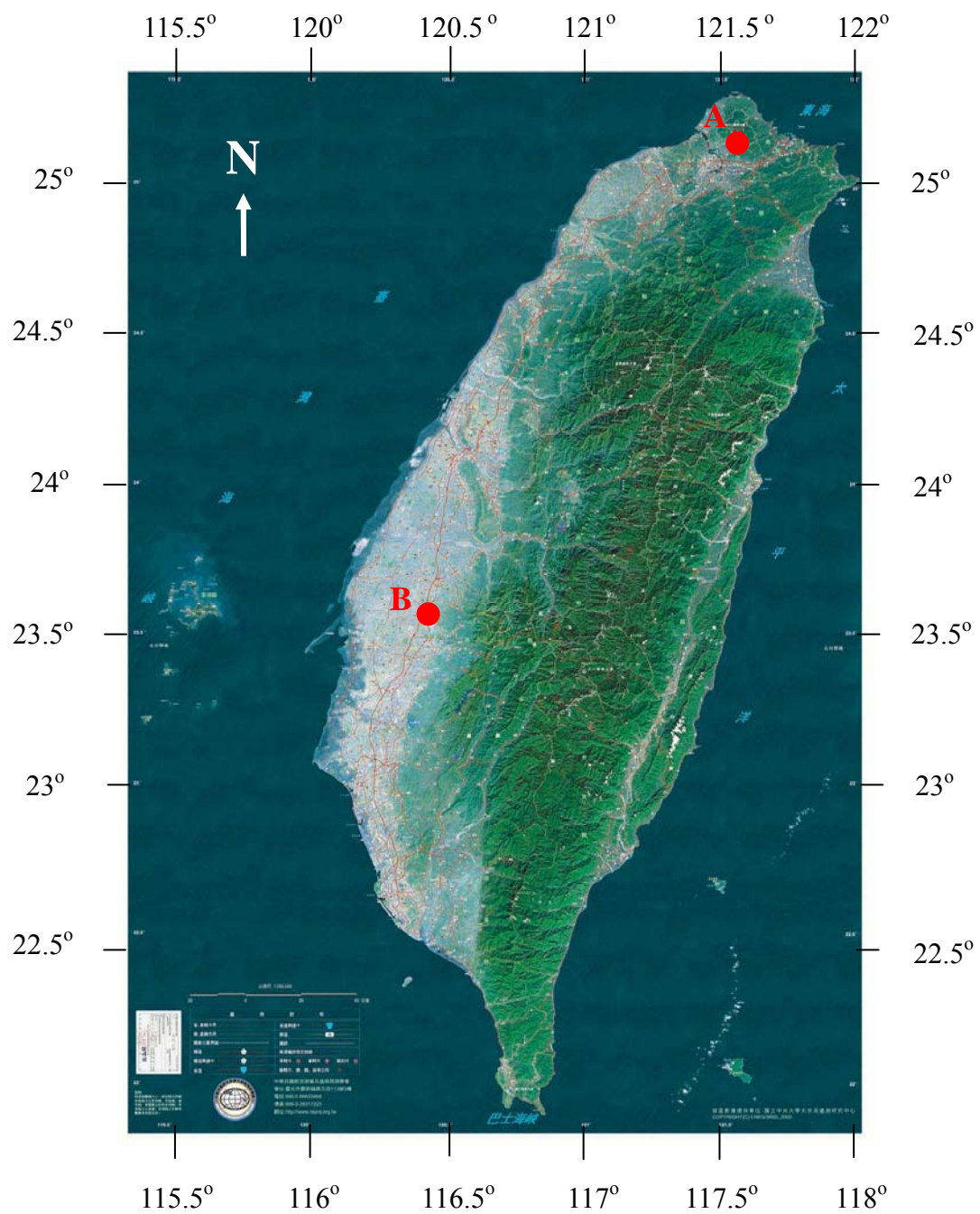


圖 3-1 陽明山測站之全年風向統計圖



A：台北市陽明山採樣站之座標為北緯 $25^{\circ}09'50.40''$ ；東經 $121^{\circ}33'55.79''$
 B：嘉義縣民雄鄉採樣站之座標為北緯 $23^{\circ}32'09.22''$ ；東經 $120^{\circ}26'31.30''$

圖 3-2 採樣地點

自動氣象站



圖 3-3 陽明山採樣站之雨水收集桶及自動氣象站

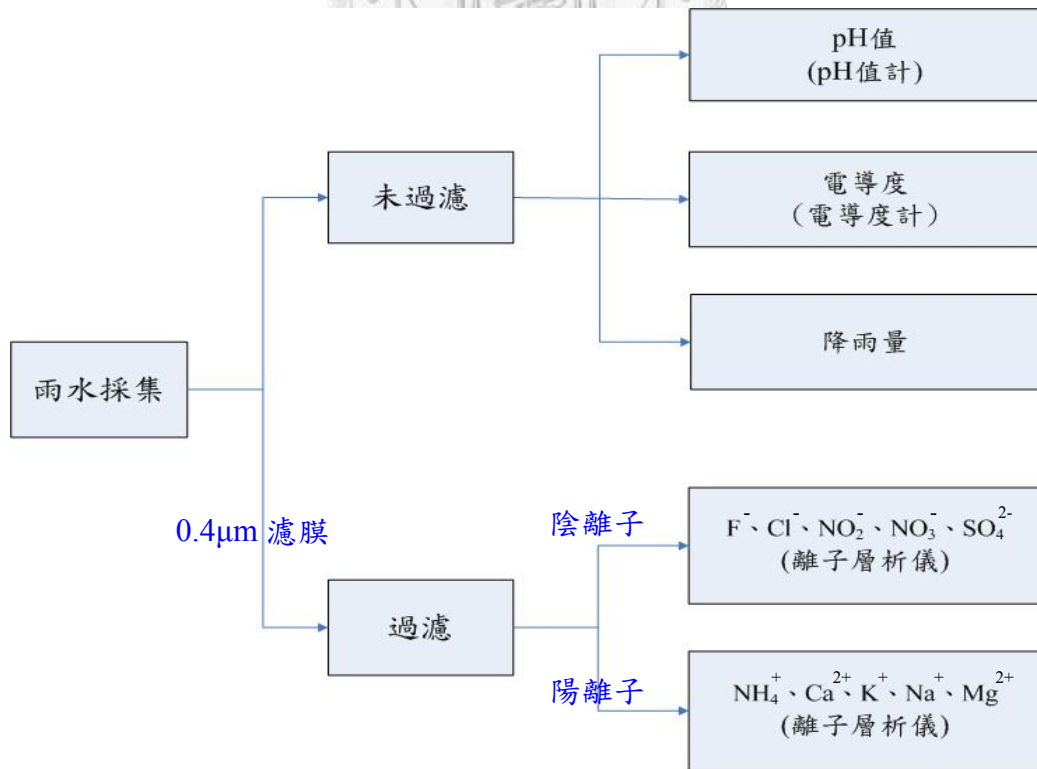


圖 3-4 本研究水樣分析流程

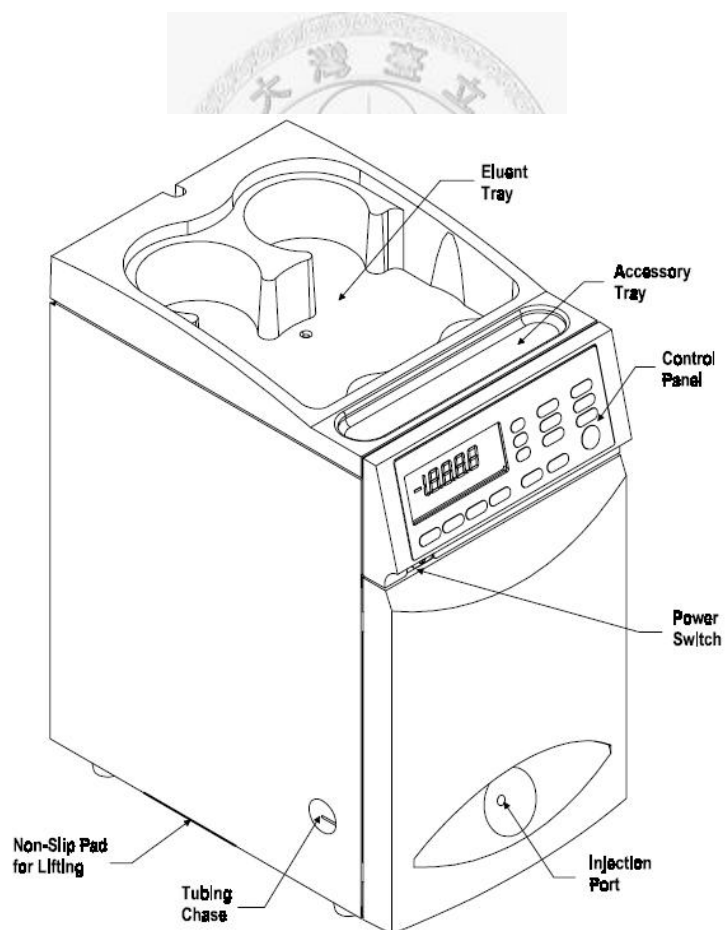


圖 3-5 離子層析儀(DIONEX DX-120)主機外型結構

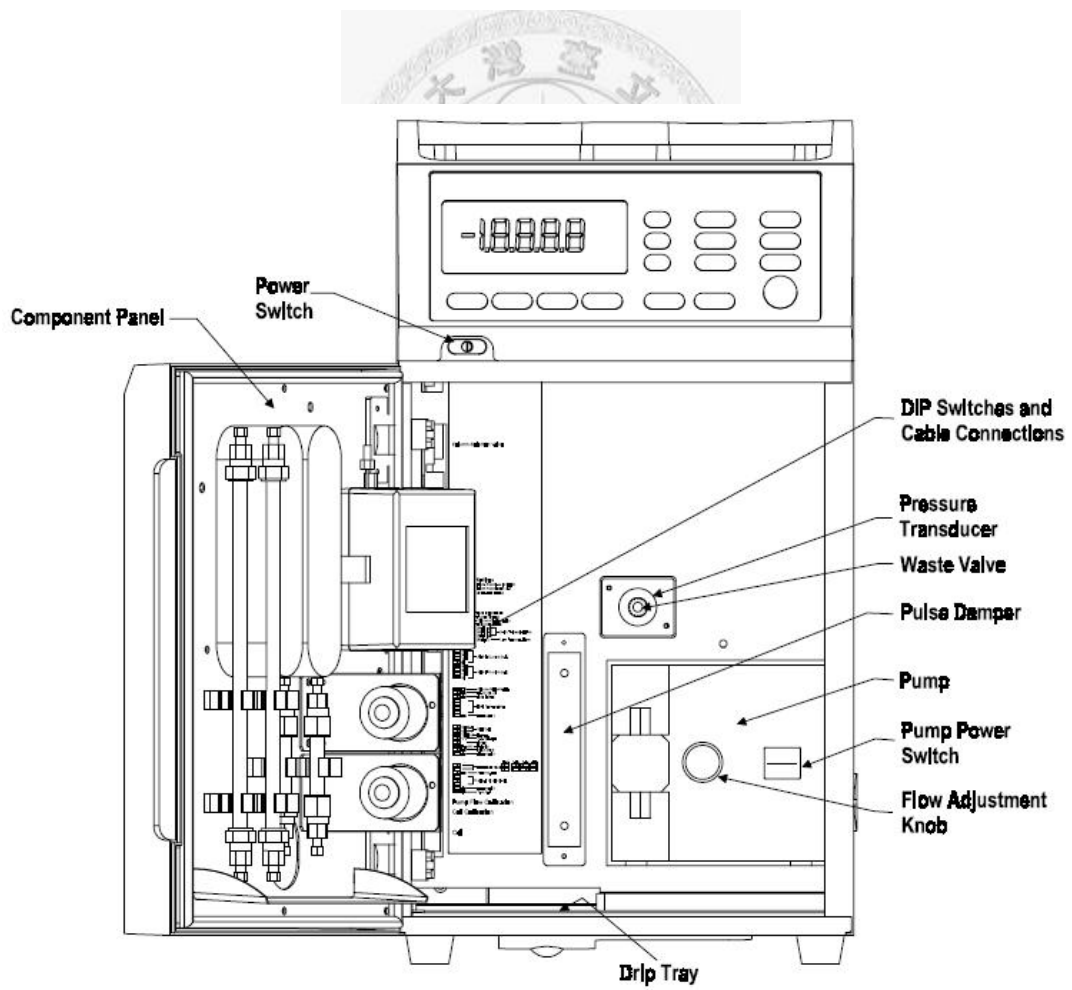


圖 3-6 離子層析儀主機內部結構

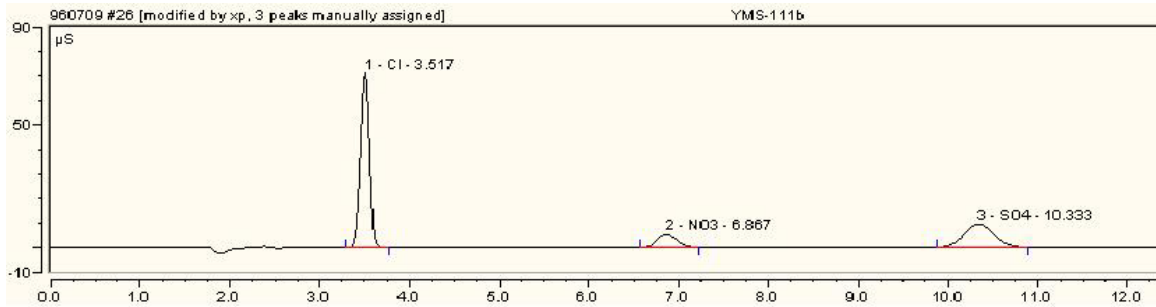


圖 3-7 雨水標本(YMS 111b)的圖譜

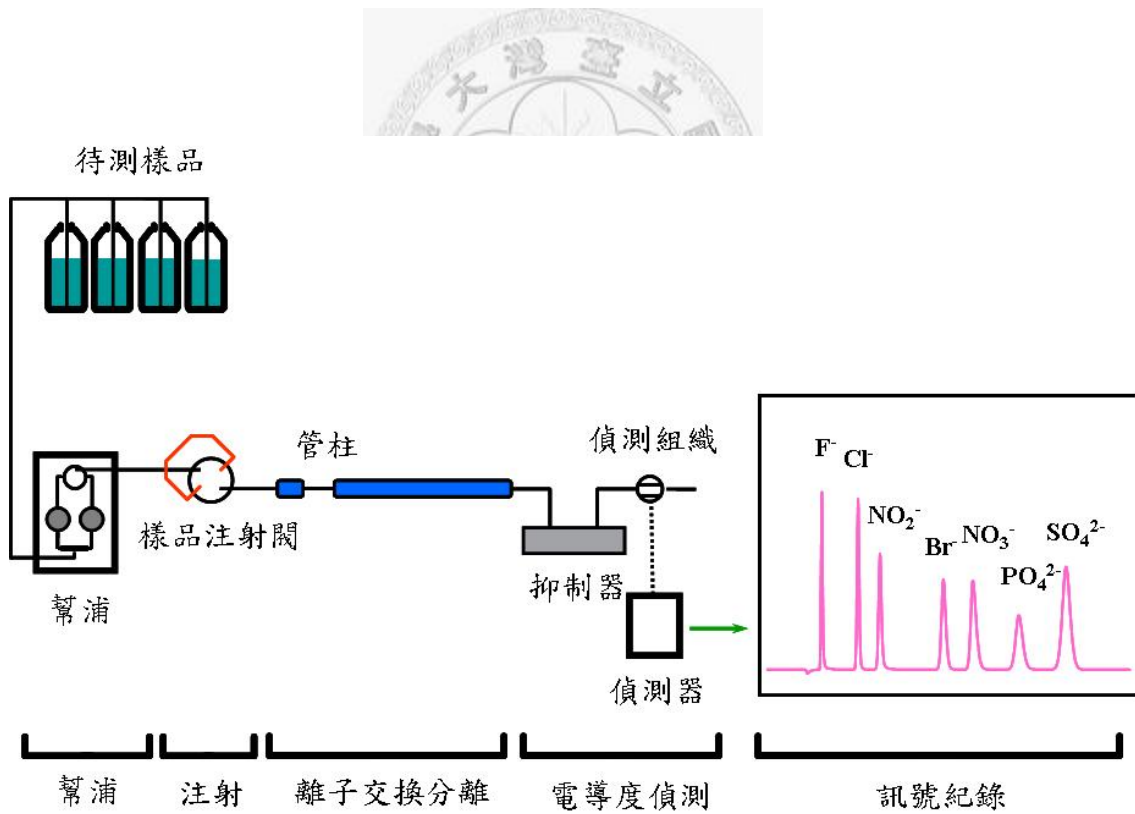


圖 3-8 離子層析儀之系統示意圖 (改編自 DIONEX 操作手冊)

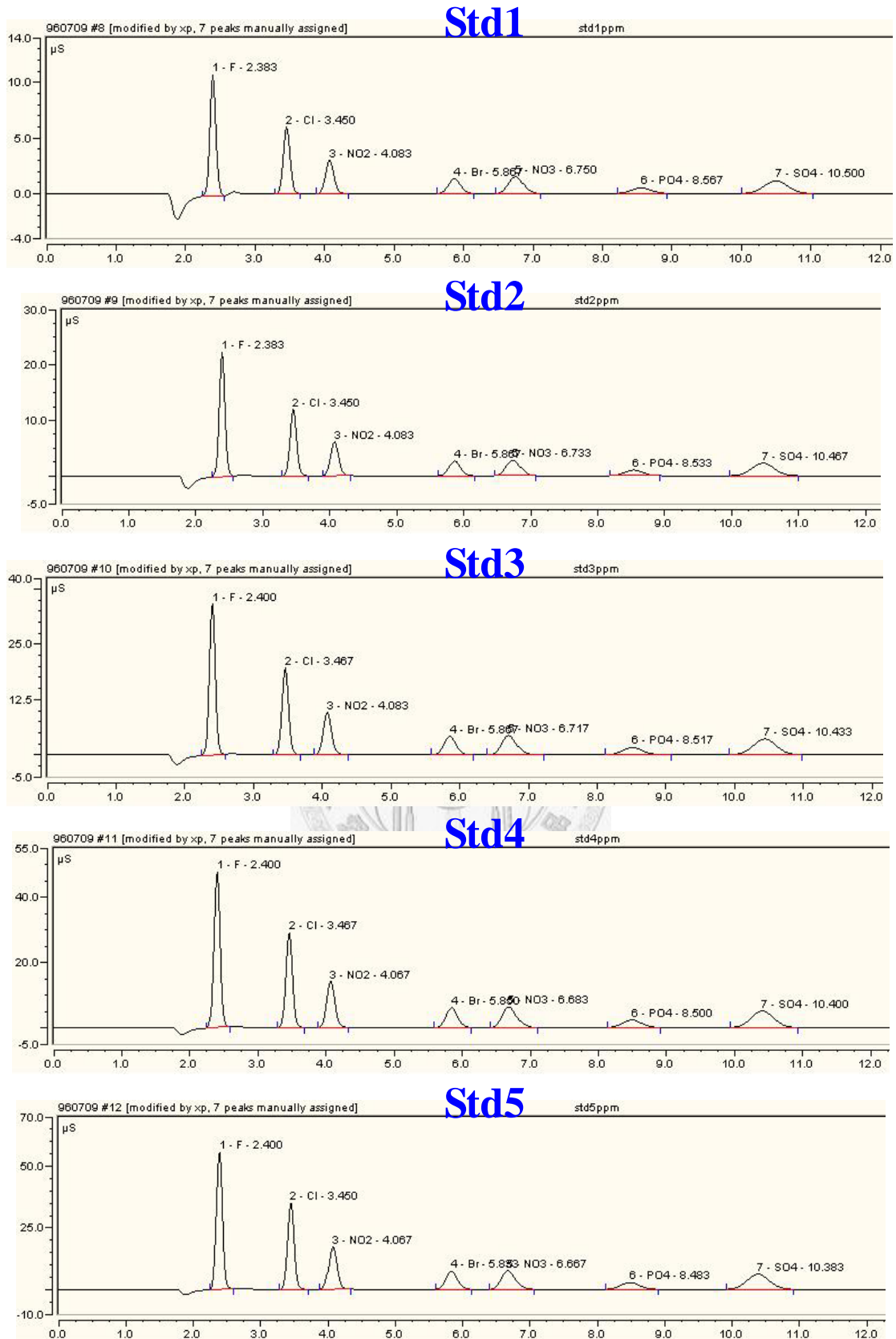


圖 3-9 陰離子標準品 Std 1~5 分析圖譜

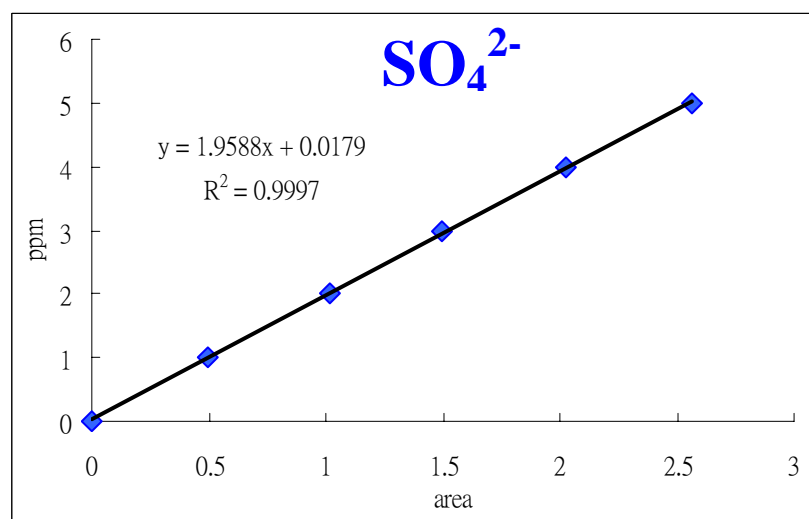
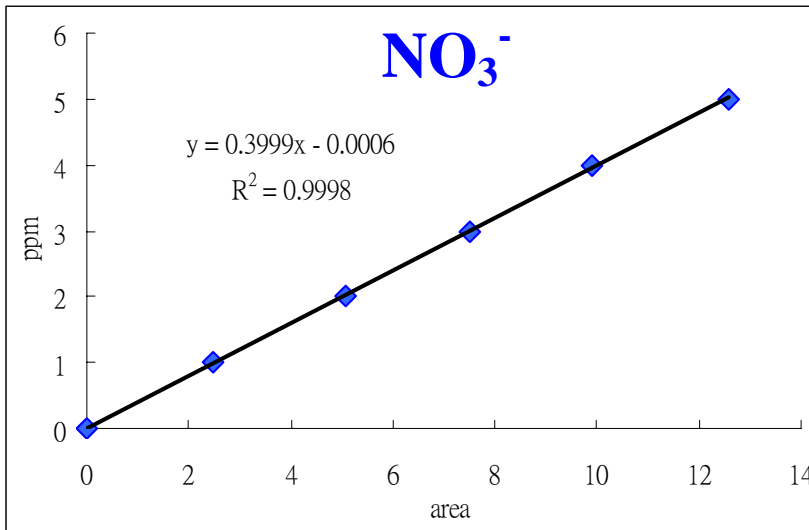
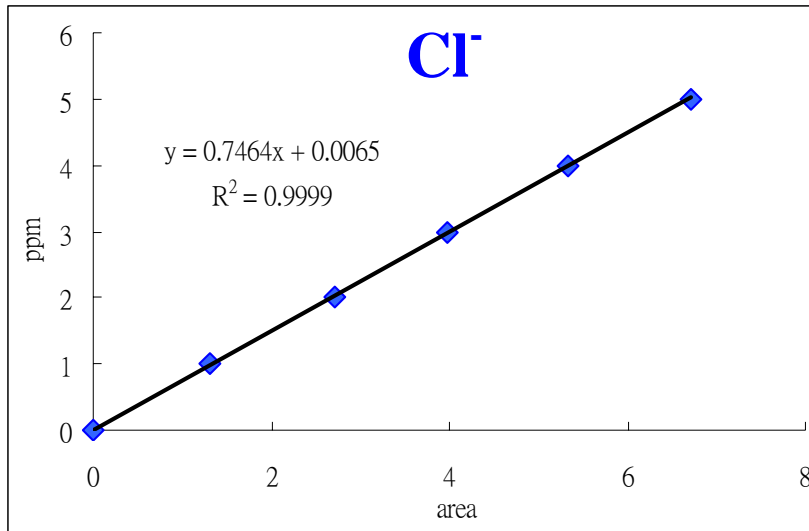
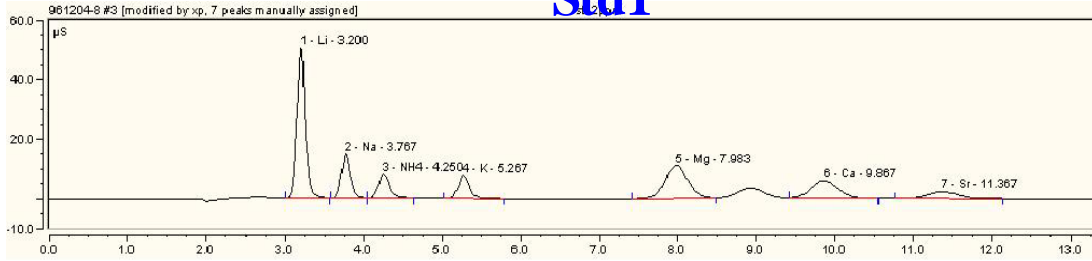
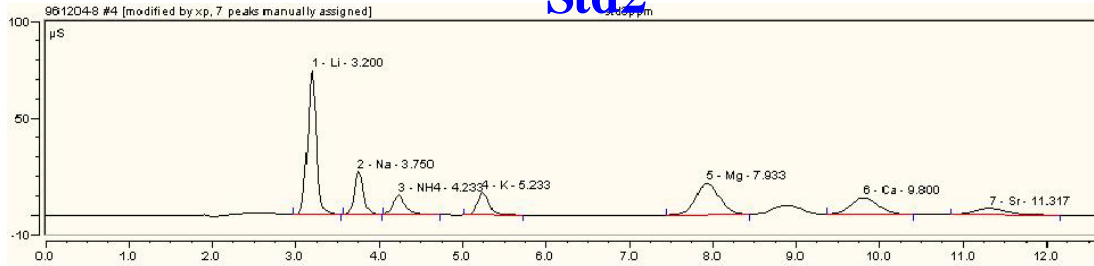


圖 3-10 陰離子標準品檢量線

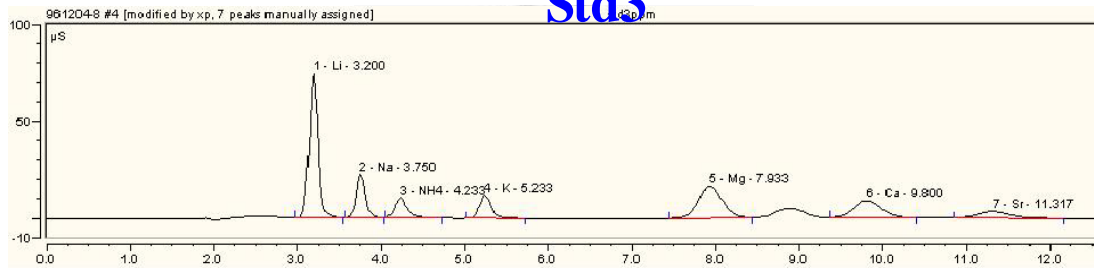
Std1



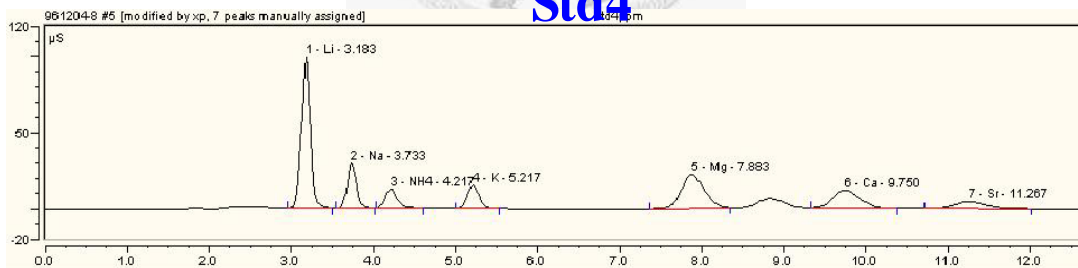
Std2



Std3



Std4



Std5

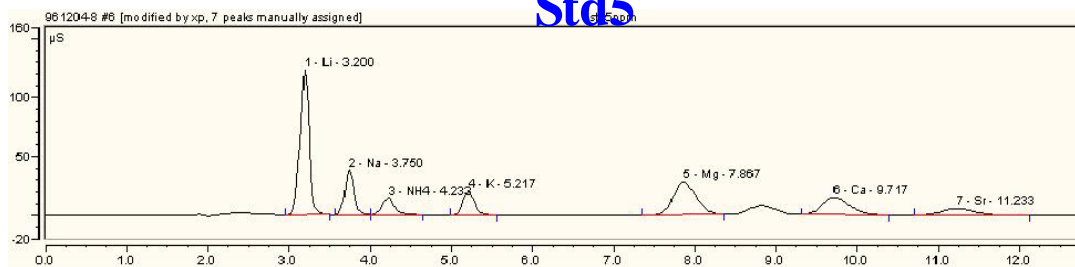


圖 3-11 陽離子標準品 Std 1~5 分析圖譜

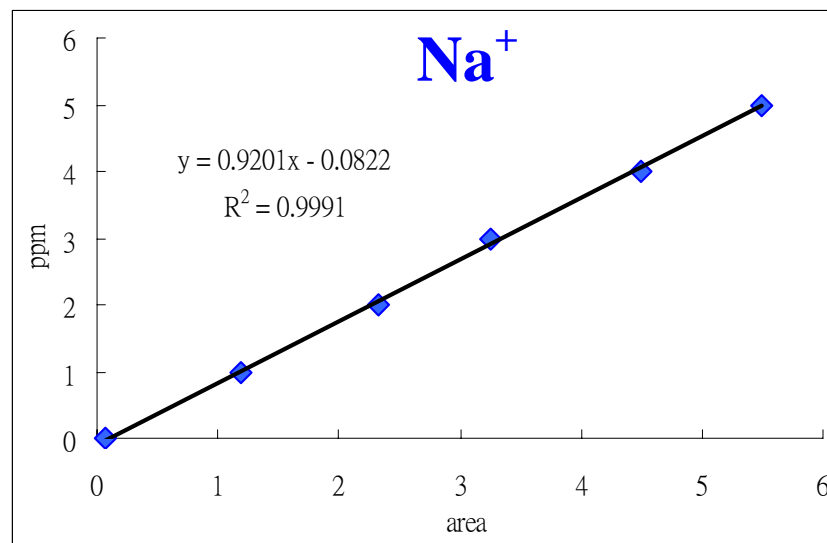
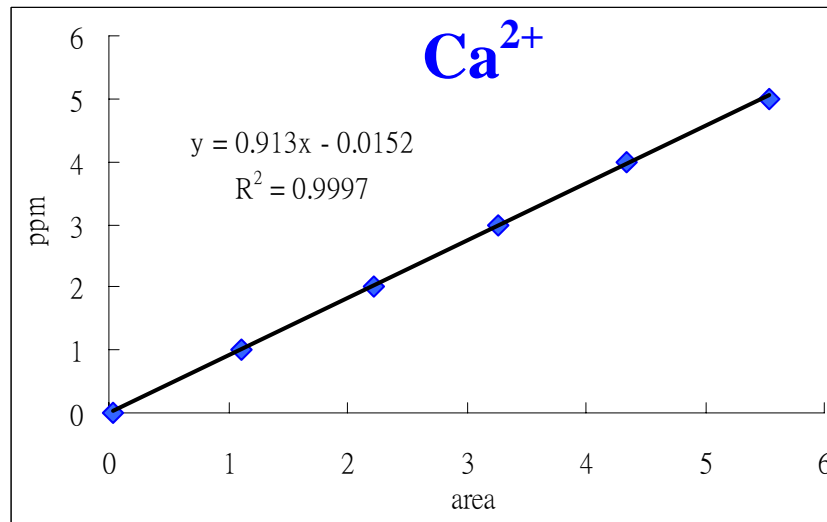
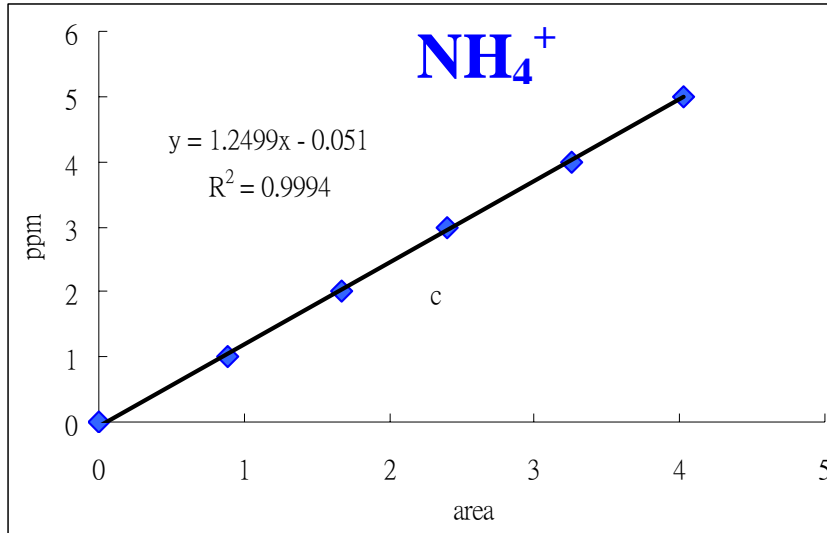


