

# 專題研究題目：酸雨特性調查與影響評析

指導老師：林紘原 老師

專題學生：溫柏軒、徐福佑、連靖騰、謝棋融



## 一、摘要

近十年間桃園縣人口增加，交通流量上升，各樣建設也不斷發展，根據桃園縣工商發展局資料，自2005年底至2014年3月止，桃園市境內工廠家數已成長557家(約5.3%)，其中製造業(含化學、化材、石油、煤油、塑膠、金屬及非金屬製造業)廠家數成長比率約18.9%，桃園市境內能源消耗量在近9年內應已大增。因此污染物排放總量已隨著工廠總數與產業結構的改變，大大不同於2005年之情形。除上述固定污染源之增加，在移動污染源部分，桃園市也因移入人口成長，在2014年確定升格為直轄市，2013年五楊高架道路開通，陸路交通往來更加頻繁，加上陸客來台政策，增加兩岸航空交通量，這些轉變是否已漸漸增加桃園地區的環境承載，對於酸雨的影響或變化都尚未可知。目前政府積極打造桃園航空城，對於桃園縣的產業結構與能源使用又將帶來一波巨大的改變，政府應提早進行監測，掌握各項指數的變化，並提早進行相關因應策略。

有鑒於此，且基於地利，本研究讓學生親自進行人工採樣與檢測雨水的pH值，並學習樣品保存方法與探討在室溫下保存，是否會明顯干擾pH值。由於採樣時機不易掌握，加上能收集到的樣品不多，水量也過少，無法進行實驗室分析，現場測得的雨水值也未出現明顯偏酸(pH6-7)，故採樣分析的結果有限。然而，酸雨問題在臺灣地區以桃園市中壢區最為嚴重，2015年除中壢站pH平均值在5.0以下外，其餘各站pH平均值皆在5.0以上。比較過去1-2年資料，已連續三年全台多數測站pH平均值都在5.0以上，顯示酸雨狀況的確有改善，前述採樣分析結果也符合此一現象。

## 二、前言

### 1. 研究動機

由環保署全國酸雨2013年研究資料顯示，桃園地區是全國酸雨最嚴重的區域，酸雨(pH<5.0)平均發生機率65%，平均pH值為4.99，為全國pH值最低且酸雨頻率發生最高之地區。過去自1993年起至2005年底，國立中央大學曾協助桃園市政府環保局建立桃園地區酸雨監測網，除透過長期的監測資料來了解桃園地區酸雨影響的時空變化外，並曾以模式與雨水資料探討排放污染源與受體的關係，以了解本市雨水酸化的原因。

然近十年間桃園縣人口增加，交通流量上升，各樣建設也不斷發展，根據桃園市工商發展局資料，自2005年底至2014年3月止，桃園市境內工廠家數已成長557家(約5.3%)，其中製造業(含化學、化材、石油、煤油、塑膠、金屬及非金屬製造業)廠家數成長比率約18.9%，桃園市境內能源消耗量在近9年內應已大增。因此污染物排放總量已隨著工廠總數與產業結構的改變，大大不同於2005年之情形。

除上述固定污染源之增加，在移動污染源部分，桃園市也因移入人口成長，在2014年確定升格為直轄市，2013年五楊高架道路開通，陸路交通往來更加頻繁，加上陸客來台政策，增加兩岸航空交通量，這些轉變是否已漸漸增加桃園地區的環境承載，對於酸雨的影響或變化都尚未可知。目前政府積極打造桃園航空城，對於桃園縣的產業結構與能源使用又將帶來一波巨大的改變，政府應提早進行監測，掌握各項指數的變化，並提早進行相關因應策略。有鑒於此，且基於地利，本研究讓學生親自進行人工採樣與檢測雨水的pH值，並學習樣品保存方法與探討在室溫下保存，是否會明顯干擾pH值。綜合而言，桃園地區酸雨發生率高居全國第一的原因，初步研判係當地固定源排放之二氧化硫量較其他地區高，加上雨水量較桃園市以北地區少的緣故。

### 1.2 研究目的

- (1)透過簡易人工即時連續採樣方式，收集本校酸雨樣品，進行實驗室pH、導電度與降雨量分析，以分析一場降雨中雨水之pH與導電度變化。
- (2)探討現場用試紙檢測的雨水樣品的pH值與送到實驗室用pH-導電度計所測得的pH值之差異性與產生差異的可能原因。
- (3)探討雨水樣品經過過濾與否，對所檢出pH值與導電度的影響。
- (4)探討樣品經過非冷藏存放與冷藏存放各1-3天，對檢出pH值與導電度的影響。
- (5)探討桃園地區酸雨發生率高居全國第一的原因。

