

# 屏東縣第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科別：地球科學科

組別：國中組

作品名稱：酸性沉降與凍融循環耦合效應初探

關鍵詞：酸性沉降、凍融循環

編號：B5008

# 目錄

摘要

壹、前言

貳、研究設備及器材

參、研究過程或方法

肆、研究結果

伍、討論

陸、結論

柒、參考文獻資料

摘要

研究變遷

# 壹、前言

## 一、研究動機

在我們生活的這個世代隨著科技、工業發展，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漸漸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二氧化碳導致的酸雨問題也日漸惡化，許多溫帶地區的建築及古蹟等也因為酸雨加上凍融循環的關係而有了前所未有的毀損。

最近趁著寒假回到了曾經住過的一間日式民宿，但在它的日式庭院散步時突然發現它的石像上多了許多裂痕，有些地方甚至碎裂了，此時雨滴突然落在我的肩上，我們連忙回到屋簷的庇護之下，此時民宿老闆拿著毛巾走了過來，一邊走一邊感慨：「最近酸雨腐蝕的情況越來越嚴重，造景都快壞光光了。」這番話不禁讓我們開始思考：既然我們無法完全改善酸雨，那我們是否可以研究出溫帶地區裡酸雨和凍融循環所帶來的影響到底有多大？

近年來，全球氣候變遷對人類社會造成了相當大的衝擊，夏天不像冬天，冬天也不如以往的寒冷。在大家的印象中，全球氣候變遷會出現乾旱、酷熱、寒冷及大豪雨等異常氣候現象，卻不知道造成乾旱、酷熱、寒冷及大豪雨的幕後兇手，其實是聖嬰現象和反聖嬰現象！而氣候變遷也會導致洋溫升高，進而助長聖嬰現象和反聖嬰現象。有鑑於因為全球氣候變遷的關係，聖嬰與反聖嬰現象所帶來的影響越來越大。因此我們想藉由，來間接關心、了解我們所在的地球，和目前地球遇到的危害，並希望能著手進行小小的改變。

在最開始實驗設計時，我遇到了尋找文獻討論的難題。因為使用石頭來作為凍融循環實驗主覺的想法較為新穎，尚未有人做過此類探究。目前我們找到和我們的想法最為契合的，大多是利用混凝土來進行實驗並討論。

所以以石頭的為主題的凍融循環部分可能較難做討論，也未有人能和我們做比較，不過這是個具有挑戰性的想法和探討。我們希望能從中來學習到凍融循環的作用方式、何種條件下能形成，藉此，來延伸至我們所在的大自然。最終的目的，是希望能藉由小小的實驗，來更加瞭解我們所居住的地球，並給予我們身為學生所能釋出的最大關懷。

## 二、研究目的

- (一)、分析石頭種類、以及調查近十年酸雨的情況
- (二)、觀察石頭與酸鹼度不同的溶液浸泡效果之分析
- (三)、將浸泡石頭的環境模擬成不同溫帶的冬季，比較出各溫帶冬季中哪一個的凍融作用最明顯
- (四)、利用凍融循環的模擬進一步探討對環境的影響

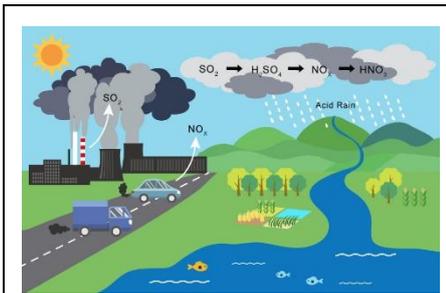
## 三、文獻回顧

### (一)酸性沉降

#### 1.定義

酸性沉降(Acid Deposition)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；可分為乾沉降與濕沉降兩種。

乾沉降是指在不下雨的日子，從天而降的落塵帶有酸性物質的情況；溼沉降則是指所有氣狀或粒狀污染物，隨著雨、雪、霧或雹等降水型態落到地面的情況(如圖 1)，也就是一般所稱的「酸雨」。



(圖 1) 濕沉降

出處:網路

#### 2.酸雨形成原因

其實大自然的雨因為大氣中的二氧化碳的緣故本身就是酸的，當二氧化碳溶於雨水後，雨水的 pH 值會在 5.6 左右，而海洋釋放出的二甲基硫、高空閃電所導致的氮氧化物等，則可能會使雨水的 pH 值落到 5 左右，因此，在 1980 年代後期的認知為:當雨水 pH 值在 5.0 以下時才稱為「酸雨」。

