

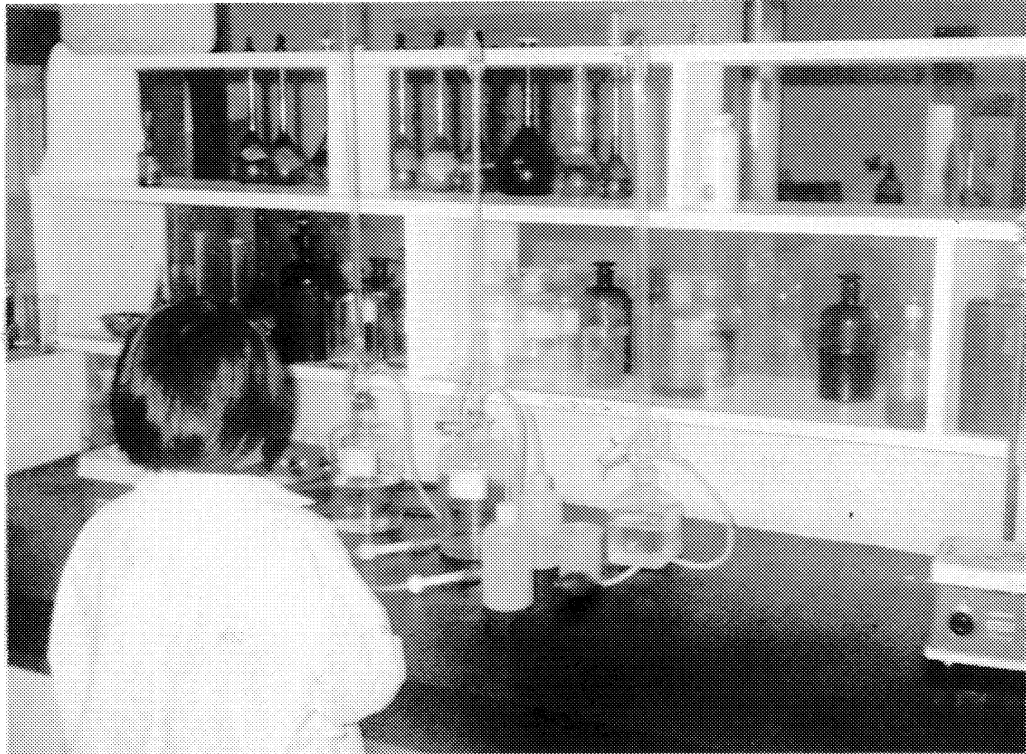
# 台灣地區酸雨的測定與分析

## 國中組地球科學科第三名

台南縣下營國民中學

作者：王金瑞、林月霞等四人

指導教師：張振成



### 一、研究動機

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，但歐洲地區的雨水可能自 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 4.00 左右，但 PH 值到達 4.0 以下亦是常有的事。一般所謂雨水酸化，是指 PH 值低於 5.6 的雨水而言。

酸性雨水降至地面，對於環境乃是一種嚴重的威脅，一般報告指出它會使土壤變酸，減低肥力；侵蝕金屬造成生鏽，會損害建築物，為害木材；會傷害植物，阻礙植物生長；會使湖水、池水變酸，為害

或消滅魚類；會改變土壤或空氣中的生物相，造成不平衡；另外亦可能影響動物的生長，以及人類的健康。它的影響雖是緩慢且難以發現的，但却是全面性的，故被認為是一種近代環境的大問題。