## 二、文獻回顧

### 2.1 酸雨之時空分布

2015年全國1-12月pH值分布詳圖1。該圖顯示全國所有樣本pH值平均為5.55，酸雨分布區域也從北部地區縮減至桃園、新竹地區，顯示酸雨情況逐漸改善。pH平均值方面，除中壢、新竹站pH值在5.0以下，其餘12站pH值皆在5.0以上。北部測站pH平均值約在4.77-5.55之間，中壢、新竹站pH值平均最低，分別為4.77與4.86，中部測站平均值約在5.86-6.17，南部測站介於5.55-6.16間，東部成功站pH平均值為5.45。

2015年除中壢站pH平均值在5.0以下外，其餘各站pH平均值皆在5.0以上。比較過去1-2年資料，已連續三年全台多數測站pH平均值都在5.0以上，顯示酸雨狀況的確有改善，而2015年北部測站pH平均值約在4.8-5.2之間，而中南部pH年平均值約為5.5-6.1左右，顯示南北兩地雨水酸化的程度差異仍然存在。值得注意的是，北部地區中壢與鞍部站pH年平均值仍與以往分布趨勢相當，是全國較低的區域，近年新評估加入的新竹站，雨水酸化問題也需要持續關注。而南部地區的雲林與嘉義測站pH年平均值分別為6.2與6.1，是全國地區pH平均值較高的地區。

2015年非海鹽硫酸根離子(nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)之全國分布圖。北部地區約在23-56µeq/L，其中新竹站最高，為56µeq/L。而中南部地區嘉義站較高41µeq/L，其餘各站多介於17-35µeq/L之間(詳圖2)。

2015年硝酸根(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)度全國分布，北部為平均濃度36µeq/L，為全國較高區域，新竹站最高為51µeq/L，中壢站44µeq/L次之，中南部測站以嘉義站最高為40µeq/L，其餘各站介於14-30µeq/L；而台中、台南及高雄等人口較多的都會區，平均濃度約在24-30µeq/L，尚較北部地區的平均值低。在非海鹽硫酸根離子與NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度分布上，全國以中壢站與台北站的濃度較高，除受到長程輸送的影響外，北部地區的區域性污染物排放也是造成雨水酸化的一大主因(詳圖3)。

### 2.2 酸根濕沉降量估算

圖4~圖6為1992~2016年中壢市、台北市、台中市雨水之pH值與主要離子濃度年平均值變化圖。2004-2014年nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>沉降量(kg/ha)分布皆呈現北高南低，北部鞍部、台北站附近為最嚴重區域，鞍部站沉降量最高，與當地雨量最高有關，歷年沉降量最低為恆春站。2004-2010年nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>沉降量呈現減量趨勢，2011與2012略有增加，2013-2014則呈現改善情況，整體而言2004-2010年nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>沉降量呈現減量趨勢，而在北部鞍部、新竹等地區仍為沉降量較高區域。2004-2014年NO<sub>3</sub><sup>-</sup>沉降量(kg/ha)分布顯示趨勢與nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>沉降量同樣呈現北高南低，2004-2009年呈現減量，2010-2012北部區域則有增加趨勢，2013-2014沉降量則較為降低。

2015年1-12月各站平均降雨量為1761 mm，與2014年1760 mm相近，較2012年同期2274mm與2013年同期1977mm減少約23%與11%，各站平均nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>與NO<sub>3</sub><sup>-</sup>離子濃度為47與40µeq/L，nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>與NO<sub>3</sub><sup>-</sup>平均沉降量分別為25與24 kg/ha。整體而言，沉降量分布呈現北高南低的趨勢，北部鞍部、台北、中壢與新竹等站沉降量較為顯著，其主因乃降雨量較其他測站高，與歷年有相同之情況。Vu:6

