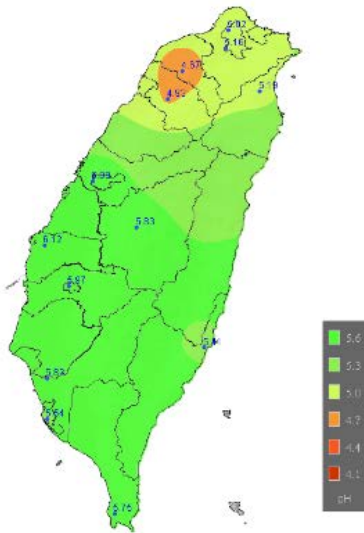
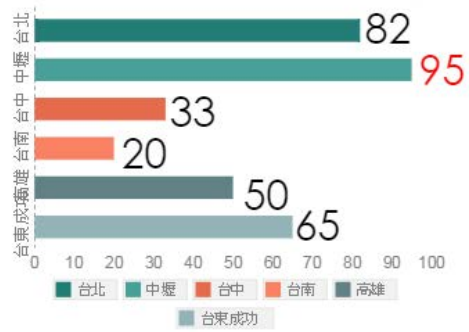


2014全台酸雨分布



2015一~三月酸雨頻率



大綱

1. 引言
2. 何謂酸雨
3. 酸雨的來源
4. 酸雨的危害
5. 酸雨的監控與防治
6. 國際與台灣現況
7. 酸雨紀事
8. 結語
9. 參考資料

一. 引言(酸雨議題在台灣消失、究竟現在有沒有酸雨呢?)

二. 何謂酸雨

「酸雨」，顧名思義，雨是酸的。其正確的名稱應為「**酸性沈降**」，它可分為「濕沈降」與「乾沈降」兩大類前者指的是，所有氣狀污染物或粒狀污染物，隨著雨、雪、霧或雹等降水型態而落到地面者，後者則是指在不下雨的日子，從空中降下來的落塵所帶的酸性物質而言。在化學上定義水之 pH(酸鹼)值等於七為中性，小於則是酸性。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 5.6，因此大自然的雨水是酸的；但是，在大自然中，仍存在其他致酸的物質，例如，火山爆發所噴出的硫化氫，海洋所釋放出的二甲基硫，高空閃電所導致之氮氧化物等，均會使雨水進一步酸化，而酸鹼值會降至 5.0 左右。因此，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」認知為當雨水酸鹼值在 5.0 以下時，即確定受到人為酸性污染物的影響。因此，在環保署研究報告中，已統一雨水酸鹼值達 5.0 以下時，正式定義為「酸雨」。例如，若以環保署台北酸雨監測站 1990-1998 年之有效雨水化學分析資料為準，顯示約九成降水天數的雨水 pH 值在 5.6 以下，而酸雨發生機率則為七成五左右。

三. 酸雨的來源

酸雨來源(資料一)

一般酸水化學組成中，較重要的物種包括 H^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 等九種。其來源包括**自然來源**及**人為來源**如圖所示，一般而言 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 為主要的致酸物質，其硫氧化物與氮氧化物轉化而來。在人為污染排放方面，前者則與**化石燃料**使用、火力電廠、含硫有機物燃燒有關；後者主要源自**工廠高溫燃燒**過程，**交通工具**排放等因素。 Ca^{2+} 及 NH_4^+ 為主要的中和(致鹼)物質。

	為致酸物質	人為致鹼物質
SO_4^{2-}	石化工業、火力電廠、燃燒	Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 海洋的海水飛沫
NO_3^-	工廠高溫燃燒過程、交通工具排放	Ca^{2+} 、 K^+ 塵土 NH_4^+ 農藥噴灑

在此釐清一個觀念，雨水 pH 值之高低與否，並不必然代表其中人為污染物多寡除了上述酸性離子外，亦存在其他如銨根、鈣、鎂等鹼性離子，以中和其酸性，雨水酸鹼值則為以上離子平衡後之氫離子所計算得來。換言之，雨水中若有高濃度之硫酸根與硝酸根離子，但因有其他鹼性離子中和之，那麼雨水未必呈現酸性反應（即低酸鹼值），反之亦然。雨水酸鹼值無疑地可以作為一項先期指標，但更重要的是必須進一步進行雨水化學成份分析，了解其污染物來源，並計算隨雨水沈降至地表的污染物通量（即所謂沈降量，以公斤/公頃/年為單位），進而制定控制策略以

改善之。

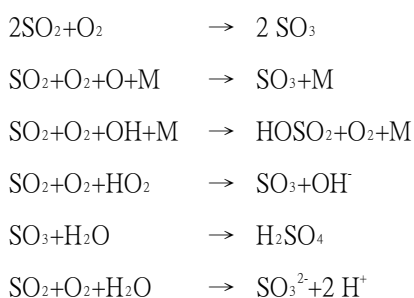
酸雨來源(資料二)

造成雨水酸化之污染物很多，其污染來源大致可分為兩類：其一為自然物質，其二為人為物質。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；後者則為工業化後，燃料之大量使用，燃燒過程中產生 CO、HC、SO₂、NO_xNO_x及懸浮固體物，排放至大氣環境中，經光化學反應生成硫酸、硝酸等酸性物質使得雨水之 pH 值降低，形成酸雨。

雨水沖刷污染物之機構，包括**雨除作用**(Rainout)及**雨沖作用** (Washout) ，前者為高空雲層內之現象，污染物在雨滴形成之初期即被吸收(如：凝核作用等)，降雨時直接伴隨雨滴下降；後者為雨滴在降落過程中，將下層大氣中之污染物沖刷至地面之現象。

