

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

080503

「溫」暖我心，「泉」靠你行？！

學校名稱：臺北市中正區國語實驗國民小學

作者： 小五 楊秉睿 小五 羅士淵 小五 李易馨 小五 盧紫婕	指導老師： 鍾賢忠 王郁軒
---	-----------------------------

關鍵詞：碳酸氫鈉泉、北投溫泉、溫泉蔬菜

摘要

不同溫泉的礦物質、酸鹼性不同。火山溫泉的熱源為岩漿，溫泉多為酸性。礁溪溫泉為板塊運動引發高溫加熱地下水而成，呈弱鹼性，主成分為碳酸氫鈉。

採集大屯山區、礁溪溫泉種植綠豆和空心菜，發現火山地區酸性溫泉不利植物生長，pH值接近中性(弱鹼或弱酸)的溫泉對植物影響較少，有些情況用自來水種的植物甚至長得較好。

空心菜為礁溪農特產品，經過實地勘查、訪談農夫和種植實驗，發現空心菜生長與品種、水溫的關聯較大：礁溪空心菜長得好，除了與較溫暖的水溫有關，也與當地特別品種有關。以溫泉澆灌時，濃度不能太高，否則反而逐漸枯萎，所以酸鹼值接近中性的溫泉能讓蔬菜長得較好，而適當溫度與礦物質濃度經稀釋的溫泉，更有利於植物生長。

壹、引起動機

自然課曾學過植物生長與水溶液的酸鹼性，老師課堂上曾經補充溫泉的酸鹼性，並介紹礁溪有名的溫泉蔬菜，以前我們只知道一般的菜農在種蔬果時會引用地下水或者是溪水來灌溉，而礁溪卻利用當地的溫泉資源來種植，因此我們想研究用溫泉與一般水種出來的空心菜到底有什麼不一樣？同時我們也想到北投也有溫泉，是不是也能夠用北投的溫泉來種植呢？另外，為什麼北投和礁溪會有溫泉產生呢？要有什麼樣的條件才能夠產生溫泉，而這兩個地方的溫泉一不一樣呢？於是我們決定一步一步來解開我們心中的疑惑。

貳、實驗目的

- 一、探討陽明山與北投溫泉的性質與成因
- 二、探討礁溪溫泉的性質與成因
- 三、探討適合種植綠豆和空心菜的溫泉種類
- 四、探討蔬菜在自製碳酸氫鈉泉與礁溪天然碳酸氫鈉泉的生長情形-以綠豆和空心菜為例
- 五、探討蔬菜在室溫(溫度較低)與 30°C 自製碳酸氫鈉泉與礁溪天然碳酸氫鈉泉的生長情形-以綠豆和空心菜為例
- 六、探討一般空心菜與礁溪空心菜種子在礁溪溫泉中生長的差異
- 七、探討蔬菜在不同濃度溫泉環境中的生長情形-以綠豆為例
- 八、探討利用碳酸氫鈉泉澆灌，空心菜種子在土耕和水耕環境下之生長情形

參、實驗器材

- 一、實驗一、二：廣用指示紙、溫度計、相機、量筒、桶子(裝溫泉)。
- 二、實驗三：綠豆種子、空心菜種子、標籤紙、培養皿、衛生紙、滴管、裝滿各種溫泉的廣口瓶、尺。
- 三、實驗四、五：綠豆種子、空心菜種子、小蘇打粉、天秤、量筒、培養皿、棉花、標籤紙、滴管、燒杯、鐵盤、黏土、溫度計、保溫器、礁溪公園溫泉、自來水。
- 四、實驗六：一般與礁溪空心菜、燒杯、自來水、標籤紙、培養皿、衛生紙、滴管、礁溪公園溫泉。
- 五、實驗七：綠豆種子、小蘇打粉、天秤、量筒、培養皿、棉花、標籤紙、滴管、廣口瓶、廣用試紙。
- 六、實驗八：一般與礁溪空心菜種子、礁溪公園溫泉、塑膠盆、土、發泡煉石、廣用試紙。

肆、研究過程與方法

一、文獻探討

(一)溫泉的形成原因

一般我們所說的溫泉，是指滲入地下的雨水，被地層深處的熱源加熱，並且把岩層中的礦物質溶解出來，使得水中含有豐富的礦物質，這些被加熱的地下水，因為靜水壓力的關係，再沿著裂隙向上湧升到地面，就成了溫泉。所以，雨水是溫泉的主要水源：從天而降的雨水一點一滴滲入地底後，儲存在地層的孔隙或裂縫中，而多孔隙的砂岩、礫岩層或結構破碎的火山碎屑岩，因為較能夠儲存較多的地下水，所以是材質較佳的「大水壺」。

在火山地區，地底下的岩漿庫就是天然的熱水器，岩漿熱源把儲存在地層中的地下水加熱，各種火山氣體也溶解在其中。滾燙的熱水沿著地層中的裂隙往上冒出地面，形成帶著濃濃硫磺味的火山溫泉，像陽明山和北投地區就有很多這類型的溫泉。

宜蘭的礁溪地區，並不屬於火山地區，卻也冒出源源不絕的溫泉，主要的熱源與「地溫梯度」有關。地溫梯度就是「愈往地球內部，溫度就愈高」的一種趨勢。一般來說，從地面算起，深度每增加一公里，溫度大約上升 30°C。如果地層受到板塊運動的作用力，

或承受了厚重沉積物的擠壓力量，溫度的上升還會更明顯。地下溫度隨著深度增高的趨勢，形成溫泉的另一種熱源。

有了水源與熱源，還得要有通道，才能讓溫泉順利湧出。火山爆發或板塊運動造成的地層裂隙或斷層構造，往往就是溫泉湧出的通道。所以陽明山、北投以及礁溪的溫泉，都是沿著斷層裂隙冒出來。而溫泉在地層中下滲或上升的過程中，會逐漸溶解各種礦物質。由於不同地方的地層結構不同，所以各地溫泉也呈現不同的風貌。像陽明山地區，因為溫泉中溶解了不少火山氣體和礦物質，所以溫泉大多為酸性，且帶有刺鼻的硫磺味。可是，當來到礁溪地區，當地的溫泉卻是透明無色，帶有一絲絲滑潤的觸感！

(二)陽明山國家公園的火山與溫泉地形景觀

臺灣島位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之間，兩個板塊擠壓碰撞，使得原本堆積在海底的地層向上隆起，露出海面形成臺灣島。板塊運動使得岩層扭曲變形，產生了許多裂隙和斷層，地底深處的岩漿延著裂隙或斷層向上噴出地面，引發臺灣北部大屯火山群的噴發。目前火山暫時停止噴發，但是地下仍有岩漿熱源，受到東北季風、梅雨季節及颱風的影響，大屯火山群地區的降雨充沛，雨水滲入地下被加熱後，沿斷層向上冒出，因此本區擁有許多噴氣孔及溫泉等景觀。

溫泉孔湧出的熱水具有強大的腐蝕力，周圍岩石在長期高溫腐蝕作用下，變得鬆軟脆弱，容易崩塌，岩石中所含顏色較深、質量較重的鐵、鎂礦物逐漸被溶蝕掉，僅剩下顏色較淺、質量較輕的矽、鋁礦物。岩石逐漸變白，重量也變輕，變得鬆脆易裂，成份和原來不同，這種現象稱為熱液換質作用。溫泉所含的礦物質，也因為溫泉流出後溫度降低而沉澱在溪床上。靠近溫泉或噴氣孔的岩石，表面是黑色的，這是因為空氣中的硫氣和岩石中的鐵質結合，形成硫化鐵之類的礦物，而有些岩石看起來是黃褐色的，則是鐵氧化(生鏽)的顏色。

(三)陽明山溫泉類型

陽明山和北投地區的溫泉依照顏色和主要化學成分可分為三種：

- 1.青磺：酸性硫酸鹽氯化物泉，顏色為透明淡黃青色，溫度約為 50~75°C，pH 值為 1~2，地熱谷的溫泉就是青磺。
- 2.白磺：酸性硫酸鹽泉，顏色為半透明黃白色，溫度約從 50~97°C，pH 值為 2~4。部分

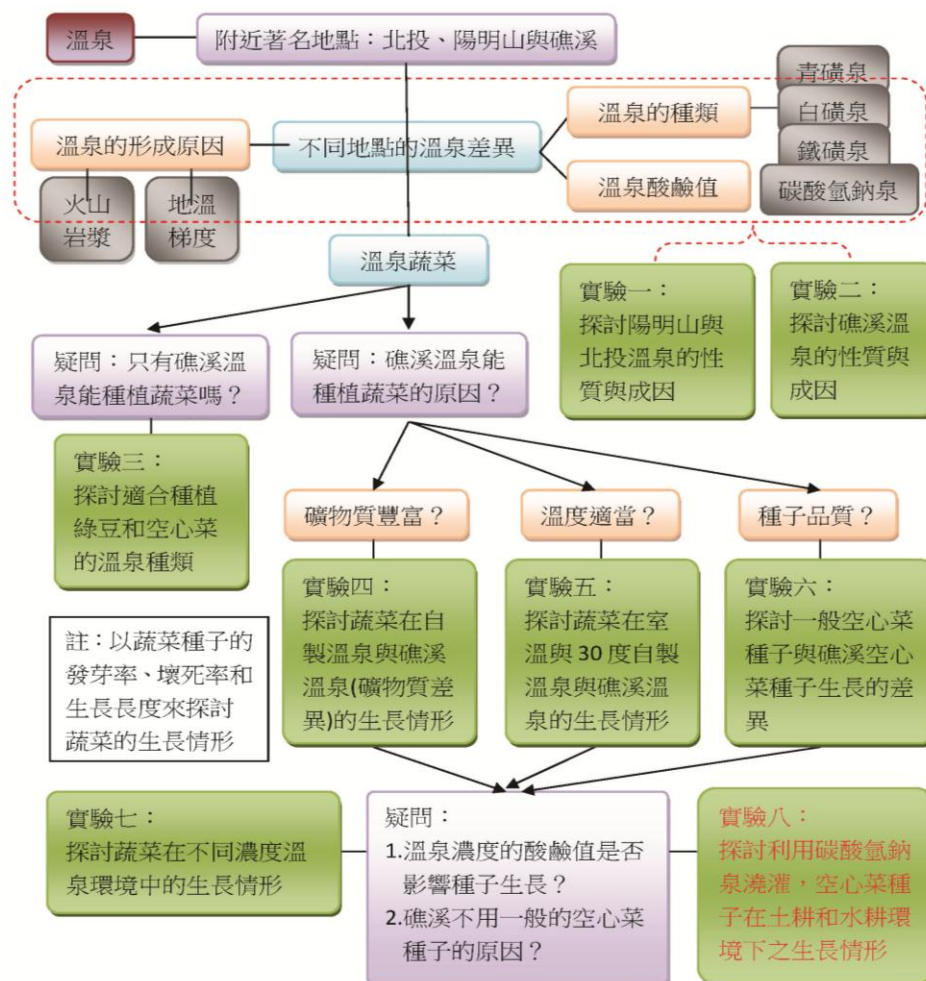
白磺為自來水公司開鑿溫泉井，將泉水引入地熱井中加熱而成的，又稱為人工溫泉，北投的溫泉旅館部分屬之。

3.鐵磺：硫酸鹽碳酸氫鈉泉，顏色透明無色，溫度約為 45~60℃，pH 值為 6~8，媽祖池、羅漢池的溫泉就是這類的溫泉。

(四)礁溪溫泉的介紹

礁溪溫泉位於宜蘭平原之北側，靠近山邊，鄰近礁溪斷層，由於宜蘭地區地下岩層為雪山山脈的變質岩，上方覆蓋厚重的泥沙沖積層，地下水受地溫梯度加熱後，變成為滾燙的地下水，沿地層裂縫上升。礁溪溫泉屬於碳酸氫鈉泉，泉色清無臭味，pH 值約在 7 左右，湧到地表時約為 58℃，洗後光滑柔細不黏膩，由於富含鈉、鎂、鈣、鉀、碳酸離子等礦物質成分，因此不論是浸泡、沐浴、或經處理後成為礦泉水飲用，都對身體健康極有幫助，被譽為「溫泉中的溫泉」。而溫泉蔬菜是礁溪的當地特產之一，由於當地溫泉調節田間的水溫，使水溫保持在 25~32℃ 之間，適宜蔬菜生長，使得蔬菜品質較佳。

