

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-生物科

科 別：生物科

組 別：國中組

作品名稱：以綠豆探討酸雨對植物發芽生長的影響

關 鍵 詞：酸雨、Ph 值、制酸劑

編 號：030301

學校名稱：

嘉義縣立六嘉國民中學

作者姓名：

陳佩熏、林雅婷、侯雪惠、陳佳惠

指導老師：

林子欽



研究題目：以綠豆探討酸雨對植物發芽生長的影響

一. 研究動機

老師在生物課中提到近年來人們大量使用煤、石油等能源，這些物質在大氣中經過複雜的化學反應，降到地面成為酸雨，造成環境的破壞，危害極大。對於這個主題我相當好奇，於是我找了幾位同學在老師的指導下，組成研究小組，想探討酸雨對家裡附近的農作物究竟造成多大的影響？並且研究我們能找到什麼方法減低酸雨造成的危害？



二. 研究目的

- (一)探討酸雨形成的原因及組成成份。
- (二)觀察酸雨對植物種子發芽的影響。
- (三)研究酸雨對植物幼苗生長可能之影響。
- (四)探討植物防治酸雨傷害之可能方法。

三. 實驗器材

- ①綠豆、油菜、菜豆、湯匙菜、空心菜、小白菜、茼蒿 ②方格紙 ③花寶五號 ④指甲油 ⑤蛭石 ⑥燒杯、滴管、量筒、培養皿 ⑦肥皂水、石灰水、灰燼、氨水、硫酸、硝酸、蒸餾水 ⑧餐巾紙 ⑨顯微鏡、照相機 ⑩天平

四．研究方法

實驗一：藉由不同 P H 值的模擬酸雨溶液探討對六種植物發芽率的影響

- (1)取綠豆、空心菜、菜豆、湯匙菜、油菜、波菜種子各 2 5 0 顆，每 5 0 顆裝一小杯。
- (2)撥種：取培養皿 30 個，於底部鋪設三層餐巾紙並均勻灑下種子，澆水 10ml，標示植物名稱及 PH 值 3，4，5，6，對照組等各項標示牌。
- (3)每天依標示濃度澆淋不同 PH 值的模擬酸雨水溶液 10ml 一週。
- (4)計算發芽成功率。

實驗二：藉由不同 P H 值的模擬酸雨探討對綠豆生長現象的影響

實驗二 A：植物發育情形觀察

1、每日觀察根部發展情形並記錄，拍照

- (1)取綠豆種子 2 5 0 顆，每 5 0 顆裝一小杯。
- (2)撥種：取培養皿 25 個，於底部鋪設三層餐巾紙並均勻灑下種子，澆水 10ml，標示植物名稱及 PH 值 3，4，5，6，對照組等各項標示牌。
- (3)每天依標示濃度澆淋不同 PH 值的模擬酸雨水溶液 10ml 一週。
- (4)每日觀察根部發展情形並記錄

2、觀察葉子發展情形並記錄，拍照。

- (1)取綠豆種子 2 5 0 顆，每 5 0 顆裝一小杯。
- (2)重覆上段種子撥種程序在第一對葉子長出後，澆淋花寶水溶液（500:1），促進生長。
- (3)靜待生長一週後，改澆淋不同 PH 值的模擬酸雨水溶液
- (4)每日觀察葉子發展情形並記錄。

實驗二 B：酸雨對植物發育之葉片面積與植株高度的影響

- (1) 取綠豆種子 250 顆，每 50 顆裝一小杯；經上述實驗處理一週後，計算葉片表面積與植株高度之平均值。

實驗二 C：酸雨對氣孔之影響

- (1) 依上述實驗步驟二週後，待酸雨乾涸，各組採摘葉片，在葉片下表皮塗抹指甲油，陰乾（大約三十分鐘後），剝下製成玻片標本以顯微鏡觀察並計算顯微鏡相同視野中（40x15）之平均氣孔數目。

實驗二 D：酸雨對植株重量之影響

- (1) 依上述實驗步驟二週後，每組取植株 8 顆，秤重記錄之。

實驗三：酸雨影響之防治

- (1) 取綠豆種子 250 顆，每 50 顆裝一小杯，計 5 杯。
- (2) 撥種：取花盆 5 個，於底部鋪設餐巾紙與 6cm 之蛭石並均勻灑下種子，澆水標示植物名稱及對照組、PH 值 3 + 肥皂水、PH 值 3 + 石灰水、PH 值 3 + 氨水、PH 值 3 + 灰燼等各項標示牌。
- (3) 每天澆淋適當水溶液使其發芽。
- (4) 待植物長出第一對葉子長出後澆花寶水溶液（500:1），促進生長。
- (5) 種植一週後澆淋標示溶液。
- (6) 每日觀察葉子發展情形並記錄。
- (7) 三週後觀察植株高度與重量並記錄。

