是誰打翻了天公的醋醰子？——
一九九四年臺北地區酸雨與天氣型態關係之研究

高中組地球科學科第二名

臺北市立建國高級中學　　作　　者：張峰齊、林大鈞、唐孝鈞、方裕元
指導教師：曾世彬、梁文美

一、研究動機

近年來，由於愈來愈嚴重的空氣汙染，造成了許多以前沒有的生態危機，「酸雨」便是其中最嚴重的一項。這個問題不但受到大家的關注，也引起了我們研究的興趣。我們常常聽到臺北地區的雨水的酸化已非常嚴重，但到底到了什麼程度？自己常常淋到的雨成份爲何？不同的季節，不同的天氣型態下，酸雨的情況是否有變化？其間之關係又如何？這些都是我們想去探討的。

二、研究目的

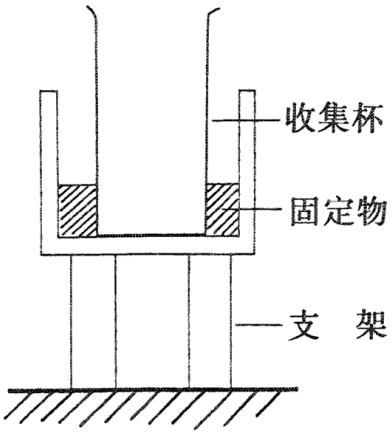
㈠了解酸雨的性質。
㈡探討天氣型態對雨水酸鹼度及離子濃度的影響。
㈢研擬出防治酸雨的方法。

三、研究設備

1994年1月至1995年1月雨水
手提式酸鹼值測定計（JENCO微電腦型6007）
離子層析儀（臺北市環境保護局技術室提供）
486 DX2－66電腦

四、研究過程

㈠在大同區（北市南京西路）、中正區（北市羅斯福路一段）、大安區（北市永康街）、松山區（北市新東街）、基隆（基市暖暖街及安和一街）共六個地點設置測站收集雨水。（位置詳見下圖）
㈡收集裝置如下圖：



1. 如圖，將收集杯置於比其低之容器內，且此容器用支架墊高，離地約20cm，以防止落於地面的雨水濺入杯中。
2. 在容器底部加重物，防止其翻倒。
3. 收集裝置仰角45°內須沒有任何掩蓋物，確保雨水不受其他因素之汙染及影響。

㈢將收集裝置放置於頂樓，每天晚上10點收集當天的雨水（包括前一天10點以後的雨水及乾性沉降），所收集到的雨水裝入乾淨軟片盒並放入冰箱儲存以防變質。再把裝置以蒸餾水清洗、擦乾，重覆使用。

㈣在收集雨水隔天以pH儀測量雨水之酸鹼值，記錄資料後，將雨水送往臺北市環保局技術室，由該局人員操作離子層析儀，測量雨水中氯離子、硝酸根離子、硫酸根離子的濃度。

㈤配合氣象局每日的氣象資料，分析酸雨與天氣型態關係。

五、研究結果

㈠月份與雨水pH值及陰離子濃度的關係

pH值														註：括孤內爲資料筆數
年　份	1994												1995	
月　份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	一	總平均
大同測站				4.60 (2)	4.61 (11)	4.57 (10)	6.94 (1)	4.58 (5)	4.78 (5)	5.05 (6)	4.73 (2)	4.76 (13)	5.21 (3)	4.71 (58)
中正測站	4.63 (5)	4.42 (5)	4.49 (5)	4.49 (5)	4.44 (10)	4.74 (7)	4.60 (2)	4.67 (6)	4.76 (4)	4.87 (4)		4.63 (4)	4.26 (2)	4.56 (59)
大安測站	4.60 (4)	4.49 (13)		4.21 (4)	4.27 (9)	4.47 (6)	4.43 (4)	5.01 (7)	4.94 (3)	5.11 (6)	5.31 (1)	4.43 (6)	5.66 (4)	4.53 (67)
松山測站	5.41 (8)	4.56 (10)		4.28 (4)	4.31 (10)	4.60 (6)	4.85 (1)	4.96 (5)	4.74 (4)	5.02 (5)	4.93 (1)	4.30 (3)	4.66 (1)	4.58 (58)
總平均	4.84 (17)	4.50 (28)	4.49 (5)	4.35 (15)	4.40 (40)	4.59 (29)	4.57 (8)	4.78 (23)	4.79 (16)	5.02 (21)	4.94 (4)	4.57 (26)	4.80 (10)	4.59 (242)

