

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：酸石？酸蝕！

一、摘要：

本文旨在探討酸性沉降中的酸雨與地表物理風化-凍融作用間的交互關係。本研究擇定白鵝卵石為研究樣本，以家用冰箱配合 pH4 (人工酸雨)、pH5 (一般雨水)、pH7 (對照組) 等三種浸泡液設計實地模擬實驗。我們主要有下列兩點發現：

1. 在**有溫度變化的環境中** (室溫及凍融循環模擬)，**樣本每日截面積變化較明顯**，而石頭的敲擊面，因受應力脆弱，可能是率先崩解位置。
2. 我們發現無論將白鵝卵石浸泡何種酸鹼值的溶液，經過 24 小時後，再次測得的**浸泡液酸鹼值**皆落在**7.3~7.9 左右**。全數皆是呈現弱鹼性，證實園藝玩家說法：**白鵝卵石的組成含有能使水質鹼性化的成分**，經由石頭溶解的過程溶於水中。

二、探究題目與動機

從 18 世紀第一次工業革命至今，地球所承受的汙染越來越嚴重。不論是海洋垃圾還是溫室效應都惡化到了一個難以挽回的地步。其中重工業工廠和汽機車所排放的大量廢氣導致的酸雨問題首當其衝，嚴重影響生物圈所有居民及生存環境。幸而在有志之士奔走下，環境永續發展成為地球村公民的共同目標，隨著各個國際環保公約的訂定、修正，事態正往好的方向發展。

酸雨對人類的危害在小學階段便已深植我們的心中，升上國中後，在八年級理化課程我們學習到水的三態變化，當液態水放熱為固態時，體積會增加。將此原理聯結到酸性沉降，**在不同氣候帶的氣溫交互作用下，建築物或岩石的風化侵蝕是否會加劇？**我們與 Mr. Stone 的緣分就此開啟。

三、探究目的與假設

在開啟「石頭記」之前，我們拜訪了 Google 大神，查詢相關名詞釋義。原來所謂的酸雨屬於「酸性沉降 (Acid Deposition)」的濕沉降之一。酸性沉降可分為乾沉降與濕沉降兩種，是一種區域性而非全球性的空氣污染現象，也就是工業活動所造成的酸性化合物的沉降現象。正常雨水因為大氣中的二氧化碳溶於空氣中水氣，本就呈弱酸性；在 1980 年代後期，因汙染日益嚴重，便開始將 **pH 值在 5.0 以下時的雨水稱為「酸雨」**。

而引發大夥兒好奇心的水對石頭的風化作用，源於「凍融循環」：液態水透過結構體孔隙往內部滲入，當外部溫度降至 0°C 以下後，水結成冰產生膨脹，當膨脹力較大時就會使結構體被撐大、產生裂縫。若這種**凍結、融化不斷交替發生的話就稱為凍融循環**。台灣因地處亞熱帶，入秋後的高山地區方有機會觀察到此種冰凍楔裂 (icewedging) 的情形。

綜合上述，我們以不同酸鹼值溶液 (pH4 人工酸雨、pH5 一般酸雨和 pH7 對照組) 及冰箱設計實驗模擬凍融循環與酸性沉降交互作用，**假設實驗樣本在凍融循環作用下所撐大的孔隙會因為被酸液腐蝕，使孔隙變得更大，加速凍融循環的破壞速度，讓結構體在更短的時間內崩解**。為拍攝照片焦距、大小等一致性，我們製作了簡易的攝影台；孔隙或刻痕面積變化則以 Image J 軟體分析後再量化討論。

四、探究方法與驗證步驟

4.1 人工酸雨配置

我們參考「探討酸雨對土壤性質的影響」一文中之人造酸雨製作比例調配浸泡液，步驟如下：

1. 將 1.5 克硫酸與 10.9 克硝酸加水加至 1 公升，初步調配之酸雨 pH 值為 1。
2. 以 pH 值 1 的酸雨為基礎，調配出 pH4 與 pH5 之酸雨。