五．實驗結果

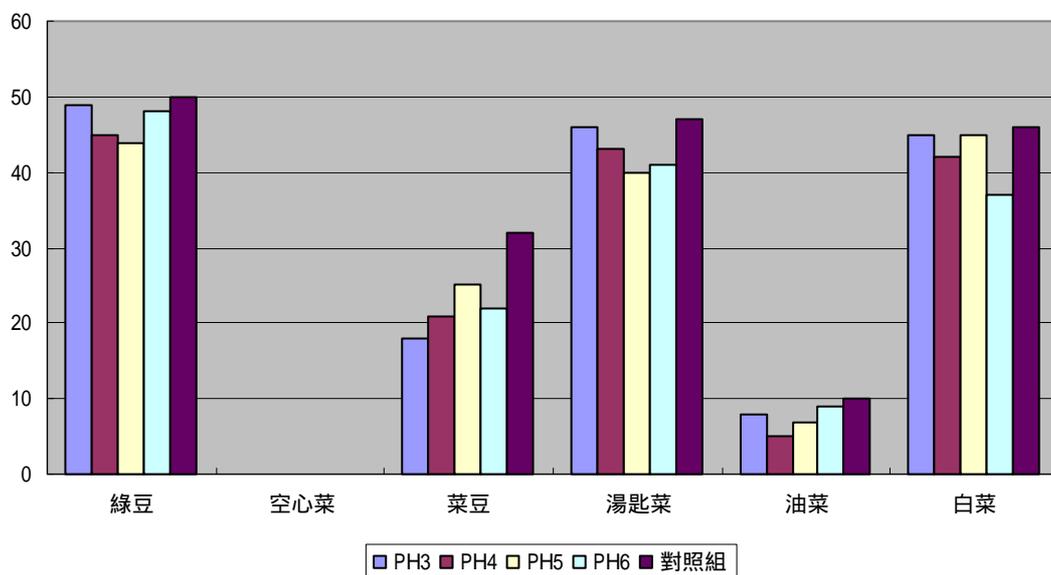
實驗一：不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響

第二天發芽率：以胚根長超過 1mm 才算發芽（單位：顆）

| 發芽率 | 綠豆 | 空心菜 | 菜豆 | 湯匙菜 | 油菜 | 白菜 |
|-----|----|-----|----|-----|----|----|
| PH3 | 49 | X | 18 | 46 | 8 | 45 |
| PH4 | 45 | X | 21 | 43 | 5 | 42 |
| PH5 | 44 | X | 25 | 40 | 7 | 45 |
| PH6 | 48 | X | 22 | 41 | 9 | 37 |
| 對照組 | 50 | X | 32 | 47 | 10 | 46 |

表一 不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響（第二天）

植物種植第二天發芽率比較表



圖一 不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響（第二天）

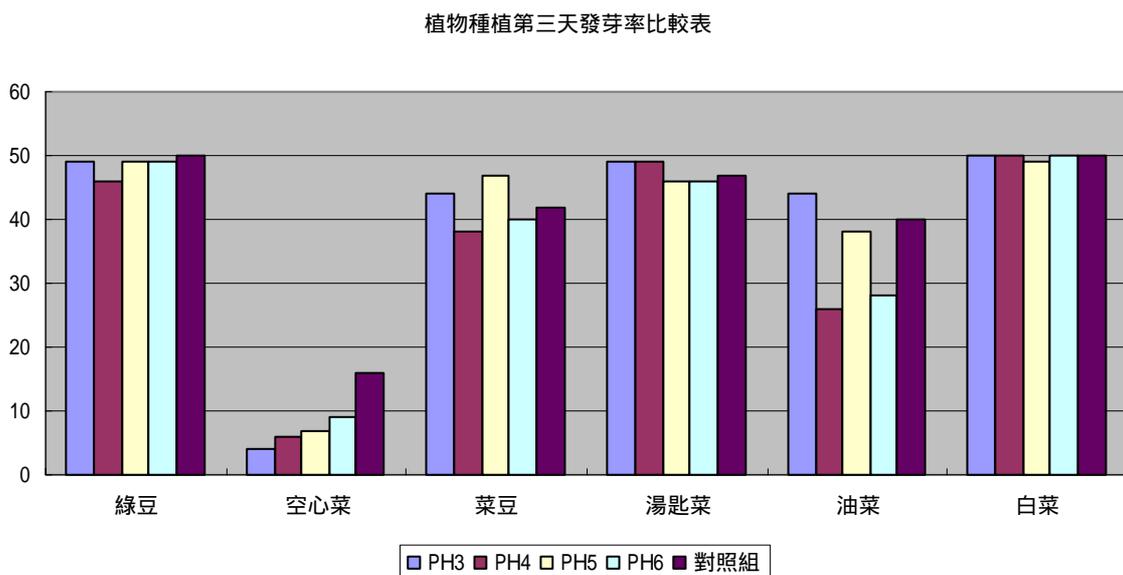
結果說明：

1. 觀察播種後第二天之發芽率，除空心菜未能發芽外其餘植物皆有部分發芽，其中又以綠豆發芽率最高，湯匙菜次之。
2. 各種不同酸性溶液對植物發芽率的影響皆以對照組 pH7 發芽率最高，隨 pH 發芽率有下降的趨勢
3. 觀察綠豆、湯匙菜、油菜、白菜之發芽率發現在 pH = 3 時，發芽率似乎有增加之現象。

第三天發芽率：以胚根長超過 1mm 才算發芽（單位：顆）

| 發芽率 | 綠豆 | 空心菜 | 菜豆 | 湯匙菜 | 油菜 | 白菜 |
|-----|----|-----|----|-----|----|----|
| PH3 | 49 | 4 | 44 | 49 | 44 | 50 |
| PH4 | 46 | 6 | 38 | 49 | 26 | 50 |
| PH5 | 49 | 7 | 47 | 46 | 38 | 49 |
| PH6 | 49 | 9 | 40 | 46 | 28 | 50 |
| 對照組 | 50 | 16 | 42 | 47 | 40 | 50 |

