

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 地球科學科

第二名

030511

鐘年發福－探討模擬洞穴對鐘乳石生長之影響

學校名稱：臺北市立蘭雅國民中學

|                                               |                             |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| 作者：<br><br>國三 楊子萱<br><br>國三 溫千藝<br><br>國三 葉家瑜 | 指導老師：<br><br>王思琪<br><br>郭青鵬 |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|

關鍵詞：鐘乳石、喀斯特地形、碳酸鈣

## 摘要

本實驗主要探討鐘乳石在不同環境下生長的比較。我們發現溼度高的環境中鐘乳石外型細、風大的環境中鐘乳石外型粗。溫度高的環境適合鐘乳石生長，濃度高、縫隙大、濕度高、風大、溫度高的環境下鐘乳石生長較快。

## 壹、研究動機

暑假拿到自然課本時，想要了解地科課程究竟有哪些。當我們看到「6-4 台灣地區的板塊與地貌」中鐘乳石的照片時，不禁好奇為什麼外型有大有小，有長有短。於是上網查詢相關資料而發現了不少問題。我們好奇風速、濕度和溫度會不會影響鐘乳石的生長呢？於是開始了這項研究。

## 貳、研究目的

- 一、設計模擬鐘乳石生長的裝置。
- 二、探討溶液濃度對鐘乳石生長的影響(實驗一)。
- 三、探討岩石顆粒對鐘乳石生長的影響(實驗二)。
- 四、探討濕度高低對鐘乳石生長的影響(實驗三)。
- 五、探討風速對鐘乳石生長的影響(實驗四)。
- 六、探討溫度高低對鐘乳石生長的影響(實驗五)。
- 七、將模擬研究結果與實際資料做比較。

## 參、研究設備與器材

### 一、器材(圖 3-1)

|      |     |     |      |
|------|-----|-----|------|
| 燒杯   | 量筒  | 滴管  | 培養皿  |
| 木塊   | 鐵架  | 電風扇 | 電子秤  |
| 溫度計  | 溼度計 | 玻璃棒 | 刮勺   |
| 廚房紙巾 | 棉布  | 量瓶  | PP 板 |
| 標籤貼紙 | 寶特瓶 | 橡皮筋 | 投影片  |
| 磨粉機  | 熱熔槍 | 吸管  | 保鮮膜  |



圖 3-1 實驗器材

### 二、藥品(圖 3-2)

碳酸鈉( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )  
氯化鈣( $\text{CaCl}_2$ )  
大理岩( $\text{CaCO}_3$ )

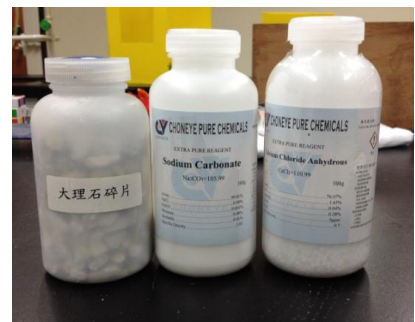


圖 3-2 藥品

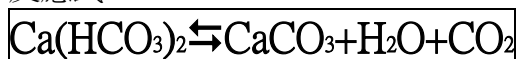
## 肆、研究過程與方法

### 一、研究探討

(一) 在實驗開始前，我們必須先了解鐘乳石是如何形成的。

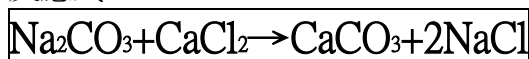
#### 1. 自然環境中的鐘乳石

- 鐘乳石主要是由碳酸鈣沉積形成。石灰岩是一種碳酸鈣岩石，被含有二氧化碳的水分解後，生成碳酸氫鈣溶液。
- 水溶液順岩石而下，直到抵達邊緣。如果岩石在洞穴頂部，水將滴下。當溶液和空氣接觸，產生逆向的化學反應，碳酸鈣被沉澱出來。
- 反應式：



#### 2. 模擬環境中的鐘乳石

- 由於上述反應式產生碳酸鈣需要花上較長的時間，因此我們將碳酸鈉溶液與氯化鈣溶液混和，使碳酸鈣沉澱。
- 反應式：



(二) 為了比較實驗結果與自然環境中的鐘乳石之差異，我們找了世界上較著名的鐘乳石洞穴來進行探討。

表 4-1 世界鐘乳石

| 洞穴         | 溫度    |       | 濕度     | 風速      | 其他          |
|------------|-------|-------|--------|---------|-------------|
|            | 最暖月   | 最冷月   |        |         |             |
| 臺灣墾丁社頂公園   | 28.3℃ | 20.5℃ | 73.83% | 3.5m/s  | 30 年 1 公分   |
| 中國雲南昆明     | 19℃   | 7.6℃  | 74%    | 2.2m/s  | 20 年 1 立方公分 |
| 英屬直布羅陀聖米高  | 25℃   | 13℃   | 68.1%  | 9.57m/s |             |
| 海地皮芒港瑪莉珍   | 32.4℃ | 18.1℃ | 83%    | 3.67m/s |             |
| 美國亞利桑那州卡屈納 | 25℃   | 7.8℃  | 99%    | 1.16m/s | 46 年 1 立方公分 |

### 二、實驗設計

#### (一) 實驗裝置

##### 1. 鐘乳石模擬洞穴

##### (1) 第一代裝置(圖 4-1)

- 特性：將裝有**未定量**大理岩的**漏斗**卡入萬用夾，木塊置於鐵架底座旁，裝有溶液的燒杯放在木塊上，以**毛線**為媒介，將溶液與漏斗連接起。
- 優點：器材方便取得。
- 缺點：吸溶液的速度較慢，且易蒸發。



圖 4-1 第一代裝置

##### (2) 第二代裝置(圖 4-2)

- 特性：將裝有 **100 公克**大理岩的**寶特瓶頭**卡入萬用夾，木塊緊靠於鐵架底座旁，裝有溶液的燒杯放在木塊上，裝有溶液的燒杯和寶特瓶頭以保鮮膜包住，以免溶液在吸的過程中就蒸發，以**衛生紙條**為媒介，將溶液與漏斗連接起。
- 優點：吸溶液速度快，不易蒸發。
- 缺點：器材較不方便取得。



圖 4-2 第二代裝置

## 2. 自製器材-衛生紙條(圖 4-3、4-4)

- (1) 測試紗布(圖 4-3 左)、衛生紙條(圖 4-3 中)、毛線(圖 4-3 右)的吸水性，衛生紙條吸的速度最快，所以選擇以衛生紙條作為輸送溶液至寶特瓶頭中的工具。
- (2) 將廚房紙巾裁成兩半。
- (3) 剪完後的紙巾對摺再對摺後重疊 1cm，即可將紙巾捲為長條狀。
- (4) 於長條外包上保鮮膜，便完成衛生紙條的製作。



圖 4-3 吸水性實驗



圖 4-4 衛生紙條

## 3. 自製器材-觀察箱(圖 4-5)

- (1) 將 PP 板剪裁為  $37 \times 30 \text{ cm}^2$  一片和  $37 \times 80 \text{ cm}^2$  與  $30 \times 80 \text{ cm}^2$  各兩片。
- (2) 其中一片  $37 \times 80 \text{ cm}^2$  中間裁下  $20 \times 64 \text{ cm}^2$  裝上透明投影片以便觀察。
- (3) 把 PP 板以熱熔槍黏合。
- (4) 用水沖黏合處檢查是否有漏水現象，如果有漏水的現象則用油土將其密封。
- (5) 將漏水部分以黏土補上再重複步驟(4)直到沒無漏水為止。



圖 4-5 觀察箱

## 4. 自製器材-風洞(圖 4-6、圖 4-7)

- (1) 利用 PP 板製作符合電扇大小的缺口。
- (2) 以吸管將缺口補滿，並將每根吸管間用熱溶膠黏合，以防吸管在實驗中被風吹出。
- (3) 利用電風扇吹風洞並檢驗吸管是否掉落，如果有掉落再用熱溶膠黏合。



圖 4-6 風洞架設圖

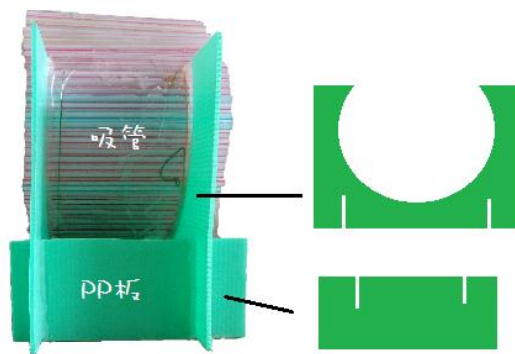


圖 4-7 風洞分解圖

## 5. 模擬鐘乳石生長的裝置(圖 4-8)

- (1) 將裝有 100 公克大理岩的寶特瓶頭凹陷處卡入萬用夾。
- (2) 木塊**緊靠**於鐵架底座旁。
- (3) 裝有溶液的燒杯和寶特瓶頭以保鮮膜包住，以免溶液在吸的過程中就蒸發。
- (4) 以衛生紙條為媒介，將溶液與瓶頭連接起。

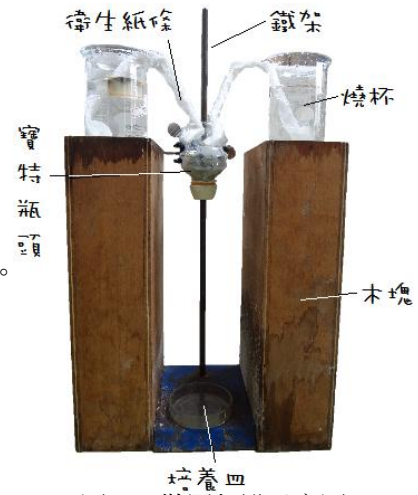


圖 4-8 裝置架設示意圖

## (二) 實驗步驟

1. **實驗一**：探討溶液濃度對鐘乳石生長的影響
  - (1) 調配 0.4M、0.8M、1.2M、1.6M 和 2M 的氯化鈣與碳酸鈉溶液(圖 4-9)。
  - (2) 將溶液倒入燒杯中。
  - (3) 實驗持續 30 小時，並記錄生長結果。

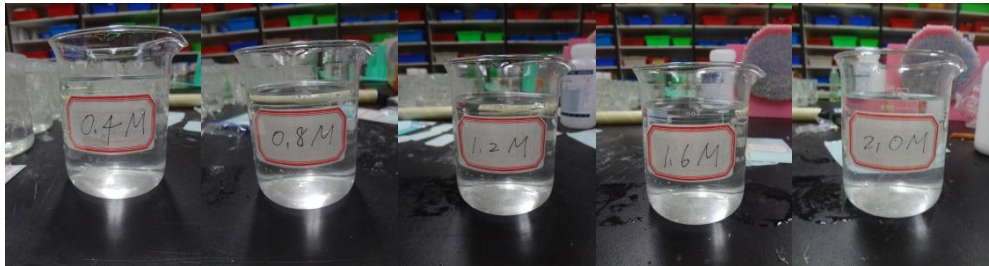


圖 4-9 0.4M、0.8M、1.2M、1.6M、2M 溶液

2. **實驗二**：探討岩石顆粒對鐘乳石生長的影響
  - (1) 為了測量不同顆粒大小的大理岩縫隙大小所以進行了以下實驗
    - a. 把不同顆粒大小的大理岩裝至相同 100ml 燒杯的 80ml 處
    - b. 取 100ml 量筒的水倒入燒杯中，直到水 80ml 的刻度線
    - c. 測量 100ml 量筒剩餘的水量
    - d. 結果：超大顆粒縫隙  $53\text{cm}^3$ 、大顆粒縫隙  $42\text{cm}^3$ 、中顆粒縫隙  $36\text{cm}^3$ 、小顆粒縫隙  $25\text{cm}^3$ 、粉末縫隙  $18\text{cm}^3$ 。