圖 3-12 陽離子標準品檢量線

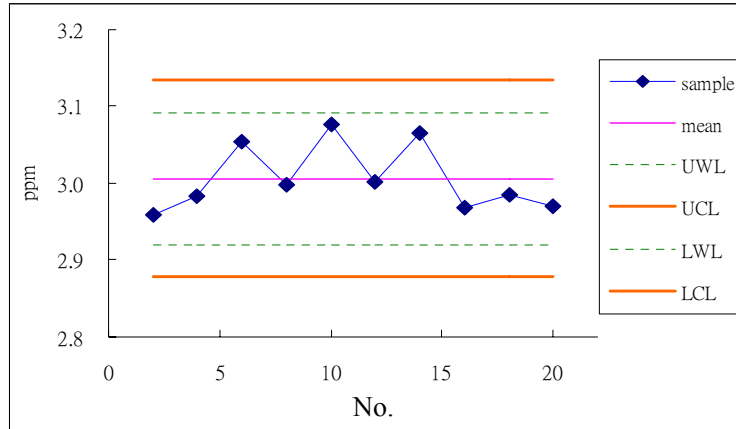


圖 3-13 氯離子重覆樣品分析品管圖

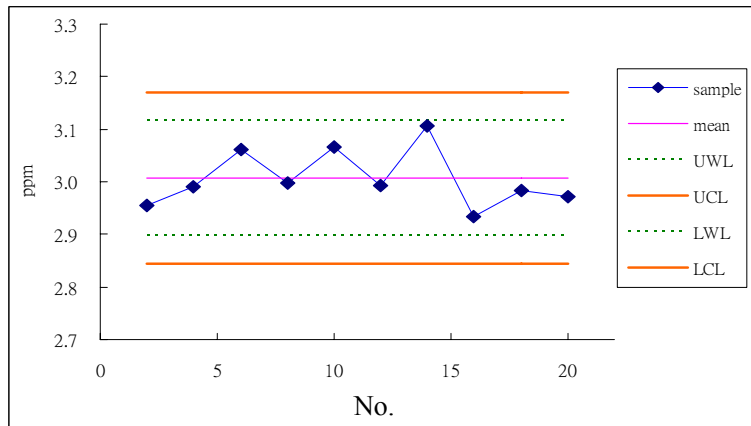


圖 3-14 硝酸根離子重覆樣品分析品管圖

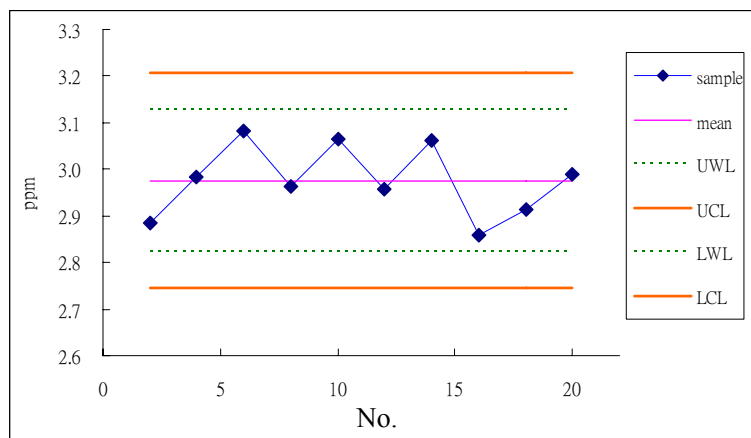


圖 3-15 硫酸根離子重覆樣品分析品管圖

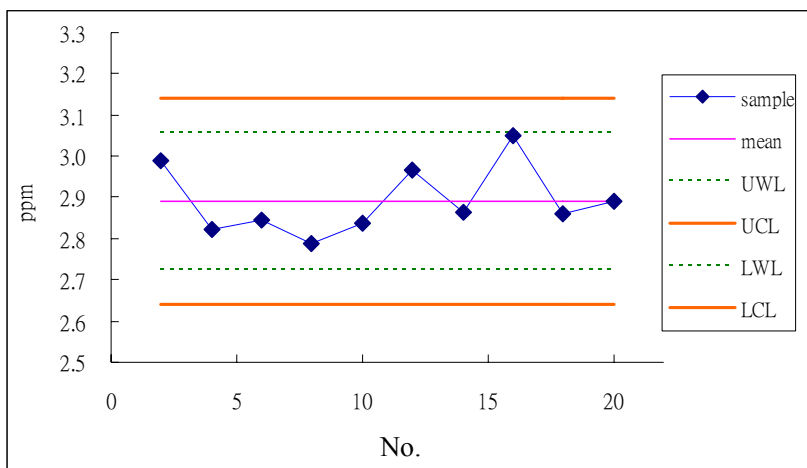


圖 3-16 銨根離子重覆樣品分析品管圖

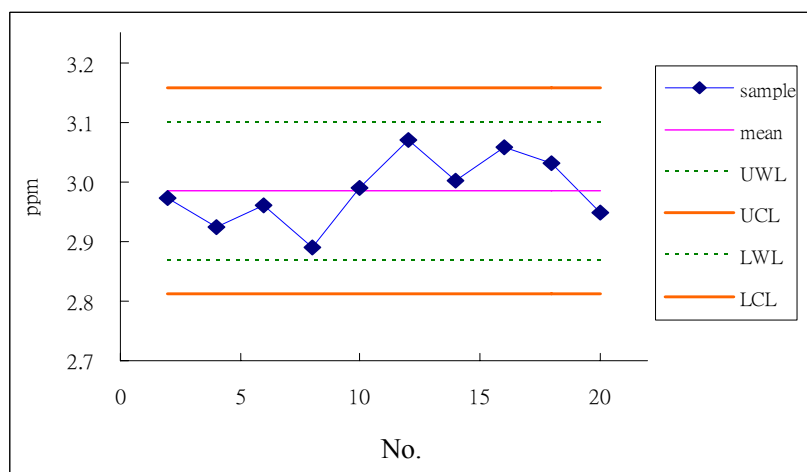


圖 3-17 鈣離子重覆樣品分析品管圖

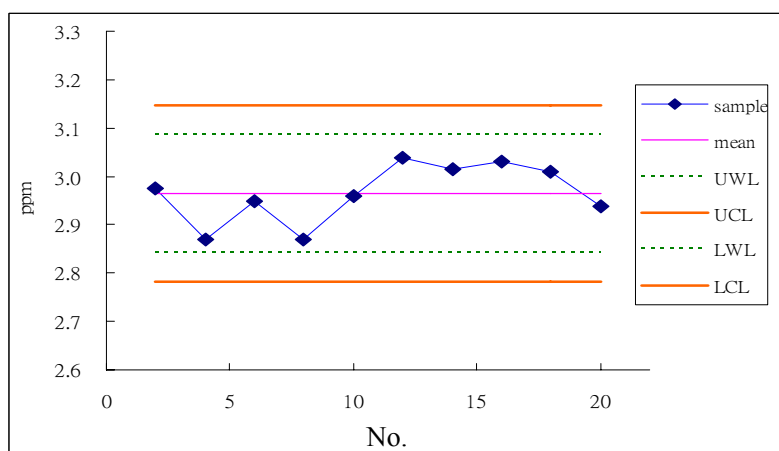


圖 3-18 鈉離子重覆樣品分析品管圖

第四章 結果與討論

4-1 雨水化學特性探討

本研究自 2006 年 1 月至 2007 年 12 月止，共收集到 307 個雨水樣本，其中台北陽明山區有 97 個，嘉義鄉間有 210 個。在酸沉降的化學特性方面，可以藉由降水水質的分析結果來加以討論（分析結果詳見附錄 1、2）。台北陽明山雨水樣本分析結果經過資料篩選後，雨水 pH 值之雨量加權平均為 4.38，範圍介於 3.99-5.02 之間。97 個樣本中有 91 個 $\text{pH} < 5.0$ ，顯示陽明山區雨水有 94% 的酸化現象，主要分布在 4.0-4.8，佔 51%（圖 4-1）。嘉義雨水樣本之 pH 值雨量加權平均為 5.11，範圍介於 4.01-6.50 之間。210 個樣本中有 87 個 $\text{pH} < 5.0$ ，當地雨水酸化機率为 41%，主要分布在 5.0-6.0，佔 48%（圖 4-2）。陽明山降水之酸沉降機率較嘉義高，可能是受到接近市區污染或季節性的跨國長程傳輸所影響。觀測期間所有樣品 pH 值最低前十名（表 4-1），大多為台北陽明山測站冬季的雨水樣本；嘉義鄉間測站樣本僅占三件，且皆發生於秋颱影響期間（表 4-2）。

化學成份方面，本研究所使用之離子層析儀可測量的陰離子有 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{2-} 、 SO_4^{2-} ，陽離子有 Li^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} 。但北、嘉兩地雨水樣本中之 F^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 PO_4^{2-} 、 Li^+ 、 Sr^{2+} 濃度大多低於偵測極限，因此在本研究中將不列入討論範圍。降水中離子平衡比顯示（圖 4-3），陽明山雨水陽離子對陰離子當量濃度總和比為 1.31，少數出現異常值之樣本以陽離子濃度總合大於陰離子濃度總合為主，這可能與未檢驗到的項目，如：亞硫酸根、碳酸根及碳酸氫根等離子有關，或與部份離子的虧損現象有關，將於下節討論。嘉義地區雨水中離子當量濃度總和比為 1.28，多在平衡範圍內，離子平衡較穩定。雨量加權統計顯示（圖 4-4、表 4-3），台北陽明山降水中陰、陽離子成份各占 38% 和 62%，鹼性離子總量較多，離子濃度貢獻比依次為 $\text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{H}^+$ 。雨水中陰離子以 SO_4^{2-} 為主，其次是 Cl^- 和 NO_3^- ，其中

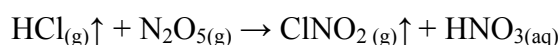
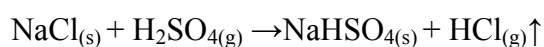
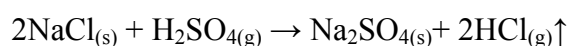
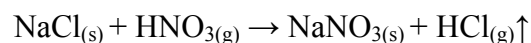
$[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-]$ 值約為2.6，顯示 SO_4^{2-} 對雨水酸化之影響遠超過 NO_3^- ，來源可能與當地火山背景、附近都市交通頻繁或境外傳輸等有關。林等（1996）曾探討長程傳輸的影響，指出過量的硫酸根應有相當程度源自境外輸入，而非當地排放源所造成。此外，台灣為海島性氣候，該站的 $[\text{Cl}^-]/[\text{Na}^+]$ 約為1.1，略小於海鹽中之1.8，顯示可能有氯離子虧損現象，將於下節討論。雨水中陽離子部分以 Na^+ 為主，其次為 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ ，來源可能為鋒面帶來的海鹽、塵土或當地人為活動所致，各種因素都會提高陽離子在雨水中的比率。嘉義鄉間雨水樣本中之陰、陽離子成份各占37%和63%，離子濃度貢獻比依次為 $\text{NH}_4^+ > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{H}^+$ 。雨水中陰離子以 Cl^- 為主，其次是 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 。該站之 $[\text{Cl}^-]/[\text{Na}^+]$ 約為3.3，高於平均海鹽之1.8，顯示氯、鈉離子主要源自海水飛沫。陽離子部分以 NH_4^+ 為主，其次是 K^+ 、 Ca^{2+} ，來源為天然鹼性土壤、及當地鄉村之農耕活動旺盛所致。研究發現，嘉義地區的致酸物質被空氣中大量鹼性物質中和稀釋，導致雨水酸鹼值較台北陽明山偏高。綜合北、嘉兩地降水化學比較，北部山區降水呈全面性酸化現象，除了接近都會區交通污染嚴重外，地理位置上也易受東北季風帶來的境外移入影響水質。嘉義鄉間降水酸化輕微，此與鹼性中和離子濃度相對較高有關，雨水成份顯示受當地農產活動影響顯著。

4-2 氯損失現象

陽明山雨水之陰、陽離子濃度平衡比於上節討論中顯示出不平衡現象，嘉義則於合理範圍以內，推測陽明山地區雨水中出現的不平衡現象可能與部份離子損失有關。

海洋表面受風及潮汐的影響下產生液態的濺沫，稱之海水飛沫。四周環海的台灣，人為活動造成的大量酸性物質及海水飛沫在大氣環境中扮演著很重要的角色。根據統計，全球每年海水飛沫通量約為 10^3 - 10^4 Tg，其中半數為氯離子（Roland von Glasow, 2008）。當其受大氣環境的影響時，飛沫中的海鹽氯化鈉（NaCl）

會與周遭大氣的酸性氣體產生化學反應，即氯離子(Cl⁻)會與酸性氣體(H₂SO₄、HNO₃、N₂O₅)反應生成HCl_(g)、ClNO_{2(g)}氣態揮發於空氣中，形成氯離子損失現象(氯虧損)(Osthoff et al., 2008; Chang et al., 2007)。其中，N₂O_{5(g)}與Cl⁻的化學反應僅於夜間進行(圖4-5)，因為白天容易受光解作用干擾(林煜棋, 2006)。



由氯虧損的概念，可估計海水飛沫的貢獻。以下為氯離子損失法的基本假設(Ohta and Okita, 1990)：

- (1) 所採集氣膠中的Na⁺完全來自於海水飛沫
- (2) 由於HNO_{3(g)}比SO_{2(g)}有較強的酸度與較佳的水溶性，因此當氯離子損失反應發生時，海水飛沫中的NaCl_(s)將會優先與HNO_{3(g)}反應形成NaNO_{3(s)}，直到HNO_{3(g)}缺乏時，NaCl_(s)才會與SO_{2(g)}進行反應。

對於源自海水飛沫氣膠中氯離子的理論濃度值(Cls⁻)，可由採樣後分析所得的Na⁺濃度估算而得：

$$\text{Cls}^- = f \times \text{Na}^+ \quad (\text{量測值})$$

f : 海鹽中Cl⁻/Na⁺的比值

Na⁺ : 雨水標本的濃度值

$$\Delta\text{Cl}^- = \text{Cls}^- - \text{Cl}^- \quad (\text{量測值})$$

$$= f \times \text{Na}^+ \quad (\text{量測值}) - \text{Cl}^- \quad (\text{量測值})$$

$$\text{氯損失率}(\%) = \Delta\text{Cl}^- / \text{Cls}^- \times 100\%$$

ΔCl⁻表示產生氯損失反應的氯離子濃度值，也就是氯離子損失，而氯損失率的計算為 ΔCl⁻ / Cls⁻ × 100%。

依據先前假設，定義量測的 NO_3^- 當量數與氣相逸出 Cl^- 的當量數之差值為殘餘的 NO_3^- 當量數，並以 $[\delta \cdot \text{NO}_3^-]$ 表示：

$$[\delta \cdot \text{NO}_3^-]_{\text{eq}} = [\text{NO}_3^- (\text{量測值})]_{\text{eq}} - [\Delta \text{Cl}^-]_{\text{eq}}$$

其中 $[\]_{\text{eq}}$ 表示當量數，單位為 $\mu\text{eq}/\text{m}^3$

當 $[\delta \cdot \text{NO}_3^-]$ 為正值時，氯離子損失完全由 $\text{HNO}_3(\text{g})$ 與海水飛沫中 $\text{NaCl}(\text{s})$ 反應所造成，此時尚有剩餘的 $\text{HNO}_3(\text{g})$ 則可能會與其他物質反應而存於大氣中。反之當 $[\delta \cdot \text{NO}_3^-]$ 為負值時，則表示大氣環境中 $\text{HNO}_3(\text{g})$ 是處於缺少的情況，使得 $\text{SO}_2(\text{g})$ 可與海水飛沫中的 $\text{NaCl}(\text{s})$ 進行反應而造成其餘的氯離子的損失。

上節提到陽明山雨水中 $[\text{Cl}^-]/[\text{Na}^+]$ 約為1.1，小於海鹽中之1.8，且陰、陽離子總和比略不平衡。排除未檢驗到的項目而言，可能有氯離子虧損現象。若依上述假設估計，陽明山雨水中氯的損失率約為47%，氯與硝酸根的結合率約78%，與硫酸根的結合率約22%。由氯虧損現象可知，欲於雨水中偵測揮發性物種（如 ClNO_2 、 Cl_2 ）是很困難的，因為它們溶水性差，有可能造成陰陽離子濃度不平衡。

4-3 時間趨勢變化

深入探討降水化學之每場、月、季變化，可以了解降水水質在不同時間尺度上之分佈特性及趨勢變化。北、嘉兩地在每個降水事件之雨量與pH值間的相關性方面（圖4-6至4-9），發現降雨量和酸鹼值間並無顯著關係，這與當時大氣中的物質含量、天氣類型、採集雨水狀況等有關。月份而言，由雨量分布可知（圖4-10），陽明山降水高峰期為11月，無明顯的乾、濕季區分。嘉義降水高峰期為6-8月，主要為太平洋高壓氣團及颱風過境所引發強盛西南氣流所帶來的降雨，而乾季為12-2月。酸鹼值月平均而言（圖4-11），十月的pH值偏低，可能與這兩年的秋颱次數較多有關。雨水pH值及各離子濃度變化之月平均如圖4-12、13所示。

在季節變化方面（圖4-14），嘉義地區雨水pH值皆高於台北陽明山，尤其冬季差距最大。北部山區降水於冬季時pH值最低，水質酸化頻率最高，夏季時

則 pH 值最高；嘉義降水在夏、秋兩季期間 pH 值偏低，而冬季時最高，水質相對較鹼。影響降水 pH 值的原因除了大氣環境種類、元素含量之外，氣象條件（如風速、風向、溫度、相對溼度、季節變化、降雨型式、降雨強度、降雨量、降雨間隔及降雨延時等）與地形特性都是主要因素。由雨水 pH 值與降雨量間的季節性變化趨勢顯示（圖 4-15、16），陽明山在冬季時水質較酸，致酸原因除了當地自然與人為的來源外，還可能受東北季風帶來的外來物質，在降雨事件發生時被沖刷下來，導致 pH 值降低。嘉義地區降水易酸化的季節在夏、秋兩季，主要原因是平常降雨量少，夏季日照強，光化反應強烈，酸性物質產生相對提高，水中致酸物大多經由颱風或西南氣流帶下，使得雨水 pH 值下降，冬季則相反。在離子濃度方面（圖 4-17、18），陽明山在夏、冬兩季時差異性最大，降水中差異大的項目有 H^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} ，平均夏季離子濃度較低，雨水 pH 值偏高；冬季離子濃度高，尤其 SO_4^{2-} 有明顯升高趨勢，海鹽離子 Cl^- 及 Na^+ 也具高濃度，乃因東北季風夾帶海鹽飛沫影響所致，顯示在季風吹拂下，大氣物質有跨國輸送的影响。由此可知，北部山區降水化學成份深受地域性、海水鹽沫、外來塵土、颱風甚至是火山物質的影響。反觀嘉義地區，離子濃度在夏、秋兩季與冬季時差異性最大，水質中差異大的項目包涵 Mg^{2+} 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} ，平均夏、秋兩季離子濃度較高，冬季較低。由於平日雨量稀少，農業活動旺盛，施肥時會增加大氣中鹼性離子並平衡大氣中過量的酸性離子，於是在春、秋兩季 pH 值有明顯偏高現象。直到夏季，降雨機率大增，陣雨或颱風帶來的大量雨水將空氣中受污染的懸浮微粒清除並降至地表，導致雨水的 pH 值相對偏低。

4-4 降水離子來源與天氣類型

表 4-4、4-5 為陽明山區與嘉義降水離子間相關係數矩陣。北部山區降水中， SO_4^{2-} 與 $nss-SO_4^{2-}$ 有顯著正相關，顯示 SO_4^{2-} 的來源與 $nss-SO_4^{2-}$ 有密切關係，為降

低山區雨水酸鹼值之主因。陽離子方面，大多與 H^+ 值呈中度相關，其中以 Na^+ 的相關係數最大，顯示 Na^+ 濃度高時可與雨水中酸性物質中和，對 pH 值影響很大。 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 $nss-SO_4^{2-}$ 間均呈高度相關，有相似特性，與海鹽、當地火山背景或人為活動影響有關。 SO_4^{2-} 與 NO_3^- 為中度相關，顯示兩地區的硫氮化物除了當地排放外，可能還有來自境外傳送的污染物輸入。另外， NO_3^- 與 NH_4^+ 呈高度相關，推測硝酸鹽主要是以硝酸銨氣膠型態存在。嘉義地區降水， H^+ 與其他離子並無明顯相關。 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 呈高度相關，有相似特性，與海鹽的貢獻有關。 K^+ 跟 Cl^- 呈高度相關，可能受人為活動或塵土影響。 NO_3^- 與 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 與 Ca^{2+} 呈中度相關，推測硝酸鹽與硫酸鹽主要以硝酸銨及硫酸銨氣膠型態共存。離子來源簡單歸類如下：

人為活動	..與 H^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 相關
農業活動	..與 NH_4^+ 有關，有時與 K^+ 相關（嘉義受此影響較大）
海鹽	..與 Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 相關（陽明山受此影響較大）
塵土	..與 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 相關
火山活動	..與 Cl^- 、 SO_4^{2-} 相關

降水離子來源與氣候因子有相當密切關係(王碧等，2003；曾德民，2006)。過去研究指出，台灣依不同的天氣類型可以解釋各個降水事件中，所伴隨的雲系來自何方，藉此清楚分析降水特性是否為當地或經由長程傳輸所造成之影響(Lin et al., 1999)。台灣冬季受蒙古高氣壓影響，盛行東北季風，經過污染嚴重的大陸、日本及韓國，最終傳送至台灣，帶來的離子大多高於夏季颱風或陣雨，使其濃度增加，降水品質相當程度受到境外長程傳輸的影響。例如，易受東北季風影響的陽明山於 2006 年 2 月 12 日降水資料顯示，該場雨水 pH 值為 3.8，比平均值 4.4 偏低，各離子濃度大增，尤其致酸離子更是顯著。由模擬氣流回歸軌跡圖與地面天氣圖顯示(圖 4-19、20)，該時間內的大氣物質以內陸貢獻為主。此外，常發生於冬末初春的沙塵暴 (Yellow Sand) 是東亞地區春天相當活躍的現象，此現象

常伴隨著與西伯利亞及南蒙古地區強風所形成的冷鋒有關（劉啟文，2005）；在沙塵暴期間，沙塵微粒可以揚升到 6000 公尺的高空（Iwasaka et al., 1988），而且會傳送到數千公里遠的中國東部、南韓、日本，甚至傳到更遠的太平洋地區（Kotamarthi and Carmichael, 1993；黃譯檉，2002）；台灣地區並非大陸沙塵暴發生後向外傳送的主要地區，僅在特殊氣象條件配合下會造成空氣品質不良。沙塵暴發生後，顆粒較大的粒子大多影響源地或鄰近地區後即沈降至地表，顆粒較小的粒子可以向上傳送到 1000-3000 公尺的高空，再藉由西風帶的氣流向東傳送。當遇有南北向的大陸冷高壓系統，使有利於高空層原為東西向吹送的沙塵，透過低層盛行的東北季風向南吹送，進而影響台灣地區，甚至傳送至更低緯度地區（王證權，2001）。因此，隨東北季風帶來的許多內陸地殼源離子混著人為活動產生的懸浮物質南移，都會影響台灣的降水品質。例如，2006 年 3 月 17 日，大陸蒙古由於高低壓間梯度力增強影響，引發一波原地起沙強度三的沙塵暴，3 月 18 日天氣系統東移，19 日侵台。北部陽明山測站於 19 日收到的當週雨水標本顯示，pH 值為 4.3，與平均值 4.4 相去不遠。該期氣流軌跡圖與地面天氣圖顯示（圖 4-21、22），沙塵暴除了帶來內陸致酸物外，也帶來大量地殼鹼性離子中和所致。2008 年 5 月 6 日自由時報新聞稿中環保署指出（附錄 3），近二年在鹿林山監測站發現，當冬、春二季氣團來自於中國大陸時，挾帶中國工業區燃煤污染物的大量燃煤空污隨著東北季風氣流，從華北、華中傳輸到台灣，造成空氣中重金屬「汞」和二氧化硫濃度明顯偏高，尤其在中國沙塵影響期間，最高可達背景值五倍，影響範圍達三千公尺高山。特別是去年十二月廿九日，受中國沙塵的龐大氣團來襲影響，空氣中的懸浮微粒及二氧化硫濃度分別上升到背景值的四到五倍，幾乎是夏季背景值的五倍。

相對於台灣北部易受春、冬兩季境外傳輸影響，嘉義地區雨水成分變異大的季節在夏、秋兩季。台灣夏季受太平洋高壓影響，盛行西南季風，由颱風、局部地區雷陣雨和西南氣流帶來的大量降雨會將雨水中的離子濃度稀釋，也會挾帶部

分海鹽離子入侵，如 Cl^- 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 等。例如，2006 年 8 月的桑美颱風（中颱），於關島東南方海面生成，生成後向西北方向移動，並於 8 月 10 日侵台，通過臺灣北部海面後，10 日當天 17 時左右由馬祖北方進入大陸福建。南部嘉義所收到 8 月 10 日的那場雨水顯示，pH 為 4.8，比過去兩年的平均值 5.11 為低。由氣流模擬軌跡圖與地面天氣圖可知（圖 4-23、24），氣流主要來自太平洋，而雨水 pH 值偏低的原因可能為嘉義地區平日降雨量少，夏季日照強，光化反應強烈，所產生之酸性物質受颱風或西南氣流帶來的雨水沖刷後，使雨水 pH 值下降。降水化學成分除了受來源影響外，也和雨量多寡有著密切關連。2006 年 7 月 8 日的艾維尼颱風侵台（圖 4-25、26、28），降雨量集中於台灣南部，嘉義地區雨水的 pH 值為 5.2（降雨量為 95mm），相較於 2006 年 8 月 10 日的桑美颱風，降雨量集中於台灣北部，嘉義地區雨水的 pH 值為 4.8（降雨量為 22mm，圖 4-27）偏高，可能是因為大量雨水造成的稀釋作用所致。

陳正平等（1996）指出，夏季高雄所排放出的污染物會藉由西南氣流傳送全台，不過含量比起台灣各地地方性的排放為少，且夏季西南氣流相對於冬季的東北季風而言，能帶來的致酸或致鹼物能力有限。整體而言，台灣夏季主要污染物來源為當地貢獻，冬季以東北季風帶來的境外傳輸為主。冬季鋒面雨、春雨及沙塵暴天氣類型為台灣地區最酸的降雨，降水性質受境外傳輸影響遠大於當地，其重要性不容忽略，而最不酸的則屬颱風降雨。

4-5 酸沉降量

雨水的酸鹼值是各化學物質綜合的結果，非由單一物種所決定。酸性沉降中以硫酸鹽和硝酸鹽對雨水的酸度影響最大（黃柏誠，2002），在都市或工業區的雨水中所含致酸物的含量都較高，占陰離子總量比例也隨之增加。酸沉降對生態環境的影響，可由酸沉降量來判定，當作決定其負荷能力的指標，而非僅由降水中的 pH 值大小而定。因降水所致的溼沉降量，其計算公式如下：

$$Fw = Ip \times Ci$$

Fw 大氣中物質隨降雨而下的沉降量（單位為公斤/公頃，kg/ha）

Ip 單位面積降水量（單位為公升/公頃，l/ha）

Ci 雨水中的離子濃度（單位為公斤/公升，kg/l）

根據雨量及化學分析結果，計算本研究兩年觀測期間各測站每年平均總雨量、離子濃度及沉降通量（表 4-6）。

結果顯示，觀測期間的年平均總雨量以 2006 年較高，陽明山與嘉義分別為 4633 及 2318 公釐。 SO_4^{2-} 沉降量以陽明山區為最高（300 公斤/公頃/年），約為嘉義鄉間（49 公斤/公頃/年）的六倍，此乃因當地 SO_4^{2-} 濃度特別高所致。比較台灣中部山區（烏石坑）每年 SO_4^{2-} 沉降量 31.13 公斤/公頃/年（薛美莉，2000），太平洋區的斐濟 12-16 公斤/公頃/年及美國最嚴重東部之最大值 29 公斤/公頃/年（NAPAPA，2000），台灣北部山區至少超過十倍，如此高的硫酸沉降量，是否對生態環境造成影響值得加以重視。 NO_3^- 沉降量方面，陽明山（79 公斤/公頃/年）約為嘉義地區（37 公斤/公頃/年）的兩倍，可能導因於常年降雨量較充沛之故。過去台灣地區酸沉降分佈資料顯示，北部都會區及西部的硝酸年平均沉降量約為 30-60 公斤/公頃/年，東部及山區則低於 30 公斤/公頃/年，而太平洋區斐濟約 1.9-3.8 公斤/公頃/年，美東地區約為 15-25 公斤/公頃/年（林能暉等，2003）。