表二 不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響（第三天）



圖二 不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響（第三天）

結果說明：

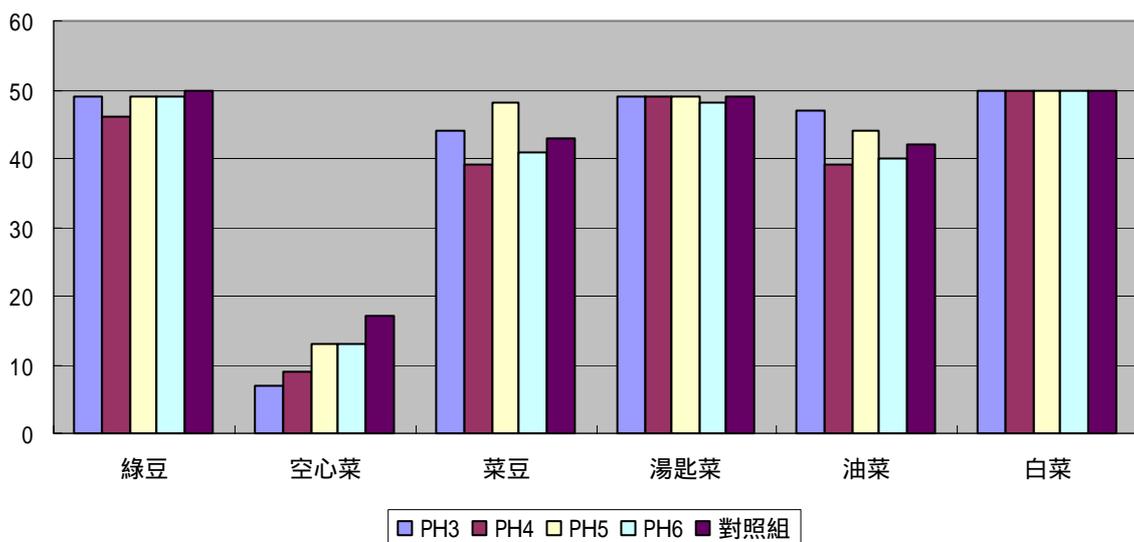
1. 種子播種第三天發芽率以白菜最高，幾乎完全發芽，綠豆次之。
2. 觀察綠豆和油菜時，發芽率有呈「W」字形的現象。（在 PH3、PH5、PH7 有增加的趨勢，而 PH4、PH6 則受到影響）
3. 空心菜是實驗中最有規律的，呈現「樓梯式」減少。（隨 PH 值 發芽率 有 的趨勢）

第四天發芽率：以胚根長超過 1mm 才算發芽（單位：顆）

| 發芽率 | 綠豆 | 空心菜 | 菜豆 | 湯匙菜 | 油菜 | 白菜 |
|-----|----|-----|----|-----|----|----|
| PH3 | 49 | 7 | 44 | 49 | 47 | 50 |
| PH4 | 46 | 9 | 39 | 49 | 39 | 50 |
| PH5 | 49 | 13 | 48 | 49 | 44 | 50 |
| PH6 | 49 | 13 | 41 | 48 | 40 | 50 |
| 對照組 | 50 | 17 | 43 | 49 | 42 | 50 |