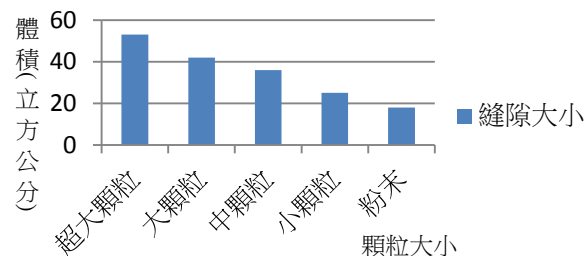


圖 4-10 縫隙大小

- (2) 將大理岩顆粒分為超大顆粒(縫隙  $53\text{cm}^3$ )、大顆粒(縫隙  $42\text{cm}^3$ )、中顆粒(縫隙  $36\text{cm}^3$ )、小顆粒(縫隙  $25\text{cm}^3$ )、粉末(縫隙  $18\text{cm}^3$ )四種大小(圖 4-11)。
- (3) 把不同顆粒大小的大理岩放置寶特瓶頭。
- (4) 實驗持續 30 小時，並記錄生長結果。





圖 4-11 超大顆粒、大顆粒、中顆粒、小顆粒、粉末

3. **實驗三**：探討濕度高低對鐘乳石生長的影響

- (1) 分別將鐘乳石模擬洞穴放到觀察箱中(圖 4-12)，並在觀察箱中分別放置乾燥劑以及水。
- (2) 正常情況下空氣中的溼度為 65~70%；而在觀察箱中放置乾燥劑則會使模擬環境濕度維持在 70~75% 之間；在觀察箱中放置水會使模擬環境濕度升高至 75% 以上。
- (3) 實驗持續 30 小時，並記錄生長結果



圖 4-12 觀察箱和裝置

4. **實驗四**：探討風速對鐘乳石生長的影響

- (1) 架設電風扇乙台於鐘乳石模擬洞穴前(圖 4-13)，電風扇和裝置中間放置風洞，以確保風的流動方向為直線。
- (2) 開啟電風扇電源，測試強風(2.5m/s)和弱風(1.9m/s)對鐘乳石生長的影響。
- (3) 實驗持續 30 小時，並記錄生長結果。

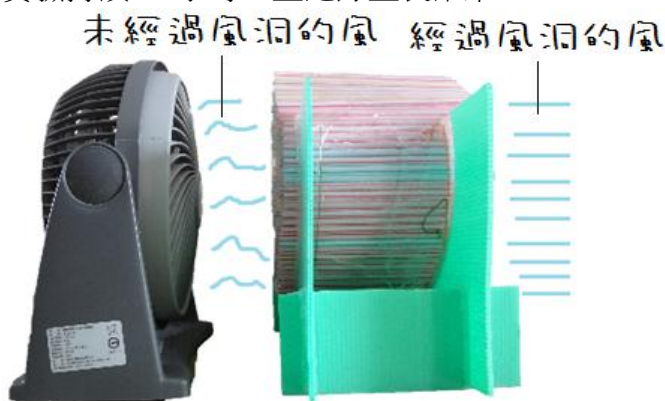


圖 4-13 風洞架設示意圖

5. **實驗五**：探討溫度高低對鐘乳石生長的影響

- (1) 於夏季與冬季架設裝置，夏季氣溫維持在 27℃，冬季則維持在 10℃。
- (2) 架設裝置持續 30 小時並記錄生長結果。

## 伍、研究結果

一、對照組：2M、大顆粒(縫隙  $53\text{cm}^3$ )、正常環境濕度(65~70%)、無風(0m/s)、夏季(27°C)



圖 5-1 0hr

圖 5-2 8hr

圖 5-3 9hr

圖 5-4 10hr



圖 5-5 11hr

圖 5-6 12hr

圖 5-7 13hr

圖 5-8 14hr



圖 5-9 15hr

圖 5-10 16hr

圖 5-11 17hr

圖 5-12 18hr





圖 5-13 19hr

圖 5-14 20hr

圖 5-15 21hr

圖 5-16 22hr



圖 5-17 23hr

圖 5-18 24hr

圖 5-19 24.5hr

圖 5-20 25hr



圖 5-21 25.5hr

圖 5-22 26hr

圖 5-23 26.5hr

圖 5-24 27hr



圖 5-25 27.5hr

圖 5-26 28hr

圖 5-27 28.5hr

圖 5-28 29hr





圖 5-29 29.5hr

圖 5-30 30hr

圖 5-31 30.5hr

圖 5-32 31hr



圖 5-33 31.5hr

圖 5-34 32hr

## 二、**實驗一**：探討溶液濃度對鐘乳石生長的影響

(一)操縱變因：溶液濃度(0.4M、0.8M、1.2M、1.6M、2M)

(二)控制變因：環境溫度(夏季 27°C)、環境濕度(正常 65~70%)、岩石顆粒(大顆粒縫隙 53cm<sup>3</sup>)、風速(無風 0m/s)

(三)研究結果：

2. 實驗結果列如表 5-1、5-2 及圖 5-36、5-37、5-38、5-39，鐘乳石之生長如圖 5-35 所示。
3. **0.4M**：從表 5-1、5-2 中可以看出前 8 小時 0.4M 都沒有生長出鐘乳石，到了 30 小時只生長了不到 1 公分的鐘乳石，寬度也只有其他濃度剛生長時的寬度。由圖 5-35 的(a)可以看出來 0.4M 的結果幾乎是未生長的狀態。
4. **2M**：由表 5-1 及圖 5-36、5-37 可以看出 2M 較其他濃度早生長出鐘乳石，且生長最快、最長，從表 5-2 也可以看出 2M 的結果最寬。
5. 由表 5-1、5-2 可以發現濃度越高，30 小時內鐘乳石生長得越長、越寬。



(a)0.4M (b)0.8M (c)1.2M (d)1.6M (e)2M

圖 5-35 結果照片

表 5-1 不同溶液濃度下鐘乳石長度生長（單位：公分）

| 濃度<br>時間 | 0.4M | 0.8M | 1.2M | 1.6M | 2M<br>(對照組) |
|----------|------|------|------|------|-------------|
| 第一日 1hr  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.23        |
| 第一日 2hr  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.43        |
| 第一日 3hr  | 0.00 | 0.23 | 0.28 | 0.36 | 0.92        |
| 第一日 4hr  | 0.00 | 0.35 | 0.37 | 0.57 | 1.57        |
| 第一日 5hr  | 0.00 | 0.35 | 0.43 | 0.63 | 1.62        |
| 第一日 6hr  | 0.00 | 0.36 | 0.55 | 0.65 | 1.78        |
| 第一日 7hr  | 0.00 | 0.37 | 0.76 | 0.92 | 2.21        |
| 第一日 8hr  | 0.00 | 0.38 | 0.82 | 1.06 | 2.38        |
| 第二日 25hr | 0.51 | 0.46 | 1.03 | 1.79 | 4.96        |
| 第二日 26hr | 0.51 | 0.52 | 1.08 | 1.79 | 5.11        |
| 第二日 27hr | 0.54 | 0.58 | 1.12 | 1.81 | 5.36        |
| 第二日 28hr | 0.57 | 0.63 | 1.16 | 1.82 | 5.79        |
| 第二日 29hr | 0.59 | 0.70 | 1.23 | 1.83 | 6.38        |
| 第二日 30hr | 0.62 | 0.73 | 1.26 | 1.83 | 6.93        |

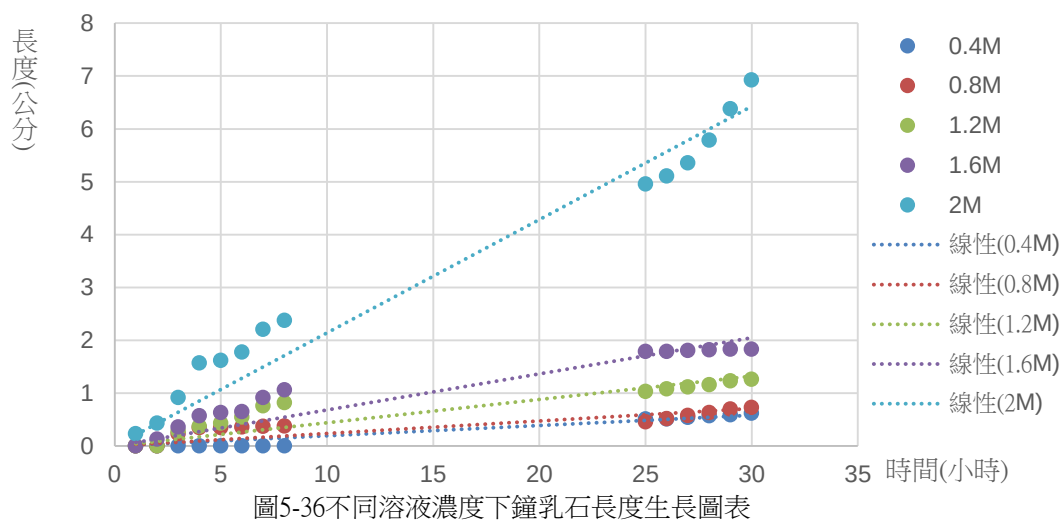


圖5-36不同溶液濃度下鐘乳石長度生長圖表

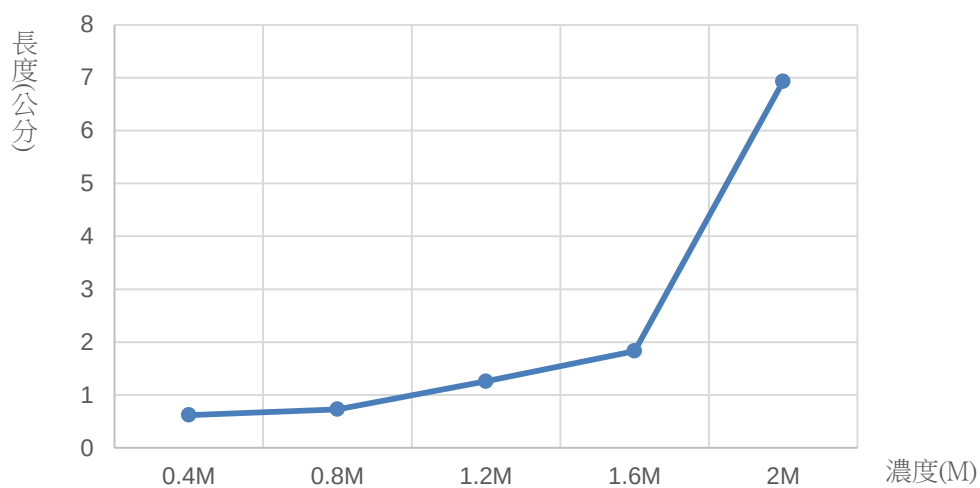


圖5-37不同溶液濃度下鐘乳石長度生長圖表

表 5-2 不同溶液濃度下鐘乳石寬度生長（單位：公分）

| 濃度<br>時間 | 0.4M | 0.8M | 1.2M | 1.6M | 2M<br>(對照組) |
|----------|------|------|------|------|-------------|
| 第一日 1hr  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.42        |
| 第一日 2hr  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.41 | 0.48        |
| 第一日 3hr  | 0.00 | 0.38 | 0.41 | 0.43 | 0.53        |
| 第一日 4hr  | 0.00 | 0.42 | 0.46 | 0.61 | 0.63        |
| 第一日 5hr  | 0.00 | 0.44 | 0.46 | 0.62 | 0.63        |
| 第一日 6hr  | 0.00 | 0.46 | 0.49 | 0.64 | 0.65        |
| 第一日 7hr  | 0.00 | 0.49 | 0.51 | 0.68 | 0.72        |



|          |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|
| 第一日 8hr  | 0.00 | 0.51 | 0.53 | 0.69 | 0.72 |
| 第二日 25hr | 0.41 | 0.52 | 0.85 | 1.01 | 1.09 |
| 第二日 26hr | 0.42 | 0.56 | 0.86 | 1.06 | 1.09 |
| 第二日 27hr | 0.42 | 0.63 | 0.86 | 1.06 | 1.12 |
| 第二日 28hr | 0.43 | 0.72 | 0.91 | 1.11 | 1.14 |
| 第二日 29hr | 0.43 | 0.83 | 0.91 | 1.11 | 1.14 |
| 第二日 30hr | 0.43 | 0.88 | 0.91 | 1.12 | 1.16 |