而酸雨其實就是被認定受到人為排放酸性污染物影響的雨水，而人為排放酸性污染物

主要為二氧化硫及氮氧化物，這些物質在經過大氣中的化學反應並溶於雨水後會轉變為硫酸、硝酸等酸性物質，使雨水降到 pH5 以下。

### 3.近幾年台灣酸雨情形

以全台酸雨情形最嚴重的基隆來說，約莫 2000 年開始每年的平均雨水酸鹼度值就都低於 5.0 了，其中 2008 年的 4.2 為最低；2002 年及 2019 年的 5.9 為最高。而金門、馬祖兩個離島則是在 2006 年到 2012 年的情況較嚴重，其餘的年平均雨水酸鹼度值基本上都是大於 5.0 的。

#### (二)、凍融循環

- 定義及實驗中的作用方式

0°C 以上的水透過結構體的孔隙往內部滲入，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。

由於我們實驗時使用的是仿造酸雨的酸性溶液，因此在它原本的凍融作用下所撐大的孔隙會同時被酸液腐蝕，使它的孔隙變得更大，加速凍融循環的破壞速度，讓結構體在更短的時間內破碎。

#### (三)、ImageJ 軟體

- 簡介

ImageJ 是一套影像分析軟體，能夠分析出圖像的長度、角度、面積……等，而本次實

驗所需要用到的便是裡面的面積分析功能。

- 使用

1. 點選 File 中的 open，然後選取你所要分析的圖片。

2. 點選 Image 中的 type 並選擇裡面的 8-bit(如圖)。

- 3 點選 Image 中的 Adjust 並選擇裡面的 Threshold，接著你的圖片就會有某些地方變成紅

色，到時候算出來的面積就會是紅色區域的面積。(如圖 3)

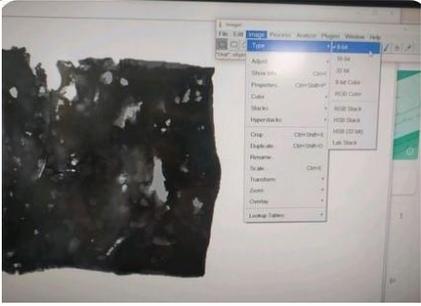
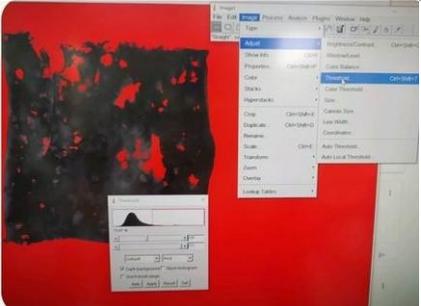
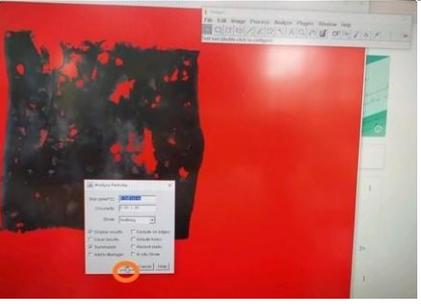
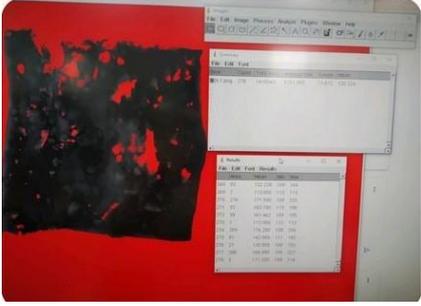
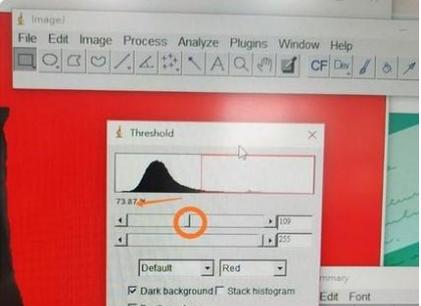
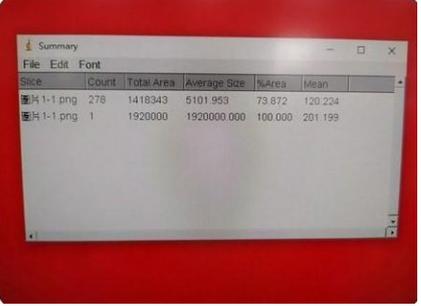
4. 點選 Analyze 中的 Analyze Particles...並選擇下方的 OK，接著紅色區域的面積就會顯示

出來了。(如圖 4、圖 5)

5. 重新點選一次 Image 中的 Adjust 並選擇裡面的 Threshold，並將數值條的按鍵左滑到底。(如圖 6)

6. 再次點選 Analyze 中的 Analyze Particles...並選擇下方的 OK。

7. 最後表格中就會有你想要的區域的面積以及整個圖片的面積，即可得知所求面積的占比率。(如圖 7)