表三 不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響（第四天）

植物種植第四天發芽率比較表



圖三 不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響（第四天）

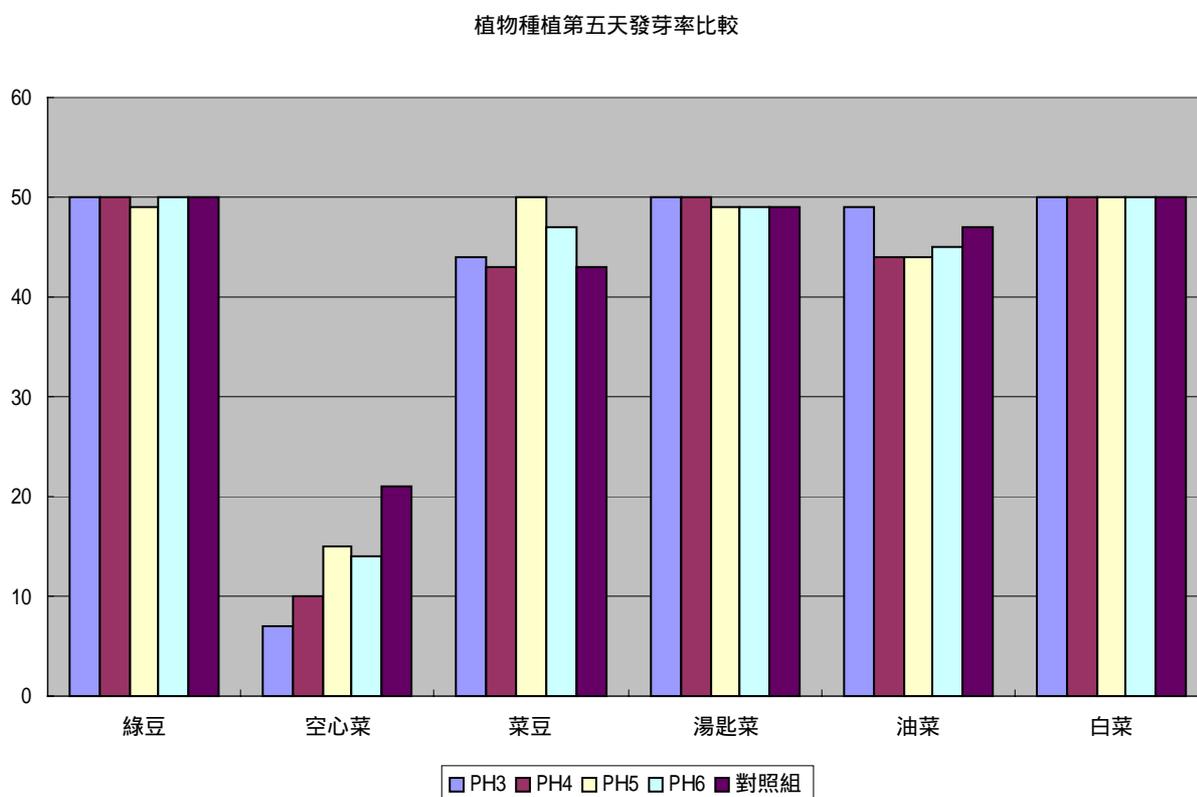
結果說明：

1. 觀察各種發芽率發現白菜到了第四天已全部發芽，湯匙菜、綠豆發芽率也很高，可能是這幾種植物較易培養且不受酸性影響發芽。
2. 空心菜是較不易培養的植物。

第五天發芽率：以胚根長超過 1mm 才算發芽（單位：顆）

| 發芽率 | 綠豆 | 空心菜 | 菜豆 | 湯匙菜 | 油菜 | 白菜 |
|-----|----|-----|----|-----|----|----|
| PH3 | 50 | 7 | 44 | 50 | 49 | 50 |
| PH4 | 50 | 10 | 43 | 50 | 44 | 50 |
| PH5 | 49 | 15 | 50 | 49 | 44 | 50 |
| PH6 | 50 | 14 | 47 | 49 | 45 | 50 |
| 對照組 | 50 | 21 | 43 | 49 | 47 | 50 |

表四 不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響（第五天）



圖四 不同 P H 值的模擬酸雨溶液對發芽率的影響（第五天）

結果說明：

1. 觀察播種後第五天發芽情形，幾乎完全發芽。
2. 空心菜是較不易發芽的植物，且發芽率在 PH3 時最低。

實驗二 A：植物生長過程之紀錄與觀察

根的生長觀察與紀錄（連續三天）

| 綠豆種子發芽實驗 | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Ph=7 | Ph=7 | Ph=7 | Ph=6 | Ph=6 | Ph=6 | Ph=5 | Ph=5 | Ph=5 | Ph=4 | Ph=4 | Ph=4 | Ph=3 | Ph=3 | Ph=3 |
| 編號 | 4月 22日 | 4月 23日 | 4月 24日 |
| 1 | 12 | 23 | 43 | 12 | 22 | 43 | 11 | 20 | 41 | 13 | 20 | 48 | 11 | 25 | 50 |
| 2 | 11 | 24 | 65 | 11 | 21 | 44 | 13 | 26 | 46 | 12 | 21 | 48 | 10 | 22 | 55 |
| 3 | 11 | 30 | 42 | 10 | 22 | 37 | 10 | 22 | 42 | 13 | 22 | 35 | 10 | 22 | 45 |
| 4 | 11 | 26 | 42 | 10 | 20 | 50 | 10 | 22 | 45 | 10 | 22 | 52 | 10 | 16 | 50 |
| 5 | 11 | 27 | 35 | 10 | 20 | 42 | 11 | 22 | 56 | 14 | 20 | 55 | 10 | 22 | 51 |
| 6 | 10 | 21 | 54 | 12 | 27 | 49 | 11 | 18 | 57 | 10 | 22 | 40 | 13 | 20 | 43 |
| 7 | 10 | 25 | 51 | 15 | 26 | 34 | 11 | 20 | 41 | 10 | 20 | 47 | 12 | 20 | 44 |
| 8 | 11 | 23 | 60 | 10 | 20 | 60 | 11 | 17 | 43 | 11 | 19 | 22 | 12 | 18 | 46 |
| 9 | 10 | 23 | 50 | 11 | 18 | 41 | 11 | 25 | 42 | 10 | 18 | 32 | 12 | 17 | 59 |
| 10 | 11 | 20 | 32 | 11 | 17 | 33 | 11 | 23 | 54 | 10 | 17 | 28 | 11 | 24 | 36 |
| 11 | 11 | 25 | 52 | 12 | 20 | 42 | 11 | 17 | 38 | 10 | 15 | 43 | 12 | 18 | 34 |
| 12 | 14 | 22 | 55 | 12 | 23 | 25 | 12 | 23 | 41 | 11 | 15 | 58 | 10 | 25 | 39 |
| 13 | 10 | 25 | 44 | 10 | 20 | 43 | 10 | 18 | 37 | 10 | 16 | 52 | 8 | 18 | 50 |
| 14 | 10 | 27 | 52 | 10 | 17 | 54 | 11 | 17 | 43 | 10 | 16 | 50 | 12 | 20 | 50 |
| 15 | 10 | 27 | 43 | 10 | 27 | 42 | 10 | 16 | 46 | 6 | 16 | 36 | 10 | 20 | 62 |
| 16 | 10 | 24 | 43 | 11 | 20 | 42 | 8 | 22 | 45 | 7 | 15 | 45 | 12 | 18 | 53 |
| 17 | 10 | 25 | 58 | 10 | 21 | 51 | 9 | 18 | 37 | 7 | 15 | 42 | 12 | 18 | 49 |
| 18 | 12 | 20 | 53 | 11 | 17 | 42 | 9 | 14 | 41 | 8 | 17 | 10 | 10 | 20 | 56 |
| 19 | 15 | 20 | 55 | 10 | 22 | 43 | 10 | 20 | 48 | 10 | 16 | 35 | 11 | 17 | 52 |
| 20 | 10 | 25 | 45 | 11 | 20 | 39 | 6 | 16 | 50 | 8 | 17 | 25 | 8 | 20 | 51 |
| 21 | 10 | 27 | 35 | 11 | 20 | 25 | 7 | 12 | 51 | 7 | 16 | 45 | 10 | 20 | 42 |
| 22 | 10 | 19 | 52 | 10 | 20 | 24 | 7 | 10 | 23 | 7 | 19 | 25 | 8 | 22 | 61 |
| 23 | 12 | 24 | 45 | 11 | 21 | 35 | 7 | 18 | 34 | 7 | 17 | 35 | 10 | 21 | 43 |
| 24 | 12 | 25 | 54 | 10 | 19 | 27 | 7 | 15 | 50 | 5 | 20 | 35 | 6 | 19 | 36 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|----|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|----|-----|------|------|
| 25 | 11 | 23 | 47 | 10 | 18 | 39 | 7 | 18 | 32 | 7 | 25 | 43 | 7 | 19 | 53 |
| 26 | 11 | 18 | 42 | 10 | 17 | 41 | 6 | 14 | 34 | 5 | 19 | 35 | 8 | 16 | 47 |
| 27 | 10 | 20 | 56 | 10 | 16 | 32 | 6 | 16 | 53 | 7 | 18 | 25 | 7 | 17 | 17 |
| 28 | 10 | 21 | 50 | 10 | 17 | 41 | 7 | 15 | 13 | 8 | 18 | 43 | 10 | 13 | 51 |
| 29 | 10 | 22 | 35 | 9 | 15 | 36 | 10 | 13 | 32 | 10 | 18 | 35 | 13 | 18 | 44 |
| 30 | 8 | 22 | 53 | 9 | 18 | 38 | 7 | 13 | 37 | 7 | 18 | 50 | 5 | 14 | 53 |
| 31 | 10 | 25 | 26 | 9 | 17 | 34 | 7 | 18 | 25 | 6 | 15 | 28 | 7 | 21 | 57 |
| 32 | 10 | 20 | 25 | 12 | 16 | 27 | 5 | 17 | 42 | 6 | 17 | 32 | 6 | 15 | 33 |
| 33 | 10 | 20 | 48 | 11 | 15 | 48 | 6 | 12 | 17 | 5 | 18 | 30 | 6 | 16 | 52 |
| 34 | 10 | 20 | 24 | 10 | 12 | 42 | 5 | 14 | 24 | 6 | 15 | 43 | 7 | 17 | 49 |
| 35 | 10 | 18 | 35 | 7 | 17 | 44 | 6 | 17 | 21 | 6 | 19 | 46 | 7 | 18 | 45 |
| 36 | 10 | 17 | 45 | 8 | 15 | 51 | 6 | 13 | 32 | 6 | 13 | 25 | 7 | 14 | 16 |
| 37 | 10 | 23 | 45 | 8 | 16 | 47 | 6 | 11 | 34 | 6 | 18 | 48 | 3 | 15 | 46 |
| 38 | 10 | 22 | 65 | 7 | 17 | 46 | 7 | 16 | 23 | 6 | 13 | 35 | 4 | 13 | 54 |
| 39 | 9 | 15 | 40 | 7 | 15 | 11 | 6 | 16 | 35 | 6 | 15 | 21 | 6 | 15 | 39 |
| 40 | 7 | 18 | 30 | 5 | 12 | 51 | 5 | 15 | 43 | 7 | 15 | 45 | 5 | 13 | 36 |
| 41 | 11 | 20 | 53 | 6 | 15 | 59 | 6 | 16 | 41 | 6 | 11 | 37 | 4 | 13 | 26 |
| 42 | 8 | 16 | 50 | 5 | 13 | 56 | 6 | 12 | 37 | 6 | 11 | 22 | 5 | 15 | 38 |
| 43 | 7 | 16 | 55 | 6 | 16 | 57 | 7 | 18 | 57 | 6 | 16 | 45 | 4 | 8 | 13 |
| 44 | 5 | 16 | 35 | 4 | 18 | 53 | 8 | 12 | 27 | 5 | 8 | 22 | 2 | 5 | 12 |
| 45 | 7 | 10 | 52 | 4 | 13 | 47 | 5 | 11 | 28 | 2 | 11 | 13 | 2 | 5 | 10 |
| 平均 | 10.2 | 21.7 | 46 | 9.5 | 18.4 | 41.5 | 8.2 | 16.8 | 38.6 | 7.9 | 16.9 | 37 | 8.3 | 17.4 | 43.3 |