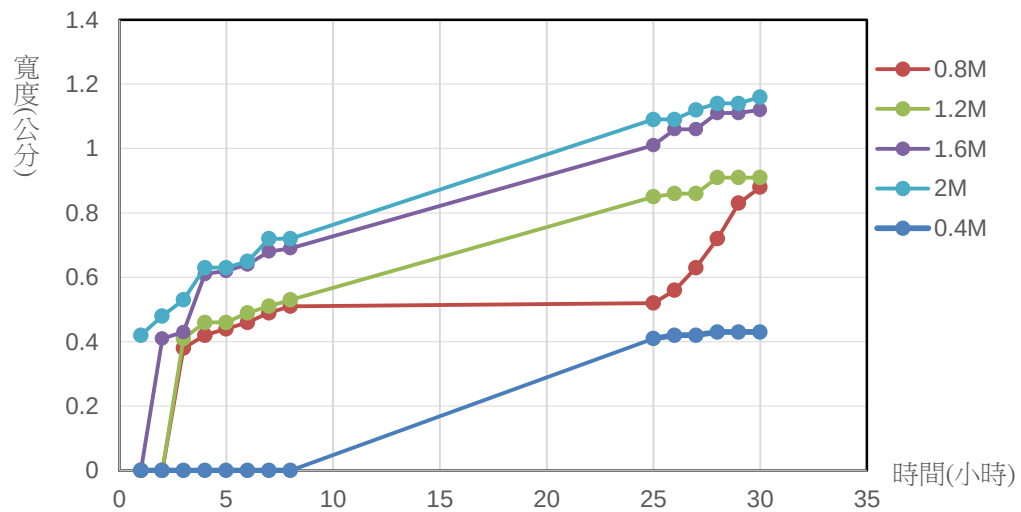


圖5-38不同溶液濃度下鐘乳石寬度生長圖表

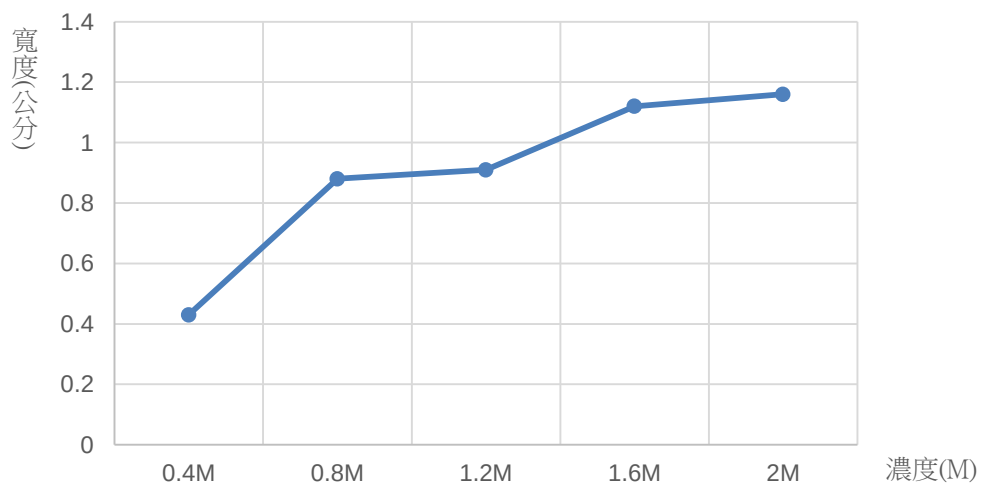


圖5-39不同溶液濃度下鐘乳石寬度生長圖表

### 三、實驗二：探討岩石顆粒大小對鐘乳石生長的影響

(一) 操縱變因：岩石顆粒(超大顆粒縫隙  $53\text{cm}^3$ 、大顆粒縫隙  $42\text{cm}^3$ 、中顆粒縫隙  $36\text{cm}^3$ 、小顆粒縫隙  $25\text{cm}^3$ 、粉末縫隙  $18\text{cm}^3$ )

(二)控制變因：環境溫度(夏季 27℃)、環境濕度(正常 65~70%)、風速(無風 0m/s)、溶液濃度(2M)

(三)研究結果：

1. 實驗結果列如表 5-3、5-4 及圖 5-41、5-42、5-43、5-44，鐘乳石之生長如圖 5-40 所示。
2. **小顆粒**：由表 5-3 及圖 5-41、5-42 可以看到從 25 小時開始小顆粒領先了大顆粒，成為最長且長度生長速率最快的一組結果。
3. **大顆粒**：由表 5-3、5-4 及圖 5-41、5-42、5-43、5-44 可以看到在前 8 小時，大顆粒的長度結果是領先其他顆粒大小的，寬度則是在 30 小時中都領先其他顆粒大小。
4. **超大顆粒**：由表 5-3、5-4 及圖 5-41、5-42、5-43、5-44 可以看出超大顆粒長度及寬度皆生長得較小顆粒及大顆粒慢，且超大顆粒在 30 小時內寬度最細。
5. **粉末**：由表 5-3、圖 5-41、5-42 可以看到粉末在前 8 小時都還是領先超大顆粒及中顆粒的，但從 8 小時到 25 小時中間經過了 17 小時卻只生長 0.3 公分，以致最後長度生長結果為所有顆粒大小中最短的。由圖 5-40 中的(e)可以看到粉末的結果生長出了 2 根鐘乳石。



(a)超大顆粒 (b)大顆粒 (c)中顆粒 (d)小顆粒 (e)粉末

圖 5-40 結果照片

表 5-3 不同岩石顆粒大小下鐘乳石長度生長（單位：公分）

| 顆粒大小<br>時間 | 超大顆粒 | 大顆粒<br>(對照組) | 中顆粒  | 小顆粒  | 粉末   |
|------------|------|--------------|------|------|------|
| 第一日 1hr    | 0.08 | 0.23         | 0.13 | 0.11 | 0.18 |
| 第一日 2hr    | 0.19 | 0.43         | 0.27 | 0.25 | 0.43 |
| 第一日 3hr    | 0.32 | 0.92         | 0.53 | 0.47 | 0.76 |
| 第一日 4hr    | 0.43 | 1.57         | 0.68 | 0.61 | 1.07 |
| 第一日 5hr    | 0.51 | 1.62         | 0.76 | 0.74 | 1.13 |
| 第一日 6hr    | 0.73 | 1.78         | 0.83 | 0.86 | 1.15 |
| 第一日 7hr    | 0.82 | 2.21         | 0.94 | 1.25 | 1.15 |
| 第一日 8hr    | 1.13 | 2.38         | 1.26 | 2.32 | 1.23 |

|          |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|
| 第二日 25hr | 3.71 | 4.96 | 2.03 | 6.51 | 1.53 |
| 第二日 26hr | 3.84 | 5.11 | 2.05 | 6.64 | 1.64 |
| 第二日 27hr | 3.92 | 5.36 | 2.05 | 6.95 | 1.75 |
| 第二日 28hr | 4.27 | 5.79 | 2.12 | 7.05 | 1.83 |
| 第二日 29hr | 4.36 | 6.38 | 2.16 | 7.24 | 1.89 |
| 第二日 30hr | 4.57 | 6.93 | 2.18 | 7.33 | 1.93 |

