

# 2019 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180007

參展科別 地球與環境科學

作品名稱 臺灣異常酸雨與鹼雨之時序分析與探討

得獎獎項 美國氣象學會獎

就讀學校 新北市立丹鳳高級中學

指導教師 劉育宏、周崇光

作者姓名 周俐伶、劉宇欣

關鍵詞 酸雨、鹼雨、懸浮微粒

## 作者簡介



劉宇欣(左)、周俐伶(右)

我是周俐伶，來自新北丹鳳高中。在偶然的機緣，加入了地科組，因此喜歡上了地球科學。而在高中生涯裡，多次參加國內外各項交流、比賽，例如：全國科展、GLOBE 計畫的交換學生等活動。而能和志同道合的夥伴，一起探討科學的真相，是個可遇不可求的機會。感謝科教館給予我們這難得可貴的經驗，也謝謝劉育宏老師的辛苦指導，陪伴我們完成整個科展的過程。更感謝同伴，一路上的陪伴，以及契而不捨的精神。

我是劉宇欣，現在就讀丹鳳高中三年級。對於理科較感興趣，高一下時在環保署年報中恰巧看到崙背的雨水具有偏高的酸鹼值的數據，因此產生好奇進行相關數據的分析，與同伴一起製作出這份作品。在科展之前表達的能力較差，而在自區賽、國賽、青少年培育計畫以及各式與其他學生的交流之後，在表達、述說上多有長進，也希望在此次國際科展中能夠更有進益。

## 摘要

從環保署 2015~2017 年報中，全國酸雨（pH 值小於 5.0）比例最高在萬里及觀音站，全國鹼雨（pH 值大於 6.1）比例最高在崙背站。經資料分析後，研究發現以下結論：

- 一、觀音站和萬里站皆為離海近且無當地污染源的背景站，因此酸雨污染源應是外來的；酸雨與 PM2.5 的形成方式有很高的關聯性，冬季的致酸污染物可藉由東北季風到達臺灣，而使得酸雨發生比例高達 90%。
- 二、崙背鹼雨與 [PM10-PM2.5] 的相關性最高，由緯向降水酸鹼值的變異分析發現當地局部地區的變遷很明顯，非外來環境影響所導致。
- 三、崙背北方的揚塵為雨水致鹼的原因之一，鹼雨發生比例高達 90 % 的月份皆在東北季風季，兩者雖非線性相關，但關聯性很高。
- 四、極端酸雨、鹼雨僅發生在時雨量小於 5 mm 的事件。

## Abstract

According to the EPA's annual report from 2015~2017, the highest national acid rain proportion (pH less than 5.0) is in Wanli and Guanyin Station, and the highest national alkali rain (pH value is greater than 6.1) is in Lunbei Station. Followings data are the conclusions after our analysis.

1. Guanyin and Wanli Station are background stations that are close to the sea and have no local pollution sources. Therefore, the pollution may be come from other places. There is a strong connection between the formation of acid rain and the formation of PM2.5. The pollution which came to Taiwan was may be because of the northeast monsoon, which cause the acid rain proportion is higher than 90%.
2. Lunbei's alkali rain have high association with [PM10-PM2.5] , and we found that rainfall pH value from latitude variation analysis shows the local changes there changes very obviously, so it is not effect from foreign environment.
3. The main reason of Lunbei Station's alkali rain is because of the blowing dust, and the months which alkali rain proportion is higher than 90% is in Northeast monsoon season, and we conjecture that there is a connection between them.
4. Anomaly acid rain and alkali rain occur in events that the hourly rainfall is less than 5 mm.

# 壹、前言

## 一、研究動機

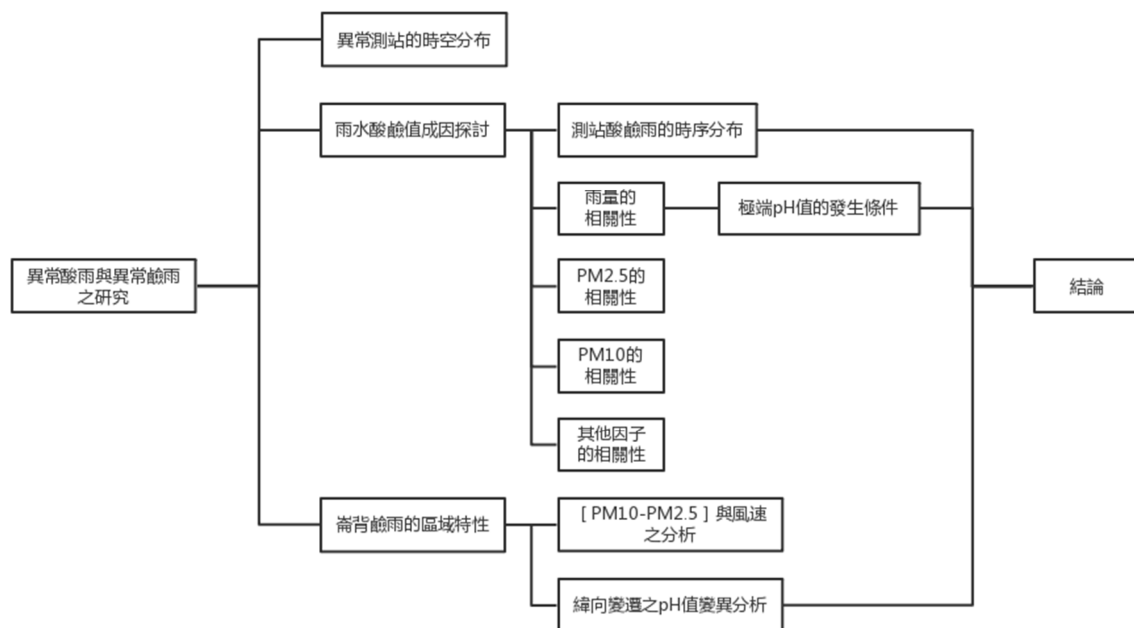
偶然翻閱環保署公告的年報時，發現崙背站有 pH 值高於 6.1 的雨水，且比例高達 70%，為全臺灣鹼雨比例最高的測站。在課堂學習中常聽到酸雨，但是從來沒有聽過鹼雨，因此勾起了我們想深入了解有關雨水酸鹼值議題的好奇心，同時也研究影響酸雨和鹼雨的因子，希望能建構出一套初步檢驗酸雨和鹼雨的標準作業流程。

## 二、研究目的及研究問題

### (一) 研究目的

1. 了解臺灣異常酸雨與異常鹼雨的空間分布。
2. 分析台灣異常酸雨與異常鹼雨的時序分布與特性。
3. 探討雨水酸鹼值和其他因子（雨量、pH 值、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、[PM<sub>10</sub>- PM<sub>2.5</sub>]、SO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>）的相關性。

### (二) 研究架構





## 貳、研究方法及過程

### 一、研究設備及器材

#### (一) 紀錄及分析軟體

Excel：資料統計、圖表彙整

Google Map：觀察測站位置與周邊環境、繪製相關圖說

Photo Cap 6.0：繪製圖片、圖表

#### (二) 數值資料來源

本研究中資料採用自行政院環保署空氣品質監測站，從西元 2009 至 2017 年共九年，選取雨量、pH 值、PM2.5、PM10、SO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 等八項因子，總資料共 1,691,880 筆之每日逐時資料。

#### (三) 採樣所用器具

鏟子



採集樣品袋



#### (四) 檢驗所用機器

離心機

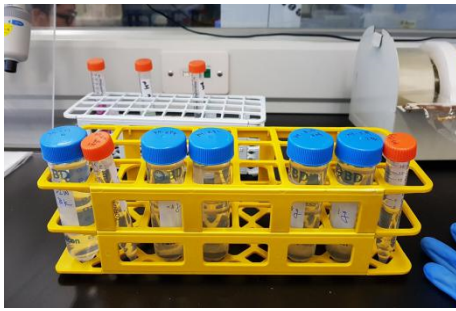


針頭過濾器



試管

超音波震盪儀



pH 值及電導率測量儀



電子秤



## 二、本研究對酸、鹼雨定義

### (一) 酸雨

自然大氣中含有大量二氧化碳，二氧化碳在常溫時溶解於雨水中並達到氣液相平衡後，雨水之酸鹼值為 5.6，因此大自然的雨水呈現弱酸性。在 1980 年代後期以來，許多國內外（包含環保署研究報告）研究者，已將所謂「酸雨」認知為雨水酸鹼值在 5.0 以下。

### (二) 鹼雨

由於自然環境中的狀態下，雨水 pH 值約為 5.6，因此研究中將 pH 值 5.1-6.0 視為正常雨水，而鹼雨，顧名思義為相較於正常雨水 pH 值偏鹼性的雨，與酸雨相反。國內目前找不到鹼雨的相關研究；由於鹼雨的相關論文與期刊非常罕見，所以本研究中將鹼雨定義為 pH 值大於 6.1。

## 三、研究測站的選定

### (一) 酸雨站（萬里站、觀音站）

從行政院環保署雨水酸鹼值年監測值分布統計圖（圖一、圖二、圖三），2015~2017 年的酸鹼比例中，研究選擇位居前茅且資料變化率不高的萬里站和的觀音站進行酸雨分析。