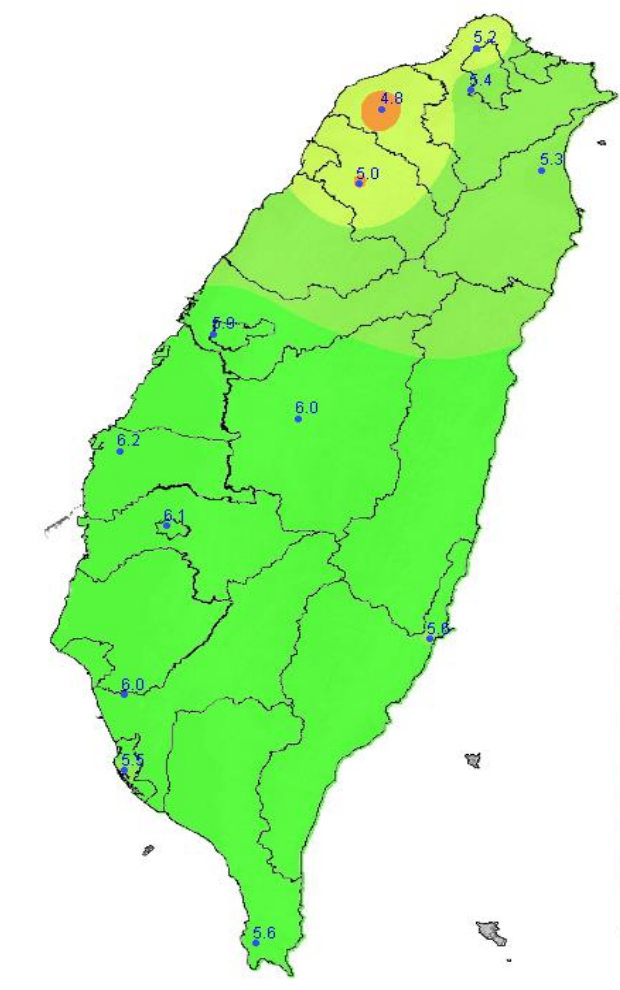


圖1 2015年pH值平均分布圖

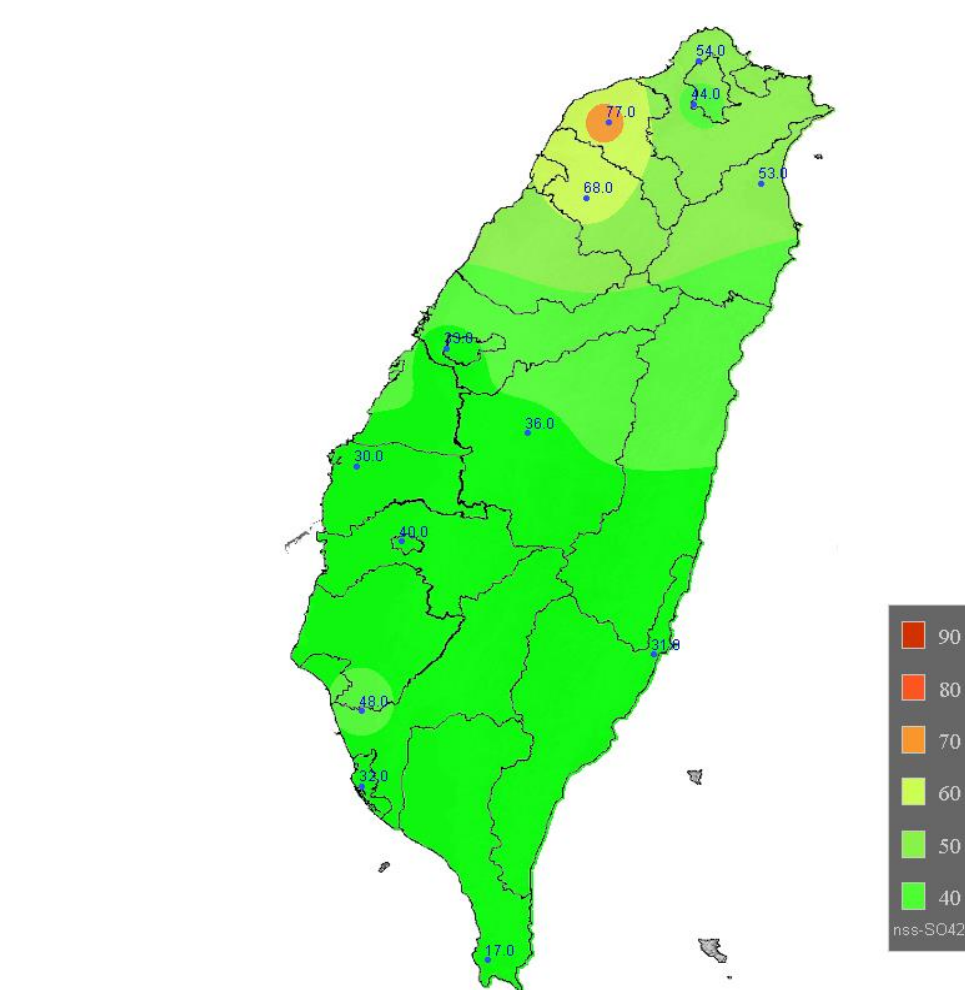


圖2 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度分布圖(單位:µeq/L)