本研究是在測定與分析台灣各地區雨水的酸化情形，希望人們加以關心、研究，並設法解決。

## 二、研究目的

(一)調查並測定分析台北市、台北縣、桃園縣、台南縣、高雄縣、高雄市等地區雨水酸化的情形。

(二)探討雨水酸化的原因，並提出防治之道。

## 三、研究器材設備

PH Meter、氯化鋇、塑膠瓶(300 ml)、光譜儀、鉻酸鉀、硝酸銀、塑膠瓶(100 ml)、Chromotropic acid。

## 四、研究過程

(一)雨水的收集：

1 1983年5月至6月22日間，台灣多梅雨，鋒面雨雨勢小，但時間長，往往長達數日。此時期採集雨水的方法為在郊區或田間設立集雨器，此集雨器為一個兩百毫升的塑膠瓶與另一個一百毫升的塑膠以嘴對嘴方式相嵌合，再將小瓶底部切除而成。設立時，將此人造器皿的漏斗朝上，雨落入時，便可集入大瓶。集雨器皆固定在露天，約與人高的物體的頂端（常用者為綁在直立竹竿的頂端），開口遠離該物體以避免污染。當每次雨期結束後，將雨水帶回實驗室，測定PH值及進行各種成分分析。雨水測過PH值後皆存放在密封的乾淨塑膠瓶中，並放於低溫陰暗處。

本期間設立的集雨站，台北地區計有汐止、松山、新店、板橋、新莊、士林共計採得雨水42個樣品。在桃園地區，則設於蘆竹、埔心、龜山、大園、觀音、新屋、楊梅共採集雨

水 42 個樣品。又於六月間在高雄地區、大社、楠梓、路竹、鳳山、林園、旗山採集得 36 次雨水，在台南縣、永康、官田、將軍、新營、下營、新市等處採集 36 個樣品。

2. 1983 年 6 月 22 日以後，台灣已進入夏季型氣候，陣雨約在每日下午發生。此時期改以三百毫升塑膠燒杯收集每次雨水。燒杯亦放置在獨立物體頂部，避免外來污染。雨水收集後，亦先測 PH 值，再存入塑膠瓶中，封閉放於低溫陰暗處，以備進行化學分析。

此時期設立的集水站，在台北主要以士林、新莊附近為主，市郊於故宮博物院及國父紀念館兩處建築頂樓為輔，收集了 12 個樣品。另外，亦於七月中旬在新店、板橋、蘆洲及台北市和平醫院、鐵路醫院頂部採集了 18 個樣品，共計 30 個樣品。高雄大社、楠梓等處收集 10 個樣品。台南縣永康、官田等地 10 個，桃園龜山、楊梅等地 10 個。

3. 颱風的採集方法與夏季雨採集法相同，但在四次颱風接近時，皆先觀察風向發生轉變，且開始斷斷續續下雨，此時開始收集雨水，約每四小時採水一次。採集地點以士林、新莊為主，另故宮博物院及國父紀念館兩處建築頂樓為輔。四次颱風共採集了 20 個樣品。另外，八月間亦從高雄縣大社、楠梓等處收集颱風雨水 10 個樣品。台南縣永康、官田等處收集 10 個樣品。桃園觀音採得 5 個樣品。

(二) 雨水酸鹼度的測定：

雨水帶回實驗室後，立即以酸鹼度測定計測定其酸鹼度，即 PH 值。測定前儀器皆先以 PH 10.0 及 PH 4.01 的標準緩衝溶液調整歸零。雨水 PH 值測得後，皆先換算求其氫離子濃度，即  $[H^+]$ ，再求平均，然後再以求得平均  $[H^+]$ ，換算求得平均 PH 值。

(三) 雨水中  $SO_4^{2-}$ ， $NO_3^-$  及  $Cl^-$  離子濃度的定量分析：

分析方法皆參考美國 American Public Health Assoc，協會 1976 年所編列的標準方法。 $SO_4^{2-}$  的分析採用 Ta-

rbictimetric Methool，即在酸性條件下加入氯化鋇（BaCl<sub>2</sub>）粉末。令生成硫酸鋇之沉澱，再以光譜儀測定混濁溶液對波長 420 微毫米（mμ）光線之吸光度以檢定 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>之含量。NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 之分析採用 Chromotropic Acid Method，即在銻（Sb）的催化下，令 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 與 Chromotropic Acid 反應，產生黃色物，再以光譜儀測定 410 微毫米光線的吸光度，以決定 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量。Cl<sup>-</sup> 的測定方法，選用 Argentometric Method，即在微鹼下，在雨水樣品中先加入鉻酸鉀（K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>）溶液，再以硝酸銀（AgNO<sub>3</sub>）溶液滴定雨水中的 Cl<sup>-</sup> 含量，因為在到達滴定終點時，過多的 Ag<sup>+</sup> 可為鉻酸根離子檢定出來。