氯離子(ppm)														註：括弧內爲資料筆數
年　份	1994												1995	
月　份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	一	總平均
大同測站				1.230 (1)	3.570 (10)	4.253 (9)	9.987 (1)	2.984 (4)	3.502 (4)	15.445 (4)	18.463 (2)	11.628 (9)	4.576 (2)	6.861 (46)
中正測站			2.725 (5)	2.648 (4)	3.006 (8)	2.565 (6)	1.747 (2)	10.210 (6)	5.626 (4)	15.067 (3)		10.548 (2)	14.243 (2)	5.850 (42)
大安測站			3.219 (4)	3.891 (4)	2.126 (9)	4.675 (6)	3.969 (4)	7.771 (7)	3.047 (3)	12.567 (4)	12.841 (1)	12.589 (6)	10.612 (4)	6.462 (52)
松山測站				2.806 (3)	2.490 (9)	1.797 (6)	4.503 (1)	7.900 (5)	4.539 (4)	12.159 (4)	14.131 (2)	13.814 (4)	2.680 (1)	6.118 (39)
總平均			2.945 (9)	2.984 (12)	2.814 (36)	3.422 (27)	4.231 (8)	7.595 (22)	4.254 (15)	13.726 (15)	15.606 (5)	11.740 (21)	9.196 (9)	6.346 (179)

硝酸根離子(ppm)														註：括弧內爲資料筆數
年　份	1994												1995	
月　份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	一	總平均
大同測站				0 (1)	5.214 (10)	3.149 (9)	0 (1)	2.237 (4)	0.873 (4)	0.794 (4)	3.720 (2)	1.787 (9)	10.205 (2)	3.284 (46)
中正測站			3.086 (5)	8.319 (4)	5.865 (8)	2.391 (6)	1.609 (2)	2.880 (6)	1.379 (4)	1.426 (3)		2.005 (2)	0.032 (2)	3.401 (42)
大安測站			3.822 (4)	6.022 (4)	3.656 (9)	2.184 (6)	2.671 (4)	1.456 (7)	1.246 (3)	0.705 (4)	1.790 (1)	1.096 (6)	7.369 (4)	2.777 (52)
松山測站				4.585 (3)	2.926 (9)	1.835 (6)	0 (1)	0.790 (5)	1.066 (4)	0.676 (4)	8.078 (2)	0.648 (4)	1.856 (1)	2.118 (39)
總平均			3.413 (9)	5.927 (12)	4.397 (36)	2.474 (27)	1.738 (8)	1.835 (22)	1.134 (15)	0.865 (15)	5.077 (5)	1.394 (21)	5.756 (9)	2.910 (179)

硫酸根離子(ppm)														註：括弧內爲資料筆數
年　份	1994												1995	
月　份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	一	總平均
大同測站				2.038 (1)	10.356 (10)	5.085 (9)	1.622 (1)	3.253 (4)	1.896 (4)	4.914 (4)	15.829 (2)	6.904 (9)	13.365 (2)	7.310 (46)
中正測站			6.222 (5)	13.502 (4)	8.151 (8)	4.136 (6)	2.711 (2)	4.390 (6)	2.983 (4)	3.774 (3)		12.984 (2)	17.917 (2)	6.953 (42)
大安測站			7.813 (4)	10.774 (4)	5.720 (9)	4.345 (6)	4.259 (4)	2.324 (7)	3.538 (3)	2.275 (4)	6.250 (1)	6.858 (6)	15.543 (4)	6.048 (52)
松山測站				7.748 (3)	5.882 (9)	3.566 (6)	1.688 (1)	2.060 (5)	1.968 (4)	2.214 (4)	18.616 (2)	3.168 (4)	0.035 (1)	4.518 (39)
總平均			6.929 (9)	10.203 (12)	7.589 (36)	4.372 (27)	3.221 (8)	2.796 (22)	2.553 (15)	3.262 (15)	15.028 (5)	6.758 (21)	13.863 (9)	6.251 (179)

