

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

030308

環境溫度、紫外線與電場強度對古坑荷苞山文字
衣(*Graphis scripta* (L.) Ach.)固碳作用的影響

學校名稱：雲林縣立斗六國民中學

作者： 國一 涂淮鈞 國一 蘇湛恩	指導老師： 丁崇祺 陳庭萱
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：地衣、固碳作用、電場

摘要

本實驗研究斗六與古坑地區地衣的固碳作用，並針對古坑荷苞山文字衣來探討影響固碳作用的因素。研究發現：

1. 斗六古坑地區地衣樣本採集地點中的明德北路，CO₂濃度越高，對CO₂的適應性會提高，固碳作用最好。
2. 針對荷苞山的文字衣來探討：
 - (1) 文字衣適宜溫度在 25 °C，固碳作用效果最佳。
 - (2) UV 照度過高(3460 lux)會導致地衣白化，但適當的紫外線(2090 lux)下可以增強文字衣的固碳作用，且固碳作用遵守日夜節律性的現象變明顯。
 - (3) 對文字衣以電場刺激 5 分鐘，12 小時後會開始有明顯差異，且電場越大固碳作用效果越好，當電場大到 200 V/m 時，夜晚甚至也會進行固碳作用。

壹、前言

一、實驗動機：

最近歐洲議會表決通過多項改革歐盟氣候政策的法案，針對進口商品徵收碳稅的立法。碳稅課徵標準，將基於生產該產品過程中排放的溫室氣體來徵稅；溫室效應越來越嚴重，大家對碳排放也是也越來越重視，所以針對地表環境中分布廣泛的地衣，來探究其固碳作用與生活環境的相互關聯性。

地衣是一種真菌與藻類的共生體，被廣泛應用於環境指標與生物監測。除此之外，地衣中的藻類進行光合作用時會吸收大量的二氧化碳，因此可能對減緩氣候變遷具有潛在的幫助。本研究旨在探討不同環境與種類的地衣在固碳作用方面的差異，並利用紫外線照射模擬惡劣環境對文字衣固碳作用的影響。並加入電場來刺激該地衣的固碳作用，希望本研究可以為進一步探討文字衣的生態功能以及為減緩氣候變遷提供參考。

二、實驗目的：

1. 探討地衣在不同生長環境(斗六、古坑地區)對固碳作用的影響。
2. 探討地衣在不同環境溫度對固碳作用的影響。
3. 探討地衣在曝曬不同 UV 強度對固碳作用的影響。
4. 探討地衣在不同電場強度對固碳作用的影響。

三、實驗原理：

我們將想要討論的題目來收集文獻，整理原理如下表

表 1 文獻整理

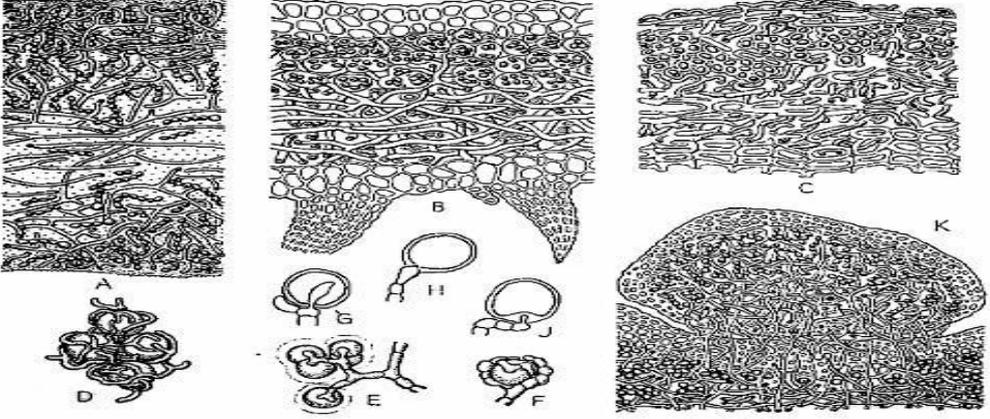
作者或來源	研究題目	內容
<p>擷取自 延陵植 物志 2023</p>	<p>地衣定義</p>	<p>地衣是一種真菌和綠藻門或藍綠菌的共生體，可以生長在岩石或樹皮上，呈現灰白、暗綠、淡黃、鮮紅等多種顏色。綠藻（或藍綠菌）進行光合作用，提供營養物質，而真菌（通常屬於子囊菌門，少數屬於擔子菌門）則提供水和礦物質，同時保護綠藻不受過度蒸發的影響。</p> <p>另外，地衣對二氧化硫相當敏感，因此在生態學上，地衣也常被當作一種空氣品質的指標。</p>  <p>圖 1 左: 地衣的基本結構: A. Collema 屬; B. Sticta 屬, C. Graphis 屬的地衣體, D. Parmelia 屬的粉芽; E~J: 各種地衣的吸足, K. <i>Peltigera</i> 屬的衣癭 右: 地衣體縱切的顯微鏡映像(x160)</p> <p>(來源: 延陵植物志)</p> <p>本次實驗主要針對文字衣共生的共球藻（綠藻）進行相關性的研究，以探討其對地衣固碳作用的影響。</p>

表 1 文獻整理(續)

作者或來源	研究題目	內容
維基百科編者 2023	地衣固碳作用機制與 CO ₂ 濃度提高對 C ₃ 植物固碳作用的影響	<p>地衣是一種獨特的生物體，由真菌和藻類或藍綠菌組成，具有強大的生存能力。它們的葉綠體構造較原始，在此情況下進行光合作用，可通過藻類或藍綠菌細胞在地衣中形成菌絲狀結構，與真菌建立了一種共生關係，從而實現了固碳作用。</p> <p>依照固碳作用的不同策略與機制，將其分成三種，C₃、C₄、CAM 植物，以本實驗體為文字衣的前提下，地衣是被歸類為 C₃ 植物，因為地衣的光合作用過程中，藻類遵循 C₃ 光合作用途徑，將 CO₂ 固定成 3-磷酸甘油酸 (PGA) 分子，然後轉化為其他有機化合物。這使得地衣能夠在不同的環境中生存。</p>
許子淳 2020		<p>以本實驗主要針對古坑鄉荷苞山的地衣做研究，由外觀來看以及利用試液檢測，確認是外觀為灰白色的文字衣。</p> <p>而文獻中有提到，多數研究指出 CO₂ 濃度提高時 C₃ 植物光合作用率和生物量累積將同時增加。所以本實驗於同時段時間，收集五個地點的地衣所在環境二氧化碳值，並了解環境與固碳作用的關聯性。</p>
CORNIC Gabriel 2022	不同環境溫度對地衣固碳作用的影響	<p>文獻提到 C₃ 植物，主要會生長在涼爽濕潤的環境且具有極強的可塑性。另外，它們的最適溫度範圍很寬，從 7 °C 到大約 35 °C 左右，如下圖 2，所以地衣本身應該也有最適合的溫度，喜歡生長在高濕度，涼爽的環境，適宜溫度應落在 20~30 °C 之間。</p> <div data-bbox="686 1429 1278 1899" style="text-align: center;"> </div> <p>圖 2 活體葉片二氧化碳吸收速率隨溫度變化示意圖 (Gabriel, 2022)</p>

表 1 文獻整理(續)

作者或來源	研究題目	內容
<p>ASTA Juliette 2022</p>	<p>曝曬紫外線強弱對地衣固碳作用的影響</p>	<p>文獻中提到，研究是在夏季針對高海拔地區的冰島地衣，進行紫外線對其影響的研究，發現紫外線的強弱對冰島地衣的光合作用與夜晚的呼吸作用的影響不明顯，因為在高海拔的地衣所承受的輻射耐受度較高。</p> <p>那麼，我們就可以假設照射 U V 的強弱對低海拔地衣會有效果，以這個為前提下，來進行之後的研究。</p>
<p>習崗& 楊運經 2008</p>	<p>電場對地衣固碳作用的影響</p>	<p>文獻中說明電場對植物的光合作用有正向的影響，大氣與植物間的電位差越大，其光合作用越強，結論中也提到，當電位差高到一定程度時，即使在黑暗中植物也能行光合作用，反之，電位差為 0 時，光合作用就會停止。那麼地衣因為葉綠體較原始，造成電子對光合作用的影響也越明顯，而我們固定電極的距離，利用不同的電壓，進而改變影響地衣的電場，且為了避免對地衣細胞造成傷害，我們對地衣通電的過程會以低電壓(10 V 以下)短時間(5 分鐘)條件下進行實驗。</p> $E = \frac{V}{d}$ <p>E：電場($\frac{\text{牛頓}}{\text{庫倫}}$ or $\frac{\text{伏特}}{\text{公尺}}$)，V：電壓(伏特)，d：距離(公尺)</p>

