

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國小組

生物科

科別： 生物科

組別：國小組

作品名稱：當植物遇到酸雨

關鍵詞：酸雨、酸鹼值、植物

編號：080308

學校名稱：

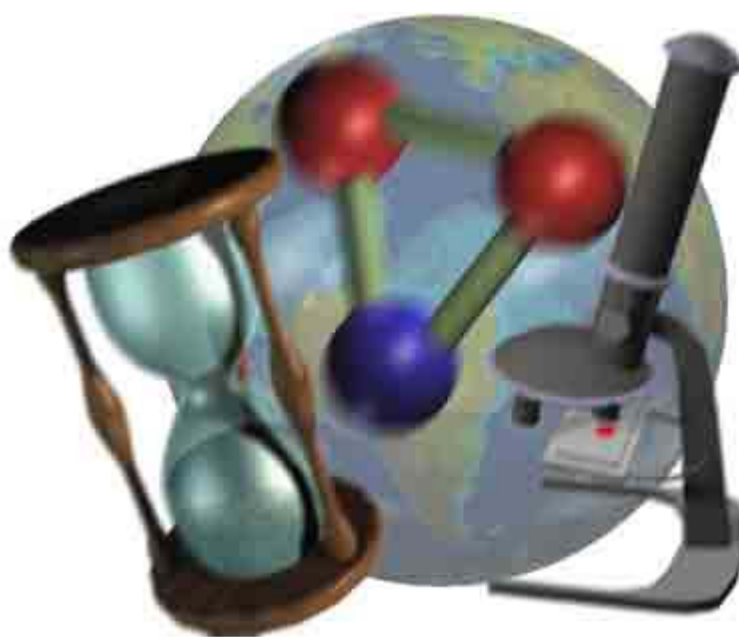
高雄市三民區河濱國民小學

作者姓名：

黃至亨、李宛柔、藍婕

指導老師：

黃馨緯、邱文美



## 摘要

本研究主要瞭解酸雨對植物生長的影響並希望找尋一種有效的防治方式，以降低酸雨對植物的危害。首先，我們探討了酸雨的成因及組成因子，並利用硫酸及硝酸調配成不同酸鹼值的人工酸雨。接著我們探討不同 pH 值的酸雨對種子及植物幼苗生長所造成的危害。結果發現：當雨水的酸鹼值降至 pH4 及 pH3 時，對於適合於正常雨水生長的植物，會造成相當程度的危害。包括種子的發芽、初期的生長、幼苗的根、莖、葉及整體生長都比正常雨水狀況下差；實驗中除了白蘿蔔的根部例外。當檢測土壤的酸鹼值時，發現到雨水的酸度愈強，土壤酸化愈嚴重，所以我們以提高土壤酸鹼值的方式，將鹼性的石灰石加入土壤中，做防治酸雨危害的方法，成效不錯。

## 壹、研究動機

上學期的自然課，我們學到了使用紅、藍石蕊試紙檢驗各種水溶液的性質。這天正好下著雨，因此課後，我們便蒐集了一些雨水做檢驗，本來以為雨水應該是中性，沒想到，檢驗出來竟然呈現酸性。我們查閱些資料，才瞭解原來大自然中的雨水本來就是微酸性，但人為的污染會加速雨水的酸性增加。我們也查詢台灣各地區的酸雨狀況（附錄一），赫然驚覺酸雨的污染已經非常的嚴重。為了想更進一步親眼目睹酸雨對所造成的危害，因此我們選擇自然界中的「生產者 - 植物」為研究的對象，來滿足自己的好奇心與困惑。

本參展作品與教學單元之相關性有：

- （一）國小自然課本第九冊 第五單元「生活中的酸與鹼」（康軒）
- （二）國小自然課本第十二冊 第五單元「地球是我們唯一的家」（康軒）
- （三）國小自然課本第五冊 第四單元「有趣的植物」（南一）

## 貳、研究目的

- 一、瞭解酸雨的定義及組成，製作人工模擬酸雨。
- 二、觀察不同 pH 值的人工雨水如何影響種子的發芽率與生長？
- 三、觀察不同 pH 值的人工雨水如何影響植物幼苗的生長？
- 四、酸雨會改變土壤的酸鹼值嗎？
- 五、如何防治酸雨對植物的危害？

## 參、研究設備及器材

- 一、植物種子：綠豆、玉米、白蘿蔔、小白菜、向日葵各約 500 顆。
- 二、栽種用具：培養土、蛭石、水草、噴水瓶（5 個）、盆栽（口徑 10 公分，約 70 個）。
- 三、器材部分：筆式酸鹼度計、刻度滴管、培養皿、直尺、方格紙、鋸子、棉花、量筒、上皿天平、濾紙、數位相機、顯微鏡、玻片。
- 四、化學藥品：稀硫酸、稀硝酸、石灰石

## 肆、研究過程與方法

### 一、瞭解酸雨的定義及組成，製作人工模擬酸雨。

#### (一) 蒐集相關的書籍與網站，對酸雨的定義與形成作初步的瞭解。

##### 1. 酸雨的定義：

自然的大氣中因含有大量的二氧化碳，在常溫時會溶解於雨滴形成碳酸，因此自然的雨水呈現的是微酸性，pH 值約為 5.6。但是由於工業發達，交通工具的使用，放出了更多的人為致酸物質。因此在環保署的研究報告中，已經認定當雨水酸鹼值達 5.0 以下，稱為「酸雨」，即確定受到人為酸性污染物的影響。

##### 2. 酸雨的組成

在人為的酸性污染物中，大型發電廠、石化工業和熔爐，燒掉硫化石燃料產生硫氧化物，溶於雨水中形成亞硫酸和硫酸；汽機車引擎中的氮氣和氧氣在高溫下生成氮氧化物，溶於雨水會產生稀硝酸。降雨中含有的亞硫酸、硫酸、稀硝酸，會在水中完全解離，產生氫離子（ $H^+$ ），造成雨水的酸度增加。從以上的資料，我們大概瞭解酸雨的組成因子。

#### (二) 人工模擬酸雨的製作

根據上述資料的整理，本實驗以最簡易的方式，利用稀硫酸及稀硝酸（1：1 的比例）滴入清水中，調配出不同 pH 值的模擬酸雨，藉以瞭解酸雨對植物生長狀況的影響。

### 二、實驗一：不同 pH 值的人工雨水如何影響種子的發芽率與生長

- (一) 找出 5 種均適合於正常雨水酸鹼值生長的種子（綠豆、玉米、小白菜、白蘿蔔、向日葵），以避免單一種子本身的因素而影響實驗結果。
- (二) 選擇種子：將上述 5 種種子泡水，各選擇大小相同的飽滿種子約 100 顆。
- (三) 每種種子準備 5 個培養皿，培養皿上分別標上植物名稱及 pH 值（pH7，pH6，pH5，pH4，pH3），並鋪上棉花。
- (四) 依照標示，每個培養皿上放置 20 顆種子，每天澆以不同酸度，等量的模擬雨水。
- (五) 每日觀察並計算各組種子的發芽率（發芽種子÷全部種子×100%），定期拍照並測量平均長度。
- (六) 觀察紀錄並分析不同 pH 值的人工雨水如何影響植物的發芽與生長。

### 三、實驗二：不同 pH 值的人工雨水對植物幼苗生長的影響

- (一) 興農栽培土（10 公斤）一包，混和 100 克水草和一包蛭石。  
（水草可保濕，蛭石可避免植物根部糾結，利於日後拔取整株植物時，根部的完整性。）
- (二) 準備綠豆、玉米、白蘿蔔、向日葵 4 種種子，每種植物選擇約 100 顆。
- (三) 每種種子準備五個口徑 10 公分的盆栽，分別標示植物名稱及 pH 值（pH3、pH4、pH5、pH6、pH7）。
- (四) 盆栽內放置調配好的栽培土，依標示各播種 20 顆，種子間保持一定的間隔。