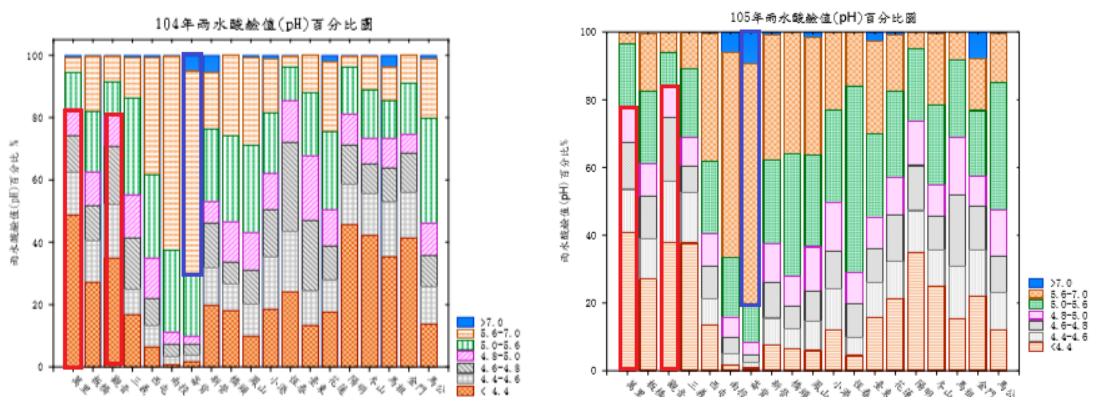
萬里和觀音站為環保署設置的背景站，設置於較少人為污染地區或總量管制區之盛行風上風區，以監測其上風所挾帶之污染量。其佈設點均特別避開鄰近污染源之影響，以反映大尺度之空氣品質狀態，研判有無臺灣以外地區長程傳輸而來的污染，測站資料如表一。

## (二) 鹼雨站 (崙背站、觀音站、三義站、臺西站、新營站、橋頭站)

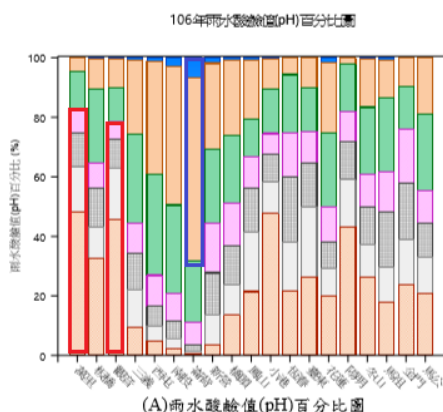
崙背站的鹼雨發生比例是全臺最多的，且距離六輕工業區僅 14 公里遠，雖然麥寮站和臺西站離六輕工業區更近，不過在詳細查閱行政院環保署的資料後，發現麥寮站以及臺西站沒有雨水 pH 值的數據資料。

而在許多分析及實驗後，我們想探討鹼雨是否是全臺灣都有的現象，還是只限於崙背地區？因此本研究選擇了西部沿岸及崙背附近的測站來做比對及分析，研究選取了：觀音站、三義站、崙背站、新營站、橋頭站，測站資料如表二。

在風速及 [PM10-PM2.5] 的分析中，發現 2009 年 11 月 2 日的數據極為明顯，查找發現當天雲林縣的空氣品質極差，因此希望能從此次鋒面事件中觀察到風速和 [PM10-PM2.5] 濃度之間更為明顯的關聯性。選擇了報導中所述的崙背站及臺西站，測站資料如表三。



圖一，2015 年各測站雨水酸鹼值百分比圖。圖二，2016 年各測站雨水酸鹼值百分比圖。



圖三，2017 年各測站雨水酸鹼值百分比圖。圖四，雨水 pH 值分析所選用測站位置。

表一，2015-2017 年資料分析選用的測站簡介表。

	觀音站	萬里站	崙背站
所屬空品區	北部空品區	北部空品區	雲嘉南空品區
測站類別	背景測站	背景測站	一般測站
站址	桃園市觀音區工業五路 1 號	新北市萬里區瑪鋉路 221 號	雲林縣崙背鄉南陽村大成路 91 號
測站高度	10 公尺	27 公尺	10 公尺
周圍環境簡述	位在工業區內，較會受到人為汙染物的影響。	距離海邊約不到 100 公尺。	距離雲林縣麥寮鄉六輕工業區的直線距離約為 13.75 公里。

表二，崙背與比較站的簡介表。

	觀音站	三義站	崙背站	新營站	橋頭站
所屬空品區	北部空品區	竹苗空品區	雲嘉南空品區	雲嘉南空品區	高屏空品區
測站類別	背景測站	背景測站	一般測站	一般測站	背景測站
站址	桃園市觀音區工業五路 1 號	苗栗縣三義鄉西湖村上湖 61-1 號	雲林縣崙背鄉南陽村大成路 91 號	臺南市新營區中正路 4 號	高雄市橋頭區隆豐北路 1 號
測站高度	10 公尺	7 公尺	10 公尺	6 公尺	7 公尺
周圍環境簡述	位在工業區內，較會受到人為汙染物的影響。	採樣口離地面約 10 米。測站周圍無大樓林立，大氣採樣順暢。	距離雲林縣麥寮鄉六輕工業區的直線距離約為 13.75 公里。	採樣口離地面高約 11 米。	位於橋頭糖廠附近。

表三，2009 年 11 月 2 日鋒面過境事件之測站使用。

	崙背站	臺西站
所屬空品區	雲嘉南空品區	雲嘉南空品區
測站類別	一般測站	工業測站
站址	雲林縣崙背鄉南陽村大成 路 91 號	雲林縣臺西鄉五港路 505 號
測站高度	10 公尺	11 公尺
周圍環境簡述	距離雲林縣麥寮鄉六輕工業區的直線距離約為 13.75 公里。	四周圍大多為農田及魚塭，氣流角度佳，惟靠近海邊不遠，地表裸露，風沙較大。

#### 四、酸、鹼雨研究方法

本研究中利用環保署空氣品質監測站所提供雨量、pH 值、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>等八項數據，從 2015 年至 2017 年之逐時資料進行分析。

##### (一) 統計三年異常酸雨站或異常鹼雨站的逐月酸雨發生比例、鹼雨發生比例

1. 將三個測站（觀音站、萬里站、崙背站）的三年雨水 pH 值劃分酸雨（pH5.0 以下）、中性雨（pH5.1~6.0）、鹼雨（pH6.0 以上）。
2. 針對三個測站各月份酸雨發生比例或鹼雨發生比例的時序分析。

##### (二) 分析酸、鹼雨發生比例與雨量、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 等七項資料的逐月時序關係

1. 將雨量等七項資料進行平均或累計，減少極端事件之數據對整體數據之影響。
2. 將雨量等七項資料與酸雨發生比例進行比較。
3. 將 [PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub>] 以及雨量等七項資料與鹼雨發生比例進行比較。
4. 由皮爾森相關係數，推斷各項數據個別與酸雨發生比例或鹼雨發生比例兩者之間的關聯性。

(三) 比較雨水 pH 值與雨量、PM2.5、PM10、NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>等七項資料的分布關係

1. 為提高資料分析的時間解析度，因此使用以小時為單位之資料進行散布圖的分析。
2. 以小時為單位的資料處理先將無效資料剔除，而無效資料的定義則是，在同一個時間點，八項資料中其一具有空白、缺漏（不同原因的缺漏會有不同的符號標記）、異常等，會直接將該時間點所有的資料視為無效資料。
3. 以時雨量等七項資料與酸雨 pH 值進行比較。
4. 以[PM10-PM2.5] 以及時雨量等七項資料與鹼雨 pH 值進行比較。
5. 由於細碎的資料容易因為極端數值而容易導致相關性不明顯，因此本研究選擇以散佈圖的資料點分布和皮爾森相關係數兩者間輔助來進行討論。

(四) 探討崙背站的時空特性及鹼雨發生之可能原因

1. 由台灣西部緯向變遷之 pH 值變異分析，分析崙背站的 pH 值變異屬於當地的特殊現象抑或是同於台灣整體的大環境。
2. 至濁水溪實地採樣，進行分析了解濁水溪的表層土壤是否具有可溶於水之致鹼物質。
3. 由 2. 所得揚塵中所含有的物質可導致純水呈鹼性。而本研究認為，揚塵的粒徑大小應大於  $2.5\mu m$ ，且因表面積越大溶解速率越快之原則，所以本研究認為 PM10-PM2.5 應為揚塵的主要因子，並使用 PM10-PM2.5 的方法去除 PM10 數值中的 PM2.5 數值。
4. 以偏北風的風速與 [PM10-PM2.5] 濃度進行分析
5. 由上述 1. 至 4. 分析崙背站的特性及可能原因。

## 五、土壤採樣分析

為了解由濁水溪兩岸而來的揚塵中是否具有溶於水中可呈現鹼性之物質，因此本研究至濁水溪兩岸裸地進行採樣。

### (一) 實地採樣步驟

我們到濁水溪沿岸進行表層土壤的採樣，分別於以下 10 個地點進行，如圖五。標號不照順序是由於我們將具有特別特徵的點和一般點分開標號，最後在表格製作時將相近的地點放在一起，因此會出現標號不照自然數順序的情況。12 個採樣樣品的基本資料如表四。