㈡天氣型態與雨水pH值及陰離子濃度的關係

pH值　　註：括弧內爲資料筆數

天　氣	冬季 鋒面雨	春季 鋒面雨	梅雨	颱風雨	夏季午後 雷陣雨	總平均
大同測站	4.81 (25)	4.60 (2)	4.59 (21)	4.79 (10)		4.71 (58)
中正測站	4.52 (20)	4.49 (10)	4.54 (17)	4.81 (10)	4.55 (2)	4.56 (59)
大安測站	4.61 (33)	4.21 (4)	4.34 (15)	4.99 (11)	4.45 (4)	4.53 (67)
松山測站	4.69 (28)	4.28 (4)	4.40 (16)	4.98 (10)		4.58 (58)
總平均	4.65 (106)	4.38 (20)	4.47 (69)	4.89 (41)	4.48 (6)	4.59 (242)

氯離子(ppm)　　註：括弧內爲資料筆數

天　氣	冬季 鋒面雨	春季 鋒面雨	梅雨	颱風雨	夏季午後 雷陣雨	總平均
大同測站	9.547 (17)	1.230 (1)	3.894 (19)	8.458 (9)		6.861 (46)
中正測站	10.524 (8)	2.691 (9)	2.817 (14)	10.207 (9)	2.988 (2)	5.850 (42)
大安測站	10.620 (14)	3.555 (8)	3.138 (15)	7.755 (11)	6.649 (4)	6.162 (52)
松山測站	10.378 (11)	2.806 (3)	2.210 (15)	8.281 (10)		6.118 (39)
總平均	10.187 (50)	2.967 (21)	3.074 (63)	8.618 (39)	5.429 (6)	6.346 (179)

硝酸根離子(ppm)　　註：括弧內爲資料筆數

天　氣	冬季 鋒面雨	春季 鋒面雨	梅雨	颱風雨	夏季午後 雷陣雨	總平均
大同測站	2.663 (17)	0 (1)	4.236 (19)	1.181 (9)		3.284 (46)
中正測站	1.613 (8)	5.412 (9)	4.376 (14)	1.346 (9)	4.678 (2)	3.401 (42)
大安測站	3.023 (14)	4.922 (8)	3.067 (15)	0.935 (11)	3.167 (4)	2.777 (52)
松山測站	2.321 (11)	4.585 (3)	2.490 (15)	0.599 (10)		2.118 (39)
總平均	2.594 (50)	4.849 (21)	3.573 (63)	1.000 (39)	3.671 (6)	2.910 (179)

硫酸根離子(ppm)						註：括弧內爲資料筆數
天　氣	冬季 鋒面雨	春季 鋒面雨	梅雨	颱風雨	夏季午後 雷陣雨	總平均
大同測站	7.680 (17)	2.038 (1)	7.859 (19)	3.316 (9)		7.310 (46)
中正測站	10.118 (8)	9.458 (9)	6.430 (14)	2.749 (9)	5.568 (2)	6.953 (42)
大安測站	8.784 (14)	9.293 (8)	5.170 (15)	2.063 (11)	4.230 (4)	6.048 (52)
松山測站	5.508 (11)	7.748 (3)	4.956 (15)	1.806 (10)		4.518 (39)
總平均	7.901 (50)	8.798 (21)	6.129 (63)	2.445 (39)	4.676 (6)	6.251 (179)