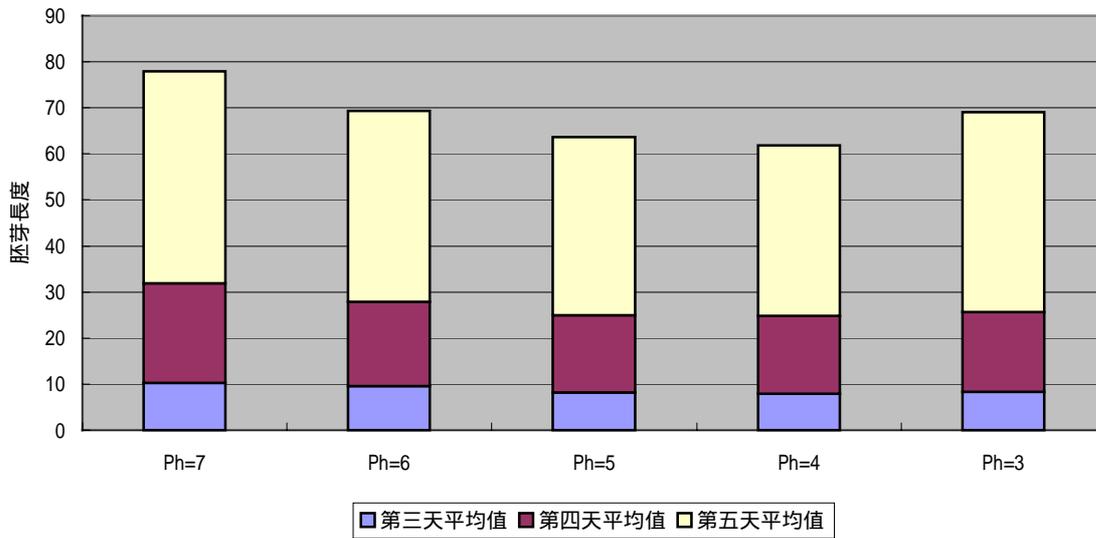
(單位：公分)