- (五) 前三週，每組盆栽每日澆淋等量的 pH7 人工雨水，靜待幼苗生長。
- (六) 三週後，每個盆栽留下約同樣大小的幼苗 3 株。每天澆淋等量之不同 pH 值的人工酸雨。
- (七) 再經過兩週，將各組植物連根取出，根部以清水洗淨，待晾乾，照相並觀察各組植物生長及根、莖、葉的狀況。
- (八)

觀察內容	測量項目	測量方式
植物的整體生長	測量植株重量	以天平測量各組平均的植株重量。
根的狀況	測量根的長度 (包括主根、鬚根的長)	仔細將根部張開，利用直尺測量長度。
莖的狀況	測量成長高度	成長高度 = (澆淋兩週酸雨後的平均高度 - 幼苗原先的高度)
葉的狀況	葉面面積	取下葉子，利用方格紙，計算葉面面積
	氣孔數	各組取一小片葉子下表皮，置於顯微鏡下，觀察並點數氣孔數。

#### 四、實驗三：酸雨會改變土壤的酸鹼值嗎？

- (一) 取未栽種植物的土壤 10 克，加入 10 克的清水 (pH7) 攪拌均勻，靜待 1 天。
- (二) 利用濾紙將水瀝出，測量其 pH 值，為未澆淋酸雨前的土壤酸鹼值。
- (三) 經過酸雨澆淋兩週後，再從實驗二各組植物的盆栽中，取表土 5 公分下的土壤 10 克，仿前述方法，測量並紀錄各組土壤的酸鹼值變化。

#### 五、實驗四：如何防治酸雨對植物的危害

- (一) 石灰石會不會改變水質的酸鹼值？
1. 準備兩個空杯，分別將 100 克石灰石浸泡在酸鹼值為 pH3 及 pH7 各 100 毫升的人工雨水中，攪拌均勻。
  2. 靜待一小時後，將水濾出，分別測出酸鹼值。
  3. 紀錄並比較 pH3 及 pH7 人工雨水的酸鹼值變化。
- (二) 利用石灰石，觀察酸雨防治的效果。
- 1 取相近的綠豆及玉米種子，各約 60 顆。
  2. 綠豆及玉米各栽種 3 個花盆，分別標上植物名稱及【正常雨水 pH6】【酸雨 pH3】  
【酸雨防治 pH3+石灰石】。
  3. 每天澆淋等量 pH7 人工雨水，靜待幼苗生長三週，。
  4. 三週後，每個盆栽留下約同樣大小的幼苗 2 ~ 3 株。
  5. 在【酸雨防治 pH3+石灰石】的花盆上，灑放適量的石灰石，約 10 公克。
  6. 依照標示，每日澆淋等量之不同酸鹼值的人工雨水。
  7. 拍照觀察並紀錄綠豆及玉米三組的高度及生長狀況變化。

## 伍、研究結果

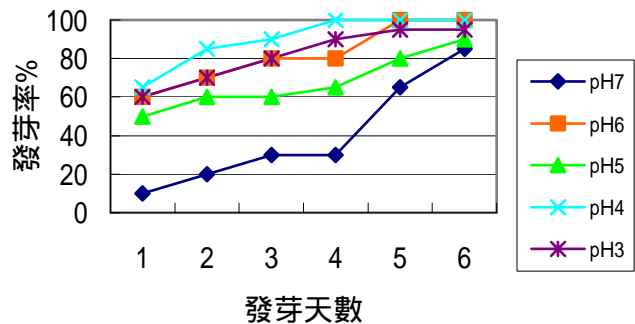
一、實驗一：觀察不同 pH 值的人工雨水如何影響種子的發芽率及生長？（圖見附錄二）

（一）綠豆種子

1.綠豆的發芽率（每組 20 顆）

發芽 顆數	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第一天	2	12	10	13	12
第二天	4	14	12	17	14
第三天	6	16	12	18	16
第四天	6	16	13	20	18
第五天	13	20	16	20	19
第六天	17	20	18	20	19

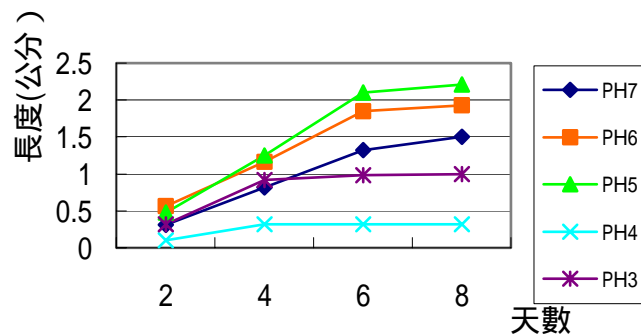
表一：綠豆在不同pH值雨水下的發芽率



2.綠豆的長度

綠豆長度 (公分)	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 2 天	0.31	0.56	0.48	0.1	0.32
第 4 天	0.82	1.16	1.25	0.32	0.92
第 6 天	1.32	1.85	2.10	0.32	0.98
第 8 天	1.5	1.93	2.21	0.32	1.0

表二：綠豆發芽長度



3.綠豆種子發芽狀況

發芽狀況	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 2 天	種皮剛破，長出一點幼根。	幼根最長	幼根比 pH5 略遜一點。	最不好。	幼根生長極快，發育也不錯。
第 4 天	幼根成長緩慢，但粗壯。	幼根發育很好、粗壯，尾端呈黃棕色。	根部成長最快速，呈淺棕色。	種皮焦黃，根尖及子葉都出現焦黃色。	幼根細小，根尖呈現焦黃色，子葉也出現斑點。
第 8 天	除主根外，也長出鬚根，莖粗壯，成黃綠色。	幼根，莖都很粗壯，莖呈現成粉紫色。	根部發育完全，呈棕色。	死亡。	根尖完全萎縮，沒有成長。

我們發現：

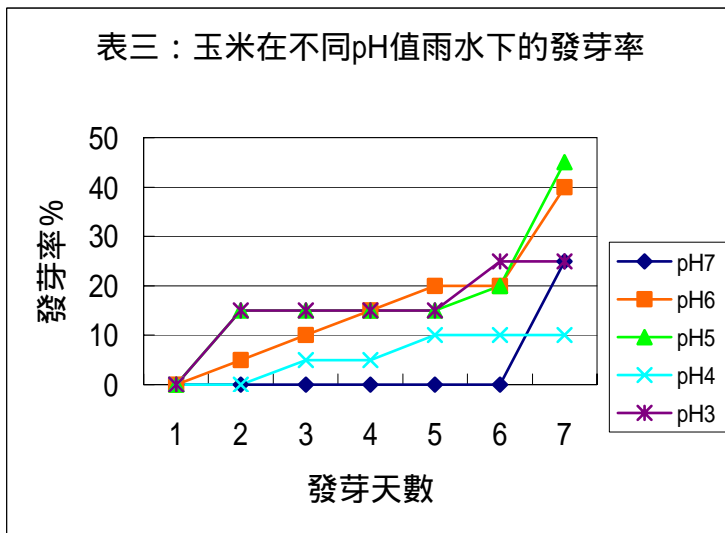
- （1）根據表一，綠豆發芽前幾天，在酸性環境下（pH6、pH5、pH4、pH3），種皮比較容易破裂而迅速長出幼根因此第一天的發芽率明顯高於 pH7 中性環境；但第六天後，種子在所有的 pH 值下，發芽率都達 80% 以上。

(2) 根據表二，適合綠豆種子生長的環境分別是 pH5, pH6, pH7；綠豆在酸雨 (pH4, pH3) 環境下，第 4 天起幾乎都沒有再生長，且發現幼根、子葉被腐蝕，呈焦黑狀，第 8 天近乎死亡。