貳、研究器材與材料

一、實驗器材

燒杯	量筒	解剖刀	美工刀	海綿	保鮮膜	滴管
數位顯微鏡	攝影機	電腦	蓋玻片與玻片	手機 (google)	培養皿	檯燈
研鉢與杵	攪拌棒	電子秤	照度計	尺	紫外燈 (395nm)	二氧化碳檢測儀

二、實驗藥品與材料

二氧化碳錠	氫氧化鉀	碘化鉀
絕緣膠帶	漂白水 (品牌 Chlorax)	碘液

三、自製器材

(一) 自製二氧化碳觀察箱



圖 3 自製二氧化碳觀察箱俯視圖

圖 4 自製二氧化碳觀察箱前視圖

(二) 自製通電平台

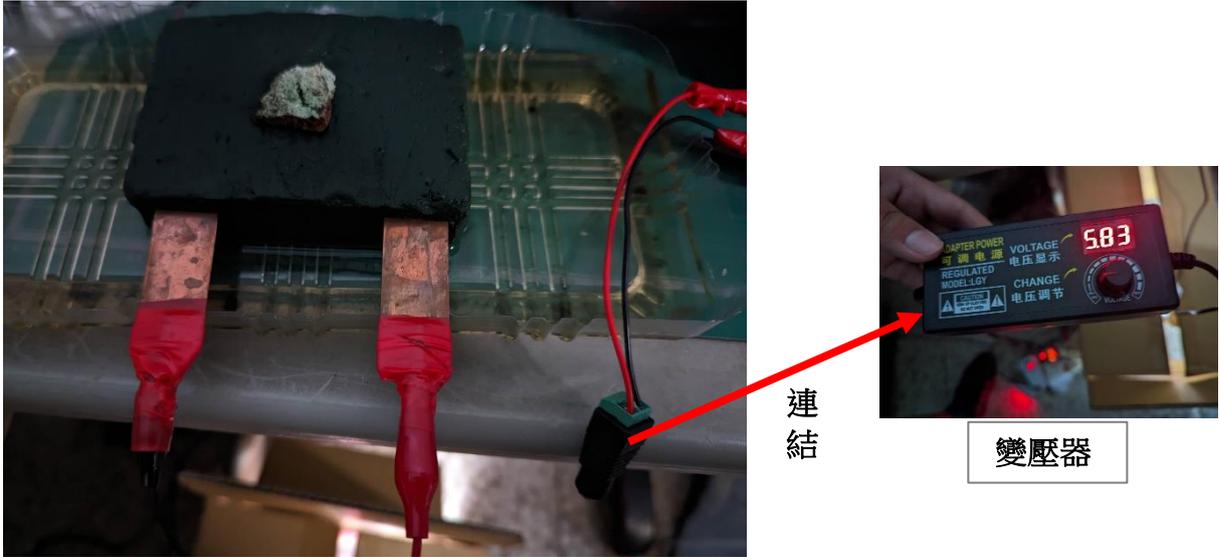


圖 5 自製地衣通電平台

叁、研究過程與結果

一、研究架構：

在文獻不多的情況下，本實驗因較少人做相關研究，我們先就斗六、古坑地區環境對地衣固碳作用的影響做初步探研。之後，據地衣種類檢測結果，確認古坑荷苞山的地衣為文字衣(*Graphis scripta* (L.) Ach.)，所以針對荷苞山文字衣，進行溫度、UV 照度與電場三種實驗，並建構架構圖。

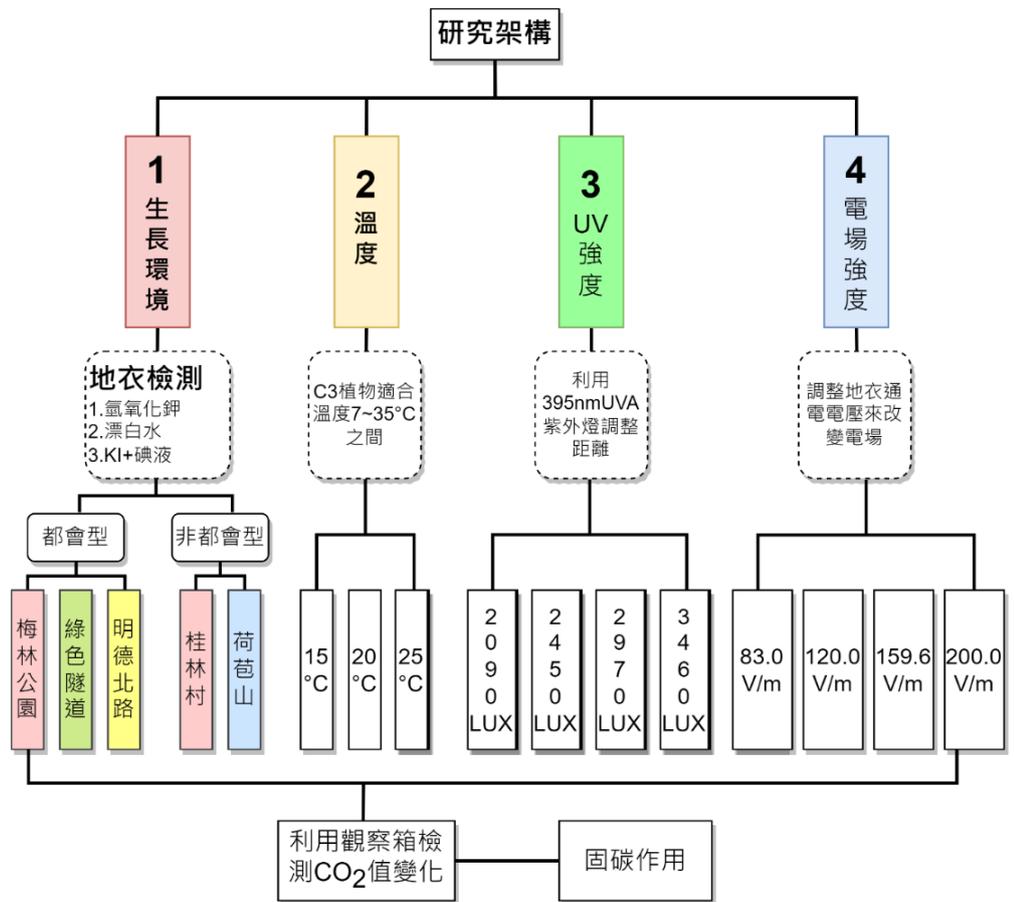


圖 6 研究架構圖

二、研究方法與結果

實驗一 不同生長環境的地衣(斗六、古坑地區)對固碳作用的影響

(一) 實驗步驟：

- 1、五個地點的地衣，分別切割成2 cm * 2 cm的正方形。
- 2、地衣分別放在含水的植栽海綿上(海綿容器大小與水量皆固定)。
- 3、放入自製的二氧化碳檢測觀察箱並恆溫控制為25 °C，放入二顆 (250 mg/顆，含有138 mg/L的CO₂) 的二氧化碳錠於50 ml的水中，再將檢測觀察箱以膠條膠帶密封住。
- 4、裝設網路攝影機，以連續錄影方式，攝影觀察箱中二氧化碳檢測儀的面板17小時。
- 5、觀察記錄影片，進而參考不同地點的數值並做比較。