SO₂ 與 NO_x 是造成雨水酸化最主要之污染物。

SO₂ 氧化成 SO₄²⁻之基本機構包括：氣相光化學氧化及液相溶解 SO₂ 之氧化。在氣相光化學氧化中，若有碳氫化合物(HC)之存在，則其反應速率增快很多，在 SO₂ 之氧化反應中，以參與自由基(如：OH、HO₂ 等)作用者貢獻最鉅，液相氧化機構，包括催化與非催化反應，前者之反應速率遠超過後者，而最有效之催化劑 M 為 Mn²⁺、Fe³⁺、Cu²⁺ 等微量金屬。SO₂、氧化成 SO₄²⁻之反應式，可以下式表示：



NO_x氧化成硝酸鹽，可經由 NO 與 NO₂之氧化達成。前者可與空氣中之 O₃或 O₂及金屬催化物發生化學反應，形成 NO₂、無機性硝酸鹽或過氧硝酸乙醯脂(PAN)等物質。後者可被微粒表面吸收，轉變為無機性硝酸鹽或硝酸，硝酸再與氨(NH₃)反應生成硝酸銨(NH₄NO₃) 而得；或經由水滴之直接吸收，將溶解之 NO₂轉變為 NO₃⁻，其反應式，可以表示如下：

空氣中酸鹼性的移動

當空氣污染物自排放源釋放至大氣後，可能會經下列過程後，而形成酸雨到達地面：

輸送(transport)

排放於大氣的污染物，被風吹到下風處，而被周圍空氣所混合及稀釋，其程度視風向及風速而有所不同

擴散(diffusion)

主要是指大氣的垂直擴散能力，污染物不僅隨盛行風作水平方向的輸送，同時也在垂直方向擴散。
轉化(transformation)

污染物滯留於大氣中時，常發生物理、化學或生物反應，而轉化為其他物質致酸。

移除(removal)

大氣中的污染物可能經由三種過程而從大氣中移除：

(a)乾沈降(dry deposition): 主要是指存在大氣中的懸浮微粒或粒徑較大的落塵，因重力作用而自然降落。

(b)溼沈降 (wet deposition) 主要是以霜、雪、雲、雨、霧等降水形式，將其中之化學物質沈降至地表。一般而言，大氣中污染物的移除以溼沈降較受到重視，百分之八十以上的氣懸微粒都可藉由溼沈降的方式去除。

(c)Occult deposition 是指雲滴或霧滴與植物葉面或其他表面接觸而被截留者，通常發生在山區較多。

四. 酸雨的危害

人類

酸污染對人類最嚴重的影響就是呼吸方面的問題，二氧化硫和二氧化氮會引起例如哮喘、乾咳、頭痛、和眼睛、鼻子、喉嚨的過敏。

酸雨間接的影響就是它會溶解在水中的有毒金屬被水果、蔬菜和動物的組織吸收，雖然不直接影響，但是吃下這些東西卻對人類的健康產生嚴重影響。例如：累積在動物器官和組織中的汞與腦損傷和神經混亂有所關聯；動物器官中的另一種金屬——鋁與腎臟問題有關

建築與雕像

酸性粒子也會沈積在建築物和雕像上，造成侵蝕。石灰岩和大理石跟酸接觸後會轉變為一種粉碎物質，稱為 石膏。此外，橋樑以更快的速度被腐蝕，鐵路工業和飛機工業同樣的必須花費更多的錢來修補由酸雨造成的損害。酸雨不僅造成了經濟負擔上的問題，而且也對一般大眾的安全產生危險。舉一個實例，1967年 俄亥俄河上的橋倒塌，造成46人死亡。主要原因就在於酸雨的腐蝕。

另外，酸雨也造成暴露在外的 雕像 受到侵蝕，這造成 文化 資產的破壞，令許多人擔憂，同樣的，酸雨也會對金屬建材產生影響。

農作物和植物

酸雨會影響農作物稻子的葉子，同時土壤中的金屬元素因被酸雨溶解，造成礦物質大量流失，植物無法獲得充足的養分，將枯萎、死亡。但土壤中因酸雨釋出的金屬也可能為植物吸收造成影響，這問題極其複雜，譬如，酸雨中某些金屬（如，鐵）的釋出反而有助於植物的生長。

水中生物

酸雨會影響河川或湖泊的 pH 值，當 pH 值小於 6 將影響到水中生物的生存或繁殖，當 pH 值小於 5 將導致水中生物大量死亡。可能會影響到養殖魚業。

五. 酸雨的監控與防治

控制酸雨的方法有很多種方法，其中之一是要**削減排放在空中的二氧化硫和氮氧化物的數量**。為減輕酸雨對環境的危害，應加強取締大量排放廢氣的**工廠和汽車**，要求加裝防制污染的設備（如汽車加裝觸媒轉化器，使用無鉛汽油），也希望民眾配合，養成節約能源的習慣，因能源係由燃燒石油或煤轉換而來，多搭乘大眾運輸工具及節約用電，便可減少空氣污染，更可減少酸雨的產生。

在世界各國關心下，已開發國家如歐盟及美國之二氧化硫排放已逐年下降，但對於開發中國家而言，近年來二氧化硫排放量仍持續增加。而鄰近台灣的東亞地區(包括日本、中國、南韓)，二氧化硫總排放量亦有增加之趨勢，因此各國如何進行有效的污染防治，仍然為酸雨是否有效控制的原因之一。

台灣

自 1997 年空污費徵收以來，我國之空氣品質已有顯著改善，而近年來，我國更對空氣污染防治推行許多管制政策，大幅減少污染排放，

其中包含了：

- (1) 廢棄物焚化爐之空氣污染及戴奧辛排放管制
- (2) 交通污染物排放及油品管制
- (3) 工廠、製造業空氣污染管制
- (4) 固定污染源設置、操作及戴奧辛、空氣污染物排放管制