1. 我們選擇濁水溪南北兩岸各四個點進行採樣，其中包括路程中遇到特殊的樣本案例，如被施過肥料的土壤、抽地下水的稻田旁等…。
2. 由於研究的目標是檢測揚沙對雨水酸鹼值的影響，因此我們多選擇較乾燥的土壤，並且取用表層 1cm 左右的土壤作為取用樣本，但因天氣原因，其中仍有樣本會較為濕潤。最後我們以夾鏈袋擠出空氣封存。



圖五，10 個採樣地點的實際位置

表四，12 個採樣樣品的基本資料。

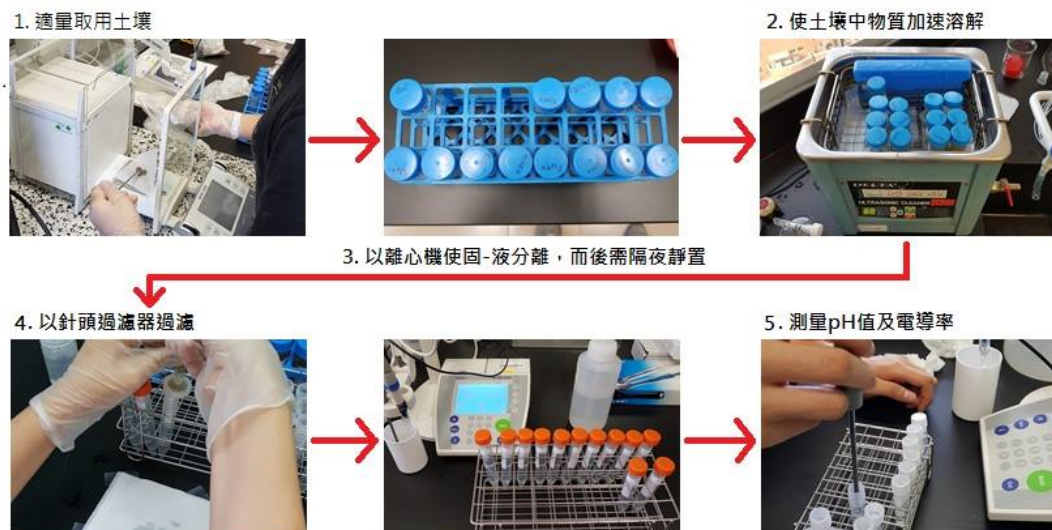
標號	位置座標	特徵	採樣照片
1	23.835586°N 120.375782°E	1. 濁水溪右岸(彰化側)	
2	23.833107°N 120.366136°E	1. 濁水溪右岸(彰化側)	
9	23.834031°N 120.366260°E	1. 濁水溪右岸(彰化側) 2. 施過肥的土	
10	23.833107°N 120.366136°E	1. 濁水溪右岸(彰化側) 2. 抽地下水的稻田旁 3. 較濕(結成小塊)	

3	23.830483°N	1. 濁水溪右岸(彰化側) 2. 較濕(泥)	
3-1	120.329691°E	1. 濁水溪右岸(彰化側) 2. 土堤防水布上的揚砂 3. 顆粒較細，顏色較淺	
4	23.832350°N 120.304485°E	1. 濁水溪右岸(彰化側) 2. 較乾	
5	23.816147°N 120.310946°E	1. 濁水溪左岸(雲林側)	
6	23.820534°N 120.351755°E	1. 濁水溪左岸(雲林側)	
7	23.820043°N 120.362510°E	1. 濁水溪左岸(雲林側) 2. 地點最接近濁水溪	
8-1	23.823764°N	1. 濁水溪左岸(雲林側) 2. 顆粒較細，顏色較深	
8-2	120.376251°E	1. 濁水溪左岸(雲林側) 2. 顆粒較粗，顏色較淺	



## (二) 實驗分析步驟

1. 事前通過幾次嘗試，我們以 0.5 g 作為土壤的取用量，接受 0.005 g 的誤差值，使用電子秤完成量取工作。其中，潮濕的樣品我們對於取用量的誤差值規定的較為寬泛，是由於潮濕的樣品其中包含水分的原因，如樣本編號 3。最後以 50 ml 的去離子水加以稀釋。
2. 放入超音波震盪器，以高速震盪，使粒子和粒子間的碰撞機率提高，同時提升了碰撞的力道和速度，因此可使得土壤中的物質加速溶解於水中，再將樣本放入離心機當中，使得固體和液體分離，進行基本的過濾。最後，需要經過一個晚上的靜置。
3. 以針頭過濾器將較為細小的非液體物質過濾。其中，先以去離子水將針筒清洗三次、再將帶有針頭過濾器的針筒進行五次的清洗，保證針筒當中沒有前次使用所殘留的物質。最後，取用三個針筒的量，以裝入試管的八成為取用量的標準，但由於使用過濾器以及裝入試管的量為目測比例，因此會帶有些許的差異，也因接下來要馬上進行 pH 質和電導率的測驗，因此並沒有測量每個樣品量是否完全相同。
4. 使用 pH 值與導電度測量儀，測量樣品的 pH 值和電導度，其中，測量的感測器需要在每次測量後以去離子水擦拭，避免感測器上殘留前一個樣本的物質，影響之後的測量結果。



圖六，樣本分析實驗步驟。

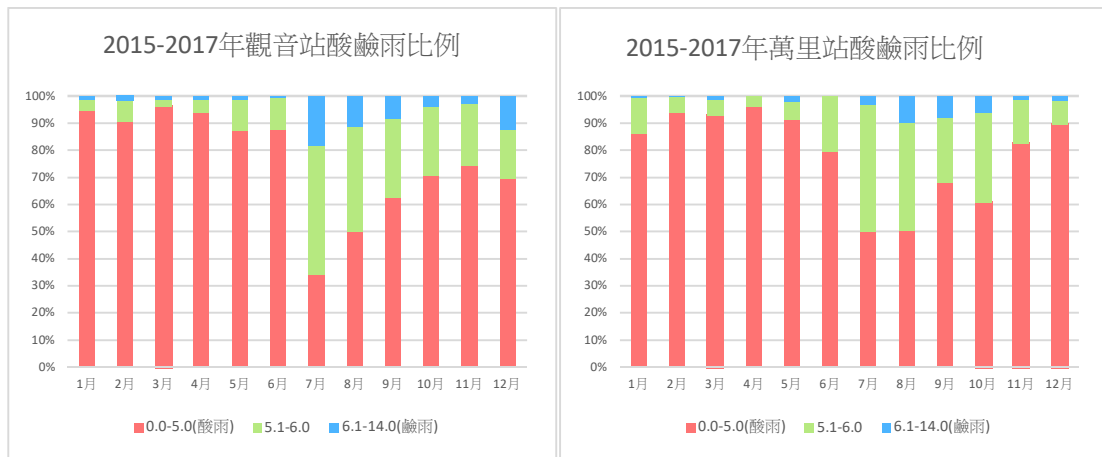
## 參、實驗結果

### 一、酸雨分析

在環保署研究報告中，統一將酸鹼值達 5.0 以下的雨水定義為酸雨。

#### (一) 統計 2015 年至 2017 年酸雨發生比例

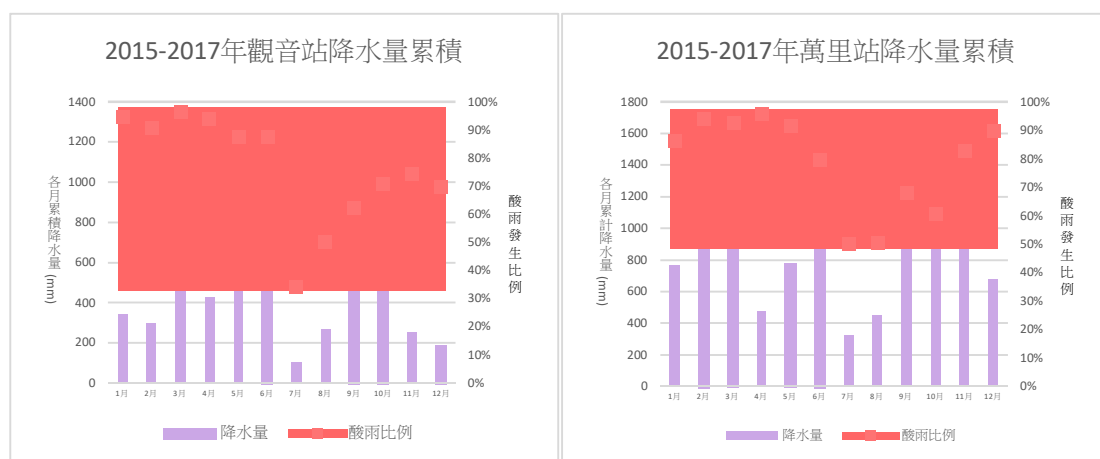
1. 圖七的觀音站以及萬里站在一月份到五月份酸雨發生的比例都超過 90 %。因為兩者皆為無當地污染源的背景站，因此本研究推測污染源是外來的。
2. 由於圖七中酸雨的高發月份與東北季風季有重疊的部分，而冬季時致酸污染物可能藉由東北季風自亞洲大陸傳輸至臺灣，因此推論與東北季風季重疊之月份與長程傳輸相關。