對於雲林縣斗六、古坑地區地衣採集五個地點的相對位置與環境觀察，地點如下：

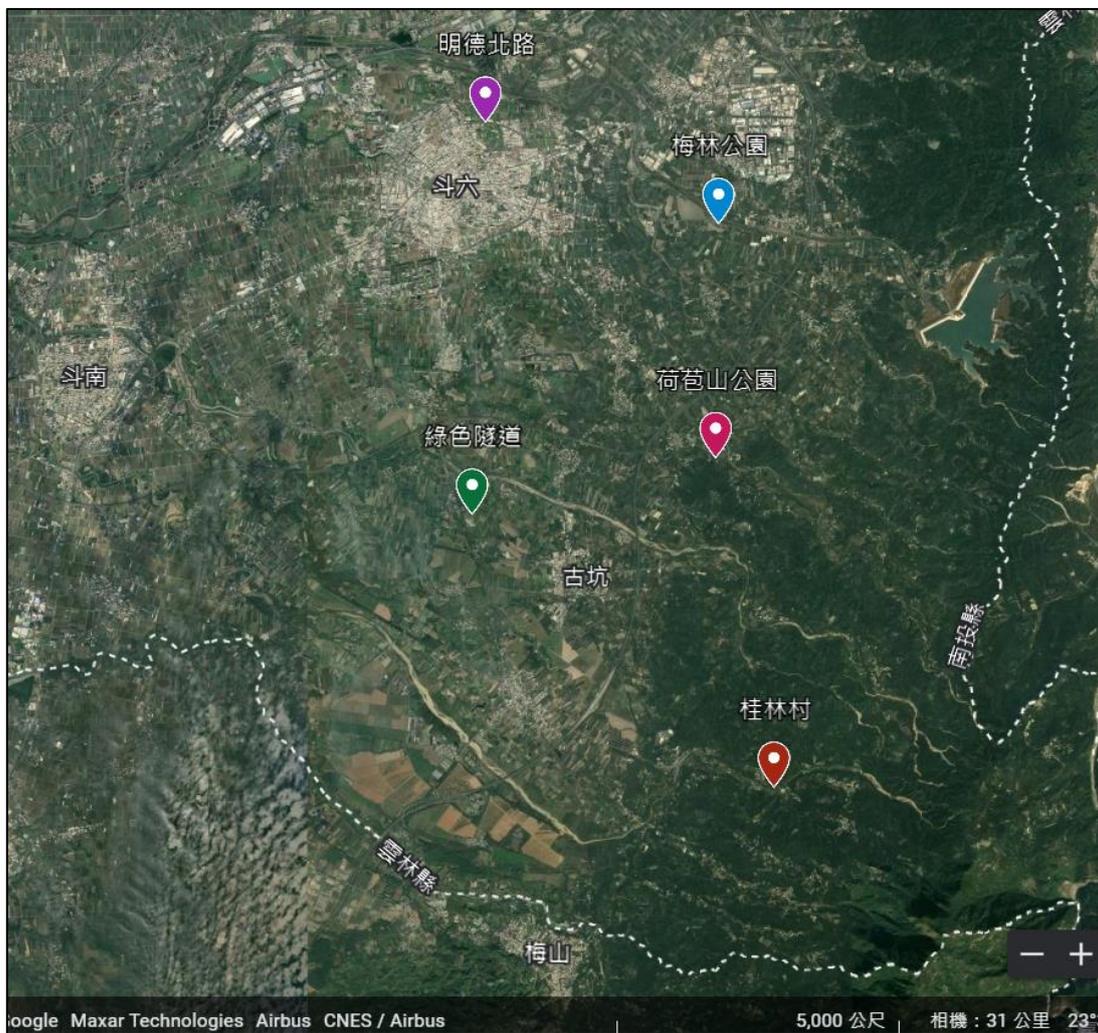


圖 7 採樣地點示意圖(來源：google map)

從地理位置來看，可以發現荷苞山與桂林村較屬於非都會型，而梅林公園則是斗六市區公園，綠色隧道和明德北路也鄰近市區，其周圍人車交通流動大，定為都會型，因此就位置環境所受的污染度影響，以非都會型或都會型，分為二類來探討。

(二) 實驗結果：

梅林公園：23°42'07.2"N 120°35'13.0"E



圖 8 斗六梅林公園採樣地點



圖 9 梅林公園地衣著生基體(近)



圖 10 梅林公園地衣著生基體(遠)

梅林公園位在雲林縣斗六市東邊的郊區，梅南路梅林溪旁，自然資源相當豐富，花種繁多，樹木高度約為 5 到 6 公尺，直徑約為 90 公分，且具有良好的生態，樹皮內含有大量的螞蟻。樹皮表面顏色為淺咖啡色，表面潮濕陰暗，凹凸不平，陽光較無法穿透，輕撥即可掉下，容易採集，但易碎。地衣呈現淺綠色，外形為呈現不規則狀，分布不均，大多是直條狀連在一起。

表2 斗六梅林公園地衣二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳(ppm)	357	531	750	886	999	1071	1139	1186	1227
二氧化碳變化		174	219	136	113	72	68	47	41
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳(ppm)	1257	1287	1309	1329	1350	1350	1357	1368	1370
二氧化碳變化	30	30	22	20	21	0	7	11	2



圖 11 斗六明德北路採樣地點



圖 12 明德北路地衣著生基體(近)



圖 13 明德北路地衣著生基體(遠)

明德北路是市區的其中一條馬路，而採樣的地點就在大馬路旁。採樣的樹種十分高大，約為 5 到 6 公尺，而樹的直徑約為 90 公分。樹皮表面的顏色為深咖啡色，因為陽光十分強烈，導致表面十分的乾硬，雖然樹皮凹凸不平，仍不容易施力剝下採集。地衣呈現白色且乾燥，為不規則狀，分布不均，大多是塊狀。

表3 明德北路地衣二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳(ppm)	353	394	482	620	717	791	843	870	891
二氧化碳變化		41	88	138	97	74	52	27	21
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳(ppm)	908	922	936	950	951	951	954	956	950
二氧化碳變化	17	14	14	14	1	0	3	2	-6

綠色隧道：23°39'18.7"N 120°32'38.3"E

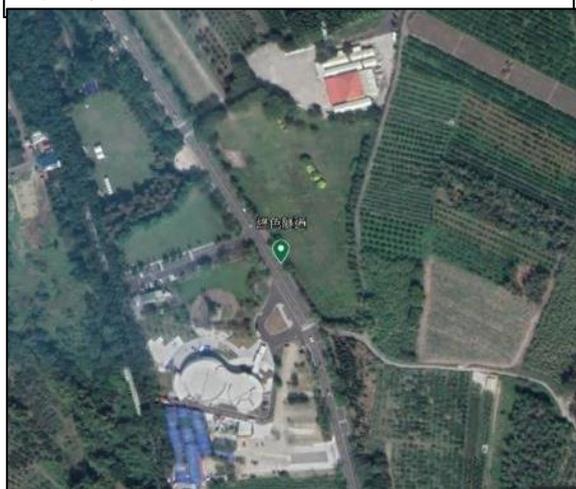


圖 14 古坑綠色隧道採樣地點



圖 15 綠色隧道地衣著生基體(近)



圖 16 綠色隧道地衣著生基體(遠)

綠色隧道位於雲林縣古坑鄉，是當地知名熱門觀光休閒景點，此處道路車流量大，尤其是假日的時候，會湧入大量的遊客，採樣的地點位於大馬路旁，高度達 7 到 8 公尺，直徑約為 40 公分，樹皮顏色為深咖啡色，表面潮濕，而且相當容易剝落，輕輕一碰就能將樹皮取下，樹葉很茂密，陽光較不容易，照射到地衣，地衣大部分從樹木下方一路往上長，表面為淺綠色且凹凸不平，呈現不規則狀。

表4 綠色隧道地衣二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	374	539	762	977	1100	1094	1335	1390	1440
二氧化碳變化		165	223	215	123	-6	241	55	50
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	1484	1525	1583	1646	1708	1746	1789	1843	1877
二氧化碳變化	44	41	58	63	62	38	43	54	34