台灣與中國

台灣的研究中，指出東北季風天氣型態，中國沿岸污染物僅需一天即可到達台灣。在東北季風天氣型態，韓國所釋放的硫化物，約 48 小時便可傳送至台灣，並形成台灣的硫沉降，中國東北地

區所釋放的硫化物，約 72 小時後逐漸傳送至台灣。東北季風盛行時，對台灣具有高污染潛勢的地區包括韓國、中國東北、華北及中國沿海之大都會及工業區，尤以長江下游的高污染區對台灣的污染潛勢最大。

但在若干中國學者所作研究，卻有相反的結果，認為中國的污染物排放並不會影響到東亞其他區域，例如 Zhou 等人推估台灣與中國間硫酸沈降的關係，研究指出長程輸送的現象雖然存在，但是中國之於台灣的酸沈降並不大。另一方面，指出受台灣污染源長程輸送影響最大的中國硫沈降省分是福建省，其次依序為浙江省及山東省。這類的爭論將會在未來陸續發生，此不僅為學術之爭，更為兩國利益之戰，當不可忽視之。

六. 國際與台灣現況

酸雨為二十世紀全球各國所關心的重要議題，它的影響是多方面，包括環境、經濟甚至政治。美國環保署指出，由於美國四季的盛行風向，大多為由西向東或由南向北，使得 SO_2 及 NO_x 排放量並不多的東北各州，卻有很高的 SO_4^{2-} 及 NO_3^- 溼沈降量，這說明了酸雨的影響是無遠弗界的。因此，若想完全掌握此一**跨域性的空氣污染**，並確實瞭解酸雨在台灣的來龍去脈，除了應致力於台灣本身的酸雨研究外，瞭解及應用世界上其他各國的酸雨研究成果亦屬重要。

亞洲地區諸國中，尤其工業產能較大的中國、日本及韓國等東亞國家，一則因為距離台灣較近，再者盛行風可能對台灣造成污染物的跨國輸送，值得國人進一步研究。

空氣污染物(如， NO_x ， SO_2)排入大氣後，有一部份受重力牽引在源頭附近就已掉落地面，但有一部份則進入較高處被大氣環流帶走，傳送至其他地區，形成酸雨，對生態、環境造成影響。早期的影響大多發生在源頭附近，但是在 1960，1970 年代為了解決當地的空氣污染問題，許多國家採取**高煙囪政策**，將煙囪加高(曾有煙囪高達 400 公尺)在較高處排放污染物。

這個方法解決了當地的空氣污染問題，但是排入高處的污染物並未就此散去，只是被較大尺度的**大氣環流傳送到比較遠的地方**，污染其他國家或地區。

污染物的長程傳送(long range transport)可達數百公里之遠。比如，造成美國東岸及加拿大酸雨的污染物，有一大部份來自 Ohio river valley 的重工業區；北歐的酸雨則多是由來自英、德、法等國的污染物造成的。

又如，北極地區的霾，在冬季時常因由美洲及歐洲傳送來的污染物而酸化。加上極地地表溫度很低，逆溫(溫度隨高度增加)情況很普遍。在此種大氣極端穩定的情況下，空氣污染及連帶的影響相當嚴重。夏季的情況則好了許多。

依據估計，冬季北極圈內空氣的硫酸鹽含量是夏季的 20 至 30 倍。降水及雪的酸度在夏季約為 5.6，但冬季則在 4.9-5.2 之間。

即使如此，酸雨問題與二氧化碳的影響相比，仍是一局部區域問題，大多仍是發生在源頭附近(以全球尺度而言)。顯示低 pH 值地區多在工業發達的國家附近，如北美東岸、西歐及東北亞。其分佈與硫酸鹽懸浮微粒含量的分佈大致類似，因為它們的來源是一樣的。

國際酸雨問題

國家	採樣站/地點	資料期間	pH	離子濃度		濕沉降量		年雨量 mm	研究學者/單位
				$\mu\text{eq l}^{-1}$		$\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$			
				SO_4^{2-}	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-		
亞美尼亞	1 site	2011	6.25	17.9	9.8	3.4	2.4	389	EMEP(2013)
白俄羅斯	1 site	2011	5.13	16	8.4	3.6	2.5	742	EMEP(2013)
克羅埃西亞	2 sites	2011	5.53	3.5	3.5	1.2	1.6	740	EMEP(2013)
捷克	2 sites	2011	5.21	8.4	5.9	2.5	2.3	656	EMEP(2013)
丹麥	4 sites	2011	--	25.5	6	3.9	2.3	635	EMEP(2013)
愛沙尼亞	2 sites	2011	4.69	5.3	4.1	11.4	2.8	595	EMEP(2013)
芬蘭	4 sites	2011	4.83	4.4	3.1	1.5	1.3	696	EMEP(2013)
法國	9 sites	2011	5.37	36	30	1	2	889	EMEP(2013)
德國	9 sites	2011	5.20	67	5	3	2	888	EMEP(2013)
匈牙利	9 site	2011	5.82	16	20	6	2	423	EMEP(2013)
冰島	4 sites	2011	5.38	9	2	6	1	1183	EMEP(2013)
義大利	2 sites	2011	5.43	11	9	3	3	591	EMEP(2013)
拉脫維亞	1 site	2011	5.27	11	8	5	4	866	EMEP(2013)
立陶宛	1 site	2011	5.01	14	8	4	3	564	EMEP(2013)
挪威	4 sites	2011	5.18	6	3	4	3	868	EMEP(2013)
波蘭	4 sites	2011	4.87	11	7	4	3	630	EMEP(2013)
塞爾維亞	1 site	2011	4.94	25	7	6	2	507	EMEP(2013)
斯洛伐克	4 sites	2011	4.78	12	6	4	2	662	EMEP(2013)
斯洛維尼亞	1 site	2011	4.91	8	5	4	3	1060	EMEP(2013)
西班牙	10 sites	2011	5.91	8	6	5	2	466	EMEP(2013)
瑞典	3 sites	2011	5.04	10	7	3	8	407	EMEP(2013)
瑞士	3 sites	2011	5.40	5	4	2	2	825	EMEP(2013)
荷蘭	1 site	2011	--	11	6	4	2	679	EMEP(2013)
英國	7 sites	2011	5.28	8	3	4	2	1027	EMEP(2013)
美國	Nationwide	2012	5.38	13	12	5	6	867	NADP(2013)