酸沉降整體而言（圖 4-29~34、表 4-6），陽明山區降水之沉降量（ SO_4^{2-} 、 NO_3^- ）大於嘉義地區， SO_4^{2-} 沉降量通常比 NO_3^- 沉降量高，此乃因降水中硝酸根離子濃度較低所致。陽明山的 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 沉降量平均為 300 及 79 公斤/公頃/年，相差 3 倍左右；嘉義的 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 沉降量平均為 49 及 37 公斤/公頃/年，其間的差異主要受離子濃度所影響。在酸沉降的時間的變化方面，陽明山測站的酸沈升高值出現在 12-2 月（冬季），低值在 6-8 月（夏季）；嘉義測站的高值與低值則分別出現在秋季與冬季。沉降量除了與元素濃度相關

外，和雨量也有密切關係（圖 4-35~36）。從嘉義 SO_4^{2-} 濃度和其沉降量之月變化圖顯示（圖 4-36），八月的充沛雨量提高了 SO_4^{2-} 的沉降通量；十月份的雨量相對較少，雖然 SO_4^{2-} 的離子濃度較高，但是降雨的清除效應不高，因此其沉降量低。這種現象說明了元素濃度和雨量皆與沉降量有很大關聯。台灣地區本土排放源造成之硫酸根溼沉降量有逐漸降低趨勢，但自 1990 年起，長程輸送之 SO_4^{2-} 沉降量有快速升高趨勢，在 2000 年，北台灣有將近 52% 的硫酸根來自於境外傳輸，其中大多來自於亞洲主要工業發展區域，包括日本、韓國、中國及菲律賓，而中國大陸即佔 85%，這說明了鄰近地區大氣污染物之境外傳輸對台灣的影響程度很大。各天氣型態佔全台全年長程輸送影響比例，北台灣以東北季風最高；中、南台灣以夏季陣雨最高；東台灣則以東北季風最高（彭啟明等，2003）。

硫氧化物所形成的懸浮微粒能在大氣中停滯很久，隨著氣流的擴散能影響的範圍也無遠弗屆，甚至某國排放的污染物質會造成其他鄰近國家雨水酸化。亞洲地區硫化物隨大氣的傳送，在近幾年來相當受重視，許多研究(林能暉等，2003；程萬里，1996；劉啟文，2005)指出，當地的酸沉降常有部份量是由鄰國所貢獻，特別是中國對亞洲鄰國如日、韓及台灣的影響。舉越南為例，其沉降量僅有 35% 來自本國之貢獻，而約有 19% 來自泰國、35% 來自中國。此外，亞洲地區之酸沉降行為有明顯的季節效應，就中國對日本之沉降貢獻而言，春季與冬季時來自中國大陸的貢獻量約為夏季與秋季時之 2.5 倍。

從全球尺度觀察(NAPAP)，硫酸根離子的濕沉降量在北美及歐洲呈現長期下降趨勢、在東亞則呈現上升趨勢；硝酸根離子的濕沉降量在歐洲呈現長期下降趨勢、在北美洲則為持平、在東亞則呈現長期上升趨勢。顯見從全球酸沉降量變化來看，東亞地區為一值得注意之區域，其硫與氮的致酸物對此一區域具有相當貢獻及重要性。

4-6 與各地降水化學比較

台北陽明山區與過去 1981-1997 年台北市區之降水化學比較結果顯示（表 4-7），兩地離子成份中 Cl^- 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 Ca^{+2} 均明顯偏多，顯示兩地普遍受海鹽與當地人為活動影響。針對國內山區降水的比較結果顯示，北部雨水最酸（平均 pH 值 4.8，最低 3.5），中部酸化程度居中（平均 pH 值 4.9-5.5），南部及東南部平均 pH 值 6.4（蕭泓泯等，2007）。此外，海洋飛沫對東北地區雨水化學性質有顯著影響（曾德民，2006）。整體而言，北部山區雨水因鈣、鎂離子濃度較低，故雨水較中南部酸。南部雨水污染源之貢獻量百分比為海水飛沫與塵土 40%、農業活動 24%、酸因子 9%及未鑑定 27%。在各種離子中以鈉與氯受海洋影響最大。但氯也會受人類工業活動而改變，因此可以由鈉的含量來評估雨水中化學元素來自海洋的比率（薛美莉，2000）。

與國外降水研究的分析結果比較顯示，位處火山位置的台北陽明山、義大利埃特納火山，雨水中含有較多的氯與硫酸根等酸性離子。埃特納是目前持續活躍中的火山，但其氯與硫酸根離子含量卻比已休眠的陽明山低，顯示陽明山區受境外傳輸的貢獻量實在可觀。而在人口數多、交通源及工業排放量大的台北陽明山和巴西聖保羅等都會區，雨水中含有較多硫酸根與硝酸根離子。遠離都會區的嘉義縣民雄鄉和印度 Iqbalpur 等地，當地塵土及農耕活動為影響當地降水化學性質的主因。就致酸離子 $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-]$ 而言，埃特納火山地區的比值最高，顯示當地 SO_4^{2-} 對雨水的酸化影響遠超過 NO_3^- ，大量的 SO_4^{2-} 可能與該火山活動至今活躍有關。在鹼性離子 $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{NH}_4^+]$ 的比較方面，台北陽明山區與印度 Iqbalpur 鄉間以鈣為主要中和離子，而嘉義及巴西 Sao Paulo City 則以銨為主要鹼性離子，此一結果可能與塵土及農耕活動有關。

表 4-1 所有樣品 pH 值最低前十名

排名	pH 值	採樣點	採樣日期
1	3.1	嘉義	2007/10/8
2	3.3	台北	2007/2/10
3	3.5	台北	2007/12/30
4	3.6	台北	2007/12/2
5	3.6	台北	2007/12/9
6	3.6	台北	2007/12/16
7	3.7	台北	2007/5/13
8	3.7	嘉義	2007/10/11
9	3.7	嘉義	2007/10/12
10	3.8	台北	2006/2/12

表 4-2 研究期間侵台颱風資訊

編號	中文名稱	英文名稱	警報期間	強度
200723	米塔	MITAG	11/26~11/27	中度
200715	柯羅莎	KROSA	10/04~10/07	強烈
200712	韋帕	WIPHA	09/17~09/19	中度
200708	聖帕	SEPAT	08/16~08/19	強烈
200707	梧提	WUTIP	08/08~08/09	輕度
200706	帕布	PABUK	08/06~08/08	輕度
200613	珊珊	SHANSHAN	09/14~09/16	中度
200609	寶發	BOPHA	08/07~08/09	輕度
200608	桑美	SAOMAI	08/09~08/10	中度
200605	凱米	KAEMI	07/23~07/26	中度
200604	碧利斯	BILIS	07/12~07/15	輕度
200603	艾維尼	EWINIAR	07/07~07/09	中度
200601	珍珠	CHANCHU	05/16~05/18	中度

表 4-3 雨水中陰陽離子比率

陽明山			嘉義	
	Conc(μeq/l)	%	Conc(μeq/l)	%
H ⁺	58.2	6	13.2	2
Na ⁺	215.1	23	72.3	10
NH ₄ ⁺	71.4	8	106.1	16
K ⁺	25	3	93.5	13
Mg ²⁺	97.1	10	71.1	10
Ca ²⁺	110.1	12	84.1	12
Cl ⁻	141.9	15	99.2	15
NO ₃ ⁻	60.6	6	65.8	9
SO ₄ ²⁻	157.8	17	90.1	13
Σ+ /Σ-	1.31	100	1.28	100

表 4-4 陽明山雨水化學成分之相關矩陣

	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
H ⁺	1.00									
Na ⁺	0.64	1.00								
NH ₄ ⁺	0.50	0.56	1.00							
K ⁺	0.56	0.62	0.45	1.00						
Mg ²⁺	0.55	0.95	0.62	0.60	1.00					
Ca ²⁺	0.35	0.75	0.53	0.46	0.79	1.00				
Cl ⁻	0.56	0.88	0.64	0.58	0.89	0.69	1.00			
NO ₃ ⁻	0.64	0.51	0.71	0.55	0.54	0.50	0.67	1.00		
SO ₄ ²⁻	0.86	0.83	0.66	0.63	0.78	0.63	0.73	0.63	1.00	
nss-SO ₄ ²⁻	0.87	0.75	0.64	0.60	0.69	0.56	0.65	0.63	0.98	1.00

註：

$$\text{nss-SO}_4^{2-} = \text{SO}_4^{2-} - \text{ss-SO}_4^{2-}$$

濃度單位 mg/l

$$\text{ss-SO}_4^{2-} = \text{Na}^+ \times 0.2517$$

表 4-5 嘉義雨水化學成分之相關矩陣

	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
H ⁺	1.00									
Na	0.48	1.00								
NH ₄ ⁺	0.05	-0.05	1.00							
K ⁺	0.23	0.00	-0.02	1.00						
Mg ²⁺	0.42	0.77	-0.02	-0.06	1.00					
Ca ²⁺	0.34	0.70	0.16	0.17	0.47	1.00				
Cl ⁻	0.47	0.52	-0.05	0.82	0.40	0.44	1.00			
NO ₃ ⁻	0.14	-0.08	0.65	0.15	-0.04	0.11	0.10	1.00		
SO ₄ ²⁻	0.54	0.54	0.54	0.10	0.39	0.65	0.35	0.45	1.00	
nss-SO ₄ ²⁻	0.12	0.41	0.38	-0.02	0.27	0.49	0.15	0.16	0.69	1.00

註：

$$\text{nss-SO}_4^{2-} = \text{SO}_4^{2-} - \text{ss-SO}_4^{2-}$$

$$\text{ss-SO}_4^{2-} = \text{Na}^+ \times 0.2517$$



表 4-6 陽明山與嘉義降水之總雨量、離子濃度、沉降通量

年份	站位	總雨量	SO ₄ ²⁻ -flux	NO ₃ ⁻ -flux	[SO ₄ ²⁻]	[NO ₃ ⁻]
2006	陽明山	4633	298	35	143	17
	嘉義	2318	49	47	93	58
2007	陽明山	4257	301	122	171	89
	嘉義	2064	49	27	87	73
平均	陽明山	4445	300	79	157	53
	嘉義	2191	49	37	90	66

通量單位 kg/ha/year

濃度單位 μeq/l

雨量單位 mm

表 4-7 本研究區與各地降水化學性質之比較

	陽明山 This study 2008	Taipei King et al., 1998	Sao Paulo Marcos et al., 2007	Mt. Etna Aiuppa et al., 2003	嘉義 This study 2008	Iqbalpur Jain et al., 2007
pH	4.6	4.9	5.2	5.4	5.6	7.1
H ⁺	58.2	31.3	6.3	3.8	13.2	0.1
NH ₄ ⁺	71.4	69.9	32.7	-	106.1	31.1
Na ⁺	215.1	65.3	13.5	51.7	72.3	17.9
K ⁺	25.0	8.2	3.8	4.6	93.6	9.6
Ca ²⁺	110.1	77.0	7.4	66.5	84.1	70.3
Mg ²⁺	97.1	28.0	6.3	20.8	71.2	24.1
Cl ⁻	141.9	86.6	10.7	86.6	99.2	23.4
NO ₃ ⁻	60.6	38.9	20.2	22.9	65.8	8.6
SO ₄ ²⁻	157.8	132.6	24.2	93.1	90.1	28.6
$\frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{NO}_3^-]}$	2.6	3.4	1.2	4.1	1.4	3.3
$\frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{NH}_4^+]}$	1.5	1.1	0.2	-	0.8	2.3
Period	2006-2007	1981-1997	2002	1990-1991	2006-2007	2002-2004

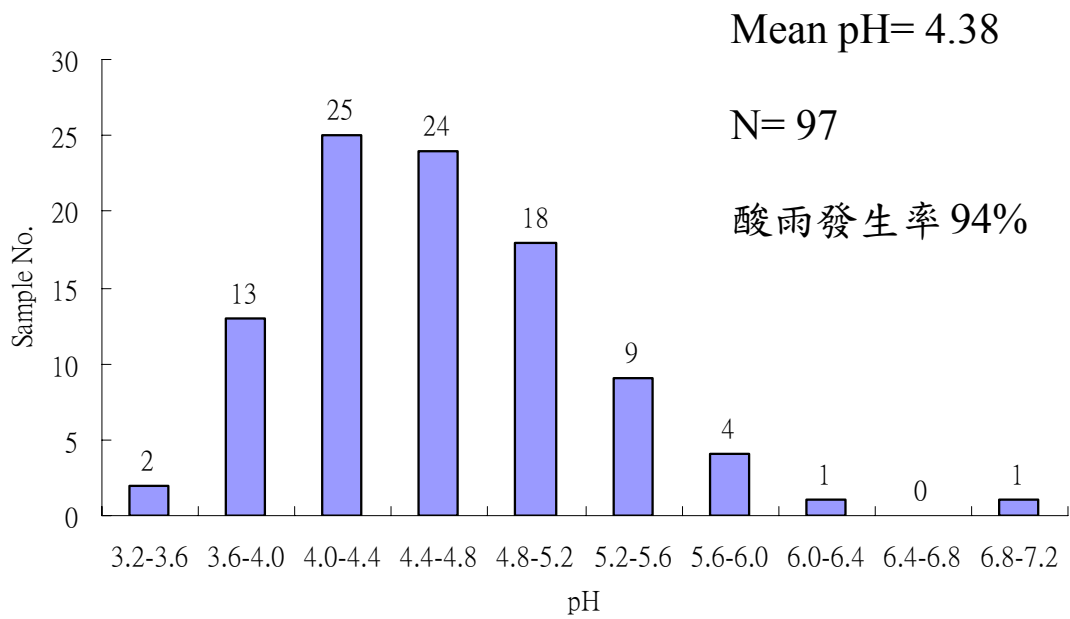


圖 4-1 陽明山雨水 pH 值之頻率分布

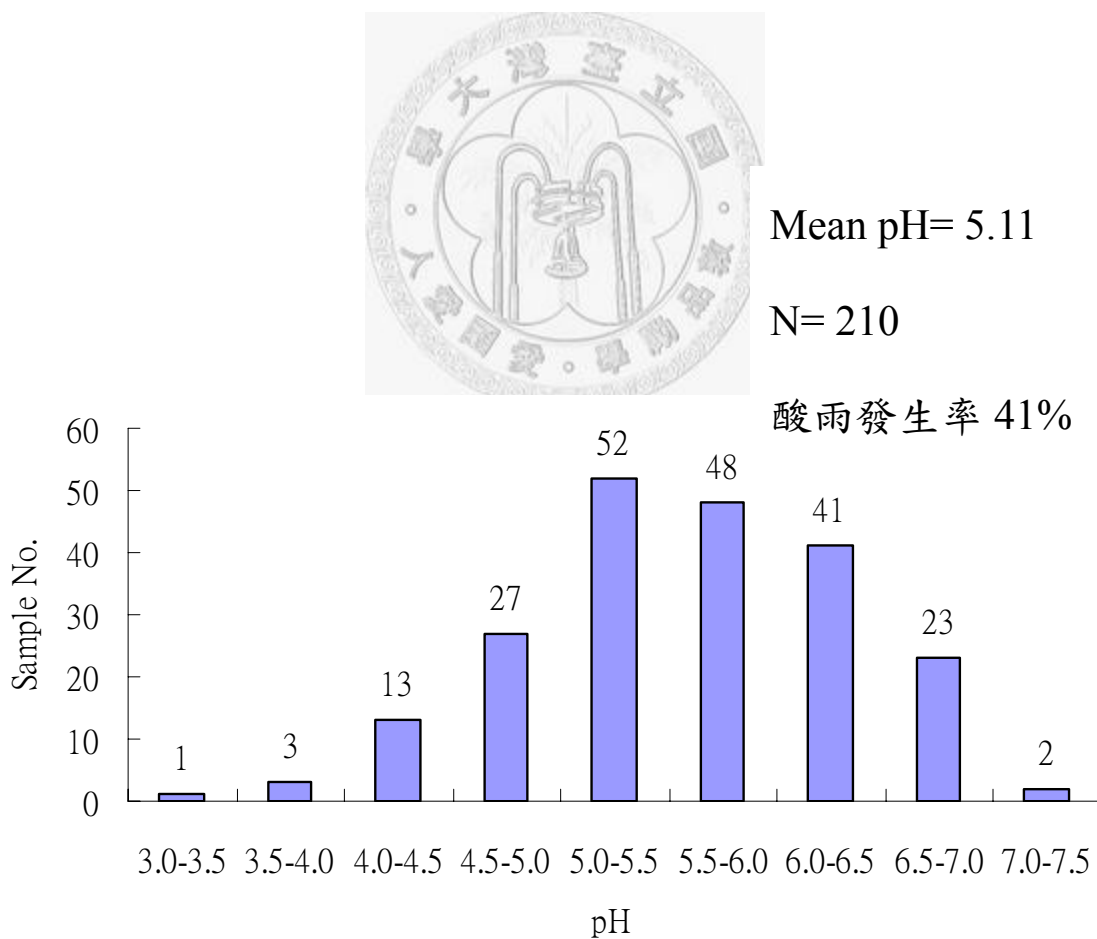


圖 4-2 嘉義雨水 pH 值之頻率分布

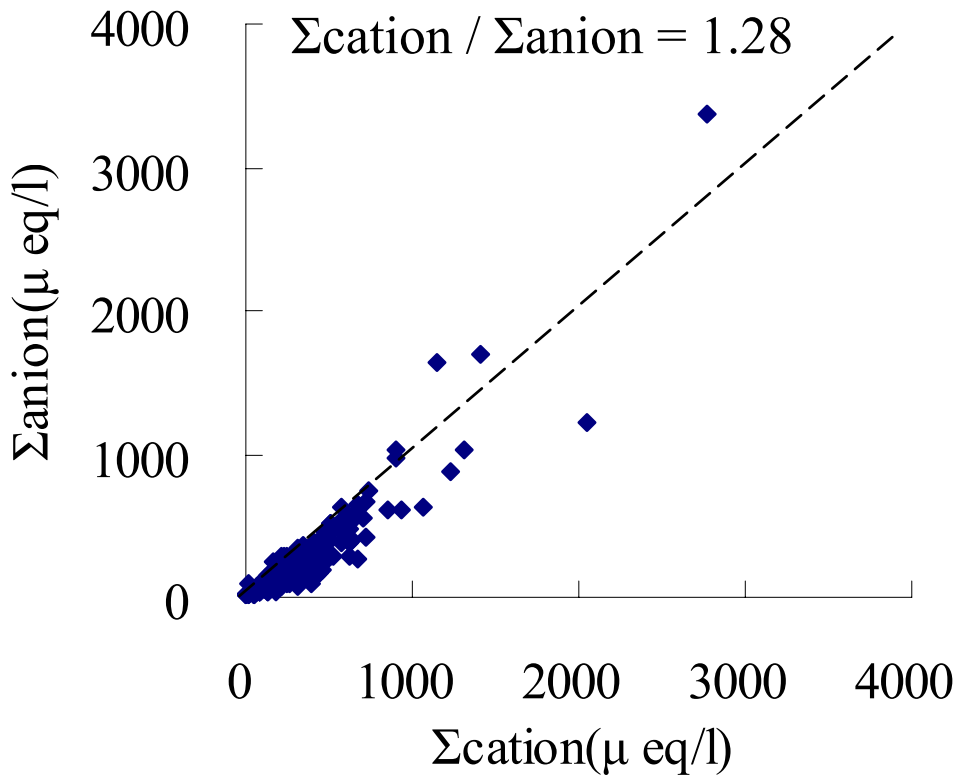
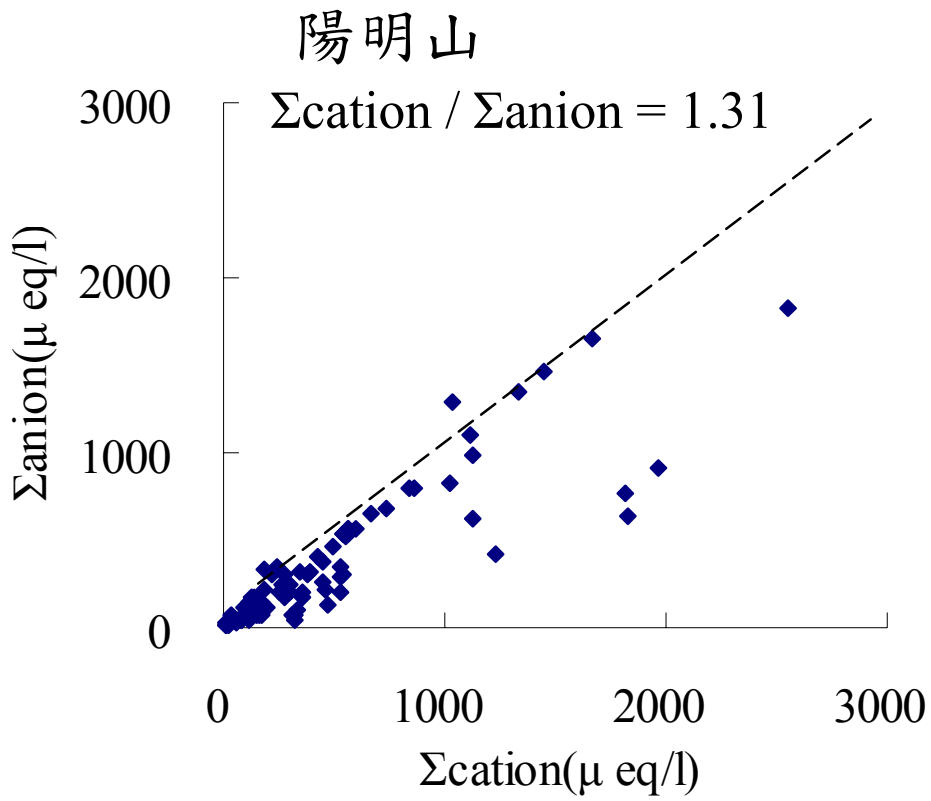
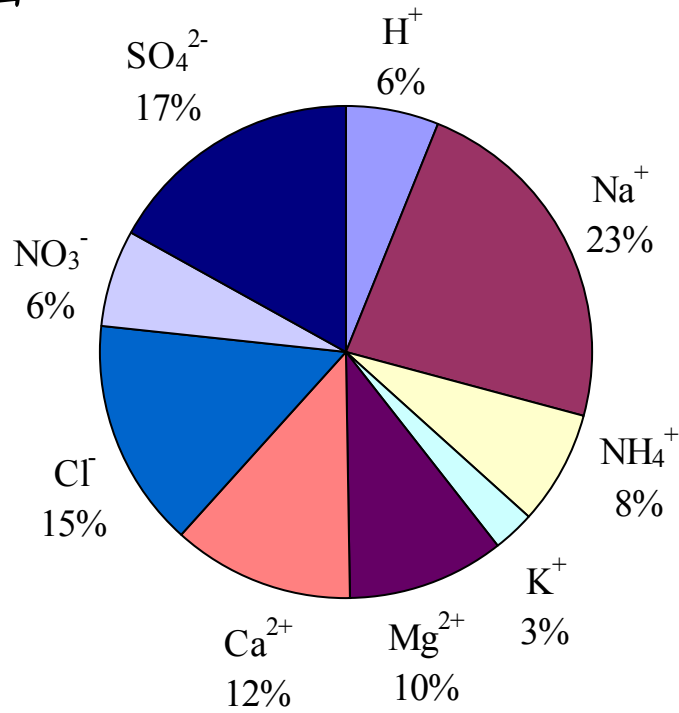


圖 4-3 陰、陽離子之當量濃度總和比

陽明山



嘉義

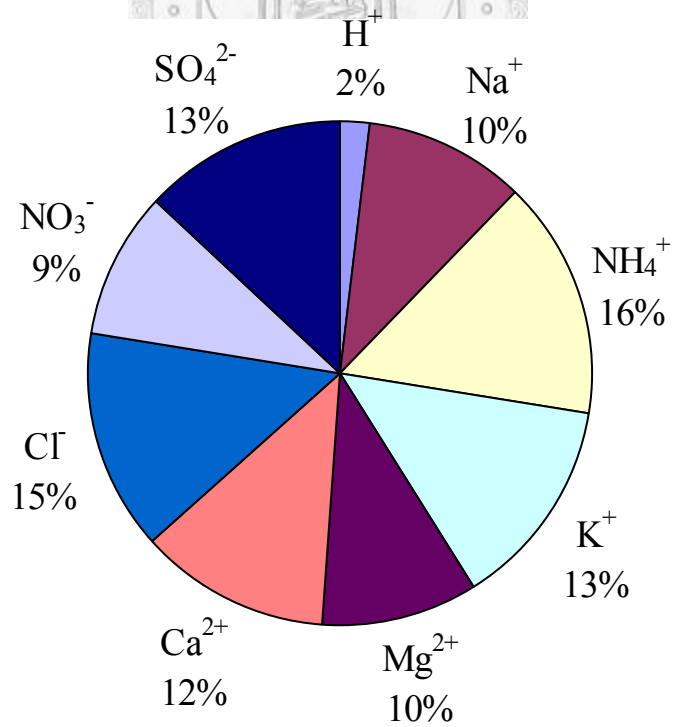


圖 4-4 降水中離子濃度貢獻比

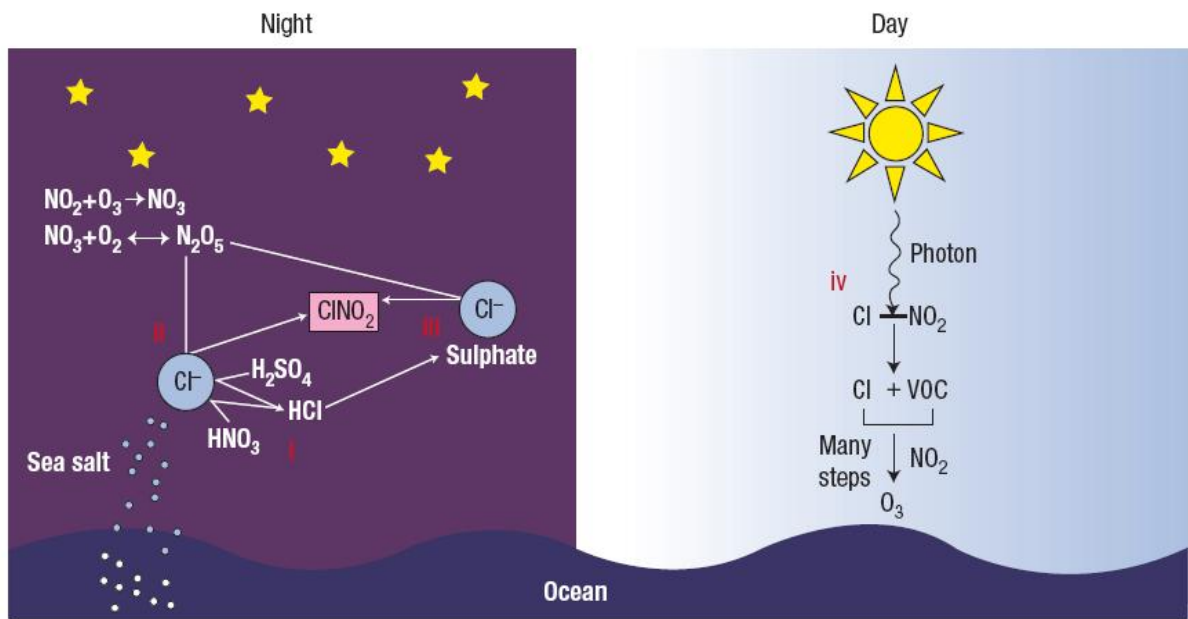


圖 4-5 氯離子於受污染的海岸邊界之晝夜變化 (Von Glasow, 2008)