綠豆種子發芽實驗胚根生長平均長度

| | Ph=7 | Ph=6 | Ph=5 | Ph=4 | Ph=3 |
|------------|------|------|------|------|------|
| 第三天 平均值 | 10.2 | 9.5 | 8.2 | 7.9 | 8.3 |
| 第四天 平均值 | 21.7 | 18.4 | 16.8 | 16.9 | 17.4 |
| 第五天 平均值 | 46 | 41.5 | 38.6 | 37 | 43.3 |

(單位：公分)

綠豆發芽實驗胚根長度



結果說明：

1. 以綠豆胚根的平均長度來說，生長最快的為 PH7，PH3 次之。
2. 第四天觀察綠豆胚根的長度隨隨 PH 值 長度的增加有 的趨勢，但 PH3 有稍微上升的現象。
3. 推測在綠豆發芽初期酸性物質對其胚根長度影響並不顯著。

綠豆葉的生長觀察與紀錄

| 生長情形 | Ph=7 | Ph=6 | Ph=5 | Ph=4 | Ph=3 |
|----------------------|------|---------------|---------------|----------|----------|
| 第二天 | 未出現 | 未出現 | 未出現 | 未出現 | 未出現 |
| 第三天 露出嫩葉數目 | 21 | 9 | 2 | 5 | 21 |
| 第四天 露出嫩葉數目 | 49 | 27 | 23 | 41 | 34 |
| 第五天 移植至花盆 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| 第十五天 (2002年3月26日) | 良好 | 良好 | 良好 | 部份葉片出現枯萎 | 部份葉片出現枯萎 |
| 第十八天 (2002年3月29日) | 良好 | 良好 | 良好 | 部份植株葉片枯萎 | 部分植株死亡 |
| 第二十二天 (2002年4月2日) | 良好 | 少部份葉片 出現枯萎 | 少部份葉片 出現枯萎 | 大部份植株死亡 | 植株死亡 |

表五 綠豆生長過程之紀錄與觀察

結果說明：

1. 由第三天嫩葉露出數目來看，雖然隨酸性 而 ，但 PH3 的嫩葉數和對照組相同，所以其影響並不顯著。
2. 到了第 15 天時，PH4 和 PH3 的葉子出現枯萎的情況，而且情況一直惡化。
3. 由實驗推測植物生長越大時，可能需要較多的水分但是酸性物質會阻礙植物水分的吸收，實驗中以 PH3 時植物出現枯萎的現象最明顯。



3月11日種植，15日移盆經模擬酸雨處理，目前（3月26日）左邊PH3和PH4有少部分植株枯萎



3月29日左邊第二盆PH4有少部分植株枯萎，左邊第一盆PH3有部分植株死亡



4月2日左邊 PH3 和 PH4 二盆在模擬酸雨澆淋 22 天後，植株死亡



4月2日經 PH3 溶液處理 22 天後，植株死亡



4月2日經 PH4 溶液處理 22 天後，植株大部分死亡

實驗二 B：酸雨對植物發育葉片面積與植株高度之影響

酸雨對植物植株高度的影響

| 植株號碼 \ 組別 | Ph=7 | Ph=6 | Ph=5 | Ph=4 | Ph=3 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 16.5 | 14.1 | 17.1 | 14.9 | 13.2 |
| 2 | 13.1 | 17.8 | 13.7 | 12.9 | 10.7 |
| 3 | 16.9 | 15.4 | 14.6 | 13.7 | 15.5 |
| 4 | 16.6 | 16.1 | 13.9 | 11.8 | 14.3 |
| 5 | 15.4 | 14.5 | 15.4 | 17 | 13.7 |
| 6 | 14.2 | 14.7 | 15.9 | 14.4 | 12.2 |
| 7 | 13.8 | 15.3 | 13.6 | 11.1 | 15.1 |
| 8 | 16.3 | 10.9 | 16.4 | 15.7 | 14 |
| 平均植株高度 | 15.34 | 14.85 | 15.07 | 13.94 | 13.59 |

(單位：公分)

表六 酸雨對植物發育之葉片植株高度之影響

結果說明：

1. 觀察植株高度發現植物經 PH3、PH4 溶液澆淋後，植株高度有下降的現象
2. PH6 的植株高度差異很大

模擬酸雨對植物葉片面積的影響：

| 植株號碼 \ 組別 | Ph=7 | Ph=6 | Ph=5 | Ph=4 | Ph=3 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 650.5 | 512.5 | 475.5 | 616 | 475.5 |
| 2 | 269 | 491.5 | 256.5 | 339 | 275 |
| 3 | 596 | 439 | 470.5 | 299.5 | 338 |
| 4 | 301.5 | 688 | 415 | 475.5 | 507 |
| 5 | 437 | 524 | 408.5 | 429.5 | 386.5 |
| 6 | 343 | 562 | 621.5 | 434 | 398.5 |
| 7 | 323.7 | 471 | 311 | 214 | 397.5 |
| 8 | 439 | 263.5 | 520 | 377 | 477 |
| 平均葉片面積 | 419.96 | 493.94 | 434.81 | 398.06 | 406.87 |

(單位：平方公釐)

表七酸雨對植物發育之葉片面積之影響

結果說明：

1. 觀察各組平均葉片面積發現，植物經 PH3、PH4 溶液澆淋後，平均葉片面積有隨 PH 而下降的現象。
2. 對照組的葉片面積各植株差異很大，PH3 的葉片面積減少的反而不多。