圖 17 古坑荷苞山採樣地點

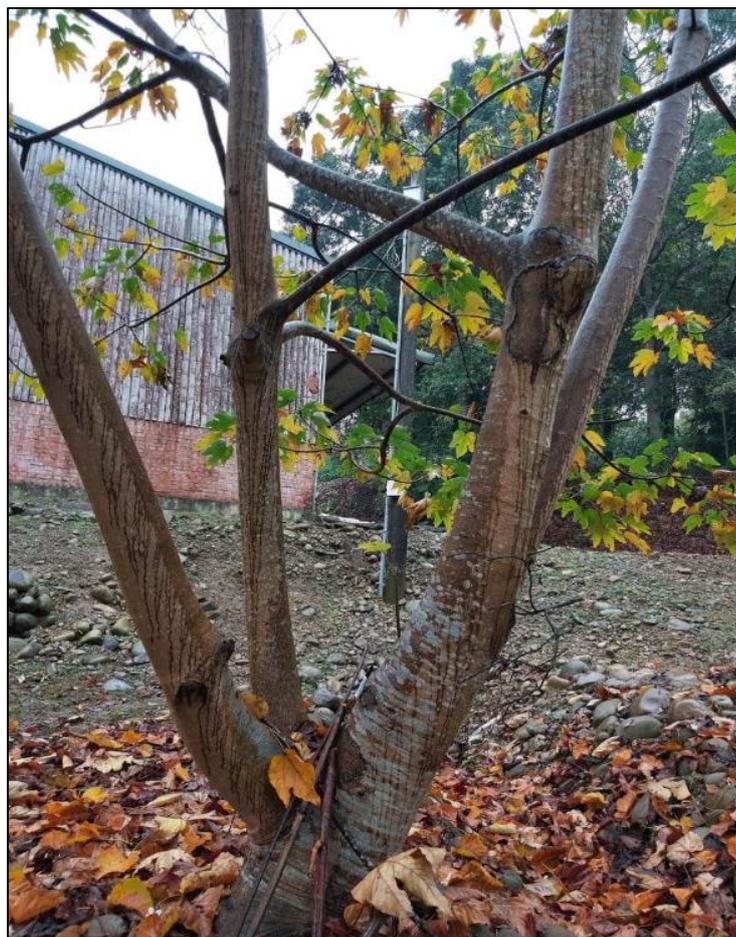


圖 18 荷苞山地衣著生基體(遠)



圖 19 荷苞山地衣著生基體(近)

荷苞山位於古坑鄉轄內，採樣的附近有尖山坑溪，地勢起伏較明顯，周圍的道路車流量並不多。採樣的樹種屬並不高大，大概只有 4 到 5 公尺，樹的直徑大概是 40 公分，樹皮顏色為淺咖啡色，表面潮濕，且較其他樹種平滑，樹皮比較不容易剝落，非常堅固，需使用小刀才能將樹皮取下。地衣大部分像雲狀一樣包圍住樹木，大概都集中在樹木下方較多，也就是比較接近土壤的地方，地衣的表面為灰色，如果仔細看，就會看到一條一條黑色的線條。

表5 荷苞山地衣二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳(ppm)	378	385	810	1320	1445	1462	1565	1606	1678
二氧化碳變化		7	425	510	125	17	103	41	72
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳(ppm)	1683	1701	1712	1707	1708	1675	1678	1647	1594
二氧化碳變化	5	18	11	-5	1	-33	3	-31	-53

桂林村：23°61'15.4"N 120°59'62.4"E

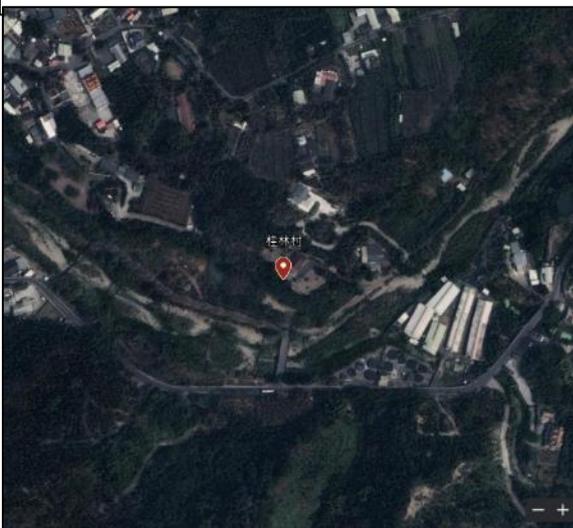


圖 20 古坑桂林村採樣地點

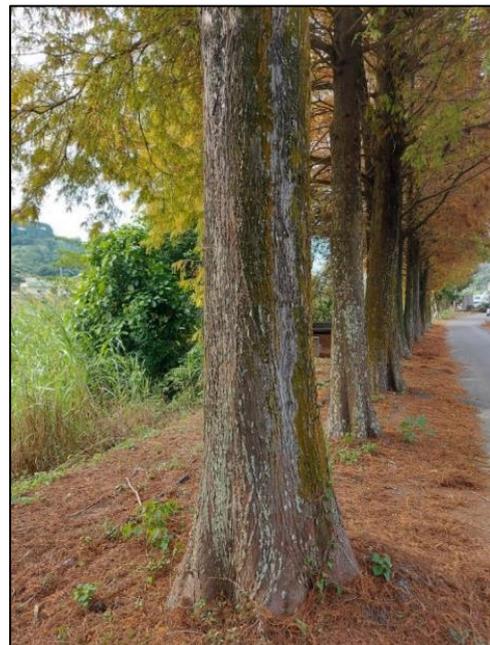


圖 21 桂林村地衣著生基體(遠)



這是雲林縣古坑鄉桂林村其中一條的落羽松大道，採樣的地點就在這步道的一旁。採樣的樹種為落羽松，約為 5 到 6 公尺，樹的直徑約為 50 公分。樹皮表面的顏色為深咖啡色，表面潮濕陰暗，凹凸不平，而樹皮十分脆弱，輕剝即可掉下，容易採集，但易碎。地衣呈現淺墨綠色，為不規則狀，分布不均，大多是長條狀。而除了地衣以外，還有大量橘色和綠色的蘚苔。

圖 22 桂林村地衣著生基體(近)

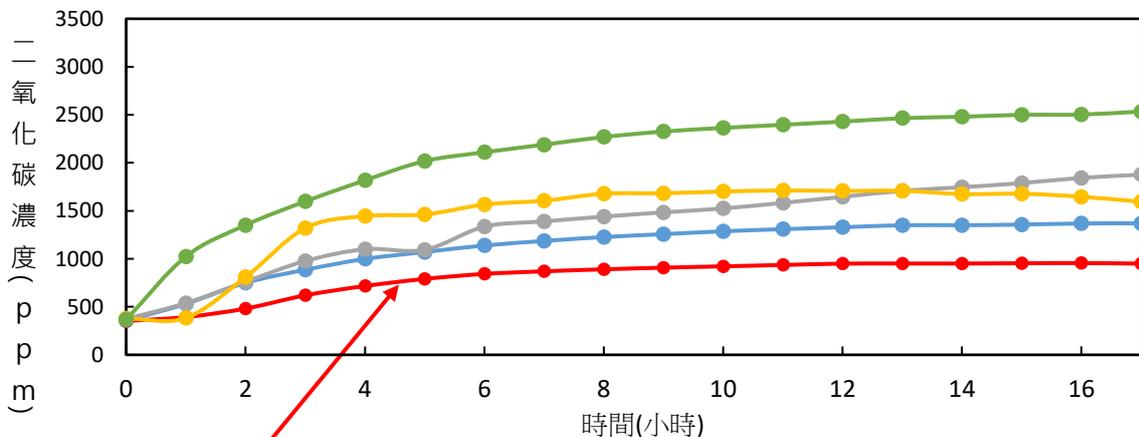
表6 桂林村地衣二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	367	1024	1351	1598	1818	2018	2110	2189	2269
二氧化碳變化		657	327	247	220	200	92	79	80
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	2326	2364	2396	2429	2465	2480	2500	2503	2534
二氧化碳變化	57	38	32	33	36	15	20	3	31

(三) 實驗分析與討論：

我們以原始數據來判斷，濃度越低者，代表吸收二氧化碳越多，固碳作用越好，後續實驗皆以此方式呈現。

● 斗六梅林公園 ● 斗六明德北路 ● 古坑綠色隧道 ● 古坑荷苞山 ● 古坑桂林村



固碳作用最佳

圖 23 雲林斗六、古坑區地衣的固碳作用比較圖

同時，我們於當日中午時段(上午 11~13 時)，探測並收集這些地點的二氧化碳濃度，紀錄如下表：

表7 採樣地點環境二氧化碳濃度(中午時段)

地點	古坑 綠色隧道	古坑 荷苞山公園	古坑 桂林村	斗六 梅林公園	斗六 明德北路
二氧化碳 濃度(ppm)	426	400	399	451	508

地衣在潮濕、光照充足且二氧化碳濃度較高的環境中，其吸收二氧化碳的能力較強(許子淳, 2020)。由於明德北路、綠色隧道和梅林公園位於道路旁，周圍的二氧化碳濃度較高，因此地衣在這些區域吸收二氧化碳的能力也相對較強。這種現象顯示了地衣在生態環境中的重要角色，同時提醒人們應該關注生態環境，減少空氣污染對自然環境的影響。此外，由於有些地衣所處環境濕度過高，可能會受到真菌、細菌和其他微生物的感染，甚至可能導致其組織腐爛或死亡。