## (二) 玉米種子

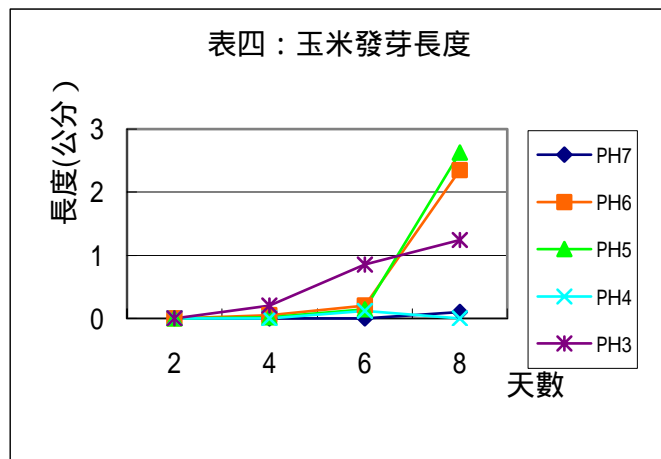
### 1. 玉米的發芽率 (每組 20 顆)

發芽顆數	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 1 天	0	0	0	0	0
第 2 天	0	1	3	0	3
第 3 天	0	2	3	1	3
第 4 天	0	3	3	1	3
第 5 天	0	4	3	2	3
第 6 天	0	4	3	2	5
第 7 天	5	8	9	2	5



### 2. 玉米的長度

玉米長度 (公分)	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 2 天	0	0	0	0	0
第 4 天	0	0.05	0.02	0	0.2
第 6 天	0	0.20	0.14	0.12	0.85
第 8 天	0.1	2.35	2.63	萎縮	1.24



### 3. 玉米種子發芽狀況

發芽狀況	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 6 天	種皮大都未破, 部分有發霉的現象	4 顆發芽, 其中 2 顆長得較快	只有 3 顆發芽。	2 顆發芽, 但 8 顆呈黑色斑點。	5 顆發芽, 另有 5 顆出現黑斑。
第 8 天	只有幾顆爆出一點點幼根。	約有半數已經發芽。	約有半數種子發芽。	所有的種子幾乎都發霉了。	只成長一點點, 根部已萎縮。其他種子還發霉。

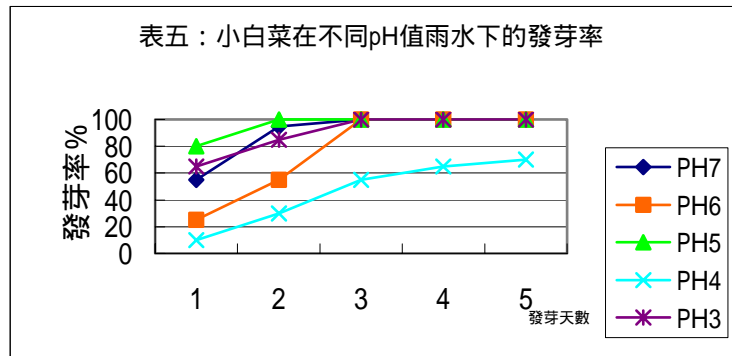
我們發現：

- (1) 由表三發現，玉米種子在第六天後，pH5、pH6、pH7 發芽率急速上升，在酸雨（pH3、pH4）狀況下明顯不同。此外，只有在 pH5 及 pH6 的發芽率達到 40%。
- (2) 由表四發現，玉米種子在 pH5、pH6 的雨水浸泡下成長最好，其次是 pH3，最糟的是 pH4 與 pH7。

### (三) 小白菜種子

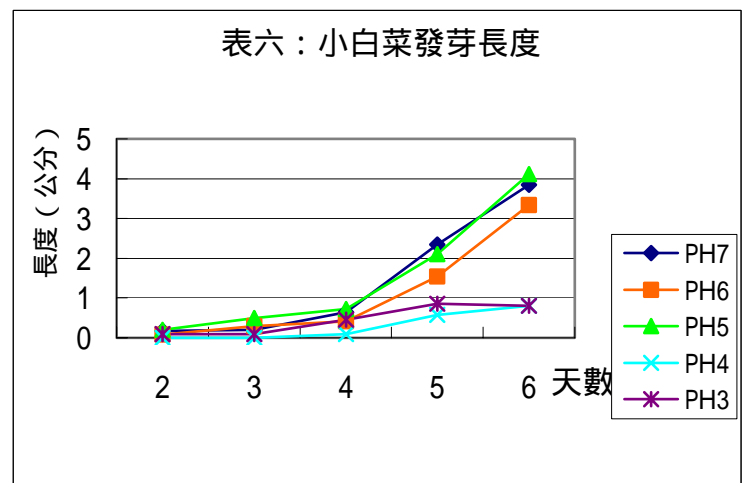
#### 1. 小白菜的發芽率（每組 20 顆）

發芽顆數	pH7	pH6	pH5	pH4	pH3
第 1 天	11	5	16	2	13
第 2 天	19	11	20	6	17
第 3 天	20	20	20	11	20
第 4 天	20	20	20	13	20
第 5 天	20	20	20	14	20



#### 2. 小白菜的長度

小白菜長度 (公分)	pH7	pH6	pH5	pH4	pH3
第 2 天	0.18	0.08	0.20	0	0.1
第 3 天	0.20	0.3	0.5	0	0.10
第 4 天	0.65	0.42	0.72	0.1	0.45
第 5 天	2.35	1.54	2.10	0.58	0.86
第 6 天	3.85	3.34	4.12	0.80	0.81 (萎縮)



#### 3. 小白菜種子的發芽狀況

發芽狀況	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 2 天	全數發芽	半數種子發芽。	所有種子都發芽	只有 6 顆長出幼根。	16 顆種子長出白色幼根。
第 4 天	長出幼莖，狀況極佳。	發育較 pH7 慢。	狀況最好，幼莖挺直，葉子呈綠色。	持續發芽的種子不多，部分本葉出現了斑點。	與 pH6 情況差不多。
第 6 天	最粗壯	與 pH7 同。	與 pH7 同，但葉子偏黃幼莖細弱	根、莖、葉子均出現黃褐色斑點。	葉緣出現褐斑，根部完全被腐蝕。

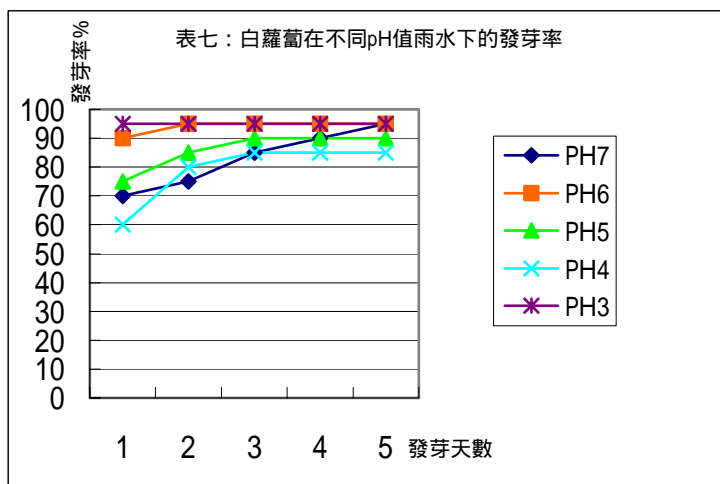
我們發現：

- (1) 從表五看出，小白菜除了在 pH4 環境下，其餘發芽率均達 100%。
- (2) 根據表六，小白菜種子適合生長於 pH7、pH6、pH5 的雨水中，在酸雨環境下（pH4、pH3）小白菜種子在第 5 天後，幾乎停止成長了。根莖葉也都出現斑點及腐蝕現象。