由近年各國的酸雨監測數據來看，許多國家都有改善的趨勢，尤其以美國為例，過去酸沉降最嚴重的五大湖區，現在的硫、氮沉降量比起 1980 年代都已明顯減少超過一半以上。

曾經在 1970 年代至 1990 年代人人皆知的酸雨問題，已慢慢不被人們注意，甚至人們看到改

善的狀況便以為酸雨問題已不存在，但 2012 年 7 月的”Earth”雜誌封面，倚著斗大的標題寫著”Acid Rain: A Science Policy Success Story – But Challenges Remain”，如下圖。

文中自由作家 Meg Marquardt 整理美國國家大氣沉降計畫 NADP 的資料，說明美國因著空氣清新法案的通過與實施，SO₂ 的年平均排放量已由每年 18,900,000 噸(1980 年)減少至 8,900,000 噸(2010 年)，達成減少 50%的目標。

在 NADP 給政府的年度報告中，也指出過去有些受到酸雨破壞的生態區域，開始有恢復的情形，美國環保署更預估因排放量的減少，每年減少 20,000 至 50,000 人的死亡，許多人看到這些數字，會認為酸雨問題已經消失，但受訪的 NADP 計畫召集人 David Gay 卻說，”酸雨並不是一個不存在的問題，只是個有改善的問題”。

文章中亦提到，雖然因空氣清淨法案(Clean Air Act)的推動，硫氧化物的排放獲得控制，但空氣中氮化物以及氨的存在或增加，有可能產生更複雜的雨水化學反應，而且過去的酸雨研究較著重在了解致酸的硫化物在雨水中影響的程度，對於氮化物及氨在雨水中扮演的角色，卻還有許多無法掌握的資訊。

大氣環境是個龐大的化學反應爐，當我們減少某種物質的排放，環境中的化學平衡機制又會變得不同。所以當現在大幅減少硫化物的排放，仍無法確實了解是否會影響其他化合物在大氣中循環機制，這會是未來的需要面對的問題，持續進行酸沉降監測是必要的課題。

因此，NADP 非但沒有因雨水受到中和、降低酸化情形而減少酸雨的觀測，還持續評估增加觀測站數並持續監測，如同 David Gay 所說，”如果缺少持續監測，怎麼能確實認為問題已被解決?”

台灣降雨 pH 值

年份測站	基隆	鞍部	臺北	新竹	臺中	日月潭	嘉義	阿里山	臺南	高雄	恆春	臺東	成功	花蓮	宜蘭	金門	馬祖	澎湖
1972	*	*	5.5	*	*	6.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1973	5.4	*	5.4	*	*	5.7	*	*	*	7.5	6.8	6.5	*	6.7	*	*	*	*
1974	*	*	6.1	*	*	6.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1975	*	*	5.7	*	*	5.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1976	*	*	5.8	*	*	6.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1977	5.3	*	5.5	*	*	5.5	*	*	*	7.0	6.9	7.1	*	6.8	*	*	*	*
1978	5.2	*	5.7	*	*	5.8	*	*	*	6.8	6.8	7.4	*	7.0	*	*	*	*
1979	6.5	*	6.0	*	*	6.2	*	*	*	6.7	6.8	7.4	*	7.3	*	*	*	*
1980	6.3	*	6.6	*	*	6.4	*	*	*	6.5	6.8	6.8	*	6.7	*	*	*	*
1981	6.6	*	6.7	*	*	6.7	*	*	*	6.8	7.1	6.6	*	6.8	*	*	*	*
1982	6.8	*	6.8	*	*	6.7	*	*	*	6.8	6.8	6.8	*	6.9	*	*	*	*
1983	6.5	*	6.5	*	*	6.8	*	*	*	6.8	6.9	6.9	*	6.8	*	*	*	*
1984	6.7	*	6.4	*	*	6.7	*	*	*	6.6	6.8	6.8	*	6.6	*	*	*	*
1985	6.5	*	6.3	*	*	6.6	*	*	*	6.5	6.5	6.5	*	6.1	*	*	*	*
1986	5.4	*	4.7	*	*	5.4	*	*	*	6.5	6.5	6.8	*	6.7	*	*	*	*
1987	4.3	*	4.3	*	*	4.4	*	*	*	6.5	6.2	5.7	*	6.0	*	*	*	*
1988	4.6	*	4.6	*	*	4.5	*	*	*	6.6	6.3	6.6	*	6.3	*	*	*	*
1989	4.5	5.5	4.4	6.4	6.0	4.6	6.6	6.2	5.5	6.5	6.6	6.6	5.9	6.8	6.3	*	*	*
1990	4.5	4.2	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
1991	4.7	6.1	5.1	5.3	6.3	5.2	6.6	5.9	5.9	6.4	7.2	6.9	6.4	6.6	6.4	*	*	*
1992	5.3	5.9	5.7	6.1	6.3	5.5	6.5	6.2	6.0	6.3	6.8	7.0	6.1	6.4	6.3	*	*	*
1993	5.9	6.0	5.2	6.5	6.5	5.9	6.4	6.3	6.5	6.4	6.7	6.5	6.1	6.6	6.3	*	*	*
1994	5.8	5.6	5.4	6.2	5.6	4.9	6.2	5.8	6.4	6.4	6.8	6.5	6.4	6.2	6.0	*	*	*
1995	5.2	5.3	5.5	5.6	5.6	5.3	5.7	5.6	6.1	5.5	6.1	6.4	6.0	5.9	5.8	*	*	*
1996	5.3	5.3	5.6	5.5	5.6	5.3	5.9	6.0	5.9	5.4	6.6	6.5	5.7	5.6	5.8	*	*	*
1997	4.8	5.1	5.2	5.7	6.0	5.2	5.6	5.8	5.7	5.4	6.3	6.5	5.6	5.5	5.6	*	*	*
1998	5.0	5.0	5.5	5.9	5.9	5.0	5.5	5.7	6.2	5.8	6.2	6.6	5.7	5.5	5.7	*	*	*
1999	4.6	5.5	5.3	5.8	5.6	5.5	5.7	5.6	5.8	5.7	6.2	6.5	5.6	5.5	6.0	*	*	*
2000	4.6	5.6	5.1	5.7	5.7	5.4	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	6.4	5.8	5.8	5.9	*	*	*

