

台灣地區酸雨問題之初步探討與 未來的展望

林政宏

地球科學系

摘 要

台灣地區酸雨問題，自從台北與高雄兩大部會區工業化以後，即已出現，除了探討那些人類活動因素，會造成硫化物及氮化物之過度集中外，並建議研究大氣擴散模式與軌跡割段模式，以追縱煙流之擴散速度與軌跡。台灣正處於步入已開發國的行列，對於如何保護我國的生存環境，防範未然，也是目前台灣最重要的課題之一。

一、前 言

雨水酸化現象最早是在1967年於北歐為瑞典的科學家所發現(Oden, 1968)，但歐洲地區雨水可能自1950年代便已開始一年一年地增酸，若以PH值表示，則約從過去的6.0降至目前的4.0左右，而PH值達到4.0以下亦是常有的事(Granat, 1971; Oden, 1976; Semb, 1976)。除了歐洲以外。美國及加拿大亦發現了同樣的現象；美國地區的雨水亦被認為自1950年代即已逐漸變酸，到目前，平均PH值，約為4.0左右，但最酸曾達到2.1至3.0(Likens, 1976; 1974)，加拿大地區的雨水目前約在PH4.0至5.0之間(Summers, 1976)。

臺灣可能是世界上第四個發現酸雨的地區，其他三個地區，即歐洲、美國及加拿大，已報告此種酸雨現象會造成環境，包括土壤、金屬、建築物、植物、動物、魚類

及生態系的災害，其影響雖緩慢，但極重大（孫岩章、吳瑞鈺、1980）。國內一些研究報告顯示，臺灣地區近年來酸雨污染之情形已不容忽視，甚至遭受鄰國菲律賓之指控（鄭福田等，1986；婁小容等，1984；陳淨修，1988；洪佳章、陳鎮東，1989；孫岩章、吳瑞鈺，1980）。

酸雨這個環境問題，因空氣污染會隨風飄動，其傳遞無遠弗屆，跨國糾紛難免，因此各國之關切有增無減，它可說是一個世界的問題（陳鎮東，1988；洪佳章、陳鎮東，1989）。本文擬根據國內一些研究報告，就臺灣地區的酸雨現況問題，做一回顧與檢討，再提出一些結論與建議。

二、酸雨來源及形成過程

造成雨水酸化之污染物很多，其來源大致可分為兩類：其一為自然物質，其二為人為產物。前者如：火山爆發噴出大量之硫化物及懸浮固體物，自然水域表面釋放之硫化氫，動植物分解產生之有機酸，土壤微生物及海藻釋放之硫化氫、二甲基硫及氮化物等，都會使雨水之PH值降至5.0左右（金恆鑣、黃良鑫，1983）；後者則為工業化後，燃料之大量使用，燃燒過程中產生之硫化物 SO_2 、氮化物 NO_x 、碳化物 CO_2 、氯化氫 HCl ，及懸浮固體物，排放至大氣環境中，經光化學反應生成硫酸 H_2SO_4 、硝酸 HNO_3 、碳酸 H_2CO_3 等酸性物質，使得雨水PH值降低（鄭福田等，1986；陳鎮東，1988）。圖1顯示酸雨形成之化學反應式（牛頓，1989）：

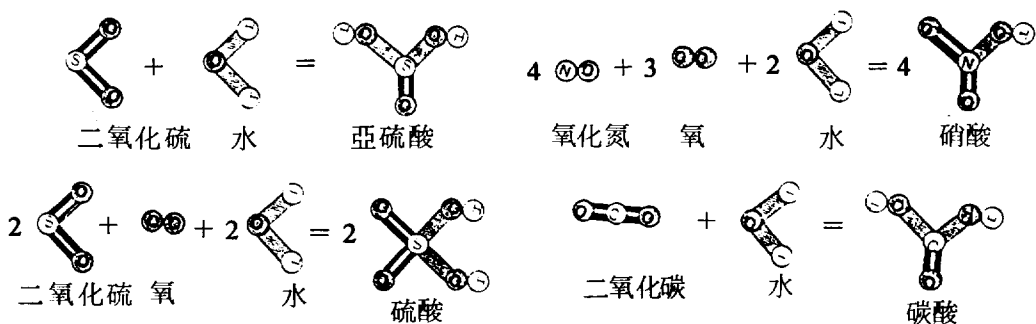


圖1 酸雨形成之化學反應式（摘自牛頓，1989）

理論上，正常雨水的PH值，應該與大氣中 CO_2 溶於水而達到平衡時之PH值相同，約為5.6（空氣中含有0.035%之二氧化碳），但由於上述因素，使得PH值低於5，目前文獻上最酸的雨水PH值為1.5，發生於美國維吉尼亞西部Wheeling港口的一場暴風雨，其酸度比醋還要高十倍，比中性純水高達32萬倍（陳鎮東，1988）。由上圖可知雨水和 SO_2 、 NO_x 等形成硫酸粒子及硝酸鹽粒子，再經由酸性沈降過程(acid deposition)而降至地表如圖2所

示，雖然其他化學物質如 NH_4^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等離子濃度亦能影響雨水 PH 值，但以硫氧化物及氮氧化物為產生酸雨之最主要原因。