#### (四) 白蘿蔔種子

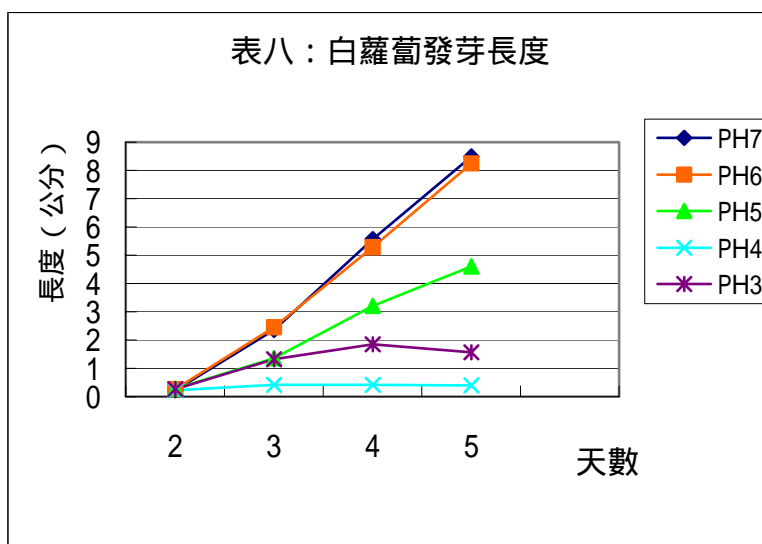
##### 1. 白蘿蔔的發芽率（每組 20 顆）

發芽顆數	pH7	pH6	pH5	pH4	pH3
第 1 天	14	18	15	12	19
第 2 天	15	19	17	16	19
第 3 天	17	19	18	17	19
第 4 天	18	19	18	17	19
第 5 天	19	19	18	17	19



##### 2. 白蘿蔔的長度

白蘿蔔 長度 (公分)	pH7	pH6	pH5	pH4	pH3
第 2 天	0.23	0.26	0.28	0.22	0.27
第 4 天	2.35	2.45	1.35	0.42	1.32
第 6 天	5.56	5.28	3.21	0.42	1.85
第 8 天	8.5	8.24	4.60	0.40 萎縮	1.56 萎縮



##### 3. 白蘿蔔種子發芽狀況

發芽狀況	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 2 天	長出幼根及黃色本葉。	同 pH7	同 pH7	有 3 顆種子的本葉出現黃褐色斑點。	子葉與幼根有黃斑。

第 4 天	長出鬚根，幼莖挺起，有綠葉。	未長出鬚根，餘同 pH7。	幼根細弱 彎曲嚴重，葉子邊緣有黃斑。	最不好，幼根及種子呈黃褐色，沒有任何莖葉長出。	幼根細小彎曲，沒有鬚根，葉子有斑點。
第 6 天	挺立成株。	挺立成株，幼莖最茁壯。葉片鮮綠且肥大。	根部 幼莖彎曲狀，葉緣有焦黃色。	葉片呈黃褐色發霉狀態，根部已腐爛，停止生長	根部萎縮乾扁，葉緣潰爛焦黑

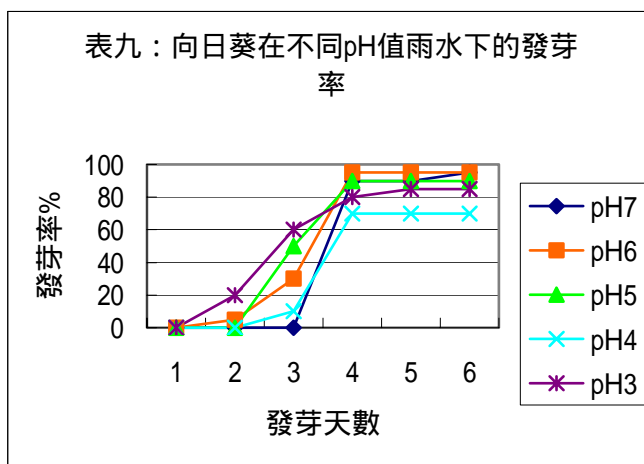
我們發現：

- (1) 根據表七，白蘿蔔在不同 pH 值雨水浸泡下，第一天發芽率達 80% 以上的有 pH6 和 pH3；四天後，5 種 pH 值的發芽率均達 80% 以上。
- (2) 根據表八，白蘿蔔種子在 pH7，pH6 成長狀況最好，其次是 pH5。在酸雨情況下 (pH3，pH4)，只有存活 4 天。

### (五) 向日葵種子

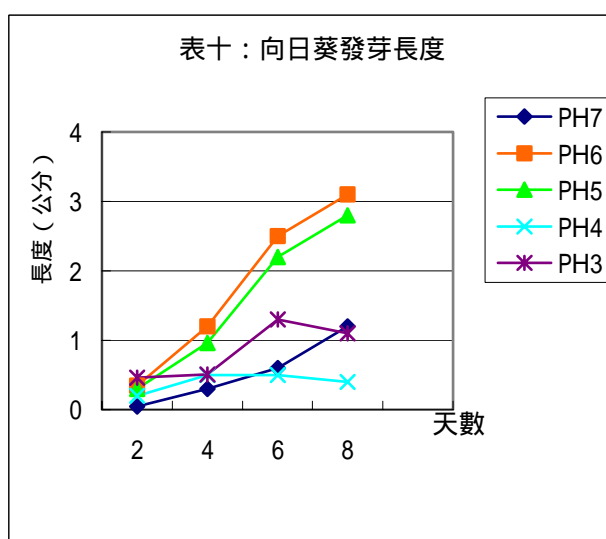
#### 1. 向日葵的發芽率 (每組 20 顆)

發芽顆數	pH7	pH6	pH5	pH4	pH3
第 1 天	0	0	0	0	0
第 2 天	0	1	0	0	4
第 3 天	0	6	10	10	12
第 4 天	18	19	18	14	16
第 5 天	18	19	18	14	17
第 6 天	19	19	18	14	17



#### 2. 向日葵的長度

向日葵長度 (公分)	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 3 天	小於 0.1	0.35	0.30	0.2	0.46
第 4 天	0.3	1.20	0.96	0.5	0.51
第 6 天	0.6	2.5	2.2	0.5	1.3
第 8 天	1.2	3.1	2.8	0.4 萎縮	1.1 萎縮



### 3.向日葵種子的發芽狀況

向日葵種子發芽狀況	PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
第 3 天	未發芽	發芽 6 顆	半數發芽	發芽 2 顆	超過半數發芽
第 4 天	約有 0.3 公分白色幼根。	全部長得最好的。	長出約 1 公分白色幼根。	根尖顏色略深。	根尖有一點變色。
第 6 天	幼莖幼根成長速度較慢。	幼莖長得粗壯，挺直，狀況極佳。	迅速成長，直逼 pH6 的種子。	停止生長，根尖出現萎縮，變黑。	幼根細長，有脫水現象，顏色最深。
第 8 天	成長速度變慢了，幼莖還算強壯。	除主根外也長出鬚根。幼莖堅挺，兩片本葉也長出。	略遜 pH6 種子一點。	根尖發黑約 0.2 公分，已完全死掉。	停止生長，脫水更嚴重。