2001	4.6	5.5	4.9	5.6	5.4	5.5	5.6	5.7	5.6	5.7	5.9	5.9	5.6	5.9	5.8	*	*	*
2002	4.9	5.7	5.1	5.5	5.6	5.3	5.7	5.8	5.5	5.8	5.9	5.7	5.7	6.0	5.8	*	*	*
2003	4.5	5.4	5.3	5.6	5.7	5.3	5.9	6.0	5.5	5.9	5.9	5.8	5.8	6.0	5.8	*	*	*
2004	4.7	5.5	5.2	5.5	5.8	5.6	5.8	5.9	5.4	5.8	5.9	6.0	5.4	6.1	5.9	5.5	5.2	*
2005	4.5	4.7	5.2	5.4	5.9	5.8	5.7	5.8	5.9	5.7	5.8	6.0	5.5	6.1	5.5	5.5	4.7	*
2006	4.4	4.5	5.1	5.4	5.8	5.3	5.7	5.9	5.9	5.7	6.0	6.0	5.2	5.8	4.9	4.8	4.8	*
2007	4.4	4.4	4.9	5.3	5.7	5.4	5.8	5.8	5.8	5.5	6.1	5.9	5.2	5.7	5.1	4.9	4.7	*
2008	4.2	4.4	5.0	5.1	5.7	5.6	5.8	5.9	5.6	5.4	5.8	5.7	5.3	5.5	5.1	4.7	4.7	5.4
2009	4.5	4.4	5.3	5.1	5.9	5.7	5.7	6.2	5.8	5.2	5.9	5.9	5.3	5.6	5.4	4.8	4.9	5.6
2010	4.5	4.4	5.2	4.9	5.6	5.3	5.8	6.2	5.9	5.5	6.2	5.8	5.2	5.6	5.5	4.9	4.7	5.6
2011	4.3	4.6	4.9	5.0	6.0	5.4	5.7	6.1	6.0	5.5	6.4	5.8	5.3	5.9	5.1	4.4	4.6	5.5
2012	4.6	4.7	5.0	4.8	5.9	5.4	6.0	6.3	6.2	5.7	5.6	6.0	5.2	5.4	5.0	4.5	5.0	5.5
2013	4.6	5.1	5.1	5.0	5.9	5.3	6.1	6.0	6.1	5.4	5.7	6.1	5.2	5.6	5.0	4.8	5.1	5.4
2014	4.5	4.6	4.9	5.3	5.7	5.2	5.9	5.8	6.0	5.4	5.6	5.9	5.3	5.7	4.8	4.8	5.3	5.1
平均值	5.1	5.1	5.4	5.5	5.8	5.6	5.8	5.9	5.8	6.1	6.3	6.3	5.6	6.1	5.6	4.8	4.8	5.3
最大值	6.8	6.1	6.8	6.5	6.5	6.8	6.6	6.3	6.5	7.5	7.2	7.4	6.4	7.3	6.4	5.5	5.3	5.6
最小值	4.2	4.2	4.3	4.5	4.5	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.4	4.5	4.5

台灣最早的酸雨研究為中央氣象局於台北氣象站的雨水調查，當時已出現最低為 3.8 的 pH 觀測值。1990 年 4 月，環保署始展開全島性、長期性的酸沈降研究，調查結果顯示台灣發生酸雨之情形已很普遍，如果以 pH=5.0 作為判斷酸雨的基準，全台地區降雨發生酸雨的機率為 52%，台北地區則為 85%，高雄地區為 74%，分別都顯著地高於整個台灣的統計結果(鄭, 1998)，而阿里山發生酸雨的機率為 28%，遠小於都會區發生酸雨的機率，此乃與都會區中之汽機車數及工廠數較多有關，因此造成雨水嚴重酸化的情形。

從 1990 年代所量測的雨水 pH 值分布圖可發現當時台北、高雄兩大會區之雨水酸化情況相當嚴重，最低可達 4.46。並可看出雨水酸化情況與都市發展間具有相當之一致性。至 2000 年，台灣北部雨水酸化情況依然明顯，但高雄地區相較於 1990 年代雨水已明顯改善至 5.0 以上，由於高雄雨水酸化特性主要是受到其當地重工業排放所污染，推測可能因 1995 年 7 月開始進行空污費徵收及硫排放之管制所影響，由此可顯示出硫化物空污管制策略實施的效益。由 2004-2010 年

代所量測的雨水 pH 值分布圖顯示，除台北、桃園一帶雨水 pH 明顯低於 5.0 以下外，其餘各地雨水皆在 5.0 左右，顯示台灣北部雨水酸化情況依然嚴重。至 2011-2012 年時，以 pH 值來看，僅北部地區年接近於 5.0 外，中南部地區酸雨 pH 值更可接近 6.0，顯示酸雨情況已有改善。