二、實驗流程圖



三、實驗一：探討陽明山與北投溫泉性質與成因

(一)實驗過程

- 1.蒐集北投溫泉的相關資料。
- 2.前往硫磺谷、地熱谷、泉源公園、北投溪調查各地溫泉的溫度與酸鹼度。
- 3.觀察硫磺谷周圍的地形與地熱井，並查詢相關資料。
- 4.將地熱谷的青磺、硫磺谷的白磺和陽明山的鐵磺泉裝到瓶子中，帶回學校冰到冰箱中，做為實驗三和往後實驗的材料。

(二)實驗照片

照片				
說明	利用廣用試紙檢測泉源公園水質 pH 值	紀錄硫磺谷的相關資料	檢測地熱谷外的水溝水質 pH 值	觀察硫磺谷的地熱井

四、實驗二：探討礁溪溫泉性質與成因

(一)實驗過程

- 1.蒐集礁溪溫泉的相關資料。
- 2.前往礁溪溫泉公園、湯圍溝和奇立丹調查溫泉的溫度與酸鹼度。
- 3.訪問奇立丹當地居民如何運用溫泉來種植蔬菜。
- 4.將礁溪溫泉公園和湯圍溝公共澡堂的溫泉裝到瓶子中，帶回學校冰到冰箱中。

(二)實驗照片

照片				
說明	測量礁溪溫泉公園的溫泉溫度	檢測礁溪溫泉公園的溫泉的 pH 值	調查湯圍溝泡腳池溫泉的水溫和 pH 值	與礁溪奇立丹地區農民訪談，了解當地溫泉蔬菜種植情形


五、實驗三：探討適合種植綠豆和空心菜的溫泉種類

(一)實驗過程

- 1.準備 12 個培養皿並分別標上編號 1~6(共兩組)，培養皿內鋪滿衛生紙。

- 2.在第一組的 6 個培養皿中分別撒上 15 顆綠豆種子，第二組的 6 個培養皿中分別撒上空心菜種子。
- 3.編號 1 號以青磺泉澆入、2 號以白磺泉澆入、3 號以鐵磺泉澆入、4 號以礁溪溫泉公園之溫泉澆入、5 號以湯圍溝公共澡堂溫泉澆入、6 號以自來水澆入。
- 4.每天早上與下午定時澆入溫泉與水，定期紀錄綠豆和空心菜種子的生長情形。

(二)實驗照片

照片			
說明	實驗裝置(衛生紙上鋪上實驗用種子)	分別用不同試管在各組滴入實驗用溫泉	定時記錄種子的生長情況與生長長度

六、實驗四：探討蔬菜在自製碳酸氫鈉泉與礁溪溫泉(礦物質差異)的生長情形-以綠豆和空心菜為例

(一)實驗過程

- 1.自製碳酸氫鈉泉：用天秤秤量 1g 的小蘇打粉，並溶解在 1000mL 的水中。(根據陳文福的休閒溫泉學一書中 P.116 提到礁溪溫泉的碳酸氫鈉濃度是 1,000mg 碳酸氫鈉溶解在 1L 水中，我們根據此資料來配置人工模擬礁溪溫泉，碳酸氫鈉濃度約 1000ppm)
- 2.準備 6 個培養皿，並在裏頭塞滿棉花，並標上標籤(自製碳酸氫鈉泉、野外碳酸氫鈉泉、自來水)。
- 3.將綠豆和空心菜分別裝入燒杯中並加入水，淘汰掉浮在水上的種子。
- 4.第一組的 3 個培養皿分別撒上 16 顆綠豆種子，第二組撒上 16 顆空心菜種子。
- 5.每天早上與放學定時澆入溫泉與水，定期紀錄綠豆和空心菜種子的生長情形。

(二)實驗照片



照片				
說明	以天秤秤取 0.5g 小蘇打粉(兩次)	將秤好之小蘇打粉以 1L 水溶解	用水檢驗，淘汰掉浮在水面上的種子	實驗裝置(棉花上鋪上實驗用種子)

七、實驗五：探討蔬菜在室溫與 30°C 自製碳酸氫鈉泉與礁溪天然碳酸氫鈉泉的生長情形-以綠豆和空心菜為例

(一)實驗過程

- 1.重複實驗三步驟 1~5，步驟 2 改用鐵盤。
- 2.準備保溫器，並利用黏土墊高鐵盤到保溫裝置的距離，避免過度加熱。
- 3.調整鐵盤到保溫裝置的距離，讓鐵盤內的溫泉維持在大約 30°C 左右。
- 4.隨時補充鐵盤內的溫泉水，避免棉花乾掉影響植物生長，遇到假日則組員各自帶一組實驗器材回家持續加熱做實驗。
- 5.定期紀錄綠豆和空心菜種子的生長情形。

(二)實驗照片

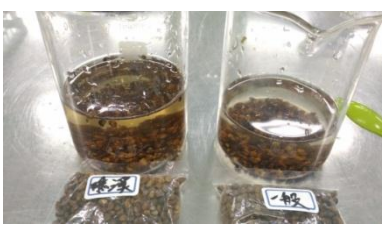

照片		
說明	實驗裝置圖，用黏土墊高鐵盤加熱	調整高度，使鐵盤內溫泉溫度約 30°C

八、實驗六：探討一般空心菜與礁溪空心菜種子在礁溪溫泉中生長的差異

(一)實驗過程

- 1.準備 2 個培養皿，並在裏頭塞滿棉花，並標上標籤(一般空心菜、礁溪空心菜)。
- 2.將一般與礁溪的空心菜分別裝入燒杯中並加入水，淘汰掉浮在水上的種子。
- 3.分別在培養皿撒上 16 顆一般空心菜種子和礁溪空心菜種子。
- 4.每天早上與放學定時澆入礁溪溫泉，定期紀錄兩種空心菜種子的生長情形。

(二)實驗照片

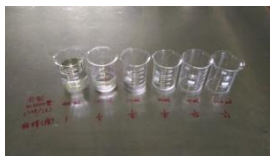
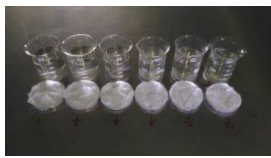
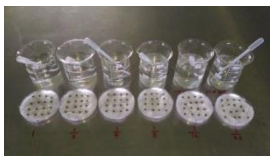
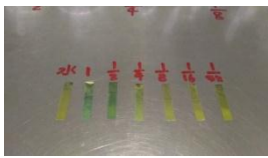
照片		
說明	用水檢驗，淘汰掉浮在水面上的種子	實驗裝置(棉花上鋪上實驗用種子)

九、實驗七：探討蔬菜在不同濃度溫泉環境中的生長情形-以綠豆為例

(一)實驗過程

- 1.秤量 1g 的小蘇打粉並溶解在 1000mL 的水中，自製 1000ppm 的人工碳酸氫鈉泉。
- 2.準備 6 個燒杯，依序分別倒入 400、200、100、50、25 和 12.5mL 的人工碳酸氫鈉泉。
- 3.在燒杯中依序倒入 0、200、300、350、375 和 387.5mL 的自來水，讓各燒杯內的溶液皆為 400mL，即可配置 1、1/2、1/4、1/8、1/16 和 1/32 倍的人工碳酸氫鈉泉。
- 4.以廣用指示紙檢驗各稀釋過後的人工碳酸氫鈉溶液濃度。
- 5.準備 6 個培養皿，在裏頭塞滿棉花並標上標籤(稀釋的比例)。
- 6.在培養皿內分別撒上 16 顆綠豆種子。
- 7.每天早上與放學澆入不同濃度的自製碳酸氫鈉溶液，定期紀錄綠豆的生長情形。

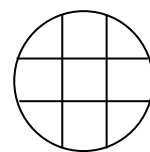
(二)實驗照片

照片				
說明	步驟 2，倒入不同量人工碳酸氫鈉泉	將各燒杯溶液補滿 400mL	實驗裝置(稀釋後溶液與實驗種子)	以廣用試紙檢驗各溶液的酸鹼值


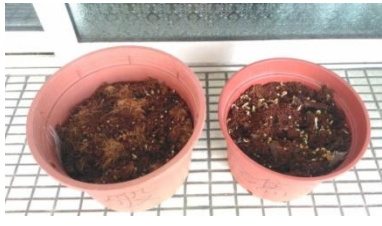


十、實驗八：探討利用碳酸氫鈉泉澆灌，空心菜種子在土耕和水耕環境下之生長情形

(一)實驗過程

- 1.準備兩個塑膠球狀容器，裏頭裝滿發泡煉石(模擬水耕環境)。
- 2.準備兩個圓形花盆(底下有洞)，裏頭裝滿土(模擬土耕環境)。
- 3.將一般與礁溪的空心菜分別裝入燒杯中並加入水，淘汰掉浮在水上的種子。
- 4.在兩個圓形花盆中分別撒上 200 顆的一般空心菜種子和礁溪空心菜種子。
- 5.在兩個塑膠球狀容器中分別撒上 80 顆的一般空心菜種子和礁溪空心菜種子。
- 6.每天早上與放學澆入礁溪溫泉，定期紀錄兩種空心菜的生長情形。(將圓形花盆分成九個區域，如右上圖，每個區域以一株空心菜高度代表，最後求平均生長長度。)





(二)實驗照片

照片		
說明	水耕環境(左邊容器內為一般種子、右邊容器內為礁溪種子)	土耕環境(發泡煉石縫隙大，水分容易流失，因此只能以土壤替代)
照片		
說明	測量並記錄一般與礁溪空心菜葉子寬度	測量並記錄一般與礁溪空心菜生長長度

伍、實驗結果

一、實驗一：探討陽明山與北投溫泉性質與成因

根據文獻，我們知道陽明山與北投位處大屯火山群附近，地底下含有岩漿熱源，加上其中有許多斷層，因此附近的地下水經過熱源附近後，因靜水壓力的關係沿著斷層造成的縫隙向上湧出，而地熱谷與硫磺谷位於大屯火山附近，也是我們這一次取溫泉水的地點，因此我們首先上網蒐集這兩個地方的地理位置、周圍熱源點以及經過附近的斷層，並整理如下表。

說明	地熱谷與硫磺谷地理位置	地熱谷與硫磺谷附近斷層與熱源
圖片		
地點	硫磺谷	地熱谷
簡介	硫磺谷溫泉區與地熱谷溫泉區皆位於山谷處，從上圖中可以知道兩者附近皆有熱源，並且鄰近金山斷層，因此附近地層有許多裂縫，可以讓深層加熱後的水沿著縫隙向上湧出，形成溫泉。另外，地熱谷溫泉水中有大量礦物質與微量放射性元素，長時間在裂縫中結晶形成「北投石」礦物，全世界只有臺灣有。	
泉種	白磺	青磺
顏色	白色、混濁	青藍色
引用旅館	北投地區的溫泉飯店大多為白磺泉。而且這種白磺泉多為人工白磺。	北投公園露天溫泉、瀧乃湯、新秀閣大飯店。





pH 值	2~6(酸性較弱且變化大)	1~2(酸性偏強)
礦物成分	火山氣體與溪水混合之酸性硫酸鹽泉 (含鈣離子與硫酸根離子)	富含氯離子與硫酸根離子的酸性硫酸鹽氯化物泉

我們實際到地熱谷、北投溪、泉源露天溫泉公園和硫磺谷這四處檢測溫泉的酸鹼度與溫度並整理如下表，地熱谷的青磺泉因為是從地底裂縫直接湧出，因此溫度最高，約 75°C，泉源公園、北投溪與硫磺谷則因為距離泉源較遠，加上為了提供民眾泡腳，溫度需要適當，因此被控制在 40°C 左右。而這四個地方的 pH 值都小於 7，可以知道溫泉水都偏酸性，但是白磺的 pH 值比青磺高，所以白磺偏弱酸性(pH=5~6)，而青磺則為強酸(pH=1~2)。