分析時，取樣品中雨量較多的樣品進行上述三種離子的分析，所有雨水樣品中約有半數經過分析。分析時間與採集時間相隔不超過四個月。以光譜儀測定時，樣品中若有雜質皆先以濾紙過濾，以除去干擾。

## 五、實驗結果

(-) 1983 年五、六月自台北地區及桃園地區採得樣品各 42 個，台南地區及高雄地區採得樣品 36 個，這些雨水之酸鹼度及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 及 Cl<sup>-</sup> 離子含量如表一。

表一：台灣各地區五、六月雨水酸鹼度及陰離子含量（1983 年）

地 區	酸 鹼 度 (PH Value)		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度 (P.P.m)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度 (P.P.m)	Cl <sup>-</sup> 濃度 (P.P.m)
	範 圍	平 均			
台北地區	4.13 ~ 6.90	4.81	4.3	0.8	<0.1
桃 園	3.99 ~ 5.90	4.42	4.0	0.6	12.4
台 南 縣	4.70 ~ 6.15	5.78	3.5	0.7	0
高雄地區	3.96 ~ 4.18	4.12	14.3	1.4	14.8

註：各地區、各地點實際測定的 PH 值，請參照附錄。

(二)台灣夏季雨水的酸鹼度及其陰離子成份。

1983年6至10月，計自全省各地區採得60個夏季陣雨雨水樣品，這些樣品的酸鹼度以及 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 離子含量如表二。

表二：台灣各地區夏季雨水酸鹼度及陰離子濃度分析  
(1983年6~10月)

地 區	酸 鹼 度 ( PH Value )		$\text{SO}_4^{2-}$ 濃度 ( $\times$ P.P.m)	$\text{NO}_3^-$ 濃度 ( $\times$ P.P.m)	$\text{Cl}^-$ 濃度 ( $\times$ P.P.m)
	範 圍	平 均			
台北地區	3.84 ~ 5.37	4.22	10.0	2.0	< 0.1
桃園地區	3.86 ~ 4.42	4.18	7.6	2.8	< 0.1
台南縣	3.94 ~ 4.33	4.24	11	2.7	1.2
高雄地區	3.76 ~ 4.18	3.96	14.0	3.0	1.4

註：各地區、各地點實際測定的PH值附錄於參考文獻之後。

✦  $\text{Cl}^-$ 的含量為與去離子蒸餾之純水比較後平均而得。大多樣品檢定不出 $\text{Cl}^-$ 離子。

(三)台灣1983年6月至9月颱風雨的酸鹼度及其成份。

本年四次颱風接近期間，於台灣各地區採得雨水45個樣品，這些雨水的酸鹼度及成份如表三。

表三：1983年台灣各地區颱風雨水酸鹼度及陰離子濃度分析

地 區	酸 鹼 度 ( PH Value )		$\text{SO}_4^{2-}$ 濃度 ( $\times$ P.P.m)	$\text{NO}_3^-$ 濃度 ( $\times$ P.P.m)	$\text{Cl}^-$ 濃度 ( $\times$ P.P.m)
	範 圍	平 均			
台北地區	5.10 ~ 6.90	5.8	1.0	0.4	8.7
桃園地區	4.86 ~ 5.60	5.2	1.6	0.8	5.6
台南縣	6.09 ~ 7.00	6.8	1.8	0.6	4.6
高雄地區	4.64 ~ 5.40	5.0	2.3	1.0	8.8