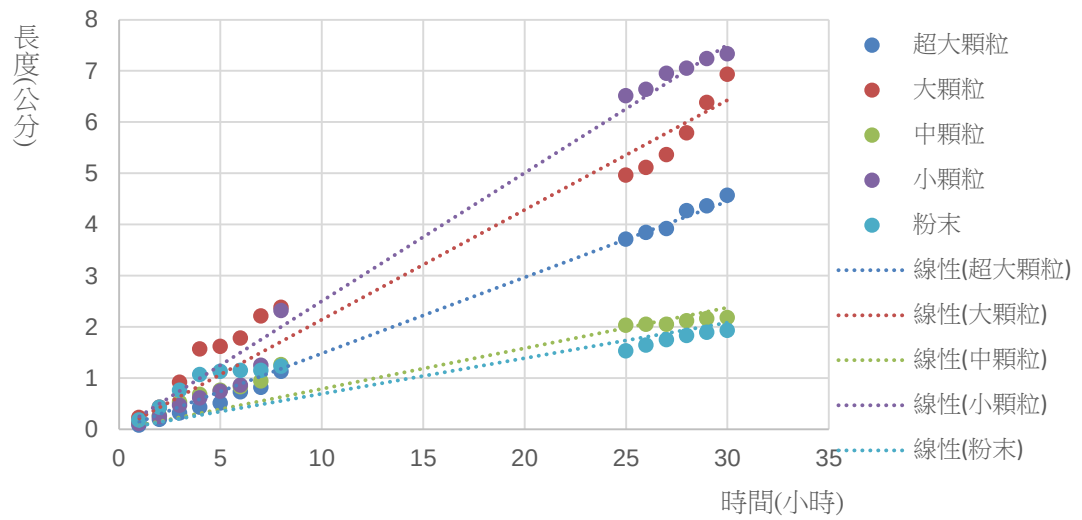


圖5-41不同岩石顆粒大小下鐘乳石長度生長圖表

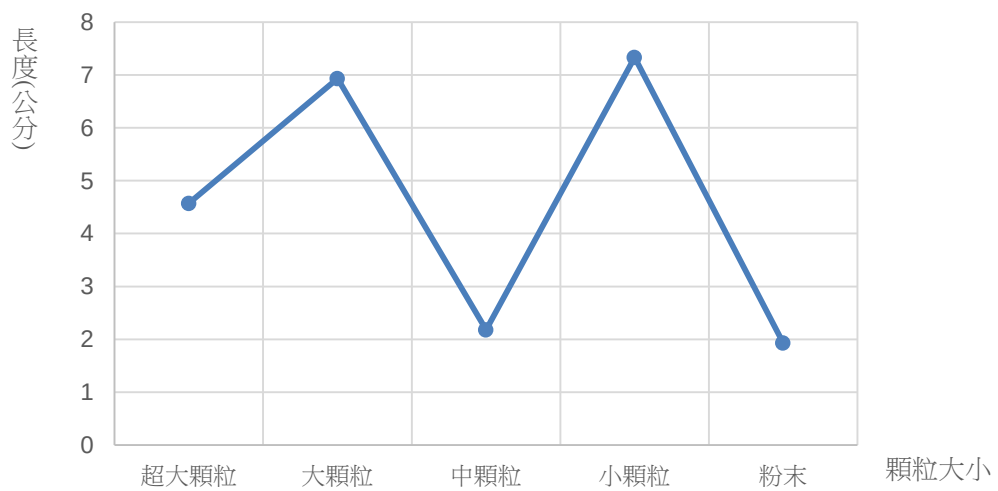


圖5-42不同溶液濃度下鐘乳石寬度生長圖表



表 5-4 不同岩石顆粒大小下鐘乳石寬度生長（單位：公分）

| 時間 \ 顆粒大小 | 超大顆粒 | 大顆粒<br>(對照組) | 中顆粒  | 小顆粒  | 粉末   |
|-----------|------|--------------|------|------|------|
| 第一日 1hr   | 0.41 | 0.42         | 0.36 | 0.38 | 0.31 |
| 第一日 2hr   | 0.41 | 0.48         | 0.38 | 0.42 | 0.31 |
| 第一日 3hr   | 0.42 | 0.53         | 0.40 | 0.44 | 0.31 |
| 第一日 4hr   | 0.42 | 0.63         | 0.41 | 0.46 | 0.32 |
| 第一日 5hr   | 0.44 | 0.63         | 0.43 | 0.48 | 0.38 |
| 第一日 6hr   | 0.44 | 0.65         | 0.48 | 0.48 | 0.42 |
| 第一日 7hr   | 0.46 | 0.72         | 0.48 | 0.52 | 0.53 |
| 第一日 8hr   | 0.47 | 0.72         | 0.52 | 0.54 | 0.55 |
| 第二日 25hr  | 0.48 | 1.09         | 0.54 | 0.55 | 0.58 |
| 第二日 26hr  | 0.48 | 1.09         | 0.54 | 0.55 | 0.62 |
| 第二日 27hr  | 0.48 | 1.12         | 0.55 | 0.55 | 0.65 |
| 第二日 28hr  | 0.52 | 1.14         | 0.56 | 0.55 | 0.65 |
| 第二日 29hr  | 0.52 | 1.14         | 0.56 | 0.55 | 0.69 |
| 第二日 30hr  | 0.53 | 1.16         | 0.56 | 0.55 | 0.73 |

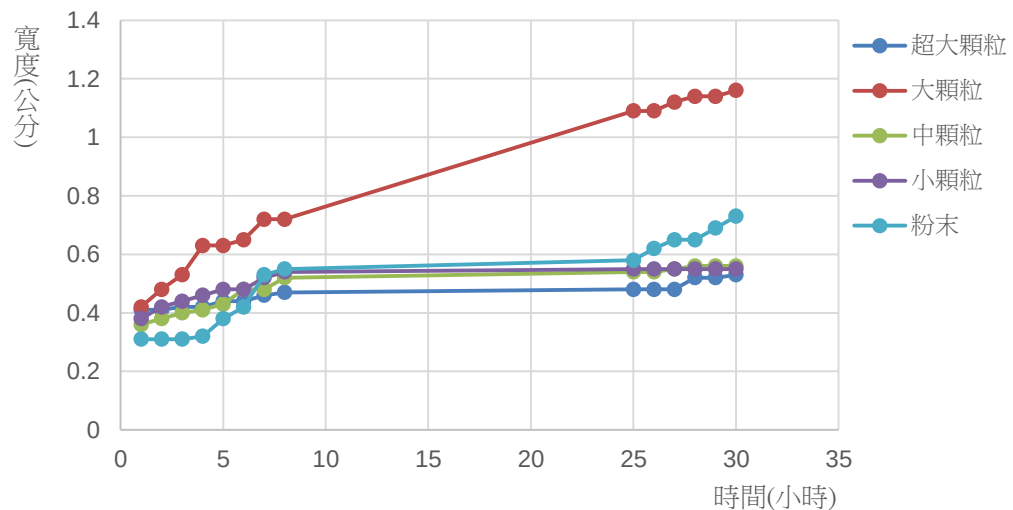
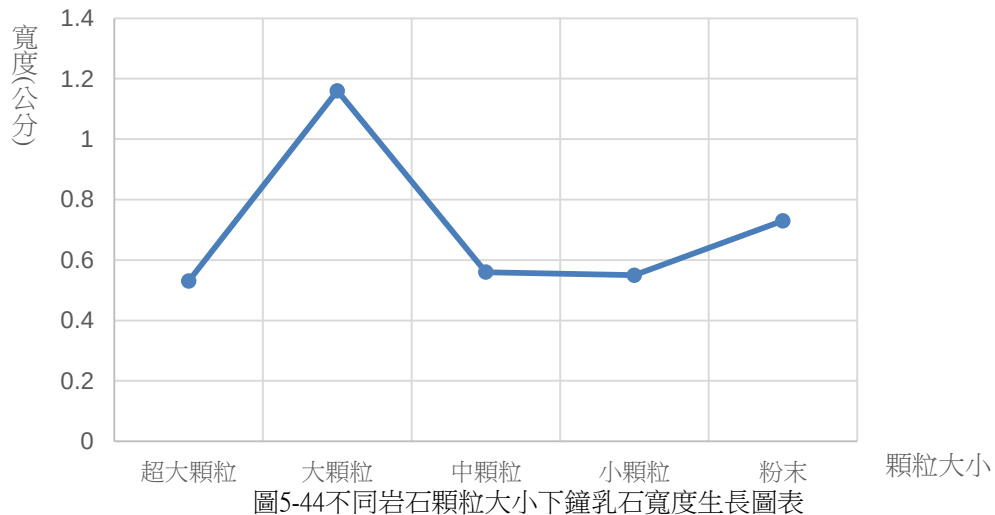


圖5-43不同岩石顆粒大小下鐘乳石寬度生長圖表



#### 四、**實驗三**：探討濕度高低對鐘乳石生長的影響

(一)操縱變因：環境濕度(正常環境 65~70%、乾燥劑 70~75%水 75%以上、)

(二)控制變因：環境溫度(夏季 27℃)、岩石顆粒(大顆粒縫隙 53cm<sup>3</sup>)、風速(無風 0m/s)、溶液濃度(2M)

(三)研究結果：

- 實驗結果列如表 5-5、5-6 及圖 5-46、5-47、5-48、5-49，鐘乳石之生長如圖 5-45 所示。
- 乾燥劑**：由表 5-5、圖 5-46 可以看到乾燥劑的結果生長出來的鐘乳石是最長的，且長度生長速率最快。由表 5-6、圖 5-43 可以看出乾燥劑的結果鐘乳石最細。從圖 5-41 的(a)可以看到乾燥劑的結果是細長型的鐘乳石。
- 水**：由表 5-5、圖 5-42 可以看到水的結果長度最短。
- 正常環境**：由表 5-6、圖 5-43 可以看到正常環境下生長的鐘乳石較觀察箱中兩組來得粗。
- 放置乾燥劑的觀察箱濕度較正常環境高。



(a)乾燥劑  
境

(b)水

(c)正常環  
境

表 5-5 不同濕度下鐘乳石長度生長（單位：公分）

| 時間\濕度    | 乾燥劑   | 水    | 正常環境(對照組) |
|----------|-------|------|-----------|
| 第一日 1hr  | 0.39  | 0.13 | 0.23      |
| 第一日 2hr  | 0.78  | 0.28 | 0.43      |
| 第一日 3hr  | 1.45  | 0.35 | 0.92      |
| 第一日 4hr  | 1.68  | 0.36 | 1.57      |
| 第一日 5hr  | 1.72  | 0.39 | 1.62      |
| 第一日 6hr  | 1.83  | 0.42 | 1.78      |
| 第一日 7hr  | 2.93  | 0.46 | 2.21      |
| 第一日 8hr  | 3.46  | 0.51 | 2.38      |
| 第二日 25hr | 6.52  | 1.08 | 4.96      |
| 第二日 26hr | 7.69  | 1.09 | 5.11      |
| 第二日 27hr | 10.68 | 1.15 | 5.36      |
| 第二日 28hr | 12.32 | 1.19 | 5.79      |
| 第二日 29hr | 16.62 | 1.21 | 6.38      |
| 第二日 30hr | 18.73 | 1.28 | 6.93      |

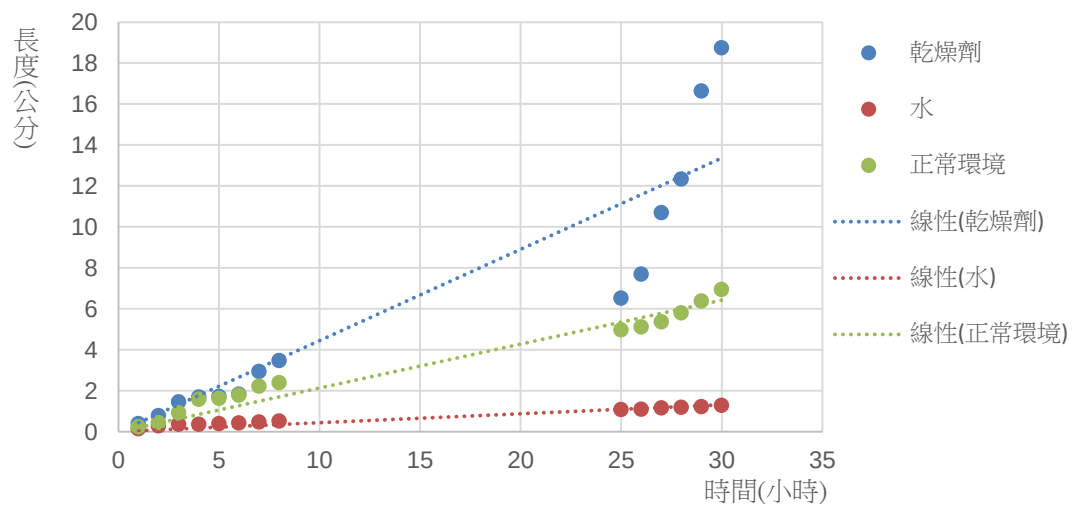


圖5-46不同濕度下鐘乳石長度生長圖表

表 5-6 不同濕度下鐘乳石寬度生長（單位：公分）

| 時間\濕度    | 乾燥劑  | 水    | 正常環境(對照組) |
|----------|------|------|-----------|
| 第一日 1hr  | 0.32 | 0.44 | 0.42      |
| 第一日 2hr  | 0.35 | 0.46 | 0.48      |
| 第一日 3hr  | 0.36 | 0.49 | 0.53      |
| 第一日 4hr  | 0.37 | 0.52 | 0.63      |
| 第一日 5hr  | 0.37 | 0.53 | 0.63      |
| 第一日 6hr  | 0.38 | 0.53 | 0.65      |
| 第一日 7hr  | 0.38 | 0.55 | 0.72      |
| 第一日 8hr  | 0.38 | 0.55 | 0.72      |
| 第二日 25hr | 0.41 | 0.62 | 1.09      |
| 第二日 26hr | 0.41 | 0.63 | 1.09      |
| 第二日 27hr | 0.41 | 0.65 | 1.12      |
| 第二日 28hr | 0.41 | 0.66 | 1.14      |
| 第二日 29hr | 0.43 | 0.66 | 1.14      |
| 第二日 30hr | 0.43 | 0.67 | 1.16      |