模擬酸雨對植物平均根長度的影響：

| 組別 植株號碼 | Ph=7 | Ph=6 | Ph=5 | Ph=4 | Ph=3 |
|------------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2.9 | 3.3 | 3.5 | 4.1 | 5.2 |
| 2 | 5.3 | 4.3 | 4.9 | 6.4 | 5.1 |
| 3 | 5.9 | 3.8 | 6 | 5.9 | 5.9 |
| 4 | 3.5 | 3.4 | 3.3 | 5.7 | 5.7 |
| 5 | 2.8 | 4.2 | 3.2 | 5.4 | 2.3 |
| 6 | 4.2 | 5.5 | 3.5 | 6.9 | 3.9 |
| 7 | 3.7 | 2.3 | 3.6 | 3.1 | 4.9 |
| 8 | 5.7 | 4.1 | 5.6 | 2.9 | 3.6 |
| 平均根長度 | 4.25 | 3.86 | 4.2 | 5.05 | 4.57 |

(單位：公分)

表八模擬酸雨對植物平均根長度之影響

結果說明：

1. 觀察各組平均根長度發現，植物經 PH3、PH4 溶液澆淋後，平均根長度有增加的現象

實驗二 C：模擬酸雨對植物氣孔數目之影響

| 植株號碼 \ 組別 | Ph=7 | Ph=6 | Ph=5 | Ph=4 | Ph=3 |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|
| 1 | 15 | 13 | 15 | 12 | 11 |
| 2 | 16 | 19 | 14 | 13 | 10 |
| 3 | 13 | 14 | 11 | 13 | 12 |
| 4 | 17 | 14 | 12 | 12 | 13 |
| 5 | 17 | 15 | 13 | 11 | 11 |
| 6 | 16 | 13 | 11 | 11 | 12 |
| 7 | 15 | 17 | 14 | 11 | 9 |
| 8 | 16 | 19 | 12 | 13 | 8 |
| 平均氣孔數目 | 15.62 | 15.5 | 12.75 | 12 | 10.75 |

(單位：個)

表九模擬酸雨對植物氣孔數目之影響

結果說明：

1. 觀察各組平均氣孔數目發現，植物經 PH3、PH4 溶液澆淋後，平均氣孔數目有隨 PH 而下降的現象。
2. 觀察 PH3 實驗組後發現其氣孔有較大的現象。

實驗二 D：酸雨對植株重量之影響

| 植株號碼 \ 組別 | Ph=7 | Ph=6 | Ph=5 | Ph=4 | Ph=3 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| 1 | 3.5 | 2.6 | 2 | 5.5 | 2 |
| 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 |
| 3 | 5 | 3.5 | 5 | 1 | 2 |
| 4 | 2 | 4 | 2 | 1.5 | 4 |
| 5 | 2 | 3.5 | 3.6 | 5.5 | 3.5 |
| 6 | 2.5 | 4.5 | 4.5 | 3.5 | 3 |
| 7 | 2 | 3.5 | 2.5 | 1 | 4.5 |
| 8 | 3 | 1.5 | 4.5 | 3.5 | 3.5 |
| 平均植株重量 | 2.63 | 3.39 | 3.14 | 2.94 | 2.94 |

(單位：公克)

表十酸雨對植株重量之影響

結果說明：

1. 觀察各組平均植株重量，除對照組外有隨 PH 而減少的現象，不過差異不大。

實驗三：酸雨影響之防治

將綠豆播種進行模擬酸雨實驗並添加制酸劑後，開始觀察紀錄（3月30日）

| 時間 \ 組別 | 對照組 不添加 | 石灰水 Ph=10 | 灰燼水溶液 Ph=10 | 肥皂水 Ph=10 | 氨水 Ph=10 |
|---------------------|------------|--------------|----------------|--------------|-------------|
| 第五天露出嫩葉 數目(4月4日) | 5 | 25 | 26 | 27 | 23 |
| 第十二天露出嫩 葉數目(11日) | 46 | 49 | 50 | 50 | 50 |
| 第十四天 (4月13日) | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| 第十七天 (4月16日) | 少部分植株枯萎 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| 第二十天 (4月19日) | 植株枯萎 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| 第二十四天 (4月23日) | 植株死亡 | 良好 | 良好 | 少部分植株枯 萎 | 良好 |

表十一制酸劑之添加對模擬酸雨之影響

結果說明：

1. 進行酸雨影響防制實驗時，觀察植物生長情形，對照組利用 PH3 溶液澆淋的綠豆，在種植後第十七天出現部分葉片枯萎的現象，至第二十四天時標記 PH3 處理綠豆死亡，實驗組則生長良好，且以石灰水和灰燼水溶液澆淋的生長最好。