檢測各地點地衣以判斷種類：

因為地衣內所含的地衣酸，對我們接下來使用的化學試劑有不同反應，而一些具有色素的地衣也會跟次氯酸根產生反應，所以對於不同種類的地衣，透過檢測會反應出不同的顏色變化。首先，我們先用美工刀將地衣從樹皮刮下，放入研鉢並加水搗碎，再將其塗抹置於白紙上的培養皿，接下來用 3 種地衣檢測液，用滴管慢慢地滴在檢測位置進行觀察，利用其顏色變化來判斷地衣的種類。

地衣檢測試液：

我們利用網站(延陵科學綜合室, 2021)所提供檢測地衣的方法，選出較易製作或取得的檢測液來檢測地衣，以下為我們選出的三種地衣檢測液：

檢測試液 1：25 % 的氫氧化鉀溶液。

配置：35 g KOH(純度為 95.5 %)加 100 ml 的水

KOH 可以用來測試地衣色素的反應，特別是地衣中的松蘿酸(Usnic acid)。KOH 與松蘿酸反應會將去除羧基中的氫原子形成酸酐而形成一個共軛基，也就是說，松蘿酸與 KOH 反應後會形成一種黃色化合物，其反應方程式如下：



檢測試液 2：家用漂白水，主要成分為次氯酸鈉

配置：直接使用，免配置。

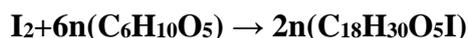
地衣與漂白水反應會變黃，這與其色素成分有關。主要是因地衣中的某種色素成分為苯醌衍生物，其中的酚的羥基可以與漂白水中的次氯酸根離子進行氧化還原反應。此反應會導致苯醌衍生物的化學結構改變，使其吸收較短波長的光，從而使地衣的顏色從綠色變成黃色，其反應方程式如下：



檢測試液 3：碘液與碘化鉀的混合溶液。

配置：50%碘液與 50%的碘化鉀溶液混合。

碘液和碘化鉀混合液也可以幫助辨識地衣的種類，因為它們可以與地衣中的澱粉形成藍色或紫色的化學反應。而不同種類的地衣對碘液和碘化鉀混合液的反應顏色也不同，因此可以根據顏色的變化來判斷地衣的種類，其反應方程式如下：



採集五個地點地衣的外觀比較如下：

表8 斗六、古坑地區不同地衣的外觀

地點	斗六梅林公園	斗六明德北路	古坑綠色隧道
地衣外觀			
著生基體	樹皮		

表8 斗六、古坑地區不同地衣的外觀(續)

地點	古坑荷苞山	古坑桂林村
地衣外觀		
著生基體	樹皮	

檢測結果如下：

表9 斗六梅林公園地衣檢測狀態(著生基體：樹皮)

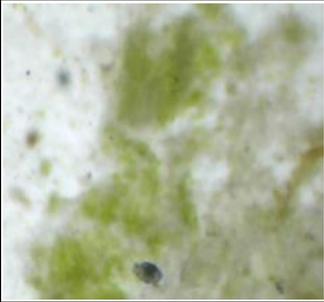
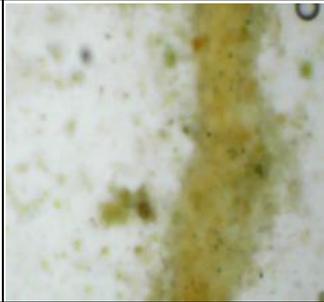
試劑種類	檢測前	試劑1(KOH)	試劑2(漂白水)	試劑3(碘液+碘化鉀)
試劑檢測前後				
顏色	綠色	變黃色	變偏白色	變藍色
試劑反應		有	無	有

表10 斗六明德北路地衣檢測狀態(著生基體：樹皮)

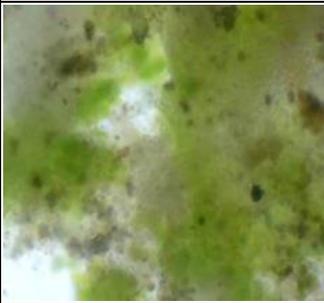
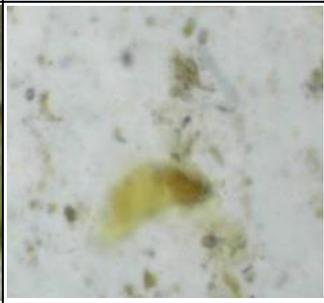
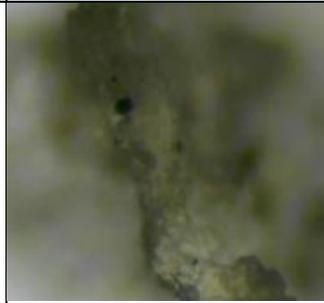
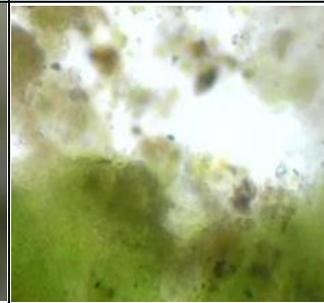
試劑種類	檢測前	試劑1(KOH)	試劑2(漂白水)	試劑3(碘液+碘化鉀)
試劑檢測前後				
顏色	綠色	變黃色	不變色	不變色
試劑反應		有	無	無

表 11 古坑綠色隧道地衣檢測狀態(著生基體：樹皮)

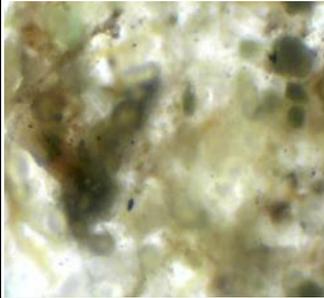
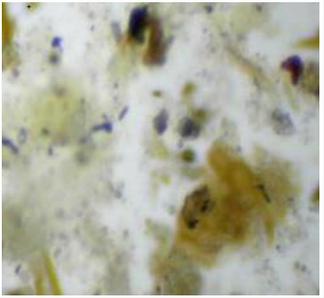
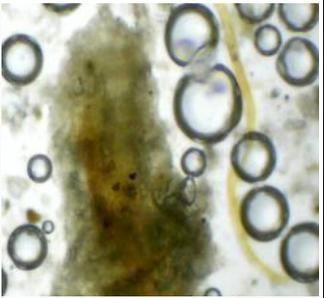
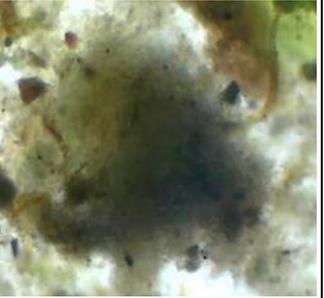
試劑種類	檢測前	試劑1(KOH)	試劑2(漂白水)	試劑3(碘液+碘化鉀)
試劑檢測前後				
顏色	綠色	變黃色	變黃色	變藍色
試劑反應		有	有	有

表 12 古坑荷苞山地衣檢測狀態(著生基體：樹皮)

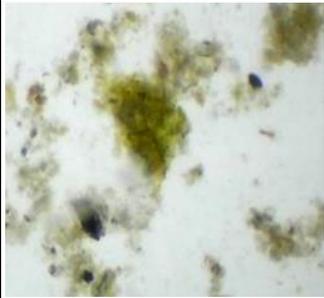
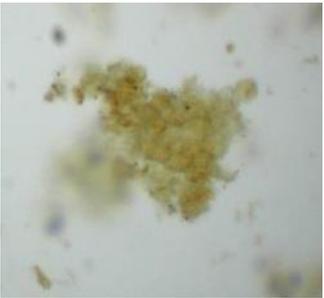
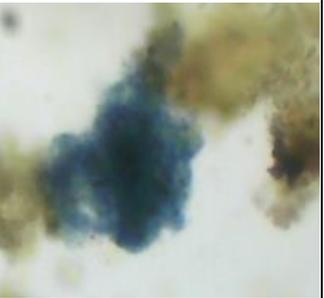
試劑種類	檢測前	試劑1(KOH)	試劑2(漂白水)	試劑3(碘液+碘化鉀)
試劑檢測前後				
顏色	綠色	變黃色	變白色	變藍色
試劑反應		有	無	有

表 13 古坑桂林村地衣(著生基體：樹皮)