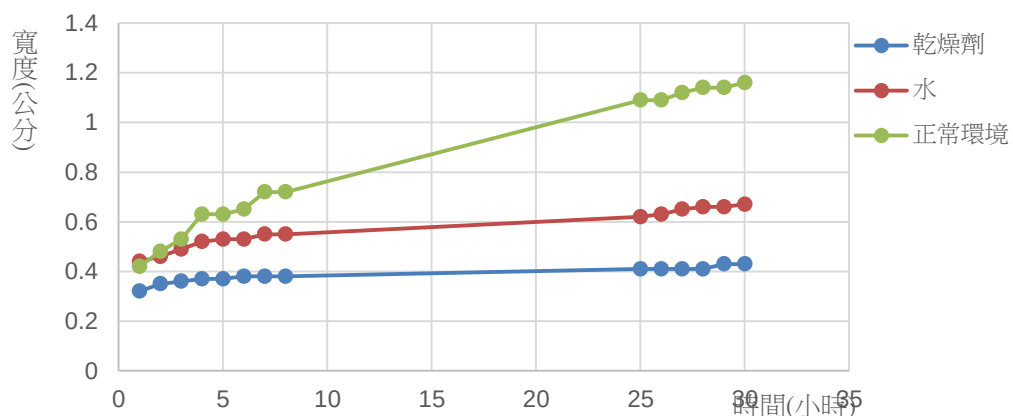


圖5-47不同濕度下鐘乳石寬度生長圖表

#### 五、**實驗四**：探討風速對鐘乳石生長的影響

(一)操縱變因：風速(強風 2.5m/s、弱風 1.9m/s、無風 0m/s)

(二)控制變因：環境溫度(夏季 27℃)、環境濕度(正常 70~75%)、岩石顆粒(大顆粒縫隙 53cm<sup>3</sup>)、溶液濃度(2M)

(三)研究結果：



- 實驗結果列如表 5-7、5-8 及圖 5-50、5-51、5-52、5-53，鐘乳石之生長如圖 5-48 所示。
- 強風**：由表 5-7、5-8 及圖 5-50、5-51、5-52、5-53 可以看到強風下生長的鐘乳石最粗、最長，且生長速率最快。由圖 5-48 中的(a)可以看出在強風下生長的鐘乳石有些微的傾斜，但裝置架設至 48 小時時又會生長回直的且會變得更粗(圖 5-49)。



(a)強風 (b)弱風 (c)無風

圖 5-48 結果照片

圖 5-49 架設 48 小時強風

表 5-7 不同風速下鐘乳石長度生長（單位：公分）

| 風速<br>時間 | 強風   | 弱風   | 無風(對照組) |
|----------|------|------|---------|
| 第一日 1hr  | 0.27 | 0.13 | 0.23    |
| 第一日 2hr  | 0.72 | 0.24 | 0.43    |
| 第一日 3hr  | 1.56 | 0.36 | 0.92    |
| 第一日 4hr  | 2.03 | 0.48 | 1.57    |
| 第一日 5hr  | 2.28 | 0.53 | 1.62    |
| 第一日 6hr  | 2.69 | 0.62 | 1.78    |
| 第一日 7hr  | 3.46 | 0.69 | 2.21    |
| 第一日 8hr  | 4.51 | 0.82 | 2.38    |
| 第二日 25hr | 6.47 | 1.26 | 4.96    |
| 第二日 26hr | 6.53 | 1.26 | 5.11    |
| 第二日 27hr | 6.89 | 1.27 | 5.36    |
| 第二日 28hr | 7.62 | 1.27 | 5.79    |
| 第二日 29hr | 8.77 | 1.30 | 6.38    |
| 第二日 30hr | 9.27 | 1.32 | 6.93    |

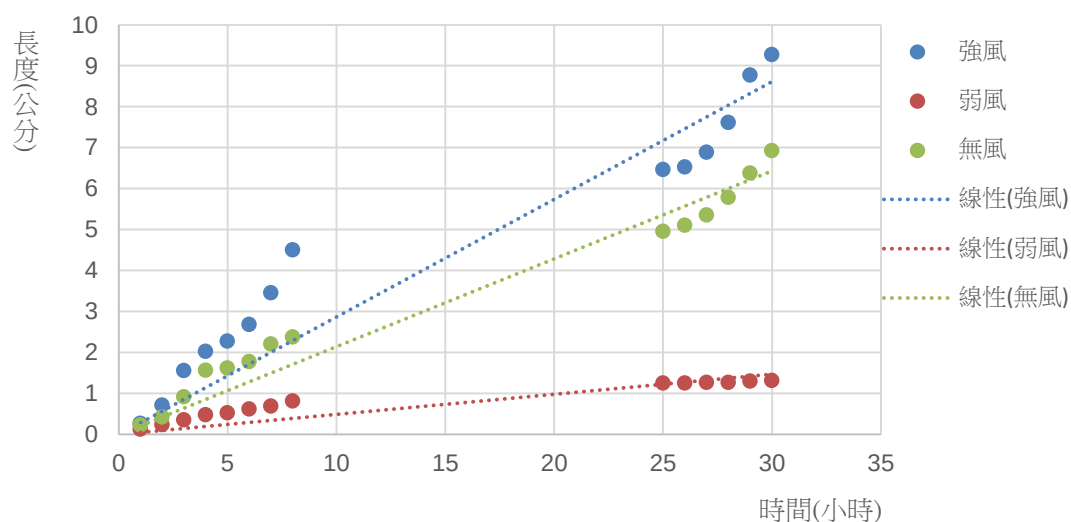


圖5-50不同風速下鐘乳石長度生長圖表

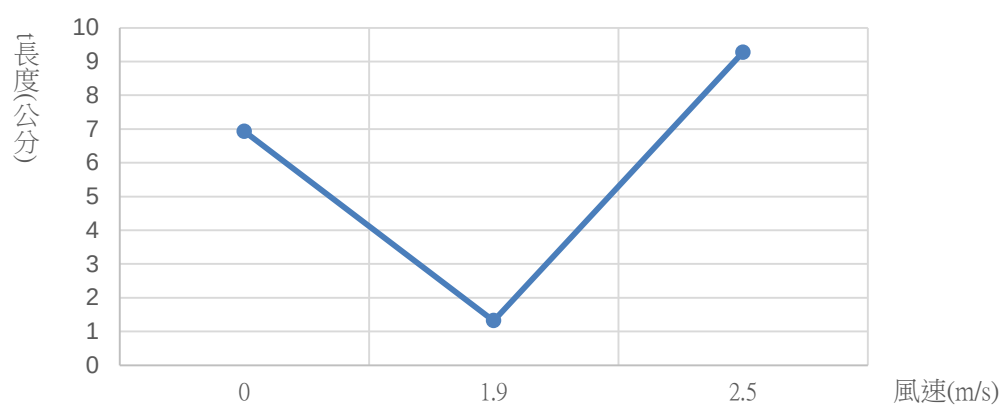


圖5-51不同溶液濃度下鐘乳石長度生長圖表

表 5-8 不同風速下鐘乳石寬度生長（單位：公分）

| 風速<br>時間 | 強風   | 弱風   | 無風(對照組) |
|----------|------|------|---------|
| 第一日 1hr  | 0.49 | 0.36 | 0.42    |
| 第一日 2hr  | 0.49 | 0.39 | 0.48    |
| 第一日 3hr  | 0.56 | 0.41 | 0.53    |
| 第一日 4hr  | 0.67 | 0.42 | 0.63    |
| 第一日 5hr  | 0.69 | 0.43 | 0.63    |
| 第一日 6hr  | 0.76 | 0.46 | 0.65    |
| 第一日 7hr  | 0.82 | 0.48 | 0.72    |
| 第一日 8hr  | 0.83 | 0.48 | 0.72    |

|          |      |      |      |
|----------|------|------|------|
| 第二日 25hr | 1.23 | 0.52 | 1.09 |
| 第二日 26hr | 1.27 | 0.53 | 1.09 |
| 第二日 27hr | 1.39 | 0.53 | 1.12 |
| 第二日 28hr | 1.42 | 0.55 | 1.14 |
| 第二日 29hr | 1.55 | 0.56 | 1.14 |
| 第二日 30hr | 1.67 | 0.56 | 1.16 |

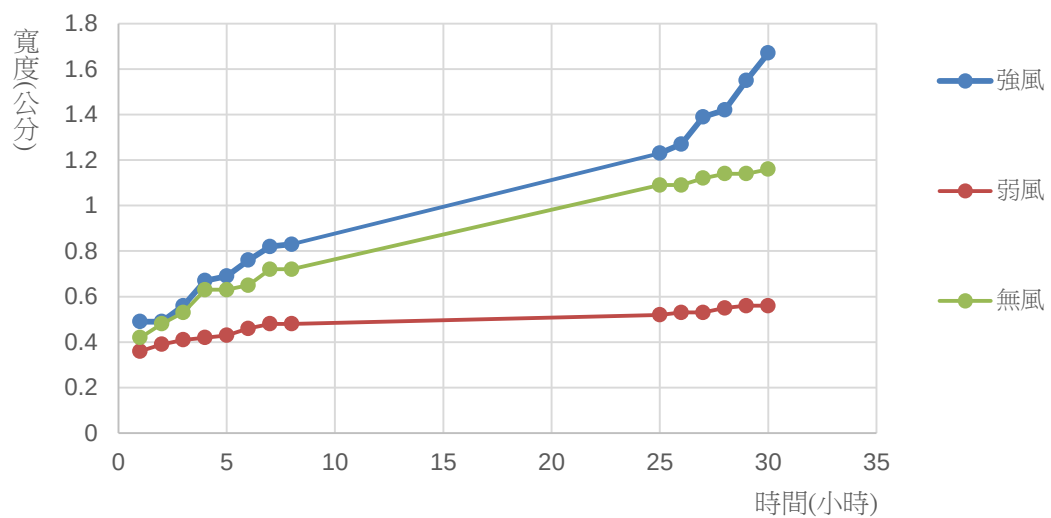


圖5-52不同風速下鐘乳石寬度生長圖表

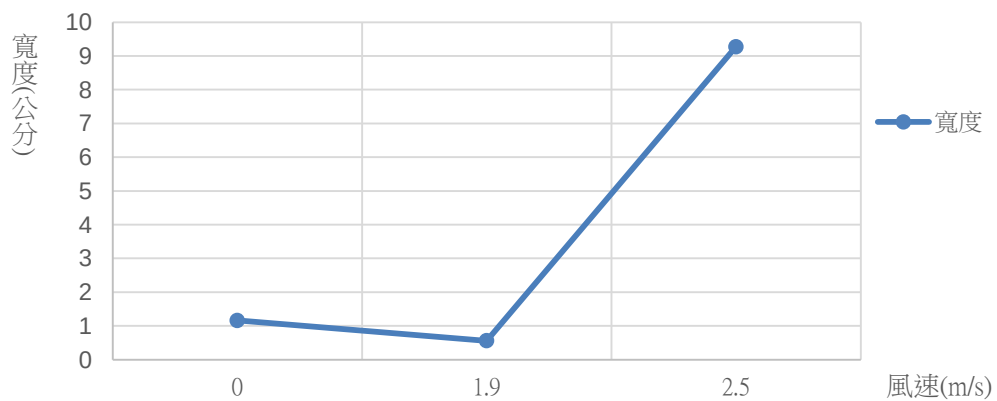


圖5-53不同溶液風速下鐘乳石寬度生長圖表

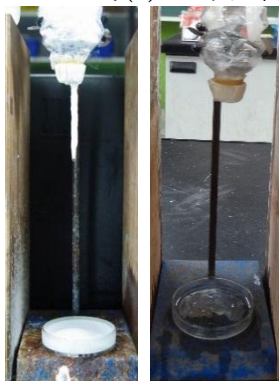
#### 六、**實驗五**：探討溫度高低對鐘乳石生長的影響

(一)操縱變因：環境溫度(夏季 27°C、冬季 10°C)

(二)控制變因：環境濕度(正常 70~75%)、岩石顆粒(大顆粒縫隙 53cm<sup>3</sup>)、風速(無風 0m/s)、溶液濃度(2M)