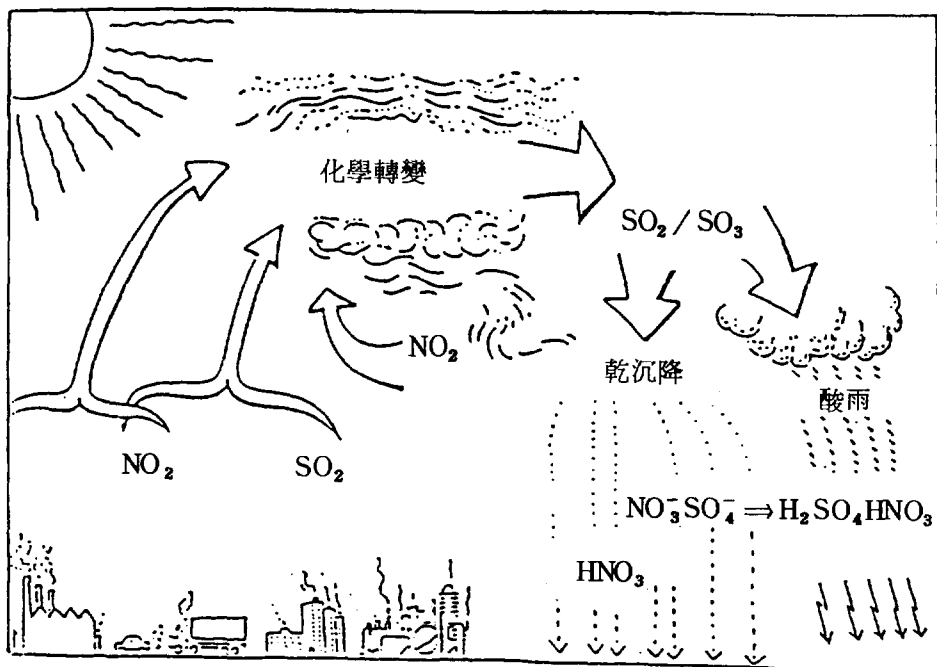


圖2 酸雨與污染物的排放及大氣各種過程之示意圖（摘自陳淨修，1988）

上圖顯示污染物在大氣中可能經歷之過程主要有：

1. 輸送 (Transportation) 及混合 (mix) 過程，影響因子為高層風場，大氣穩定度、混合層高度等。

2. 均勻氣相 (Homogeneous gas phase) 之化學反應稱為乾式反應 (Dry reaction)，主要影響因子為 OH^- 離子，至目為止 OH^- 和 SO_2 作用被認為產生 H_2SO_4 之主要反應機制。

3. 濕式反式 (Wet reaction)，在硫酸形式液態的過程中，如 H_2O_2 被視為最具影響力之氧化物，其次為臭氧 (O_3)。

4. 乾沈降 (Dry deposition)，各種污染物氣體及氣懸膠 (Aerosol) 經由各種不同之物理作用而降落至地表，這些過程決定於污染物濃度，地表附近小尺度氣象特性及承受地表之特性。

5. 濕沈降 (Wet deposition)，指所有的氣態污染物或粒子性污染物件隨著降水過程如雨、雲、霧等而降落至地表。其中污染物進入雲中再降至地表的過程稱為雨除 (Rain out) 過程。如未進入雲層即為雨水沖刷至地表的過程稱為雲下雨沖或洗除 (Wash out) 過程 (Selezneva & Petrenchuk, 1971)。

Overton 等人 (1979) 與 Durham 等人 (1981) 在建立之環境模式中，將大氣分成兩個領

域（如圖3所示）雨水在上層形成，與 CO_2 同時存在，下層則為污染之大氣環境。當雨水降落時，污染氣體（如： CO_2 、 O_3 、 SO_2 、 HNO_3 和 H_2O_2 ）被雨滴吸收，並反應生成 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及其他酸性物質，造成PH值之降低。

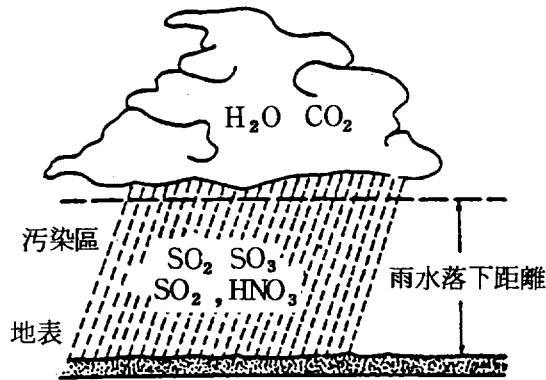


圖3 環境模式

三、台灣地區的酸雨問題

台灣在酸雨方面的研究報導，早在民國64年中央氣象局呂世宗等人曾做過全省雨水調查，發現台北地區之雨水PH值曾達最低值3.8（呂世宗等，1975）；可見台北地區受二氧化碳及氮氧化物之污染嚴重。另外，民國68年孫岩章等人，亦曾調查台北地區雨水，包括台灣北部、嘉義、高雄、屏東等地區，經分析結果其平均值亦在4.2左右，顯示台灣地區已有明顯酸雨（孫岩章、吳瑞鈺，1980）。隨後袁中新亦在民國73年從事台灣雨水調查，發現約有54%降雨PH值小於5.6，平均值約為4.9（袁中新，1986）。鑑於高雄市 NO_x 、 SO_2 背景濃度高，高雄市環境保護局於民國73年4月至74年3月在市內設置四個雨水採樣站，收集雨水進行分析，結果發現四站雨水平均值約為5.1，顯示燃料油的管制，對於減少酸雨的產生頗具成效（高雄市環保局，1986）。