	地熱谷	泉源公園(泡腳處)	北投溪	硫磺谷(泡腳處)
地點與檢測照片				
				
泉種	青磺泉	青磺泉	青磺泉	白磺泉
溫度	75°C 左右	52.6°C	42°C	41.5°C
pH 值	約 1~2	約 1~2	約 2~3	約 5~6

除了調查溫泉的性質之外，在地熱谷與硫磺谷我們也看到了一些景觀，看了解說牌和回家蒐集資料之後，將我們知道的整理如下表：

地點	地熱谷	北投溪
照片		
說明	地熱谷內自然湧出的青磺泉潭，因為溫度高，所以溫泉表面持續有水氣產生，四周飄散著硫磺味。	北投溪，雖然是青磺泉，但是 pH 值比地熱谷略高，溪水顏色有點白色混濁，顯示溪水可能受到雨水和鄰近溫泉館排放泡澡後廢水的影響。
地點	硫磺谷泡腳池	硫磺谷泡腳池附近
照片		

說明	藉由管線將遠處的白磺引入此地，有硫磺味，池水顏色白色混濁，pH=5~6，比青磺高，屬於弱酸性。	將遠方白磺引入硫磺谷泡腳池的管線，附近有個地熱井，每天定時開放。
地點	硫磺谷	硫磺谷
照片		
說明	這顆紅褐色的大石頭後面有噴氣孔，可以看到縷縷白煙，石頭呈紅褐色是因為含有鐵的成分，接觸空氣之後生鏽所導致的。	往遠處看可以看到很多噴氣孔、硫磺孔(黃色冒煙處)和人工挖鑿地熱井，照片中的黃色部分即為硫磺結晶，火山蒸氣中含有硫的氣體(如二氧化硫)，這些氣體在噴氣口接觸到外界的空氣後，會逐漸形成硫的結晶，也就是硫磺。
地點	硫磺谷附近的地熱井	
照片		
說明	<p>1.近幾年北投溫泉盛行，因此從此處牽引許多管線將白磺引到北投溫泉館，然而天然白磺泉量本就稀少，供應不足的情況下，只能在硫磺谷周圍紛紛開鑿許多人工地熱井，而自來水公司將自來水灌入地熱井中，與底層的火山氣體混合形成人工白磺，目前北投溫泉館內的溫泉大多都是這種人工混合的白磺泉。</p> <p>2.天然白磺泉則是附近的地下水與火山氣體在地底下混合之後湧出，與人工白磺最大的差別在於天然白磺泉的礦物成分較高(因為在地底下混合後湧出，地層中的礦物會溶解較多)。</p>	

二、實驗二：探討礁溪溫泉性質與成因





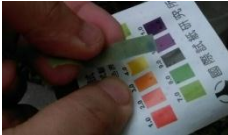
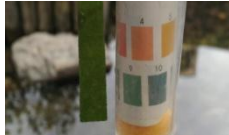
根據文獻，礁溪溫泉鄰近礁溪斷層，由於宜蘭地下深處岩盤為變質岩，上方覆蓋厚重的泥沙沖積層，地下水受地溫梯度加熱後，變成為滾燙的地下水，沿地層裂縫上升，由於地層中含有豐富的碳酸離子，因此此區的溫泉屬於碳酸氫鈉泉。

我們在中央大學-工程地質與防災科技研究室網站中找到臺灣東部斷層圖，並利用 Google map




將礁溪溫泉公園和湯圍溝標記後，利用繪圖軟體將兩張圖片重疊(以龜山島作為重疊大小的依據)，從合成圖片中確實可以發現這次我們所調查的礁溪溫泉公園和湯圍溝確實位於礁溪斷層附近，也再次說明臺灣大部分的溫泉都發生在斷層地帶，地下水在地底下經過熱源加熱之後，會從斷層裂縫處向上湧出。

我們實際到礁溪溫泉公園、湯圍溝與奇立丹檢測這三處的溫泉，當用手觸碰礁溪溫泉公園與湯圍溝的溫泉後，手指互相摩擦會有點滑滑的感覺，然後我們測量溫泉的酸鹼度與溫度並整理如下表，除了奇立丹之外，其餘三處的水溫約 34~42°C 左右，pH 約為 8。

	礁溪溫泉公園(溪水、泡腳處)	湯圍溝	奇立丹
地點與檢測照片			
			
泉種	碳酸氫鈉泉	碳酸氫鈉泉	碳酸氫鈉泉
溫度	34°C	36°C	12°C
pH 值	8(弱鹼)	8(弱鹼)	7(中性)

另外，我們在礁溪溫泉公園還有其他的發現，整理如下：

照片		
說明	在礁溪溫泉公園的入口處，有個小水池，裏頭有土黃色的顆粒附著在池底瓷磚上，這是因為溫泉內含有礦物質，當溫泉流出遇到外面較冷的環境後，其中的礦物質會變成結晶，然後沉澱在池底所造成的現象。	我們將礁溪溫泉公園溪水種植空心菜的底部淤泥撈起，用手觸摸並揉搓後，整個是滑滑的，老師說如果揉搓之後會有顆粒感，那就是沙子，但是這些泥土揉搓後沒有粗糙顆粒感，所以是泥。而野生的空心菜就是長在這些溪底淤泥上。

奇立丹的水溫與酸鹼度讓我們感到困惑，當地是種植空心菜的地方，而礁溪最有名的空心菜就是利用溫泉來灌溉，根據礁溪鄉農會網站的資料，溫泉能夠調節田間的水溫，使水溫保持在 25~32°C 之間，但是為什麼我們眼前的空心菜田內的水溫和 pH 值卻與資料不相符呢？碰巧遇到幾位伯伯，於是我們就去請教他們，以下是我們和伯伯彼此之間談話的部分內容：

我們：伯伯，礁溪這邊不是會用溫泉種植空心菜嗎？為什麼這邊的菜田水溫只有 12 度呢？

伯伯：現在是休耕期間拉，所以沒有用馬達把溫泉抽上來用。

我們：這邊是抽取溫泉上來灌溉空心菜的欸！

伯伯：是阿，前面有個馬達，可以將地底溫泉抽取上來與溪水

混合來灌溉，但現是休耕期，溫泉抽上來也沒有用，所以目前就沒再運轉。

伯伯：平常抽取上來的溫泉，因為接觸外面，溫度會冷掉，所以我們抽上來的溫泉也會在用人工加熱的方式來維持田野的水溫。

老師：如果一直抽取，那地下水來不及經過地熱加熱，而且在地層下待的時間不夠久，沒辦法溶解較多的礦物質，久了後溫泉品質會改變呢！

伯伯：另外一方面也是這邊的溫泉旅館逐漸變多，冬天的時候許多外地的人都喜歡來這邊泡溫泉，因此冬天休耕期間不抽取溫泉，而是由溫泉業者拿去經營觀光事業。

我們：所以現在這邊除了有溫泉蔬菜之外，礁溪泡溫泉也會變得像去北投泡溫泉一樣這麼熱門囉！

伯伯：現在溫泉蔬菜的田地都逐漸轉成其他地使用了，目前就只剩奇立丹這邊還看的到利用溫泉蔬菜種植的田了！

我們：那這邊種出來的空心菜和外面賣的有甚麼不一樣呢？

伯伯：我們這邊的空心菜種子和你們一般的種子不一樣，有特別改過，所以比較適合在我們這邊的水質生長，也比較好吃欸！



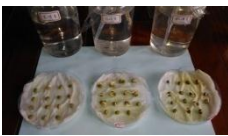
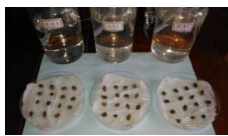


和伯伯談完話之後，我們才知道原來我們 1 月去的季節剛好是休耕期間，所以並未抽取地層底下的溫泉，因此水溫和當時是溫差不多為 12°C，而水也呈現中性，而利用休耕期間，底層的溫泉提供給溫泉旅館業者使用，可以避免兩方面都抽取溫泉，導致溫泉量不夠的困境。對話中，伯伯也提到礁溪空心菜種子品種與我們一般種的空心菜種子不同，這也讓我們心裏產生疑問？為什麼不用一般空心菜種子來種植呢？在後續實驗將針對這疑問來探討。

5 月份，我們再次來到奇利丹，熱心菜農阿公帶領大家到菜田觀察，阿公還當場打開抽取地下溫泉的裝置讓我們了解灌溉的過程，此時當地空心菜田已經種滿了空心菜(如下圖)，而在空心菜梗上會發現零星的福壽螺和卵，阿公說任其生長，堅決不灑農藥以保證蔬菜的品質。我們實際量測當地灌溉的溫泉溫度，剛抽出的溫泉水溫度約 46 度，離溫泉出水口較遠的菜田邊水溫約 22 度，所以平均溫度約為 34 度，pH 值約 8(呈現弱鹼性)，此時資料和我們之前上網查的資料大致吻合，我們將兩次到奇利丹所觀察記錄的資料整理如下：

各項比較	菜田照片與描述		溫度	pH 值	
1 月		菜田休耕、未種植空心菜	約 12°C		7 (中性)
5 月		菜田到處可見空心菜蹤影	平均約 34°C		8 (弱鹼)
5 月份奇利丹實地觀察記錄照片					
照片					
說明	剛抽出的菜田溫泉水溫度(46°C)	離溫泉水較遠區域的溫度(22°C)	稻田中有福壽螺，水中的浮萍可以提供給這些螺類吃食，避免空心菜被大量啃食。	接受訪談的農夫正在收割空心菜，並一網一網打包好準備拿去菜市場賣。	
	菜田剛用溫泉灌溉時，離出水口較近的溫度會較高，灌溉完一段時間後，水溫會接近室溫。				

三、實驗三：探討適合種植綠豆和空心菜的溫泉種類

在實地考察陽明山、北投與礁溪之後，我們對於溫泉能夠用來種植蔬菜感到好奇，以前有學過對植物而言，生長的必要條件是陽光、水、空氣與土壤，為什麼礁溪的溫泉可以拿來種菜呢？如果我們用北投的溫泉來種植，是不是也可以種出蔬菜來呢？因此我們取了陽明山與北投的三種溫泉(青磺、白磺與鐵磺)、礁溪溫泉公園和湯圍溝公共澡堂的溫泉，分別用這些溫泉來種植綠豆和空心菜種子，想藉由種子生長的情形來判斷哪些溫泉能夠拿來種植？我們將每顆綠豆和空心菜種子的生長情形與長度做成紀錄表。

種植日期：105.01.27~105.02.21(大多為寒冷、下雨的天氣)						
溫泉種類 天數	青磺泉	白磺泉	鐵磺泉	礁溪溫泉	澡堂溫泉	自來水
種子	綠豆		空心菜		空心菜	
第 5 天						
觀察情形	青磺中的綠豆變成褐色；鐵磺、礁溪與澡堂溫泉中的綠豆外皮變成黑色。					
第 10 天						

第 15 天	
觀察情形	青礮中的綠豆有些開始發霉，其他溫泉的綠豆陸續發芽；空心菜幾乎未發芽。
第 20 天	
觀察情形	綠豆在白礮和自來水中生長的情形較好；青礮中的空心菜沒有發芽跡象。
第 25 天	
觀察情形	青礮中的綠豆與空心菜幾乎都發霉。綠豆和空心菜在這 25 天中生長的都不好，甚至於有些也發霉了，可能是這一個月來時常下雨沒太陽，加上環境潮濕與溫度太低(寒流)所造成。


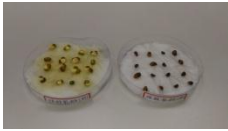
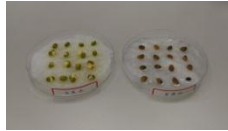
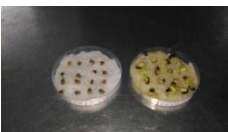
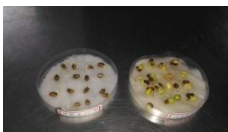
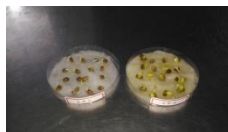



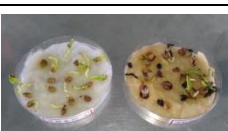
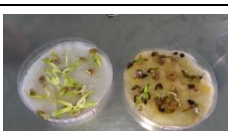
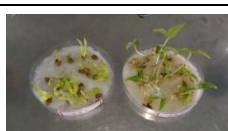
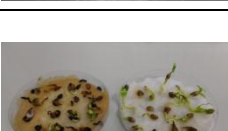
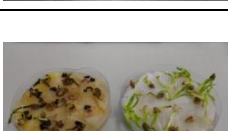