註：各地區、各地點實際測定的PH值附錄於參考文獻之後。

## 六、討論

(一)酸雨的發生並不像一般的空氣污染那般地限於城市或工廠附近，相反地在鄉村、田間、森林、山上，其雨水也都同樣地酸化。一般認為酸雨的現象是人類大量使用石油與煤等石化燃料的結果，燃燒所產生的 $\text{SO}_2$ ，在空中或雨滴中氧化成爲 $\text{H}_2\text{SO}_4$ ；同樣地 $\text{NO}$ 或 $\text{NO}_2$ 也會變成 $\text{HNO}_3$ ，這些酸性物質再加上工廠放出的 $\text{HCl}$ ，便是酸雨的最重要成因。

(二)由於 $\text{SO}_2$ 及 $\text{NO}$ ， $\text{NO}_2$ 等污染物質可被傳送到一千公里外的地方，因此酸雨一旦發生，便往往使得廣大地區都出現酸雨。每個地區幾乎都有一個雨水最酸的中心區域，這些都是重工業區域或是毗鄰重工業區，而以此爲中心，延伸到一千多公里的地方也都一併發生酸雨，祇是距離越遠或較背風地區，其平均PH值較高而已。

(三)研究酸雨成份，一般考慮，避免雨水受到海洋的影響，因爲在風大、浪高時，海面激起的水霧會混入雨水中，干擾了雨水成份，雨水是否被海水所污染，可藉 $\text{Cl}^-$ 或 $\text{Na}^+$ 的分析來檢定之。

本實驗研究中發現：在桃園、高雄沿海一帶，雨水皆含有高濃度氯離子，故知係受到海風的影響所致；此外，颱風期間的雨水，也明顯地受到海洋的影響，祇是程度上較沿海地區雨水所受影響爲低。

(四)酸雨的酸度在大區域、大樣品數的調查下，是具有一致性及連貫性的，即自中心向外逐漸減低酸度。但在小地區間及各個樣品間，却常有很大的變異存在。故需做大區域性的調查，才能了解整個現象的來龍去脈。

## 七、結論

酸雨的現象過去祇發現於歐洲、美國東北及加拿大東南三大地區。在歐洲地區，爲了酸雨的問題，各個受害的國家如斯堪地那半島各國，自 1952 ~ 1954 年起，即已聯合起來共同調查此種公害現象。而在美洲，美國也自 1964 年起建立酸雨調查網。由過去二十多年來的觀察，發現雨水的酸度有日漸增加的傾向。在美國 Likens 等認爲 1930 年代的雨水並不是酸的，但 1950 年代中期雨水便開始變酸。到目前爲止，歐洲與美洲的雨水約已達到 PH 4.0 的酸度。

在台灣，過去一直沒有雨水酸度的資料可供參考，唯目前的酸度已達到 PH 4.2 左右。由此推測：台灣的雨水可能在很早以前，便已逐漸變酸，祇是未有人加以注意而已。

歐洲與美洲雨水的酸化都是大區域性的，即大約二、三千公里範圍內皆受牽累。在每個大區域中，都有一個雨水最酸的中心區域，此即美國東北部賓州與紐約州一帶，歐洲的德國魯爾地區及加拿大五大湖附近索德柏立地區。這些地區都是世界上最大工業區所在地，估計它們每年都放出大量的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  及  $\text{HCl}$  等物質，飄送各地而造成酸雨。由歐美的資料可以推測：台灣的酸雨必也不是小區域性的現象，相反地，該也是一個大區域性的問題。但台灣是位於此大區域的中心、或是周圍，則由於鄰近的日本、韓國、中國大陸、菲律賓及中南半島等地區目前尚無酸雨的報導，故未可知。

關於酸雨的化學研究方法，1976 年 Galloway 及 Likens 的報告可供參考。由於多人的研究，雨水的酸化，目前已被認爲是由於  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HNO}_3$  及  $\text{HCl}$  等無機酸大量增加的結果。在台灣的酸雨中，作者亦發現含有高量的  $\text{SO}_4^{2-}$  與  $\text{NO}_3^-$ 。茲將台灣雨水的酸度及無機酸含量與歐洲、美加地區的雨水比較如表四。