國內近年來較具規模之酸雨調查文獻為中山大學(1987)，自74年6月至76年6月止，探討高南地區目前雨水酸化狀況及湖沼水域酸化之程度，及台灣大學環工所(1986)自73年12月至75年8月，進行為期二年之台灣地區酸雨研究，茲舉其重要結論，以窺台灣地區酸雨全貌：

(1)南部地區水測站自75年5月至76年6月期間酸雨出現之頻率為47.6%，高雄市地區酸雨出現頻率為54.2%，其中以高雄市的四個測站全年PH值皆在5.0以下，而高雄市以外地區除烏山頭水庫，其餘PH值總平均值大於5.0，顯然酸化程度不若高雄市嚴重。圖4為此期間各雨水收集站平均PH值及其範圍：

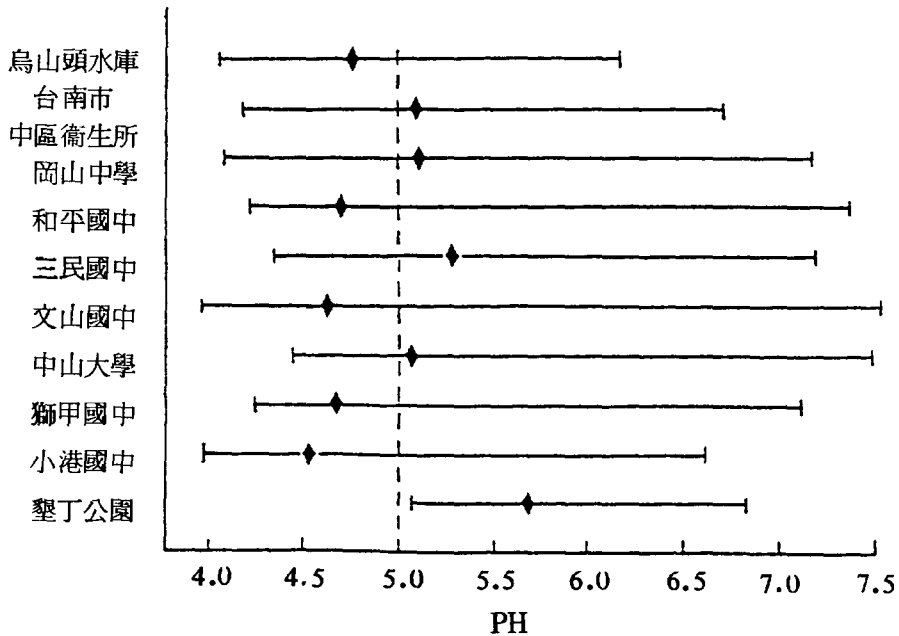


圖4 七十五年五月至七十六年六月各雨水收集站平均
PH值(◆)及其範圍(—)
(摘自, 洪佳章, 陳鎮東, 1989)

(2)南部地區雨水一般以梅雨及夏季雷雨PH值較低,而旱季雨及颱風雨PH值較高,乃因旱季期間空氣懸浮粒濃度較高而颱風雨,則因海水鹽沫之中和所致。圖5為南部各站雨水水月平均PH值對時間之分布:

(3)表1為台灣各地區雨水PH值季平均值,由表中可知以季節而言,夏季雨最酸,其次分別是春季雨、冬季雨、秋季雨。以空間言,則以東北區、北部區及西南區較酸,其中尤與排放源之分布及地理特性有關。其原因是:春、夏兩季的天氣系統大都由西向東移動,雨量以西部及東北部地區較多,其中第三區(西南區)與第七區(西岸區)兩相比較,因盛行風(各天為偏北風,以及海風(夏天較明顯)向東吹向內陸,故第三區的PH值較小。表中各區範圍如圖6(a)所示:

(4)就不同季節而言,PH值低於5.6機率,以秋季最低(46%),夏季最高(76%);就不同氣候分區而言,以第五區(東岸區)最低(33.5%),而以東北、北部區最高(64.5%, 68.5%),如表2所示:

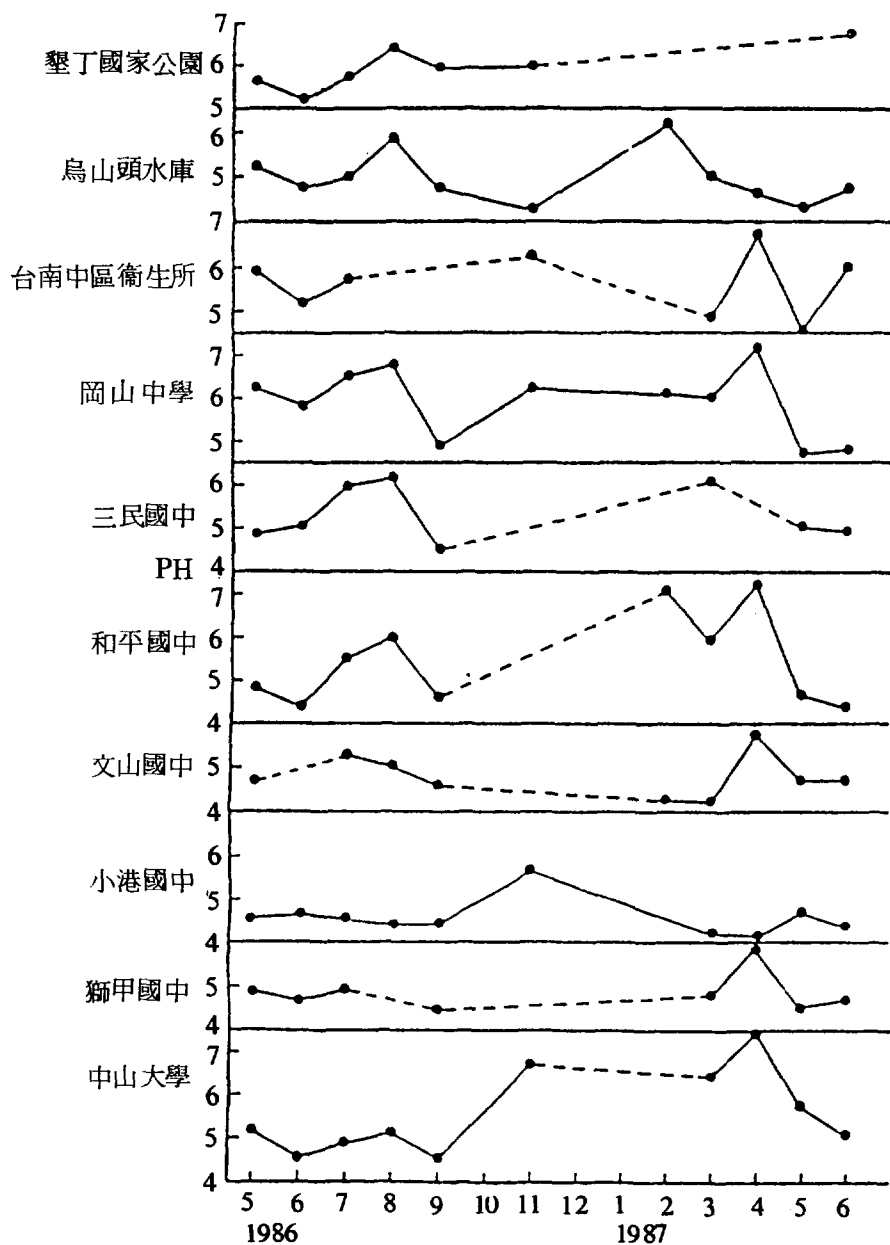


圖5 南部各站雨水月平均PH值對時間之分佈，其中點虛線(---)為資料缺，由圖可知1986年夏季及1987年春季的PH值偏高。

表1 台灣地區雨水PH值季平均值 (摘自陳淨修, 1988)

PH 區 別	期 間	73.12	74.3	74.9	74.12	75.3	75.6
	值	74.4	74.5	74.11	75.2	75.5	75.8
	別	冬	春	秋	冬	春	夏
第 一 區 (東北區)		4.92 SO_4^{2-} NO_3^-	4.60	5.08	4.80	4.9 Na^+ SO_4^{2-}	4.46
第 二 區 (北部區)		4.89	3.96 Na^+ Cl^-	4.92 Na^+ Cl^- SO_4^{2-}	4.82	4.95	4.64
第 三 區 (西南區)		5.04	4.69	5.18	5.24	4.89	4.64
第 四 區 (南部區)		5.74 Na^+ Cl^- SO_4^{2-} NO_3^-	5.63	6.46	6.39 Na^+ Cl^- SO_4^{2-} NO_3^-	5.47	4.68
第 五 區 (東岸區)		5.94	6.03	5.81	6.49	5.65	5.33 Cl^-
第 六 區 (中部山區)		5.93	5.11	5.42 NO_3^-	5.35	5.33	4.74 NO_3^-
第 七 區 (西岸區)		5.42	5.78	5.33	5.53	5.04	4.71

表2 各區各季雨水PH值低於5.6機率表 (摘自陳淨修, 1988)

氣候分區	一	二	三	四	五	六	七
PH值 < 5.6機率	64.5%	68.5%	64 %	44.5%	33.5%	45 %	43.5%

氣候分區	冬(一)	春(一)	夏(一)	秋(一)	冬(二)	春(二)	夏(二)
	73.12 ~ 74.2	73.3~ 5.	74.6~ 8.	74.9~ 11.	74.12 ~ 2.	75.3~ 5.	75.6~ 8.
PH值 < 5.6之機率	56 %	64 %	56 %	46 %	58 %	51 %	76 %