綠豆種子在不同溫泉中的生長長度(15顆)																空心菜種子在不同溫泉中的生長長度(15顆)																			
1.青礮泉																1.青礮泉																			
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均		
第5天(Q1)									0.3				0.1		0.2	0.1	0.18	第5天(Q1)															0.00		
第10天(Q2)									0.4				0.1		0.2	0.1	0.20	第10天(Q2)						0.4		0.2			0.4	0.2			0.30		
第15天(Q11)									0.4								0.40	第15天(Q11)						0.4		0.2			0.4	0.2			0.30		
第20天(Q16)									0.4								0.40	第20天(Q16)						0.4		0.2			0.4	0.2			0.30		
第25天(Q21)									0.4								0.40	第25天(Q21)	X		X	X	X	0.4	X	0.2	X	X	X	0.4	0.2	X	X	0.30	
2.白礮泉																2.白礮泉																			
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均		
第5天(Q1)	2.6	1.7	2.8	1.4	1.1	0.9	1.6	2.2	0.8	1	1.6	0.1	0.4	0.5		1.52	第5天(Q1)								0.4								0.40		
第10天(Q2)	3.2	2.6	3.6	2.5	2.8	1.4	2.5	3.1	1.3	1.5	2.2	0.7	0.5	2.5		2.17	第10天(Q2)						0.2	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4					0.40		
第15天(Q11)	3.6	2.8	4.1	3.2	3.1	1.6	3	3.8	2.1	1.7	2.6	0.8	0.5	2.7		2.54	第15天(Q11)	0.2	0.2				0.2	1	0.4	0.3	0.4	0.4					0.5	0.50	
第20天(Q16)	4	3.1	4.3	3.6	3.4	1.6	3.1	4.1	2.4	1.9	2.6	0.8	0.5	2.7		2.72	第20天(Q16)	0.5	0.6	0.5			0.2	1.1	0.4	0.6	0.7	0.4			0.3	0.7	1	0.62	
第25天(Q21)	4.2	3.3	4.6	3.9	3.6	1.6	3.1	5	2.5	2	3	0.8	0.5	2.8	X	2.92	第25天(Q21)	0.5	1.9	2			0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2			0.2	0.2	2	2	1.64
3.鑛泉																3.鑛泉																			
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均		
第5天(Q1)				1.7	0.6		2.3	0.4		0.2	1.6	1.2	0.4	0.8	0.5	1.24	第5天(Q1)																	0.00	
第10天(Q2)				3.2	1		2.2	1		0.2	2.6	1.5	0.4	2.2	0.6	1.79	第10天(Q2)								0.3	0.5	0.4							0.40	
第15天(Q11)				3.6	1		2.6	1.3		0.2	2.7	1.6	0.5	2.2	0.6	1.79	第15天(Q11)			0.4					0.4	0.8	0.8							0.60	
第20天(Q16)				3.9	1	0.1	2.6	1.5		0.2	2.7	1.7	0.5	2.2	0.6	1.86	第20天(Q16)			1.2				0.5	1	1.1	1	0.5			0.7		1	0.88	
第25天(Q21)				4	0.1	0.1	2.6	1.5		0.2	2.9	1.8	0.5	2.2	0.6	2.01	第25天(Q21)	X	X	1.8	X	X	X	1.2	1.7	2.1	1.9	1.5			0.8	1.8	X	1.5	1.69
4.碳酸氫鈉泉(龍溪溫泉公園)																4.碳酸氫鈉泉(龍溪溫泉公園)																			
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均		
第5天(Q1)	0.8			1	0.9	1.8	0.4		1.1	1.2	0.2	1.4	0.8	2	0.5	1.15	第5天(Q1)					0.3											0.30		
第10天(Q2)	1.1			1.2	1.2	2	0.5		1.2	1.2	0.2	2	1.8	2.7	0.6	1.50	第10天(Q2)	0.1				0.3												0.20	
第15天(Q11)	1.3			1.2	1.2	2	0.5		1.6	1.3	0.2	2.3	2	3.2	0.6	1.67	第15天(Q11)	0.2				0.3			0.3	0.3	0.1						0.1	0.22	
第20天(Q16)	1.3			1.3	1.3	2.1	0.5		1.8	1.3	0.2	2.3	2.4	3.4	0.6	1.77	第20天(Q16)	0.3				0.3	0.5		0.2	0.3	0.8	0.6	0.5			0.3	0.5	0.3	0.44
第25天(Q21)	1.8	X	X	1.5	2.1	0.5		0.5	2	1.3	0.2	2.4	3.4	3.4	0.6	1.88	第25天(Q21)	0.5	X	X		0.3	0.5	1.4	0.4	0.8	1.2	0.6	0.8	X	0.3	1.5	0.3	0.79	
5.碳酸氫鈉泉(馬場溝池腳處)																5.碳酸氫鈉泉(馬場溝池腳處)																			
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均		
第5天(Q1)	0.8	0.5		0.3		1.2	2	1.3	1		0.6	1.8	0.2			1.15	第5天(Q1)					0.4		0.2									0.40		
第10天(Q2)	1	0.5	0.4	1.6		1.3	2	1.5	1.8		0.8	2.4	0.2			1.43	第10天(Q2)					0.4		0.3										0.35	
第15天(Q11)	1	0.5	0.4	1.6		1.3	2	1.5	2.1		0.8	2.4	0.2			1.56	第15天(Q11)	0.6				0.7		0.3								0.3		0.48	
第20天(Q16)	1	0.5	0.4	1.6		1.3	2	1.5	2.2		0.8	2.4	0.2			1.65	第20天(Q16)	0.8				0.9		0.3	0.5					0.6	0.2	1		0.68	
第25天(Q21)	1	X	0.5	1.6	X	1.5	2	1.6	2.2	X	0.8	2.4	0.2			1.65	第25天(Q21)	1	0.3	X	1.3	X	X	0.5	1.4	0.3	0.5	X	斷	0.3	0.3	1.5		0.74	
6.自來水																6.自來水																			
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均		
第5天(Q1)	0.7	1		1.4	1.6					1.5		0.4		0.3	0.7	1.13	第5天(Q1)												0.4				0.40		
第10天(Q2)	0.7	1.2	0.8	2	1.8					2		0.5		0.3	0.9	1.28	第10天(Q2)				0.3								斷					0.30	
第15天(Q11)	0.8	1.8	0.7	2.2	2					2.8		0.5		0.3	1.5	1.64	第15天(Q11)				0.6				0.2		0.3		0.3	0.4				0.40	
第20天(Q16)	0.8	2	0.7	2.4	2.1					3.1		0.5		0.3	2	1.88	第20天(Q16)				1	0.2			0.2		1		0.9	1				0.98	
第25天(Q21)	0.8	2	1	2.7	2.3	0.5	3	X	X	4		0.5		0.3	5	2.25	第25天(Q21)	X	X	1.5	0.9	X		0.2	X	X	2	斷	1.5	X	3	X		1.78	

註：1.爛：爛掉；霉：發霉；X：未發芽；斷：芽斷掉；枯：芽枯萎；2.除了青礮泉外，綠豆種子長度未達 0.5 公分不列入平均計算；3.除了青礮泉外，空心菜種子長度未達 0.3 公分不列入平均計算(根據實驗，若生長初期綠豆和空心菜種子未超過 0.5 與 0.3cm，那之後也幾乎長不高，若是列入平均，將會使後來的平均生長高度不客觀，之後的實驗記錄皆以此為準。)

紀錄表中，我們發現綠豆在白磺泉與水中的生長情形較好，在青磺泉中的生長情形較差(皆發霉)，除了白磺泉的綠豆外，其他溫泉與自來水都有綠豆發霉；而空心菜種子在白磺泉中生長情形雖然不錯，可是發霉的數量卻也是最多的，在青磺與白磺中也都發現發霉空心菜。

四、實驗四：探討蔬菜在自製碳酸氫鈉泉與礁溪天然碳酸氫鈉泉的生長情形-以綠豆和空心菜為例

我們在訪談時得知礁溪當地會利用溫泉來種植空心菜，我們的實驗三也證明空心菜在礁溪溫泉中的出芽率較好(但生長程度比自來水差)，有沒有可能是溫泉中的礦物質影響？於是我們根據文獻資料自製與礁溪溫泉濃度差不多的碳酸氫鈉泉(泉水中不含其他礦物質)，並與礁溪公園的溫泉(泉水中含當地的其他礦物質)和自來水來種植綠豆和空心菜，如果種子在礁溪天然溫泉生長的情形比在自製的溫泉中還要好，代表礁溪溫泉中另有適合種子生長的礦物質。我們將每顆綠豆和空心菜種子的生長情形與長度做成紀錄表。

種植日期：105.02.17~105.03.11(大多為晴天、出太陽)				
溫泉種類 天數	自製溫泉	礁溪天然溫泉	自來水	觀察情形
第 4 天				溫泉中的綠豆開始發芽，空心菜還沒發芽。
第 10 天				部分綠豆子葉在自製與礁溪天然溫泉中變成紅褐色，且有枯爛的情形。
第 16 天				
第 20 天				多數綠豆在自製與礁溪天然溫泉中枯爛，空心菜無此現象。
第 24 天				綠豆在自來水中生長較好，空心菜在礁溪天然溫泉與自來水中都比較茂盛。


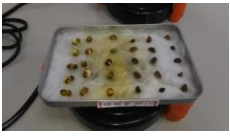




綠豆在室溫下的生長長度(16顆)																	空心菜種子室溫下的生長長度(16顆)																		
1.自製碳酸氫鈉泉																	1.自製碳酸氫鈉泉																		
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均
第4天(2/20)	1	0.9	0.9	0.5	0.7	0.9		0.7	0.8	0.6	0.7	1.2	0.3	1	0.9	1	0.84	第4天(2/20)		0.2		0.2				0.1	0.2								0.18
第10天(2/26)	1.5	1.1	1.1	1.1	1.6	爛	0.3	1	2.3	1.2	1.3	1.6	0.4	1.6	1.7	1.3	1.42	第10天(2/26)	0.7	1	1.2	1.5	0.7		1.5	1.8	0.9	0.5	0.8	0.7	0.9	1.3	0.4	0.1	0.99
第16天(3/3)	1.5	爛	1.2	1.2	1.6	爛	爛	枯	爛	枯	1.5	1.8	爛	2	1.8	1.3	1.54	第16天(3/3)	0.9	1.6	1.5	1.8	1.4		1.9	2	1.1	0.8	1.2	1	1.1	1.7	0.6	0.4	1.27
第20天(3/7)	爛	爛	1.4	爛	爛	爛	爛	霉	霉	爛	1.9	2.1	爛	2.3	爛	1.4	1.82	第20天(3/7)	爛	1.9	2.1	2.1	1.7		2.4	2.1	1.4	0.9	1.6	1.1	1.3	1.9	0.8	0.5	1.56
第24天(3/11)	爛	爛	爛	爛	爛	爛	爛	霉	霉	爛	枯	爛	爛	枯	爛	爛	0	第24天(3/11)	爛	1.9	2.3	2.5	2.4	X	2.6	2.4	1.6	1	1.8	1.6	1.3	2.1	1	0.6	1.79
2.碳酸氫鈉泉(礁溪溫泉公園)																	2.碳酸氫鈉泉(礁溪溫泉公園)																		
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均
第4天(2/20)	0.4	0.2	0.2	0.7	1.4	0.8	0.4	0.4	0.4	1.2	0.3	0.7	0.5	0.5		0.4	0.83	第4天(2/20)		0.5		0.3		0.2						0.3					0.33
第10天(2/26)	0.5	1	爛	1	1.9	1.6	0.5	1.5	1.1	1.3	0.5	0.7	0.6	1	0.1	1.9	1.08	第10天(2/26)	0.8	1.2	0.5	1.4	0.5	0.6	0.1	1.2	1	0.4	0.3	0.3	0.8		0.8	0.6	0.74
第16天(3/3)	0.6	1	爛	失	2.1	2.3	爛	2.1	1.1	1.4	0.8	爛	1.8	1.6	1.2	2.4	1.53	第16天(3/3)	1.1	1.4	0.9	1.6	1.3	0.8	1.1	1.3	1.3	0.8	1.3	1.2	1.1	爛	1	1.4	1.17
第20天(3/7)	0.8	爛	爛		爛	爛	爛	2.6	1.4	爛	1.3	爛	4.2	2	爛	爛	2.05	第20天(3/7)	1.2	1.7	1.7	1.8	2.1	1.1	2.2	1.3	1.9	1.2	2.7	2.1	1.3	爛	爛	2.6	1.78
第24天(3/11)	枯	爛	爛		爛	爛	爛	枯	爛	爛	枯	爛	枯	枯	爛	爛	0	第24天(3/11)	1.2	2.2	1.9	2.8	2.6	1.6	2.4	1.4	2.3	1.7	3.2	2.4	1.7	爛	爛	3.6	2.21
3.自來水																	3.自來水																		
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均
第4天(2/20)	0.2		0.1	失	0.8	0.6	0.8	0.3	0.4	0.8	0.8	1.3	0.6	0.6	0.8	0.7	0.78	第4天(2/20)	0.3	0.6	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.6			0.7	0.3	0.6		0.3		0.44
第10天(2/26)	0.5		1		1.4	0.8	1.5	1.5	1.1	1	1.5	2.1	0.8	2	1.5	1.4	1.29	第10天(2/26)	1.4	1.5	1.4	1	1	1.4	1.2	1.4	0.4	0.5	1.8	0.5	0.5	1	1	0.2	1.07
第16天(3/3)	爛	1.8	1		3.2	2.4	3.8	1.8	2.3	2.1	2.4	2.4	1.6	4.2	2.8	1.7	2.39	第16天(3/3)	2.1	1.5	1.8	1.3	1.7	1.6	1.5	2.2	1.3	1.5	1.8	1.9	1.1	1.6	1.7	1.6	1.64
第20天(3/7)	爛	4.2	爛		5.3	4.8	6.3	2.2	6.2	7.3	3	3.2	5	12	5.2	2.2	5.11	第20天(3/7)	3	1.6	2.1	1.8	2.2	2	1.8	3.1	1.8	2	1.8	3.2	1.5	2.4	2.2	2.1	2.22
第24天(3/11)	爛	5.8	爛		5.7	5.2	6.8	2.6	6.7	7.8	3.5	3.7	5.5	12	5.8	2.6	5.68	第24天(3/11)	3.2	2	2.3	2.2	2.6	2.4	2.1	3.6	2.1	2.3	2.4	3.5	1.6	2.7	2.6	2.6	2.51