圖七，2015 - 2017 年各月份觀音站(左)萬里站(右)不同 pH 降水量的百分比。

#### (二) 分析酸雨 pH 值與雨量之關聯性

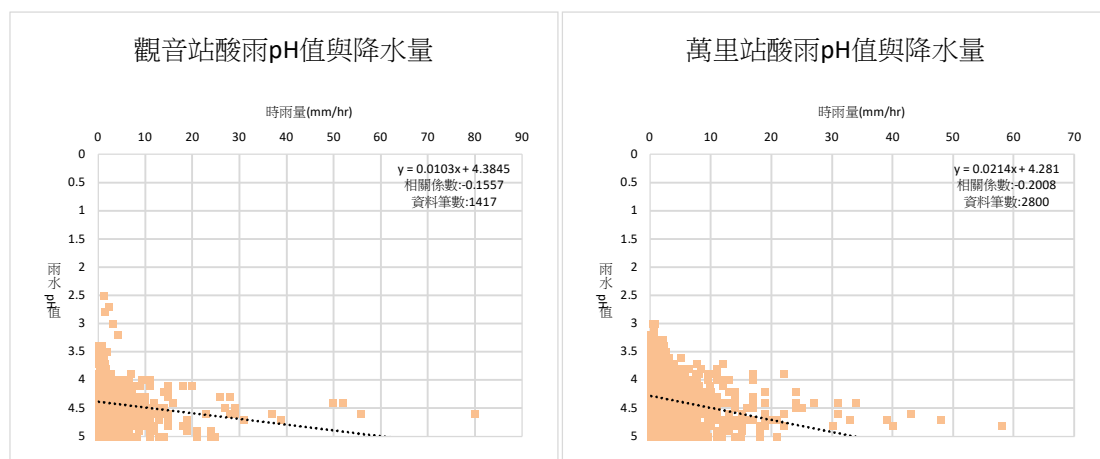
1. 從圖八中發現兩地的雨量與酸雨發生比例有類似的特徵，如 7 月的酸雨比例為最低和降水量的大幅下降。
2. 以相關係數分析來檢視兩者的相關性。兩站酸雨發生比例與月雨量的相關係數分別為 0.442、0.659，屬於中度正相關。



圖八，2015 - 2017 年觀音站與萬里站累計降水量月變化和酸雨發生比例

由時雨量與酸雨 pH 值之間的散布圖分布中可以觀察出下列兩點。

1. pH 值小於 3.5 的資料點多發生在時雨量小於 5mm/hr 時，而在時雨量大於 5mm/hr 的範圍中，點的分佈有越趨中性雨水的 pH 值的現象，這表示時雨量愈多，雨水酸鹼值愈偏中性。
2. 圖九中皆呈現負相關，表示降水愈大，雨水 pH 值愈偏中性。

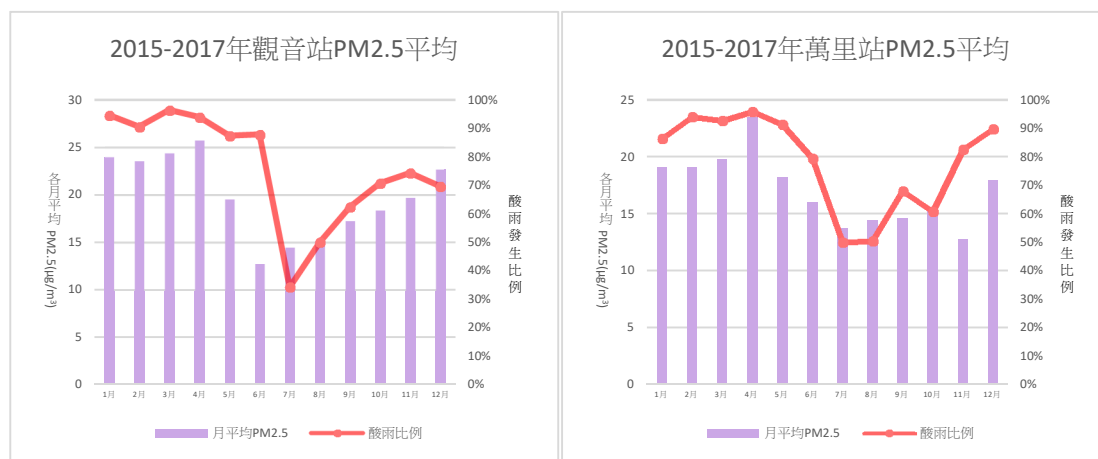


圖九，2015-2017 年觀音站(左)萬里站(右)酸雨 pH 值與雨量之散佈圖。

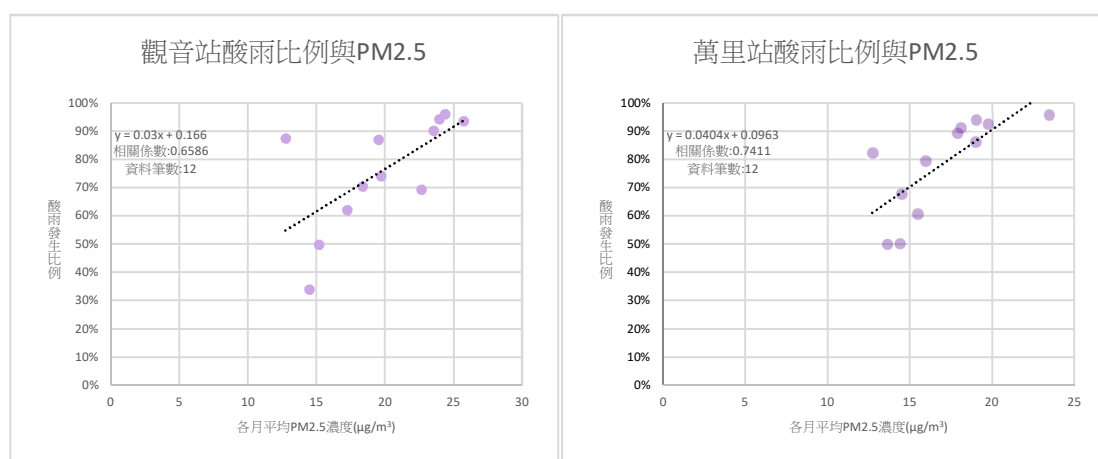
### (三) 酸雨 pH 值與 PM<sub>2.5</sub> 之關聯性分析

1. 圖十發現 PM<sub>2.5</sub> 的平均濃度高低具季節特性，在東北季風季切換至西南季風季(五月)時濃度開始下降，直至七月開始逐步回升，以此持續到隔年四月。

2. 發現 PM2.5 高濃度的月份與酸雨好發月份相似。所以本研究中也利用圖十一加以證明觀音站及萬里站的酸雨發生比例和 PM2.5 濃度相關性頗高，分別的相關係數為觀音站 0.6586、萬里站 0.7411，因此深入探討觀音和萬里站的雨水酸鹼值和 PM2.5 間的關係。

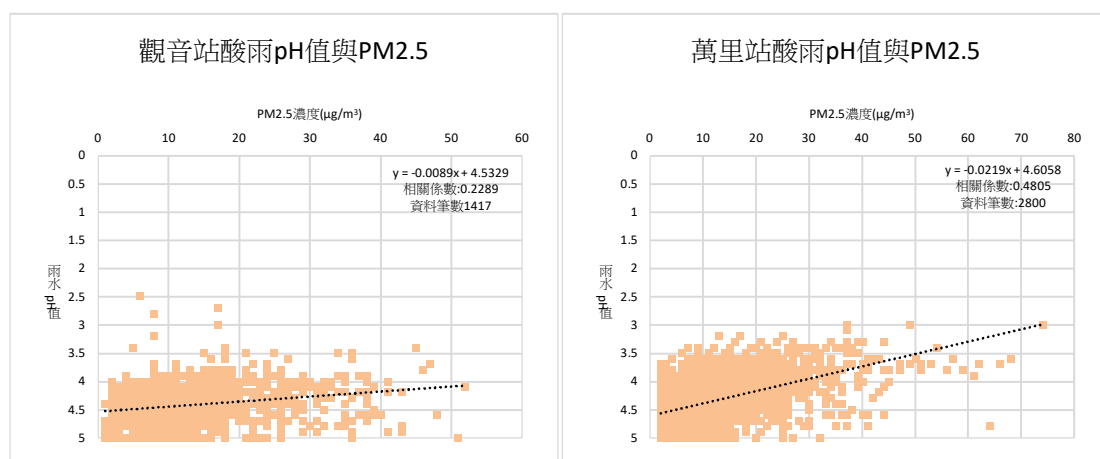


圖十，2015-2017 年觀音站(左)萬里站(右) PM2.5 月平均和酸雨發生機率。



圖十一，觀音站(左)萬里站(右) 酸雨發生比例與 PM2.5 點散圖。

3. 萬里站酸雨 pH 值與 PM2.5 濃度的相關係數是在以小時為單位的數據中最高的，高達 0.4805，為中度正相關（圖十二）。猜測原因與萬里站的地理位置相關，如前述推測酸雨發生與東北季風的關係一樣，萬里站直接相迎東北季風可能是造成這個現象的原因之一。