六、結　論

㈠綜合以上的資料，我們可以得到以下的訊息：

1. 所有雨水的總平均pH值爲4.59（242筆資料）；氯離子濃度爲6.346ppm，硝酸根離子濃度爲2.910ppm，硫酸根離子濃度爲6.251ppm（179筆資料）。
2. 各種降雨型態中，以春季鋒面雨最酸（4.38），梅雨次之（4.47），夏季午後雷陣雨再次之（4.48），續爲冬季鋒面雨（4.65），而颱風雨則最不酸（4.89）。由以上的資料，我們認爲，在春季鋒面雨和梅雨時期的天氣狀況可能有利於酸雨之形成。
3. 硝酸根離子和硫酸根離子之走勢圖極爲相似，但卻和氯離子差異很大。可以推斷硝酸根離子和硫酸根離子應是同一來源或是相近來源，但硫酸根離子的濃度在任何季節都大於硝酸根離子；而氯離子則不屬於此種來源，應屬於不同的來源。
4. 我們發現在大部分的情況下，氫離子濃度也隨硝酸根離子和硫酸根離子高低起伏，似乎代表兩者來源相同。這告訴我們一個重要的訊息：一般而言，雨水中的硝酸根離子和硫酸根離子來源只有兩項。一是氮氧化物及二氧化硫氣體溶入雨水，形成硝酸及硫酸，再解離爲氫離子、硝酸根離子、硫酸根離子；二是硝酸鹽及硫酸鹽溶入雨水，解離爲金屬離子、硝酸根離子、硫酸根離子。本來我們並無法了解到底這兩種因素哪一種對雨水中的硝酸根及硫酸根離子的形成影響較大，但由於實驗結果我們知道氫離子和硝酸根及硫酸根離子有密切關係，這似乎也代表著第一種狀況所造成雨水中的硝酸根及硫酸根離子佔有較大的比例。

㈡由於雨水與天氣型態的關係比月份密切，因此我們現在以雨水和天氣型態的關係來進行討論：

1. 冬季鋒面雨：

以冬季而言，鋒面引導大陸冷氣團南下，造成北部及東北部地區降水。故此時空氣中的粒子除了華南地區外，以北方（大陸華中華北）以及臺北當地的爲主。其雨水性質較不酸，且氯離子濃度偏高。

2. 春季鋒面雨：

春季鋒面雨的型態與冬季鋒面雨相似，但此時的溫帶氣旋多產生於華南地區，天氣多變、風弱、多雲、時有降雨爲其特色。與冬季鋒面雨不同的，這時的空氣粒子除了大陸華南地區和臺北當地的以外，亦會有南方來之粒子。其雨水性質頗酸，硝酸根離子、硫酸根離子濃度皆高。

3. 梅雨：

梅雨時天氣型態主要爲滯留鋒降雨，大陸冷高壓及太平洋暖高壓同時帶來北方及南方的粒子，故此時降雨的離子成份包括南方、北方及臺北本地。其雨水性質亦略酸，硝酸根離子、硫酸根離子的濃度也高（但都略遜於春季鋒面雨）。

4. 夏季午後雷陣雨：

進入夏季，大陸冷氣團減弱，太平洋高壓增強而成爲主宰臺灣地區天氣之主要氣團，此時伴隨南風之西南暖濕氣流遇地形舉升，造成各地區的午後雷陣雨，此時粒子主要就只是以臺北當地的爲主。其雨水性質介於春季鋒面雨及颱風雨之間。但由於一九九四年夏季午後雷陣雨不多（僅6瓶，二個測站），故數據較不具代表性。

5. 颱風雨：

颱風侵台及過境引導之西南氣流造成颱風雨，吸收大量海洋水氣，故粒子多爲海面上所帶來的。由於海水富含氯離子，故降雨之氯離子濃度明顯超出任何天氣型態。但其pH值最高，硝酸根離子、硫酸根離子濃度則很低。另外颱風環流造成的降雨與其引導的西南氣流降雨也有差異，後者較前者酸得多。