註：1.爛：爛掉；霉：發霉；X：未發芽；斷：芽斷掉；枯：芽枯萎，失：失蹤；2.除第一次外，綠豆種子長度未達 0.5 公分不列入平均計算；3.除第一次外，空心菜種子長度未達 0.3 公分不列入平均計算

除了以自來水種植的綠豆外，在自製碳酸氫鈉泉中的綠豆幾乎都枯爛掉，表示綠豆不適合在鹼性水溶液環境中生存；而空心菜可以在鹼性水溶液環境中生存，三種溶液對空心菜生長的好壞依序為：自來水>礁溪溫泉>自製碳酸氫鈉泉，結果顯示出礁溪溫泉中應該有某些礦物質能夠幫助空心菜成長，只是空心菜還是較適合以自來水種植。

五、實驗五：探討蔬菜在室溫與 30°C 自製碳酸氫鈉泉與礁溪天然碳酸氫鈉泉的生長情形-以綠豆和空心菜為例

從文獻和訪談中我們知道礁溪會利用溫泉種植空心菜，而當地田野間的水溫約為 30°C 左右，因此我們將空心菜與綠豆利用加熱器(保溫盤)安置在約 30°C 的環境中，並分別用澆入自製碳酸氫鈉、礁溪天然溫泉和自來水，觀察種子在 30°C 環境中生長的情形，最後在與實驗四結果對照，比較礁溪當地的溫泉溫度是否較適合種子生長？以下是每顆綠豆和空心菜種子的生長情形與長度紀錄表。

種植日期：105.02.17~105.03.11(大多為晴天、出太陽)				
溫泉種類 天數	自製溫泉	礁溪溫泉	自來水	觀察情形
第 4 天				綠豆比空心菜更快冒出芽來。
第 10 天				(更換棉花)，綠豆在溫水中生長的較好。

第 16 天				1.綠豆在自製溫泉與礁溪天然溫泉中有漸漸枯黑的現象； 2.空心菜與綠豆在溫自來水中生長的情形較佳； 3.空心菜在礁溪天然溫泉中長得比自製溫泉好，但比在自來水差。
第 20 天				
第 24 天				

綠豆種子30度左右環境中的生長長度(15顆)																空心菜種子30度左右環境中的生長長度(15顆)																		
1.自製碳酸氫鈉泉																1.自製碳酸氫鈉泉																		
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	
第4天(2/20)	0.2	0.5				0.1	0.2	0.1		0.1	0.1					0.18	第4天(2/20)																0.00	
第10天(2/26)	失	0.8				0.2	0.9	0.1		1.1	0.1					0.85	第10天(2/26)			0.9				0.8			1.1			0.6			0.85	
第16天(3/3)	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	0	第16天(3/3)		0.1	1.1				1		1.3	0.1	0.8	0.1	0.1	0.1	1.05		
第20天(3/7)	枯	爛	爛	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	爛	0	第20天(3/7)		0.3	1.2				1.2		1.6	0.1	枯	0.2	枯	枯	1.08		
第24天(3/11)	爛	爛	爛	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	爛	0	第24天(3/11)	枯	0.8	1	枯	爛	1.2	枯	枯	2.1	枯	枯	枯	枯	枯	1.28		
2.碳酸氫鈉泉(礁溪溫泉公園)																2.碳酸氫鈉泉(礁溪溫泉公園)																		
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	
第4天(2/20)	1.8			0.7	0.1	1.6			1	0.7		0.4			0.3	0.86	第4天(2/20)			0.3						0.3							0.30	
第10天(2/26)	2	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	1	0.5	0.9	2.2	2	1	1.2	1.02	第10天(2/26)	0.5	0.4	1.1	0.2			1		0.6	1		0.3		1.4	0.9	2.2	0.94
第16天(3/3)	枯	6.7	4.2	2.1	1.1	1.5	2.8	1.1	8.4	1.3	1.8	5.4	失	4.8	5.5	5.15	第16天(3/3)	4.2	1.1	4.2	枯	枯	3.2	枯	1	2.8	0.3	1.6	0.4	2.1	3.6	4.2	2.39	
第20天(3/7)	枯	枯	枯	枯	枯	枯	3	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	枯	3	第20天(3/7)	枯	1.1	枯	枯	枯	3.5	枯	1	3.1	枯	1.6	1	爛	枯	枯	1.88	
第24天(3/11)	爛	爛	爛	爛	爛	爛	4.1	爛	爛	爛	爛	爛	爛	爛	爛	4.1	第24天(3/11)	枯	1.1	枯	枯	枯	3.5	枯	1	3.1	枯	1.6	1.1	爛	枯	枯	1.83	
3.自來水																3.自來水																		
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均	
第4天(2/20)	2.1	1.5	1.2		1.7	0.8	1	0.4	0.6	2.4	0.9	1.6	1.6	2	1.1	1.35	第4天(2/20)	1			1.4	1.3	0.2	0.4	0.1		1.4						0.83	
第10天(2/26)	2.5	2.2	2.6	0.3	2.8	1.8	3.2	1.9	2.1	3.1	1.8	2.5	2.6	2.2	1.5	2.34	第10天(2/26)	1.4	0.9	1.6	2.1	2.3	1.9	1.6	0.3		2.1	0.5	1.8		1.8	1.2	1.50	
第16天(3/3)	3.6	3.2	3.9	2.1	3.2	3.6	3.8	2.4	3.9	3.7	3.5	2.8	3.9	3.1	3.2	3.33	第16天(3/3)	2.1	3.8	3.2	2.6	2.9	2.6	2.8	枯		3.1	1.5	2.2		2.3	1.9	2.58	
第20天(3/7)	4	3.2	5.6	2.7	4.1	4	4.1	3.2	4.1	4.3	3.9	3.2	4.3	3.6	4.2	3.9	第20天(3/7)	3.8	4.2	3.9	2.8	3.2	3.4	3.4	枯	0.5	3.2	2.2	3.9		2.6	3.1	3.09	
第24天(3/11)	4.5	4	6.5	2.9	5	6.4	5	4.5	5.8	枯	4.2	3.8	6.2	5	4.5	4.88	第24天(3/11)	4.2	5	4.8	4.5	4	5	3.6	枯	1.3	3.5	2.5	4	X	3	4.8	3.86	

註：1.爛：爛掉；霉：發霉；X：未發芽；斷：芽斷掉；枯：芽枯萎；2.除第一次外，綠豆種子長度未達0.5公分不列入平均計算；3.除第一次外，空心菜種子長度未達0.3公分不列入平均計算

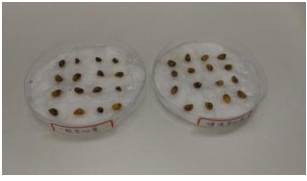
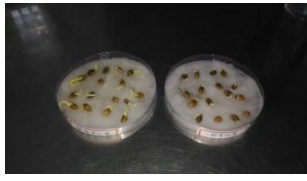
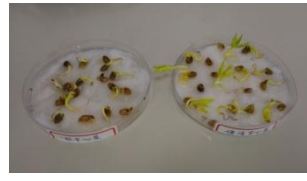
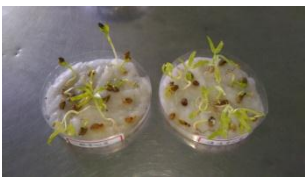

根據實驗記錄，我們觀察到以下幾點：

- (一)綠豆和空心菜的種子在溫水的環境中生長的情形比在自製溫泉和礁溪天然溫泉要好。
- (二)綠豆在自製和天然溫泉幾乎都爛掉或枯掉，空心菜最後也有一半數量枯掉或爛掉。
- (三)與實驗四「種子室溫之下生長」相比，綠豆與空心菜在 30°C 的礁溪天然溫泉中生長時，種子在前 15 天的生長情形比室溫之下要來的好，但是之後卻漸漸枯萎。

六、實驗六：探討一般空心菜與礁溪空心菜種子在礁溪溫泉中生長的差異

我們在訪談時，當地的伯伯曾提到這邊的空心菜種子與一般空心菜種子不同，實驗進行到這邊，我們已經大致了解一般的空心菜種子在礁溪溫泉中生長的情形並沒有比在自來水中來的好，那難道礁溪出產的空心菜種子就適合用礁溪溫泉來種植嗎？我們特別買了當地的空心菜種子，並和平常的空心菜種子一起用礁溪溫泉來種植，觀察並比較兩種空心菜種子的生長情形，來看看礁溪空心菜種子是不是比一般空心菜種子更適合在當地的溫泉中生長。以下

是一般和礁溪空心菜種子的生長情形與長度紀錄表。

種植日期：105.02.17~105.03.11(大多為晴天、出太陽)			
天數	第 4 天	第 10 天	第 16 天
照片	 礁溪(右)、一般(左)	 礁溪(左)、一般(右)	 礁溪(右)、一般(左)
說明	16 天中，礁溪空心菜種子的發芽長度普遍比一般空心菜種子來的好，同時也漸漸長出子葉來，而一般空心菜種子尚未長出子葉來，顯示一般空心菜的生長速度比礁溪空心菜慢。		
天數	第 20 天	第 24 天	
照片	 礁溪(右)、一般(左)	 礁溪(右)、一般(左)	
說明	礁溪空心菜種子的生長幾乎都長出子葉，而一般空心菜只有 4、5 顆長出子葉，生長極慢。		