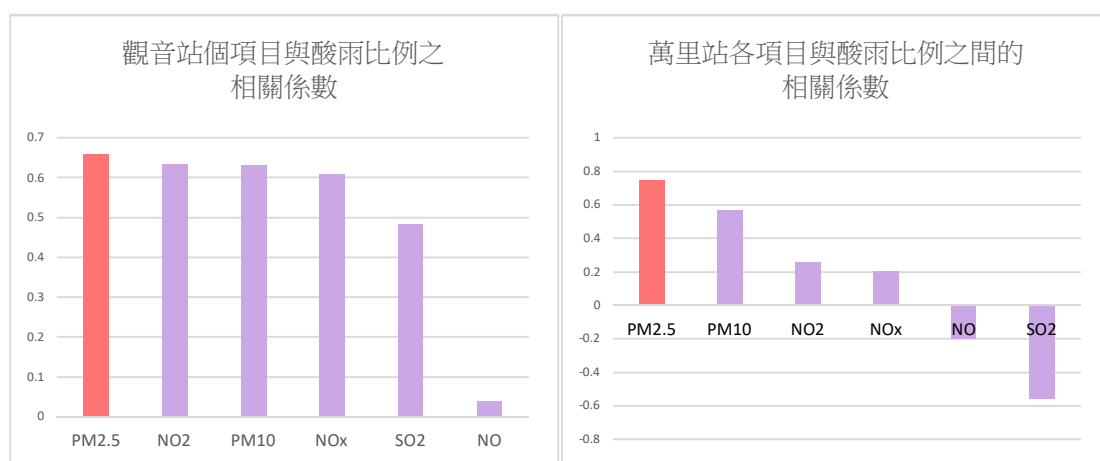


圖十二，2015-2017 年觀音站(左)和萬里站(右)酸雨 pH 值與 PM2.5 之散佈圖。

#### (四) 酸雨部分之總結

本研究將觀音站及萬里站的三年單月酸雨發生比例與 PM2.5、PM10 等六項因子的三年單月平均數據進行相關係數的分析，並給以總結：

1. PM2.5 的相關係數在兩個測站皆為最高，這點在以小時為單位的散佈圖分析中，也能得到很好的體現。因此，本研究認為在這六項因子當中，PM2.5 對於觀音和萬里的雨水 pH 值具有最大的關聯性。



圖十三，觀音站(左)萬里站(右)六個項目與酸雨比例之相關係數。

## 二、 鹼雨分析

2015 年至 2017 年崙背站鹼雨的發生比例高達七成，鹼雨比例之高超乎想像，但查詢雨水酸鹼值的相關研究中，卻找不到鹼雨的相關研究，所以本研究針對雨水酸鹼值大於 6.0 之數據視為進行鹼雨的研究。

### (一) 崙背天氣系統介紹

#### 1. 簡介崙背站之全年風場

(1) 臺灣各地在冬季時均明顯受到亞洲冬季季風的影響；每年秋冬季節，北風強勁，造成濁水溪南岸，崙背及麥寮等鄉鎮飽受揚塵之苦，如圖十四(左)中各測站的 12 月及 1 月風速較大，則揚塵的現象會更為明顯。

(2) 由圖四可知，在東北季風季時，北部的萬里站及觀音站風速較大，位於背風側的崙背站則風速較小。

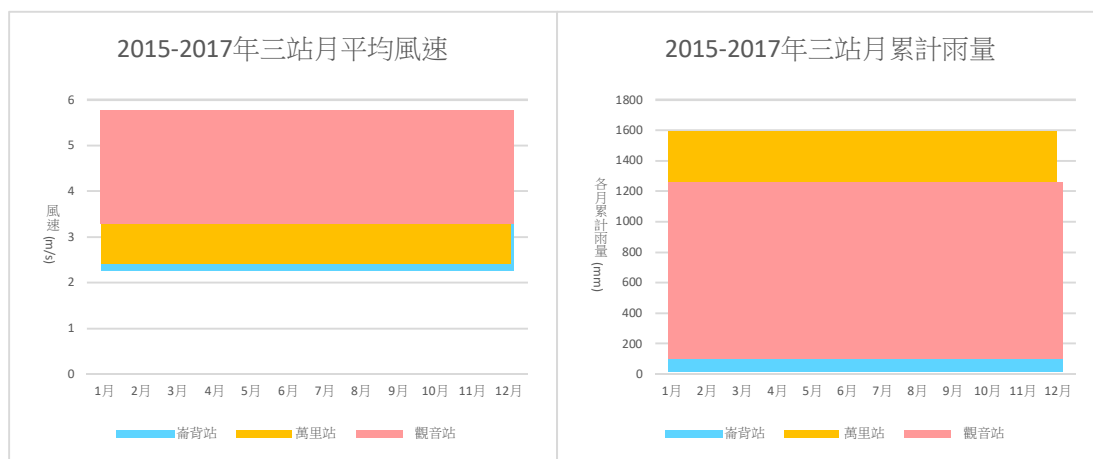
#### 2. 簡介崙背站之逐月降水量變化

(1) 崙背站的冬季雨量較少，雨季和旱季分布明顯，是因為在東北季風季時，崙背站位於背風側，造成冬季累積雨量偏低。

(2) 進入西南季風季，崙背站較無遮擋物以及梅雨和颱風等影響，導致累計雨量偏高。

#### 3. 崙背於新聞中的實際狀況

雲林冬季的揚塵問題在近十年來多有報導，其中不乏表示揚塵影響能見度低、吃飯配沙等等。如 2009 年 11 月初，眾多媒體報導反映，當時鋒面南下帶來強風，濁水溪砂塵暴吹起，南岸的雲林縣揚塵量激增，臺西鄉空氣懸浮微粒 PSI 值高達 286 毫克，全國最高；崙背鄉為 207 毫克，空氣品質非常不良，局部地區能見度只剩五公尺。以此佐證崙背確實有揚塵偏多的問題。(如圖十五)



圖十四，2015-2017 年萬里站、觀音站、崙背站月平均風速圖(左)及月累積雨量圖(右)。

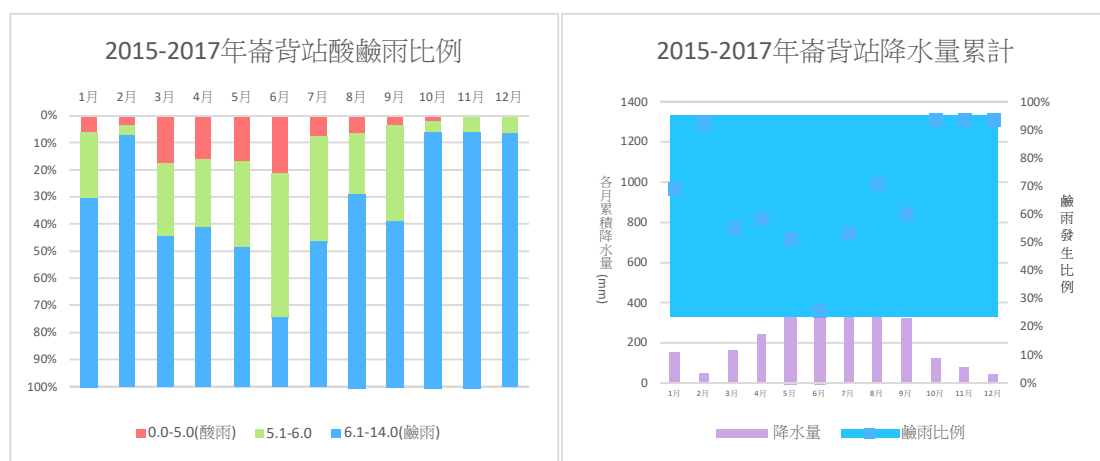


圖十五，雲林揚塵現象之新聞。

## (二) 分析鹼雨 pH 值與雨量之關聯性

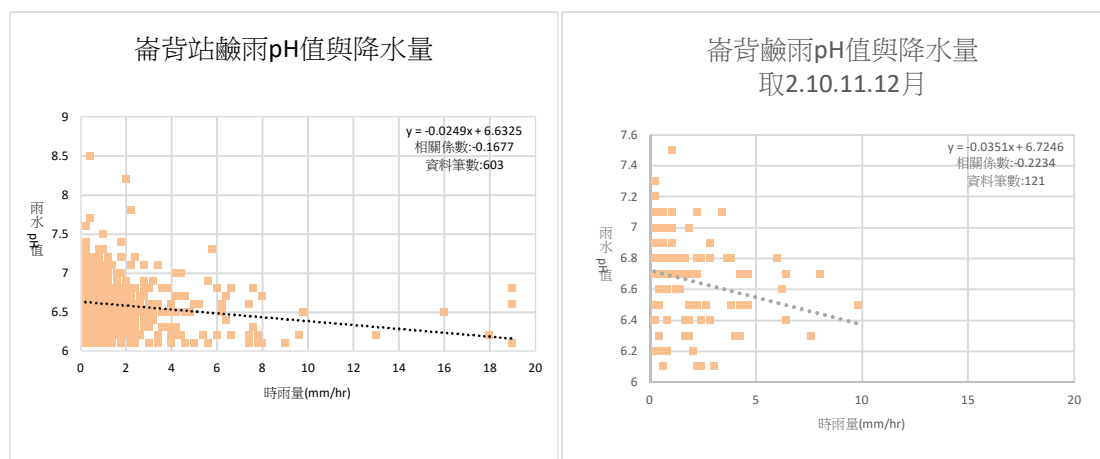
影響崙背站雨水 pH 值的因子，可能有工業化學排放、雨量、揚塵、PM2.5、PM10、NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 等，而本研究想知道影響崙背站發生雨水偏向鹼性的顯著因子，及這些因子和雨水 pH 值的相關性是如何？於是本研究使用了環保署的資料進行相關性分析。統計 2015 到 2017 三年資料降水酸鹼值次數，將正常、酸、鹼三種 pH 變因發生次數做逐月的百分比統計。