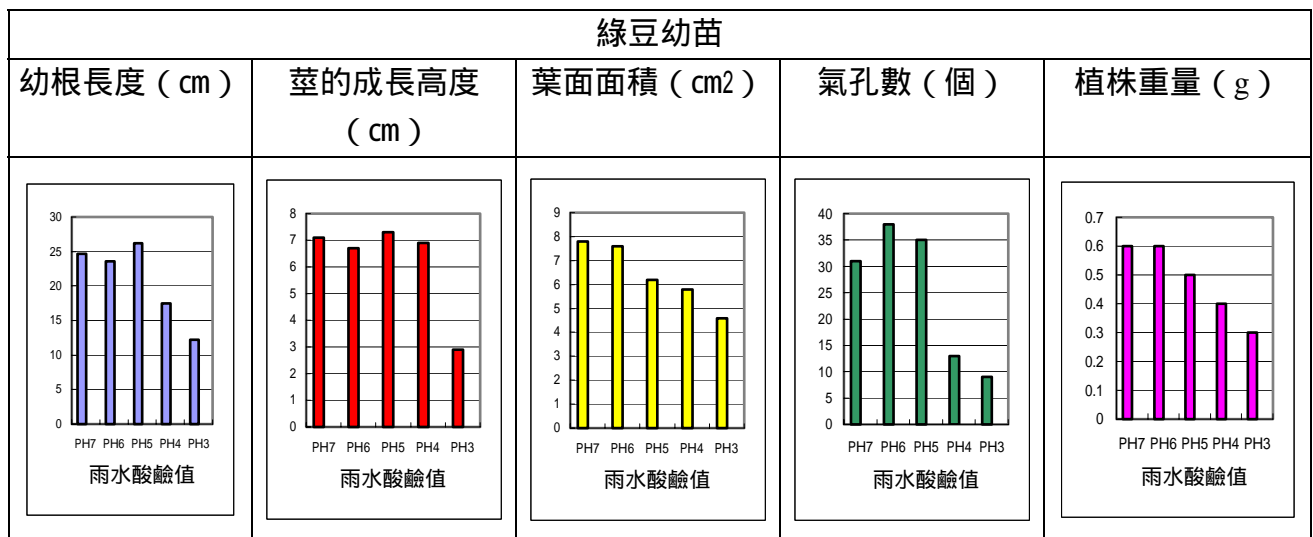
我們發現：

- (1) 由表九發現，向日葵種子發芽前三天，以 pH3 發芽率最高；發芽第 4 天，除了 pH4 外，其餘環境種子發芽率均達 80% 以上。
- (2) 由表十可見，向日葵種子在在 6 天時，pH6、pH5、pH7 都還繼續生長，但處於酸雨狀況下的（pH4、pH3）已經逐漸呈現萎縮了。

## 二、實驗二：觀察不同 pH 值的人工雨水如何影響植物幼苗的生長？（圖見附錄三、附錄四）

### （一）綠豆幼苗的生長狀況

觀察內容	測量項目	人工雨水 pH 值				
		PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
根的狀況	根部總長度（單位：cm）	24.7	23.6	26.2	17.5	12.2
莖的狀況	未淋上酸雨前的高度（cm）	6.7	8.5	8.2	7.8	8.9
	連續澆淋酸雨兩週後高度（cm）	13.8	15.2	15.5	14.7	11.8
	成長高度（cm）	7.1	6.7	7.3	6.9	2.9
葉的狀況	葉面面積（單位：cm <sup>2</sup> ）	7.8	7.6	6.2	5.8	4.6
	氣孔數	31	38	35	13	9
幼苗整體生長	植株重量（單位：g）	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3
	生長狀況	不高但莖部強壯。	良好	良好	莖部細弱。	葉緣出現斑點，莖部細弱。

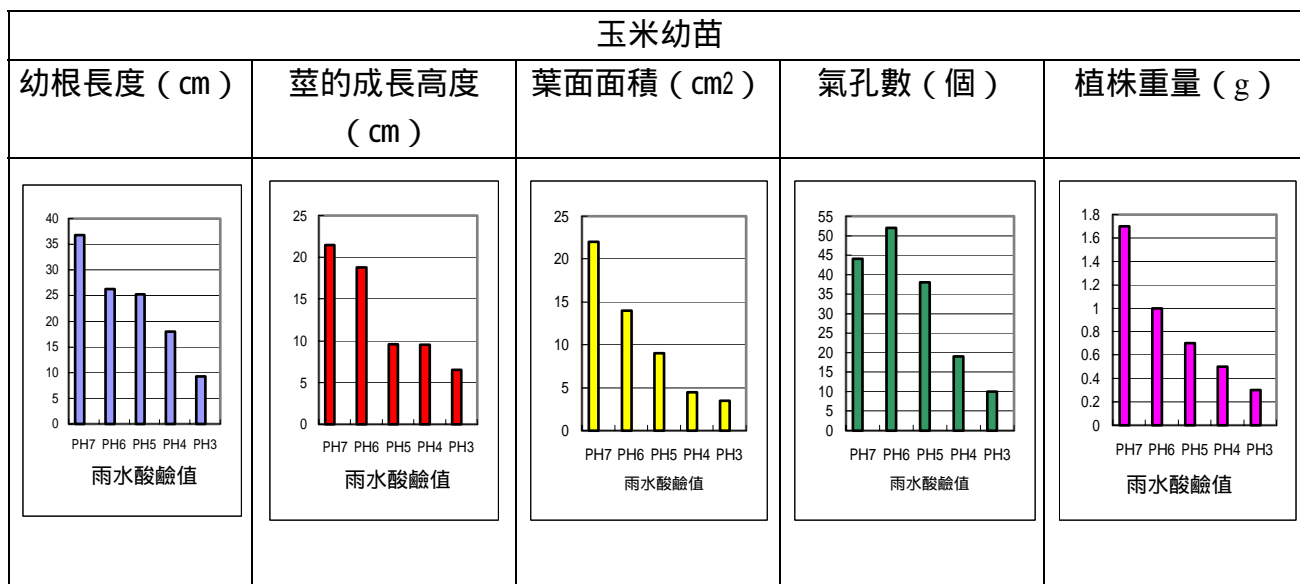


我們發現：

- (1) 綠豆幼苗在中性(pH7)及正常雨水(pH6、pH5)的澆淋下，成長情況都非常的好。
- (2) 在酸雨情況下，酸度愈強，狀況愈糟。包括根、莖的長度、葉子的成長、氣孔數及重量都有生長較差的現象發生。

## (二) 玉米幼苗的生長狀況

觀察內容	測量項目	人工雨水 pH 值				
		PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
根的狀況	根部總長度 (單位：cm)	36.8	26.3	25.2	18.0	9.2
	莖的狀況					
莖的狀況	未淋上酸雨前的高度 (cm)	5.8	6.8	6.4	6.0	6.7
	連續澆淋酸雨兩週後高度 (cm)	27.3	25.6	16.0	15.5	13.2
	成長高度 (cm)	21.5	18.8	9.6	9.5	6.5
葉的狀況	葉面面積 (單位：cm <sup>2</sup> )	22.0	14.0	9.0	4.5	3.5
	氣孔數	44	52	38	19	10
幼苗整體生長	植株重量 (單位：公克)	1.7	1.0	0.7	0.5	0.3
	生長狀況	狀況最好，高度最高。	良好	莖部細弱。	莖部細弱。	莖最細弱。葉子幾近枯萎。



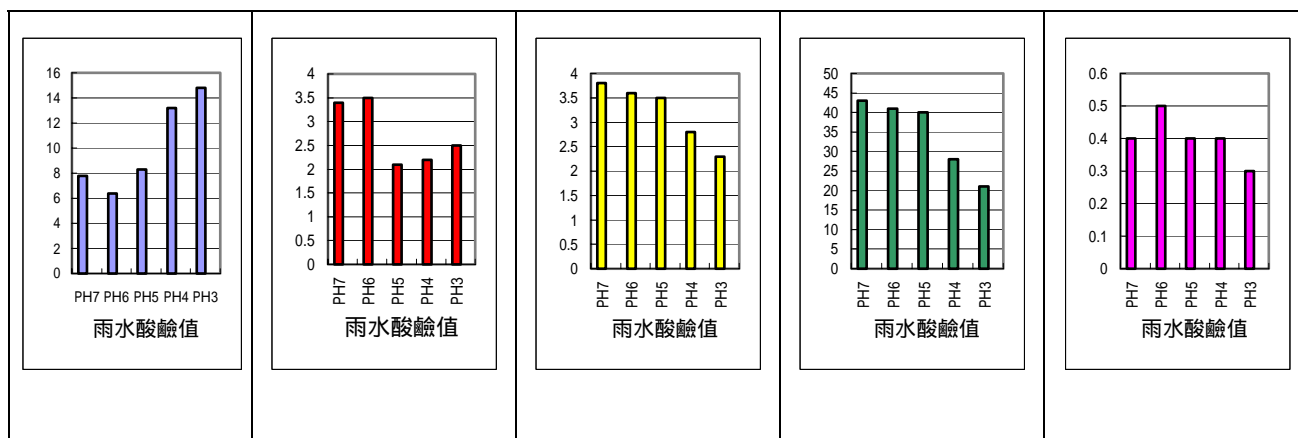
我們發現：

- (1) 玉米幼苗在 pH7 及 pH6 狀況下成長最好。
- (2) 雨水酸度愈強，愈不利玉米幼苗的生長。

### (三) 白蘿蔔幼苗的生長狀況

觀察內容	測量項目	人工雨水 pH 值				
		PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
根的狀況	根部總長度 (單位：cm)	7.8	6.4	8.3	13.2	14.8
	未淋上酸雨前的高度 (cm)	3.2	3.5	3.7	3.4	3.9
莖的狀況	連續澆淋酸雨兩週後高度 (cm)	6.6	7.0	5.8	5.2	6.4
	成長高度 (cm)	3.4	3.5	2.1	2.2	2.5
	葉面面積 (單位：cm <sup>2</sup> )	3.8	3.6	3.5	2.8	2.3
葉的狀況	氣孔數	43	41	40	28	21
	植株重量 (單位：公克)	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3
幼苗整體生長	生長狀況	良好	良好	良好	良好	良好