4月19日右邊只做PH3澆淋盆栽在模擬酸雨澆淋20天後，植株枯萎



4月23日右邊只做PH3澆淋盆栽在模擬酸雨澆淋24天後，植株死亡

六、討論

1. 酸雨就是雨水中的酸鹼值（一般以 PH 值表示）低到某一程度的意思（ $\text{PH} < 5$ ）。
2. 酸雨成分主要是硫氧化物和氮氧化物，這些物質在大氣中會因太陽光與氧、水份等相互作用而氧化形成硫酸和硝酸等物質，因此在模擬酸雨實驗中使用硫酸和硝酸溶液配製各種 PH 值的溶液。
3. 在配製各種 PH 值的溶液時，開始時使用實驗室中的廣用試紙當酸性濃度指示劑，但是發現我們對於顏色的判定卻出現不同意見，在求助老師之後我們使用電子式 PH 值測量器，對實驗加以量化並提高實驗正確性。
4. 在實驗一中不同 PH 值的模擬酸雨對植物發芽率的影響，實驗材料中除空心菜偏低外，菜豆、油菜超過 80%，綠豆、湯匙菜超過 98%，白菜更高達 100%發芽，但是相同植物間因不同 PH 值的影響則不易找到關連，因此早期酸性的環境對植物發芽影響不大，且各種植物發芽適合之環境不相同。
5. 實驗二 A 觀察植物根部生長，植物根部的生長有隨酸性增加而減緩的現象，但用 PH3 溶液澆淋的綠豆在第三天胚根長度卻增加。
6. 綠豆胚根生長並非是直線的，而是彎曲的，在測量上不是很方便和老師討論後使用細線量測，果然準確性和方便性都增加了。
7. 實驗二 A 觀察植物葉生長時發現 PH3 和 PH4 溶液澆淋的綠豆，在種植後第十五天出現部分葉片枯萎的現象，PH3 枯萎情形比 PH4 嚴重，至第十七天時標記 PH3 溶液處理綠豆葉片枯萎死亡。
8. 實驗二 B①觀察不同 PH 值的模擬酸雨對植株高度的影響時，發現植株高度隨 PH 值而 ，這和我們的預期相符合。
9. 實驗二 B②觀察不同 PH 值的模擬酸雨對葉片面積的影響時，發現植物葉片面積隨 PH 值而 的現象，但是差異並不明顯。
10. 實驗二 B③觀察不同 PH 值的模擬酸雨對平均根長度的影響時，記錄發現種植二週後之根長度隨 PH 值而 的現象，推測可能植物想吸收更多的水分。
11. 氣孔受酸侵蝕會閉合，因此可藉以比較植物受酸雨侵蝕程度，也可以在和光合作用量之數據做比較，由實驗二 B④觀察不同 PH 值的模擬酸雨對氣孔數目的影響時，發現

氣孔數目隨 PH 值 而 ，且 PH3 的氣孔較小推測可能植物經模擬酸雨澆淋為避免水分散失的方法之一。

12. 實驗二 B⑤觀察不同 PH 值的模擬酸雨對植株重量的影響分析（因植物行光合作用產生葡萄糖，而多餘的部分會轉為澱粉儲存，因此藉由植株重量可推測酸雨對植物進行光合的影響），得知植株重量隨 PH 值 而減少。
13. 實驗二 B⑤中對照組的重量也減輕了，經討論後發現原來是同學在取樣時，發現經 PH3 處理之綠豆有部分已枯萎，未枯萎者皆較大株，而 PH7 大小株皆有因此重量差異大，平均後重量反而變輕了。
14. 經討論後建議實驗二可使用半數綠豆（25 顆）種植，或使用較大盆栽以增加環境負荷量，減少如討論 13 之實驗誤差發生。
15. 實驗三進行酸雨影響防制實驗時觀察植物葉生長時，發現對照組利用 PH3 溶液澆淋的綠豆，在種植後第十七天出現部分葉片枯萎的現象，至第二十四天時標記 PH3 處理綠豆葉片死亡，實驗組則生長良好且以石灰水和灰燼水溶液澆淋的生長最好，我們覺得這是酸鹼中和作用的結果。
16. 實驗三再調配制酸劑時發現石灰水 PH 值最高可配置 12.7，但再加石灰 PH 也不上升，反之加水則 PH 下降，肥皂水可配置 PH = 10 之溶液，不過植物最早死亡無法做為制酸劑，灰燼也可配置 PH = 10 之溶液但很難再增加 PH 值了，因此調配了相同 PH 值的制酸劑（PH = 10），且效果都不錯。
17. 實驗二、三的培養土使用蛭石，因其成分固定較有機土易控制，且本身為礦物空隙大，拔根觀察時不易傷害植物，這是我們請教園藝店老闆的心得。

七、結論

1. 酸雨成分主要是硫酸和硝酸，由於人類大量使用煤炭、石油等石化燃料經燃燒後產生硫氧化物及氮氧化物，未經妥善處理，這些物質飄散到大氣中，滲入雲層經化學反應變成硫酸離子和硝酸離子，導致強酸性降雨，或乾燥粒狀物下降的現象。
2. 酸雨不但會造成土壤酸化、降低植物發芽率（大部分植物）、還會妨礙植物樹葉的新陳代謝（降低光和作用的效率），抑制植物的生長使植物枯死。
3. 添加日常生活中常見之各種制酸劑（石灰水、灰燼溶液、肥皂水、氨水），比較防制效果分析發現各種制酸劑（鹼性溶液）皆能延長綠豆生命，但以灰燼溶液效果較好，石灰水和氨水次之，肥皂水處理後第二十四天後死亡。（推測灰燼溶液對植物傷害最小適合於野外實施，在我們這裡農民於稻作後焚燒稻草改變土質便是很好的例子；考慮實施的方便性與安全性，在外國則使用石灰噴灑來降低危害）
4. 討論如何降低與防止酸雨的危害，我們覺得最有效的方法為管制硫氧化物和氮氧化物的排出，包括：
 - （1）汽機車加裝觸媒轉化器
 - （2）使用無鉛汽油
 - （3）訂定嚴格的管制標準，以迫使污染源採行排煙脫硝及排煙脫硫的設備。
5. 酸雨是一種科技性的產物，也是大地反擊的一種現象，深處台灣的我們除了在面對土石流、地震、缺水、等問題外，更應思考一下如何防制此一全球性的問題，如此才能擁有一個乾淨的生活環境。

八、參考資料：

1. 國立編譯館《生物下冊》第十二章，第二節環境污染之空氣污染，台北國立編譯館。
2. 楊永華、林中一、張穗蘋 自然科學概論 東大圖書館
3. 於幼華 環保小百科 台灣英文雜誌社有限公司
4. 有機蔬菜《有機報告壹》 漢聲文化事業有限公司
5. 何其仁、楊偉正、宋妤 蔬菜 地景企業股份有限公司
6. 有澤重雄 文 月美佳代美 圖 飼養栽培魔法書 喜鵲出版社
7. 吳俊宗 顯微鏡觀察 光復書局企業股份有限公司