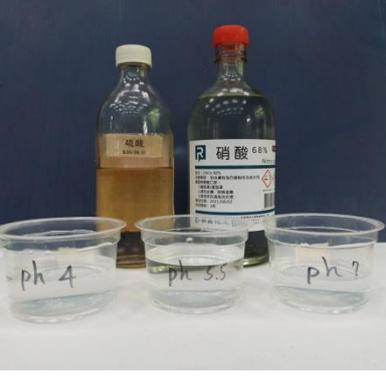
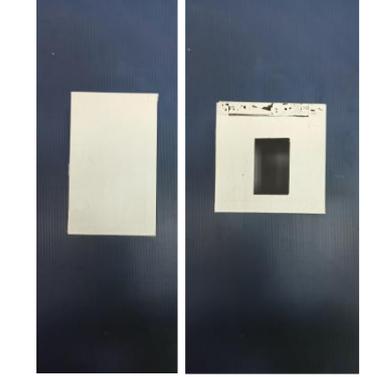
		
(圖 2) ImageJ	(圖 3) ImageJ	(圖 4) ImageJ
出處:自己拍攝	出處:自己拍攝	出處:自己拍攝
		
(圖 5) ImageJ	(圖 6) ImageJ	(圖 7) ImageJ
出處:自己拍攝	出處:自己拍攝	出處:自己拍攝

## 貳、研究設備及器材

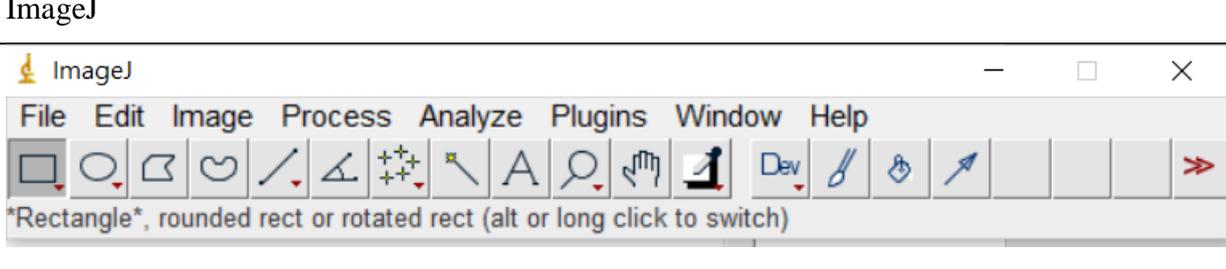
一、儀器:酸鹼測試筆、冰箱(冷凍:-22°C、冷藏:5°C)

二、器材及藥品:

500ml 燒杯、100ml 量筒、滴管、500ml 定量瓶、滴定管、90mm 漏斗、塑膠杯、紅外線測溫儀	麥飯石、紅色火山石、白色鵝卵石	綠沸石、塑鋼土
---	-----------------	---------

		
(圖 8) 器材	(圖 9) 石頭-一	(圖 10) 石頭-二
出處:自己拍攝	出處:自己拍攝	出處:自己拍攝
手機顯微鏡	硝酸、硫酸、Ph4 溶液、Ph5.5 溶液、Ph7 溶液	攝影台(7.5cm*7.7cm*12.5cm)
		
(圖 11) 手機顯微鏡	(圖 12) 藥品	(圖 13) 拍攝台
出處:自己拍攝	出處:自己拍攝	出處:自己拍攝

### 三、程式:


(圖 14) ImageJ 軟體
出處:自己拍攝

## 參、研究過程或方法

### 一、研究流程圖

確定實驗方向

搜尋相關文獻並彙整

設計&著手進行實驗

分析實驗結果照片

討論實驗結果並得出結論

### 二、實驗物品的選擇

#### (一) 選擇使用石頭且直接將其浸泡酸液的原因

起初我們的實驗想法其實是利用豆腐轉變成凍豆腐後繼續反覆將它冷凍、融化的過程來模擬探討凍融循環，但在訪問過製作凍豆腐的職人和一些老師教授後，我們得知了：豆腐變成凍豆腐後的孔洞大小是由豆腐孔隙區塊的含水量決定的，且不論我們將它反覆冷凍多少次，只要將其拿出低溫冷凍庫，它原本吸水膨脹的內部孔隙，會因為組成成分(蛋白質)的緣故，使孔隙再度變回原始未吸水的大小。

繼續討論了幾天後我們決定出第二輪的實驗物為一園藝造景用石。最開始我們討論出的方式是將小彩石嵌入水泥中，待水泥完全乾後開始浸泡酸液。但後來在試驗的時候發現水泥在乾

燥放置幾天後會變得比較脆弱，因此我們放棄了水泥這個實驗選項，轉而使用塑鋼土把石頭固定在底部(如圖 15)、和直接利用小型塑膠杯裝石頭(如圖 16)讓它可以完全浸在人造酸雨中。