(底下解釋圖表 放不放都可)

比較 1990 年代至 2014 年的全國各測站 pH 值變化，可以看見雨水酸化的情形已有受到控制並逐漸改善中，近年各測站 pH 值幾乎都有升高的趨勢，但南北地區雨水酸化的情形還是存在著顯著的差異，北部雨水酸化情況仍較中南部地區嚴重。不過 pH 值數據僅能反映出雨水酸化的情形，對環境實質的影響還是要看溼沉降量的多寡。

如果整理歷年雨水中 nss-SO₄²⁻和 NO₃⁻的濃度變化，nss-SO₄²⁻的濃度全國各測站幾乎都有降低的趨勢，顯示空氣汙染政策在管制硫排放的措施中，有了卓越的成果，但若比較的 NO₃⁻濃度變化，卻無明顯降低的趨勢，反倒是在交通發達的都會地區，卻還有升高的情形，因氮排放源主要為汽機車的廢氣，管制較不易，這是未來需要更加努力研擬改善策略的一環。

比較 1991-2000 年與 2004-2014 年兩代酸雨監測網所計算的溼沉降量，可明顯看出 SO₄²⁻溼沉降量明顯減少許多，唯沉降量仍是北部高於中南部；而 NO₃⁻溼沉降量則無明顯減少的趨勢，甚至人口密集的都會區有些許的增加，因此，酸雨問題雖較不如過去 20 年來的嚴重，但潛在的影響以及未來氮的排放是否會造成酸雨情況再度惡化，仍需要持續長期的監測才行。不過溼沉降量受到降雨量的影響，北部年降雨量明顯高於中南部地區，是故，沉降量分布也因此出現北高南低的分布趨勢。

台灣酸雨季節

以季節之分佈來說，夏季多對流性降雨，雨滴比較大，大氣中對流作用旺盛，所以酸雨濃度較冬季和春季低，尤其是如果有颱風來襲時，對流作用最厲害，雨滴最大，所以颱風雨一點也不酸，午後之熱雷雨亦因熱力對流作用和雨滴較大之故，雨水之酸性比較低。但是也有人說，夏季由於暖濕西南氣流、高溫、日照強等因素之影響，夏季午後雷陣雨也很酸，所以春夏季之雨比秋季冬季的雨來得酸。

由環保署全省十二個測站所測得各月 PH 值之統計表(見表 1)來看可知中部之西屯、西部之台西、南部之橋頭和小港等地區，因位居中央山脈背風面，所以冬季有時候酸雨情況比較好。

台東亦有海岸山脈之阻擋，而且春末及冬初東北季風雨比較不明顯，所以春末及冬初，台東之酸雨情況亦比較不嚴重。其他地方各月份之酸雨情況則比較嚴重。也有人統計得知，四月份是全年中酸雨最酸之月份，五月份次之，夏季各月又次之。

2015 酸雨概況

臺灣持續乾旱已久，本年度 1-3 月份降水明顯較 2014 年同期低，全國 14 站共採集到 186 個樣本數，較去年同期樣本減少約 25%。整體來看，1-3 月降水主要受東北季風影響，全臺降水大多集中在北部與東北部地區，中南部雨水樣本較少，特別是嘉義站、臺南站、高雄站及恆春站之樣本數均為 5 以下。根據下表 1 可得知全國 1-3 月各站雨水之平均 pH 值。在 pH 值的分布上，全國各測站所有樣本的平均 pH 值為 4.99，略低於酸雨 pH 值之標準(pH < 5.0)，北部各站與東部成功

站平均值皆低於 pH 值 5.0。pH 值最低則出現在中壢及新竹站，pH 值為 4.41 與 4.57，而最高值則出現在雲林及嘉義站，pH 值為 6.30 與 6.03。以區域特性來看，中部測站如臺中站、彰化及雲林站，南部的測站如嘉義、臺南及高雄站，酸化情形不明顯，平均 pH 值皆大於 5.30。將 2015 年 1-3 月資料與 2014 年同期比較，可發現今年各站 pH 平均值略較去年為高，尤其酸雨較嚴重的中壢地區，去年同期 pH 平均值僅 4.20，而今年 pH 較高的雲林站(pH 平均值為 6.30)，去年同期 pH 平均為 5.58，顯示今年 1-3 月雨水酸化情形較去年趨緩。

酸雨頻率分析

分析全國各站酸雨發生之頻率(pH < 5.0)，今年 1-3 月的降雨之中，收集之樣本共 186 個，有 116 個樣本達到酸雨標準，酸雨發生頻率為 62%，其中北部各站(彭佳嶼、鞍部、臺北、宜蘭、中壢與新竹站)共有 89 個樣本達到酸雨標準。由圖 1 中可知，全國以北部地區發生酸雨頻率較高，其中又以中壢站最高，酸雨發生頻率達 95%，新竹站酸雨頻率位居第二，約 88%，顯示在東北季風天氣型態下，北部地區有較高的酸雨發生頻率。許多中南部測站如雲林、嘉義、臺南、高雄及恆春站之降水量與樣本數皆較少，這些測站的酸雨資料應待樣本數累積之後再做探討。與去年同期比較(如圖 2)，2014 年 1-3 月是以北部各站、南部的高雄站與東部的成功站發生酸雨頻率較高，最高為中壢 96%，其次為彭佳嶼及鞍部站 93%。由背景測站彭佳嶼站的酸雨發生頻率及圖 3(主要致酸與致鹼離子濃度比較圖)來看，彭佳嶼站除受到鈣離子中和因素外，主要致酸的 nss-SO₄²⁻與 NO₃⁻的濃度皆較去年同期為低，推估今年 1-3 月受到境外傳輸影響程度不若去年顯著，故整體酸雨發生頻率略低於去年，但整體樣本數較去年減少約 25%，仍應累積一定數量後再做深入討論。