從表中可得到下列結果：

1. 台灣地區酸雨情形較歐美輕，與匈牙利及英國相當。
2. 海洋性國家如台灣、英國、挪威等， Na^+ 、 Cl^- 濃度皆相當高，尤以挪威 Cl^- 濃度高達574微當量/升。
3. 台灣地區 SO_4^{2-} 濃度除大陸外與其他國家比約為相當， NO_3^- 濃度卻較大部份國家為少，高雄市 SO_4^{2-} 濃度僅次挪威及貴陽，值得注意。
4. 由於大陸貴陽市使用含3-5%硫之煤燃燒，且各使用設備煙囪高度甚低，致使貴陽市的 SO_4^{2-} 濃度較其他國家皆高出許多。另外 NH_4^+ 及 Ca^{2+} 之濃度亦皆高於其他國家甚多，其原因分別為大陸屬農業社會，施肥使 NH_4^+ 濃度甚高，而且因土壤性質皆呈鹼性及大量石灰建築物，致使 Ca^{2+} 濃度趨增。至於大陸北京的PH值偏高，可能是由於地理環境比較開闊，而且工廠設置也有控制所致。
5. 大陸雨水PH值顯然決定於 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 及 Ca^{2+} 之間濃度的大小，如貴陽市之 SO_4^{2-} 濃度雖高達447個微當量/升，但由於 NH_4^+ 及 Ca^{2+} 之中和而使PH值大為降低。
6. 雨水PH值為雨水中各個離子濃度之綜合指標，但由於各國地方污染源、土壤性質及受海洋影響程度等局部環境的不同，以雨水PH值的大小作為判斷酸雨是否為害生態環境的指標是很危險的事。
7. 由表中可知各國 SO_4^{2-} 濃度皆高於 NO_3^- 濃度，表示各國酸雨之主要來源為 SO_2 轉化而成之 SO_4^{2-} 。因此，各國目前皆以減少境內 SO_2 之排放為防制酸雨之首要步驟。

此外，陳鎮東(1988)曾對台灣湖沼酸化程度進行全面性調查研究，將全台灣地區93個湖沼、水庫依鹼度分類標準分成六級：A:0~0.05meg/l，B:0.05~0.2meg/l，C:0.2~0.5meg/l，D:0.5~1.0meg/l，E:1.0~2.0meg/l，F:2.0meg/l以上。並依其所在岩石性質劃

分成三區：岩性工區為火成岩區，其大體大多屬於緩衝能力之湖沼；岩性II 5區為變質岩區，其緩衝能力較工高；岩區III區為沈積岩區，具高緩衝能力。上述A～F六級，A級是緩衝能力最小的湖沼，F級緩衝能力最大。

表3 台灣地區之雨水水質與歐美國家比較 (摘自陳淨修, 1988)

地區		平均值 PH	H ⁺ (ueg /1)	NH ₄ ⁺ (ueg /1)	K ⁺ (ueg /1)	Ca ⁺² (ueg /1)	Na ⁺ (ueg /1)	Mg ⁺² (ueg /1)	Cl ⁻ (ueg /1)	NO ₃ ⁻ (ueg /1)	SO ₄ ⁻² (ueg /1)
臺灣省		4.69	20.5	33.7	8.74	68.4	73.3	28.2	56.1	14.4	72.9
高雄市		4.73	18.7	41.4	8.15	111.3	53.1	16.3	49.4	30.6	141.24
歐洲	英國	4.5	29.5	37.8	7.18	29.8	156.7	39.1	188.7	35.5	89.6
	匈牙利	4.7	20.0	77.7	28.2	22.0	65.2	—	39.4	13.4	77.1
	挪威 (1972)	4.15	71	48	15	45	480	132	574	54	164
	瑞典 (1970)	4.28	52	31	—	14	15	8	18	31	70
	西德	4.29	51	16.4	—	10	8.6	5.7	12.1	23.6	56.9
美國	密西根	4.19	64.6	—	—	36	9.9	—	9.85	43.5	86
	紐約 (Ithaca)	4.23	58.4	14.0	—	5.2	—	—	—	27.7	51.4
	科羅拉多	4.79	16	31	1	6	31	—	8	17	27
	新漢什布	4.16	69.3	10.6	1.52	6.53	4.79	3.02	11.2	23.5	54
	賓州 (1984)	4.10	79.4	17.3	—	5.8	—	—	—	35.2	72.8
	伊科諾州 (1984)	4.29	50.9	22.3	—	14.8	—	—	—	28.7	61.0
	17州平均 1978/79	4.01	97.7	17.2	—	—	15.9	—	11.2	25.5	58.6
大陸	北京 (1984)	6.22	0.6	117	—	102.5	—	—	—	28.0	91.4
	貴陽 (1984)	4.02	95.2	60.4	—	248	—	—	—	10.0	447

酸雨給予水域環境最大的衝擊，就是造成湖沼、水庫的酸化。台灣湖沼酸化程度雖不似北歐諸國那樣嚴重，但仍不可掉以輕心。圖 6(b) 為台灣地區湖沼、水庫採樣位置圖暨鹼度分佈圖，由圖中可看出岩性 (III) 的水體，大都位於人文薈萃，工業發達的西部大都會區，照理說空氣污染應較為嚴重，受到酸雨威脅之程度應大於 (I)、(II) 兩區之湖沼，但事實並非如此，其中原因可能是沈積岩之環境造就了高緩衝能力的水質，故能緩和酸雨的威脅。