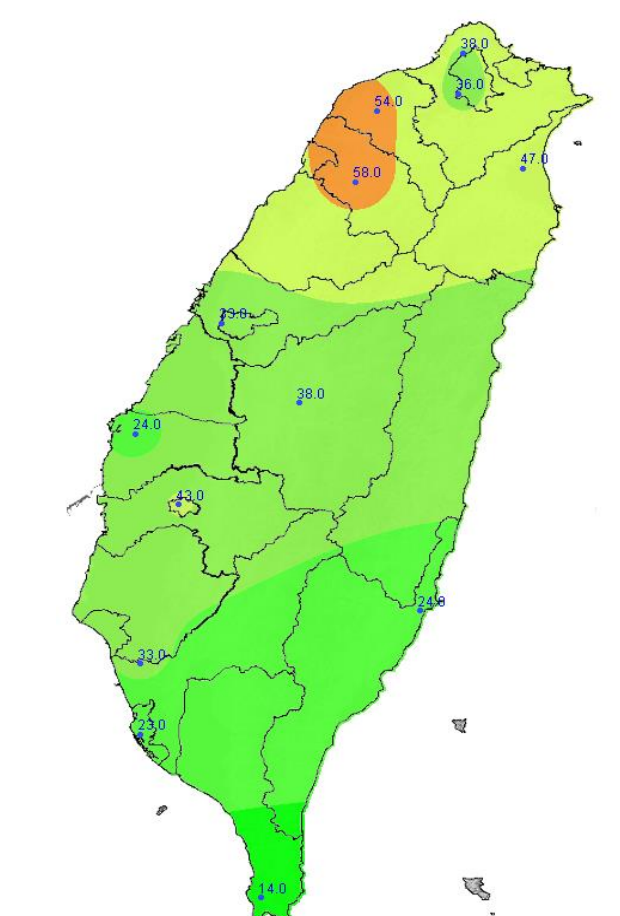


圖3 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度分布圖(單位:µeq/L)