## (二) 石頭類型的選擇

我們一開始在抉擇要選哪一種石頭時，有購入許多種類型，例如:建材用石、藝術用石等，在經過討論後我們選擇了普遍民眾最容易使用、最常見的園藝造景用石。最終經討論和一些前置實驗後，決定採用麥飯石、紅色火山石、白色鵝卵石這三種石頭。

	
(圖 15) 綠沸石和塑鋼土	(圖 16) 塑膠杯和白鵝卵石
出處:自己拍攝	出處:自己拍攝

## 三、酸性沉降形成原因與成分分析

### (一) 酸雨成分分析與製作

如文獻所說，最終溶到雨水中的物質為硝酸、硫酸，在經過查詢眾多前人的實驗後，我們最終選擇參考「探討酸雨對土壤性質的影響」中所提到的人造酸雨製作比例來製造本次實驗需要的人造酸雨。

1. 取 75g 的硫酸和 5.45g 的硝酸混合。(如圖 17)
2. 將混合溶液加入定量瓶後，利用其加水加至 500ml 形成 pH1 的溶液。(如圖 18)
3. 接著利用滴定管取出 pH1 的溶液 0.5ml，並利用定量瓶加水至 500ml 形成 pH4 的溶液。(如圖 19)
4. 再取 100ml 的 Ph4 加水至 1L 形成 pH5 溶液。



(圖 17) 測量硫酸與硝酸	(圖 18) 加水至 500ml	(圖 19) 取 0.5ml 溶液
出處:自己拍攝	出處:自己拍攝	出處:自己拍攝

#### 四、實驗步驟

(一) 實驗一:觀察同環境下石頭與塑鋼土之間縫隙遭凍融循環破壞之程度:

1. 方法:

- (1) 利用手機顯微鏡拍照紀錄綠沸石與塑鋼土之間縫隙(如圖 20)
- (2) 將此裝置以 pH 4 的人造酸雨浸泡(完全淹沒)，並放置在冷藏庫 12 小時
- (3) 將裝置中的溶液倒掉，拍照記錄，接著放置在冷凍庫 12 小時
- (4) 重複 2-3 步驟 7 次

2. 分析結果:

- (1) 將綠沸石與塑鋼土之間原始縫隙以及實驗中的照片以小畫家加強與周遭環境的顏色對比，以預防分析時出現誤差
- (2) 將處理過後的照片利用 ImageJ 軟體分析面積
- (3) 觀察分析結果並統整



(圖 20) 手機顯微鏡拍攝

出處:自己拍攝

(二) 實驗二:觀察同環境下不同類型石頭表面裂縫遭凍融循環破壞之程度:

1. 方法:

- (1) 定高拍照紀錄麥飯石、紅色火山石、白色鵝卵石的原始表面裂縫
- (2) 將麥飯石、紅色火山石、白色鵝卵石放入同一容器中
- (3) 將此裝置以 pH 4 的人造酸雨浸泡(完全淹沒)，並放置在冷藏庫 12 小時
- (4) 將麥飯石、紅色火山石、白色鵝卵石從溶液中撈出瀝乾，拍照記錄，接著放置在冷凍庫 12 小時
- (5) 重複 3-4 步驟 7 次

2. 分析結果:

- (1) 將麥飯石、紅色火山石、白色鵝卵石的原始表面裂縫以及實驗中的照片以小畫

家加強與周遭環境的顏色對比，以預防分析時出現誤差

(2) 將處理過後的照片利用 ImageJ 軟體分析面積

(3) 觀察分析結果並統整

(三) 實驗三:觀察不同環境下同類型石頭表面裂縫遭凍融循環破壞之程度:

● 實驗設置:

編號	模擬環境溫度	實驗處理
1	冷凍室 ( $-22^{\circ}\text{C}$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 實驗前拍照紀錄白色鵝卵石的原始表面裂縫(如圖 21)</li> <li>▪ 浸泡人造雨水 (完全淹沒) (如圖 22), 共 7 天, 過程中樣品皆放置於冷凍室。</li> <li>▪ 每天拍照記錄一次外表(不解凍), 照片後製處理再以 image J 軟體分析裂縫平面面積變化。</li> </ul> <p>A 組 pH 4 B 組 pH 5.5 C 組 pH 7</p>
2	冷藏室 ( $5^{\circ}\text{C}$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 實驗前拍照紀錄白色鵝卵石的原始表面裂縫(如圖 21)</li> <li>▪ 奇數天浸泡人造雨水 (完全淹沒) 24 小時(如圖 22), 取出瀝乾放回 24 小時(偶數天), 並且檢測溶液的 Ph 值(如圖 23), 共 7 天, 過程中樣品皆放置於冷藏室。</li> <li>▪ 每天拍照記錄一次, 照片後製處理再以 imageJ 軟體分析裂縫平面面積變化。</li> </ul> <p>A 組 pH 4 B 組 pH 5.5 C 組 pH 7</p>
3	常溫 ( $20^{\circ}\text{C}$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 實驗前拍照紀錄白色鵝卵石的原始表面裂縫(如圖 21)</li> <li>▪ 奇數天浸泡人造雨水 (完全淹沒) 24 小時(如圖 22), 取出瀝乾放回 24 小時(偶數天), 並且檢測溶液的 Ph 值(如圖 23), 共 7 天, 過程中樣品皆放置於室內。</li> <li>▪ 每天拍照記錄一次, 照片後製處理再以 imageJ 軟體分析裂縫平面面積變化。</li> </ul> <p>A 組 pH 4 B 組 pH 5.5 C 組 pH 7</p>
4	冷凍室 ( $-22^{\circ}\text{C}$ ) + 冷藏室 ( $5^{\circ}\text{C}$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 實驗前拍照紀錄白色鵝卵石的原始表面裂縫(如圖 21)</li> <li>▪ 奇數天放置於冷藏室中浸泡人造雨水 (完全淹沒) 24 小時(如圖 22), 取出瀝乾置於冷凍室 24 小時(偶數天), 並且檢測溶液的 Ph 值(如圖 23), 共 7 天。</li> <li>▪ 每天拍照記錄一次, 照片後製處理再以 imageJ 軟體分析裂縫平</li> </ul>

		面面積變化。 A 組 pH 4 B 組 pH 5.5 C 組 pH 7
--	--	--

		
(圖 21)拍攝鵝卵石裂縫	(如圖 22)鵝卵石浸泡溶液	(如圖 23)檢測 Ph 值
出處:自己拍攝	出處:自己拍攝	出處:自己拍攝

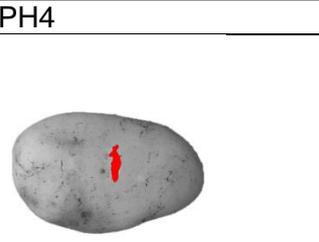
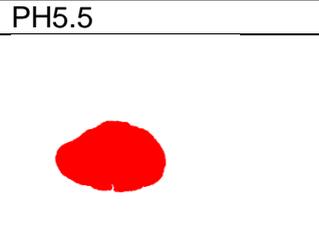
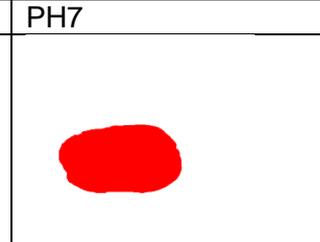
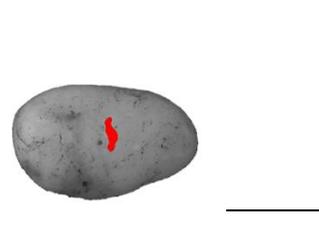
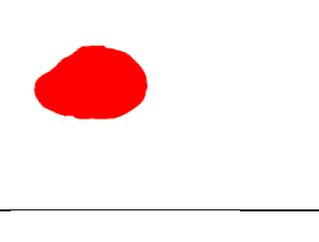
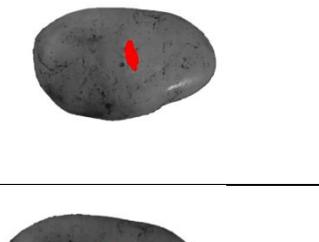
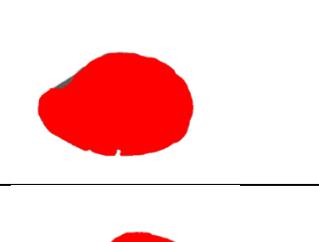
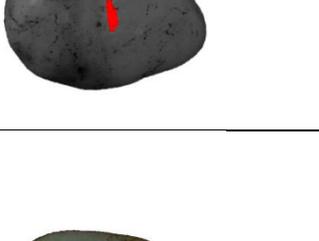
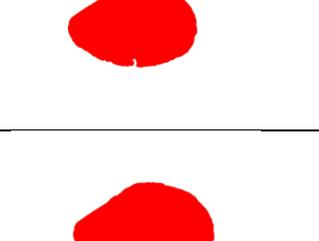
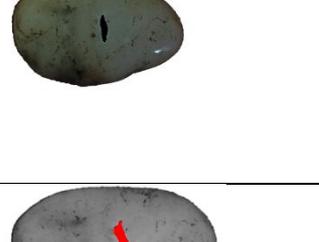
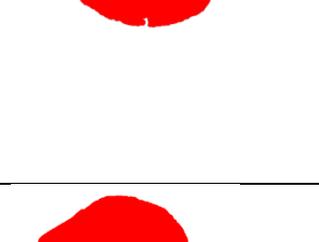
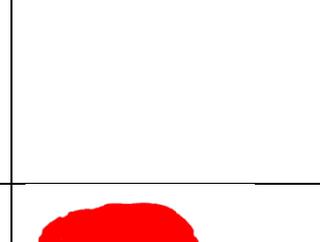
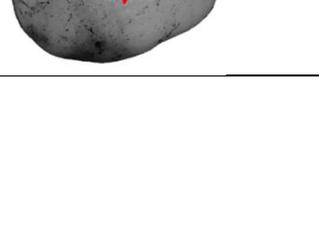
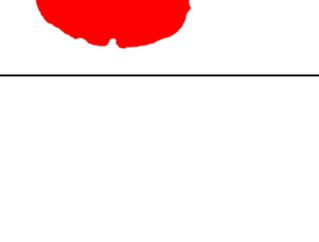
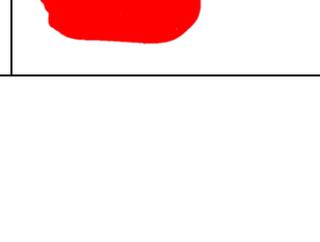
#### 四、研究結果