(三)研究結果：

1. 實驗結果列如表 5-9、5-10 及圖 5-55、5-56、5-57、5-58，鐘乳石之生長如圖 5-54 所示。
2. 夏季：從表 5-9、5-10 及圖 5-55、5-56、5-57、5-58 可以看到夏季生長的鐘乳石無論是長度還是寬度明顯生長得比冬季來得好。
3. 冬季：由表 5-9、圖 5-55、5-56 可以發現冬季鐘乳石在 30 小時中皆未生長。圖 5-54 的(b)也可以看到冬季的結果沒有生長出鐘乳石。



(a)夏季 (b)冬季

圖 5-54 結果照片

表 5-9 不同溫度下之鐘乳石長度生長（單位：公分）

| 時間 \ 溫度  | 夏季(對照組) | 冬季   |
|----------|---------|------|
| 第一日 1hr  | 0.23    | 0.00 |
| 第一日 2hr  | 0.43    | 0.00 |
| 第一日 3hr  | 0.92    | 0.00 |
| 第一日 4hr  | 1.57    | 0.00 |
| 第一日 5hr  | 1.62    | 0.00 |
| 第一日 6hr  | 1.78    | 0.00 |
| 第一日 7hr  | 2.21    | 0.00 |
| 第一日 8hr  | 2.38    | 0.00 |
| 第二日 25hr | 4.96    | 0.00 |
| 第二日 26hr | 5.11    | 0.00 |
| 第二日 27hr | 5.36    | 0.00 |
| 第二日 28hr | 5.79    | 0.00 |
| 第二日 29hr | 6.38    | 0.00 |
| 第二日 30hr | 6.93    | 0.00 |



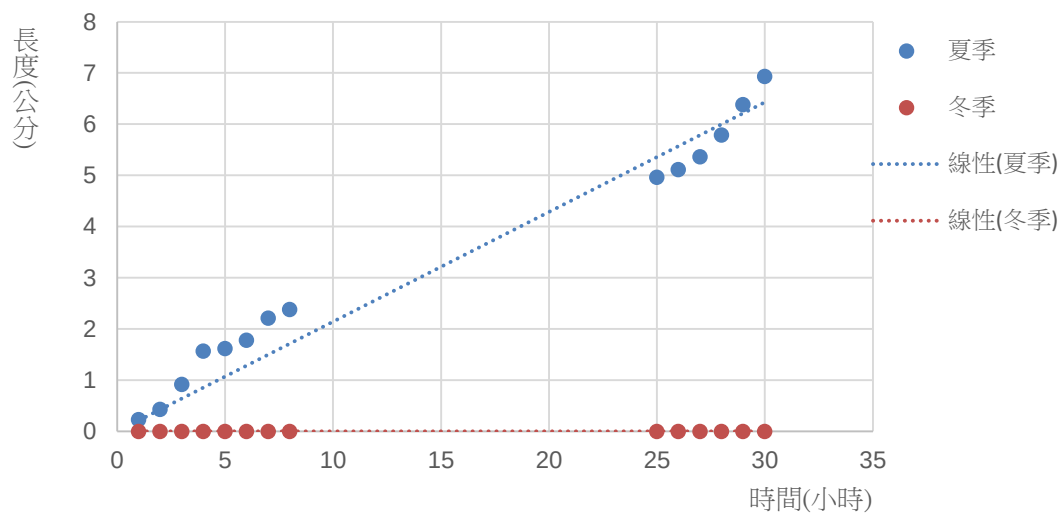


圖5-55不同溫度下鐘乳石長度生長圖表

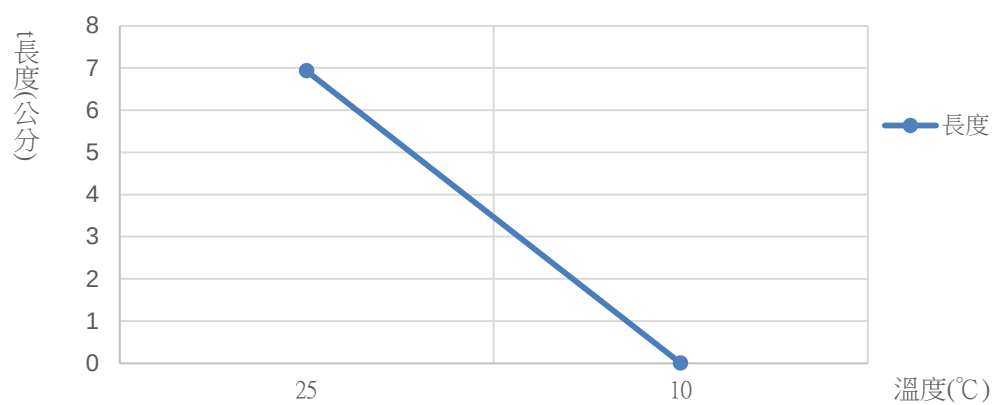


圖5-56不同溫度下鐘乳石長度生長圖表

表 5-10 不同溫度下之鐘乳石寬度生長（單位：公分）

| 時間 \ 溫度 | 夏季(對照組) | 冬季   |
|---------|---------|------|
| 第一日 1hr | 0.42    | 0.00 |
| 第一日 2hr | 0.48    | 0.00 |
| 第一日 3hr | 0.53    | 0.00 |
| 第一日 4hr | 0.63    | 0.00 |
| 第一日 5hr | 0.63    | 0.00 |
| 第一日 6hr | 0.65    | 0.00 |
| 第一日 7hr | 0.72    | 0.00 |
| 第一日 8hr | 0.72    | 0.00 |

|          |      |      |
|----------|------|------|
| 第二日 25hr | 1.09 | 0.00 |
| 第二日 26hr | 1.09 | 0.00 |
| 第二日 27hr | 1.12 | 0.00 |
| 第二日 28hr | 1.14 | 0.00 |
| 第二日 29hr | 1.14 | 0.00 |
| 第二日 30hr | 1.16 | 0.00 |

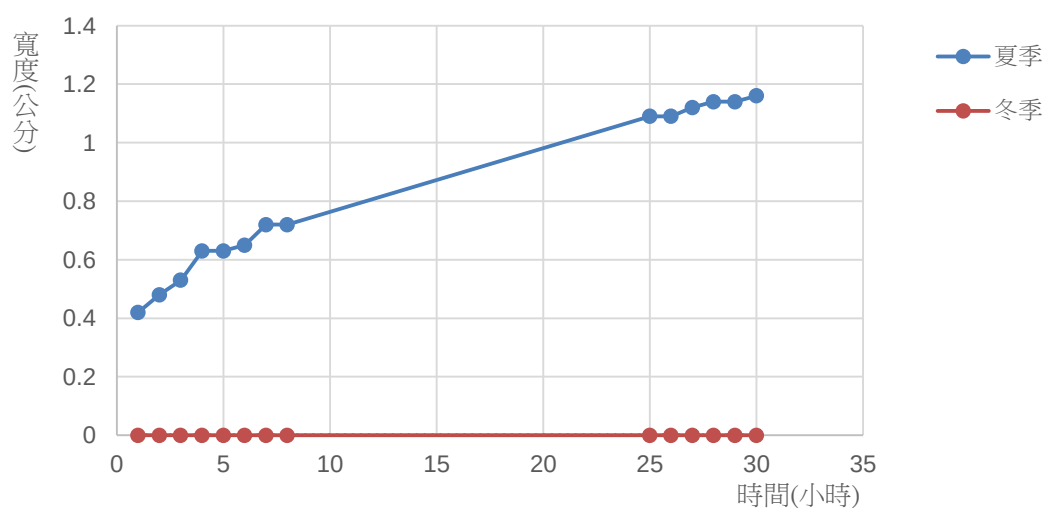


圖5-57不同溫度下鐘乳石寬度生長圖表

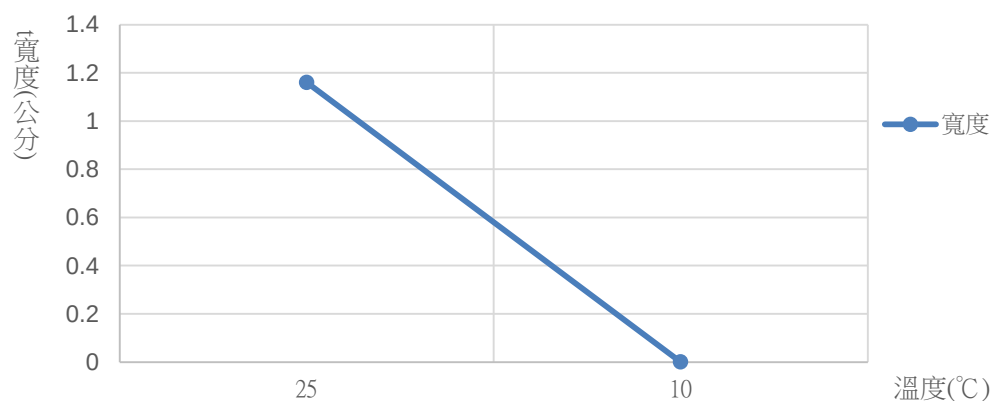


圖5-58不同溫度下鐘乳石寬度生長圖表

## 陸、討論

### 一、**實驗一**：探討溶液濃度對鐘乳石生長的影響

(一)0.4M 的結果幾乎是未生長的狀態，我們認為是因為其濃度過低，導致碳酸鈉和氯化鈣發生有效碰撞的機率降低，所以無法沉澱出鐘乳石。

(二)2M 較其他濃度早生長出鐘乳石，且生長最快、最長、最寬。我們認為濃度較高的碳酸鈉和氯化鈣發生有效碰撞的機率較高，故生長較濃度較低的快。

(三)推測在自然環境中若含有二氧化碳的水 pH 值較低，溶解出濃度較高的碳酸氫鈣會使鐘乳石生長較快。

## 二、**實驗二**：探討岩石顆粒大小對鐘乳石生長的影響

(一)從 25 小時開始小顆粒領先了大顆粒，成為最長且長度生長速率最快的一組結果。我們認為因為小顆粒的縫隙較多，所以溶液有較多的路徑可以選擇，不會因為一個路徑被混合出的碳酸鈣堵塞住就無法繼續通過。

(二)在前 8 小時，大顆粒的長度結果是領先其他顆粒大小的，寬度則是在 30 小時中都領先其他顆粒大小。我們認為因為大顆粒的縫隙較小顆粒大，溶液較快流至瓶口所以生長較快。大顆粒縫隙雖然較大，但縫隙也較少。所以若有一個路徑被堵住就會造成之後生長速率減慢，流速變慢使其停留在瓶口時間增加，故寬度較粗。

(三)超大顆粒長度及寬度皆生長得較小顆粒及大顆粒慢，且超大顆粒在 30 小時內寬度最細。我們認為縫隙過大會導致流速過快，使鐘乳石較難生長。

(四)粉末在前 8 小時都還是領先超大顆粒及中顆粒的，但從 8 小時到 25 小時中間經過了 17 小時卻只生長 0.3 公分，以致最後長度生長結果為所有顆粒大小中最短的。我們認為前 8 小時領先超大顆粒及中顆粒的原因和小顆粒縫隙較多的原因是一樣的。而 17 小時只生長 0.3 公分我們認為是因為粉末的縫隙過小，又有許多縫隙已被堵塞住導致溶液難以通過。

(五)推測在自然環境中縫隙大的鐘乳石洞穴會生長出較粗的鐘乳石，但縫隙過大則會使鐘乳石難以生長；縫隙較多會使鐘乳石生長較快；縫隙越密會生長出越多鐘乳石。

## 三、**實驗三**：探討濕度高低對鐘乳石生長的影響

(一)我們原想利用乾燥劑在觀察箱中模擬一個濕度較低的環境，但我們發現其濕度較正常環境下的高，我們認為是因為觀察箱中的水氣無法與外界流通，故濕度較高。此外，放置乾燥劑的觀察箱雖然濕度較高，但因為有乾燥劑，所以蒸發的水氣一直被吸收，加快水的蒸發速率及碳酸鈣的生長速率，所以生長速率較快。