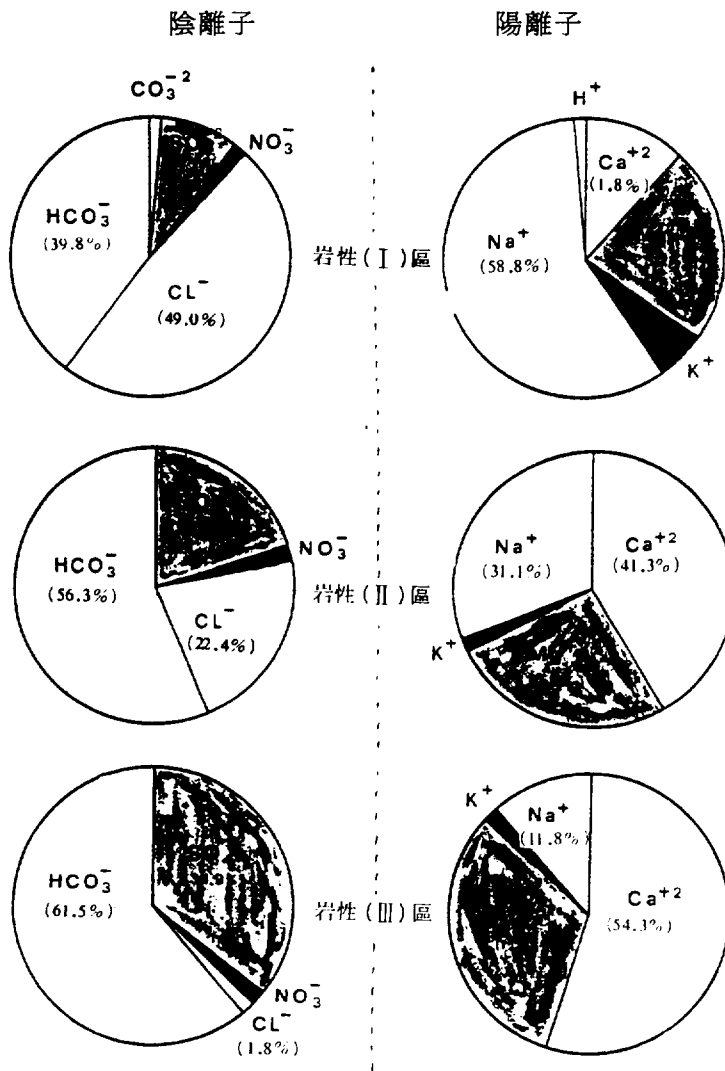


圖 7 岩性 (I) (II) (III) 分區各陰陽離子組成之百分比，其中 (II)、(III) 區湖沼因 HCO_3^- 及 Ca^{2+} 佔較大之比例，故鹼度較 (I) 區為大。(摘自陳鎮東，1988)

圖7亦可以明顯看出，上述岩性（I）、（II）、（III）各分區陰陽離子組成(components)之百分比，（II）區湖沼主要為 HCO_3^- 及 Ca^{2+} ，因此大致說來，比（I）區之湖沼具有較大的鹼度，湖水之PH值較不受外界的影響而降低。岩性（III）區亦是 HCO_3^- 及 Ca^{2+} 為最主要成份，分佔陰陽離子數之半數以上，湖水都具高緩衝能力，然而配合圖(6)看出，北部的湖沼其鹼度以C、D級居多；而中部、南部之湖沼，則以E、F級較多。

由上可知酸雨帶來湖沼，水庫酸化的危機，其結果輕者可改變水中生物相，重者使湖沼生物死亡，導致生態循環無法進行，並抑制農作物生長，危及人類的健康。圖8顯示酸雨對樹木的傷害都記錄在樹木的年輪上，照片顯外圍近20年的成長層比前20年的部份單薄，此現象並非酸雨落到樹上，而是酸雨對土壤所造成的影響。

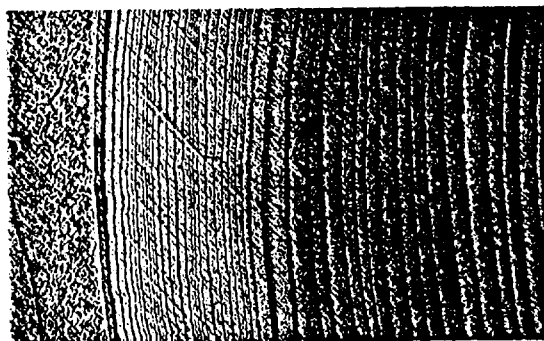


圖8 污染傷害記錄在樹木的年輪上（摘自牛頓1989）

四、台灣地區酸雨現況問題之檢討

由上述文獻之回顧及有關的研究，吾人發現幾項問題值得提出，俾供後酸雨問題研究之進行：

1. 台灣地區目前對酸雨之探討，僅止於現況之了解，或以化學觀點作現象分析，對於酸雨在空氣中，雲中形成之「機制」、「過程」及其與「降雨型態」、「天氣類型」、「氣象因子」之關係皆乏研究。（陳靜修，1988）