1. 崙背站鹼雨發生比例高達 90%的月份有二月、十月、十一月以及十二月，這些月份主要處於東北季風季，如圖十六(左)。
2. 由圖十六(右)中可以看到，在鹼雨的高發月份中，月累計降水量皆偏低，如六月，其中月累積降水量為最高、鹼雨發生比例則為最低。



圖十六，崙背站檢與比例(左)降水量累計(右)。

3. 雨水 pH 值大於 7.0 的案例多數發生在時雨量小於 5 mm 的情況下，相對的，崙背站在時雨量大於 5mm 時則少有雨水 pH 值大於 7.0 的案例的發生，換言之，小雨時鹼雨的發生機率較高，如圖十七(左)。
4. 從圖十七(右)中可以看到，在發生鹼雨比例超過 90% 的月份裡，沒有時雨量大於 10mm 的數據，因此也能驗證並衍生 1.的結論，鹼雨多發生在時雨量小於 10mm 時，也就是在小雨的情況下鹼雨發生的可能性最大。



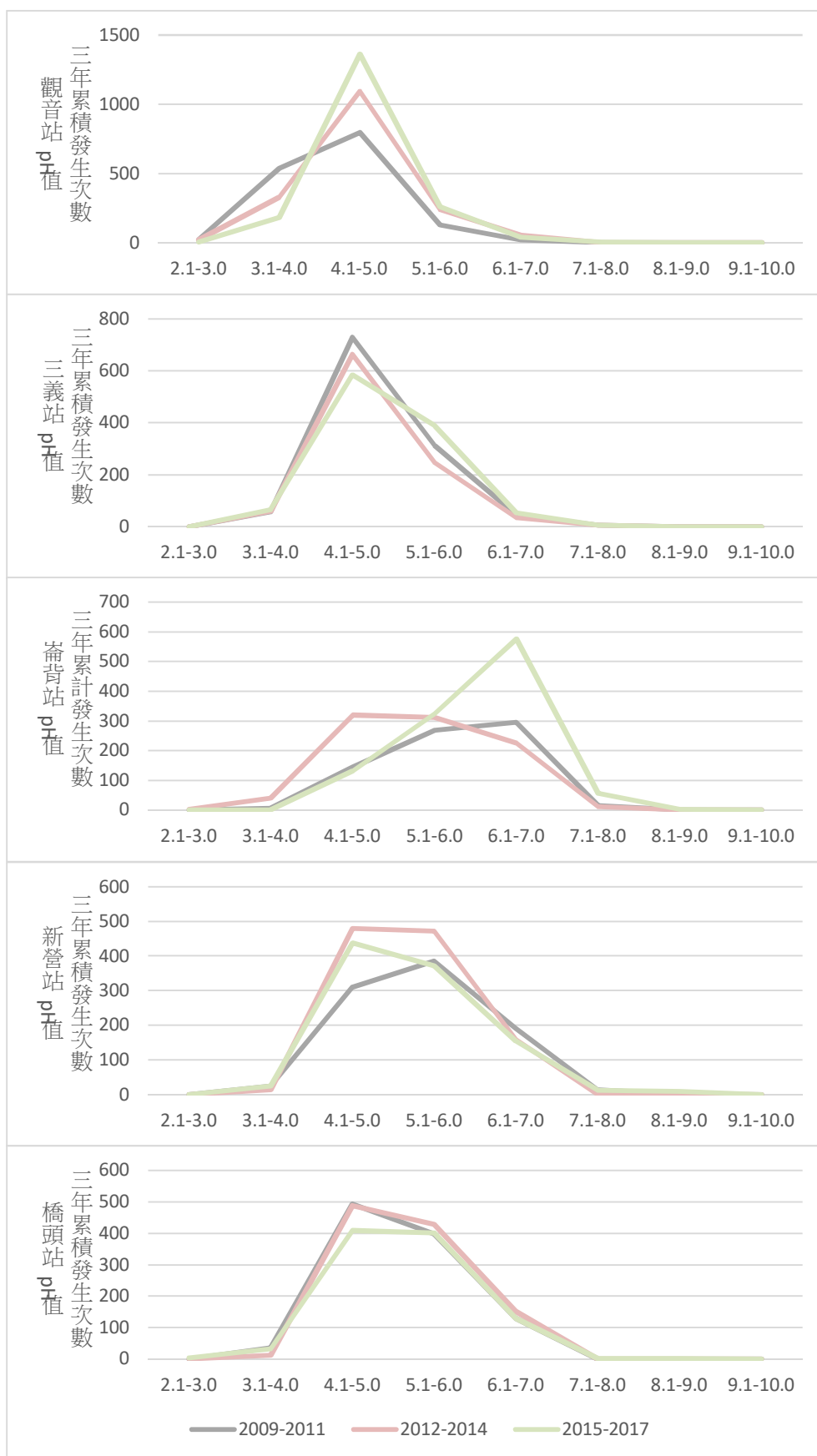
圖十七，崙背站鹼雨 pH 值與雨量(左)，取 2.10.11.12 月(右)散佈圖。



### (三) 臺灣西部的緯向雨水酸鹼值變異分析

因為本研究猜測崙背站之鹼雨，與濁水溪之揚塵相關，因此首先進行臺灣西部的緯向 pH 值變異分析，以知曉崙背站之雨水酸鹼值變化趨勢是否與全臺灣之變異相似。

1. 圖十八中，觀音、三義、新營、橋頭等四站於 2009-2011 年、2012-2014 年、2015-2017 年之三年累積雨水 pH 值次數的變異情形相對一致。主要是次數上的變異，顯示當地雨水 pH 值隨時間出現區間的變遷特性很小。
2. 崙背站當地鹼雨發生次數的變化很大、且具有區間的變動。
3. 由上述兩點表示，崙背站的鹼雨發生應為區域性污染，非臺灣大環境所導致。



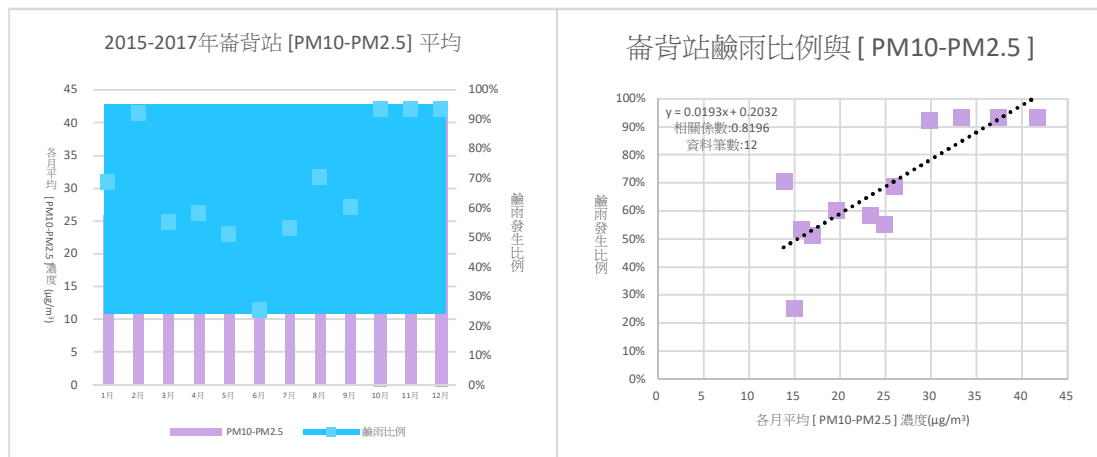
圖十八，2009 至 2017 年觀音、三義、崙背、新營、橋頭站雨水 pH 值三年累積之變遷。

#### (四) 分析鹼雨 pH 值與濁水溪揚塵之關聯性

由於得知「濁水溪土壤偏鹼性」的資料，開啟針對於「可能由濁水溪吹拂而來的揚塵」的研究，因此，所用數據除了前述之七項外，使用了 [PM10-PM2.5] 濃度、風速、風向等資料，以利於分析。