白蘿蔔幼苗				
幼根長度 (cm)	莖的成長高度 (cm)	葉面面積 (cm <sup>2</sup> )	氣孔數 (個)	植株重量 (g)



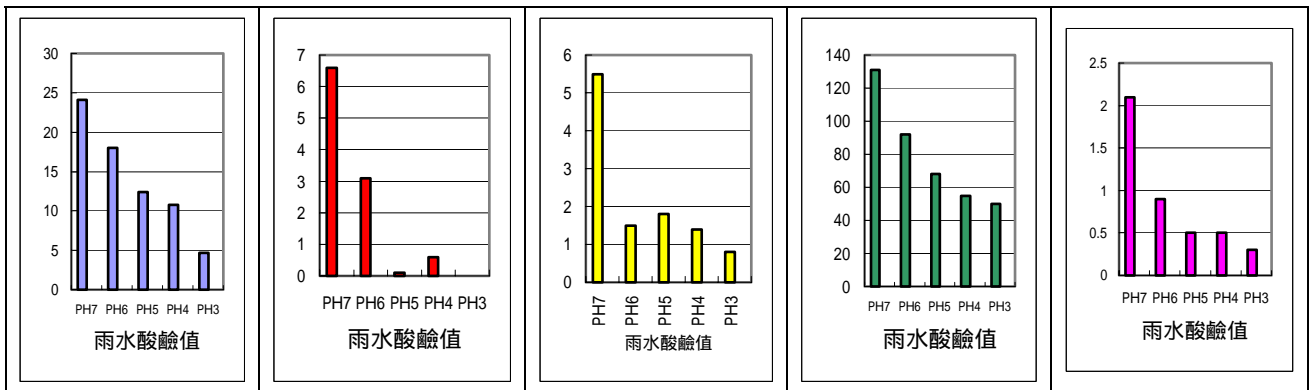
我們發現：

- (1) 白蘿蔔幼苗受酸雨的影響不大，除了葉面面積及氣孔數外，重量及莖的高度影響不大。
- (2) 雨水酸度愈高，白蘿蔔幼苗的根反而成長得更好。這是一個令我們感到很奇怪的現象。
- (3) 我們推論：生長在土壤中的部分，有部分應該屬於白蘿蔔的地下莖，而非幼根。至於地下莖的生長是否會受到酸鹼值的不同而改變，我們需要再進一步研究。

#### (四) 向日葵幼苗的生長狀況

觀察內容	測量項目	人工雨水 pH 值				
		PH7	PH6	PH5	PH4	PH3
根的狀況	根部總長度 (單位：cm)	24.1	18.0	12.4	10.8	4.7
莖的狀況	未淋上酸雨前的高度 (cm)	8.6	8.2	8.7	9.0	9.2
	連續澆淋酸雨兩週後高度 (cm)	15.2	11.3	8.8	9.6	8.7
	成長高度 (cm)	6.6	3.1	0.1	0.6	- 0.5(萎縮)
葉的狀況	葉面面積 (單位：cm²)	5.5	1.5	1.8	1.4	0.8
	氣孔數	131	92	68	55	50
幼苗整體生長	植株重量 (單位：公克)	2.1	0.9	0.5	0.5	0.3
	生長狀況	良好。	良好，但葉面積較小	莖部細弱，葉面小。	莖部細弱，葉面小。	莖部略有萎縮，葉子也卷曲。

向日葵幼苗				
幼根長度 (cm)	莖的成長高度 (cm)	葉面面積 (cm²)	氣孔數 (個)	植株重量 (g)

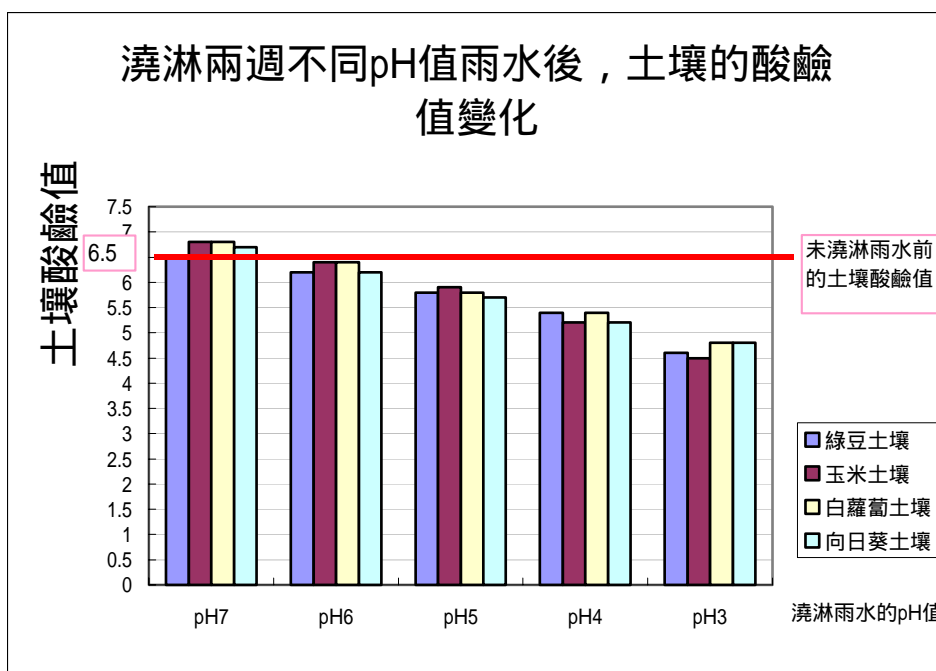


我們發現：

- (1) 向日葵幼苗在 pH7 的環境中成長最好。
- (2) 雨水酸度愈強，愈不利向日葵幼苗的生長。

### 三、實驗三：酸雨會改變土壤的酸鹼值嗎？

土壤的酸鹼值變化		pH7	pH6	pH5	pH4	pH3
綠豆	未澆淋酸雨前	6.5				
	澆淋酸雨兩週後	6.5	6.2	5.8	5.4	4.6
玉米	未澆淋酸雨前	6.5				
	澆淋酸雨兩週後	6.8	6.4	5.9	5.2	4.5
白蘿蔔	未澆淋酸雨前	6.5				
	澆淋酸雨兩週後	6.8	6.4	5.8	5.4	4.8
向日葵	未澆淋酸雨前	6.5				
	澆淋酸雨兩週後	6.7	6.2	5.7	5.2	4.8