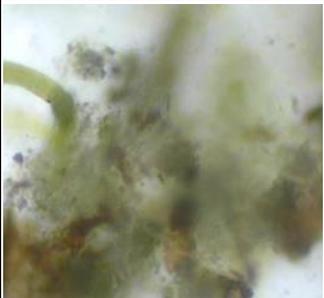
試劑種類	檢測前	試劑1(KOH)	試劑2(漂白水)	試劑3(碘液+碘化鉀)
試劑檢測前後				
顏色	綠色	變黃色	不變色	變藍色
試劑反應		有	無	有

表14 斗六、古坑地區地衣檢測試液測試結果

地點		梅林公園	明德北路	綠色隧道	荷苞山	桂林村
地衣色素	具有松蘿酸	✓	✓	✓	✓	✓
	苯醌衍生物			✓		
具澱粉		✓		✓	✓	✓

根據表14 斗六、古坑地區地衣的檢測結果，除了斗六明德北路與綠色隧道的地衣外，其餘地點試液檢測結果相同，其中斗六梅林公園與古坑桂林村的地衣，從外觀與檢測結果研判應為同種地衣。另外，古坑荷苞山的地衣外觀明顯與其他地點有差異。因此我們可以推測出，這五個地點中至少有四種地衣。

也因荷苞山地衣外觀的特殊性，所以我們先對荷苞山的地衣進行切片，切片結果如下：可以看出菌落與菌絲的位置以及共生藻為綠藻：

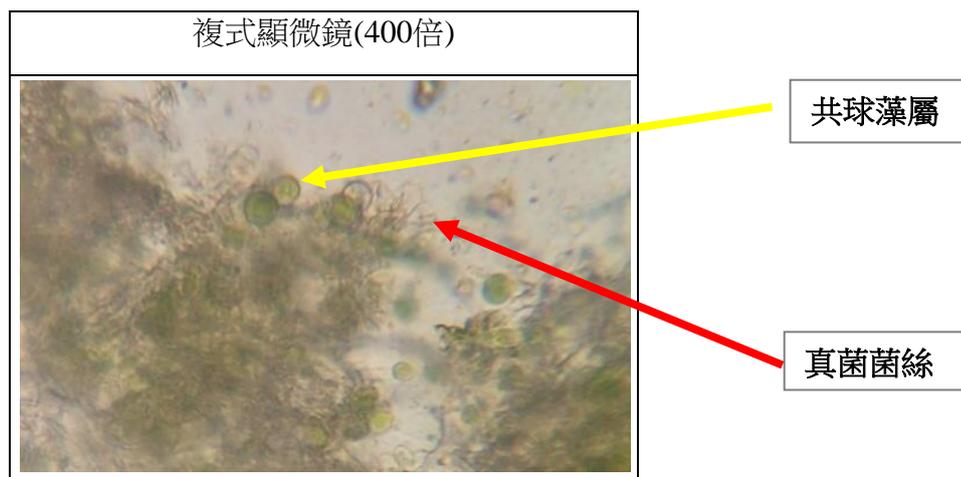


圖 24 地衣切片觀察圖

綜合切片、地衣外觀以及試液檢測的結果去與資料庫比對，確認其物種為文字衣，如下表。

表15 荷苞山地衣分類

界	門	綱	目	科	屬	種
<i>Fungi</i> 真菌界	<i>Ascomycota</i> 子囊菌門	<i>Lecanoromycetes</i> 茶漬綱	<i>Ostropales</i> 厚頂盤菌目	<i>Graphidaceae</i> 文字衣科	<i>Graphis</i> 文字衣屬	<i>Graphis scripta</i> (L.) Ach. 文字衣

因為荷苞山的地衣物種可確定，再加上該地點較為原始，不受到環境汙染而影響原始特性，所以接下來的實驗會以古坑荷苞山文字衣為研究對象，利用溫度、紫外線與電場強度進行研究。

實驗二 溫度對地衣固碳作用的影響

(一) 實驗步驟：

1. 本實驗以古坑荷苞山的地衣為樣本，將其切割成 2 cm * 2 cm 的正方形，放在有含水的植栽海綿上(海綿容器大小與水量皆固定)。
2. 放入自製的二氧化碳檢測觀察箱並控制恆溫為 15 °C，放入二顆(250 mg/顆，含有 138 mg/L 的 CO₂)的二氧化碳錠於 50 ml 的水中，再將檢測觀察箱以膠條膠帶密封住。
3. 裝設網路攝影機，以連續錄影方式，攝影觀察箱中二氧化碳檢測儀的面板 17 小時。
4. 然後分別再以 20 °C、25 °C 另外兩種不同溫度進行實驗，重複步驟 1-3。

(二) 實驗結果：

表16 溫度15 °C地衣二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	379	789	1116	758	959	1169	1365	1271	1484
二氧化碳變化		410	327	-358	201	210	196	-94	213
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	1762	1896	1995	2108	2209	2319	2319	2416	2496
二氧化碳變化	278	134	99	113	101	110	0	97	80

表17 溫度20 °C地衣二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	376	750	1004	593	810	1018	1325	1612	1829
二氧化碳變化		374	254	-411	217	208	307	287	217
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	2114	2311	2455	2589	2710	2825	2907	3005	3106
二氧化碳變化	285	197	144	134	121	115	82	98	101

表18 溫度25 °C地衣二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	378	385	810	1320	1445	1462	1565	1606	1678
二氧化碳變化		7	425	510	125	17	103	41	72
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	1683	1701	1712	1707	1708	1675	1678	1647	1594
二氧化碳變化	5	18	11	-5	1	-33	3	-31	-53

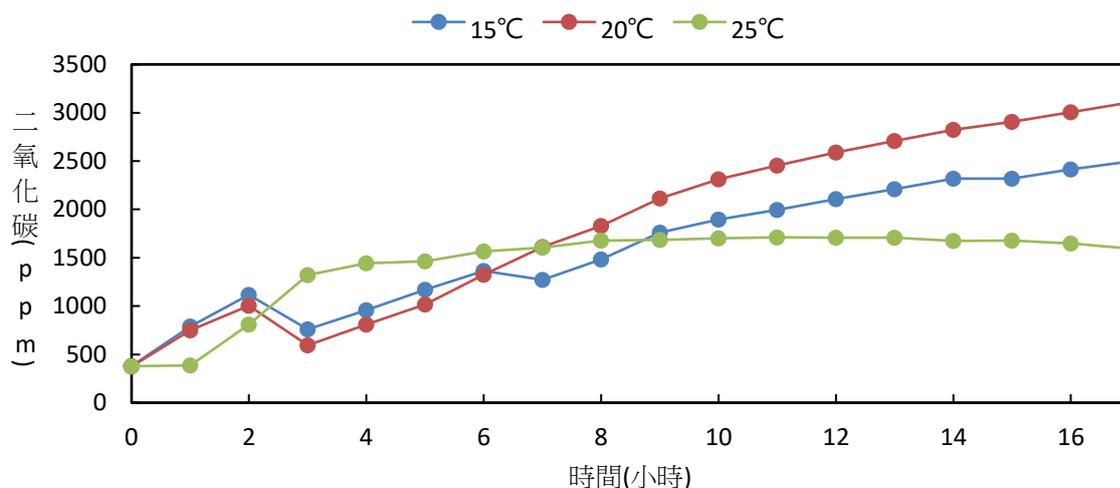


圖 25 溫度對地衣吸收二氧化碳量的變化比較圖

(三) 實驗分析與討論：

我們的研究時間是在12月到隔年的2月，荷苞山地衣棲息地環境溫度會介於10~25 °C，所以我們選擇了15、20、25 °C三種不同的溫度檢測，從結果發現：

1. 二氧化碳錠每顆每公升會產生 138 mg 的 CO₂，但我們放入的水為 50ml，因此很快就會讓水對二氧化碳的吸收達到飽和，因此不同溫度下，水對二氧化碳的吸收的量影響不大，所以可以利用控溫的方式，讓地衣在這三種不同環境溫度下，判斷對地衣固碳作用的影響。
2. 25 °C的環境是地衣較容易生存的環境 (Gabriel, 2022)，其固碳作用速率比 20 °C和 15 °C環境下快，等到累積 CO₂ 濃度越來越高時，在適宜溫度的地衣，固碳作用速率也會更快。