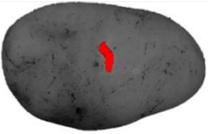
對照組 (常溫組) - 1

	PH4	PH5.5	PH7
初始 (15 度)			
第一天 (18 度)			
第二天 (18 度)			
第三天 (22 度)			
第四天 (24 度)			

第五天(24 度)			
第六天(26 度)			
第七天			

對照組 (常溫組)-1

	PH4	PH5.5	PH7
初始 (15 度)			
第一天 (18 度)			
第二天(18 度)			
第三天(22 度)			
第四天(24 度)			
第五天			

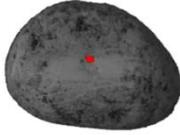
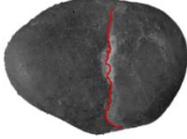
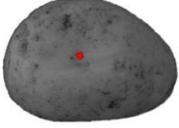
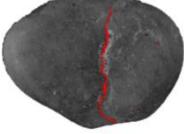
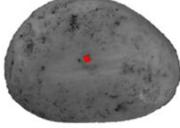
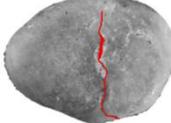
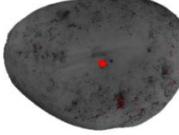
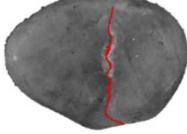
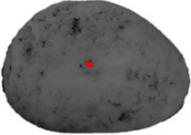
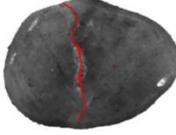
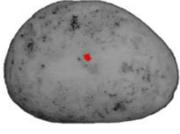
第六天			
-----	---	---	---

對照組 (常溫組)-2

	PH4	PH5.5	PH7
初始 (15 度)			
第一天 (18 度)			
第二天 (18 度)			
第三天 (22 度)			
第四天 (24 度)			
第五天			
第六天			

對照組 (常溫組)–2

備註：5.5 石頭與其他石頭種類不同，非白鵝卵石。

	PH4	PH5.5	PH7
初始 (15 度)			
第一天 (18 度)			
第二天 (18 度)			
第三天 (22 度)			
第四天 (24 度)			
第五天			
第六天			
第七天			

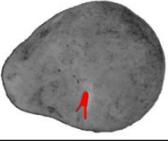
PH4 -1

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			
三			
四			
五			
六			



PH4 -1

	冷蔵	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			
三			
四			

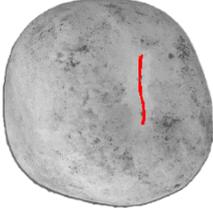
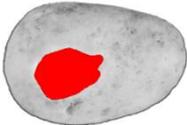
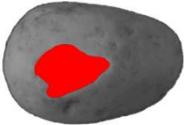
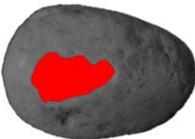
五			
六			
七			

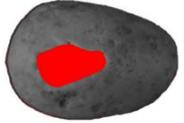
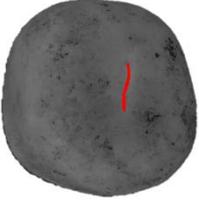
PH4 -2