我們發現：土壤連續澆淋不同酸度的雨水，土壤的酸鹼值便會產生變化。雨水酸度愈強，土壤產生酸化的現象愈嚴重。

#### 四、實驗四：如何防治酸雨對於植物危害？

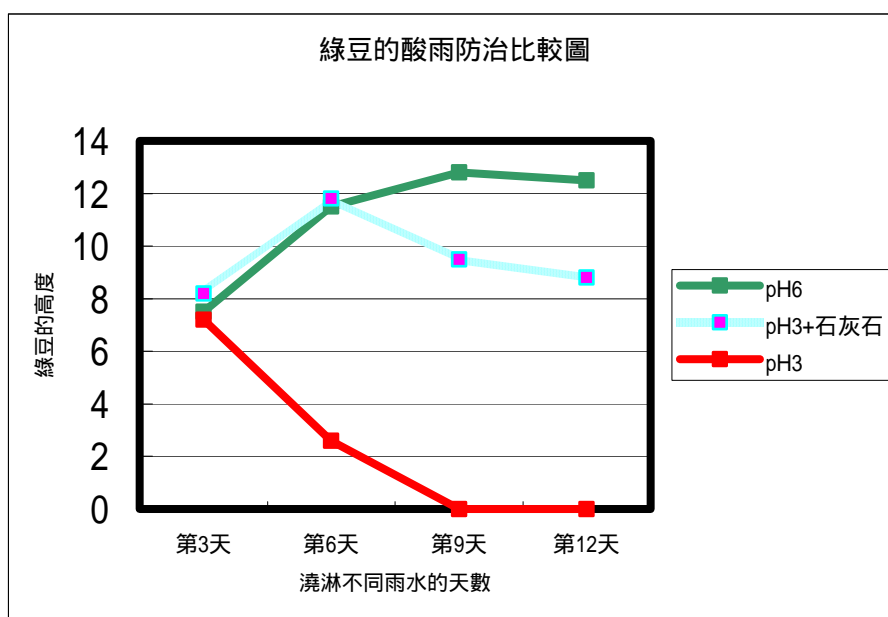
##### （一）石灰石對水質酸鹼值的改變

水值酸鹼度	清水	酸雨
未加石灰石	pH7	pH3
加入石灰石後	pH8.1	pH6.2

我們發現：石灰石可以提高酸雨的 pH 值，我們預期石灰石將可以防治酸雨對植物的危害。

##### （二）綠豆的酸雨防治（圖見附錄五）

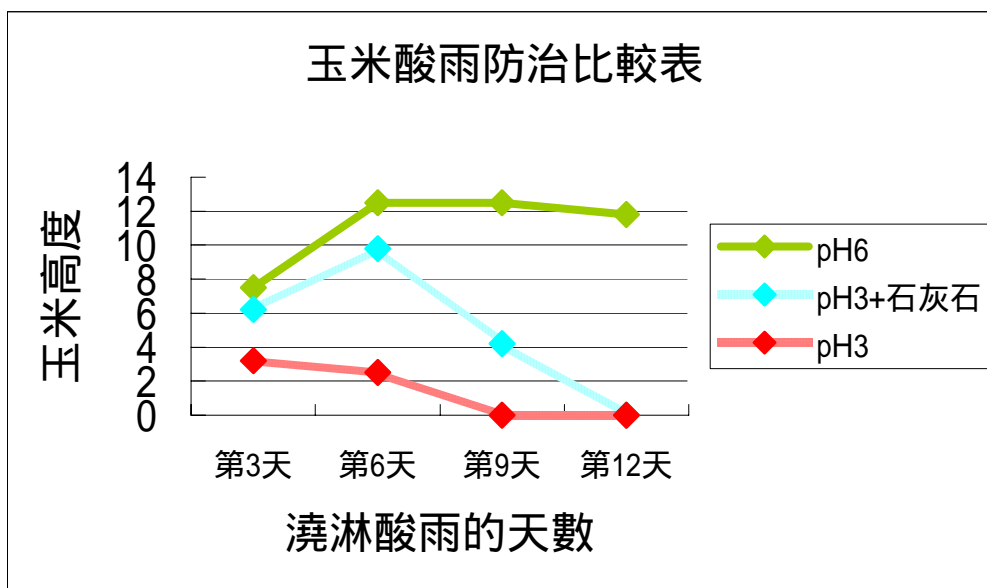
綠豆的酸雨防治	正常雨水 pH6		酸雨 pH3+石灰石		酸雨 pH3	
	生長狀況	高度	生長狀況	高度	生長狀況	高度
第 3 天	良好	7.5	良好	8.2	葉緣出現褐色斑點。	7.2
第 6 天	良好	11.5	狀況還好。	11.8	全部枯萎狀。	2.6
第 9 天	良好	12.8	葉緣有褐斑出現，葉子呈現卷曲狀態。	9.5	同上	0
第 12 天	葉子略有卷曲。	12.5	葉子褐斑更多，莖部彎曲更厲害。	8.8	同上	0



##### （二）玉米的酸雨防治（圖見附錄五）

玉米的酸雨防治	正常雨水 pH6		酸雨 pH3+石灰石		酸雨 pH3	
	生長狀況	高度	生長狀況	高度	生長狀況	高度
第 3 天	良好	7.5	良好	6.2	莖部不挺直。	3.2
第 6 天	三組當中最好的，莖最粗壯，也最高。	12.5	良好，但高度及粗壯程度沒有【pH6】好。	9.8	已經完全萎縮了	2.5
第 9 天	良好	12.5	有一株枯萎，另一株	4.2	完全枯萎了	0

			葉面出現黃褐斑。			
第 12 天						



我們發現：

- (1) 澆淋 pH3 雨水的綠豆及玉米於第 3 天就開始萎縮，第 9 天完全死亡。但利用石灰石防治後，同樣澆淋 pH3 雨水，可延後產生枯萎的天數，可見防治成效已見。
- (2) 雖然防治效果無法像 pH6 的正常雨水般的綠豆生長，但結果已經令我們滿意。

## 陸、討論

一、【實驗一】中，適合種子生長的雨水酸鹼值順序如下表，我們也列出這 5 種子適合生長的土壤值環境表，與我們的實驗結果相去不多。

種子名稱	適合的雨水酸鹼值排序	適合生長的土壤酸鹼值
綠豆	PH5 > pH6 > pH7 > pH3 > pH4	pH5.5~pH6.8
玉米	pH6 > pH5 > pH3 > pH7 > pH4	pH5.8~pH6.5
小白菜	PH5 > pH7 > pH6 > pH3 > pH4	pH5.5~pH7.0
白蘿蔔	PH7 > pH6 > pH5 > pH3 > pH4	pH5.0~pH6.5
向日葵	PH6 > pH5 > pH7 > pH3 > pH4	PH6.5~pH6.8

(註：「>」表示優於)