實驗三 UV 強度對地衣固碳作用的影響

(一) 實驗步驟：

1. 以古坑荷苞山的地衣為樣本，其切割成 2 cm * 2 cm 的正方形。
2. 將地衣放在有含水的植栽海綿上(海綿容器大小與水量皆固定)。
3. 將 395 nm 的 UVA 紫外燈，藉調整距離的遠近來照射箱內，並用 UV 照度計檢測照度。
註：紫外線照度是利用改變燈具距離來調整照度，再利用紫外線照度計測量。
4. 放入自製的二氧化碳檢測觀察箱並恆溫控制為 25 °C，裝設網路攝影機，以連續錄影方式，攝影觀察箱中二氧化碳檢測儀的面板 17 小時，觀察記錄影片。
5. 分別以紫外光照度 2090、2450、2970、3460 lux 進行實驗，重複步驟 1-4。

(二) 實驗結果：

表19 地衣在UVA照度3460 lux下的二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	399	904	1115	1231	1321	1381	1427	1470	1508
二氧化碳變化		505	211	116	90	60	46	43	38
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	1595	1625	1652	1668	1683	1697	1699	1595	1625
二氧化碳變化	43	30	27	16	15	14	2	43	30

表20 地衣在UVA照度2970 lux下的二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	379	679	579	638	706	386	405	514	639
二氧化碳變化		300	-100	59	68	-320	19	109	125
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	668	723	758	794	821	846	853	868	668
二氧化碳變化	80	55	35	36	27	25	7	15	80

表21 地衣在UVA照度2450 lux下的二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	385	479	664	637	638	703	771	840	880
二氧化碳變化		94	185	-27	1	65	68	69	40
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	942	980	1014	1066	1111	1141	1176	1209	1249
二氧化碳變化	62	38	34	52	45	30	35	33	40

表22 地衣在UVA照度2090 lux下的二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	379	662	422	572	686	765	791	870	399
二氧化碳變化		283	-240	150	114	79	26	79	-471
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	396	446	533	619	692	749	801	845	883
二氧化碳變化	-3	50	87	86	73	57	52	44	38

表23 地衣受到UVA照射下的外觀變化

紫外光 照度 (lux)	原始未照 紫外光	2090	2450	2970	3460
荷苞 山地 衣狀 態					
顏色	灰色	灰色	灰色偏黃	偏藍綠色，有 點像螢光色	偏白色

從表 23 可知，地衣在照射紫外光 17 小時後，在照度越來越高下，能量越大，地衣的顏色變化會從灰色、灰偏黃、螢光藍，一直到偏白色。

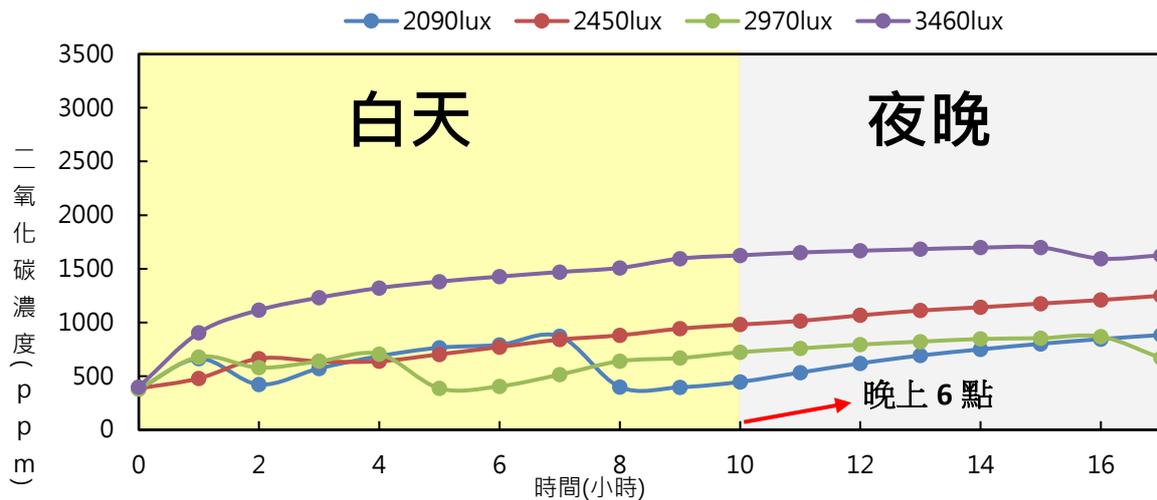


圖 26 地衣在紫外光不同照度下對二氧化碳吸收量變化比較圖 (早上 8:00 開始)

(三) 實驗分析與討論：

在這個實驗中，我們透過不同距離的紫外線照射，觀察地衣對二氧化碳的反應。而實驗結果則顯示出紫外線的距離對地衣白化現象的產生有顯著的影響。特別是在近距離的紫外線照射下，當紫外光達到 3460 lux，地衣會產生明顯的白化現象。這是因為近距離的紫外線能夠直接破壞地衣內部藻類或藍綠菌的細胞膜和葉綠素分子，進而降低光合作用效率，導致白化現象的產生。

於是我們將照度降至 2970 lux、2450 lux 和 2090 lux 時，可觀察到以下結果：

1. 2970 lux 下的地衣因受到紫外光照的刺激，導致吸收二氧化碳的效率增加，在 6 小時內觀察到較高的吸收量。然而，隨著時間的推移，其效果漸漸趨向於平緩。此外，2970 lux 下的地衣表面呈現藍綠色，類似於發螢光的效果。2450 lux 下的地衣吸收二氧化碳效果略遜於 2970 lux 和 2090 lux，但優於 3460 lux。而 2090 lux 下的地衣在實驗結束時仍未出現白化現象，表明其光合作用效率較高。
2. 發現在白天的時候，地衣固碳作用的效果最好，晚上的時候似乎有休眠的狀況，即使一直開著紫外燈，地衣對二氧化碳的吸收量也沒有顯著提高。這可能是因為地衣內部的藻類有日夜節律性，只有在白天才會進行光合作用，吸收更多的二氧化碳，而在夜晚的時候，藻類進入休眠狀態，光合作用效率降低，導致地衣對二氧化碳的吸收量下降。也就是在紫外光刺激下，白天的光合作用會比較明顯。

實驗四 不同電場強度刺激對地衣固碳作用的影響

在固定電極距離下，電壓與電場呈現正比關係，所以我們以不同的電壓變化，來代表著不同的電場，藉變壓器改變電壓來調整不同電場進行實驗。

(一) 實驗步驟：

1. 本實驗以古坑荷苞山的地衣為樣本，將其切割成 2 cm * 2 cm 的正方形。
2. 將地衣放在通電的裝置(如右圖 27)，兩電極距離為 5 cm，用四種不同的電壓 (4.15、6.00、7.89、10.00 V)進行通電五分鐘。
註：電場分別為 83.0、120.0、157.8、200.0 V/m
3. 將地衣放在含水的植栽海綿上，再放入自製的二氧化碳檢測觀察箱並恆溫控制為 25 °C。
4. 裝設網路攝影機，以連續錄影方式，攝影觀察箱中二氧化碳檢測儀的面板 17 小時，觀察記錄影片。

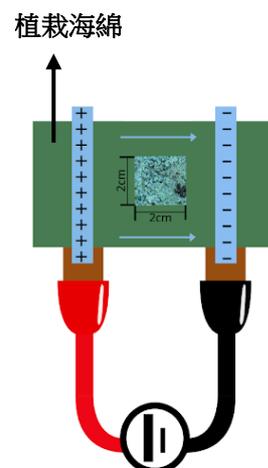


圖 27 地衣受電場刺激示意圖

(二) 實驗結果：

表24 地衣受到電場83.0 V/m 刺激對二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	388	882	1096	1212	1291	1351	1517	1557	1563
二氧化碳變化		494	214	116	79	60	166	40	6
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	1607	1713	1750	1719	1715	1685	1678	1649	1617
二氧化碳變化	44	106	37	-31	-4	-30	-7	-29	-32

表25 地衣受到電場 120.0 V/m 的刺激對二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	374	772	941	1027	1082	1116	1157	1193	1214
二氧化碳變化		398	169	86	55	34	41	36	21
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	1231	1243	1254	1274	1276	1292	1314	1284	1275
二氧化碳變化	17	12	11	20	2	16	22	-30	-9

表26 地衣受到電場 157.8 V/m 的刺激對二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	366	645	870	960	971	1035	1129	1142	1158
二氧化碳變化		279	225	90	11	64	94	13	16
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	1171	1197	1197	1159	1132	1122	1098	1083	1084
二氧化碳變化	13	26	0	-38	-27	-10	-24	-15	1