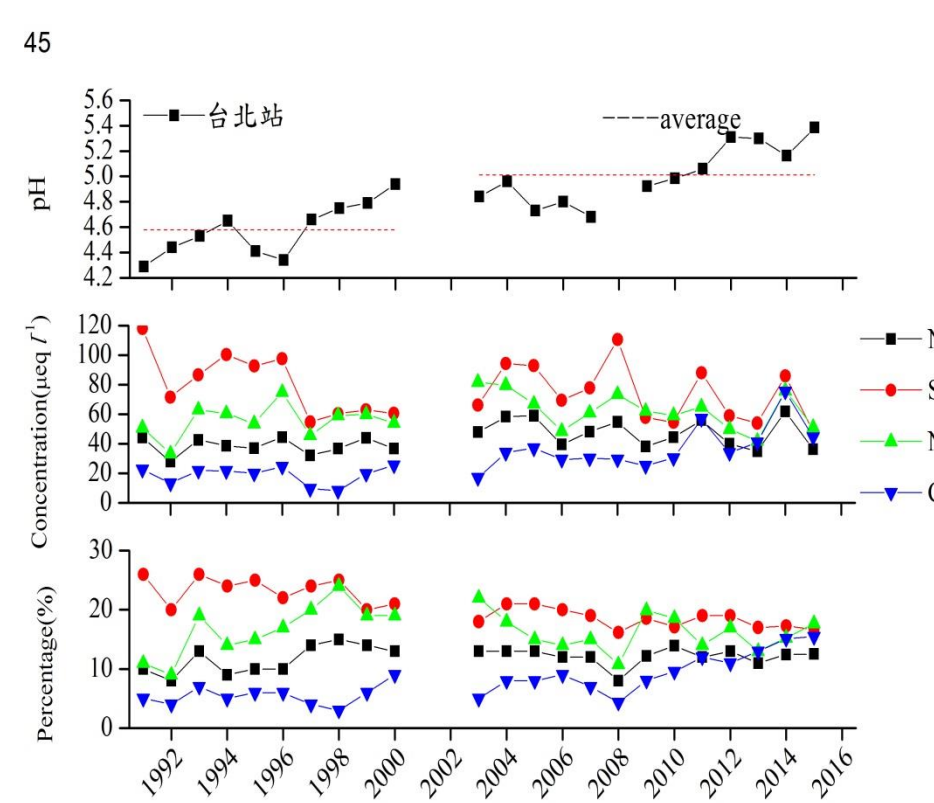


圖5 台北站1992~2016年雨水pH與主要離子濃度年平均值變化圖

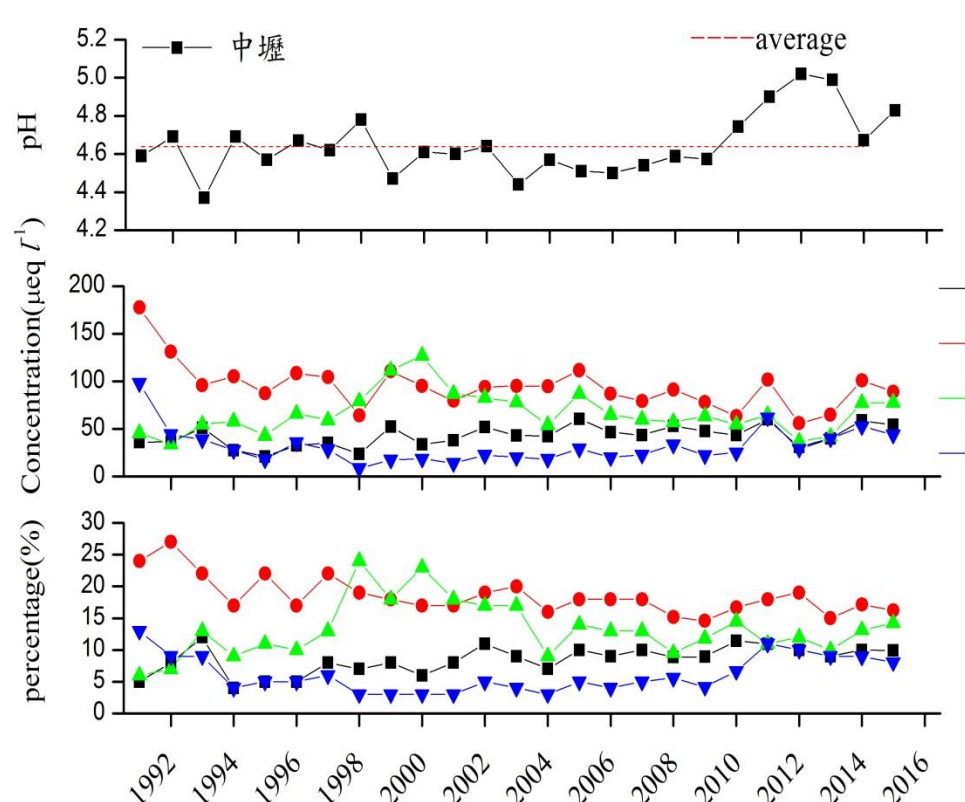


圖4 中壢站1992~2016年雨水pH與主要離子濃度年平均值變化圖

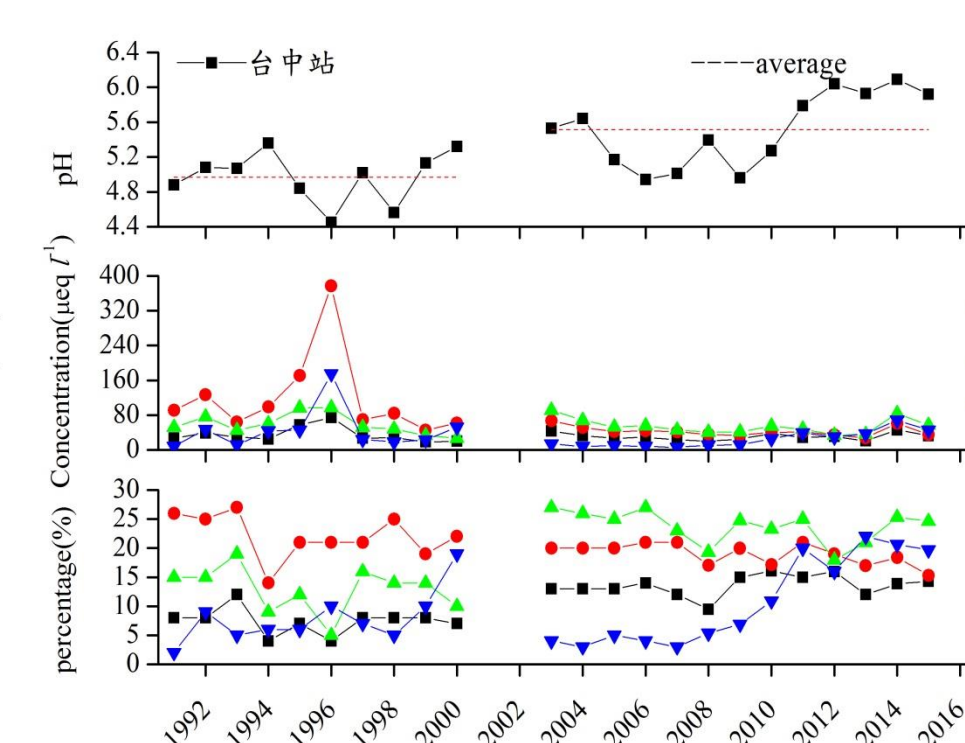


圖6 台中站1992~2016年雨水pH與主要離子濃度年平均值變化圖

## 三、研究方法

### 3.1 酸雨樣品之採樣與分析

#### 3.1.1 採樣前準備

在下雨前同學們自行協調一位組員注意氣象預報，先準備好500c.c.的雨水採樣瓶2支，放在弘道館後門廣場或生態溫室窗邊，離開學校時就隨身攜帶，在家時就放在方便採樣的地方。

#### 3.1.2 採樣與樣品保存方法

下雨時儘快取採樣瓶，打開瓶蓋，裝盛雨水，並讓自空中降下的雨水直接與pH試紙接觸。雨停了就收樣。如果雨水量不多，但雨水持續下，則可以擺放雨中較長的時間，但以2小時為限。雨不大時，一個採樣瓶應該足夠。Bj6ej3124小時內或遇明顯酸時時收回。現場記錄包括pH值，將放樣與收樣時間、開始降雨時間、地點與採樣人員姓名於瓶上的標籤紙上後，送實驗室冷藏存放，並於最時間內(當天)完成分析。若果存放時間不超過2小時，不用冷藏存放。如果水樣有明顯固體雜物沉澱或昆蟲，應放棄。在家遇到下雨時，立即取1支500 c.c.塑膠瓶採樣，方法同前，並於24小時內送學校，如果水樣有明顯的固體雜物沉澱或昆蟲，應放棄。