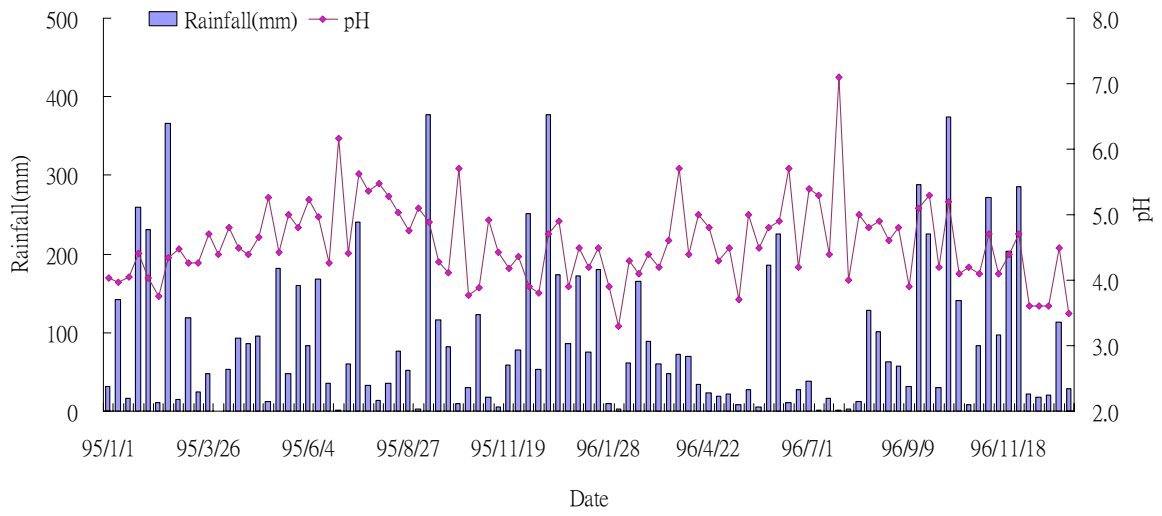


圖 4-6 陽明山降水之酸鹼值與雨量之時間序列分布

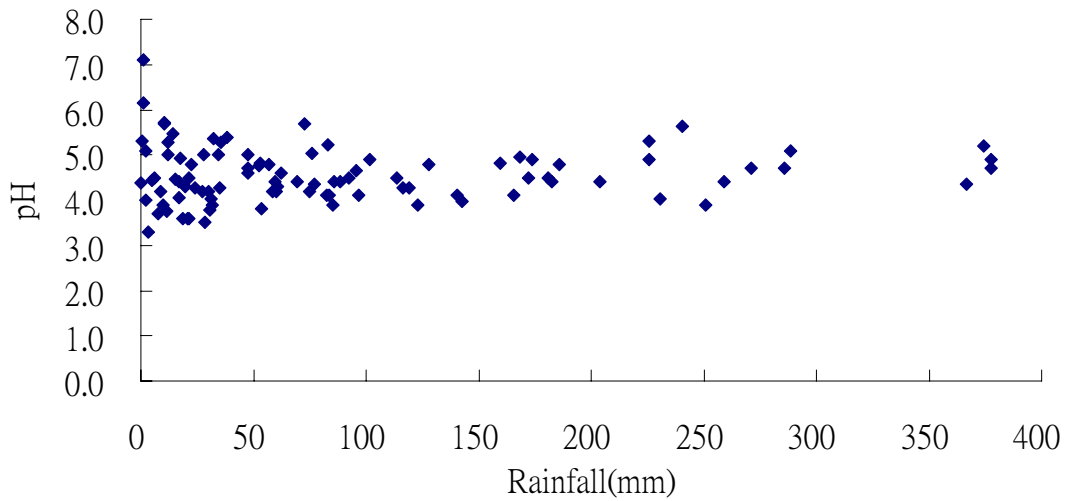


圖 4-7 陽明山降水 pH 值與雨量相關圖

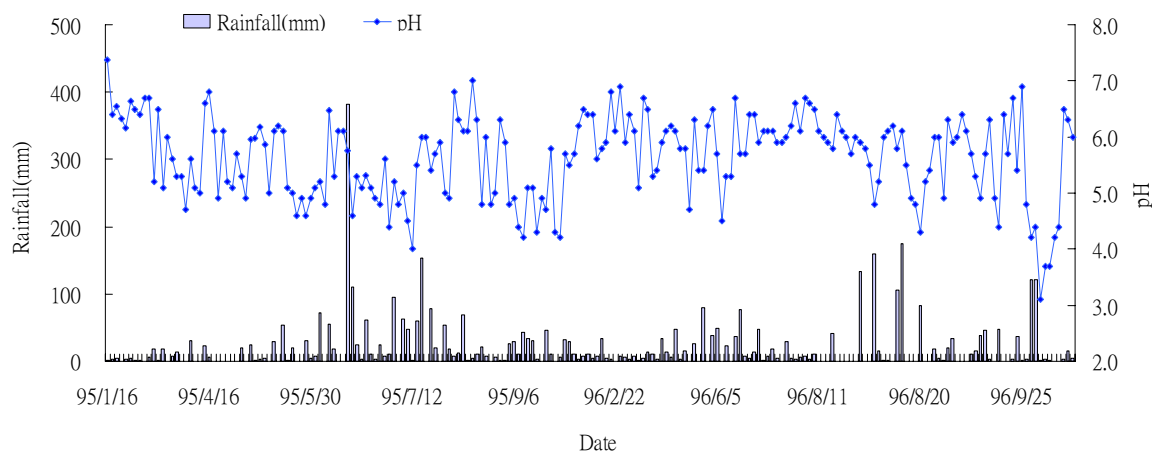


圖 4-8 嘉義降水之酸鹼值與雨量之時間序列分布

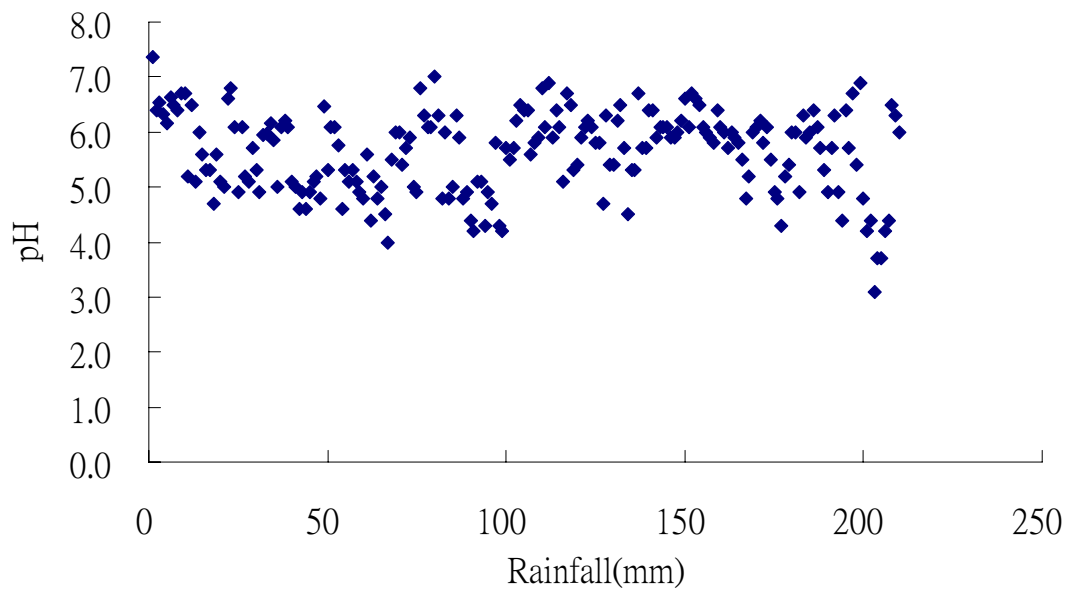


圖 4-9 嘉義降水 pH 值與雨量相關圖

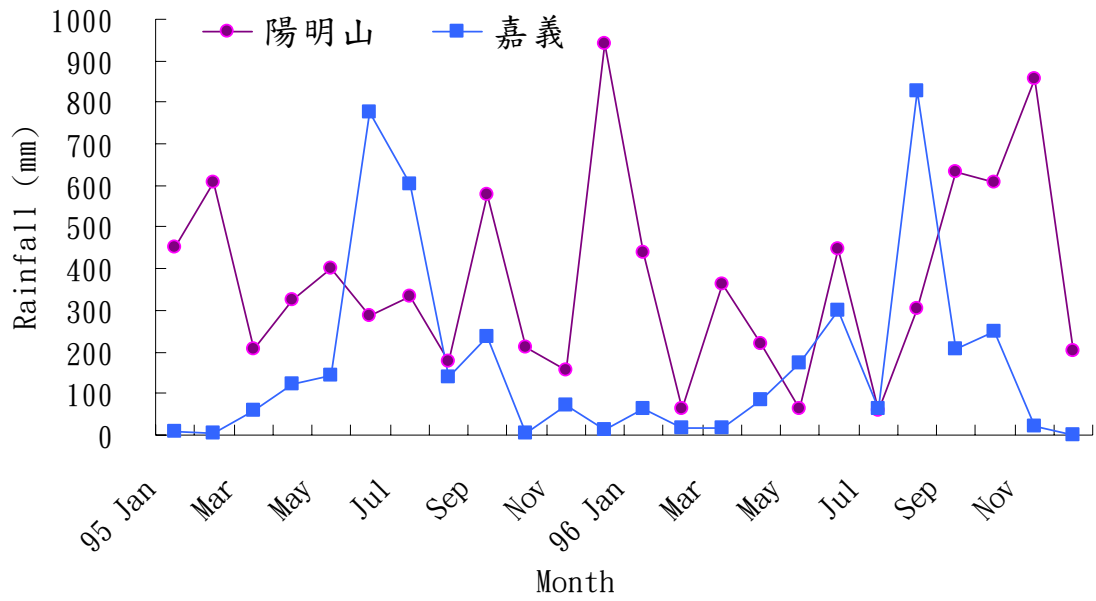


圖 4-10 陽明山和嘉義之每月降雨量分布

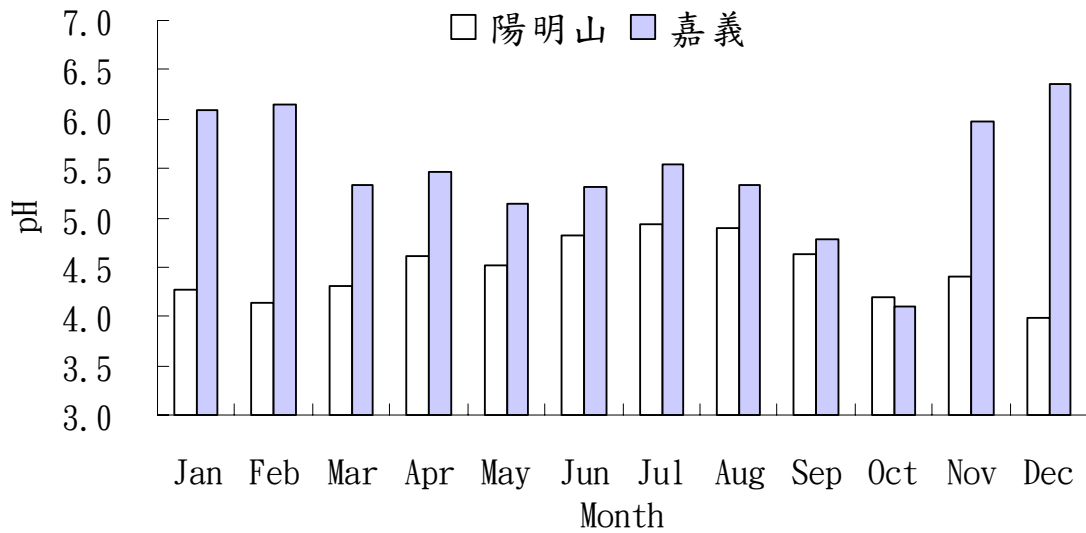
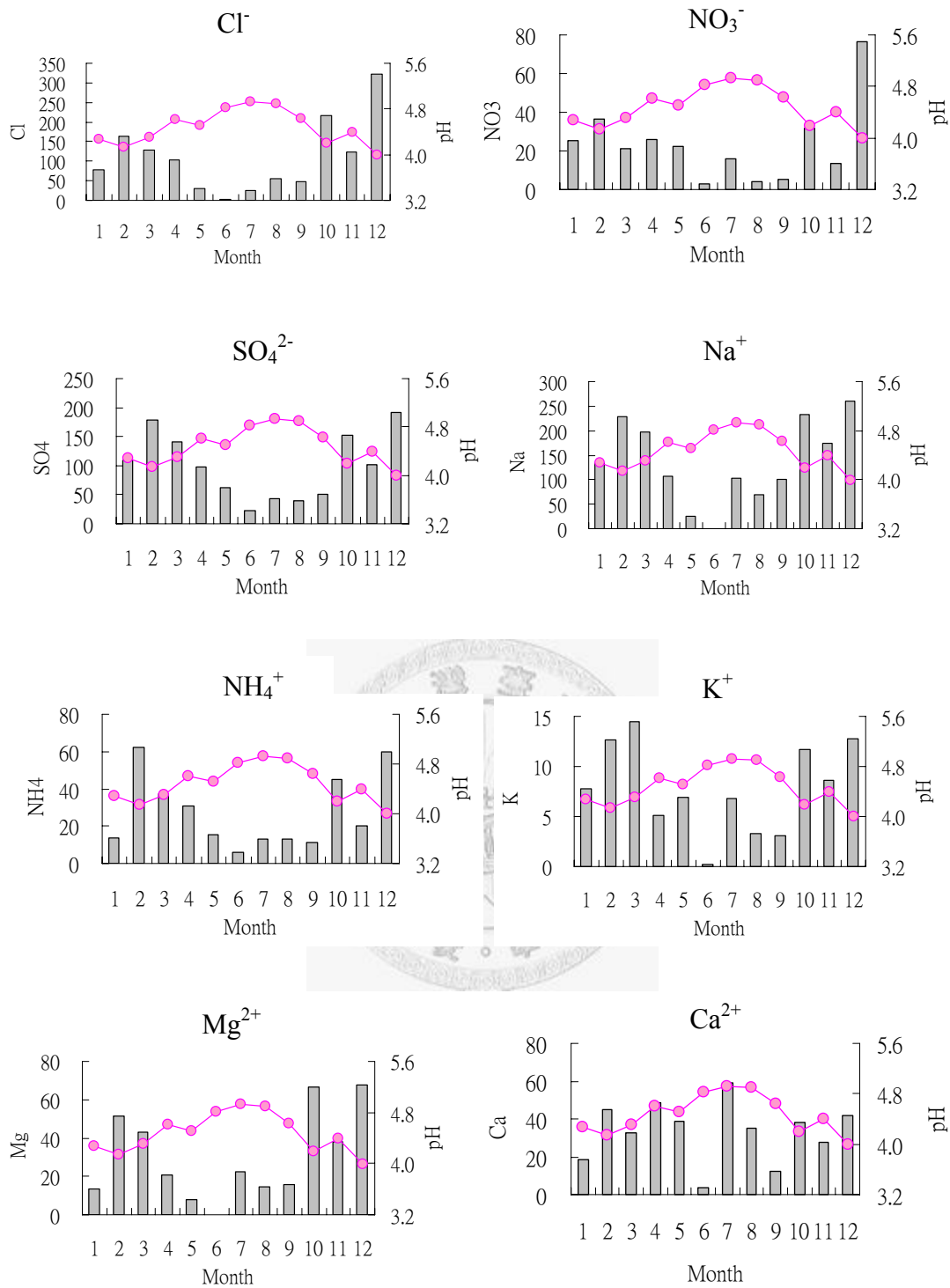
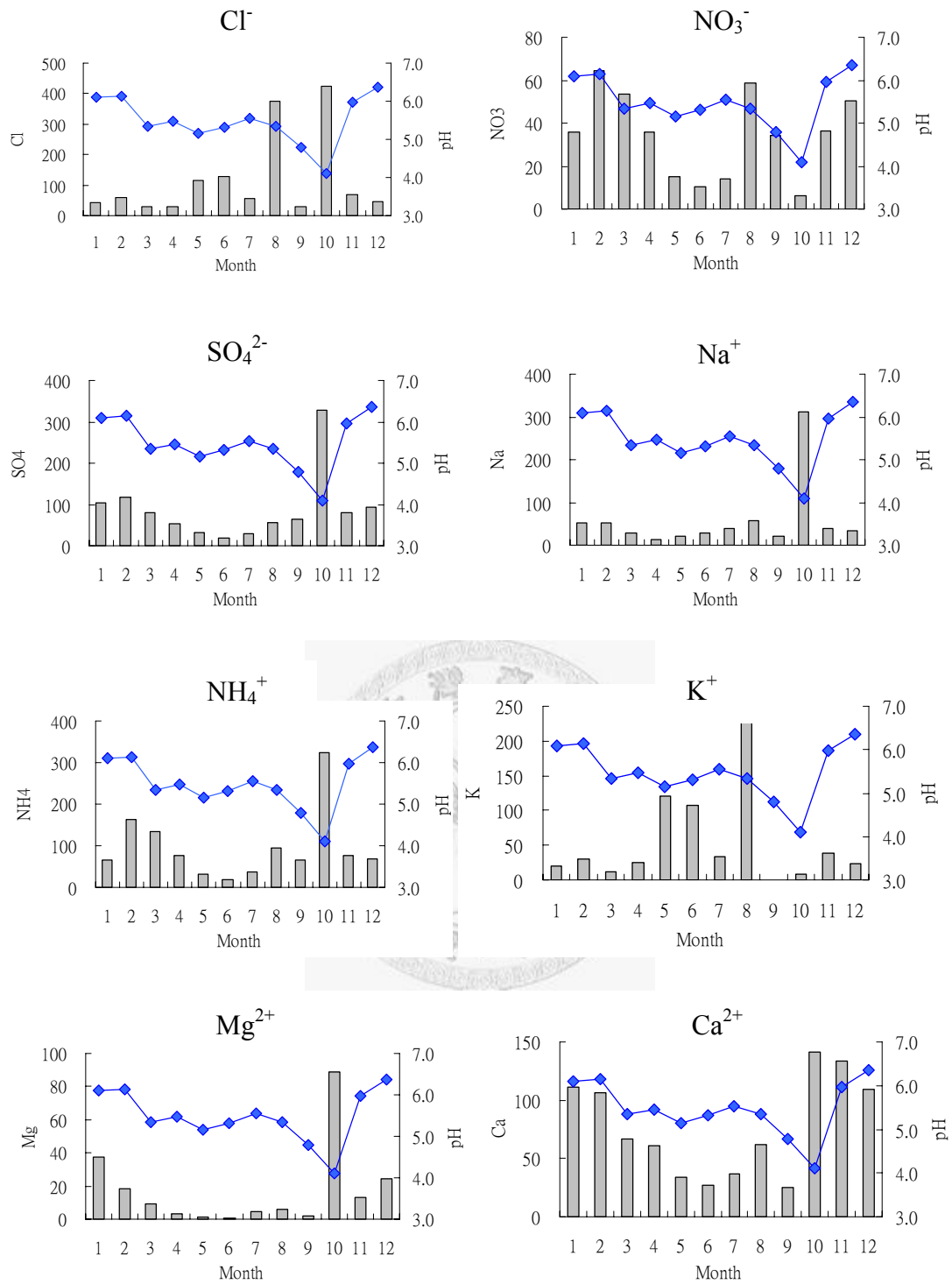


圖 4-11 陽明山和嘉義之月平均 pH 值 (雨量加權)



離子濃度單位：毫當量 ($\mu\text{eq/l}$)

圖 4-12 陽明山雨水酸鹼值及離子當量濃度之月平均



離子濃度單位：毫當量 (μeq/l)

圖 4-13 嘉義雨水酸鹼值及離子當量濃度之月平均

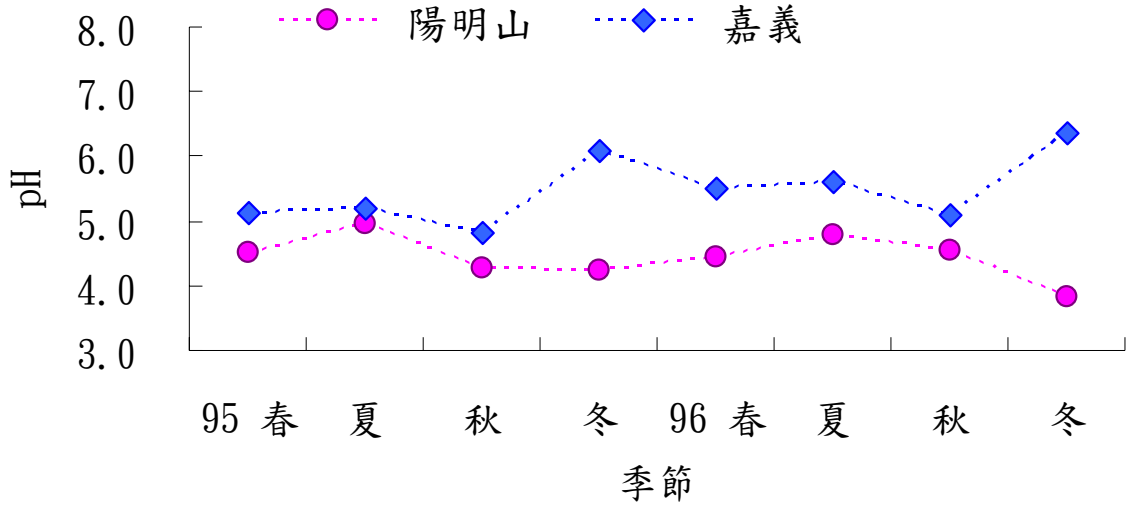


圖 4-14 陽明山與嘉義雨水酸鹼值之季變化

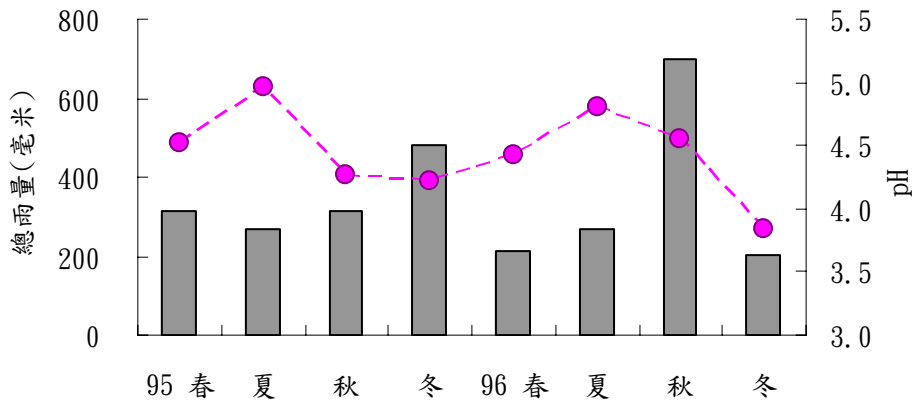


圖 4-15 陽明山雨水酸鹼值與降水量之季變化

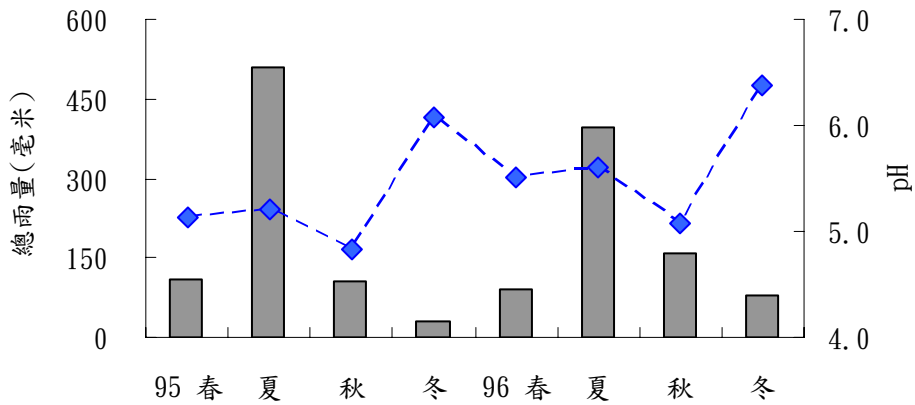


圖 4-16 嘉義雨水酸鹼值與降水量之季變化

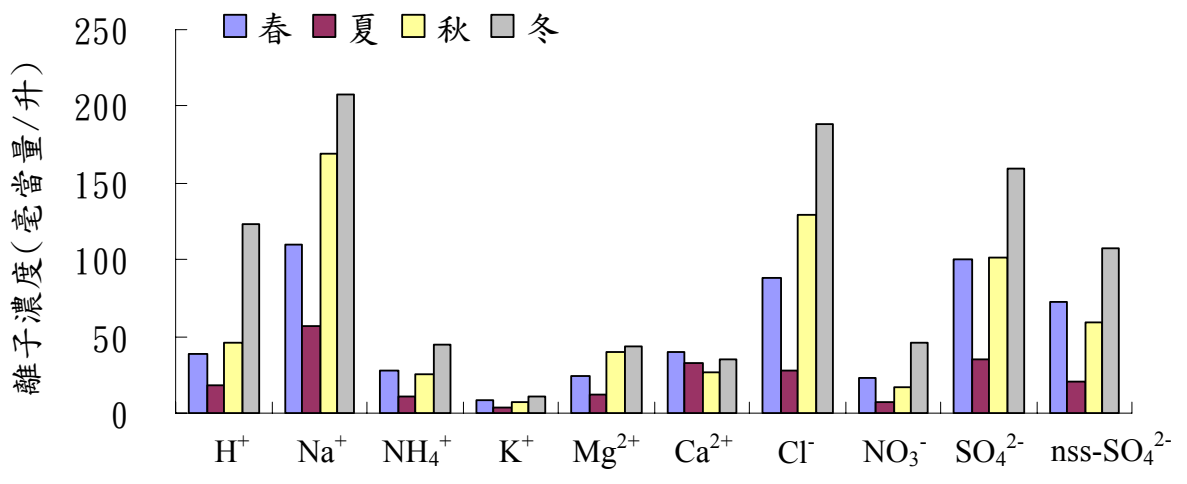
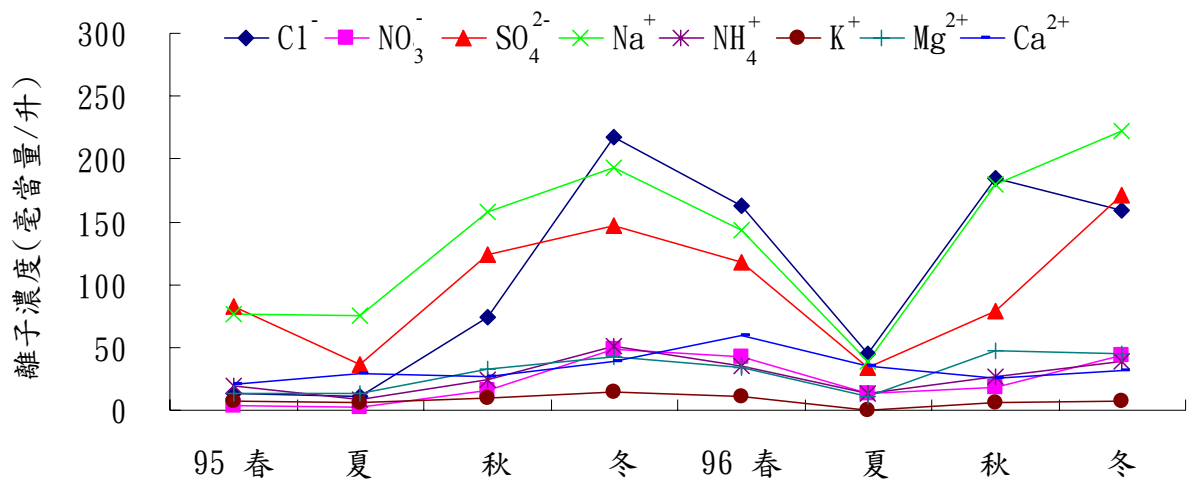


圖 4-17 陽明山雨水離子濃度之季變化

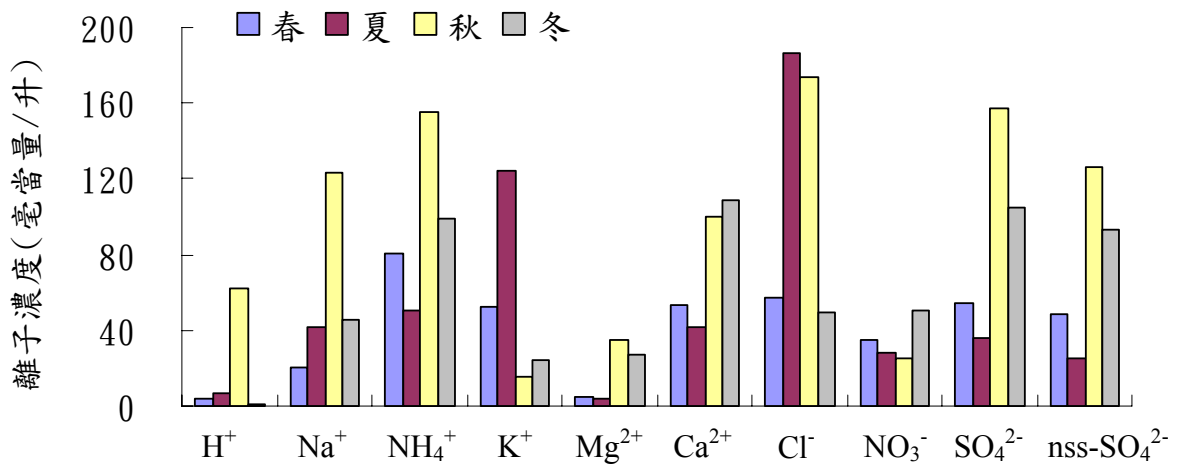
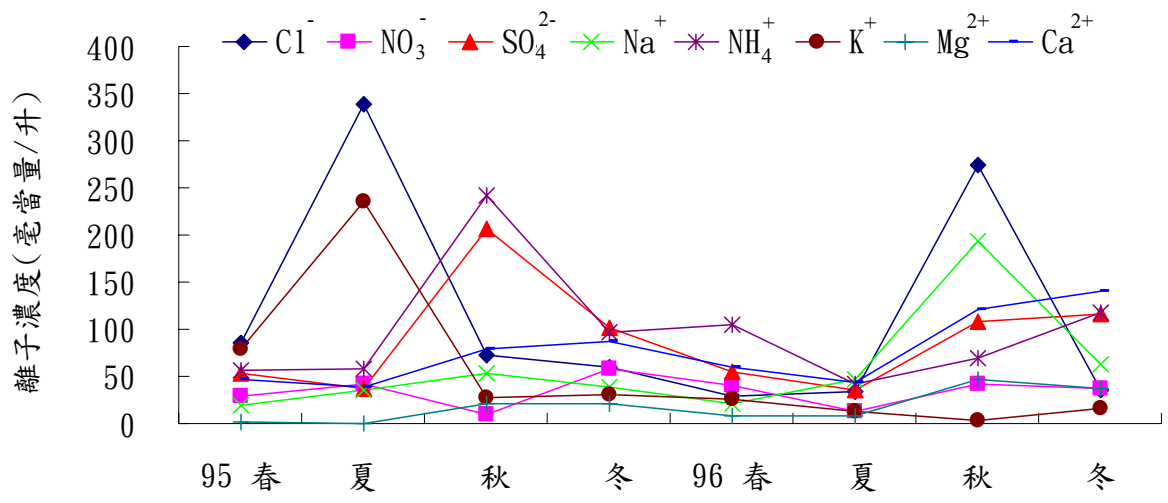


圖 4-18 嘉義雨水離子濃度之季變化

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 00 UTC 12 Feb 06
 FNL Meteorological Data

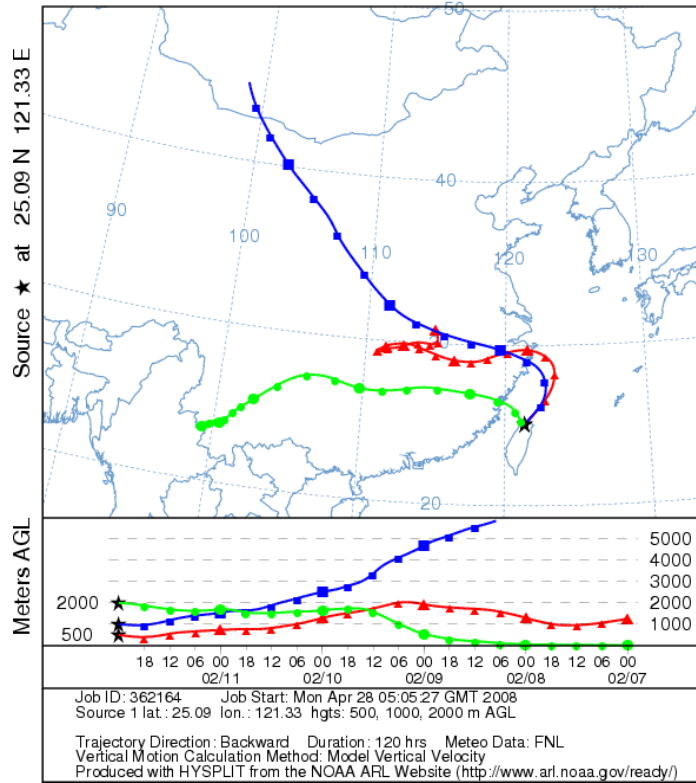


圖 4-19 95.2.12 陽明山測站氣流模擬軌跡圖-東北季風 (NOAA)