2008 酸雨監測分析及有害物質溼沉降調查評估

(可以跟 2015 比較也可以不要放)

2008 年 1-9 月全國 12 個採樣站共採集 832 個樣本數，經過篩選，合格之樣本數共有 718 個，合格率約 86%，且各站合格率均高於目前世界各國酸雨計畫標準之 75%。z 2008 年 1-9 月全國酸雨現況中，北部雨水酸化程度較南部顯著，pH 值最低為彭佳嶼站，僅為 4.51，其次為鞍部站之 4.54；位於台東之成功站則為 4.96，呈現受輕微人為污染之酸雨現象。酸雨頻率最高為鞍部站，達 79%。其次為彭佳嶼站之 78%。若以測站的特性來分析，都市測站中，高雄站頻率為 53%，明顯較春季改善；高山離島站當中，彭佳嶼站頻率最高達 78%。在市郊之嘉義站與恆春站雨水分別為 32%與 17%，台南站頻率則為 33%。z 2008 年 1-9 月全國各站平均降雨量為 2486 mm，各站平均 SO₄²⁻與 NO₃⁻離子濃度為 58 與 32 μeq l⁻¹，nss-SO₄²⁻與 NO₃⁻平均沉降量為 41 與 21 kg ha⁻¹。以區域來看北部鞍部、台北與中壢等站沉降量較南部測站為高，其酸雨發生頻率高於 70%以上。鞍部站 2006 年 nss-SO₄²⁻沉降量為 82 kg ha⁻¹，為日本韓國之 2 倍左右；2006 年 SO₄²⁻沉降量為 101 kg ha⁻¹，為美國之 3 倍左右，顯示北台灣受到一定程度之污染影響。z 2004 - 2007 年台北站氣流受季節性影響甚大，春季及冬季深受東北季風影響，夏季則受西南氣流影響。統計結果約有 18% 氣流源自中國中部及北部 (Cluster 1)，29% 源自

中國南方 (Cluster 2), 23 % 源自西太平洋 (Cluster 3), 14 % 源自中國北方及沿海 (Cluster 4), 17 % 源自日本、韓國一帶 (Cluster 5)。其中源自中國之氣流共佔 61 %, 多以冬季為主, 顯示台北站冬季受中國影響甚大, 特別是當氣流源自於中國華中與華北時 (Cluster 1), 台北的降水化學組成明顯受到長程輸送的影响, 長程輸送指標 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 最高為 2.0, 化學組成以 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Cl^- 為主, nss-SO_4^{2-} 濃度為 5 個 cluster 中最高, 為 $96 \mu\text{eq l}^{-1}$ 。z 計算 2005 - 2007 年 1 - 3 月台北站冬季雲下清除率之五個案, 結果顯示此時雨中之 nss-SO_4^{2-} 有較高之比例為長程輸送而來, 約為 44 %, 最高曾達 60 %, NO_3^- 為 35 %, NH_4^+ 為 32 %。z 全國酸雨若以季節特性區分, 冬季雨水酸化程度最高, 夏季最低; 夏季雨水平均 pH 值為 5.14, 且酸雨發生頻率低於全國平均 57 %, 其餘季節平均 pH 值則皆在 5.0 以下, 酸雨發生頻率亦都高於 57 %。且在冬、春兩季 $\text{nss-SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 比值皆高於 2.0 以上, 代表這兩季之雨水相較於夏、秋季受到更多的長程傳輸所貢獻影响, SO_4^{2-} 濃度於季節交替時變化有較顯著之變動, 顯示出長程輸送的影响反應在季節的變化上。z 全國酸雨若以天氣型態區分, 發現在太平洋高壓 (PH)、華南及南海低壓 (LS) 以局部影响為主的天氣型態下, SO_4^{2-} 與 NO_3^- 之當量濃度比值低於 2.0 以下, 顯示其 NO_3^- 對於雨水中酸度的貢獻來的相對較高, 其餘天氣型態之比值皆高於 2.0 以上, 顯示出此時 SO_4^{2-} 對雨水中酸度的貢獻較 NO_3^- 來的高, 其中東北季風 (NE)、春天及梅雨鋒面 (FS) 與秋冬季鋒面 (FA) 三種天氣型態其氣流源大都來自於或經過中國中北部等高污染物排放區有關, 雨水組成可能受到相當程度之長程傳輸所影响。z 台北、高雄兩大會區的雨水 pH 值從 1990 年初低於 4.5, 近年來已逐漸上升至接近 5.0 左右, 顯示都會區的雨水酸度已有顯著性的改善, 代表環保署對於都會區來自於工業及大型交通工具的硫化物排放管制達到相當不錯之成效。然而雨水中 NO_3^- 濃度近年來卻有逐漸增加的趨勢, 分析中鼎排放資料庫 (TEDS6.1) 之各縣市 SO_x 及 NO_x 排放資料, 發現 SO_x 於 1991 年至 2007 年皆呈現下降趨勢, 唯高雄縣在 2002 年後逐年上升; NO_x 則是除台北市、宜蘭縣有逐年下降之趨勢外, 其餘縣市在 2002 年之後排放量有增加趨勢, 顯示未來若要進一步控制酸雨, 氮氧化物的排放管制將為一項重要目標。

2015 酸雨汞(新聞)

【洪敏隆／台北報導】環保署最新的台灣酸雨成分分析數據出爐, 去年各地雨水中的汞平均濃度為每公升八點一至十五點一毫微克, 以台南最高, 北部的台北、中壢相較宜蘭、鞍部也高出一點四倍, 顯示都會區有大氣汞排放源, 焚化爐恐是禍首。