#### 3.1.3 實驗室分析

冷藏樣品應冷藏樣品應先取出，放在室內，使回到室溫再行分析。樣品分為過濾與未過濾樣品，兩類。取200 C.C.過濾樣品，以濾紙(Whatman 40號濾紙)經重力過濾(可用250C.C.燒杯裝)。樣品分析項目包括水量(秤重法，但先除去標籤)、水溫、pH值、比導電度。

#### 3.1.4 樣品存放時間干擾檢測

將以上樣品再各分成兩瓶，一瓶不冷藏，一瓶不冷藏，後續連續4天，每隔一日進行水溫、pH值、比導電度之檢測，記錄詳表1。冷藏樣品應先取出，放在室內，使回到室溫再行分析。樣品分為過濾與未過濾樣品，兩類。取200 C.C.過濾樣品，以濾紙(Whatman 40號濾紙)經重力過濾(可用250C.C.燒杯裝)。

### 3.2 文獻探討

透過廣泛的文獻資料蒐集與分析，就以下主題進行探討：

- (1)探討現場用試紙檢測的雨水樣品的pH值與送到實驗室用pH-導電度計所測得的pH值之差異性與產生差異的可能原因。
- (2)探討雨水樣品經過過濾與否，對所檢出pH值與導電度的影響。
- (3)探討雨水樣品經過非冷藏存放與冷藏存放各1-3天，對pH值與導電度的影響。
- (4)探討桃園地區酸雨發生率高居全國第一的原因。
- (5)探討國際間酸雨之管制方法與成效。
- (6)探討影響酸雨成因之因素。