##### 1. 鹼雨 pH 值與 [PM10-PM2.5] 濃度之關聯性分析

(1) 由圖十九中的相關係數可以看到三年單月鹼雨發生比例和揚塵的三年單月平均濃度有高達 0.8196 的高度正相關，表示兩者間有很高的相關性。



圖十九， 2015-2017 年崙背站 [PM10-PM2.5] 月平均和鹼雨發生比例。

##### 2. 分析濁水溪土壤的採樣實驗結果

本研究於濁水溪採集表層土壤，溶於蒸餾水中以觀察土壤中的可溶物質所呈現之 pH 值變化。

(1) 採樣樣品溶於水中的平均 pH 值呈現鹼性(7.16)，其中如採樣點 8-2 就具有達 7.97 的 pH 值(如表五)。

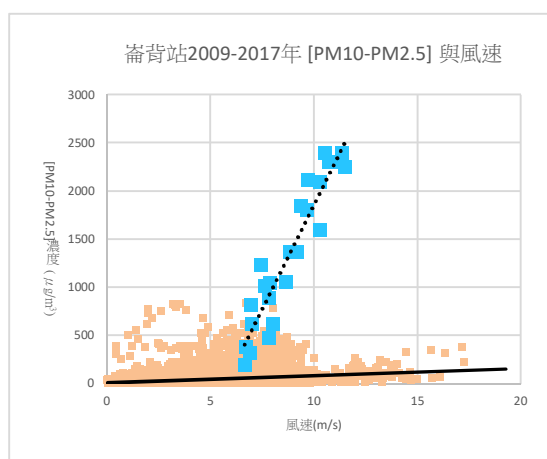
表五，至濁水溪實地採樣之分析結果。

編號	取用量 (g)	pH value averger	溫度 (pH value)
D.I.W.		6.18	25
1	0.5018	6.82	25
2	0.4971	6.91	25
9	0.5007	7.12	25
10	0.5078	6.87	25
3	0.6095	7.55	25
3-1	0.5013	7.43	25
4	0.5050	7.18	25
5	0.4950	7.76	25
6	0.4983	6.76	25
7	0.5004	7.69	25
8-1	0.5000	7.52	25
8-2	0.5038	7.97	25
Average	0.5016	7.16	25

### 3. 偏北風的風速與 [PM10-PM2.5] 濃度之關聯性分析

從新聞中知道崙背的揚塵對於居民生活的影響是嚴重的，而本研究也因為至濁水溪採樣所做的實驗而知道，位於崙背站北邊的濁水溪具有可溶性致鹼物質的表層土壤，因此本研究將風速數據中的偏北風篩選出來，與 [PM10-PM2.5] 進行分析。

- (1) 圖廿中，偏北風有適當風速即可吹起揚塵，揚塵是可能由濁水溪通過偏北風吹至崙背站。
- (2) 虛線代表偏北風風速與 [PM10-PM2.5] 在鋒面強陣風影響下，崙背會出現高度正相關(0.9402)的現象。

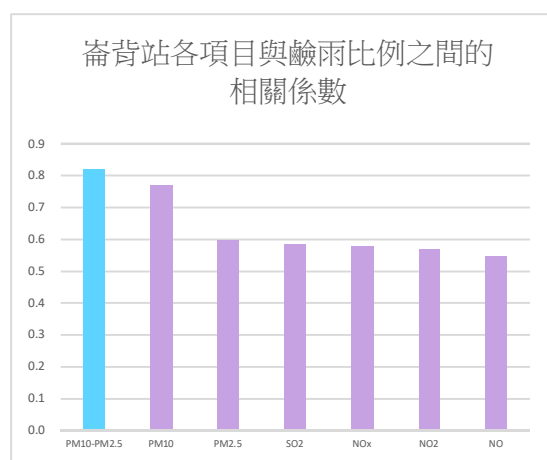


圖廿，崙背站 2009-2017 年 [PM10-PM2.5] 與偏北風之風速的散布圖。

### (五) 鹼雨部分之總結

本研究將崙背站的三年單月鹼雨發生比例與其他七項因子的三年單月平均數據進行相關係數的分析，以及採樣實驗結果之整理。

1. [PM10-PM2.5] 之於鹼雨比例的相關性是最高的（如圖廿一）。
2. 由緯向雨水酸鹼值之變異分析，研究認為崙背的鹼雨是區域性汙染所造成，與其他地區的特性不同。
3. 由採樣實驗發現，崙背站北方之濁水溪兩岸的表層土壤，浸於水中皆有釋出可溶於水之鹼性物質的特性，且崙背站受北風較強的風速吹拂時，[PM10-PM2.5] 的濃度會出現較高的狀況。
4. 綜合以上三點，本研究推論崙背站鹼雨主要是由於濁水溪揚塵所造成的特殊現象。



圖廿一，崙背站之七個項目與鹼雨發生比例之相關係數

## 肆、討論

### 一、酸雨部分

#### (一) 雨水酸鹼值與其他因子的相關性

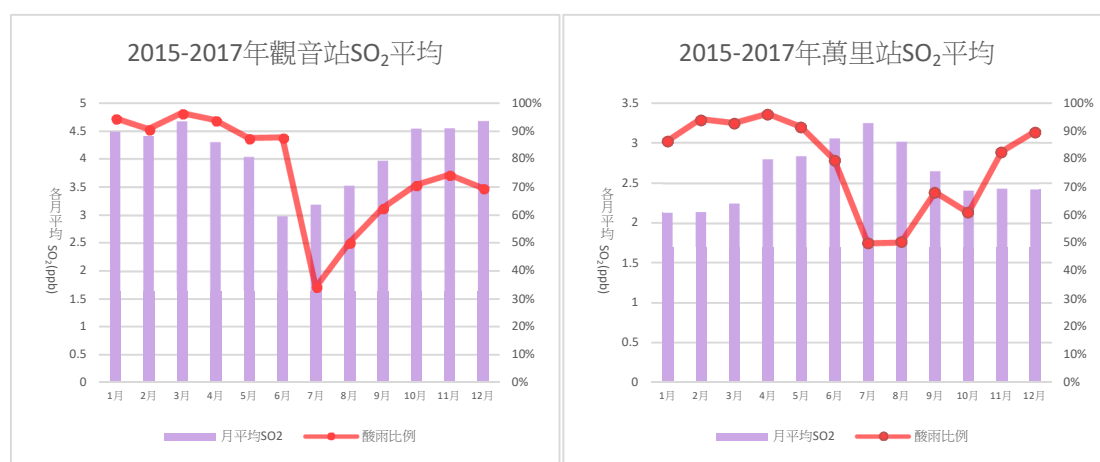
##### 1. PM<sub>2.5</sub> 是否有可能為觀音站和萬里站發生酸雨的主要因子？

由於 PM<sub>2.5</sub> 粒子溶於水中的過程過於複雜，如融入雲系中經過遙遠的距離到臺灣時降水、直接由當地物質沖刷等等，本研究僅能說明酸雨與 PM<sub>2.5</sub> 的形成方式有很高的關聯性，兩者間不必然存在因果關係。

##### 2. 那 SO<sub>2</sub> 跟酸雨 pH 值有什麼關係？

當人們聽到酸雨這個詞，總是會馬上聯想到 SO<sub>2</sub> 的貢獻，所以本研究也針對 SO<sub>2</sub> 探討與酸雨發生比例和酸雨 pH 值的關聯性，因此製作了觀音站及萬里站，兩站的 SO<sub>2</sub> 月平均（圖廿二）。在觀音站酸雨比例和 SO<sub>2</sub> 的平均值有相似的分布，皆為年初平穩、年中下降、年尾回升，但是萬里站在 SO<sub>2</sub> 的濃度於 6、7、8 月反而上升，因此在分布的趨勢上與酸雨比例的折線並不相似，但觀察兩站的數值，會發現年中時的 SO<sub>2</sub> 濃度是相近的。

東北季風季時，萬里站的 SO<sub>2</sub> 濃度只有觀音站的一半，對於這個現象，我們認為與當東北季風季形成雲系時，SO<sub>2</sub> 融入雲系當中形成硫酸根，使得數值下降有關，並且，萬里站位於東北角，於東北季風季時易發生地形霧，也會使得二氧化硫溶於其中，導致數值下降的結果。而具有較高 SO<sub>2</sub> 濃度的觀音站，我們認為由於觀音站的上風處有北部的工業區，其對於 SO<sub>2</sub> 濃度的數值具有一定的貢獻。



圖廿二，2015-2017 年觀音站(左)萬里站(右) SO<sub>2</sub> 月平均和酸雨發生機率

## 二、酸雨部分

(一) 區域外移來的工業化學排放也是影響酸雨原因之一，為何本研究沒討論？

因為如果要做外來工業化學排放分析的話，就需要區域外工業化學排放的資料以及風向、風速、地形等詳細資料，但由於這些資料涉及環保利益難以取得，所以無法針對此項目進行更進一步的研究。

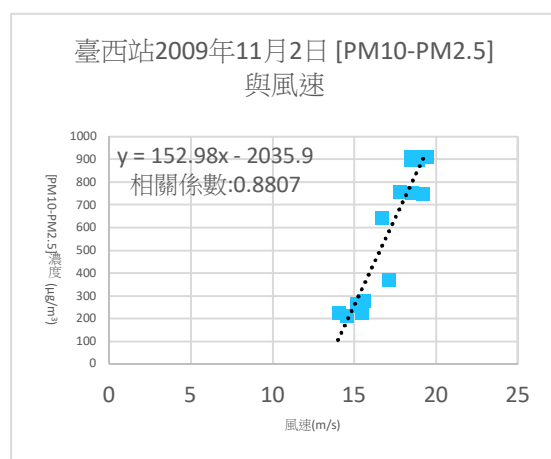
(二) 2009 年 11 月 2 日之鋒面事件

從圖廿中可明顯看到一群成正相關的數據點(虛線)，詳細討論，這群數據點皆為 2009 年 11 月 2 日所發生，有報導反映，當時雲林的臺西和崙背均受到較大的影響。為此，研究針對報導中提及的兩個地方、延續圖廿之內容進行 2009 年 11 月 2 日兩側站風速與 [PM10-PM2.5] 濃度的分析以及了解由 2009 年 11 月 2 日往回算有多長時間沒有連續小雨或是時雨量大於 7 毫米的降水事件發生(乾燥時間)，而得知兩站自莫拉克颱風過後，到 11 月 2 日皆沒有上述降水事件的發生(8 月 10 日至 11 月 2 日)。