一般空心菜種子在室溫下的生長長度(16顆)														礁溪空心菜種子在室溫下的生長長度(16顆)																					
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均
第4天(2/20)																	0.00	第4天(2/20)																0.10	
第10天(2/26)	0.6	0.8		0.3	0.6	0.5		0.5	0.8	0.8	0.8	0.2	0.7		0.2		0.57	第10天(2/26)	1.2		1.3	1.7	1.4		1.1	1.4	1.5	1.8	0.5	0.9	1.4	1.4	1.1	1.1	1.27
第16天(3/3)	1.4	1.2	0.5	1.3	1.7	1.3	0.5	1.9	1.8	2.3	1	0.2	1.1	0.2	1.2	0.2	1.32	第16天(3/3)	2.2		3	2	1.6		1.9	2.3	3.5	3.6	0.9	1.6	1.7	2.1	2.3	2.1	2.2
第20天(3/7)	2.6	1.5	3.6	1.6	1.7	2	1	2.1	1.9	2.8	1.5	爛	1.3	爛	3.8	爛	2.11	第20天(3/7)	2.5		3.8	2.3	2.1		2.8	2.6	4.3	4	1.6	1.8	2.2	2.9	3.4	2.4	2.76
第24天(3/11)	4.2	1.7	4	1.7	1.9	2.3	1	2.3	2.7	3	2.1	爛	1.5	爛	4.2	爛	2.51	第24天(3/11)	2.8		4.3	3.2	2.4		3.2	3.4	4.9	4.2	2.3	1.9	3.8	3.1	3.7	2.8	3.29

註：1.爛：爛掉；霉：發霉；X：未發芽；斷：芽斷掉；枯：芽枯萎；2.除第一次外，空心菜種子長度未達 0.3 公分不列入平均計算

根據實驗記錄，我們觀察到 24 天之後，室溫下的礁溪空心菜平均生長長度為 3.29 公分，比一般空心菜平均生長長度 2.51 公分還要長，所以礁溪空心菜確實比一般空心菜更適合生長在礁溪溫泉中。

七、實驗七：探討蔬菜在不同濃度溫泉環境中的生長情形-以綠豆為例

在實驗五中，綠豆和空心菜種子在 30°C 的自製溫泉環境中，第 16 天幾乎全部枯掉，而在 30°C 左右的礁溪溫泉中生長最好，但是第 20 天以後生長程度漸漸變差，根據討論五，我們推測可能是鹼性增強的關係，於是我們以自製溫泉為基準，逐漸稀釋後，觀察綠豆種子在稀釋後的自製溫泉中生長的情形。以下是每顆綠豆的生長情形與長度紀錄表。

種植日期：105.02.17~105.03.11(大多為晴天、出太陽)

稀釋倍率 天數	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	觀察情形
第3天							綠豆在各濃度環境下都逐漸發芽，其中在1倍自製溫泉下，綠豆外皮開始變成黑色(與之前實驗相符)
第6天							
第10天							綠豆在1、1/2與1/4倍自製溫泉環境中出現幾顆爛掉的現象。從照片上來看，濃度越稀的環境，綠豆生長的情況會較好。
第14天							

綠豆在自製碳酸氫鈉(濃度：1倍)下的生長長度(16顆)																	綠豆在自製碳酸氫鈉(濃度：1/2倍)下的生長長度(16顆)																			
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	均	
第3天(3/4)	0.3				0.7	0.4	0.4					0.4	0.3	0.3	0.8		0.45	第3天(3/4)	0.8	1	0.9		0.6		0.9	0.3		0.6			0.6				0.6	
第6天(3/7)	爛	1.4	1.1	1.3	2.8	2.6	2.8	2		1.7	2.6	3.3	2.1	1	爛	2.8	2.12	第6天(3/7)	1.8	2.1	2.2		1.2	1.1	1.9	爛		2.3			1.6	1.1			0.8	1.61
第10天(3/11)	爛	2.6	2.1	1.6	3.5	4.8	5.6	2.3		4.2	3.2	5.1	3.6	3.2	爛	3.7	3.5	第10天(3/11)	3.6	4.2	3.8	0.3	2.9	2.1	4.9	爛	爛	9.2		4	2.8	0.5	0.6	2.8	3.45	
第14天(3/14)	爛	3.9	3.7	2.1	5.5	5.7	5.9	5.1	爛	4.8	3.5	5.4	4.1	3.5	爛	4.6	4.45	第14天(3/14)	4.7	5	4.9	1.2	3.5	2.3	7.6	爛	爛	11	0.4	4.6	3.6	1	1.4	3.5	4.18	

註：1.爛：爛掉；霉：發霉；X：未發芽；斷：芽斷掉；枯：芽枯萎；2.除第一次外，綠豆種子長度未達0.5公分不列入平均計算

根據實驗記錄，我們觀察到綠豆在不同濃度的自製溫泉生長情形並不相同，在濃度較高的1倍與稀釋1/2倍的環境中，綠豆平均生長長度並未超過5cm，在濃度較低的1/8、1/16與1/32倍的環境中，綠豆平均生長長度約在5.88公分以上，顯示出溫泉中礦物質(本實驗溫泉中礦物質成分主要為碳酸氫鈉)濃度確實會影響綠豆的生長。

八、實驗八：探討利用碳酸氫鈉泉澆灌，空心菜種子在土耕和水耕環境下之生長情形

種植日期：105.05.06~105.31(大多為晴天、熱)					
環境		不流動的溫泉水環境		流動的溫泉水環境	
天數		上方照	側邊照	上方照	側邊照
5/7 第2天	照片			X	
	說明	礁溪空心菜種子(左邊)開始發芽，一般空心菜還未發芽。		礁溪空心菜種子(右邊)開始發芽，一般空心菜還未發芽。	

5/10 第5天	照片							
	說明	礁溪空心菜(右邊)生長的長度與發芽數量明顯比一般空心菜(左邊)好。		礁溪空心菜(右邊)生長的長度與發芽數量明顯比一般空心菜(左邊)好。				
5/12 第7天	照片							
	說明	和 5/10 比，一般空心菜的發芽數量變多，而兩種空心菜生長長度持續變長。		和 5/10 比，一般空心菜的發芽數量變多，而兩種空心菜生長長度持續變長。				
5/19 第14天	照片							
	說明	一般空心菜與礁溪空心菜生長長度持續變長。(礁溪空心菜葉子較翠綠)		一般空心菜與礁溪空心菜生長長度持續變長。(礁溪空心菜葉子較翠綠)				
5/26 第21天	照片							
	說明	一般空心菜與礁溪空心菜生長長度持續變長。(礁溪空心菜葉子較翠綠)		一般空心菜與礁溪空心菜生長長度持續變長。(礁溪空心菜葉子較翠綠)				
5/31 第26天	照片							
	說明	1.除了持續生長之外，礁溪空心菜的葉子比一般空心菜的葉子還要寬大。 2.礁溪空心菜子葉大量枯萎，一般空心菜的子葉目前枯萎較少。		1.除了持續生長之外，礁溪空心菜的葉子比一般空心菜的葉子還要寬大。 2.礁溪空心菜子葉大量枯萎，一般空心菜的子葉目前枯萎較少。				
	葉片寬度					一般空心菜 0.9cm	礁溪空心菜 1.2cm	一般空心菜 0.9cm

空心菜種子在土耕環境下生長情形																						
一般空心菜種子										礁溪空心菜種子												
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	均	
第02天(5/07)										0.00	第02天(5/07)	0.3	0.3	0.4				0.5			0.4	0.38
第05天(5/10)	3.6	2.8	3.9	4.2	4.7	4.2	3.8	3.2	4.6	3.89	第05天(5/10)	5.2	4.3	6.2	5.8	6.1	6.9	5.2	6.9	6.3	5.88	
第07天(5/12)	6.9	7.4	6.3	6.6	7.1	7.9	6.8	7.5	7.1	7.07	第07天(5/12)	9.1	8.8	11.1	8.2	9.6	11.6	10.2	11.1	10.9	10.07	
第14天(5/19)	9.8	10.9	11.6	13.6	13.7	11.3	12.5	12.8	11.9	12.01	第14天(5/19)	12.1	14.3	12.8	12.1	16.5	14.1	12.5	11.6	13.9	13.32	
第21天(5/26)	12.6	14.4	16.9	16.2	16.2	12.8	13.6	13.9	14.2	14.53	第21天(5/26)	16.1	17.2	13.8	13.2	17.3	15.7	13.7	15.5	17.3	15.53	
第26天(5/31)	16.2	17.7	17.9	18.2	18.9	14.8	15	15.4	16.5	16.73	第26天(5/31)	16.8	17.9	16.8	15.6	17.4	18.2	15.2	16.8	18.1	16.98	

空心菜種子在水耕環境下生長情形																						
一般空心菜種子										礁溪空心菜種子												
天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	均	天數/種子編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	均	
第02天(5/07)										0.00	第02天(5/07)											0.00
第05天(5/10)	0.5	0.4	0.6	0.7	0.8	1.2		0.2		0.63	第05天(5/10)	1.2	1.5	2.2	2.6	2.8	1.9	3.2	2.6	3.8	2.42	
第07天(5/12)	3.8	4.1	3.3	2.8	2.1	2.8		1.9	2.6	2.93	第07天(5/12)	4.6	5.1	5.6	4.2	5.6	4.9	5.4	6.2	5.8	5.27	
第14天(5/19)	7.3	6.5	5.5	6.2	4.8	5.4	2.8	4.6	5.9	5.44	第14天(5/19)	6.1	7.2	6.4	6.3	7.1	7.6	7.9	8.2	7.5	7.14	
第21天(5/26)	9.6	8.7	10.2	9.7	8.8	9.6	8.7	9.7	8.8	9.31	第21天(5/26)	8.8	9.3	9.6	10.2	10.7	11.8	12.4	13.2	10.6	10.73	
第26天(5/31)	13.9	14.9	14.1	14.5	13.7	12.9	14.7	13.8	15.1	14.18	第26天(5/31)	16.2	15.7	14.4	13.2	15.1	14.7	15.5	16.3	14.6	15.08	

從兩種空心菜種子的成長觀察與生長紀錄，我們發現以下幾點：

- (一)不論是水耕或是土耕環境中，種植初期，礁溪空心菜比一般空心菜種子更容易發芽。
- (二)不論是水耕或是土耕環境中，在前 14 天時，礁溪空心菜的生長程度比一般空心菜好。
- (三)不論是水耕或是土耕環境中，過了最初 14 天之後，礁溪空心菜與一般空心菜生長高度差不多，但是礁溪空心菜的葉寬和莖徑卻明顯大於一般空心菜。礁溪空心菜的葉子寬度(約 1.2~1.6cm)比一般空心菜的葉子(約 0.9cm)寬度要長。

陸、討論

一、根據實驗一的研究發現，北投溪、泉源公園和地熱谷三個地方皆為青磺泉，然而在 pH 值上北投溪卻比地熱谷高，也就是說北投溪的酸性稍微弱了些，我們推測由於附近溫泉旅店排放遊客泡澡後的廢水，加上雨水等原因，才會使得北投溪的 pH 值比其他兩個地方要高，但我們並未看見溪流中有魚，可能是溪流太酸的原因。

二、根據實驗一，我們知道地熱谷的青磺屬於酸性硫酸鹽氯化物泉，硫磺谷的白磺屬於酸性硫酸鹽泉，雖然兩者都位於大屯火山區，但是泉水性質卻不同，根據右圖(圖片來源：休閒溫泉學 P.75)，因為兩者的形成原因並不一樣，青磺泉和白磺泉都是雨水滲入地層之後，在地底下經過循環，然而青磺泉除了火山礦物質之外，還溶解了不少地層中的氯離子，之後再沿著地層縫隙向上湧出(紅色線條)，而白磺泉則是地層下的火山氣體沿著縫隙向上湧出(藍色圈圈)，並與附近溪水混合之後而形成的，火山氣體溶入水中的濃度較低，且變化也較大。(人工白磺的製程在伍、實驗結果的實驗一，地熱井圖說中有提到)