環保署委託學者所進行的二〇一四年台灣酸雨成分分析結果三月出爐, 報告顯示, 各縣市雨水中的汞平均濃度以台南最高, 每公升含十五點一毫微克, 其次是高雄與台中, 每公升各有十三點四與十點九毫微克。整體來說中南部又比北部高。在空氣中可留 1 年

負責分析的中央大學大氣科學系副教授許桂榮說, 汞在空氣中可停留長達一年, 國外研究中國一年排放約五百多噸的汞, 約是台灣的一百倍, 會隨東北季風飄散到台灣, 南部降雨中的汞濃度比北部高, 是因汞遇光易產生化學反應, 南部陽光較充足, 大氣中的汞易溶於水中。

許說, 汞最大危害是恐隨雨水沉降到食物鏈, 若被魚吃到, 汞進入魚體的濃度會放大到一百萬倍; 汞對腦部、中樞神經會有影响, 成年人對汞的忍受度會比較高, 但孕婦或哺乳婦女最好少吃鯊魚、

鮪魚等大型魚。林口長庚醫院腎臟科主治醫師顏宗海說，孕婦或哺乳的母親可能將汞傳給胎兒或嬰兒，造成神經病變。

推估與焚化爐有關

許桂榮說，大氣中的汞含量主要來自火力發電、焚化爐等，而北部都會區比鄉村地區的濃度要高出一點四倍，推估應與台北、新北多座焚化爐有關，應加強空氣污染防治設備。

環保署空保處長陳咸亨說，台灣汞平均濃度和美國二點七至三十一點八，或英國一點六至五點一毫克相比，未明顯偏高，且遠低於自來水飲用的汞濃度標準二千毫克；環署將持續監測，並加強空污防治。

七. 國際酸雨紀事

1969年	經濟合作開發組織 (OECD) 首先提出酸雨問題，各國才開始作酸雨災害的觀察。
1970年	訂定「乾淨空氣法案」
1979年	聯合國歐洲經濟委員會簽定了「長距離越境大氣污染條約」，共有 51 個締約國簽署，並於 1983 年生效。
1980年	在國際間又締結了「赫爾辛基條約」，有 18 國同意在 1993 年前硫化物排出量必須較 1980 年減少 30%。
1985年	索非亞協定，有 12 國宣布 1989 年起 10 年間，各國應削減氮氧化物 30%。
1988年	美國與加拿大也在締結「越境大氣污染同意書」，以共同合作防制酸雨。
1990年	美國提出「空氣清淨法案」，只在減少硫排放量至 1980 排放量之 50%。共分兩階段實施，第一階段為 1995 年開始，限定國內各發電機組硫排放量。
1995年	中國 通過了修訂的《中華人民共和國大氣污染防治法》，劃定酸雨及硫排放之控制區，到 2000 年控制區之酸雨污染區域及排放不再擴大。至 2010 年控制區之硫排放減少(以 2000 年為基準)之 10%。

1998年	亞洲各國啟動「亞洲酸雨及其減排」項目
2000年	美國「空氣清淨法案」第二階段，限定各石化燃煤機組減少硫排放量。
2000年	中國第二次修訂《中華人民共和國大氣污染防治法》，依法劃定「禁煤區」，強制改用清潔能源，並關閉小型燃煤機組。

八. 結語

全民一起來

一. 在家中

- 安裝低流量的蓮蓬頭
- 盡可能將洗衣機裝滿在使用
- 盡可能將洗碗機裝滿在使用
- 如果使用自動洗碗機,讓那些碗自動風乾
- 購買高效能的家電用品
- 免同時使用多台冷氣機
- 當離開家或空房間記得關燈
- 使用日光燈取代高瓦數的白熱燈泡
- 安裝隔熱設備在水管或水槽上
- 至少每年一次清理暖爐的過濾網

二. 購物時

- 購買能低污染,高效能,可再回收再利用產品
- 減少使用塑膠袋

三. 交通

- 以走路,騎腳踏車或坐公車的方式去上班
- 盡量和朋友或同事共乘一輛車
- 常檢查車胎壓
- 減少自己開車去旅行
- 開車保持適當的速度
- 盡量搭火車或客運去做長途旅行

九. 參考資料

台灣酸雨資訊網 <http://acidrain.epa.gov.tw/index.htm>

行政院環保署 <http://www.epa.gov.tw/mp.asp?mp=epa>

酸雨專題 https://market.cloud.edu.tw/content/senior/chemistry/tp_sc/surround/acid/right1.htm

台北酸雨 汞比宜蘭高 1.4 倍

<http://www.appledaily.com.tw/appledaily/article/headline/20150515/36551363/>

台南酸雨含汞最高 ptt 鄉民 po「紅疹手」

<http://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1325375>

行政院環境保護署九十七年專案研究計畫 酸雨監測分析及有害物質溼沉降調查評估

<http://epr.epa.gov.tw/upload/open/097/EIPQHOTMUR/eba-F0-EIPQHOTMUR-06-01.pdf>

2008 酸沉降物質現況調查 <http://www.niea.gov.tw/analysis/protect/2001/2001-01.htm>

低碳生活部落格

<http://lowestc.blogspot.tw/search/label/%E6%B0%A3%E5%80%99%E8%AB%87%E5%88%A4#uds-search-results>

酸雨的成因、來源

<http://geo3w.ncue.edu.tw/bsrapage/geoscience/climate/Acid%20rain/acid%20rain%20souse/souse.htm>

中央氣象局

<http://www.cwb.gov.tw/V7/>

中央氣象局歷年雨量 pH 值紀錄

http://www.cwb.gov.tw/V7/observe/phRain/fullyReport/Annual/Annual_01.htm