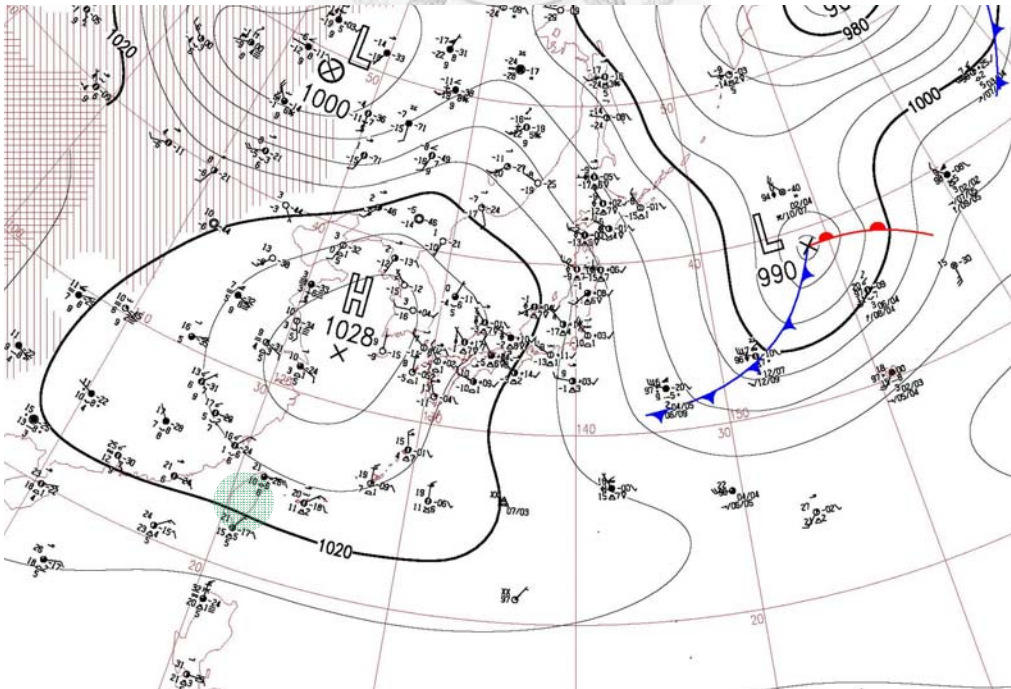


圖 4-20 95.2.12 地面天氣圖 (日本氣象廳)

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 00 UTC 19 Mar 06
 FNL Meteorological Data

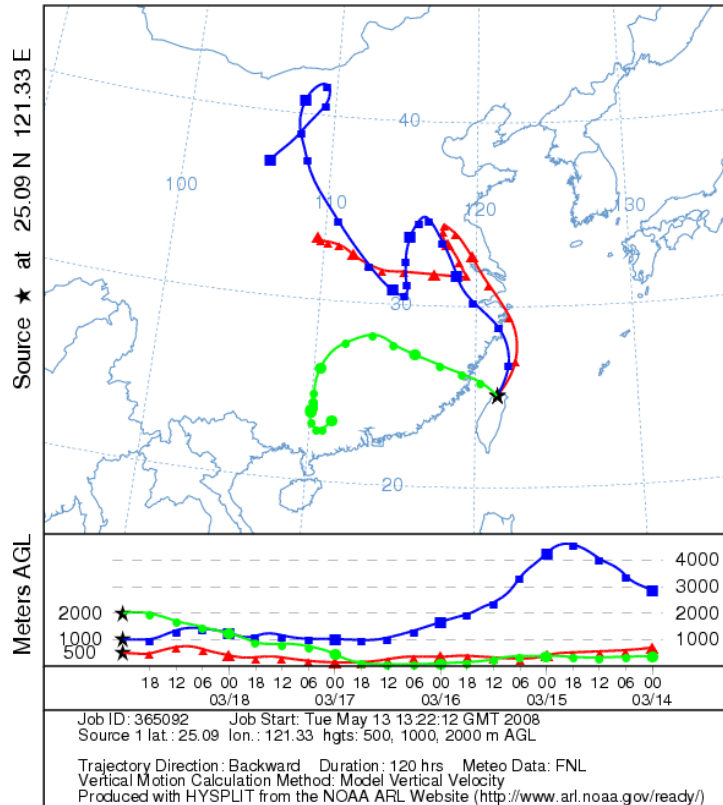


圖 4-21 95.3.19 陽明山測站氣流模擬軌跡圖-沙塵暴侵台 (NOAA)

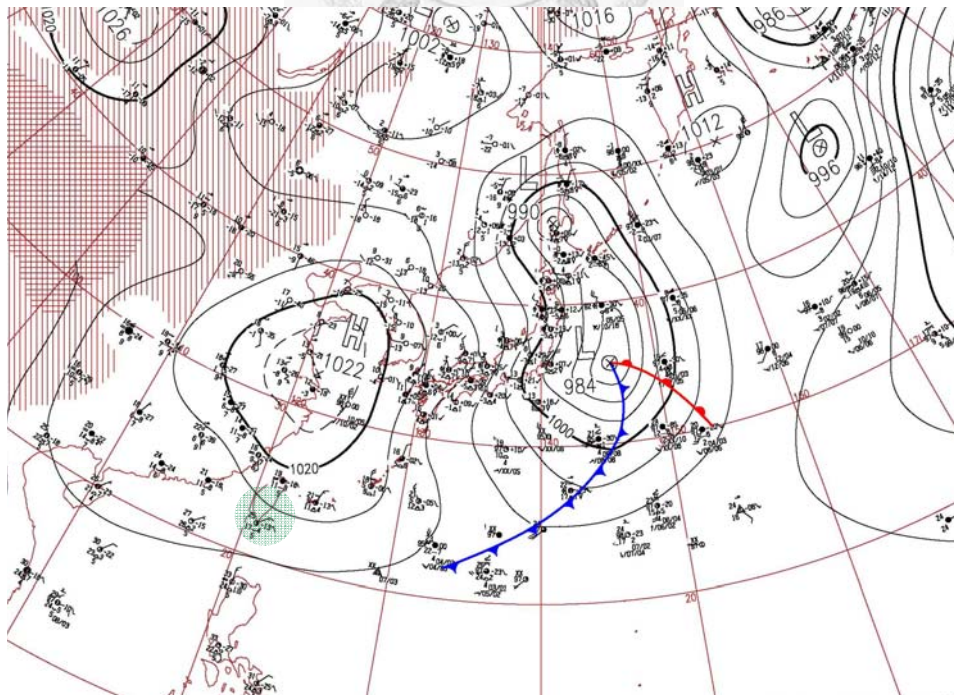


圖 4-22 95.3.19 地面天氣圖 (日本氣象廳)

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 00 UTC 10 Aug 06
 FNL Meteorological Data

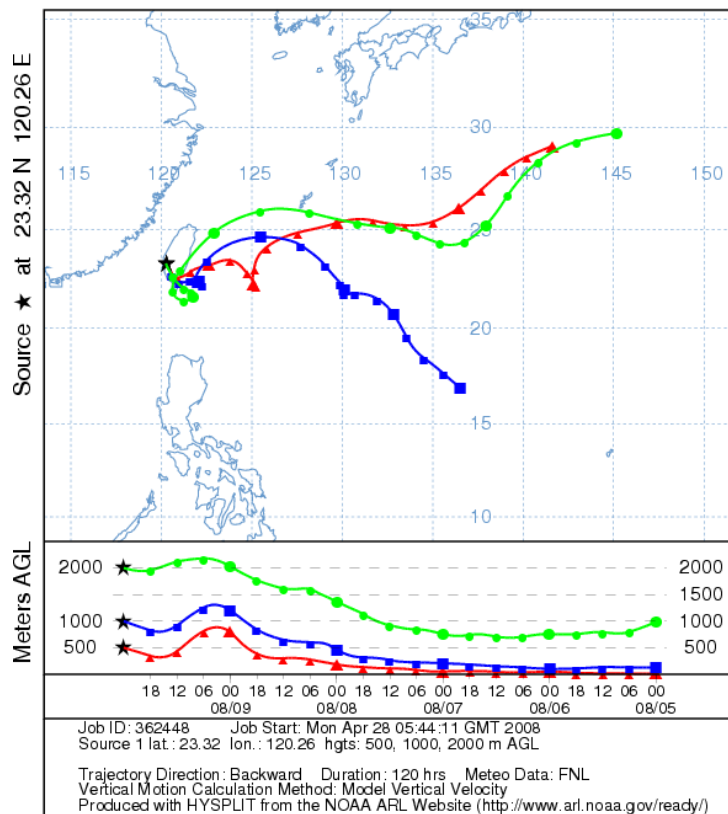


圖 4-23 95.8.10 嘉義測站氣流模擬軌跡圖-桑美颱風侵台 (NOAA)

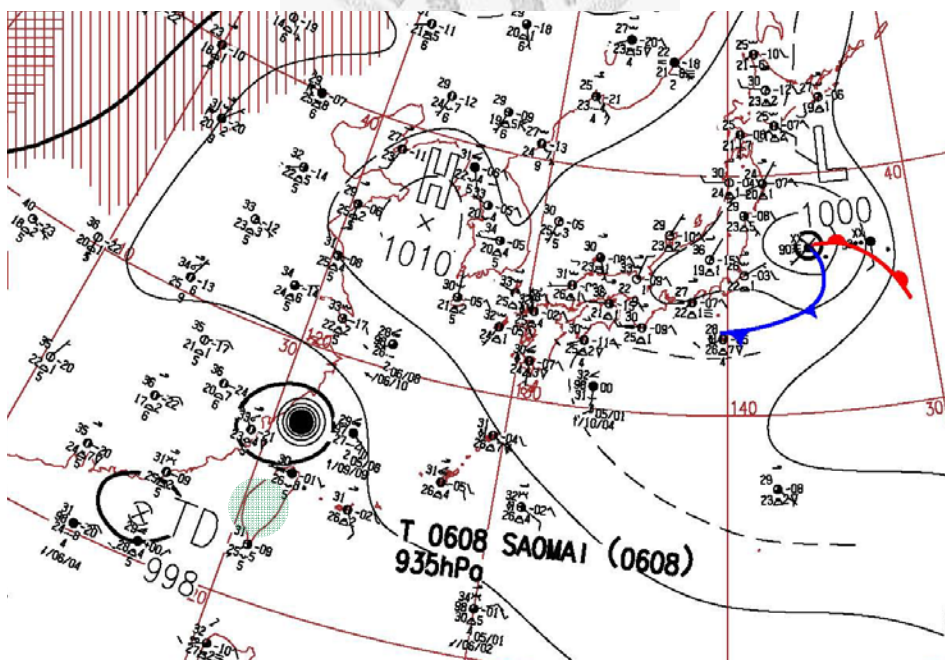


圖 4-24 95.8.10 天氣地面圖 (日本氣象廳)

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 00 UTC 08 Jul 06
 FNL Meteorological Data

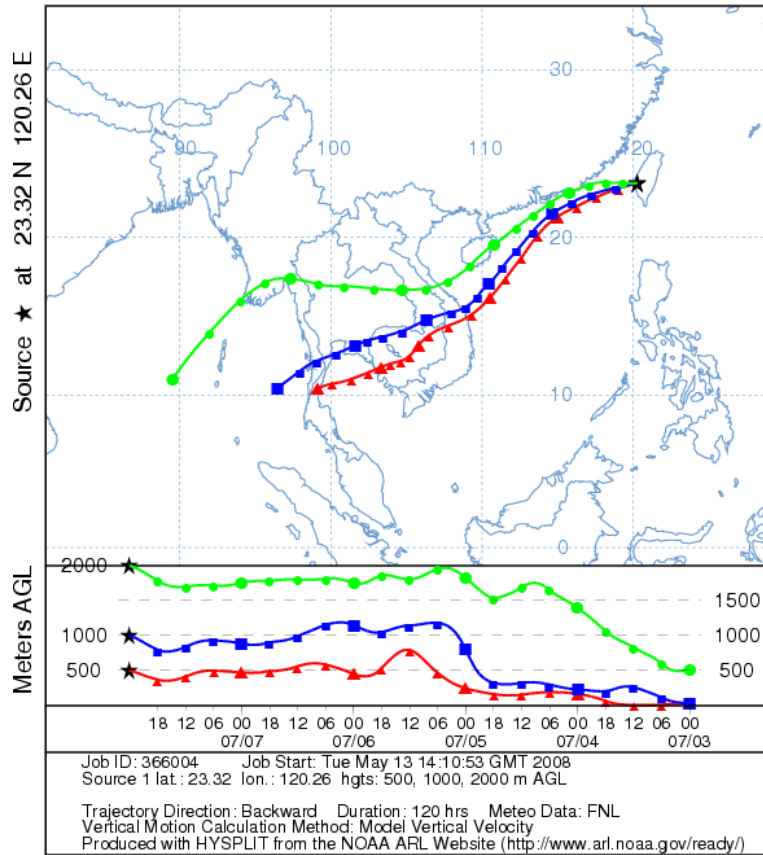


圖 4-25 95.7.8 嘉義測站氣流模擬軌跡圖-艾維尼颱風侵台 (NOAA)

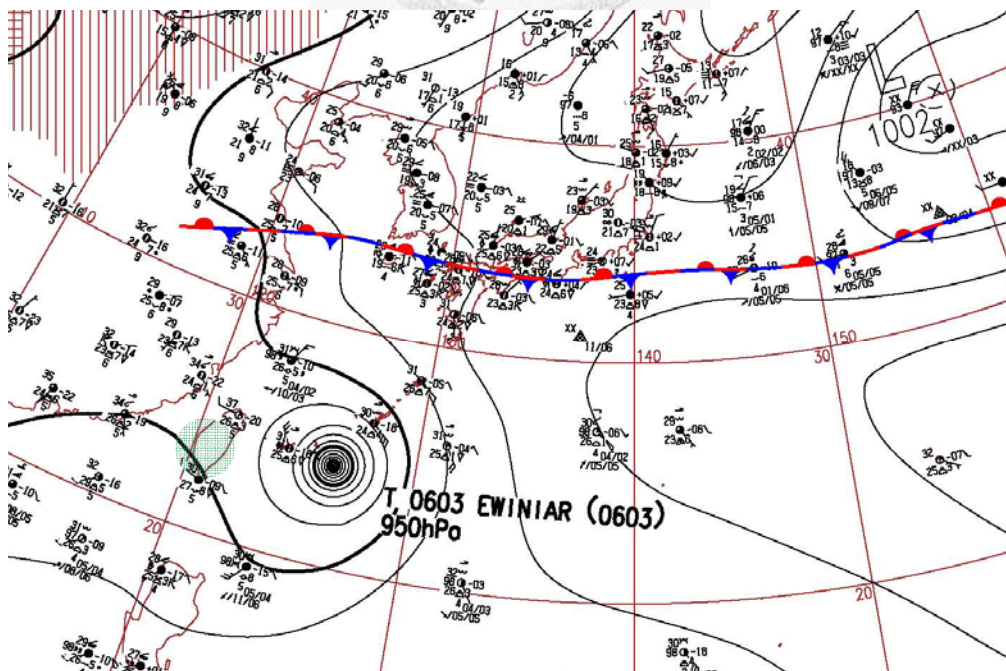


圖 4-26 95.7.8 天氣地面圖 (日本氣象廳)

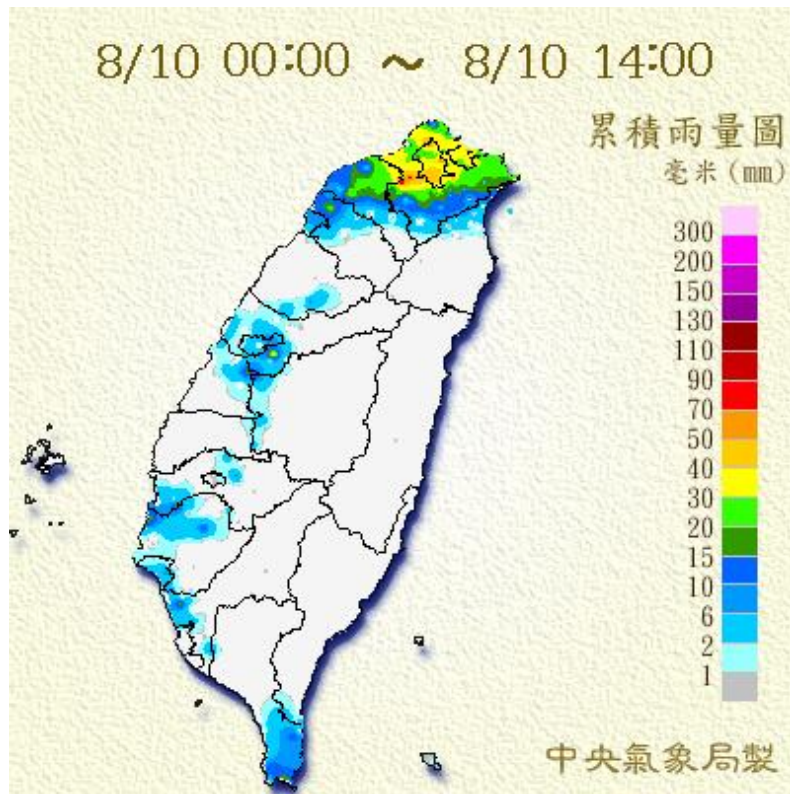


圖 4-27 95.8.10 全台累積雨量圖 (桑美颱風)

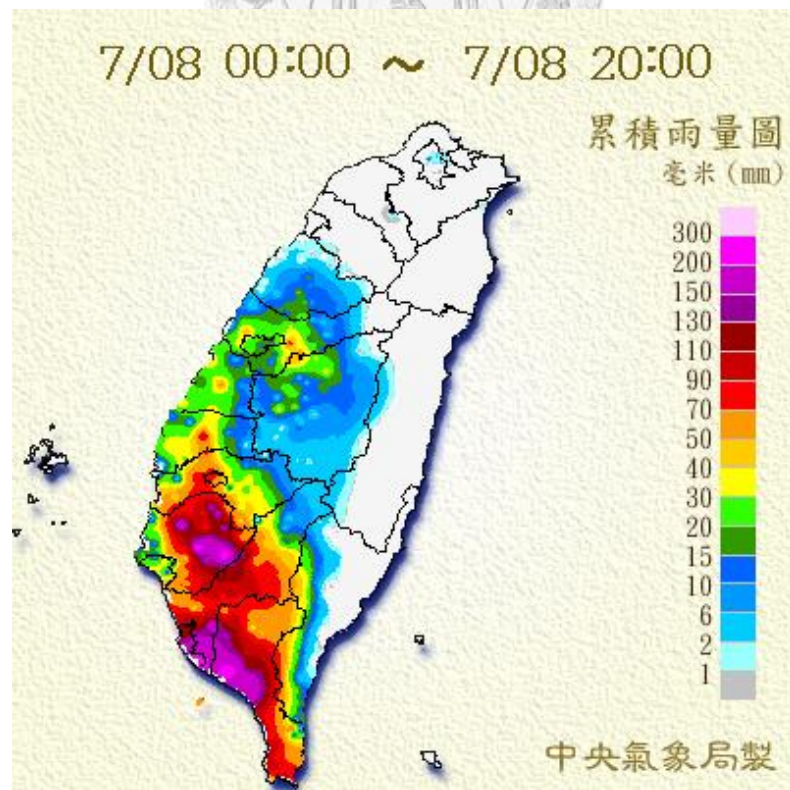


圖 4-28 95.7.8 全台累積雨量圖 (艾維尼颱風)

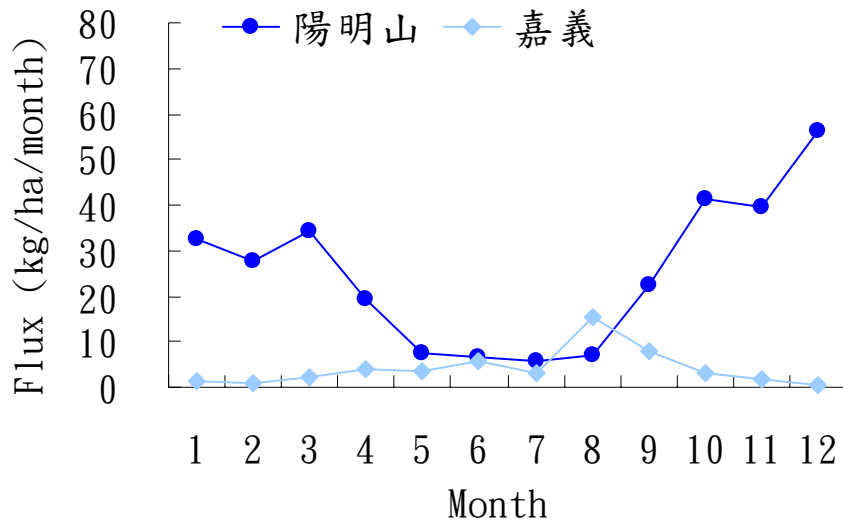


圖 4-29 硫酸根沉降量於兩個樣區之比較

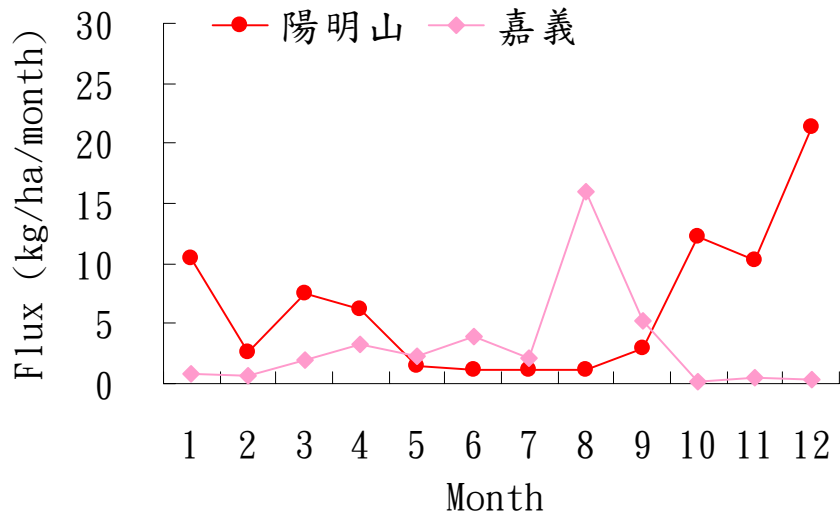


圖 4-30 硝酸根沉降量於兩個樣區之比較

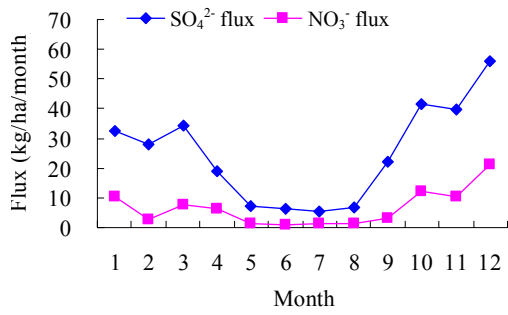


圖 4-31 陽明山酸沉降之月變化

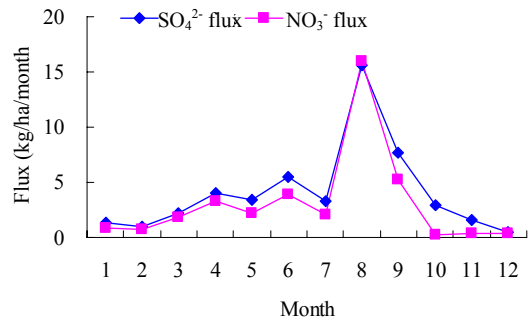
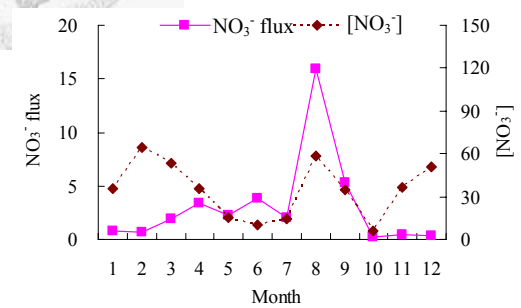
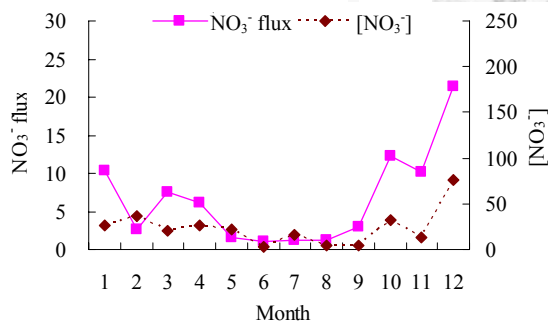
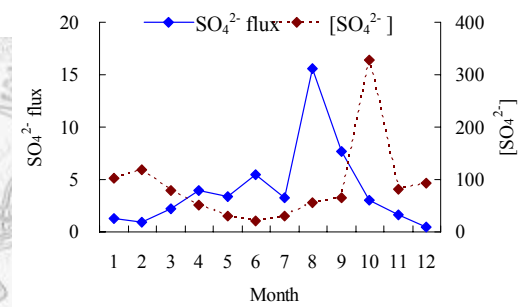
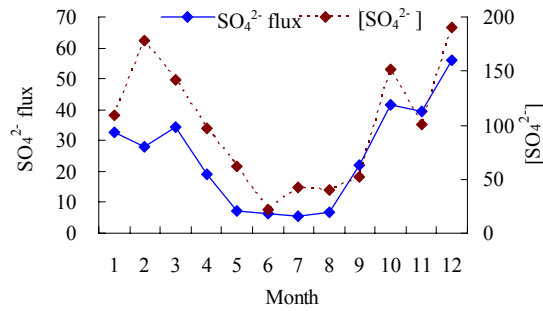


圖 4-32 嘉義酸沉降之月變化



離子濃度單位：毫當量 (μeq/l)
 通量單位：公斤/公頃/年 (kg/ha/yr)

圖 4-33 陽明山酸沉降與離子濃度變化

圖 4-34 嘉義酸沉降與離子濃度變化

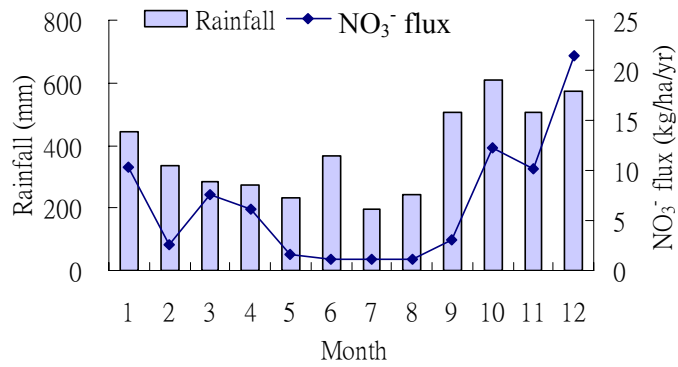
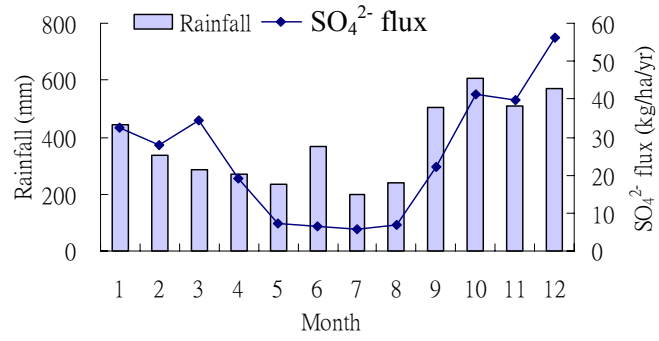


圖 4-35 陽明山酸沉降和降雨量之月變化

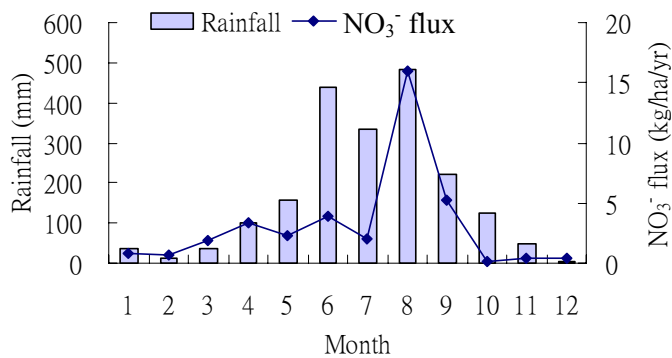
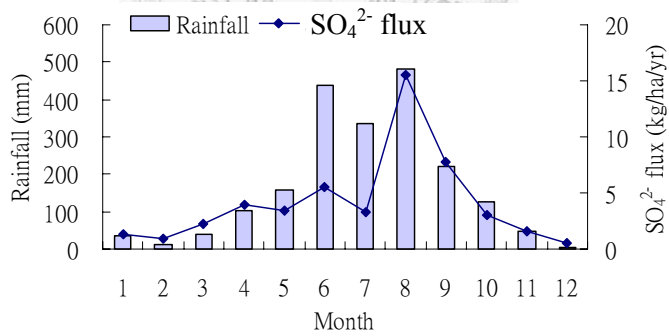


圖 4-36 嘉義酸沉降和降雨量之月變化

第五章 結論

1. 本研究自 2006 年 1 月至 2007 年 12 月為期兩年，在台北陽明山區與嘉義縣民雄鄉共收集到 307 個樣本。雨水化學特性顯示，陽明山降雨之酸鹼值加權平均為 4.38，水質偏酸，酸雨發生率為 94%，呈全面性酸化現象。酸化原因為當地既有背景所提供的致酸離子，還有來自中國大陸之長程傳輸貢獻，尤其東北季風盛行時，pH 值更低。嘉義地區降雨酸鹼值之加權平均為 5.11，水質較台灣北部山區偏鹼，酸沉降發生率為 41%。高酸鹼度由農業活動及天然鹼性塵土所提供，當地降水品質受自然來源影響多過於人為活動。
2. 時間趨勢變化，以冬季差異最大。陽明山降水 pH 值在夏季較高，各項離子濃度較低，冬季反之。離子濃度貢獻比依次為 $\text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+$ 。嘉義鄉間降水在夏、秋兩季 pH 值較低，冬季較高。離子濃度貢獻比依次為 $\text{NH}_4^+ > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^-$ 。
3. 雨水中氯鈉比分析結果顯示，陽明山樣區有氯虧損現象。由氯損失概念估計，陽明山氯的損失率約為 47%，氯與硝酸根的結合率約 78%，與硫酸根的結合率約 22%。
4. 在降水離子來源分析方面，陽明山降水普遍受海鹽影響，其次為當地火山背景、人為活動及境外傳輸；嘉義降水主要受農耕活動影響，其次是塵土或海鹽等。此外， SO_4^{2-} 在各因子間呈中度相關，顯示長程輸送雖在其他強勢因子中並不突顯，但仍相當重要。此外，根據天氣類型分析結果顯示，酸沉降多發生於東北季風、沙塵暴或鋒面系統盛行時期，最不酸的是颱風雨。整體而言，台灣降水受境外傳輸之影響程度不容忽略。
5. 在酸沈降水量變化方面，陽明山比嘉義高，硫酸根比硝酸根沈降水量多，此一結