## 四、結果與討論

### 4.1 酸雨之採樣與分析結果

由於採樣時機不易掌握，加上能收集到的樣品不多，水量也過少，無法進行實驗室分析，現場測得的雨水值也未出現明顯偏酸(pH6-7)，故採樣分析的結果有限。

### 4.2 文獻探討心得

為提高學生專題製作能力，補強酸雨之採樣與分析學習的不足，本專題研究請同學們就國際酸雨現況與管制策略降文獻蒐集與撰寫讀後心得。綜合而言，桃園地區酸雨發生率高居全國第一的原因，初步研判係當地固定源排放之二氧化硫量較其他地區高，加上雨水量較桃園市以北地區少的緣故。

#### 4.2.1 溫柏軒心得

以歐洲為例，導致酸化的最重要的氣體是二氧化硫。年以SO<sub>2</sub>形式的總硫排放量為70 Tg，大部份來自化石燃料燃燒和工業(約60Tg)，來自野火為2.8Tg，來自火山的每年7-8Tg。大氣貢獻產酸氣體的主要自然現象是來自火山的排放物。因此，例如，來自Poás Volcano的Laguna Caliente火山口的噴氣源產生極高量的酸雨和霧，酸度高至pH為2，清除任何植被的區域，並常常引起對眼睛和肺的刺激性附近定居點的居民。產酸氣體也通過在陸地，濕地和海洋中發生的生物過程產生。含硫化合物的主要生物來源是二甲硫醚。

雨水中的硝酸是植物生命中固氮的重要來源，也是由大氣中的電活動如閃電產生的。在世界偏遠地區數千年前的冰川中已經發現了酸性沉積物。針葉林的土壤由於針的脫落而天然地非常酸性，並且這種現象的結果不應該與酸雨混淆。

酸雨的主要原因是來自人類來源的硫和氮化合物，例如發電，工廠和機動車輛。使用煤的發電是造成酸雨的氣體污染的最大貢獻者之一。氣體可以在大氣中攜帶數百公里，然後轉化成酸雨沉積。過去，工廠有短漏斗排煙，但這在當地造成了許多問題；因此，工廠現在具有較高的煙霧漏斗。然而，從這些更高的堆疊中分散導致污染物被攜帶得更遠，造成廣泛的生態損害。

#### 4.2.2 徐福佑心得

當任何形式的降水(雨，雪等)從大氣中除去酸並將其傳遞到地球表面時，酸的濕沉積發生。這可能是由於在雨滴中產生的酸的沉積或通過沉澱除去雲中或云下的酸。濕法除去氣體和氣溶膠對於濕沉積都是重要的。酸沉積也通過在沒有沉澱的情況下沉澱而發生。這可能是總酸沉積的多達20至60%。當顆粒和氣體粘在地面，植物或其他表面時發生。

酸雨已顯示對森林，淡水和土壤有不利影響，殺死昆蟲和水生生物形式以及造成建築物損壞和對人類健康的影響。酸雨造成的地表水中較低的pH值和較高的鋁濃度會對魚類和其他水生動物造成損害。在pH低於5時，大多數魚卵不會孵化，降低pH可以殺死成體魚。隨著湖泊和河流變得更加酸性，生物多樣性減少。酸雨已經消除了昆蟲生命和一些魚類，包括在地理敏感地區如美國的阿迪朗達克山的一些湖泊，溪流和溪流中的藻類。然而，酸雨直接或間接通過從集水區到湖泊和河流酸度(即，取決於周圍流域的特性)的酸雨而貢獻的程度是可變的。美國環境保護署(EPA)網站指出：“在所調查的湖泊和溪流中，酸雨在75%的酸性湖泊和約50%的酸性河流中引起酸性。

#### 4.2.3 連靖騰心得

許多燃煤發電站使用煙道氣脫硫(FGD)從其堆棧氣體中去除含硫氣體。對於典型的燃煤發電站，FGD將除去煙道氣中95%或更多的SO<sub>2</sub>。FGD的一個實例是常用的濕式洗滌器。濕式洗滌器基本上是配備有風扇的反應塔，該風扇將熱煙道氣體從發電廠提取到塔中。漿料形式的石灰或石灰石也被注入塔中以與煙道氣體混合併存在的二氧化硫組合。石灰石的碳酸鈣產生從洗滌器物理去除的pH中性硫酸鈣。也就是說，洗滌器將硫污染轉化為工業硫酸鹽。