㈢經過比較不同的降雨之性質後，我們得到以下之訊息：

1. 比較春雨和梅雨後，我們發現兩者在性質上類似，皆較酸且有較高濃度之硝酸根離子和硫酸根離子。而分析兩者污染物之主要來源，我們注意到由西南方和南方所來的氣流在此段時間內，形成臺灣地區降水之最主要因素。同時颱風所引起之西南氣流降雨亦顯示出較低之pH值；但來自東方

之颱風雨的pH值卻較高。可見在臺灣南方及西南方有較嚴重的污染源。

2. 比較颱風雨和冬季鋒面雨，兩者之氯離子濃度皆高，且pH值也都偏高；但在硝酸根離子和硫酸根離子上，冬季鋒面雨卻明顯地比較高。一般而言，颱風源於海洋，故帶有大量的氯離子，且污染源較少，所以颱風降雨應較不酸。冬季鋒面雨主要是因爲温帶氣旋引導之鋒面造成，照道理不應含有太多的氯離子，我們推測是由於温帶氣旋出海，吸收了海洋水汽，受到海水中的鹽類影響，使冬季鋒面之降雨呈高pH值，也含有高濃度的氯離子。
3. 比較春季鋒面雨和冬季鋒面雨，發現兩者在硝酸根離子和硫酸根離子的濃度上相似；但pH值卻明顯不同，可能是有其他因素影響兩者之pH值。分析後，我們發現冬季鋒面雨經過較廣大的洋面才到達臺灣形成降水，故我們推測洋面水氣中所含的離子可能會中和空氣中的氫離子，而使雨水的pH值升高，同時也使冬季鋒面雨含有高濃度的氯離子。

㈣我們收集雨水是以一天爲單位而收的，有時一場雨連綿下了不只一天，那麼我們就能比較一場雨前中後的性質。由於雨水中的幾個個案得知：若一場雨連續下了兩天以上，那麼第二天雨水的pH值會高於第一天的雨水，且陰離子濃度也會降低（即較乾淨）。若下了三天以上，那麼第三天以後的雨水會與第二天的雨水相近。這代表了降雨對於使空氣純淨有很好的功用，但卻將其汙染轉換成爲了另一種型式。

㈤我們劃分天氣型態的方法是以氣象局的方法爲準：例如三、四月降雨爲春季鋒面雨，五、六月降雨爲梅雨。但我們收集到一九九四年四月底到五月初一場雨的個案時發現，五月一日的雨水性質較爲接近春季鋒面雨而非梅雨。這似乎代表按照月份去區分天氣型態並非是十全十美的。

七、參考資料

㈠天氣預報報告書：交通部中央氣象局

㈡International Conference On Regional Environment And Climate Changes In East Asia：臺灣大學全球變遷研究中心

㈢酸性沉降大氣輸送模式之研究(2)：陳景森（行政院環境保護署）

㈣酸性沉降大氣輸送模式之研究(3)：陳景森（行政院環境保護署）

㈤酸性沉降大氣輸送模式之研究期末報告：陳景森（國立中央大學大氣物理研究所）

㈥台灣地區酸雨研究規劃：鄭福田（國立臺灣大學環境工程學研究所）

(七)臺灣地區酸性污染物擴散與輸送之研究期中報告：陳景森（國立中央大學大氣物理研究所）
(八)臺灣地區酸性沉降物之調查研究：鄭福田（國立臺灣大學環境工程學研究所）
(九)關心我們的地球系列之三——酸雨：行政院環境保護署
(十)大氣化學：王明星；明文書局
※特別感謝：卓俊銘、陳昭羽同學協助收集基隆地區雨水。

評　語

本作品收集1994年台北的降雨，分析其酸性強度與陰離子成份，進而配合天氣類型的資料，統計分析不同天氣類型下的酸雨特性，資料收集與分析都很夠水準，表達能力亦強。