表四：台灣雨水酸度及陰離子濃度與歐洲、美國、加拿大雨水之比較。

區 分	酸 鹼 度 (PH Value)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度 (×P.P.m)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度 (×P.P.m)	Cl <sup>-</sup> 濃度 (×P.P.m)
台灣五、六月雨	4.4 ~ 4.8	4.0 ~ 4.3	0.7 ~ 0.8	< 0.1
台灣夏季雨	4.2	10.0	2.0	0.1
美國 1975 ( U.S.A 1975 )	4.0	5.6	2.8	< 1 ~ 7
加拿大 1976	4.0 ~ 5.0	2 ~ 7	1 ~ 6	—
歐 洲 1972	4.0	2 ~ 6	0.3 ~ 2.0	0.3 ~ 3.5
台灣颱風雨	5.8 ~ 6.6	1	0.4	8.7

由表四可知：台灣的夏季雨比歐洲、美加各地雨水含有近乎兩倍的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，而 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 則與之相接近。

酸雨的成份研討，一般應考慮：避免雨水受到海洋的影響，因為在風大、浪高時，海面激起的水霧會混入雨水中，干擾了雨水成分。雨水是否被海水所污染，可藉 Cl<sup>-</sup> 或 Na<sup>+</sup> 的分析來檢定之。

有關酸雨對環境的影響目前所知無多，但已知酸雨會為害作物、森林及魚類，使得土壤變酸、肥料流失、植物生長受阻，湖水、池水變酸而造成某些魚類無法產卵、幼魚生長受阻等情況。此外，酸雨亦會破壞建築物、損害木材、腐蝕金屬，造成生鏽，另外，相信它對於生物相，尤其是微生物相的影響可能很重大。在台灣，酸雨可能是造成鐵器生鏽的最大原因。而台灣大部分土壤的偏酸性，也可能是酸雨造成的結果。

酸雨除了上述害處以外，似也有一些益處。因為像 SO<sub>2</sub> 及 NO<sub>2</sub> 等有毒氣體，若不以酸雨的形態回歸大自然，那可能會造成更大的害處。另外，若除掉酸性氫離子的害處，則像 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 及其他物質等也可



當做植物的養分看待。但整個說來：酸雨無疑地是由人類自己造成的公害。

一般認為，燒煤與燒重油的火力發電廠、金屬冶煉工廠等是  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_2$  的最大來源。故若能控制這些廢氣的排出，便能減低雨水的酸度。故酸雨的防治之道包括：

(一)工廠增設脫硫設備，使用低硫燃料。

(二)改變燃燒方法，減少廢氣排出。

(三)使用替代能源，如核能等。

本實驗研究，因受經費、時間的限制，雨水的收集區域不能遍及全省各地，只能委託本校畢業校友，就其求學及就業所在地台北、桃園、高雄等地進行收集。本實驗測定  $\text{SO}_4^{2-}$  之含量所用之光譜儀是借用台南檢驗局之設備，並由該局技術人員協助完成。

## 八、參考文獻

1. 東海大學環境科學研究中心出版，環境科學 1980. 8.
2. 台灣省立台中圖書館編印，第十六期，科學知識。
3. 環華出版事業公司 大眾科學第三卷第十二期。
4. 科學月刊，環境污染 七十一年六月。
5. American Public Health Assoc 1976 Standard Methods for the Examination of water and Waste Water ( 4 thod ) P. 1093. American Public Health Association Washington, D.C.
6. Galloway J.N. and G.E. Likens, 1976. Calibration of Collection Procedures for the Determination of Precipitation Chemistry Water. Air and soil pollution. 6. 241 ~ 258。
7. Likens. G.E. 1976. Acid Precipitation. Chemical and Engineering News, November 22. 1976. 29 ~ 44。

評語：作者對台灣地區不同地點之降雨均加以測定其酸鹼度，並討論形成酸雨之主要因素，有實測資料富有鄉土價值。