這些種子在 pH5 及 pH6 的人工酸雨浸泡下，發芽率及生長狀況都很好。在中性 pH7 的雨水中，除了玉米外，其他狀況也不錯。

- 二、【實驗一】中我們發現酸雨對種子發芽的影響非常大。在 pH3 的酸度下種子比較容易被腐蝕，加上子葉及胚乳可提供種子初期發芽的需要，因此發芽速度最快，但是畢竟 pH3 的雨水酸度對於植物來說太強了，導致最後種子的根部，葉子還是逃不過被腐蝕的命運。此外，種子在 pH4 的人工酸雨浸泡下，種子的發芽率及發育狀況都最不好，我們推想能在此酸度的環境中，種子的種皮並不易破裂；經過長時間的浸泡，即使種皮破裂，幼根也早已因為浸泡過久，很快就產生腐爛或整顆種子發霉的狀況。
- 三、【實驗一】中我們也發現，種子發芽初期處於酸性環境中的發芽率都比中性環境（pH7）好。我們查閱資料也發現，在農業上，也有利用弱酸來解除稻種休眠，以促進發芽率的改良方式，此種方式與我們的實驗結果相符合。
- 四、在【實驗二】中，我們發現綠豆、玉米、向日葵的幼苗經過 pH3 的人工酸雨連續澆淋兩週後，根的長度最短、莖的成長高度也最矮、葉子的面積及氣孔數也最少，植株重量也最輕；其次是 pH4。由此結果我們認為酸雨造成植物的損害，不單只是植物的某一部份，而是全面性的。其中，「氣孔」是掌管植物的呼吸作用及光合作用的重要部分，由氣孔數的減少我們得知，酸雨會降低植物光合作用的進行。
- 五、在【實驗二】中，我們發現白蘿蔔根的長度隨雨水的酸度而增加，莖的長度影響也不是很大。我們猜想是否因為白蘿蔔的莖是屬於地下莖，我們所測量到的幼根長度可能是莖的一部份，而非真正的根部；地下莖在酸化的土壤中生長，是否會加速？我們也不清楚，可能需要更進一步的實驗。
- 六、從【實驗三】土壤酸鹼值的改變發現，經過 pH3 的酸雨連續澆淋兩週後，土壤酸鹼值已經降到了 pH4.5 pH4.8 左右，根據資料查證，其土壤已經不適合玉米、綠豆及向日葵的生長。此外，白蘿蔔幼苗的葉子也逐漸有所損害，雖然土壤酸鹼值只降到 4.8，比適合生長的環境 pH5.0 pH6.5 略低一點點，但其危害已可見。
- 七、從【實驗三】發現，澆淋酸雨後，土壤的成分已產生改變，我們曾利用顯微鏡觀察微生物的活動量，發現 pH3 的土壤裡會活動的微生物僅存 3、4 隻，但 pH7、pH6 的土壤裡很明顯可以看到許多微生物在游動，此部分我們並沒有適當的儀器做紀錄，甚為可惜，希望下次可以針對這方面的內容再進一步做研究。
- 八、由【實驗三】我們得知酸雨確實會減低土壤的 pH 值，我們從文獻資料中瞭解土壤中有許多植物生存必須的肥料要素（如：磷、鎂、錳、鉀、鐵...）及微生物，會因為土壤的酸性愈強的改變而影響其溶解性及利用度，酸度愈強反而會將有害物（鋁）溶解出反而造成危害。
- 九、在【實驗四】中，我們之前曾經利用石灰水及小蘇打來防治酸雨對植物的影響，結果效果不彰。直到我們在綠豆及玉米的土壤添加了石灰石，經過 pH3 的酸雨澆淋兩週後，生長狀況也獲得了一些成效。對於此項實驗結果，我們非常滿意。我們也進一步思索，如果我們能依據土壤的多寡及不同的酸雨 pH 值，鋪放適當的石灰石量，可能效果會更好。

此外，石灰石除了能提高土壤的酸鹼值外，是否也富含植物生存必要的元素，也有待我們進一步的探討。

## 柒、結論

- 一、根據資料顯示，雨水的 pH 值低於 5 即所謂的「酸雨」，酸雨對台灣的危害已日趨嚴重。酸雨形成的主要原因來自於石化燃料的燃燒及交通工具排放廢氣所造成。且主要是因為雨水中含有高濃度的硫酸、亞硫酸及硝酸等成分，解離成氫離子，造成雨水的酸度增加。
- 二、種子適合於正常雨水弱酸（pH5、pH6）的環境中發芽及生長；種子在中性雨水（pH7）環境下發芽率略低，但並不影響其生長；在酸雨（pH4、pH3）的環境下，種子的幼根會因酸雨的腐蝕而焦黑，不能生長。
- 三、pH4、pH3 的酸雨對於植物幼苗的危害是整體性，而非單一方面的危害。除了影響幼苗根、莖、葉的生長外，也影響光合作用的進行，造成發育狀況不佳、甚至死亡。
- 四、酸雨會造成土壤酸化，酸度愈高的雨水，土壤酸化愈嚴重。土壤的酸鹼值降低，可能會改變土壤生長的環境，如各種金屬元素及微生物的改變，此部分有待進一步研究。
- 五、利用石灰石來改善酸雨（pH3）造成的植物危害，成效顯著，雖然沒有像正常雨水澆淋下的生長狀況，但情況已有改善。因此我們建議，在酸雨危害較為嚴重的地區，可以利用此方法來改善。

## 捌、參考資料

1. 周蘭芬等（1994）。走訪酸雨監測站。小牛頓兒童科學園地，126，p8~13。
2. 林麗中（1994）。台灣的雨有多酸。小牛頓兒童科學園地，130，p8~11。
3. 楊尚青（86）。珍惜與保育 - 天降酸雨...植物怕怕。  
<http://www.bio.ncue.edu.tw/bioedu/sampleedu/sci-affair/sci-b/rain/rain.htm>。
4. 鄭文吉（86）。利用弱酸可以解除稻種休眠促進發芽，高雄區農業改良場新聞稿 第 0007 號，<http://www.nchu.edu.tw/~jwj/kdais/>。
5. 國小自然五上教學指引，第五單元：生活中的酸與鹼，台北縣：康軒文教事業股份有限公司，p140~148，民 90 年。
6. 台灣各氣象站雨水酸鹼度值年平均表。中央氣象站：<http://www.cwb.gov.tw/V4/index.htm>。

## 玖、附錄

附錄一：

### 台灣各氣象站累年雨水酸鹼度值年平均資料

年份\站名	基隆	鞍部	台北	新竹	台中	日月潭	嘉義	阿里山	台南	高雄	恆春	台東	成功	花蓮	宜蘭
(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) 1 月份	4.7	5.7	5.5	5.7	5.8	4.4	5.8	5.9	5.2	5.8	6.0	5.1	4.9	5.9	5.6
(2003) 2 月份	4.2	5.5	5.7	5.2	5.5	4.8	5.9	5.7	5.2	5.8	5.3	5.5	5.8	6.1	-
最高值 Max	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	6.5
最低值 Min	4.2	5.0	4.3	5.3	5.4	4.4	5.5	5.6	5.1	5.4	5.9	5.7	5.4	5.5	5.6

依據(89)環署空字第 0000713 號函,雨水酸鹼度值小於 5.0 (pH < 5.0)為酸雨,以紅字表示

附錄二：種子浸泡在不同酸鹼值的人工酸雨下的發育狀況

(一) 綠豆種子發育狀況的比較



(二) 玉米種子發育狀況的比較



(三) 小白菜種子發育狀況的比較



(四) 白蘿蔔種子發育狀況的比較



(五) 向日葵種子發育狀況的比較



### 附錄三：不同酸鹼值的人工酸雨對植物幼苗生長的影響

#### （一）綠豆幼苗



#### （二）玉米幼苗



(三) 白蘿蔔幼苗



(四) 向日葵幼苗



附錄三：不同酸鹼值的人工酸雨對植物幼苗生長的影響（氣孔數）

（一）綠豆與玉米的氣孔數



（二）白蘿蔔與向日葵的氣孔數







附錄五：綠豆與玉米的酸雨防治

(一) 綠豆酸雨防治比較圖

澆淋酸雨的天數	
第 3 天	 <p>A photograph showing three small green bean seedlings in red pots, placed on a wooden table in a classroom setting. The seedlings are at the early stage of growth, with two leaves visible on each. The pots have white labels with Chinese text.</p>
第 6 天	 <p>A photograph showing three green bean seedlings in red pots, similar to the Day 3 image. The seedlings appear slightly more developed, with more pronounced leaves. The background shows a classroom with a green chalkboard.</p>
第 9 天	 <p>A photograph showing three green bean seedlings in red pots. The seedlings are more mature, with larger, more spread-out leaves. The pots are on a wooden surface.</p>
第 12 天	 <p>A photograph showing three green bean seedlings in red pots. The seedlings are the most developed in this series, with large, healthy-looking leaves. The pots are on a wooden surface.</p>

(二) 玉米酸雨防治比較圖

澆淋酸雨的天數	
第 3 天	 <p>Three small corn seedlings in red pots are shown on a table. The seedlings are young, with two leaves each. The pots have white labels with Chinese text. The background shows a laboratory setting with shelves and equipment.</p>
第 6 天	 <p>Three corn seedlings in red pots are shown. The seedlings are slightly taller than at day 3. The pots have white labels with Chinese text. The background is a plain wall.</p>
第 9 天	 <p>Three corn seedlings in red pots are shown. The seedlings are taller and more developed than at day 6. The pots have white labels with Chinese text. The background is a plain wall.</p>
第 12 天	 <p>Three corn seedlings in red pots are shown. The seedlings are the tallest and most developed in the series. The pots have white labels with Chinese text. The background is a plain wall.</p>

## 評語

本論文主要瞭解酸雨對植物生長的影響，並尋找防治方式。可進一步探討葉片的黃化，變形等情形。