2. 國內目前對酸雨進行調查之文獻已有不少，唯各文獻對於雨水採樣的方法皆不相同，大部份「乾濕沈降混合採樣」及人工實驗分析，「時效」及「準確度」的掌握較為不足，致使酸雨分析的實質了解，仍有差距。其中，中山大學採用之滑動式自動雨水收集器，可將乾溼沈降分離，分別分析乾濕沈降之成份組成，似較具可靠性。因此，數據之引用必須注意「雨水採樣」方式，方不致誤導。

3. 歐美各國計算雨水 PH 值時皆有考慮一場降水之雨量多寡以計算 PH 值以加權年平均或月平均，如下式所示： $[H^+]$ 之加權平均 = $\sum [H_i^+] \cdot P_i / \sum P_i$

（式中 P_i 為時間之降雨之深度， $[H^+]$ 為時間之氫離子濃度）而國內目前所有文獻 PH 值之計算皆不考慮雨量大小，相同濃度，若雨量不同，則其沈降量亦不同，若不加以加權，則同一濃度而雨量多者有被低估之虞。因此，雨水 PH 值之計算應加以修正始為合理。

4. 雨水中各離子成份受局部環境影響甚大，詳如上述，因此研究酸雨者，似應對各區地理特性，排放源分布及氣象狀況有所了解，方能了解 PH 值代表之真正意義。

5. 以 SO_4^{2-} 沈降量作為生態環境是否惡化之指標較以 PH 值為指標更為合理、可靠 (Galloway et al., 1987)。原因是雨水中酸度受其他鹼性如 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 影響而使 PH 值降低，然對於環境生態之不良影響（酸化土壤及水源）並未減少。依歐美的研究經驗認為 SO_4^{2-} 沈降量不超過 300eg/year/ha，方能保護敏感的動植物生態系。

6. 台灣地區酸雨問題是局部性問題還是區域性問題？由東亞環流氣候分析可知春季華南地區易生短波槽而影響台灣，造成台灣地區下雨，而華南地區為大陸酸雨嚴重區，故華南地區 SO_2 排放量對於台灣酸雨之形成有相當關係，另其他季節，台灣酸雨與鄰近國污染物排放量之關係亦為重要探討問題。（陳靜修，1988）

7. 湖沼酸化不容忽視，假如酸雨問題未能未雨綢繆，尋求疏解之道，或者說假如空氣酸雨無法有效控制，台灣湖沼難逃酸化走向「死湖」的命運（陳鎮東，1988）。

五、結 語

酸雨之問題隨著工業文明之高度發展，已然成為一世界性的環境危機，更由於大氣因子之多變而使酸雨對環境之影響不僅廣泛而且複雜。另一方面，由於人為排放之硫化物及氮化物在大氣裡的總量不斷增加，經過大氣之長期輸送與反應，可能超越國界而以酸雨之形式降至地面。但由於酸雨不易監測及三維風場資料缺乏，不易追蹤。因此，研究大氣擴散及氣象學家亦皆將擴散評估模式之建立與發展，從都市尺度擴大為所謂區域尺度或大陸性 (continental) 尺度並以軌跡割段 (Trajectory segment) 模式追蹤煙流之軌跡，以預知可能受害之區域並且模擬酸雨形成之氣相，液相化學以定量描述酸雨之強度，藉以採取對策，防患未然。

台灣酸雨之危機早在幾年前即已出現，尤以台北、高雄兩大會區更形嚴重，寶島居民的生命健康正面臨重大威脅，追究其根源則在於科技文明，人類大量使用石化燃料所導致的空氣污染，實所謂「咎由自取」，因此要有效擺脫此不速之客的侵擾，根本之道，唯有減少 SO_2 及 NO_x 等排放量，解決途徑如下：

1. 節約能源

提高燃燒效率，改善燃燒設備或燃燒方法，以降低能源的總消耗量。

2. 脫硫與脫氮技術

若無法改變使用含 S、N 的燃料，應致力於將 S 和 N 等成份從燃料中或廢氣中除去，或者改用硫成份的燃料。

3. 能源替換

以其他能源，如核能、太陽能、水力、風力、地熱、海水溫差、潮差等替代石化燃料，以杜絕產生 SO_2 或 NO_x 等污染物。

酸雨對環境威脅帶來的震撼不同於其他環境問題。酸雨的行蹤是跨國界的，且其破壞自然環境的方式是無聲無息的，猶如一個隱形的殺手，面目猙獰的席捲世界各個角落。歐美各國早就建立酸雨的調查網，共同為對付這個頭號大敵研商大計，亞洲地區似宜儘速聯手出擊，使酸雨惡魔無所遁形。

台灣目前正處於開發中國家，工業之開發與經濟成長為政府追求目標之一，但無可否認地同時也犧牲了原來之面目，為防範未然，環境保護主管機關應明令各工廠採用最佳之控制策略如使用低硫油及排煙硫設備並輔以總量管制、策略。除此之外，更應建立酸雨監測網，進行酸雨有關之調查與研究，例如以氣象學觀點言之，下列皆為重點工作。（陳淨修，1988）