本研究使用三種不同酸鹼值之浸泡液：**pH4（人工酸雨）、pH5（一般雨水）及 pH7（對照組）**，下列圖 4.1~4.3 為本研究配置樣品浸泡液的過程。



圖 4.1 秤量硫酸與硝酸



圖 4.2 定量至 500ml



圖 4.3 以移液管取液

4.2 實驗設置

圖 4.4 為本研究實驗設計示意圖，圖 4.5~4.8 則是實驗過程紀錄。



圖 4.4 酸性沉降與環境溫度交互作用實驗設計



圖 4.5 手機顯微鏡拍攝



圖 4.6 拍攝鵝卵石裂縫



圖 4.6 鵝卵石浸泡溶液



圖 4.7 檢測浸泡液酸鹼值

五、結論與生活應用

5.1 平均面積變化率

$$\text{面積變化率} = \frac{\text{（每日面積像素 - 初始面積像素）}}{\text{初始面積像素}} \quad \text{（將每日面積與原始面積比較）}$$

受限於實驗準備期過長，我們每組實驗各自做了四個樣本（冷藏環境的中性浸泡液樣本只有三個），將每日的面積變化率平均後，得到每個樣本在實驗周期後的面積變化總量。再以四種環境溫度分類做橫向長條圖（下圖 5.1~5.4）比較，有下列發現：

- ① pH4 人工酸雨組樣本在四種溫控環境皆以崩解為主。
- ② 中性溶液（pH7）組之樣本面積在不同溫度環境下大多呈膨脹態勢。
- ③ 一般雨水（pH5）平均面積變化率脹縮各半，沒有明顯傾向。