果主要受離子濃度影響，其次是雨量。陽明山區硫酸根沉降量為 300 公斤/公頃/年，嘉義為 49 公斤/公頃/年，相差約六倍；硝酸根沉降量方面，陽明山為 79 公斤/公頃/年，嘉義為 37 公斤/公頃/年，相差約兩倍。

6. 比較其他地區降水研究發現，硫酸根及硝酸根與人為污染相關（台北市、陽明山、巴西聖保羅）；鈉、氯、鎂與海鹽相關（台北市、陽明山、嘉義）；銨、鉀與農業活動有關（嘉義、印度 Iqbalpur）；鈣、鉀、鎂則與當地塵土相關（陽明山、嘉義和印度 Iqbalpur）；氯、硫酸根與火山活動相關（台北陽明山、義大利埃特納火山）。埃特納是目前持續活躍中的火山，但其氯與硫酸根離子含量卻比已休眠的陽明山低，顯示台灣北部山區受外境傳輸的貢獻量實在可觀。



參考文獻

中文部分

- 王明光、王敏昭 (2003) 實用儀器分析。國立編譯館，692頁。
- 王碧、王正雄、鄭資英、簡宗昌、許元正、米文慧、李平泉、郭季華、徐美榕、董子棟、楊禮源、蕭美琪 (2003) 台灣地區酸沉降物質現況調查 (第二年)。環境檢驗所環境調查研究年報，27頁。
- 王證權 (2001) 亞洲氣膠特性實驗-台灣北海岸春季氣膠化學特性。國立中央大學環境工程研究所碩士，295頁。
- 林能暉、王聖翔、蔡邦國、劉啟文、曾偉迪 (2003) 宜蘭酸沉降現況分析與管制策略初探。宜蘭縣政府環保局研究報告及計畫成果報告，17頁。
- 林煜棋 (2006) 大氣酸性氣體與氣膠的特性和其影響因子分析。國立中興大學環境工程學研究所博士論文，170頁。
- 吳德源 (1995) 高雄都會區酸性沉降之調查研究。國立中山大學環境工程研究所碩士論文，107頁。
- 陳正平、黃伯瑞 (1996) 酸雨調查及國際合作研究-東亞空氣污染與酸雨之長期演變暨酸雨國際研討會：(4)未來空氣污染與酸雨物質長程輸送對我國的影響研究。行政院環境保護署 EPA-85-100309-15，43頁。
- 陳雄文、王正雄、鄭資英、簡宗昌、許元正、米文慧、胡雅容、李平泉、郭季華、徐美榕、董子棟、楊禮源 (2002) 台灣地區酸沉降物質現況調查。環境檢驗所環境調查研究年報9：1-22。
- 黃柏誠 (2002) 桃園地區降水化學特性分析。國立中央大學大氣物理研究所碩士，149頁。
- 黃譯檣 (2002) 台北都會區大氣懸浮微粒的化學特性研究。國立台灣大學海洋研究所碩士論文，87頁。
- 程萬里 (1996) 酸雨調查及國際合作研究-東亞空氣污染與酸雨之長期演變暨酸

- 兩國際研討會：(3)東亞空氣污染與酸雨現況和未來趨勢。行政院環境保護署 EPA-85-1003-09-15，19-94。
- 曾韋迪 (2005) 桃園地區降水化學與硫化物清除係數探討。國立中央大學大氣物理研究所碩士，104頁。
- 曾德民 (2006) 台灣北部海域濕沉降中化學組成之主成份分析研究。國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系碩士學位論文，74頁。
- 彭啟明、林能暉、張良輝 (2003) 宜蘭地區酸沉降受長程輸送影響之研究。宜蘭縣政府環保局研究報告及計畫成果報告，14 頁。
- 張仲德 (2002) 彰化市2001年大氣沉降特性分析。國立彰化師範大學地理學系碩士論文，112頁。
- 張雅萍 (1998) 台北市酸沉降特性分析(1981-1997)。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文，103 頁。
- 劉啟文 (2005) 亞洲沙塵好發期間雲水化學特性分析。國立中央大學大氣物理研究所碩士，101頁。
- 蔡世源 (2004) 沙塵暴對台灣地區酸性乾濕沉降之影響。國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文，152 頁。
- 薛美莉 (2000) 台灣中部山區降雨水質及酸性沈降。行政院農委會特有生物研究保育中心，12 頁。
- 蕭泓泯、林登秋、黃正良、黃志堅、林能暉 (2007) 蓮華池試驗林雨水化學特性之探討。台灣林業科學22(1): 1-13。

英文部分

- Agrawal, M., and R. K. Singh (2001), Effect of industrial emission on atmospheric wet deposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130, 481-486.
- Aiuppa, A., P. Bonfantl, and W. D'alessandro (2003), Rainwater chemistry at Mt. Etna (Italy): Natural and anthropogenic sources of major ions. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 46, 89-102.
- Al-Momani, I. F., K. A. Momani, and Q. M. Jaradat (1999), Chemical Composition of Wet Precipitation in Irbid, Jordan. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 35, 47-57.
- Alagha, O., and G. Tuncle (2002), Evaluation of air quality over the Black Sea: Major ionic composition of rainwater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 3, 87-96.
- Alabdula'aly, A. I., and M. A. Khan (1999), Chemistry of Rain Water in Riyadh, Saudi Arabia. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*, 39, 66-73.
- Balachandran, S., and P. S. Khillare (2000), Occurrence of acid rain over Delhi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 71, 165-176.
- Chang, S.-Y., and G.-C. Fang (2007), Springtime soluble particles in a suburban area of Taichung in central Taiwan. *Atmospheric Research*, 86, 30-41.
- Demirak, A. (2006), The Influence of a Coal-Fired Power Plant in Turkey on the Chemical Composition of Rain Water in a Certain Region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129, 189-196.
- Demirak, A., A. Balci, H. Karaog̃lu, and B. Tosmur (2006), Chemical characteristics of rain water at an urban site of south western Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 123, 271-283.
- Huang, Y., Y. Wang, and L. Zhang (2007), Long-term trend of chemical composition of wet atmospheric precipitation during 1986-2006 at Shenzhen City, China. *Atmospheric Environment*, 42, 3740-3750.

- Jain, M., U. C. Kulshrestha, A. K. Sarkar, and D. C. Parashar (2000), Influence of crustal aerosols on wet deposition at urban and rural sites in India. *Atmospheric Environment*, 34, 5129-5137.
- Kim, M.-G., M.-H. Kang, K.-J. Park, B.-K. Lee, and D.-S. Lee (2001), Evaluation of precipitation composition at an urban and a rural area for the central Korean peninsula. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130, 439–444.
- Koshy, K., G. Ayers, R. Gillett, and P. Selleck (1997), Wet deposition chemistry studies at Suva, Fiji, a remote tropical island site in the south Pacific. *Environmental Geochemistry and Health*, 19, 39-44.
- Lee, B. K., S. H. Hong, and D. S. Lee (1999), Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on the Korean peninsula. *Atmospheric Environment*, 34, 563-575.
- Lin, N.-H., H.-M. Lee, and M.-B. Chang (1999), Evaluation of the characteristics of acid precipitation in Taipei, Taiwan using cluster analysis. *Water, Air, and Soil Pollution*, 113, 241–260.
- Millet, M., H. Wortham, P. Mirabel, J.-P. Flori, D. Lakkis, and M. Leroy (2000), Chemical composition of rainwater near two historical monuments: The thann Collegiate (Alsace, France) and the tours cathedral (Indre et loire, France). *Water, Air, and Soil Pollution*, 132, 105–126.
- Mouli, P. C., S. V. Mohan, and S. J. Reddy (2004), Rainwater chemistry at a regional representative urban site: influence of terrestrial sources on ionic composition. *Atmospheric Environment*, 39, 999–1008.
- Mphepya, J. N., C. Galy-Lacaux, J. P. Lacaux, G. Held, and J. J. Pienaar (2006), Precipitation chemistry and wet deposition in Kruger National Park, South Africa. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 53, 169–183.
- Mphepya, J. N., J. J. Pienaar, C. Galy-Lacaux, G. Held, and C. R. Turner (2003),

- Precipitation Chemistry in Semi-Arid Areas of Southern Africa: A Case Study of a Rural and an Industrial Site. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 47, 1–24.
- Nam, J.-C., S.-N. Oh, J.-C. Choi, J. Kim, and Y. Chun (2001), Monitoring of acid rain over Korean peninsula. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130, 433–438.
- Osthoff, H. D., J. M. Roberts, A. R. Ravishankara, E. J. Williams, B. M. Lerner, R. Sommariva, T. S. Bates, D. Coffman, P. K. Quinn, J. E. Dibb, H. Stark, J. B. Burkholder, R. Talukdar, J. Meagher, F. C. Fehsenfeld, and S. S. Brown (2008), High levels of nitryl chloride in the polluted subtropical marine boundary layer. *Nature geoscience*, 1, 324–328.
- Örnektekin, S., and S. Cakmakli (2003), Chemical composition and acidity of rain at the gulf of iskenderun, North-East mediterranean. *Water, Air, and Soil Pollution*, 3, 151–166.
- Ohta, S., and T. Okita (1990), A chemical characterization of atmospheric aerosol in Sapporo. *Atmospheric Environment*, 24, 815-822.
- Santos, M. A. d., C. F. Illanes, A. Fornaro, and J. J. Pedrotti (2007), Acid Rain in Downtown São Paulo City, Brazil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 7, 85-92.
- Safai, P. D., P. S. P. Rao, G. A. Momin, K. Ali, D. M. Chate, and P. S. Praveen (2004), Chemical composition of precipitation during 1984–2002 at Pune, India. *Atmospheric Environment*, 38, 1705–1714.
- Seinfeld, J. H., and S. N. Pandis (1997), Atmospheric chemistry and physics. *Wiley-Interscience*, 1326p.p.
- Sequeira, R., and C. C. Lai (1997), An analysis of the representative composition of rainwater at six locations in Hong Kong. *Water, Air, and Soil Pollution*, 107, 289–301.
- Singh, Abhay Kr., G. C. Mondal, Suresh Kumar, K. K. Singh, K. P. Kamal, and A. Sinha (2006), Precipitation chemistry and occurrence of acid rain over Dhanbad,

- coal city of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125, 99–110.
- Singh, S. P., P. Khare, G. S. Satsangi, A. Lakhani, K. M. Kumari, and S. S. Srivastava (2000), Rainwater composition at a regional representative site of a semi-arid region of India. *Water, Air, and Soil Pollution*, 127, 93–108.
- Su, C.-C., and C.-A. Huh (2006), Measurements of ^7Be and ^{210}Pb in cloudwaters: Toward a better understanding of aerosol transport and scavenging. *Geophysical Research Letters*, 33, L04807, doi:10.1029/2005GL025042.
- Tu, J., H. Wang, Z. Zhang, X. Jin, W. Li (2004), Trends in chemical composition of precipitation in Nanjing, China, during 1992–2003. *Atmospheric Research*, 73, 283–298.
- Ueda, H., and G. R. Carmichael (1995), Formation of Secondary Pollutants during Long-Range Transport and Its Contribution to Air Quality in East Asia. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, (3), 487-500.
- Von-Glasow, R. (2008), Pollution meets sea salt. *Nature geoscience*, 1, 292-293.
- Wei, H., and J. L. Wang (2005), Characteristics of acid rain in Jinyun Mountain, Chongqing, China. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1), 29-37.
- Zhang, J., C.-Q. Liu (2004), Major and rare earth elements in rainwaters from Japan and East China Sea: Natural and anthropogenic sources. *Chemical Geology*, 209, 315– 326.
- Zhang, M., S. Wang, F. Wu, X. Yuan, and Y. Zhang (2006), Chemical compositions of wet precipitation and anthropogenic influences at a developing urban site in southeastern China. *Atmospheric Research*, 84, 311–322.

參考網站

台灣酸雨資訊網 <http://www.acidrain.org.tw/>

沙塵暴資料庫 <http://www.atmos.pccu.edu.tw/duststorm/index1.htm>

颱風資料庫 <http://rdc28.cwb.gov.tw/data.php>

行政院環保署 <http://www.epa.gov.tw/>

中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw/>

環境技術資訊網 <http://www.e-environment.com.tw>

美國太空總署之全球變遷中心 <http://gcmd.gsfc.nasa.gov/index.html>

美國環境保護署 <http://www.epa.gov/>

國際大氣監測網 <http://nadp.sws.uiuc.edu/>

NOAA <http://www.arl.noaa.gov/ready/open/hysplit4.html>



附錄 1 台北陽明山區降水化學成分

Cond. 電導度單位為 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Conc. 濃度單位為 $\mu\text{eq}/\text{l}$

Rainfall 雨量單位為 mm

- 表示雨量不足無法分析或濃度低於偵測極限

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
YMS-111a	4.03	80.00	31.20	93.33	245.10	16.86	10.06	54.51	34.58	30.43	7.36	179.64	150.08	2006/1/1 2:37
YMS-111b	3.97	89.00	142.60	107.15	227.60	17.50	11.21	51.21	38.52	28.74	-	226.78	199.33	2006/1/8 3:00
YMS-111c	4.05	56.00	17.00	89.13	60.03	-	10.96	-	28.62	14.12	6.98	88.04	80.80	2006/1/15 3:07
YMS-111d	4.41	40.00	259.00	38.90	121.95	-	-	-	-	17.17	-	51.09	36.38	2006/1/22 2:15
YMS-112a	4.03	70.00	230.80	93.33	180.27	15.24	-	39.83	25.01	20.97	-	180.28	158.53	2006/2/1 14:00
YMS-112b	3.76	270.00	11.40	173.78	1010.44	92.08	40.84	309.78	201.83	11.85	17.87	612.83	490.96	2006/2/12 2:45
YMS-112c	4.35	42.00	366.80	44.67	128.11	-	-	-	-	16.48	-	61.28	45.83	2006/2/22 14:45
YMS-113a	4.47	72.00	15.20	33.88	189.96	139.24	13.40	66.92	100.30	20.55	9.54	277.96	255.05	2006/3/5 2:30
YMS-113b	4.27	90.00	119.20	53.70	328.06	-	11.81	89.96	48.88	35.92	-	249.14	209.57	2006/3/12 2:30
YMS-113c	4.26	40.00	24.20	54.95	103.73	77.29	37.19	-	56.71	11.26	9.76	85.93	73.42	2006/3/19 2:30
YMS-113d	4.70	27.00	47.80	19.95	56.29	35.27	13.37	-	24.76	11.73	7.64	58.28	51.49	2006/3/26 2:45
YMS-114a	4.39	75.00	0.00	40.74	217.79	52.27	14.27	68.86	131.10	27.17	12.12	302.00	275.73	2006/4/2 3:00
YMS-114b	4.81	20.00	52.80	15.49	42.60	-	-	-	26.07	10.31	-	32.07	26.94	2006/4/9 14:30
YMS-114c	4.50	40.00	92.40	31.62	71.90	36.17	-	-	34.51	12.45	-	77.26	68.58	2006/4/16 14:15
YMS-114d	4.40	38.00	85.60	39.81	28.42	26.90	10.18	-	-	8.79	8.30	85.89	82.47	2006/4/23 3:15
YMS-114e	4.66	20.00	95.80	21.88	-	15.24	-	-	-	16.49	6.29	43.23	-	2006/4/30 4:07
YMS-115a	5.27	23.00	12.17	5.37	-	49.96	-	-	104.18	8.16	7.47	74.48	-	2006/5/7 3:07
YMS-115b	4.42	21.00	182.25	38.02	36.90	-	-	-	-	8.82	-	40.39	35.94	2006/5/13 12:45
YMS-115c	5.00	12.00	47.60	10.00	-	-	-	-	-	7.06	-	27.35	-	2006/5/20 11:52
YMS-115d	4.81	10.00	159.69	15.49	-	-	-	-	-	-	-	20.15	-	2006/5/28 13:15
YMS-116a	5.23	7.00	83.20	5.89	-	-	-	-	-	8.44	6.39	15.65	-	2006/6/4 12:59
YMS-116b	4.96	9.00	168.27	10.96	-	-	-	-	-	-	-	19.42	-	2006/6/11 0:22
YMS-116c	4.26	33.00	35.20	54.95	-	28.22	-	-	-	-	-	60.30	-	2006/6/18 1:07
YMS-116d	6.16	124.00	1.20	0.69	118.80	-	137.87	194.81	773.24	30.97	17.35	376.89	362.56	2006/6/25 1:30
YMS-117b	4.41	37.00	59.80	38.90	51.04	28.05	12.76	-	49.11	10.30	7.12	78.74	72.58	2006/7/9 2:37
YMS-117c	5.63	34.00	240.40	2.34	219.15	-	14.77	49.93	30.77	25.41	-	24.36	0.00	2006/7/16 3:00
YMS-117d	5.36	32.00	32.40	4.37	178.67	-	-	44.84	97.82	20.61	-	53.62	32.07	2006/7/23 3:00

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
YMS-118a	5.47	37.00	14.10	3.39	213.21	-	12.74	-	84.06	24.79	-	51.73	26.02	2006/8/6 2:45
YMS-118b	5.28	19.00	35.39	5.25	91.87	-	22.94	-	-	12.40	-	29.75	18.67	2006/8/13 1:30
YMS-118c	5.04	15.00	76.00	9.12	-	27.85	-	-	56.68	6.57	-	60.85	-	2006/8/20 1:07
YMS-118d	4.76	18.00	52.40	17.38	-	16.92	-	-	51.12	-	7.88	40.86	-	2006/8/27 3:00
YMS-119a	5.10	40.00	2.40	7.94	74.59	-	36.24	41.14	133.71	13.22	9.30	183.55	174.55	2006/9/3 2:37
YMS-119b	4.89	14.00	377.48	12.88	41.81	-	-	-	-	9.59	-	23.87	18.83	2006/9/10 1:22
YMS-119c	4.28	66.00	116.60	52.48	289.34	-	24.27	66.79	34.19	34.22	8.03	80.96	46.06	2006/9/17 2:22
YMS-119d	4.12	66.00	82.60	75.86	159.37	17.47	-	-	-	19.69	7.83	173.41	154.19	2006/9/24 3:15
YMS-120c	5.71	40.00	10.24	1.95	138.29	-	-	54.57	165.71	17.14	8.62	151.65	134.97	2006/10/15 2:52
YMS-120d	3.77	200.00	30.36	169.82	473.60	178.98	29.46	140.54	129.43	61.82	15.82	543.16	486.04	2006/10/22 3:00
YMS-120e	3.88	105.00	122.79	131.83	262.96	48.74	18.15	70.26	29.30	309.28	62.97	197.25	165.53	2006/10/29 3:00
YMS-121a	4.92	64.00	17.40	12.02	273.71	14.92	23.44	79.38	124.87	31.99	8.41	168.22	135.21	2006/11/5 1:30
YMS-121b	4.43	250.00	5.00	37.15	902.39	182.20	62.28	325.25	453.51	118.77	32.43	761.05	652.22	2006/11/11 23:45
YMS-121c	4.18	55.00	58.40	66.07	112.37	20.79	-	-	-	17.04	6.78	96.45	82.90	2006/11/19 1:00
YMS-121d	4.36	33.00	77.20	43.65	63.39	-	10.91	-	-	11.73	-	59.70	52.06	2006/11/26 3:07
YMS-122a	3.90	97.00	250.80	125.89	285.91	20.93	11.35	73.08	37.78	309.92	47.70	163.85	129.37	2006/12/3 2:37
YMS-122b	3.80	116.00	53.40	158.49	266.95	34.61	11.10	70.33	27.19	289.04	56.36	196.66	164.47	2006/12/10 0:30
YMS-122c	4.70	24.00	377.50	19.95	57.81	-	10.44	-	-	70.63	-	48.65	41.68	2006/12/17 1:15
YMS-122d	4.90	35.00	173.99	12.59	185.27	-	-	43.53	28.25	197.88	-	52.28	29.93	2006/12/24 3:00
YMS-122e	3.90	141.00	85.40	125.89	308.47	81.37	20.76	89.35	37.67	349.11	55.70	253.00	215.79	2006/12/31 3:15
YMS-123a	4.50	44.00	172.00	31.62	119.10	-	14.52	-	24.27	159.09	83.04	90.57	76.21	2007/1/7 3:15
YMS-123b	4.20	62.00	74.80	63.10	98.74	21.65	-	-	32.38	141.93	50.37	107.63	95.72	2007/1/14 3:37
YMS-123c	4.50	34.00	181.00	31.62	60.66	18.93	10.82	-	-	79.74	18.64	70.52	63.20	2007/1/21 3:37
YMS-123d	3.90	230.00	9.72	125.89	640.39	243.60	47.32	192.89	201.06	734.36	214.42	513.08	435.84	2007/1/28 3:00
YMS-124b	3.30	540.00	3.20	501.19	820.46	653.03	80.43	252.62	249.50	788.59	-	1040.18	941.22	2007/2/10 14:52
YMS-124c	4.30	93.00	60.80	50.12	256.28	82.96	21.13	68.32	63.70	277.14	77.67	180.47	149.56	2007/2/20 15:00
YMS-125a	4.10	105.00	165.52	79.43	313.49	37.72	17.51	77.58	35.34	338.48	43.97	183.54	145.74	2007/3/3 15:07
YMS-125b	4.40	40.00	88.53	39.81	68.74	27.61	-	-	-	86.03	21.44	73.04	64.75	2007/3/11 3:15
YMS-125c	4.20	92.00	60.29	63.10	310.33	41.98	20.74	77.35	30.06	347.05	42.61	152.38	114.95	2007/3/18 3:00
YMS-125d	4.60	26.00	47.73	25.12	43.03	56.86	-	-	-	28.14	34.31	56.56	51.37	2007/3/25 3:00
YMS-126a	5.70	97.00	72.51	2.00	371.84	63.09	21.82	106.57	164.92	398.28	64.39	215.78	170.93	2007/4/1 2:25
YMS-126b	4.40	44.00	69.66	39.81	81.22	36.89	-	-	26.25	94.57	38.37	89.05	79.25	2007/4/8 0:55
YMS-126c	5.00	24.00	34.26	10.00	63.44	18.96	-	-	40.83	66.05	33.39	56.24	48.59	2007/4/15 1:00
YMS-126d	4.80	26.00	22.62	15.85	48.91	-	-	-	45.99	50.66	40.17	60.33	54.43	2007/4/22 2:37
YMS-126e	4.30	66.00	19.55	50.12	181.69	46.10	-	51.94	96.90	214.63	48.95	149.36	127.45	2007/4/29 3:07
YMS-127a	4.50	13.00	21.20	31.62	-	-	-	-	-	9.28	19.68	23.86	-	2007/5/6 2:52
YMS-127b	3.70	149.00	7.60	199.53	267.75	120.45	21.51	96.34	153.82	279.32	146.88	365.04	332.75	2007/5/13 15:00

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
YMS-127c	5.00	20.00	28.00	10.00	-	19.67	26.00	-	77.10	38.97	25.77	52.08	-	2007/5/20 15:07
YMS-127d	4.50	55.00	6.00	31.62	39.79	65.18	-	44.05	209.85	46.55	85.80	181.18	176.38	2007/5/27 3:00
YMS-128a	4.80	8.00	185.60	15.85	-	-	-	-	-	-	-	20.00	-	2007/6/3 1:22
YMS-128b	4.90	6.00	225.80	12.59	-	11.70	-	-	-	-	-	14.06	-	2007/6/10 1:22
YMS-128c	5.70	17.00	10.60	2.00	20.22	-	-	-	102.27	31.20	28.52	42.32	39.88	2007/6/17 2:30
YMS-128d	4.20	35.00	27.20	63.10	-	46.47	-	-	38.14	16.48	46.02	66.79	-	2007/6/24 1:37
YMS-129a	5.40	10.00	38.20	3.98	-	12.98	-	-	62.81	13.99	19.58	30.17	-	2007/7/1 1:00
YMS-129b	5.30	124.00	0.80	5.01	255.78	114.13	38.98	148.21	459.12	138.97	292.04	400.06	369.21	2007/7/8 0:22
YMS-129c	4.40	38.00	17.00	39.81	60.11	31.49	-	-	38.31	64.70	32.11	53.12	45.87	2007/7/15 0:45
YMS-129d	7.10	190.00	1.20	0.08	137.43	31.06	22.18	254.05	1372.29	116.67	252.87	395.30	378.72	2007/7/22 2:52
YMS-129e	4.00	153.00	2.20	100.00	85.65	204.14	31.99	73.76	340.32	77.36	290.87	428.14	417.81	2007/7/29 2:22
YMS-130a	5.00	20.00	12.00	10.00	33.92	18.78	-	-	39.80	47.07	-	44.83	40.74	2007/8/4 12:22
YMS-130b	4.80	15.00	127.80	15.85	70.06	-	-	23.70	29.53	64.17	-	25.80	17.35	2007/8/11 12:45
YMS-130c	4.90	34.00	101.60	12.59	183.26	-	-	57.57	19.70	208.05	-	38.48	16.38	2007/8/19 0:45
YMS-130d	4.60	21.00	62.20	25.12	26.75	49.37	-	-	21.99	25.87	30.29	39.79	36.57	2007/8/26 0:07
YMS-131a	4.80	15.00	57.00	15.85	-	43.26	-	-	54.72	8.96	19.82	39.60	-	2007/9/2 1:00
YMS-131b	3.90	103.00	31.79	125.89	190.18	85.47	12.31	50.14	35.38	176.56	90.19	203.78	180.84	2007/9/9 1:30
YMS-131c	5.10	19.00	288.53	7.94	107.16	21.70	-	28.83	-	97.24	-	34.99	22.06	2007/9/16 2:22
YMS-131d	5.30	11.00	225.87	5.01	61.93	-	-	-	20.60	56.23	-	21.10	13.63	2007/9/23 3:52
YMS-131e	4.20	39.00	30.20	63.10	132.77	18.91	-	30.62	26.93	106.24	-	70.50	54.48	2007/9/30 3:52
YMS-132a	5.20	31.00	374.40	6.31	198.13	17.98	-	52.32	26.50	201.77	-	46.88	22.99	2007/10/7 3:15
YMS-132b	4.10	99.00	140.60	79.43	306.67	55.34	19.73	99.80	33.48	340.74	59.16	171.85	134.86	2007/10/14 3:15
YMS-132c	4.20	142.00	8.80	63.10	558.36	52.35	29.80	213.80	209.77	620.95	131.67	237.15	169.81	2007/10/21 2:52
YMS-132d	4.10	68.00	83.40	79.43	218.78	51.57	15.35	57.92	21.72	198.36	38.67	133.82	107.43	2007/10/28 3:07
YMS-133a	4.70	44.00	271.20	19.95	222.01	31.87	-	61.70	39.67	201.53	27.17	81.39	54.62	2007/11/4 3:07
YMS-133b	4.10	92.00	96.50	79.43	298.56	50.81	14.86	75.92	40.32	331.04	48.76	172.21	136.20	2007/11/11 2:30
YMS-133c	4.40	50.00	203.73	39.81	143.79	34.04	8.70	37.21	17.79	172.61	27.53	104.21	86.86	2007/11/18 3:22
YMS-133d	4.70	50.00	286.04	19.95	228.76	-	10.52	60.86	19.59	252.88	-	68.97	41.38	2007/11/25 3:37
YMS-134a	3.60	260.00	21.26	251.19	741.09	256.54	49.35	217.40	149.15	899.60	241.31	510.75	421.37	2007/12/2 3:52
YMS-134b	3.60	210.00	18.32	251.19	484.71	164.81	29.94	128.52	55.74	540.96	171.45	393.55	335.09	2007/12/9 4:07
YMS-134c	3.60	230.00	20.80	251.19	571.33	178.33	31.61	165.74	135.44	632.58	247.49	461.61	392.70	2007/12/16 3:37
YMS-134d	4.50	47.00	113.40	31.62	149.20	-	-	38.54	27.31	227.88	31.63	83.27	65.28	2007/12/23 3:15
YMS-134e	3.50	193.00	28.40	316.23	329.43	228.83	18.16	83.62	60.07	540.92	271.24	473.58	433.85	2007/12/30 3:15

附錄 2 嘉義鄉間降水化學成分

Cond. 電導度單位為 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Conc. 濃度單位為 $\mu\text{eq}/\text{l}$