1. 推估台灣各地或各縣市目前 SO_2 、 NO_x 之總量。

2. 以酸雨監測資料分析雨水 PH 值和降雨型態、雨量、季節，及氣象因子之關係。

3. 建立雲下雨沖模式以探討電廠廢氣排放對酸雨之影響探討源體、受體 (source-receptor) 之關係。

4. 建立雲化學動力模式以探討 SO_2 、 NO_x 在雲雨系統中之化學物理、動力變化及模擬各參數之相互影響。

5. 利用三維風場、軌跡模式及各區 SO_2 、 NO_x 排放總量推測大陸、日本、菲律賓等國對台灣地區酸雨之影響程度。

六、致 謝

本文為與共同作者師大科教研究所博士班研究生洪文東先生之聯合研究文章，謹此感謝其大力的參與。

七、參考文獻

1. 牛頓現代科技大百科，物理科學（II）— 化學篇（1989），台北，牛頓，121～123。

2. 呂世宗、陳福來、繆在澄(1975)：大氣污染對台灣地區雨水PH值之影響，大氣科學第二期。
3. 金恆鏞、黃良鑫(1983)：酸性降水對森林生態系之影響。中華林學季刊，16(1)，79～89。
4. 洪佳章、陳鎮東(1989)：台灣南部酸雨及其與空氣污染關係，中華民國環境保護學會會誌，12(1)，1～11。
5. 孫岩章、吳瑞玉(1980)：台灣地區的酸雨，科學發展月刊，8(5)，428～434。
6. 袁中新(1986)：台灣地區雨水水質特性研究，台灣大學碩士論文。
7. 高雄市政府環境保護局(1986)，高雄市酸雨調查分析報告。
8. 陳鎮東(1988a)：最具毀滅性的環境污染 — 酸雨，大自然，18，94～96。
9. 陳鎮東(1988b)：最具毀滅性的環境污染(二) — 酸雨，大自然，19，98～100。
10. 陳鎮東(1988c)：最具毀滅性的環境污染(三) — 酸雨，大自然，20，98～101。
11. 陳鎮東(1988d)：最具毀滅性的環境污染(四) — 酸雨，大自然，21，100～104。
12. 陳靜修(1988)：世界主要酸雨地區現況分析，台灣環境保護，第二期，31～47。
13. 鄭福田、婁小容(1986a)：Preliminary study of Acid Rain in Taipei, paper presented at Air Pollution Control Association Annual Meeting, Minneapolis, Minnesota, U.S.A.
14. 鄭福田、蔣本基、杜悅元、袁中新(1986b)：台灣地區雨水水質特性研究，第三屆空氣污染控制技術研討會論文專輯，21～34。
15. 國立中山大學海洋地質研究所(1987)：高南地區酸雨現況及天然水域酸化程度。
16. 臺灣大學環境工程研究所(1986)：台灣地區酸雨調查研究。
17. Galloway, J.N., Xiony Jiking, G.E. Likens (1987): Acid Rain: China, United States, and a Romote Area. *Science*, 236, 1559-1562.
18. Grant. L. (1972): On the relation between PH and Chemical composition in atmospheric presentation. *Tellus*, 24, 551-560.
19. Likens, G.E. (1976): Acid precipitation. *chemical and Engineering News*, November 22, 29-44.
20. Likens, G.E. and F.M. Bormann (1974): Acid Rain: A Serious Regional environmental problem *science*, 184, 1176-1179.
21. Oden, S. (1968): The airdification of air and precipitation and its consequences on the natural environment. Swedish *Nat. Sci. Res. Council, Ecology Committee*, Bull, 1, 68.
22. Oden, S. (1976): The acidity problem-An outline of concepts. *Water, Air, and Soil pollution*, 6, 137-166.
23. Overton, J.H., Aneja, V.P. and Durham, J.L. (1979): "production of sulfate in Rain and

- Raindups in Poluted Atmospheres," *Atmos. Environ.* , 13 , 355-367.
24. Overton, J.H., Durbam, J.L., and Aneja, V.P. (1981): "Influence of Gaseous nitric Acid on Sulfate production and Acidity in Rain." *Atmos. Environ.* , 15 , 231-240.
 25. Selezueva, E.S. and Petrenchuk, O.P. (1971) "Metrological Aspects of Air Pollution." Hydrometeorological Publishing of Air Pollution." Hydrometeorological publishing House, Leningad, U.S.S.R. 253-259
 26. Semb, A. (1976). Measurement of acid precipitation in Norway, *Water, Air and Soil Pollution* , 6 , 231-240.
 27. Summers, P.W. and Whelpdale, D.M. (1976): Acid precipitation in Canada, *Water, Air, and Soil pollution* , 6 , 447-456.

A PRELIMINARY INVESTIGATION OF ACID RAIN IN TAIWAN AREA

Jen-Hong Lin

Department of Earth Sciences

Abstract

The problem of acid rain in Taiwan area has become serious since the industrialization of Taipei and Kaohsiung. We investigate the concentration of oxide of sulfur and oxides of nitrogen in these two cities due to human activities. The atmospheric dissipation formula and the trajectory segment formula have been suggested to study the air pollutants. We therefore must be aware of the importance of protecting our environment.