(二)我們發現放置水的觀察箱會使模擬環境的溼度提升，但鐘乳石卻生長得較慢。原以為在濕度較高處，會使鐘乳石生長速率更快，但實驗結果卻非如此。我們認為濕度過高會使碳酸鈣溶液無法將水分蒸發，導致生長速率減慢。

(三)正常環境下生長的鐘乳石叫觀察箱中兩組來得粗，觀察箱中濕度較高的環境生長的鐘乳石較細。

(四)推測在自然環境中水分容易蒸發處的鐘乳石生長較快；濕度過高的環境因水分無法蒸發，鐘乳石生長較慢；在濕度較高處生長得鐘乳石較細。

#### 四、**實驗四**：探討風速對鐘乳石生長的影響

(一)強風下生長的鐘乳石最粗、最長，且生長速率最快。在強風下生長的鐘乳石有些微的傾斜，但裝置架設至 48 小時時又會生長回直的且會變得更粗。當風持續吹著正在生長的鐘乳石，鐘乳石的生長方向的改變十分奇特。先是生長方向和風向一致，後又長回直的。我們認為原因如下：

1. 當風持續吹著正在生長的鐘乳石，鐘乳石生長方向和風向相同(如圖 6-1)。我們認為剛生長的鐘乳石生長方向會被風向所影響，風吹的方向即為鐘乳石生長之方向。

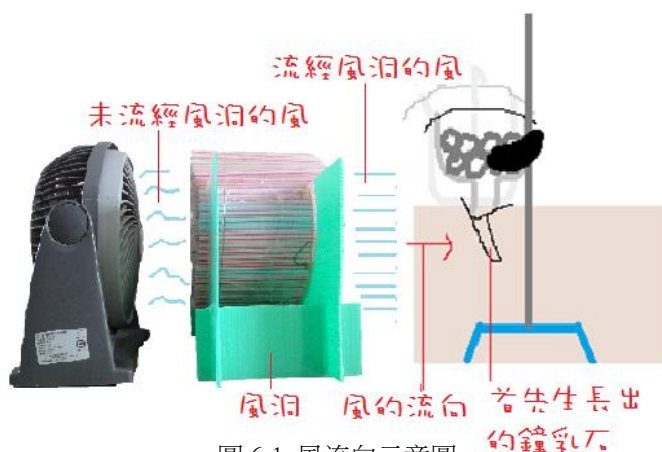


圖 6-1 風流向示意圖

2. 數日後，鐘乳石不再與風向同向生長。我們認為原造成鐘乳石風向同向生長的風被已生長的鐘乳石阻擋，所以兩邊的風往中間流動，造成鐘乳石又長回直的。(如圖 6-2，藍色為後長出的鐘乳石)

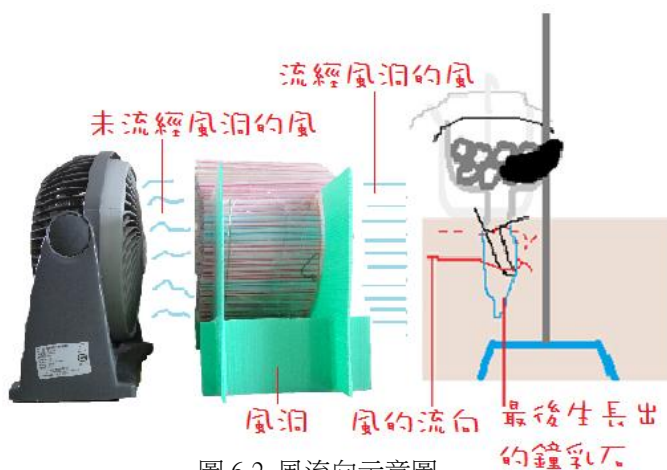


圖 6-2 風流向示意圖

3. 因此推測在自然環境中，就算在有風的生長環境下，鐘乳石最後仍會向下生長，並不會隨風向而改變。

(二) 在強風較環境下生長的鐘乳石較在弱風環境、無風環境下粗，並生長較快。

1. 一般而言當鐘乳石長一段時間以後，碳酸鈣溶液會順著鐘乳石流到 b 處(圖 6-3)，再將水蒸發形成鐘乳石，滴落形成石筍。我們認為因為有風吹的關係，而造成溶液未流至 b 處就先在 a 處(圖 6-3)被風吹得加速蒸發了，所以實驗四中強風的鐘乳石較無風鐘乳石的粗。
2. 推測在自然環境中，生長在石灰岩洞穴裡的鐘乳石在風較大的環境下較粗、較快。

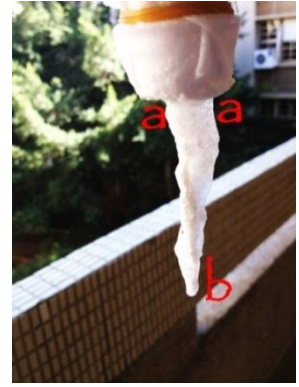


圖 6-3 a、b 點位置

## 五、**實驗五**：探討溫度高低對鐘乳石生長的影響

(一)夏季生長的鐘乳石無論是長度還是寬度明顯生長得比冬

季來得好，生長速率也明顯較快。冬季鐘乳石在 30 小時中皆未生長。針對這個現象分做兩點討論：

1. 溫度的降低會造成溶解度也跟著降低，導致我們在冬季調配 2M 碳酸鈉溶液時，會有溶液結晶在衛生紙條上導致無法吸取溶液的現象(圖 6-4)。碳酸鈉在 10°C 和 20°C 的溶解度分別是 12.5g/100g 水和 21.5g/100g 水。我們所調配的 2M 碳酸鈉溶液在 100g 的水中含有 21.2g 的碳酸鈉，20°C 時才勉強能夠完全溶解。冬季氣溫 8~13°C，所以 21.2g 的碳酸鈉沒辦法完全溶解，當氣溫再下降，碳酸鈉就結晶了。
  2. 另外溫度的降低也會造成水的飽和溶解度跟著降低，使得水分不容易蒸發，也造成容易難以沉澱出鐘乳石。
- (二)推測在自然環境中，鐘乳石主要生長在溫度較高處，如熱帶季風、副熱帶季風、溫帶地中海、溫帶海洋、熱帶沙漠和熱帶莽原性氣候的石灰岩地形(喀斯特地形)。

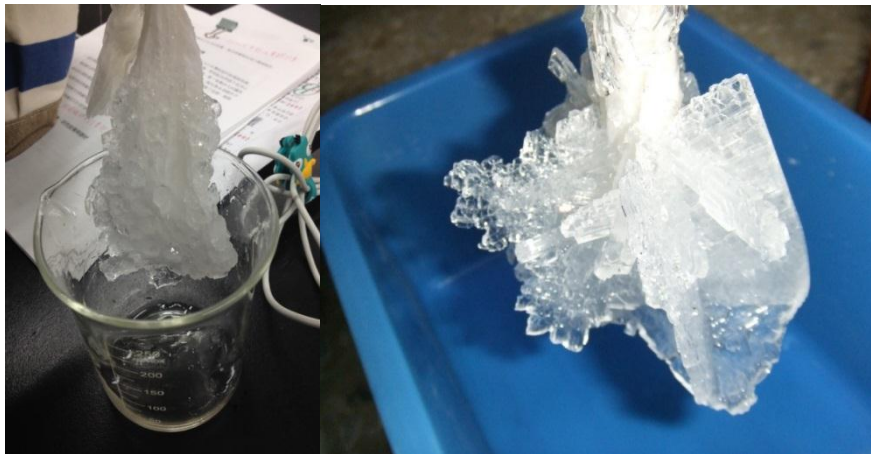


圖 6-4 結晶



## 六、將模擬研究結果與實際資料做比較

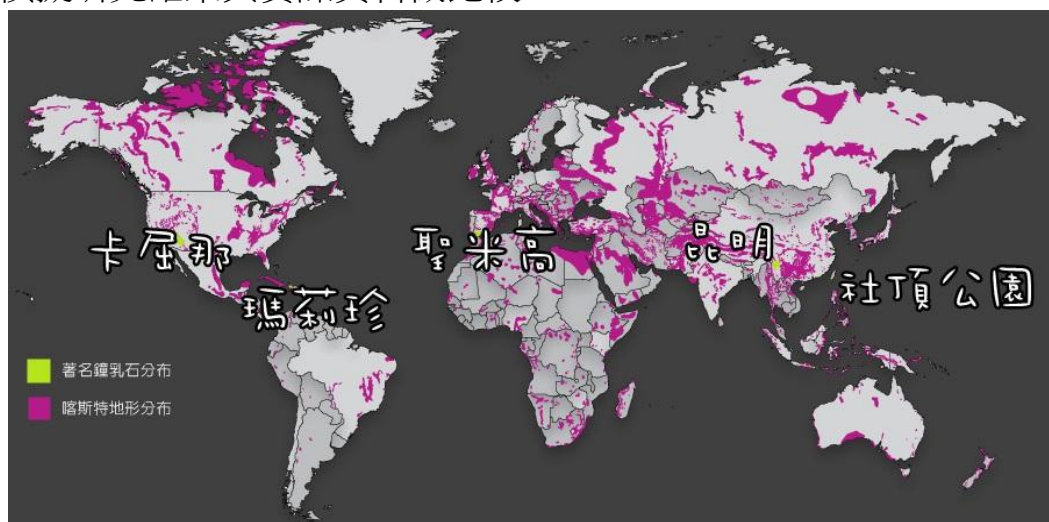
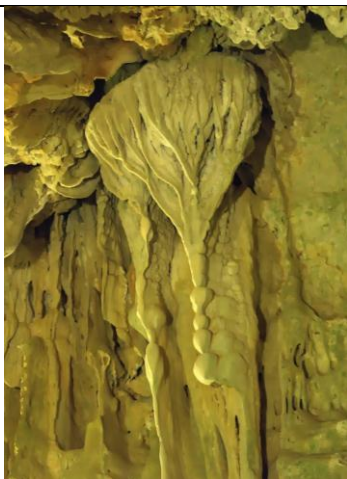
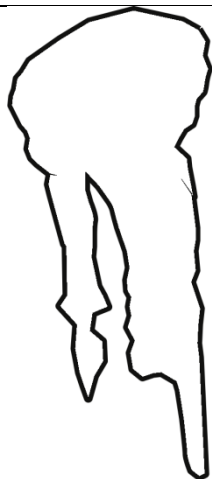