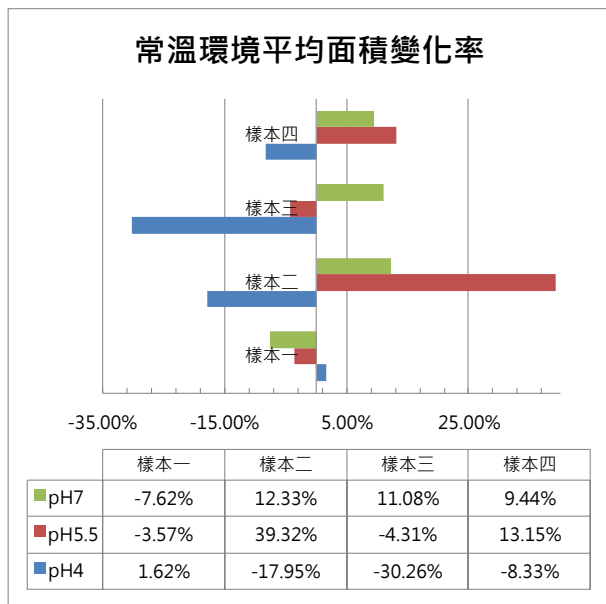


圖 5.1 室溫環境樣本面積平均變化率

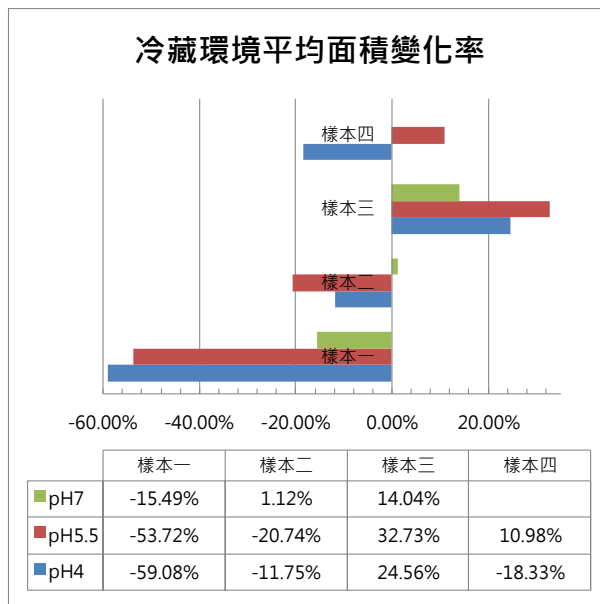


圖 5.2 冷藏環境樣本面積平均變化率

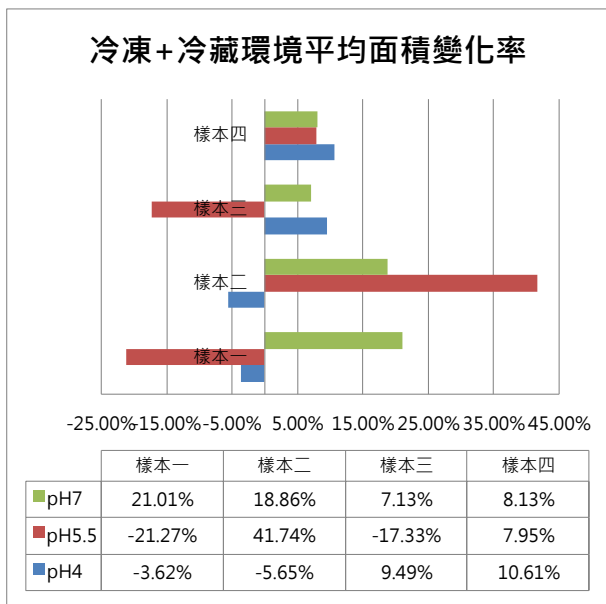


圖 5.3 凍融循環樣本面積平均變化率

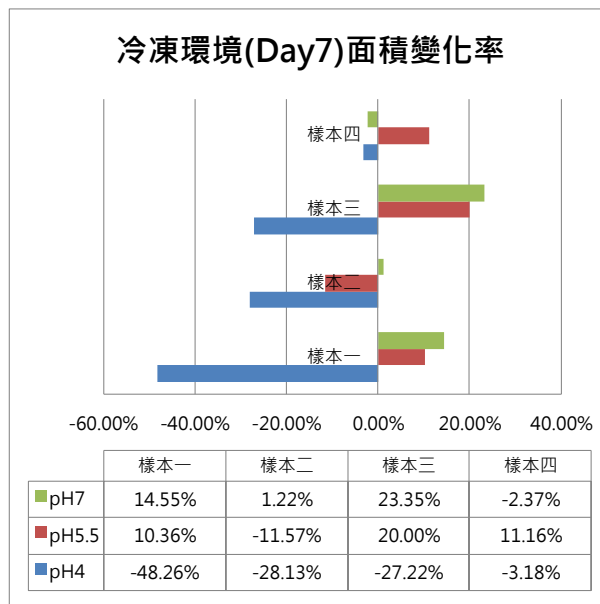


圖 5.4 冷凍環境樣本第七日面積變化率

5.2 面積每日變化量

$$\text{面積每日變化率} = \frac{\text{（每日面積像素 - 前一日面積像素）}}{\text{前一日面積像素}} \quad \text{（觀察每日面積脹縮情形）}$$

- ① 實驗期間，樣本放置於 (i) 室溫 16~22°C 左右環境、(ii) 冰箱冷藏室均溫 5°C 左右環

境 (iii) 冰箱冷藏室 (均溫 5°C) 與 (iv) 冷凍室 (均溫 -22°C) 環境，重複浸潤、乾燥步驟各 24 小時共七天 (室溫六天)。實驗照片經分析後計算每日面積像素變化值，再除以前一日面積得圖中「面積每日變化量」，並以百分率表示。

② 下列各圖中正值表示樣本有膨脹現象，負值則為崩解縮小。由環境設置 i ~ iii 中不同酸鹼值各取一個樣本，做面積每日變化量曲線疊加比較 (圖 5.5~5.7)，我們可以觀察到室溫、冷藏室及凍融循環實驗設置中，各不同酸鹼值浸泡液樣本每日截面積變化率曲線皆可觀察到規律變化。