Rainfall 雨量單位為 mm

- 表示雨量不足無法分析或濃度低於偵測極限

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
CI-107	7.37	200.00	1.00	0.04	625.12	67.95	60.50	642.49	657.34	212.91	77.84	926.27	850.88	2006/1/16 5:52
CI-108	6.40	72.00	2.50	0.40	89.99	169.23	22.63	80.81	251.86	51.09	121.79	310.30	299.45	2006/1/22 17:00
CI-109	6.54	30.00	4.50	0.29	29.25	92.16	12.17	-	144.47	28.15	28.84	63.70	60.17	2006/1/29 4:55
CI-110	6.33	21.00	0.50	0.47	42.06	52.32	10.04	35.43	78.59	23.92	20.84	52.46	47.39	2006/1/30 0:25
CI-111	6.16	23.00	3.50	0.69	39.05	146.94	15.21	-	109.44	28.87	28.90	65.52	60.81	2006/2/25 6:35
CI-112	6.63	35.00	4.20	0.23	49.82	86.40	50.91	-	152.88	43.32	37.24	152.93	146.92	2006/3/1 5:30
CI-113	6.50	76.00	1.50	0.32	62.96	197.68	120.55	38.38	198.09	127.53	162.75	269.54	261.95	2006/3/14 4:30
CI-114	6.40	98.00	1.50	0.40	110.47	241.69	127.58	50.20	206.90	193.81	215.65	336.81	323.49	2006/3/20 17:45
CI-115	6.70	52.00	1.50	0.20	44.03	195.48	24.76	-	174.27	44.95	145.12	217.28	211.97	2006/3/22 20:00
CI-116	6.70	28.00	4.50	0.20	35.41	118.05	13.91	-	79.41	40.91	43.25	75.42	71.15	2006/3/23 22:30
CI-117	5.20	14.00	18.00	6.31	19.42	33.31	6.87	-	61.68	16.86	23.32	42.36	40.02	2006/3/24 9:45
CI-118	6.50	21.00	2.00	0.32	21.72	87.16	7.33	-	59.44	22.16	34.37	50.04	47.42	2006/3/24 19:30
CI-119	5.10	14.00	18.00	7.94	-	39.94	-	-	33.83	13.42	20.85	27.91	-	2006/3/26 5:52
CI-120	5.99	38.00	6.10	1.02	28.19	228.03	14.48	-	60.38	34.30	78.49	109.12	105.72	2006/3/27 4:15
CI-121	5.60	55.00	1.80	2.51	28.12	273.96	25.38	-	74.85	53.79	137.92	186.83	183.44	2006/3/27 18:45
CI-122	5.30	23.00	14.00	5.01	39.36	59.10	13.94	-	72.80	34.11	38.70	73.97	69.22	2006/4/10 10:40
CI-123	5.30	22.00	0.50	5.01	44.01	52.49	-	-	68.25	41.18	30.45	58.02	52.71	2006/4/11 6:10
CI-124	4.70	18.00	18.00	19.95	-	42.05	-	-	42.41	17.28	20.83	42.52	-	2006/4/13 11:30
CI-125	5.60	20.00	12.00	2.51	18.60	118.91	-	-	40.61	17.10	25.98	72.11	69.87	2006/4/13 13:45
CI-126	5.10	12.00	17.00	7.94	-	24.32	-	-	39.99	11.75	23.44	28.98	-	2006/4/15 13:25
CI-127	5.00	14.00	4.50	10.00	-	36.86	-	-	48.28	11.91	25.63	26.94	-	2006/4/15 16:05
CI-128	6.60	95.00	1.50	0.25	99.55	75.76	18.85	235.73	504.81	68.23	53.54	480.90	468.90	2006/4/15 20:20
CI-129	6.80	16.00	5.90	0.16	-	78.07	-	-	63.74	14.94	29.31	40.24	-	2006/4/16 6:00
CI-130	6.10	62.00	0.50	0.79	89.90	212.82	38.30	58.90	171.43	109.75	178.75	160.61	149.77	2006/4/24 4:20
CI-131	4.90	39.00	0.50	12.59	61.79	105.87	16.44	-	82.08	56.52	76.31	108.54	101.09	2006/4/26 19:30
CI-131a	6.10	22.00	0.50	0.79	-	180.48	-	-	33.22	15.24	49.06	63.04	-	
CI-131d	5.20	21.00	0.50	6.31	55.78	71.57	-	-	38.30	45.88	20.70	75.86	69.13	
CI-132	5.10	47.00	6.00	7.94	50.66	186.20	14.46	-	76.74	58.53	110.01	127.17	121.06	2006/4/27 6:10

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
CI-132a	5.70	31.00	7.00	2.00	123.06	-	11.15	31.14	38.19	201.30	29.79	48.72	33.88	
CI-133	5.30	16.00	1.50	5.01	-	97.32	-	-	22.74	13.12	34.22	49.54	-	2006/4/27 12:45
CI-134	4.90	24.00	22.00	12.59	22.41	103.33	-	-	39.55	19.41	46.12	69.56	66.86	2006/4/28 0:50
CI-135	5.95	24.00	3.00	1.12	24.56	89.97	17.61	-	69.81	25.07	49.31	68.22	65.26	2006/4/28 13:35
CI-136	5.97	33.00	2.00	1.07	18.40	194.36	-	-	80.17	18.25	65.84	117.83	115.61	2006/4/29 10:00
CI-137	6.17	28.00	2.70	0.68	71.58	95.45	23.87	-	67.94	18.64	55.67	107.23	98.59	2006/4/30 12:12
CI-138	5.86	73.00	5.00	1.38	96.57	224.75	32.20	44.97	230.10	67.32	202.53	252.45	240.80	2006/5/2 12:00
CI-139	5.00	37.00	18.50	10.00	14.39	12.73	208.38	-	48.97	189.64	24.12	21.92	20.18	2006/5/17 6:15
CI-140	6.10	32.00	10.00	0.79	14.81	-	224.84	-	36.60	197.15	-	38.46	36.67	2006/5/17 11:45
CI-141	6.20	59.00	47.00	0.63	61.62	-	406.19	-	38.26	347.47	-	55.79	48.35	2006/5/18 4:15
CI-142	6.10	120.00	7.00	0.79	660.47	30.50	231.24	138.12	172.22	660.90	54.01	155.95	76.30	2006/5/18 16:30
CI-143	5.10	52.00	1.50	7.94	68.36	54.27	274.60	-	58.09	258.19	31.80	61.08	52.84	2006/5/22 17:25
CI-144	5.00	33.00	20.00	10.00	41.24	15.85	181.34	-	39.69	150.01	24.99	45.28	40.31	2006/5/28 10:30
CI-145	4.60	40.00	17.00	25.12	-	15.45	175.44	-	22.75	163.89	14.84	39.29	-	2006/5/29 3:30
CI-146	4.90	27.00	8.00	12.59	-	-	100.66	-	21.54	121.31	8.34	17.67	-	2006/5/29 8:30
CI-147	4.60	30.00	5.50	25.12	-	24.06	95.23	-	23.97	118.18	27.80	24.65	-	2006/5/29 15:00
CI-148	4.90	37.00	4.50	12.59	18.33	27.73	105.50	-	25.01	168.01	27.71	46.29	44.08	2006/5/30 20:45
CI-149	5.10	39.00	7.50	7.94	34.83	-	86.35	-	32.07	216.64	9.76	14.99	10.79	2006/6/2 0:30
CI-150	5.20	32.00	72.50	6.31	-	-	188.49	-	26.28	183.02		21.62	-	2006/6/2 13:20
CI-151	4.80	105.00	15.00	15.85	-	23.83	615.56	-	21.37	611.86	16.93	22.89	-	2006/6/3 5:00
CI-151-1	6.47	12.00	40.00	0.34	35.13	21.20	27.57	-	22.80	22.17	12.88	22.58	18.34	2006/6/3 16:30
CI-152	5.30	182.00	18.30	5.01	43.69	35.79	1029.42	-	37.08	1573.19	26.67	36.60	31.33	2006/6/6 16:50
CI-153	6.10	24.00	282.00	0.79	37.50	11.13	92.08	-	44.54	119.85	3.69	27.87	23.34	2006/6/9 14:00
CI-153-1	6.10	12.00	53.00	0.79	-	-	63.65	-	-	66.74	-	-	-	2006/6/9 6:20
CI-153-2	5.75	3.00	44.00	1.78	-	-	-	-	-	12.45	-	-	-	2006/6/9 20:00
CI-154	4.60	44.00	110.50	25.12	-	-	213.88	-	39.52	209.76	21.51	28.99	-	2006/6/10 23:30
CI-155	5.30	51.00	24.00	5.01	-	64.01	262.44	-	30.28	264.80	25.71	43.03	-	2006/6/12 0:00
CI-156	5.10	91.00	2.50	7.94	29.20	142.82	331.18	-	61.41	360.84	119.23	143.55	140.03	2006/6/13 13:30
CI-156-1	5.31	9.00	61.00	4.90	-	14.21	-	-	23.45	14.64	13.15	19.83	-	2006/6/19 14:45
CI-157	5.10	50.00	11.50	7.94	22.11	147.39	121.33	-	41.16	155.55	106.62	96.51	93.85	2006/6/22 16:00
CI-158	4.90	87.00	2.50	12.59	18.09	48.30	482.16	-	36.62	477.22	36.36	44.74	42.56	2006/6/26 18:10
CI-159	4.80	73.00	24.50	15.85	-	21.46	425.03	-	20.13	412.48	19.70	20.75	-	2006/6/27 16:50
CI-160	5.60	91.00	7.00	2.51	28.87	119.18	446.54	-	74.66	412.92	115.66	89.29	85.81	2006/6/28 18:05
CI-161	4.40	105.00	11.50	39.81	35.38	113.60	410.48	-	115.80	373.77	156.01	135.81	131.54	2006/7/2 19:10
CI-162	5.20	19.00	95.40	6.31	-	-	97.23	-	23.46	111.93	6.11	12.56	-	2006/7/8 13:10
CI-163	4.80	27.00	45.80	15.85	43.54	19.98	79.09	-	22.83	120.93	18.21	25.79	20.54	2006/7/9 4:02
CI-164	5.00	29.00	18.50	10.00	-	18.50	127.82	-	26.79	159.84	14.08	20.92	-	2006/7/9 16:17

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
CI-165	4.50	19.00	48.00	31.62	73.67	17.92	39.15	-	-	42.00	16.91	15.35	6.47	2006/7/11 15:30
CI-166	4.00	94.00	1.50	100.00	73.67	217.88	33.55	-	82.59	92.41	248.45	176.55	167.66	2006/7/12 1:22
CI-167	5.50	16.00	60.00	3.16	45.94	-	42.08	-	30.67	84.74	-	15.25	9.71	2006/7/14 2:30
CI-168	6.00	19.00	154.00	1.00	48.25	-	65.91	-	35.17	93.17	12.09	24.35	18.53	2006/7/14 23:00
CI-169	6.00	23.00	38.00	1.00	88.11	-	50.96	-	36.26	123.00	3.26	35.25	24.62	2006/7/15 9:15
CI-170	5.40	10.00	40.00	3.98	25.70	15.98	22.40	-	25.81	33.33	6.29	14.66	11.56	2006/7/15 16:45
CI-171	5.70	13.00	20.50	2.00	36.67	-	63.23	-	24.68	61.40	4.15	11.75	7.33	2006/7/16 12:10
CI-172	5.90	15.00	48.50	1.26	27.61	18.57	51.28	-	35.29	56.18	11.62	25.75	22.42	2006/7/25 7:30
CI-173	5.00	24.00	5.50	10.00	34.75	23.04	77.87	-	39.34	101.37	20.31	36.57	32.38	2006/7/25 23:30
CI-174	4.90	16.00	18.00	12.59	24.72	21.13	24.13	-	34.99	42.54	21.86	31.04	28.06	2006/7/26 9:00
CI-175	6.80	95.00	7.00	0.16	119.68	245.79	72.79	81.11	192.37	143.88	229.14	188.10	173.67	2006/8/1 17:10
CI-176	6.30	48.00	12.00	0.50	28.35	185.77	77.95	-	51.38	100.65	135.62	96.97	93.55	2006/8/2 19:27
CI-177	6.10	14.00	69.50	0.79	20.26	44.78	32.10	-	29.61	30.85	22.89	32.06	29.61	2006/8/3 18:55
CI-178	6.10	35.00	1.50	0.79	17.20	168.08	26.67	-	53.77	42.43	78.20	109.88	107.80	2006/8/6 15:25
CI-179	7.00	200.00	4.50	0.10	113.38	255.17	917.36	-	123.99	1439.19	166.78	90.93	77.26	2006/8/8 3:37
CI-180	6.30	37.00	10.50	0.50	43.38	110.59	59.24	-	57.47	105.12	70.72	72.75	67.52	2006/8/9 3:00
CI-181	4.80	22.00	22.00	15.85	-	18.60	76.47	-	20.82	84.36	19.52	23.65	-	2006/8/10 17:10
CI-182	6.00	35.00	7.50	1.00	31.36	140.12	-	-	59.57	27.84	121.91	102.51	98.73	2006/8/22 16:45
CI-183	4.80	19.00	4.00	15.85	-	-	-	-	-	16.23	37.13	49.49	-	2006/8/27 16:15
CI-183-1	5.00	26.00	1.50	10.00	-	95.07	-	-	55.70	17.42	101.44	70.53	-	2006/8/27 18:50
CI-184	6.30	50.00	1.00	0.50	58.21	122.08	17.41	41.69	186.63	48.64		222.37	215.35	2006/9/1 14:05
CI-184-1	5.90	40.00	1.00	1.26	38.08	138.94	-	-	84.20	36.62	123.53	112.66	108.07	2006/9/3 16:15
CI-185	4.80	30.00	25.50	15.85	53.59	14.30	22.25	-	59.48	37.51	75.12	63.59	57.13	2006/9/5 16:25
CI-186	4.90	11.00	29.50	12.59	21.01	18.03	-	-	31.33	14.06	19.18	25.36	22.82	2006/9/6 14:10
CI-187	4.40	22.00	11.00	39.81	-	34.83	-	-	33.17	12.57	27.82	57.62	-	2006/9/7 17:00
CI-188	4.20	34.00	43.50	63.10	-	55.47	-	-	32.10	12.45	44.63	76.71	-	2006/9/8 17:45
CI-189	5.10	16.00	33.50	7.94	-	82.49	-	-	18.97	8.02	31.25	53.31	-	2006/9/9 16:25
CI-190	5.10	9.00	30.00	7.94	-	47.50	-	-	21.60	8.05	20.70	28.51	-	2006/9/10 18:50
CI-191	4.30	55.00	3.50	50.12	61.98	131.49	-	-	60.13	59.58	-	182.31	174.84	2006/9/11 17:45
CI-192	4.90	13.00	33.00	12.59	17.18	47.12	-	-	19.12	17.06	21.55	33.35	31.28	2006/9/12 15:10
CI-193	4.70	11.00	13.50	19.95	-	14.44	-	-		10.87	15.34	18.02	-	2006/9/12 20:00
CI-194	5.80	15.00	10.50	1.58	57.46	-	-	-	44.91	61.12	15.32	25.89	18.96	2006/9/16 4:15
CI-194-1	4.30	84.00	0.10	50.12	72.90	105.64	24.88	44.53	322.86	60.88	273.07	221.54	212.75	2006/9/24 12:40
CI-195	4.20	165.00	5.50	63.10	117.21	644.13	16.15	64.03	154.74	116.30	-	516.42	502.28	2006/10/12 20:00
CI-196	5.70	28.00	32.00	2.00	38.07	34.34	43.00	-	79.83	59.89	-	67.31	62.72	2006/11/20 19:15
CI-197	5.50	18.00	29.50	3.16	34.98	27.10	17.97	-	56.14	25.55	-	66.77	62.55	2006/11/22 6:15
CI-198	5.70	27.00	11.50	2.00	17.55	33.65	115.19	-	29.49	140.43	-	21.08	18.96	2006/11/26 22:52

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
CI-199	6.20	31.00	3.50	0.63	18.76	109.73	17.20	-	77.34	30.80	38.73	100.69	98.42	2006/12/16 3:15
CI-200	6.50	38.00	7.50	0.32	43.79	42.46	26.61	39.83	130.02	55.10	57.93	88.88	83.60	2006/12/16 16:15
CI-200-1	6.40	30.00	11.00	0.40	43.81	49.22	19.02	-	98.43	52.30	36.98	64.81	59.52	2007/1/4 0:00
CI-201	6.40	40.00	4.00	0.40	19.21	70.75	116.74	-	77.54	155.69	32.09	54.68	52.36	2007/1/18 1:45
CI-202	5.60	8.00	8.00	2.51	-	35.35	-	-	25.15	9.86	17.68	23.44	-	2007/1/19 0:30
CI-203	5.80	27.00	34.20	1.58	41.81	47.83	40.57	-	69.88	54.33	27.17	80.20	75.15	2007/1/19 10:07
CI-204	5.90	76.00	4.50	1.26	109.76	162.95	114.22	39.96	78.02	239.36	126.42	142.98	129.74	2007/1/20 6:15
CI-205	6.80	48.00	3.50	0.16	70.40	123.74	24.21	41.39	109.51	43.61	78.16	171.53	163.04	2007/2/9 19:02
CI-206	6.10	61.00	4.80	0.79	33.03	160.67	175.27	-	65.71	191.80	101.44	88.78	84.80	2007/2/22 6:15
CI-207	6.90	65.00	3.20	0.13	38.36	400.67	15.51	-	63.14	46.14	124.65	115.58	110.95	2007/2/22 18:00
CI-208	5.90	54.00	6.00	1.26	76.53	238.45	-	50.79	115.61	76.35	118.74	210.10	200.87	2007/2/25 5:30
CI-209	6.40	42.00	3.30	0.40	84.49	179.99	13.62	54.62	130.96	59.42	55.06	116.31	106.12	2007/3/5 5:45
CI-210	6.10	67.00	7.50	0.79	36.01	448.86	34.11	25.70	99.49	40.45	166.74	193.25	188.91	2007/3/7 6:00
CI-211	5.10	15.00	1.00	7.94	20.29	71.74	-	-	39.61	16.73	27.57	44.66	42.22	2007/3/25 7:00
CI-212	6.70	66.00	4.40	0.20	48.23	345.71	82.86	34.59	118.08	94.89	144.77	140.63	134.81	2007/3/27 19:45
CI-213	6.50	34.00	14.00	0.32	43.51	153.45	14.13	28.82	186.67	29.21	77.08	96.50	91.25	2007/4/2 20:57
CI-214	5.30	35.00	11.20	5.01	-	236.88	15.35	-	99.44	19.69	107.68	106.11	-	2007/4/3 19:00
CI-215	5.40	54.00	3.00	3.98	57.67	277.92	16.05	59.03	154.45	39.76	152.68	194.22	187.27	2007/4/15 3:45
CI-216	5.90	18.00	34.00	1.26	-	23.64	86.32	-	52.25	65.39	11.91	26.17	-	2007/4/18 2:00
CI-217	6.10	16.00	14.50	0.79	23.17	97.24	-	-	55.83	14.44	39.15	34.33	31.54	2007/4/23 18:30
CI-218	6.20	10.00	6.50	0.63	29.10	35.43	17.84	-	38.91	14.41	15.63	21.95	18.44	2007/4/24 16:50
CI-219	6.10	24.00	47.50	0.79	35.58	128.53	-	26.36	88.51	25.83	65.57	60.61	56.32	2007/5/5 8:30
CI-220	5.80	9.00	2.50	1.58	22.57	39.56	-	-	28.71	16.81	15.60	19.14	16.42	2007/5/6 0:00
CI-221	5.80	18.00	15.50	1.58	28.39	56.13	50.05	-	59.21	40.93	30.31	43.63	40.21	2007/5/18 20:52
CI-221-1	4.70	16.00	13.50	19.95	38.94	64.11	18.46	-	54.71	21.87	29.28	55.29	50.59	2007/5/19 7:07
CI-222	6.30	31.00	12.20	0.50	33.29	216.93	14.67	-	42.55	9.81	20.00	52.28	48.26	2007/5/19 9:05
CI-223	5.40	7.00	8.50	3.98	-	32.23	12.74	-	18.13	10.32	10.08	13.36	-	2007/5/20 8:25
CI-224	5.40	5.00	71.00	3.98	-	25.58	24.29	-	20.96	14.25	7.01	7.94	-	2007/5/20 17:40
CI-225	6.20	21.00	0.50	0.63	50.03	107.83	12.69	27.28	110.38	28.55	48.51	51.88	45.85	2007/5/28 16:07
CI-226	6.50	23.00	37.70	0.32	81.23	53.35	55.89	40.94	104.05	37.87	33.72	59.26	49.46	2007/6/4 14:37
CI-226-1	5.70	16.00	48.70	2.00	28.25	64.27	56.56	-	40.74	44.42	20.41	31.70	28.29	2007/6/5 10:55
CI-227	4.50	31.00	5.00	31.62	36.86	83.34	64.17	-	75.37	55.57	55.96	58.26	53.82	2007/6/6 7:30
CI-227-1	5.30	15.00	18.00	5.01	82.98	-	-	-	35.75	69.06	-	26.24	16.23	2007/6/6 23:00
CI-228	5.30	12.00	19.50	5.01	32.72	45.95	36.09	-	24.00	22.16	17.96	24.45	20.51	2007/6/7 6:10
CI-229	6.70	21.00	17.50	0.20	101.36	32.45	44.59	26.10	56.01	20.41	18.36	52.40	40.18	2007/6/7 17:27
CI-230	5.70	8.00	76.90	2.00	-	22.31	31.59	-	24.09	20.96	8.57	11.71	-	2007/6/8 13:22
CI-231	5.70	9.00	7.80	2.00	-	24.10	27.20	-	22.11	19.66	10.46	16.07	-	2007/6/9 13:55

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
CI-232	6.40	19.00	5.00	0.40	80.66	27.43	55.69	-	74.88	38.39	14.98	49.98	40.26	2007/6/10 17:55
CI-233	6.40	16.00	14.00	0.40	78.36	24.86	57.38	-	46.91	31.31	11.80	32.68	23.23	2007/6/11 12:35
CI-234	5.90	7.00	47.50	1.26	52.30	36.11	47.06	-	44.64	21.04	8.17	12.71	6.41	2007/6/12 11:00
CI-235	6.10	18.00	2.00	0.79	43.37	210.58	16.52	28.24	99.57	14.80	38.83	45.90	40.67	2007/6/25 14:42
CI-236	6.10	43.00	7.00	0.79	201.41	276.11	17.92	54.30	121.20	130.05	64.46	80.90	56.60	2007/7/1 17:30
CI-237	6.10	27.00	18.00	0.79	55.73	146.21	-	24.90	85.46	28.22	50.61	76.61	69.89	2007/7/8 18:35
CI-238	5.90	26.00	5.00	1.26	71.79	274.16	17.42	-	84.48	28.97	61.84	76.03	67.37	2007/7/9 17:00
CI-239	5.90	28.00	6.20	1.26	133.18	28.24	18.20	59.77	178.65	30.86	-	112.74	96.68	2007/7/15 9:00
CI-240	6.00	6.00	22.60	1.00	-	31.77	-	-	-	12.31	9.51	12.22	-	2007/7/15 13:30
CI-241	6.20	16.00	4.50	0.63	47.12	89.48	12.88	-	48.56	20.96	27.53	38.53	32.85	2007/7/17 12:55
CI-242	6.60	23.00	3.50	0.25	47.44	56.59	-	57.75	163.37	20.40	25.26	62.16	56.44	2007/8/3 21:20
CI-243	6.10	15.00	6.50	0.79	-	71.50	-	-	39.03	11.60	30.94	28.28	-	2007/8/4 17:45
CI-244	6.70	20.00	7.50	0.20	-	47.97	-	-	25.91	14.76	22.34	17.04	-	2007/8/7 22:20
CI-245	6.60	40.00	3.50	0.25	95.12	191.69	-	29.10	126.27	79.62	50.80	79.37	67.90	2007/8/9 8:00
CI-246	6.50	23.00	11.50	0.32	40.74	146.07	-	-	52.00	33.12	33.48	53.09	48.17	2007/8/10 11:00
CI-247-1	6.10	8.00	9.00	0.79	-	24.54	-	-	28.44	25.41	7.91	15.01	-	2007/8/11 10:40
CI-247-2	6.00	15.00	19.00	1.00	92.60	29.65	18.27	26.57	51.35	73.95	9.42	19.31	8.14	2007/8/11 14:45
CI-247-3	5.90	17.00	2.90	1.26	103.98	-	-	24.46	29.50	80.63	10.30	31.13	18.59	2007/8/11 17:30
CI-247-4	5.80	22.00	10.20	1.58	130.36	25.94	-	33.41	31.52	129.61	10.08	29.58	13.86	2007/8/11 20:17
CI-247-5	6.40	18.00	10.10	0.40	91.37	23.69	-	36.62	58.44	60.83	4.55	39.12	28.10	2007/8/12 5:02
CI-247-6	6.10	13.00	25.00	0.79	70.23	22.68	-	-	34.39	53.63	9.17	19.77	11.29	2007/8/12 13:10
CI-247-7	6.00	9.00	44.00	1.00	42.33	-	-	-	22.26	36.99	6.95	17.71	12.60	2007/8/12 15:20
CI-247-8	5.70	10.00	8.00	2.00	60.78	-	-	-	19.61	54.31	6.25	14.43	7.10	2007/8/12 17:20
CI-247-9	6.00	6.00	10.50	1.00	26.85	32.43	-	-	20.08	18.30	5.95	13.74	10.50	2007/8/12 18:40
CI-247-10	5.90	2.00	35.40	1.26	-	24.88	-	-	21.73	8.00	4.90	5.37	-	2007/8/12 20:40
CI-247-11	5.80	12.00	19.20	1.58	51.68	52.90	-	-	-	46.43	-	19.44	13.21	2007/8/13 1:50
CI-248	5.50	5.00	55.80	3.16	-	-	-	-	17.10	11.21	-	15.48	-	2007/8/13 8:42
CI-249	4.80	8.00	83.20	15.85	-	23.39	-	-	21.52	8.16	-	25.51	-	2007/8/13 21:50
CI-250	5.20	4.00	15.00	6.31	-	-	-	-	-	-	-	13.46	-	2007/8/14 7:20
CI-251	6.00	15.00	1.50	1.00	-	90.98	-	-	35.50	14.70	23.81	43.67	-	2007/8/15 6:00
CI-252	6.10	44.00	1.60	0.79	80.59	215.04	13.23	29.44	102.27	61.24	116.13	106.92	97.20	2007/8/17 15:45
CI-253	6.20	11.00	45.00	0.63	28.20	58.70	-	-	35.68	13.52	-	20.55	17.15	2007/8/18 8:15
CI-254	5.80	12.00	60.30	1.58	59.20	22.15	-	-	37.42	45.92	-	26.27	19.13	2007/8/18 22:45
CI-255	6.10	38.00	174.90	0.79	149.23	52.15	30.11	40.63	136.82	91.12	33.14	105.62	87.62	2007/8/19 13:45
CI-256	5.50	9.00	1.50	3.16	23.57	32.65	-	-	26.43	20.32	-	23.47	20.62	2007/8/20 0:45
CI-257	4.90	16.00	38.50	12.59	33.43	50.81	-	-	33.71	23.17	-	59.21	55.18	2007/8/20 8:15
CI-258	4.80	11.00	28.00	15.85	-	-	-	-	-	10.21	-	-	-	2007/8/20 11:30

No.	pH	Cond.	Rainfall	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻	Time
CI-259	4.30	28.00	15.00	50.12	38.57	67.90	-	-	22.38	31.90	18.06	85.75	81.10	2007/8/20 14:45
CI-260	5.20	14.00	3.00	6.31	42.58	46.62	-	-	30.66	38.47	21.86	27.61	22.48	2007/8/21 6:50
CI-261	5.40	4.00	5.00	3.98		25.42	-	-	19.59	9.24	-	11.97	-	2007/8/21 11:35
CI-262	6.00	50.00	11.00	1.00	232.44	45.58	47.42	61.68	237.73	112.58	42.06	138.41	110.38	2007/8/21 16:37
CI-263	6.00	9.00	4.00	1.00	21.71	75.00	-	-	33.53	15.80	-	25.99	23.37	2007/8/22 16:45
CI-264	4.90	12.00	1.00	12.59	-	30.39	-	-	-	14.21	-	-	-	2007/8/23 15:00
CI-265	6.30	37.00	20.00	0.50	126.94	136.66	24.81	36.88	131.20	60.09	39.72	89.77	74.46	2007/8/24 17:45
CI-266	5.90	16.00	34.00	1.26	-	152.08	-	-	26.65	8.40	31.59	42.00	-	2007/8/26 14:30
CI-267	6.00	19.00	0.50	1.00	29.57	102.20	-	-	74.53	22.41	35.94	45.21	41.65	2007/8/28 17:00
CI-268	6.40	73.00	0.40	0.40	70.96	285.08	17.88	-	192.56	86.59	225.10	221.30	212.74	2007/8/29 17:15
CI-269	6.10	50.00	0.40	0.79	21.80	332.56	-	-	80.23	34.27	177.75	144.64	142.01	2007/8/30 20:20
CI-270	5.70	13.00	10.70	2.00	-	51.83	-	-	28.60	-	38.60	33.78	-	2007/9/5 4:30
CI-271	5.30	27.00	15.50	5.01	18.08	149.58	-	-	24.30	20.43	75.21	95.97	93.79	2007/9/6 17:00
CI-272	4.90	49.00	38.30	12.59	19.42	331.12	-	-	42.89	30.57	164.44	194.62	192.27	2007/9/7 14:45
CI-273	5.70	21.00	46.00	2.00	-	146.07	-	-	-	15.47	64.71	62.67	-	2007/9/10 14:30
CI-274	6.30	110.00	3.00	0.50	332.52	295.65	16.59	93.95	170.31	515.18	178.60	329.90	289.80	2007/9/17 19:45
CI-275	4.90	37.00	19.30	12.59	103.28	73.59	-	-	38.10	142.28	24.86	120.48	108.02	2007/9/18 11:30
CI-276	4.40	26.00	29.00	39.81	-	58.67	-	-	17.84	13.26	20.67	94.73	-	2007/9/18 22:40
CI-277	6.40	45.00	0.30	0.40	96.64	224.74	-	-	70.02	114.76	127.51	88.61	76.95	2007/9/20 16:45
CI-278	5.70	65.00	0.40	2.00	99.42	321.61	13.80	-	100.50	107.47	227.00	158.32	146.33	2007/9/20 18:15
CI-279	6.70	43.00	3.00	0.20	106.79	70.29	-	75.93	101.97	65.00	61.69	142.45	129.57	2007/9/23 18:00
CI-280	5.40	5.00	36.50	3.98	-	-	-	-	-	-	11.36	16.44	-	2007/9/24 18:45
CI-281	6.90	9.00	1.00	0.13	-	47.20	-	-	-	-	15.14	21.08	-	2007/9/25 6:15
CI-282	4.80	15.00	2.50	15.85	22.26	-	-	-	46.36	21.58	-	31.00	28.32	2007/9/27 18:00
CI-283	4.20	123.00	121.10	63.10	584.47	-	-	130.34	124.55	854.07	7.34	114.51	44.02	2007/10/6 11:00
CI-284	4.40	48.00	120.50	39.81	57.14	95.90	-	-	57.38	54.94	75.23	160.75	153.86	2007/10/8 17:15
CI-285	3.10	300.00	1.00	794.33	199.68	-	14.97	64.12	244.33	199.09	32.31	792.28	768.20	2007/10/8 23:00
CI-286	3.70	93.00	3.50	199.53	139.28	-	-	34.49	139.52	136.14	-	142.75	125.95	2007/10/11 16:52
CI-287	3.70	94.00	1.00	199.53	55.16	-	-	-	122.32	28.21	56.49	91.95	85.30	2007/10/12 16:52
CI-288	4.20	320.00	0.10	63.10	599.08	313.13	194.69	352.33	1242.12	652.09	1760.70	955.26	883.00	2007/11/2 0:00
CI-289	4.40	52.00	0.10	39.81	41.55	-	42.74	-	189.71	65.20	160.30	108.84	103.83	2007/11/4 0:00
CI-290	6.50	79.00	3.00	0.32	99.04	140.13	27.59	73.55	376.97	107.94	128.46	179.46	167.51	2007/11/26 22:30
CI-291	6.30	27.00	15.00	0.50	17.58	35.56	-	-	123.67	14.21	17.18	39.37	37.25	2007/11/27 8:00
CI-292	6.00	88.00	4.00	1.00	80.59	491.83	10.45	34.92	230.62	103.83	204.84	304.86	295.14	2007/11/28 9:20

中國毒氣駭台 我大氣汞濃度飆 5 倍

自由時報 更新日期:2008/05/07 04:09

中國沙塵挾大量燃煤空污

〔記者田瑞華台北報導〕空氣污染無國界！環保署昨日指出，近二年在南投縣、嘉義縣交界的鹿林山監測站發現，當冬、春二季氣團來自於中國時，大量燃煤的空污隨著東北季風氣流來到我國，造成空氣中重金屬「汞」和二氧化硫濃度明顯偏高。在中國沙塵影響期間，汞濃度最高可達背景值五倍。