在一些地區，當硫酸鈣的純度高時，硫酸鹽作為石膏銷售給化學公司。在其他地區，他們被安置在垃圾填埋場。然而，酸雨的影響可以持續幾代，因為pH水平變化的影響可以刺激不良化學品繼續浸出到原始水源中，殺死易受影響的昆蟲和魚類並阻止恢復本地生活的努力。

在國際上的硫交易系統上，已商定了一些關於大氣污染物遠距離運輸的國際條約，例如1985年“關於根據”遠距離越境空氣污染公約“減少硫排放的”赫爾辛基議定書“。加拿大和美國於1991年簽署了空氣質量協議。大多數歐洲國家和加拿大已經簽署了條約。在這個監管計劃中，每個現有污染設施都被給予或可以在公開市場上購買其排放的指定污染物的每個單位的排放配額。然後，運營商可以安裝污染

#### 4.2.4 謝棋融心得

土壤中的生物和化學元素會被酸雨破壞。一些微生物不能承受變化的PH值會死亡。這些微生物的確是通過(改變形式，使它們不再起作用)酸性變化。酸雨的水合離子也會移動毒素如鋁，並且過濾出必要的營養元素和礦物質如鐵。

當酸性陽離子如鈣和鎂被酸雨浸出時，土壤化學可以明顯改變，從而容易影響的物種，例如糖楓(Acer saccharum)。不利影響可能與酸雨間接關係。酸對土壤的影響或高濃度的酸態前體酸雨。高原森林特別脆弱，因為它們常常被雲和霧氣所包圍，這些雲彩和霧氣比雨更加酸。其他植物也可能被酸雨破壞，但是通過使用石灰和肥料來代替失去的營養物質，對糧食作物的影響化最小。在耕種地區，也可以添加石灰增加土壤pH保持營養的能力，但是這個策略在荒野地區的情況下大部分是沒辦法使用的。當鈣從紅雲杉的針葉中流出時，這些樹對寒性會變差，並且冬季會損傷甚至死亡。

酸雨不會直接影響人體健康。雨水中的酸太稀了，沒有直接的副作用。然而，酸雨(二氧化硫和氮氧化物)的顆粒確實有不利影響。空氣中懸浮微粒的增加確實會對心臟和肺部造成問題，包括哮喘和支氣管炎。

酸雨會損壞建物、歷史古蹟和雕像，特別是那些含有大量碳酸鈣的石頭，如石灰石和大理石。雨中的酸與石頭中的鈣化合物反應產生石膏，然後石膏會脫落。這種情況的影響通常會在舊的墓碑上看到，其中酸雨可能導致銘文變得完全無法辨認。酸雨還會增加金屬特別是鐵、銅、鋁和青銅的腐蝕速度。

## 五、結論

1. 雨水酸化對環境的影響不能只針對雨水pH值進行檢測，還需檢測與水中的酸離子濃度，才能掌握致酸物質的主要成分與評估其來源。
2. 相對pH值，酸沉降量較能提供定量的環境衝擊，因為對土壤與呼湖泊水域而言，即使雨水再酸，如果酸沉降量不大，所造成的環境衝擊不會太明顯。
3. 2004-2014年非海鹽硫酸根離子沉降量(kg/ha)分布皆呈現北高南低的現象。北部鞍部、台北站附近為最嚴重區域，鞍部站沉降量最高，與當地雨量最高有關，歷年沉降酸雨問題在臺灣地區以桃園市中壢區最為嚴重，2015年除中壢站pH平均值在5.0以下外，其餘各站pH平均值皆在5.0以上，顯示酸雨狀況的確有改善。
4. 量最低為恆春站。整體而言2004-2010年非海鹽硫酸根離子-沉降量呈現減量趨勢，也顯示我國在管制硫排放量已有些成效。
5. 過去十多年來各個湖泊對於酸沉降的臨界負荷量皆是下降的，也就是對於酸性污染物的可能緩衝能力是減低了，並且大多低於一般對於生態系統評估的標準，顯示我國高山湖泊生態對於酸雨的忍受力下降中，其變化原因值得研究。
6. (6)影響與水酸化的因素很多，除了酸性氣體污染物的排放濃度外，也與空氣中氧化物濃度有關，因為會影響二氧化硫與二氧化氮轉化成三氧化硫、硝酸的轉化率。此外，氣象因素包括濕度與降雨頻率、降雨強度、鋒面分布，會影響酸性氣體污染物的長程運輸之距離與方向，以及雨水中離子濃度。