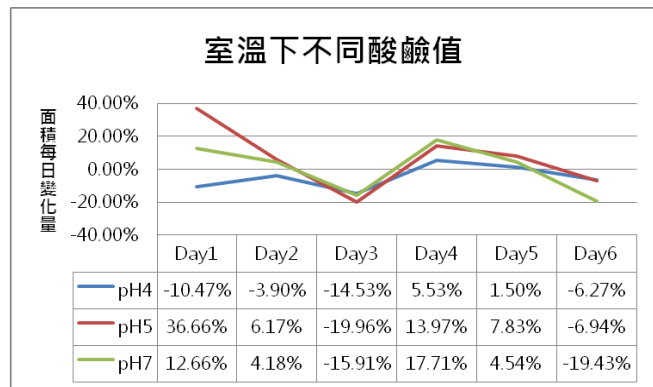


圖 5.5 室溫環境樣本面積每日變化率

③ 冷藏室中樣本的脹縮變化與室溫及凍融循環實驗樣本相比，脹縮起伏較小，可能為冷藏室中溫度較穩定緣故，但因樣本數較少，尚待後續實驗擴充驗證。

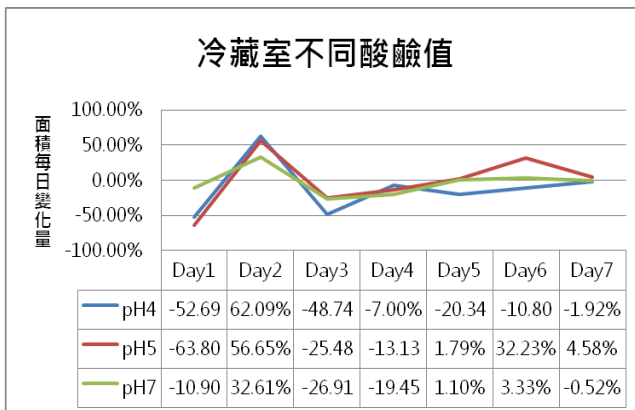


圖 5.6 冷藏環境樣本面積每日變化率

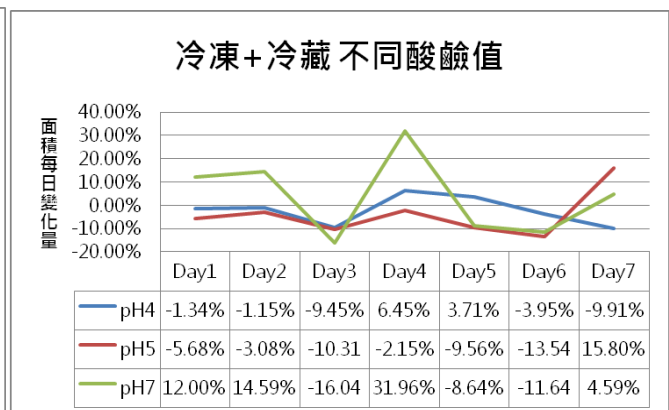


圖 5.7 凍融循環樣本面積每日變化率

表 5.1 pH5 浸泡液組樣本二數據紀錄

④ 我們觀察到凍融循環設置樣本截面積變化大致可歸納以下態勢，底下以表 5.1 為例說明之：

第一次浸泡溶液後可能因為石頭成分溶解，導致面積縮小；之後每次浸泡溶液後面積均略微增加，可能是石頭內含物質吸收了水份。第一次冷凍

| 實驗天數 | 面積像素 | 截面積變化量 | 截面積改變率 | 每天變化量 | 每天變化量百分率 | 說明 |
|------|------|--------|--------|-------|----------|-------------|
| Day0 | 553 | 0 | 0% | 0 | 0% | |
| Day1 | 500 | -53 | -9.58% | -53 | -9.58% | 冷藏浸泡 24 小時後 |
| Day2 | 749 | 196 | 35.44% | 249 | 49.80% | 冷凍 24 小時後 |
| Day3 | 796 | 243 | 43.94% | 47 | 6.28% | 冷藏浸泡 24 小時後 |
| Day4 | 719 | 166 | 30.02% | -77 | -9.67% | 冷凍 24 小時後 |
| Day5 | 833 | 280 | 50.63% | 114 | 15.86% | 冷藏浸泡 24 小時後 |
| Day6 | 870 | 317 | 57.32% | 37 | 4.44% | 冷凍 24 小時後 |
| Day7 | 967 | 414 | 74.86% | 97 | 11.15% | 冷藏浸泡 24 小時後 |

後面積增大將近 50%，可能為吸收或滲入的水結凍後導致，後續冷凍處理後也有膨脹，但漲幅沒有那麼大。

5.3 冷凍環境樣本變化

- ① 實驗期間，樣本浸泡不同酸鹼值溶液後放置於冰箱冷凍室 (均溫-22°C)，為模擬寒帶氣候帶長年冰凍情況，樣本浸泡試液後置於冷凍室，七天後方取出解凍及拍照。實驗照片經分析後計算面積像素變化值，再除以初始面積得圖中「面積變化量」，以像素表示之。
- ② 由圖 5.8 中斜率可以觀察到解凍後的酸性溶液樣本有明顯崩解情形，弱酸及中性溶液樣本的脹縮變化較不明顯，但因樣本數較少，尚待後續實驗擴充。