影響範圍達三千公尺高山

為監測亞洲地區的大氣污染物對我國環境的影響，環保署監資處指出，我國於二年前花費約二千萬元，在海拔二千八百六十二公尺的鹿林山頂設置國際級的空氣品質背景測站，進行長期追蹤監測，結果證實，中國空氣污染物長程傳輸對台灣影響範圍可達三千公尺的高山，值得進一步追蹤探討。

二氧化硫濃度也高達五倍

監資處表示，自九十五年四月以來監測氣態「汞」的資料，夏季因為西南氣流來自太平洋，汞的背景濃度最低，約為每立方公尺一·一奈克（ ng/m^3 ）。冬季和春季時，挾帶中國工業區燃煤污染物的氣團隨著東北季風，從華北、華中傳輸到台灣，造成平均濃度升高，平均最高值可達每立方公尺二·四二奈克，約是夏季背景值的二倍。

特別是去年十二月廿九日，受中國沙塵的龐大氣團來襲影響，空氣中的懸浮微粒及二氧化硫濃度分別上升到背景值的四到五倍，而大氣汞的最高濃度達到每立方公尺五·四奈克，幾乎是夏季背景值的五倍。

監資處處長朱雨其表示，推論當在高山測到外來氣團帶來大量汞污染，平地也會受影響。

此外，根據萬里測站的資料，每當中國沙塵於冬季來襲時，也會挾帶二氧化硫而來，例如去年十二月的平均值達到三·四 p p b（體積濃度十億分之一），為二年來最高。

林口長庚醫院臨床毒物科主任林杰樑則提醒，若經食物而攝入濃度較高的汞，長期且過量時可能傷害腦神經，但空氣中的汞濃度相較之下低很多，目前文獻上還沒有人因此造成汞中毒。

不過，汞和其他燃煤產生的重金屬（如砷、鉛、鎘等），經化學反應後容易吸附在懸浮微粒上，形成加重其他空氣污染物（如二氧化硫、臭氧）毒性作用的「幫兇」，會刺激呼吸道、使呼吸道的發炎反應加劇、引發氣喘等，民眾在空氣品質警報發佈時，記得戴口罩防範，體質敏感者減少到戶外、也不要勉強運動。

環保署空保處指出，未來如果國際上有針對汞訂出空氣品質標準限值會評估跟進。

<http://tw.news.yahoo.com/article/url/d/a/080507/78/yoeb.html>

附錄 4 陽明山區每週降水中各離子之沈降通量之計算結果

通量單位為 公斤/公頃/年

- 表示雨量不足無法分析或濃度低於偵測極限

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
YMS-111a	0.04	2.47	0.13	0.17	0.29	0.30	0.47	0.20	3.78	3.15
YMS-111b	0.22	10.58	0.64	0.88	1.24	1.56	2.03	-	21.99	19.33
YMS-111c	0.02	0.31	-	0.10	-	0.13	0.11	0.10	0.96	0.88
YMS-111d	0.13	9.12	-	-	-	-	1.95	-	7.97	5.68
YMS-112a	0.30	13.27	0.88	-	1.53	1.60	2.35	-	27.70	24.36
YMS-112b	0.03	3.36	0.24	0.23	0.54	0.58	0.06	0.16	4.25	3.41
YMS-112c	0.17	11.37	-	-	-	-	2.22	-	11.35	8.49
YMS-113a	0.01	1.00	0.57	0.12	0.18	0.46	0.16	0.13	3.04	2.79
YMS-113b	0.09	12.14	-	0.74	1.74	1.57	2.02	-	19.24	16.19
YMS-113c	0.05	1.96	1.14	1.19	-	0.93	0.32	0.50	3.39	2.89
YMS-113d	0.03	1.92	0.94	0.78	-	0.74	0.61	0.70	4.16	3.67
YMS-114a	0.00	0.43	0.08	0.05	0.07	0.22	0.08	0.06	1.24	1.13
YMS-114b	0.01	0.69	-	-	-	0.37	0.26	-	1.09	0.92
YMS-114c	0.04	1.95	0.77	-	-	0.81	0.51	-	4.37	3.88
YMS-114d	0.05	0.87	0.64	0.53	-	-	0.41	0.68	5.46	5.24
YMS-114e	0.03	-	0.41	-	-	-	0.87	0.59	3.13	-
YMS-115a	0.00	-	0.19	-	-	0.43	0.06	0.10	0.74	-
YMS-115b	0.10	2.30	-	-	-	-	0.83	-	5.24	4.67
YMS-115c	0.01	-	-	-	-	-	0.28	-	1.51	-

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
YMS-115d	0.04	-	-	-	-	-	-	-	2.33	-
YMS-116a	0.01	-	-	-	-	-	0.42	0.56	1.06	-
YMS-116b	0.03	-	-	-	-	-	-	-	2.35	-
YMS-116c	0.03	-	0.24	-	-	-	-	-	1.37	-
YMS-116d	0.00	0.03	-	0.07	0.03	0.19	0.01	0.01	0.22	0.21
YMS-117b	0.04	1.07	0.46	0.45	-	0.90	0.33	0.40	3.45	3.18
YMS-117c	0.01	17.25	-	1.97	2.05	2.11	3.04	-	4.00	0.00
YMS-117d	0.00	2.09	-	-	0.27	1.00	0.37	-	1.31	0.78
YMS-118a	0.00	1.18	-	0.12	-	0.40	0.21	-	0.60	0.30
YMS-118b	0.00	1.25	-	0.53	-	-	0.26	-	0.84	0.53
YMS-118c	0.01	-	0.50	-	-	1.12	0.23	-	2.89	-
YMS-118d	0.01	-	0.21	-	-	0.69	-	0.33	1.33	-
YMS-119a	0.00	0.08	-	0.07	0.02	0.13	0.02	0.03	0.41	0.39
YMS-119b	0.06	4.81	-	-	-	-	1.68	-	5.73	4.52
YMS-119c	0.09	11.90	-	1.69	1.43	1.22	2.14	0.89	6.95	3.95
YMS-119d	0.10	4.82	0.41	-	-	-	0.91	0.64	10.95	9.74
YMS-120c	0.00	0.56	-	-	0.11	0.58	0.11	0.09	1.27	1.13
YMS-120d	0.09	5.55	1.64	0.59	0.86	1.32	1.10	0.50	13.27	11.88
YMS-120e	0.25	11.50	1.67	1.35	1.60	1.11	20.59	7.43	18.01	15.11
YMS-121a	0.00	1.72	0.07	0.25	0.26	0.68	0.31	0.14	2.20	1.77
YMS-121b	0.00	1.52	0.24	0.18	0.29	0.67	0.30	0.15	2.68	2.30
YMS-121c	0.06	2.35	0.34	-	-	-	0.54	0.38	4.21	3.61
YMS-121d	0.05	1.77	-	0.52	-	-	0.50	-	3.48	3.03
YMS-122a	0.50	26.28	1.51	1.77	3.50	3.02	43.35	11.82	31.43	24.81

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
YMS-122b	0.14	5.50	0.56	0.39	0.76	0.49	9.07	3.13	8.46	7.07
YMS-122c	0.10	6.35	-	1.94	-	-	11.80	-	11.14	9.55
YMS-122d	0.03	11.07	-	-	1.36	1.47	17.98	-	6.52	3.73
YMS-122e	0.20	11.16	2.30	1.27	1.69	1.18	19.21	5.43	19.09	16.29
YMS-123a	0.06	5.43	-	1.12	-	0.96	11.05	10.21	8.62	7.26
YMS-123b	0.09	3.36	0.58	-	-	0.96	7.36	4.62	7.65	6.80
YMS-123c	0.09	4.09	1.00	1.24	-	-	8.17	3.38	9.91	8.89
YMS-123d	0.02	2.52	0.75	0.32	0.40	0.69	4.40	2.27	4.21	3.58
YMS-124b	0.03	1.23	0.77	0.20	0.20	0.33	1.80	-	3.25	2.94
YMS-124c	0.05	6.22	1.58	0.87	0.86	1.34	10.23	5.08	9.14	7.57
YMS-125a	0.21	19.44	1.83	1.84	2.51	1.91	31.95	7.35	23.76	18.86
YMS-125b	0.06	2.36	0.74	-	-	-	4.50	1.99	5.24	4.65
YMS-125c	0.07	7.37	0.78	0.84	0.96	0.62	12.54	2.73	7.55	5.70
YMS-125d	0.02	0.81	0.84	-	-	-	0.81	1.75	2.23	2.03
YMS-126a	0.00	10.56	1.40	1.05	1.58	4.07	17.20	4.93	12.78	10.13
YMS-126b	0.05	2.22	0.79	-	-	0.62	3.93	2.82	5.08	4.52
YMS-126c	0.01	0.87	0.20	-	-	0.49	1.37	1.23	1.61	1.39
YMS-126d	0.01	0.44	-	-	-	0.36	0.70	0.98	1.14	1.03
YMS-126e	0.02	1.43	0.28	-	0.21	0.66	2.57	1.04	2.45	2.09
YMS-127a	0.01	-	-	-	-	-	0.12	0.45	0.42	-
YMS-127b	0.02	0.75	0.26	0.10	0.14	0.38	1.19	1.11	2.14	1.95
YMS-127c	0.00	-	0.17	0.49	-	0.74	0.66	0.77	1.21	-
YMS-127d	0.00	0.11	0.14	-	0.06	0.51	0.20	0.65	1.06	1.03
YMS-128a	0.06	-	-	-	-	-	-	-	3.36	-

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
YMS-128b	0.05	-	0.82	-	-	-	-	-	2.64	-
YMS-128c	0.00	0.09	-	-	-	0.41	0.22	0.36	0.41	0.38
YMS-128d	0.03	-	0.38	-	-	0.35	0.26	1.31	1.47	-
YMS-129a	0.00	-	0.17	-	-	0.92	0.36	0.89	1.06	-
YMS-129b	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01	0.05	0.03	0.10	0.11	0.10
YMS-129c	0.01	0.41	0.17	-	-	0.23	0.67	0.58	0.75	0.65
YMS-129d	0.00	0.04	0.01	0.01	0.04	0.36	0.05	0.20	0.25	0.24
YMS-129e	0.00	0.02	0.04	0.01	0.01	0.08	0.03	0.21	0.24	0.24
YMS-130a	0.00	0.16	0.07	-	-	0.17	0.35	-	0.45	0.41
YMS-130b	0.04	3.64	-	-	0.64	1.33	5.08	-	2.80	1.88
YMS-130c	0.02	7.02	-	-	1.15	0.66	12.12	-	3.07	1.31
YMS-130d	0.03	0.65	0.94	-	-	0.46	0.95	1.98	2.01	1.85
YMS-131a	0.02	-	0.88	-	-	1.23	0.35	1.38	2.14	-
YMS-131b	0.07	2.42	0.85	0.27	0.33	0.39	3.41	3.09	5.40	4.80
YMS-131c	0.04	11.01	1.75	-	1.55	-	15.21	-	7.50	4.73
YMS-131d	0.02	5.11	-	-	-	1.48	7.06	-	3.63	2.35
YMS-131e	0.03	1.64	0.18	-	0.20	0.29	2.00	-	1.82	1.41
YMS-132a	0.04	25.30	1.80	-	3.49	2.94	39.20	-	12.49	6.13
YMS-132b	0.22	19.26	2.72	2.10	3.27	1.83	32.57	10.02	22.53	17.68
YMS-132c	0.01	2.39	0.18	0.22	0.48	0.78	4.05	1.52	2.12	1.52
YMS-132d	0.16	10.26	1.89	1.22	1.42	0.89	14.16	4.89	13.10	10.52
YMS-133a	0.09	23.42	2.63	-	3.40	3.64	32.35	7.73	17.92	12.02
YMS-133b	0.17	14.69	1.96	1.24	1.95	1.72	24.78	6.47	17.68	13.98
YMS-133c	0.13	10.80	2.00	1.11	1.46	1.16	19.72	5.57	16.33	13.61

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
YMS-133d	0.09	23.33	-	1.82	3.24	1.74	39.24	-	14.68	8.81
YMS-134a	0.09	6.34	1.72	0.72	0.97	1.11	11.70	5.56	9.11	7.52
YMS-134b	0.08	3.58	0.95	0.37	0.49	0.36	6.07	3.41	6.06	5.16
YMS-134c	0.07	3.43	0.84	0.32	0.52	0.71	5.78	4.01	5.79	4.92
YMS-134d	0.05	4.95	-	-	0.67	0.79	11.50	2.83	5.76	4.52
YMS-134e	0.12	2.97	1.61	0.28	0.39	0.47	7.41	6.58	8.90	8.15



附錄 5 嘉義鄉間各降水事件中各離子沈降通量之計算結果

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
CI-107	0.00	0.12	0.01	0.02	0.07	0.11	0.06	0.04	0.38	0.35
CI-108	0.00	0.05	0.07	0.02	0.02	0.12	0.04	0.18	0.36	0.35
CI-109	0.00	0.03	0.06	0.02	-	0.11	0.04	0.07	0.11	0.11
CI-110	0.00	0.05	0.05	0.02	0.02	0.09	0.05	0.07	0.14	0.13
CI-111	0.00	0.08	0.24	0.05	-	0.20	0.09	0.16	0.29	0.27
CI-112	0.00	0.02	0.03	0.04	-	0.05	0.03	0.04	0.13	0.12
CI-113	0.00	0.03	0.06	0.08	0.01	0.07	0.08	0.18	0.23	0.22
CI-114	0.00	0.04	0.07	0.08	0.01	0.07	0.11	0.22	0.26	0.25
CI-115	0.00	0.01	0.03	0.01	-	0.03	0.01	0.07	0.08	0.08
CI-116	0.00	0.11	0.28	0.07	-	0.21	0.19	0.36	0.48	0.45
CI-117	0.00	0.07	0.09	0.04	-	0.18	0.09	0.21	0.30	0.28
CI-118	0.00	0.07	0.23	0.04	-	0.17	0.11	0.31	0.35	0.33
CI-119	0.00	-	0.29	-	-	0.27	0.19	0.52	0.54	-
CI-120	0.00	0.02	0.14	0.02	-	0.04	0.04	0.17	0.18	0.17
CI-121	0.00	0.02	0.16	0.03	-	0.05	0.06	0.28	0.30	0.29
CI-122	0.00	0.09	0.10	0.05	-	0.14	0.12	0.24	0.35	0.33
CI-124	0.00	-	0.17	-	-	0.19	0.14	0.29	0.46	-
CI-125	0.00	0.02	0.12	-	-	0.05	0.03	0.09	0.20	0.19
CI-126	0.00	-	0.20	-	-	0.36	0.19	0.66	0.63	-
CI-127	0.00	-	0.01	-	-	0.02	0.01	0.03	0.03	-
CI-128	0.00	0.06	0.03	0.02	0.07	0.25	0.06	0.08	0.56	0.55
CI-129	0.00	-	0.14	-	-	0.13	0.05	0.19	0.20	-

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
CI-132	0.00	0.01	0.02	0.00	-	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
CI-133	0.00	-	0.94	-	-	0.24	0.25	1.14	1.28	-
CI-134	0.00	0.20	0.72	-	-	0.31	0.26	1.10	1.29	1.24
CI-135	0.00	0.06	0.18	0.07	-	0.15	0.09	0.33	0.35	0.34
CI-137	0.00	0.11	0.12	0.06	-	0.09	0.04	0.24	0.35	0.32
CI-139	0.00	0.08	0.05	1.87	-	0.23	1.53	0.34	0.24	0.22
CI-140	0.00	0.08	-	2.04	-	0.17	1.60	-	0.43	0.41
CI-141	0.00	0.59	-	6.58	-	0.32	5.05	-	1.11	0.96
CI-142	0.00	0.25	0.01	0.15	0.03	0.06	0.39	0.06	0.13	0.06
CI-143	0.00	0.21	0.13	1.44	-	0.16	1.21	0.27	0.39	0.34
CI-144	0.00	0.14	0.04	1.06	-	0.12	0.79	0.23	0.33	0.29
CI-145	0.01	-	0.09	2.16	-	0.14	1.81	0.29	0.59	-
CI-146	0.00	-	-	0.52	-	0.06	0.56	0.07	0.11	-
CI-147	0.01	-	0.10	0.84	-	0.11	0.94	0.39	0.27	-
CI-148	0.00	0.05	0.06	0.52	-	0.06	0.75	0.22	0.28	0.27
CI-149	0.00	0.34	-	1.43	-	0.27	3.23	0.26	0.31	0.22
CI-150	0.00	-	-	5.68	-	0.41	4.95	-	0.80	-
CI-151	0.00	-	0.05	2.85	-	0.05	2.54	0.12	0.13	-
CI-151-1	0.00	0.20	0.09	0.26	-	0.11	0.19	0.20	0.27	0.22
CI-152	0.00	0.23	0.15	9.18	-	0.17	12.59	0.38	0.40	0.34
CI-153-1	0.00	-	-	6.57	-	-	6.18	-	-	-
CI-153-2	0.00	-	-	-	-	-	0.16	-	-	-
CI-154	0.01	-	-	1.84	-	0.17	1.62	0.29	0.31	-
CI-155	0.00	-	0.11	1.02	-	0.06	0.92	0.16	0.21	-

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
CI-156-1	0.00	-	0.16	-	-	0.29	0.32	0.51	0.60	-
CI-158	0.00	0.09	0.20	4.27	-	0.17	3.79	0.51	0.49	0.46
CI-159	0.02	-	0.40	17.27	-	0.42	15.04	1.27	1.04	-
CI-160	0.00	0.11	0.36	2.96	-	0.25	2.45	1.22	0.73	0.70
CI-161	0.00	0.05	0.12	0.95	-	0.14	0.77	0.57	0.39	0.37
CI-162	0.00	-	-	1.58	-	0.20	1.63	0.16	0.25	-
CI-163	0.00	0.31	0.11	0.97	-	0.14	1.33	0.35	0.39	0.31
CI-164	0.00	-	0.08	1.15	-	0.12	1.29	0.20	0.23	-
CI-165	0.01	0.71	0.13	0.64	-	-	0.61	0.44	0.31	0.13
CI-166	0.00	0.08	0.20	0.07	-	0.08	0.16	0.77	0.42	0.40
CI-167	0.01	2.01	-	3.12	-	1.16	5.63	-	1.39	0.89
CI-168	0.00	0.03	-	0.08	-	0.02	0.10	0.02	0.03	0.03
CI-169	0.00	0.49	-	0.48	-	0.17	1.04	0.05	0.41	0.28
CI-170	0.00	0.17	0.08	0.26	-	0.15	0.34	0.11	0.21	0.16
CI-171	0.00	0.02	-	0.07	-	0.01	0.06	0.01	0.02	0.01
CI-172	0.00	0.26	0.13	0.80	-	0.28	0.79	0.29	0.50	0.43
CI-173	0.00	0.14	0.07	0.52	-	0.14	0.61	0.22	0.30	0.27
CI-176	0.00	0.07	0.34	0.31	-	0.11	0.36	0.86	0.48	0.46
CI-177	0.00	0.18	0.32	0.49	-	0.23	0.42	0.56	0.60	0.56
CI-178	0.00	0.06	0.48	0.16	-	0.17	0.23	0.76	0.83	0.82
CI-179	0.00	4.78	8.42	65.58	-	4.55	92.33	18.95	8.00	6.80
CI-180	0.00	0.14	0.29	0.33	-	0.16	0.53	0.63	0.50	0.46
CI-181	0.01	-	0.13	1.13	-	0.16	1.12	0.46	0.43	-
CI-182	0.00	0.08	0.29	-	-	0.13	0.11	0.85	0.56	0.54

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
CI-183	0.01	-	-	-	-	-	0.37	1.50	1.55	-
CI-183-1	0.00	-	0.11	-	-	0.07	0.04	0.39	0.21	-
CI-184	0.00	0.07	0.12	0.04	0.03	0.20	0.09	-	0.57	0.55
CI-184-1	0.00	0.05	0.13	-	-	0.09	0.07	0.41	0.29	0.28
CI-185	0.00	0.12	0.03	0.09	-	0.12	0.13	0.46	0.30	0.27
CI-186	0.00	0.12	0.08	-	-	0.16	0.12	0.30	0.31	0.28
CI-187	0.02	-	0.26	-	-	0.27	0.18	0.70	1.13	-
CI-188	0.01	-	0.23	-	-	0.15	0.10	0.65	0.86	-
CI-189	0.00	-	0.31	-	-	0.08	0.06	0.41	0.54	-
CI-190	0.00	-	0.25	-	-	0.13	0.08	0.38	0.41	-
CI-191	0.01	0.16	0.26	-	-	0.13	0.23	-	0.97	0.93
CI-192	0.01	0.25	0.55	-	-	0.25	0.39	0.86	1.03	0.97
CI-193	0.00	-	0.06	-	-	-	0.08	0.21	0.19	-
CI-194	0.00	0.04	-	-	-	0.03	0.06	0.03	0.04	0.03
CI-195	0.01	0.27	1.15	0.06	0.08	0.31	0.40	-	2.45	2.38
CI-196	0.00	0.29	0.20	0.55	-	0.52	0.68	-	1.05	0.98
CI-197	0.00	0.20	0.12	0.17	-	0.27	0.22	-	0.78	0.73
CI-198	0.00	0.16	0.24	1.76	-	0.23	1.93	-	0.40	0.36
CI-199	0.00	0.04	0.17	0.06	-	0.14	0.09	0.21	0.42	0.41
CI-200	0.00	0.14	0.11	0.14	0.07	0.36	0.27	0.50	0.60	0.56
CI-200-1	0.00	0.18	0.16	0.13	-	0.35	0.32	0.40	0.55	0.50
CI-201	0.00	0.05	0.15	0.55	-	0.19	0.65	0.24	0.32	0.30
CI-202	0.00	-	0.31	-	-	0.24	0.17	0.53	0.54	-
CI-203	0.00	0.05	0.04	0.08	-	0.07	0.09	0.08	0.19	0.18

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
CI-205	0.00	0.12	0.17	0.07	0.04	0.17	0.12	0.37	0.62	0.59
CI-206	0.00	0.03	0.12	0.29	-	0.06	0.29	0.27	0.18	0.17
CI-208	0.00	0.15	0.36	-	0.05	0.20	0.23	0.62	0.85	0.82
CI-209	0.00	0.13	0.22	0.04	0.05	0.18	0.14	0.24	0.39	0.35
CI-210	0.00	0.07	0.67	0.11	0.03	0.17	0.12	0.86	0.77	0.76
CI-211	0.00	0.09	0.24	-	-	0.15	0.11	0.32	0.40	0.38
CI-213	0.00	0.14	0.39	0.08	0.05	0.52	0.14	0.67	0.65	0.62
CI-214	0.00	-	0.57	0.08	-	0.27	0.09	0.90	0.68	-
CI-216	0.00	-	0.19	1.53	-	0.47	1.04	0.34	0.57	-
CI-217	0.00	0.04	0.14	-	-	0.09	0.04	0.20	0.13	0.12
CI-218	0.00	0.11	0.11	0.12	-	0.13	0.08	0.16	0.18	0.15
CI-219	0.00	0.06	0.17	-	0.02	0.13	0.07	0.30	0.21	0.20
CI-220	0.00	0.24	0.33	-	-	0.27	0.28	0.45	0.43	0.37
CI-221	0.00	0.11	0.17	0.34	-	0.21	0.25	0.33	0.36	0.33
CI-221-1	0.00	0.22	0.28	0.18	-	0.27	0.19	0.44	0.65	0.59
CI-222	0.00	0.14	0.72	0.10	-	0.16	0.06	0.23	0.46	0.42
CI-223	0.00	-	0.22	0.19	-	0.14	0.14	0.24	0.25	-
CI-224	0.00	-	0.56	1.16	-	0.51	0.61	0.53	0.47	-
CI-225	0.00	0.04	0.06	0.02	0.01	0.07	0.03	0.09	0.08	0.07
CI-226	0.00	0.23	0.12	0.27	0.06	0.25	0.16	0.26	0.35	0.29
CI-226-1	0.00	0.17	0.31	0.58	-	0.22	0.41	0.34	0.40	0.36
CI-227	0.00	0.10	0.18	0.31	-	0.18	0.24	0.42	0.34	0.32
CI-227-1	0.01	3.42	-	-	-	1.28	4.33	-	2.26	1.40
CI-228	0.00	0.28	0.30	0.52	-	0.18	0.28	0.41	0.43	0.36

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
CI-229	0.00	0.28	0.07	0.21	0.04	0.14	0.09	0.14	0.31	0.24
CI-230	0.00	-	0.46	1.41	-	0.55	0.84	0.61	0.64	-
CI-231	0.00	-	0.09	0.22	-	0.09	0.14	0.13	0.16	-
CI-232	0.00	0.17	0.05	0.20	-	0.14	0.12	0.09	0.22	0.18
CI-233	0.00	0.35	0.09	0.43	-	0.18	0.21	0.14	0.30	0.21
CI-234	0.00	0.55	0.30	0.83	-	0.41	0.33	0.23	0.28	0.14
CI-235	0.00	0.03	0.12	0.02	0.01	0.06	0.02	0.07	0.07	0.06
CI-237	0.00	0.07	0.13	-	0.02	0.09	0.05	0.16	0.19	0.17
CI-238	0.00	0.06	0.19	0.03	-	0.07	0.04	0.15	0.14	0.13
CI-239	0.00	0.37	0.06	0.09	0.09	0.44	0.13	-	0.66	0.57
CI-240	0.00	-	0.27	-	-	-	0.20	0.28	0.27	-
CI-241	0.00	0.24	0.36	0.11	-	0.22	0.16	0.38	0.41	0.35
CI-242	0.00	0.15	0.14	-	0.10	0.45	0.10	0.22	0.41	0.38
CI-243	0.00	-	0.11	-	-	0.07	0.03	0.16	0.12	-
CI-244	0.00	-	0.10	-	-	0.06	0.06	0.16	0.09	-
CI-245	0.00	0.08	0.13	-	0.01	0.09	0.10	0.12	0.14	0.12
CI-246	0.00	0.08	0.24	-	-	0.09	0.10	0.19	0.23	0.21
CI-247-1	0.00	-	0.06	-	-	0.08	0.12	0.07	0.10	-
CI-247-3	0.00	0.46	-	-	0.06	0.11	0.54	0.12	0.29	0.17
CI-247-4	0.00	0.23	0.04	-	0.03	0.05	0.35	0.05	0.11	0.05
CI-247-5	0.00	1.07	0.22	-	0.22	0.60	1.08	0.14	0.96	0.69
CI-247-6	0.00	0.16	0.04	-	-	0.07	0.18	0.06	0.09	0.05
CI-247-7	0.00	0.44	-	-	-	0.20	0.59	0.19	0.38	0.27
CI-247-8	0.00	0.10	-	-	-	0.03	0.14	0.03	0.05	0.02

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
CI-247-11	0.00	0.79	0.63	-	-	-	1.08	-	0.62	0.42
CI-248	0.00	-	-	-	-	0.22	0.25	-	0.48	-
CI-249	0.01	-	0.31	-	-	0.32	0.21	-	0.90	-
CI-250	0.00	-	-	-	-	-	-	-	0.16	-
CI-251	0.00	-	0.03	-	-	0.01	0.01	0.03	0.04	-
CI-252	0.00	0.03	0.06	0.01	0.01	0.03	0.03	0.12	0.08	0.08
CI-253	0.00	0.21	0.34	-	-	0.23	0.15	-	0.32	0.27
CI-254	0.00	0.95	0.28	-	-	0.52	1.13	-	0.88	0.64
CI-255	0.00	5.10	1.40	1.75	0.72	4.07	4.74	3.05	7.54	6.25
CI-256	0.00	0.04	0.05	-	-	0.04	0.06	-	0.09	0.08
CI-257	0.00	0.13	0.15	-	-	0.11	0.13	-	0.46	0.43
CI-258	0.01	-	-	-	-	-	0.25	-	-	-
CI-259	0.00	0.05	0.07	-	-	0.03	0.06	0.06	0.23	0.22
CI-260	0.00	0.04	0.03	-	-	0.02	0.05	0.06	0.05	0.04
CI-261	0.00	-	0.02	-	-	0.02	0.02	-	0.03	-
CI-262	0.00	0.76	0.12	0.26	0.11	0.68	0.56	0.37	0.95	0.76
CI-263	0.00	0.03	0.07	-	-	0.03	0.03	-	0.06	0.06
CI-264	0.00	-	0.17	-	-	-	0.15	-	-	-
CI-265	0.00	0.71	0.60	0.24	0.11	0.64	0.51	0.60	1.05	0.87
CI-266	0.00	-	1.17	-	-	0.23	0.13	0.84	0.86	-
CI-267	0.00	0.01	0.02	-	-	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
CI-269	0.00	0.01	0.12	-	-	0.03	0.02	0.22	0.14	0.14
CI-270	0.00	-	0.08	-	-	0.05	-	0.19	0.13	-
CI-271	0.00	0.14	0.93	-	-	0.17	0.25	1.61	1.59	1.56

No.	H ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
CI-272	0.00	0.01	0.12	-	-	0.02	0.02	0.21	0.19	0.19
CI-273	0.00	-	1.23	-	-	-	0.25	1.88	1.41	-
CI-274	0.00	0.20	0.14	0.02	0.03	0.09	0.48	0.29	0.42	0.37
CI-275	0.00	0.82	0.46	-	-	0.26	1.72	0.53	2.00	1.80
CI-276	0.02	-	0.47	-	-	0.16	0.21	0.57	2.04	-
CI-277	0.00	0.05	0.10	-	-	0.03	0.10	0.19	0.10	0.09
CI-278	0.00	0.02	0.04	0.00	-	0.01	0.03	0.10	0.05	0.05
CI-279	0.00	0.14	0.07	-	0.05	0.12	0.13	0.22	0.39	0.35
CI-280	0.00	-	-	-	-	-	-	0.35	0.39	-
CI-281	0.00	-	0.01	-	-	-	-	0.01	0.01	-
CI-282	0.00	0.03	-	-	-	0.05	0.04	-	0.08	0.07
CI-283	0.03	6.02	-	-	0.70	1.12	13.39	0.20	2.46	0.95
CI-284	0.00	0.02	0.03	-	-	0.02	0.03	0.08	0.13	0.12
CI-285	0.01	0.07	-	0.01	0.01	0.08	0.11	0.03	0.62	0.60
CI-286	0.01	0.10	-	-	0.01	0.09	0.15	-	0.21	0.18
CI-287	0.00	0.03	-	-	-	0.06	0.02	0.09	0.11	0.10
CI-290	0.00	0.13	0.14	0.06	0.05	0.43	0.22	0.45	0.49	0.46
CI-291	0.00	0.04	0.07	-	-	0.26	0.05	0.11	0.20	0.19
CI-292	0.00	0.04	0.18	0.01	0.01	0.09	0.07	0.26	0.30	0.29