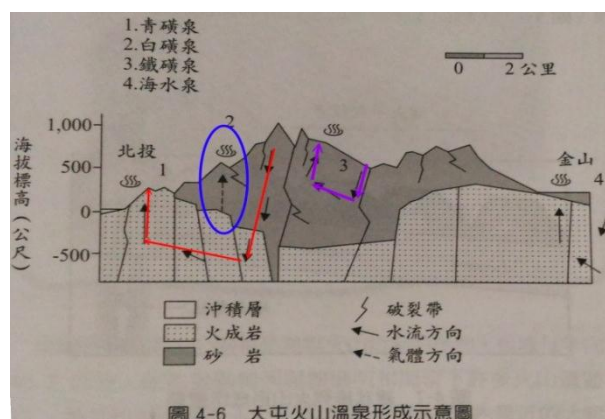


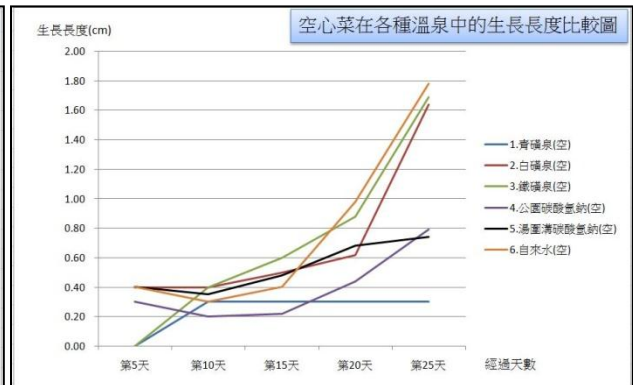
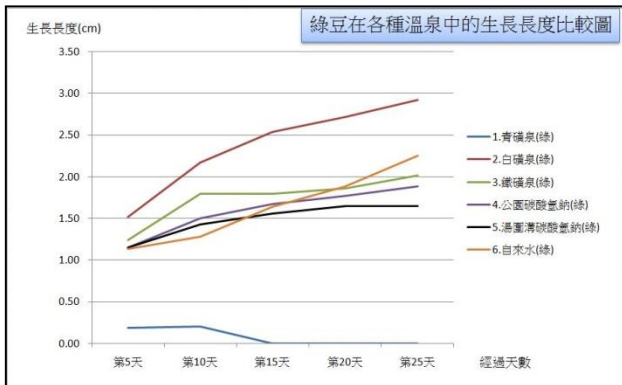
圖 4-6 大屯火山溫泉形成示意圖

三、實驗三中，我們計算綠豆和空心菜種子在各種溫泉中的出芽率與壞死率，再將綠豆與空心菜在不同溫泉的生長情形用折線圖來比較(如下四張圖)，根據這些資料得到幾點推論：

三、實驗三中，我們計算綠豆和空心菜種子在各種溫泉中的出芽率與壞死率，再將綠豆與空心菜在不同溫泉的生長情形用折線圖來比較(如下四張圖)，根據這些資料得到幾點推論：

不同溫泉下綠豆25天內統計						
溫泉種類	青	白	鐵	碳1	碳2	水
發芽顆數	4	14	10	12	11	11
發芽率	27%	93%	67%	80%	73%	73%
無芽、發霉、爛	15	1	6	8	7	5
壞死率	100%	7%	40%	53%	47%	33%

不同溫泉下空心菜25天內統計						
溫泉種類	青	白	鐵	碳1	碳2	水
發芽顆數	4	12	8	12	11	7
發芽率	27%	80%	53%	80%	73%	47%
無芽、發霉、爛	11	8	7	5	5	10
壞死率	73%	53%	47%	33%	33%	67%



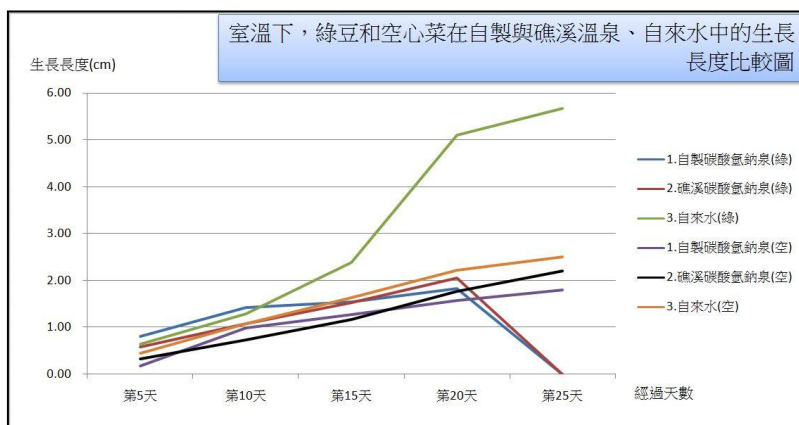
(一)綠豆在除了青磺泉外的其他溫泉與水中出芽率都接近 70%以上，以白磺和礁溪溫泉最佳，但綠豆在白磺中的壞死率遠低於礁溪溫泉(相差 40%)，且在白磺中的綠豆生長長度最好(左圖紅色線)，從以上資訊可以知道，在我們所選擇的各種溫泉中，白磺泉最適合綠豆生長，但根據資料得知，白磺溫泉的酸鹼值變化頗大，我們採得的白磺泉屬於酸性較弱的溫泉，若採得的溫泉酸性較強，結果可能就不同。

(二)空心菜在白磺、礁溪溫泉的發芽率最好，但空心菜在礁溪溫泉的壞死率比在白磺中低(相差 20%)，以生長長度來看，空心菜卻是在自來水最佳、其次是鐵磺與白磺。這樣的結果無法判斷哪種溫泉能讓空心菜長的較好，我們檢查空心菜在水中的壞死率是 67%(15 顆中有 7 顆未發芽，3 顆爛掉)，有成功發芽的平均長度 1.78 公分；反觀在礁溪溫泉中的壞死率雖然是 33%(15 顆中有 3 顆未發芽，2 顆爛掉)，有成功發芽的平均長度只有 0.79 公分。我們覺得可能是以下原因造成：

- 1.根據網路資料，空心菜在低溫下不易發芽，而我們在 1 月實驗(幾乎都是寒冷、潮溼天氣)，因此空心菜在水中發芽率並不高。
- 2.空心菜在酸性白磺與鹼性碳酸氫鈉泉中出芽率約 70~80%之間，可能是酸性與鹼性環境會使空心菜外殼變脆弱，讓種子容易出芽，但發芽後，反而因為環境不適合，因此生長程度並沒有比在水中來的好。
- 3.我們一開始並沒有先將種子放入水中，把會浮起的種子淘汰掉，也就是種子沒有先經過篩選，所以也有可能是種子本身品質不良影響到實驗結果。

四、在實驗四中，我們讓種子生長在自製溫泉與礁溪天然溫泉的環境中(室溫下)，同樣以出芽率、壞死率和生長長度來比較溫泉中礦物質的含量會不會影響綠豆和空心菜的生長情形(如下三張圖)，根據這些資料得到幾點推論：

室溫綠豆25天內統計				室溫空心菜25天內統計			
溫泉種類	自製	野外	水	溫泉種類	自製	野外	水
發芽顆數	16	16	16	發芽顆數	15	15	16
發芽率	100%	100%	100%	發芽率	94%	94%	100%
無芽、發霉、爛	16	16	3	無芽、發霉、爛	2	2	0
壞死率	100%	100%	19%	壞死率	13%	13%	0%



- (一)本次實驗，綠豆和空心菜先用水篩選品質較差的種子，因此兩者發芽率都很高，綠豆在自製溫泉、礁溪天然溫泉與自來水中的環境生長出芽率皆為 100%，但是除了自來水之外，種植到最後，不管自製還是天然溫泉，綠豆的壞死率居然都是 100%，顯示綠豆不適合在碳酸氫鈉泉中生長；而空心菜在自製溫泉、礁溪天然溫泉與自來水中的出芽率接近 95%以上，壞死率偏低，顯示空心菜比較適合在一般水中與碳酸氫鈉泉中生長。
- (二)從生長長度圖來看，空心菜在不同環境的生長程度由好到壞依序為：自來水>礁溪天然溫泉>自製溫泉，從這結果可以知道礁溪天然溫泉中可能含有某些礦物質能夠讓空心菜長的較好，而自製溫泉因為缺乏這些礦物質，因此空心菜生長的程度較差。
- (三)空心菜在自來水環境中的平均生長長度是 2.51cm，在礁溪溫泉環境中的平均生長長度是 2.21cm，顯示出空心菜還是比較適合在水中生長，而礁溪溫泉中的礦物質雖然能夠讓空心菜長的較好，但比起一般水來，還是稍差了點。

五、在實驗五中，我們讓種子生長在自製溫泉與礁溪天然溫泉的環境中(溫度約 30°C)，同樣以出芽率、壞死率和生長長度來和實驗四的結果比較，看看溫度會不會影響種子的生長情形(如下三張圖)，根據這些資料得到幾點推論：

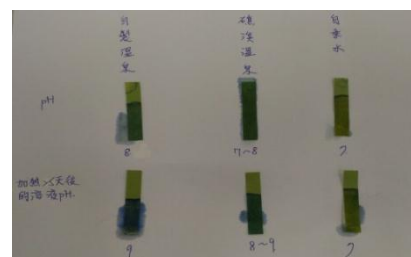
30度左右綠豆25天內統計				30度左右空心菜25天內統計			
溫泉種類	自製	野外	水	溫泉種類	自製	野外	水
發芽顆數	8	15	15	發芽顆數	9	13	14
發芽率	53%	100%	100%	發芽率	60%	87%	93%
無芽、發霉、爛	15	14	1	無芽、發霉、爛	11	9	2
壞死率	100%	93%	7%	壞死率	73%	60%	13%

(一)綠豆在 30°C 的自製溫泉、礁溪天然溫泉的壞死率接近 100%，顯示綠豆較適合在一般水中生長，結果與實驗四相同。

(二)比較實驗四與實驗五，在大約 30°C 的環境下，空心菜在三個環境中的發芽率依序為自來水>礁溪天然溫泉>自製溫泉；壞死率依序為自製溫泉>礁溪溫泉>自來水，有別於在室溫時三者發芽率和壞死率幾乎相同的情況。

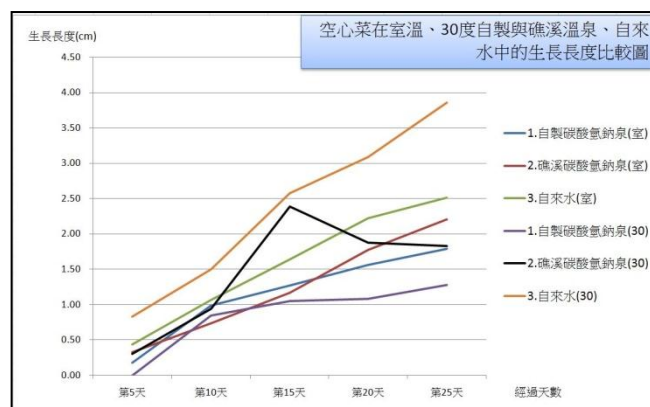
我們認為可能的原因是：因實驗必須維持在 30°C 左右的環境，因此水容易蒸發(可是溫泉中的碳酸氫鈉並不會蒸發)。此外，植物的根會吸收水分(包含溶解在水中的養分、礦物質 or 汙染物...等等)，而在實驗中，由於三組空心菜種植的環境皆需要持續保溫加熱，導致水分蒸發後又要在隨時補充溫泉和水，久了之後培養皿中的鹼性物質會越多，導致鹼性增強，最後空心菜無法適應後來環境(除了自來水環境之外)而逐漸枯萎死亡。

為了證明我們的推測，我們以廣用試紙檢測經過 25 天後的三組環境中之 pH 值(如右圖)，我們清楚發現在持續保溫的環境中，自製溫泉的 pH 值由 8 變成 9(鹼性增強，廣用試紙由深綠色變成藍色)，礁溪天然溫泉由 8



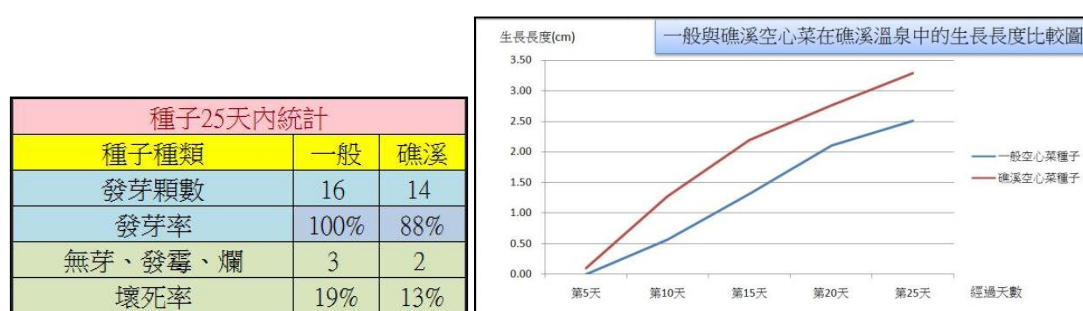
變成 8~9(廣用試紙由深綠色變成深綠偏藍色)，但自來水 pH 值並未改變。從 pH 值來看，自製溫泉>礁溪天然溫泉>自來水，對比壞死率與出芽率後，推論出空心菜雖然能在鹼性環境生長，但當鹼性增強時，空心菜的生長也會逐漸變差。