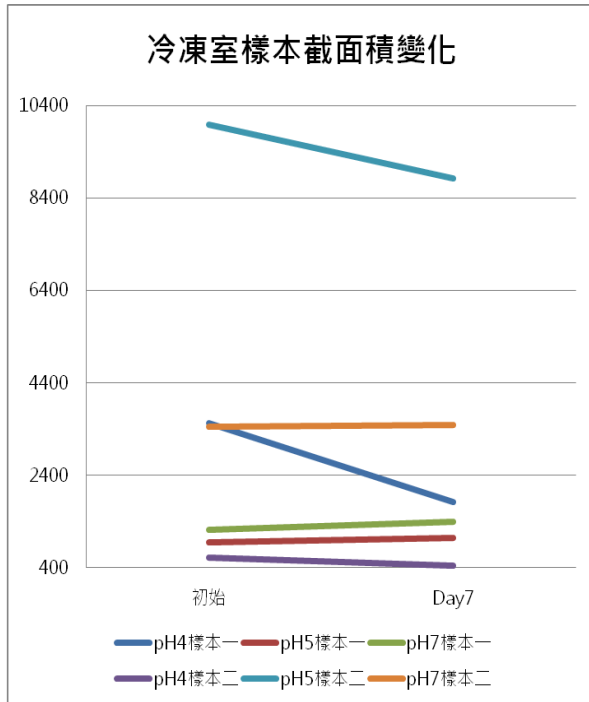


圖 5.8 冷凍環境樣本面積改變量

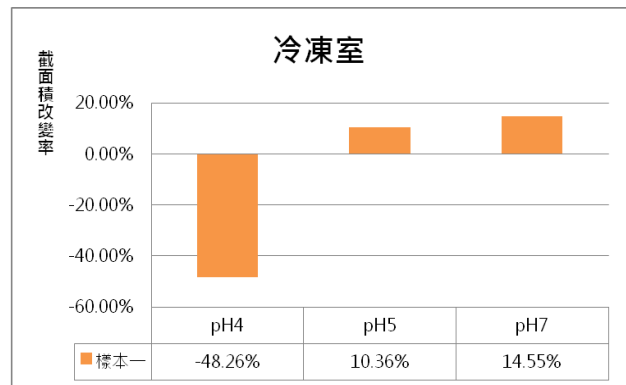


圖 5.9 冷凍環境樣本面積改變率

- ③ 我們取變化較明顯的樣本作「截面積改變率」的比較，由上圖 5.9 可以觀察到浸泡 pH4 溶液的樣本崩解了將近 50%面積，而 pH5 和 pH7 溶液的樣本膨脹超過 10%以上。

5.4 生活應用

隨著人類活動足跡的擴大，人為的氣候災害也隨之擴散，無形中加速了地貌的變遷。慶幸的是現今對工業發展帶來的汙染問題已有意識的控管中，即使無法兩全，惡化的速度終歸漸緩。本研究初期因選定實驗對象與照片拍攝技術問題而擱置多時，因此無法將樣本進行多周期循環測試，以得到更詳實的實驗結果與推論。但以目前得到的實驗數據推論，在溫度變化較明顯的地區，酸性沉降的影響可能會更明顯，因此除了凍融循環盛行地區，也許早晚溫差分明的區域之建築或人造景觀亦受其害，一切尚待驗證。

參考資料

1. 行政院中央氣象局·酸性沉降標準·取自
https://air.epa.gov.tw/EnvTopics/AirQuality_4.aspx
2. 中文百科·凍融循環的作用方式·取自
<https://www.newton.com.tw/wiki/%E5%87%8D%E8%9E%8D%E5%BE%AA%E7%92%B0/4685460>

3. 低场核磁共振成像分析技术在岩石岩土冻融中的应用实例·取自
<https://ibook.antpedia.com/x/144127.html>
4. 酸雨作用方式·取自 <http://www.formosaepf.org.tw/bid/20190205.htm>
5. 交通部中央氣象局·每年雨水之平均酸鹼值·取自
<https://www.cwb.gov.tw/V8/C/D/phRain.html>
6. 模拟酸雨破坏再生骨料混凝土的抗冻融性·凍融作用&混凝土之間關係·取自
<https://www.x-mol.com/paper/1310730735685177344/t>
7. 水环境与冻融共同作用下混凝土力学性能研究·不同 pH 值溶液浸泡后混凝土試件的内部
微觀劣化規律相似·取自 <https://jns.usst.edu.cn/html/2020/6/20200608.htm>
8. 方國權 (106/04/12) ·科技大觀園·全球暖化與聖嬰現象·取自
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?!D=2d1ad05d-7598-4ac2-b742-38d5868421fb&fbclid=IwAR3uGOhn9iFmp66Ug2vhur1aCA1xkNELCpFS7EBHPRREsb0n1wsOx7Ah2qc>