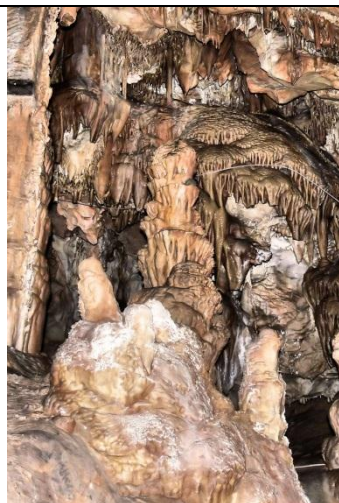
圖 6-5 世界著名鐘乳石分布

表 6-1 世界鐘乳石比較

|                                                                                                                             | 鐘乳石照片                                                                               | 示意圖                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>臺灣墾丁<br/>社頂公園</b><br><br>最暖月：28.3℃<br>最冷月：20.5℃<br>濕度：73.83%<br>風速：3.5m/s                                                |   |  |
| 墾丁社頂公園鐘乳石的外型大多呈上粗下細的情形。推測是因為當地風速稍大，以致於尚未流至底部就已在上半部乾掉結成鐘乳石。溫度普遍偏高，最暖月平均也有 20℃ 以上，屬於熱帶季風區，所以生長速率快，平均 30 年 1 公分，是目前列出資料中速度最快的。 |                                                                                     |                                                                                      |
| <b>中國雲南<br/>昆明</b><br><br>最暖月：19℃<br>最冷月：7.6℃<br>濕度：74%<br>風速：2.2m/s                                                        |  |  |
| 雲南昆明鐘乳石的外型大多呈現倒三角錐形，長度不長，推測是因為其濕度較低。夏無酷暑，冬無嚴寒，屬於溫帶氣候區，所以全年生長速率較一致，平均 20 年 1 立方公分。                                           |                                                                                     |                                                                                      |

## 英屬直布羅陀 聖米高

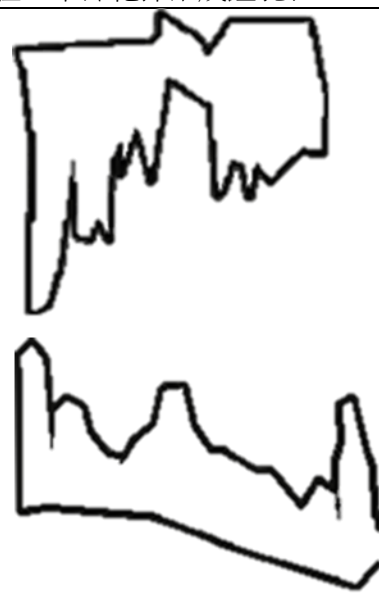
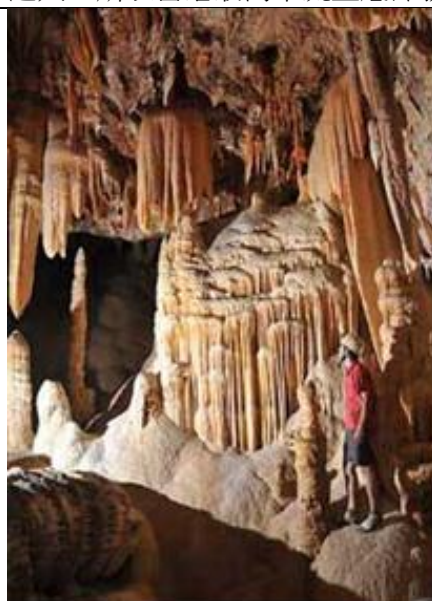
最暖月：25℃  
最冷月：13℃  
濕度：68.1%  
風速：9.57m/s  
最早被記載於  
45A.D.



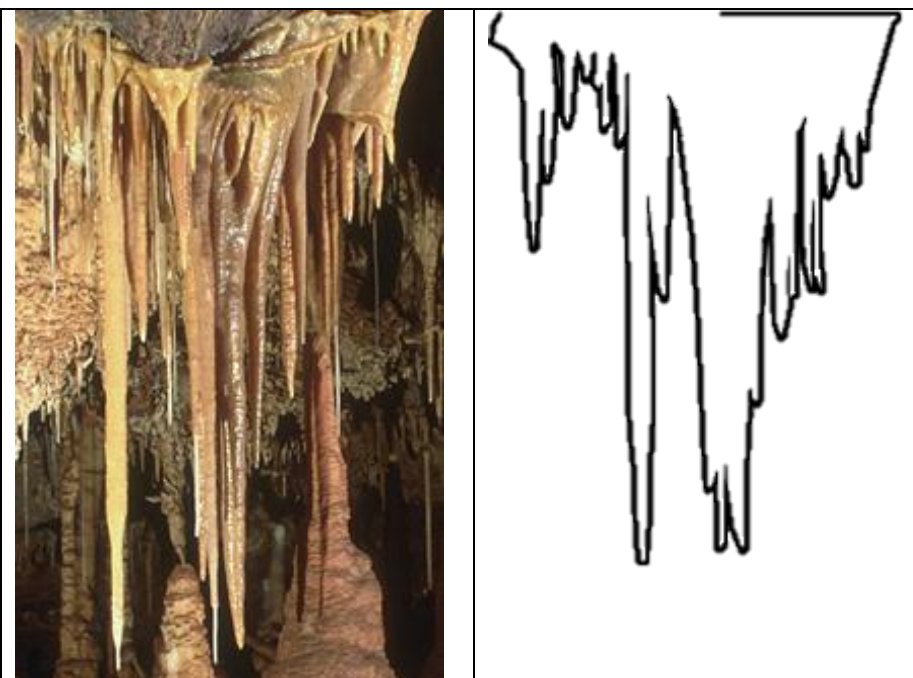
直布羅陀聖米高洞窟鐘乳石的外型較粗，上方成塊狀，推測是因為風速大，所以當溶液尚未流至底部就已在上半部乾掉結成鐘乳石。

## 海地皮芒港 瑪莉珍

最暖月：32.4℃  
最冷月：18.1℃  
濕度：83%  
風速：3.67m/s



海地瑪莉珍洞窟鐘乳石的外型大多是上粗下細，推測是因為當地風速稍大，以致於尚未流至底部就已在上半部乾掉結成鐘乳石。而因溼度偏高，鐘乳石大致成直長狀。

|                                                                                    |                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>美國亞利桑那<br/>卡屈那</b></p> <p>最暖月：25℃<br/>最冷月：7.8℃<br/>濕度：99%<br/>風速：1.16m/s</p> |  <p>美國卡屈那洞窟鐘乳石的外型成細長狀，推測是因為風速低，但濕度極高，因此生長速度極慢，平均 300 年才生長 1 公分。</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 柒、結論

- 一、若含有二氧化碳的水 pH 值較低，溶解出濃度較高的碳酸氫鈣會使鐘乳石生長較快。
- 二、縫隙大的鐘乳石洞穴會生長出較粗的鐘乳石，但縫隙過大則會使鐘乳石難以生長。
- 三、縫隙較多會使鐘乳石生長較快。
- 四、縫隙越密會生長出越多鐘乳石。
- 五、水分容易蒸發處的鐘乳石生長較快。
- 六、濕度過高的環境因水分無法蒸發，鐘乳石生長較慢。
- 七、在濕度較高處生長得鐘乳石較細。
- 八、就算在有風的生長環境下，鐘乳石最後仍會向下生長，並不會隨風向而改變。
- 九、生長在石灰岩洞穴裡的鐘乳石在風較大的環境下較粗、較快。
- 十、鐘乳石主要生長在溫度較高處，如熱帶季風、副熱帶季風、溫帶地中海、溫帶海洋、熱帶沙漠和熱帶莽原性氣候的石灰岩地形(喀斯特地形)。

### 捌、參考資料及其他

- 一、2012 年 4 月七彩云南之昆明、石林、九乡超详细流水游记 - 蚂蜂窝(2012 年 4 月 21 日)。2014 年 2 月 12 日，取自：<http://www.mafengwo.cn/i/867001.html>
- 二、千歲小久郎の拎著背包旅行:台灣屏東&墾丁國家森林遊樂區&賞玩大自然的鬼斧神工(2012 年 12 月 23 日)。2014 年 2 月 12 日，取自：[http://ab6466.blogspot.tw/2012/12/blog-post\\_8181.html](http://ab6466.blogspot.tw/2012/12/blog-post_8181.html)
- 三、中央氣象局觀測資料查詢系統(無日期)。2014 年 2 月 14 日，取自：<http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>
- 四、世界天气信息服务网-官方观测 官方预报(無日期)。2014 年 2 月 14 日，取自：<http://www.worldweather.cn/index.htm>
- 五、世界天气预报\_世界城市天气预报(無日期)。2014 年 3 月 10 日，取自：<http://weather.zuzuche.com/>

- 六、活動: 製作鐘乳石和石筍(無日期)。2013 年 9 月 6 日, 取自:  
[http://resources.edb.gov.hk/~s1sci/R\\_S1Science/sp/ch/syllabus/unit5/act-byosas.htm](http://resources.edb.gov.hk/~s1sci/R_S1Science/sp/ch/syllabus/unit5/act-byosas.htm)
- 七、氣候 - 維基百科, 自由的百科全書(無日期)。2013 年 8 月 5 日, 取自:  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%A3%E5%80%99%E7.83.AD.E5.B8.A6.E6.B0.94.E5.80.99>
- 八、喀斯特地形 - 維基百科, 自由的百科全書(無日期)。2013 年 8 月 5 日, 取自:  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%96%80%E6%96%AF%E7%89%B9%E5%9C%B0%E5%BD%A2>
- 九、溶洞 - 維基百科, 自由的百科全書(無日期)。2013 年 8 月 5 日, 取自:  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%BA%B6%E6%B4%9E>
- 十、溶解度表 - 維基百科, 自由的百科全書(無日期)。2013 年 8 月 5 日, 取自:  
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%BA%B6%E8%A7%A3%E5%BA%A6%E8%A1%A8>
- 十一、「滴水成石」--鐘乳石形成之研究-科展群傑廳(無日期)。2013 年 7 月 20 日, 取自:  
2013<http://science.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=379>
- 十二、鐘乳石 - 維基百科, 自由的百科全書(無日期)。2013 年 8 月 5 日, 取自:  
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%90%98%E4%B9%B3%E7%9F%B3>
- 十三、BBC Weather(N/D). Retrieved March 7, 2014, from:  
<http://www.bbc.com/weather/>
- 十四、File:Lower St. Michael Cave, Gibraltar.jpg - Wikimedia Commons(2013, January 14). Retrieved March 11, 2014, from:  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lower\\_St.\\_Michael\\_Cave,\\_Gibraltar.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lower_St._Michael_Cave,_Gibraltar.jpg)
- 十五、Have you been to the Kartchner Caverns? | Scottsdale (2013, February 23). Retrieved March 13, 2014, from: <http://socialinscottsdale.com/have-you-been-to-the-kartchner-caverns/>
- 十六、National and Local Weather Forecast, Hurricane, Radar and Report (N/D). Retrieved March 2, 2014, from: <http://www.weather.com/>
- 十七、珍妮絲·派特·范克勞馥(1993)。載於不可思議的科學實驗室—地球科學篇, 石筍、鐘乳石(21 頁)。台北縣新店市: 世茂。
- 十八、約翰·法恩登(1995)。載於新世紀地球學習百科, 鐘乳石(103 頁)。台北市: 貓頭鷹。

## 【評語】 030511

### 優點：

本作品設計實驗裝置模擬鐘乳石的形成之結晶實驗，又設計觀測液體濃度、岩石顆粒、相對溼度、風速、溫度對鐘乳石結晶速率的影響。

針對上述目的做了一些控制、對照組實驗設計、記錄數據並從中分析歸納出一些結果，符合科學過程。

### 缺點：

(1) 鐘乳石結晶速率確實受上述因素影響，但如表 4-1 所提供之  
世界各鐘乳石洞資料究竟為當地氣溫或洞內溫度應說清楚。

(2) 岩石顆粒對鐘乳石結晶速率之觀察究竟是想測試什麼未說清楚，是想知道大理岩大、小顆粒之溶解速率快慢對鐘乳石結晶速率之影響？或是代表不同孔隙率對鐘乳石結晶速率之影響應說明清楚。此外，也需說明為何挑選大理岩？許多自然鐘乳石洞是在石灰岩為主之岩層中之洞穴出現。

### 建議改進事項：

針對上述缺點補充資料或說明。