(三)根據生長長度比較圖，空心菜在 30°C 的自來水環境中生長最好，其次是室溫下的自來水，但從圖中可以發現在第 15 天左右，30°C 礁溪天然溫泉環境中的生長程度一度超過室溫環境的生長，因而我們推論空心

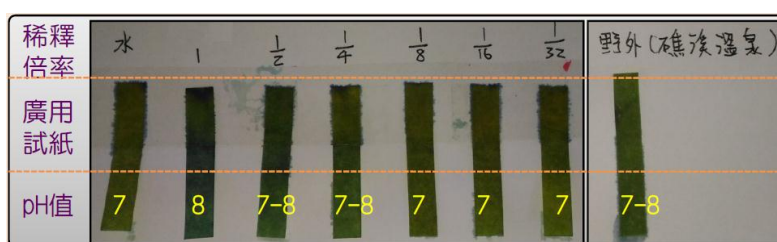


菜以礁溪天然溫泉灌溉，在 30°C 左右的環境下應該長得比較好，可是第 20 天後生長變差，應該也是受到鹼性增強的影響。從這邊也可以推論礁溪當地不僅溫泉溫度適合空心菜生長，而且當地的水是會流動的，不會像我們實驗因水分蒸發導致鹼性增強影響空心菜生長。

六、我們將實驗六兩種空心菜在礁溪溫泉環境中的生長情形，出芽率、壞死率和生長長度(如下二圖)來比較，礁溪空心菜出芽率<一般空心菜低，但是一般空心菜種子有出現 3 顆發霉與爛掉的事情，礁溪空心菜則無，從生長長度比較圖中也可以看到礁溪空心菜的生長長度明顯比一般空心菜要好，因此可以推論，礁溪當地的溫泉較適合礁溪空心菜的生長。

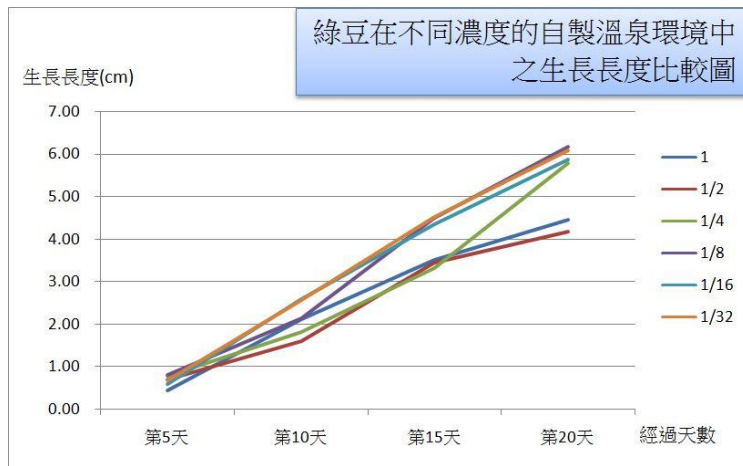


七、實驗七中，我們先用廣用試紙檢測稀釋後的自製溫泉之酸鹼值(如左下圖)，當自製溫泉稀釋到 1/16、1/32 倍左右時，此時的溫泉 pH 值非常接近 7(中性)，而在 1 倍(原始自製溫泉)pH 值為 8(弱鹼性)，而礁溪溫泉則 pH 值則約與稀釋 1/2 倍的自製溫泉相符。

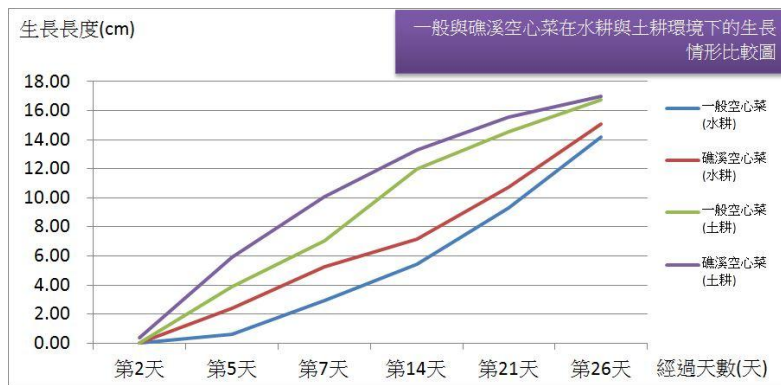


以出芽率、壞死率和生長長度來比較實驗七中綠豆在各種濃度下的自製溫泉生長情形(如下二圖)，綠豆在稀釋 1/4~1/32 倍的自製溫泉中出芽率皆 100%，在稀釋 1/16~1/32 倍環境中的壞死率為 0%，從生長長度表比較圖中，可以清楚看到綠豆在稀釋 1/4~1/32 倍的環境中生長的較佳，綜合來說，溫泉中的礦物質濃度確實會影響綠豆生長的情形。


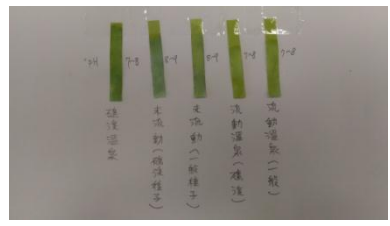
溫泉種類	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
發芽顆數	13	14	16	16	16	16
發芽率	81%	88%	100%	100%	100%	100%
無芽、發霉、爛	3	2	2	1	0	0
壞死率	19%	13%	13%	6%	0%	0%



八、在實驗八中，我們將一般空心菜與礁溪空心菜在水耕和土耕環境的生長長度以折線圖呈現(如下圖)，從圖中可以發現以下幾點：



(一)空心菜種子在土耕環境中生長的會比水耕環境中要好，根據實驗七，當環境中的鹼性濃度增強時，會使蔬菜的生長的較差，我們利用廣用試紙測量四個種植空心菜種子的溫泉酸鹼性，發現我們設計的實驗中，水耕環境的水並沒有明顯流動，主要是水蒸發後補充溫泉，所以最後水耕環境的水質 pH 值從原本的 7~8 變成 8~9，鹼性變強，與我們實驗七的結果相符。而土耕環境澆水後，水會往下滲，且我們推測，溫泉可能與土壤中礦物質產生酸鹼混合的反應，所以水質酸鹼值並無太大改變(pH=7~8)，因此空心菜生長的較好。

	
以廣用試紙測試溫泉酸鹼度	四種環境(流動、未流動)下的酸鹼度比較

(二)不管在土耕或水耕的環境，礁溪空心菜一開始的生長程度皆比一般空心菜好，但是過了 14 天以後，一般的空心菜生長長度逐漸追上礁溪空心菜，最後兩種空心菜的生長長度差異不是很大；另外，我們也發現種植的時間越久，礁溪空心菜的葉子寬度(約 1.2~1.6cm)比一般空心菜的葉子(約 0.9cm)寬度要長。我們推測礁溪空心菜吸收養分的速度比一般空心菜快，所以一開始礁溪空心菜生長的較高，而後來這些養分除了提供給礁溪空心菜生長長高之外，也需要再提供養分給葉子成長，讓葉子寬度變長，因此生長長度才會趨緩，最後與一般空心菜的生長程度差不多。

柒、結論

- 一、溫泉形成的原因必須要當地地層底下有熱源，而地下水經過這些熱源附近被加熱後，還必須要沿著地層裂縫湧出才行，北投、陽明山鄰近金山斷層，而礁溪鄰近礁溪斷層，加上兩者熱源的不同與地層結構的差異，使得北投與陽明山的溫泉和礁溪溫泉的性質不同。北投溫泉的熱源為火山岩漿，而礁溪溫泉的熱源為地溫梯度造成，前者因為火山氣體與地層中有許多酸性的硫化物，導致當地的青磺與白磺泉呈現酸性(青黃與白磺相比，酸性更強)；後者則因地層底下含有碳酸根離子，所以使當地的碳酸氫鈉泉呈現弱鹼性。
- 二、根據實驗三的結果，綠豆在白磺泉環境中的出芽率最高、壞死率最低，生長長度也是最佳，因此本實驗採用的白磺泉能夠用來做為綠豆種植的灌溉用水，但是實際上，白磺泉酸鹼值變化大，較酸的白磺泉是否適合種植，則需要更進一步研究才能斷定；而空心菜的出芽率雖然在白磺與礁溪溫泉環境中較好(80%)，但是生長長度卻沒有比在自來水中的環境來的佳，所以我們認為適合種植蔬菜、植物的水溶液酸鹼值宜接近中性，酸性、鹼性都不宜過強。
- 三、根據實驗四的結果，空心菜在礁溪天然溫泉與自製溫泉的出芽率與壞死率相同，但是在礁溪天然溫泉中生長的長度比自製溫泉要來的好，我們推論礁溪天然溫泉中除了碳酸氫鈉之外，可能還含有其他礦物質能夠幫助空心菜生長；而綠豆因為不適合在鹼性環境中生長，因此看不出礦物質對它的影響。
- 四、比較實驗四、五的結果，溫度會影響蔬菜生長的情形，以綠豆和空心菜為例，綠豆在 30℃ 的水中環境比在室溫中來的好；空心菜在生長前 15 天，在 30℃ 的自來水與礁溪天然溫泉環境中的生長程度比室溫下來的更好，顯示溫暖的溫度有利於蔬菜的生長，而實際測量礁溪溫泉的溫度約為 32℃(地點在礁溪溫泉公園長有野生空心菜處)，證明礁溪當地溫泉和水田等水域溫度適合空心菜生長。
- 五、根據實驗六結果，礁溪當地農民使用的改良品種的空心菜種子，生長長度明顯比一般空心菜來的好，顯示礁溪特殊的空心菜品種比一般的空心菜更適合生長在礁溪溫泉環境。
- 六、在實驗七中，以綠豆為例，當自製溫泉稀釋到中性時，綠豆生長的情形比在未稀釋過的自製溫泉環境中要來的好，顯示溫泉或水中的礦物質濃度確實會影響蔬菜的生長。

七、在實驗八中，「不流動的水耕環境」比「水會下滲的土耕環境」更容易使鹼性物質累積，使得最後不流動的水耕環境鹼性比較強，最後環境較不適合空心菜生長，因此空心菜種子在水會下滲的土耕環境中生長的情形會比在不流動的水耕環境好。

八、綜合來說，種子品種、水溫、水中礦物質濃度和水溶液酸鹼值都會影響蔬菜的生長，不同的種子適合生長的環境並不相同。以礁溪空心菜為例，由於當地種子適合生長在弱鹼性的碳酸氫鈉泉中，加上農夫抽取溫泉至田野後，會使水溫升高(再經人工加熱控制在 30℃左右)，同時也與灌溉的溪水混合(溫泉經過稀釋，水中礦物質濃度降低到適合農作物生長)，這些因素使得礁溪空心菜與眾不同。

參考資料

1.溫泉(2016年2月20日)，維基百科，取自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%BA%AB%E6%B3%89>

2.礁溪溫泉(2016年3月8日)，維基百科，取自：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A4%81%E6%BA%AA%E6%BA%AB%E6%B3%89>

3.地質溫泉 vs 天然輻射，陽明山國家公園，取自：<http://goo.gl/tMAEaF>

4.農業介紹，礁溪鄉農會，取自：<http://www.jsfa.org.tw/agriculture>

5.曾明隆(2006年05月15日)，大屯山火山爆發機率，自由電子報，取自：

<http://enjoy.phy.ntnu.edu.tw/mod/forum/discuss.php?d=4882>

6.陳文福(2011年10月)，休閒溫泉學，華督文化事業有限公司，P.53、74、116。

7.台灣活斷層分佈圖，中央大學工程地質與防災科技研究室，取自：

<http://gis.geo.ncu.edu.tw/gis/eq/twactft/loc.htm>

【評語】 080503

1. 作品研究目的具體明確，結論與目的相呼應。
2. 假設經實驗得到驗證，符合學生能力程度。
3. 作品主題取自鄉內環境與空心菜，與自然科學，酸鹼，植栽教材相關；研究方法為調查、紀錄、分析、實驗、操作。
4. 研究內容偏重植物栽種改良，與地科之相關性偏弱。