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			
三			
四			
五			

六				
七				

PH4 -2

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			
三			
四			

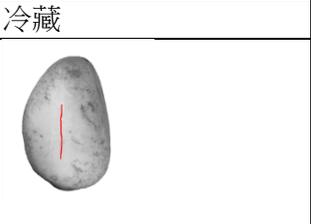
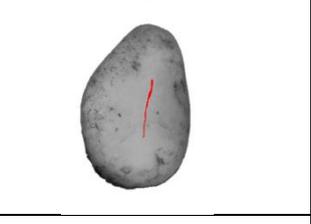
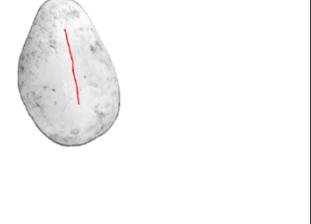
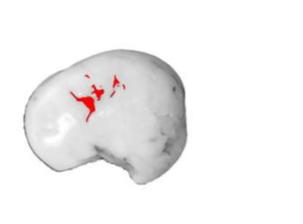
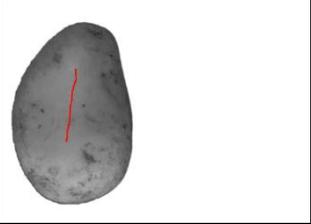
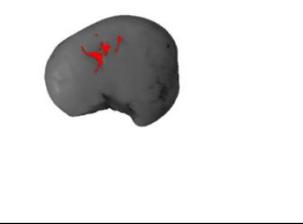
五			
六			
七			

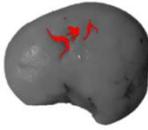
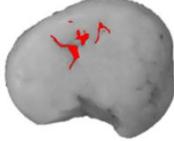
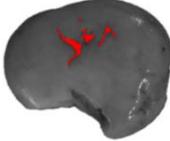
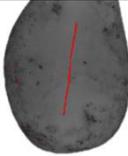
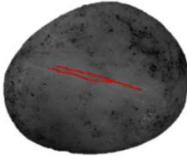
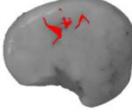
PH5.5 -1

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			
三			
四			
五			

六				
七				

PH5.5 -1

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			
三			

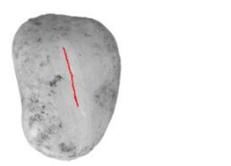
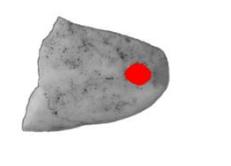
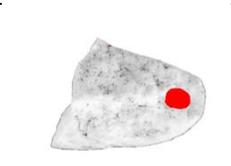
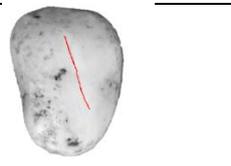
四			
五			
六			
七			

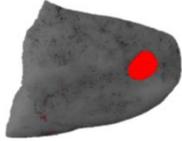
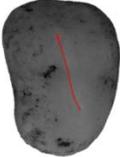
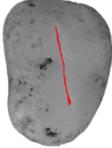
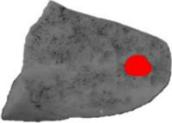
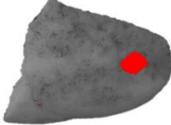
PH5.5 -2

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			
三			

四				
五				
六				
七				

PH5.5 -2

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			

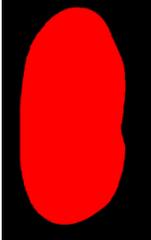
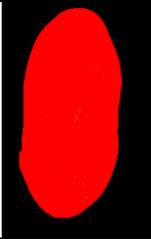
三			
四			
五			
六			
七			

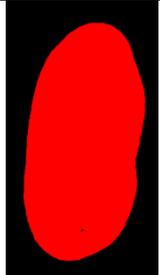
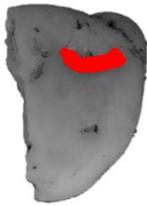
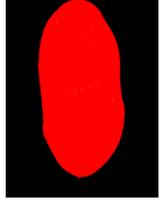
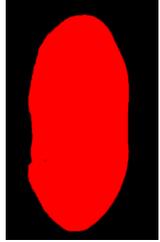
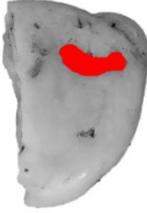
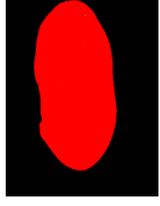
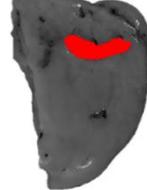
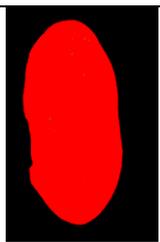
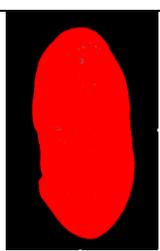
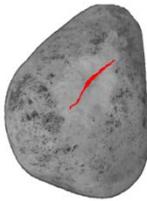
PH7 -1