在莫拉克颱風時，大量的土石沖刷可以形成大片裸地，加上長達 92 天的乾燥時間能夠累積大量的揚沙量。直到 11 月 2 日遇見鋒面南下，強風吹起，造就出如圖廿及圖廿三之現象。

當然雲林縣本身的揚塵也與多項因子相關，如自 1999 年 921 大地震後，中部地區河川河床受地層變化影響，部分河床有上昇現象，且上游河段受地層變化及土石崩落阻斷水流，造成下游區域河床裸露面積增加；或是在農民農耕施作過程時，因較缺乏有效管理，且耕作過程並未進行抑制揚塵相關措施，假使在翻土後長時間未進行覆草等抑制揚塵措施，又河床上翻土期間恰好是東北季風盛行季節，造成大量揚塵。等等上述條件皆是雲林縣多年來揚塵產生的原因。

而在圖廿(藍色數據點)以及圖廿三中所呈現的分布，則可看出在有足夠的乾燥時期以及大量的揚塵累積下，風速及 [PM10-PM2.5] 可以呈現及乎正比的正相關，本研究除了崙背外特地加上臺西站資料作為對比，台西站也是呈現高度正相關 0.8807 (崙背站為 0.9402)。



圖廿三，2009 年 11 月 2 日臺西站 [PM10-PM2.5] 與風速之散布圖。

### 三、強降雨分析

研究中發現使用月雨量與時雨量對雨水酸鹼值有不同的表現，其相關性的高低也不相同，可能不同的降雨次數與降雨強度會有不同的意義，於是本研究針對不同降水強度對於 PM2.5 和 PM10 累積特徵進行研究。

#### (一) 崙背的鹼雨與降水強度和 PM2.5、PM10 的關係為何呢？

表六為崙背站不同雨量分級之相關係數。崙背站在 2015 年到 2017 年間，僅有在豪雨的降水情況下，雨量和懸浮微粒的相關係數之絕對值達到中度相關。可能表示豪雨的沖刷力強，也可能是樣本數不同造成的變異，也可能是由於該次豪雨事件是懸浮微粒排放較少的緣故（當時有停班停課事件）。

由於其他降水強度的下降水量與 PM2.5 及 PM10 皆呈現低度相關性，且相關係數絕對值的數值並沒有和雨量呈現線性相關的現象，甚至在豪雨區間，相關係數之絕對值遠高於其他區間的數值，因此，可推斷於崙背站在豪雨狀態下並非常態現象所導致的數值，而回頭了解崙背站於三年間的豪雨發生時間，符合豪雨定義的僅有一天，為 2017 年 6 月 3 日，因此推論，這樣高的相關係數，是由於偶發事件所造成。

表六，崙背站不同雨量分級之相關係數

崙背站不同雨量 分級之相關係數	雨量不分級	大雨以下	大雨以上	大雨 (不含豪雨)	豪雨
雨量與 PM2.5	-0.1557	-0.0909	-0.1568	0.0065	-0.6393
雨量與 PM10	-0.1174	-0.0508	-0.1199	0.0096	-0.6193



#### 四、數值相關問題

##### (一) 相關係數是否可以代表其因子間的相關性？

相關係數不能完全直接代表其因子的相關性，因為當資料樣本數目不同時，相關係數會隨之改變。本研究由於各站各因子的樣本數不同，因此無法進行嚴謹的統計檢定。

##### (二) 本研究的方法是否能對其他各地有適用性？

本研究以臺灣異常酸雨和異常鹼雨為目標，並分析其形成的原因，酸雨已經是全球性的危害，本研究將酸雨、鹼雨的影響因子及本研究處理的方式，可以做為全球初步分析酸雨與鹼雨的參考作業流程，希望本研究可以做為未來避免或減緩酸雨或鹼雨的前驅研究。

#### 五、本研究的原創性及貢獻

鹼雨是個學界極少討論的議題。鹼雨的產生是由於「**同時有可溶於水的致酸物質及致鹼物質，而致鹼物濃度偏高**」。由於崙背站的鹼雨 pH 值數值多在 6.1-8.0 的區間，因此可推得致鹼物質的濃度即為「致酸物質之濃度 $+10^{-5}$ 」。在這個假設下，致鹼物質會對酸雨強度的評估造成影響，產生低估的狀況，如表七，可看出鹼性離子在該溶液中含有一定比例，其對 pH 值也造成相當的影響。因此認為，研究鹼雨形成因子是能夠更準確的推估酸雨強度的方法。

表七，採樣點 6.及 9.的土壤溶於水中所釋出之離子。

標號		6	9
pH 值		6.76	7.12
電導率	uS/cm	227	143
Cl <sup>-</sup>	ppm	0.2977	0.6869
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ppm	0.0437	1.4648
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	ppm	46.3058	12.7077
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	ppm	0.0166	3.1355
Na <sup>+</sup>	ppm	0.1912	0.0973
K <sup>+</sup>	ppm	0.6294	0.4740
Mg <sup>2+</sup>	ppm	0.9579	0.5990
Ca <sup>2+</sup>	ppm	22.1150	7.1901

## 伍、結論

本研究將行政院環保署 2015、2016、2017 年報中酸雨發生比例最高的測站稱為異常酸雨站，研究目標為觀音站和萬里站；而鹼雨發生比例最高的稱為異常鹼雨站，發生在崙背站。本研究發現結果如下：

- 一、觀音站和萬里站皆為離海近且無當地污染源的背景站，因此酸雨污染源應是外來的，酸雨好發月份與東北季風的長程傳輸相關，而使得酸雨發生比例高達 90%。
- 二、觀音站和萬里站於 pH 值和多項因子的相關性中，PM<sub>2.5</sub> 的相關性是最高的，而時間解析度縮小到以小時為單位的散佈圖時，也能看到 PM<sub>2.5</sub> 相比其它因子分布更為線性的結果，因此推論 PM<sub>2.5</sub> 形成和雨水酸化可能具有共同的污染過程。
- 三、崙背站鹼雨發生比例高達 90 % 的月份有 2、10、11、12 月，顯示崙背站鹼雨的好發月份多在東北季風季。
- 四、由台灣緯向雨水酸鹼值的變異分析發現崙背站的鹼雨發生主要為區域性問題，而非臺灣大環境的變遷所導致。
- 五、揚塵的粒徑應大於 2.5  $\mu\text{m}$ ，且因表面積越大溶解速率越快之原則，所以本研究認為 [ PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub> ] 應為揚塵的主要因子，而崙背站的鹼雨比例與 [ PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub> ] 的相關性最高，本研究實地採樣了濁水溪南北岸共十二個地點的表層土壤，實驗結果顯示採樣點的土壤溶解於水中後會釋出鹼性物質，因此本研究推論於濁水溪的揚塵會憑藉偏北風吹拂溶解於雲系中而造成崙背發生鹼雨。
- 六、極端酸雨和極端鹼雨都發生在時雨量小於 5 mm 的小雨情況。

## 陸、參考文獻

### 一、中文部分

#### 【學位論文】

李宗璋(2016 年)。臺灣海峽海岸及海島地區大氣懸浮微粒跨境傳輸、海陸域時空分佈及物化特性解析。中山大學環境工程研究所。

鄭福田(1990 年)。陽明山國家公園地熱噴氣之空氣品質影響研究。內政部營建署陽明山國家公園管理處。

陳淨修(1993 年)。酸雨形成機制及模式之研究。國立中央大學大氣物理研究所。

洪港傑(2015 年)。季風輻合效應在臺灣地區熱帶氣旋降雨影響之探討。國立中央大學太空科學研究所。

王治中(2017 年)。臺灣西部細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)濃度分布與趨勢之探討。國立中興大學環境工程學系所。

黃珮瑜(2014 年)。區域氣候變化與臺灣酸雨相關性之探討。國立中央大學大氣物理研究所。

### 二、網路資料

行政院環境保護署 空氣品質監測網 <https://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/default.aspx>

謝燕如(2011 年 7 月 27 日)。自由時報 <http://news.ltn.com.tw/news/focus/paper/511749>。

郭育良(2017 年 12 月 27 日)。遠見雜誌 <https://www.gvm.com.tw/article.html?id=41683>。

廖學賢(2009 年 11 月 04 日)。中華電視公司

<http://news.cts.com.tw/cts/society/200911/200911040339944.html>。

## 【評語】 180007

酸雨是探討多年的環境問題，本研究除了酸雨的探討外，還以鹼雨進行比較與研究，針對全台灣酸雨比例最高的萬里及觀音站以及鹼雨比例最高的崙背站進行 2015~2017 年空氣品質測站之數據逐時分析，並實地進行表土採樣，於實驗室進行 pH 值分析，是一個創新的研究。建議可將所得數據做更深入的分析，並針對風速或季節變化討論，以釐清酸雨與鹼雨的形成產生機制。