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			
二			

三				
四				
五				
六				
七				

PH7 -1

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			
第一天			

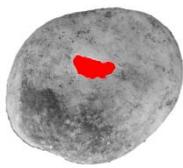
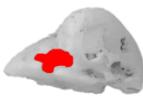
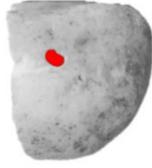
二			
三			
四			
五			
六			
七			

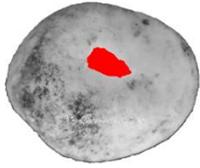
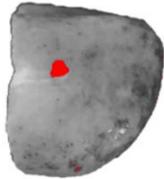
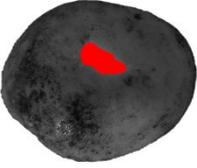
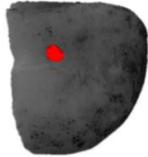
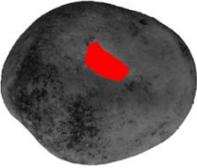
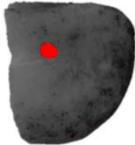
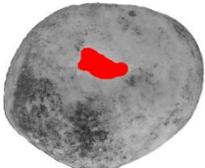
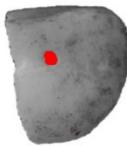
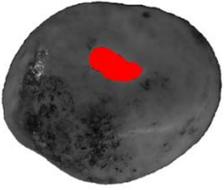
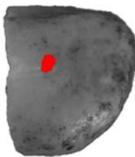
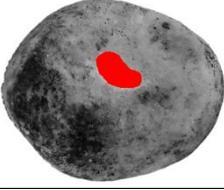
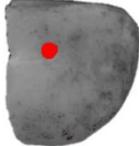
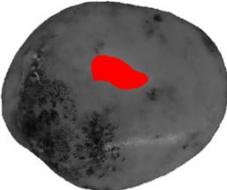
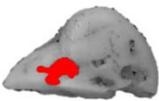
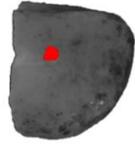
PH7 -2

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			

第一天				
二				
三				
四				
五				
六				
七				

PH7 -2

	冷藏	冷凍	藏+凍
初始			

第一天			
二			
三			
四			
五			
六			
七			

研究對象、文獻、實驗時間不足、樣本數不足  
 拍照技術不精、時間較不足，實驗一的實驗結果難以分析

泡酸液的會崩解，弱酸的則在溫度變化情況下較為明顯

石頭會在水的充滿下膨脹、崩解  
截面積變大，定義為動容循環明顯

若是撇除溫度變化，弱酸和一般水溶液為尋找到一致性  
敲擊面，受應力脆弱，應力位置可能會率先崩解。

4 在常溫下，已崩解的態勢為主

## 伍、結論

在人們發現酸雨對環境、人體的危害後，各國開始著手控制碳排放量，並簽訂了巴黎氣候協定，以達到減緩雨水酸化的情況。但過去所造成的種種傷害卻是無法抹滅的傷痛。有些危害物質堆積、沉積在高緯度地區，對該地的農業、生活造成了影響。

在進行凍融循環的實驗探究時，我們因研究對象的文獻、實驗時間和樣本數目的不足，導致最後的實驗結果不完全如我們當初的預期般。

經由實驗二—利用塑鋼土將小石頭固定於容器底部來浸泡酸液這項實驗，我們體認到了自身的拍照技術不精導致了分析照片時的誤差，所以實驗二整體結果我們無從得知、難以分析。

最後的實驗中，我們發現了兩點。第一是泡過酸液的白鵝卵石的外部會崩解、內部則會吸水脹大。而泡過弱酸的白鵝卵石則只在有明顯溫度變化情況下，其面積變化才會較為明顯。而石頭的敲擊面，因受應力脆弱，應力位置我們預測可能會率先崩解，為了截面積縮小的緣故。

最後我們判定，將石頭的截面積變大，定義為動容循環明顯。

第二個我們發現了，無論將白鵝卵石浸泡何種酸鹼度的溶液，經過 24 小時候，再次測得的 Ph 值便會落在 7.3~7.9 左右。全數皆是呈現弱鹼性，所以我們推論所使用的白鵝卵石，其組成可能含有一些能使水質鹼性化的成分，經由石頭崩解的過程，順勢溶於水中。

## 陸、過程回顧及展望

### 柒、討論

### 同酸鹼度、同

### 捌、參考資料及其他