表27 地衣受到電場 200.0 V/m 的刺激對二氧化碳值變化表

時間(hr)	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00
二氧化碳 (ppm)	387	883	1136	1152	1154	1161	1183	1246	1176
二氧化碳變化		496	253	16	2	7	22	63	-70
時間(hr)	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
二氧化碳 (ppm)	1261	1277	1238	1203	1144	1079	1014	969	930
二氧化碳變化	85	16	-39	-35	-59	-65	-65	-45	-39

有發現地衣受電場影響 12 小時後，二氧化碳吸收的差異開始比較明顯，因此以 12 小時做區隔，將其分成兩個部分呈現如下圖 28。

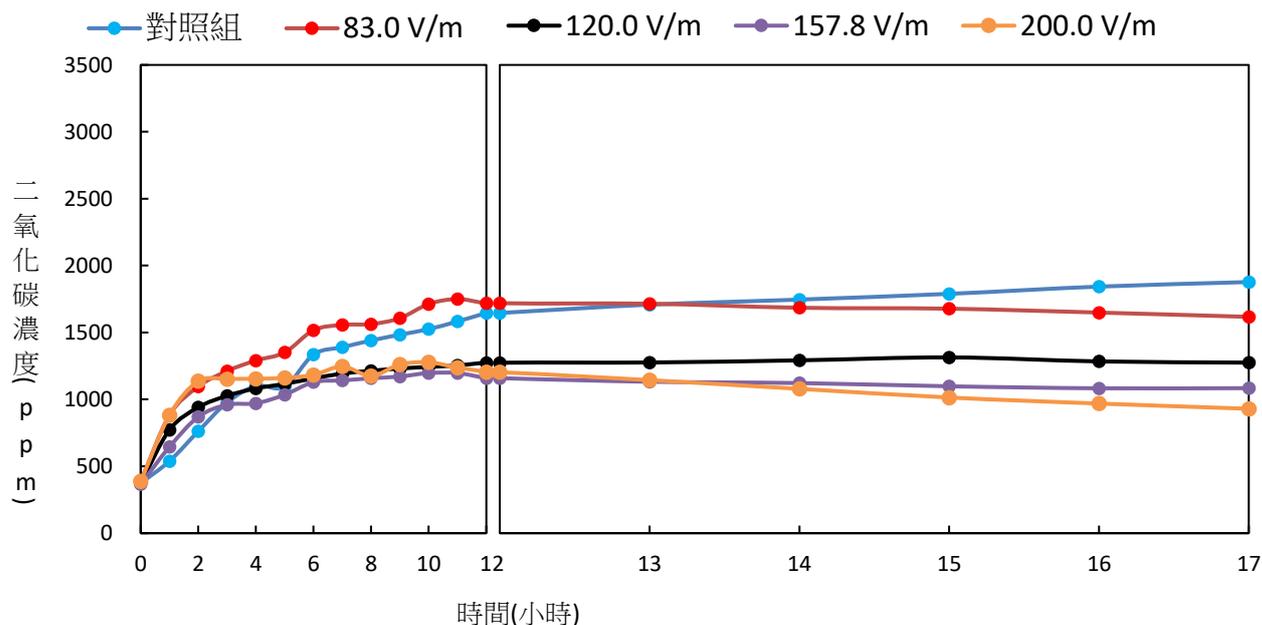


圖 28 地衣在不同電場刺激下對二氧化碳吸收變化比較圖

(三) 實驗分析與討論：

我們發現地衣受電場刺激之後，約從第 6 個小時開始分成兩種表現，尤其受到 120 V/m 以上的電場固碳效果較好，同時一直到 12 小時後開始有明顯的差異性，電壓越大，電場越大，其吸收二氧化碳濃度越明顯，另外可以發現電壓越大，讓原本白天光合作用變成在晚上光合作用也很明顯，與文獻(習 & 楊, 2008)的結果相符合。

肆、結論

一、根據以上所做的四種實驗，個別歸納出以下的結論：

(一) 在測試不同地點的地衣對二氧化碳吸收能力的實驗中，利用試劑作用於地衣上的顏色變化，發現這五個地點所採集的地衣至少有四種以上，且發現位於斗六明德北路的地衣，吸收二氧化碳的能力最強，接著依序是斗六梅林公園、古坑綠色隧道、古坑荷苞山與古坑桂林村的地衣。

由圖 29 可以看出位於斗六明德北路和古坑綠色隧道的地衣，生長在人口密度高及車輛往來頻繁的道路兩旁的環境下，周圍的二氧化碳濃度較高，而斗六梅林公園也是在道路旁，再加上斗六地區同時也屬於長期空氣汙染較為嚴重的地區，長時間處在這樣環境下的地衣，吸收二氧化碳能力相對較強。這種吸收能力的差異，可能是受到這些地點分屬不同的生態環境和空氣汙染水平的影響所導致，而這種現象也顯示地衣於二氧化碳濃度較高的環境中反而吸收更好。

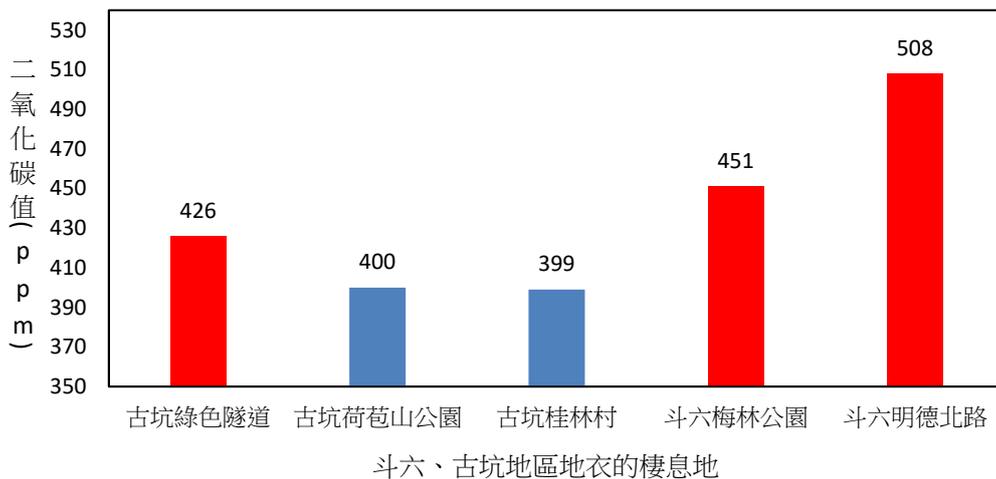


圖 29 斗六、古坑區地衣採樣地點中午二氧化碳濃度(ppm)

(二) 檢視設定在不同溫度下的地衣對二氧化碳吸收能力的實驗數據。其結果顯示，在 25 °C 的環境是地衣較容易生存的溫度，其固碳作用速率比 20 °C 和 15 °C 環境之下來得快，也可以發現當二氧化碳濃度較高時，在 25 °C 地衣生長適宜的環境下，其固碳作用的效果會更好。

(三) 紫外光在 3450lux 時，能破壞地衣內部藻類的細胞膜和葉綠素分子，進而降低光合作用效率，導致白化現象的產生。而當光度降至 2970 lux、2450 lux 和 2090 lux 時，地衣對二氧化碳的吸收效果也有所不同，其中又以 2090 lux 下的地衣表現出了較高的光合作用效率且未出現白化現象。然而，其中比較有趣的現象是以紫外光 2970 lux 照射時，地衣表面會呈現類似藍綠色螢光的效果。

此外，我們也觀察到地衣在白天的光合作用效果最佳，可能是因為地衣內部的藻類有日夜節律性的光合作用，只有在白天才會進行光合作用，吸收更多的二氧化碳，而在夜晚時主要是進行呼吸作用，導致地衣對二氧化碳的吸收量下降。因此，我們可以得出結論，近距離的紫外線會影響地衣的光合作用效率和導致白化現象，而光度和時間也會對地衣的光合作用效率產生顯著的影響。

(四) 以不同大小的電場來刺激地衣的固碳作用，可以發現當電壓越大則電場越大，地衣固碳作用的效果也越好，而當電壓大到某一個程度，晚上的固碳作用的效果更明顯，另外地衣曝露在電場下 5 分鐘，12 小時後就開始對固碳作用有明顯地增強效果。

三、總結以上結論：

綜合四個實驗，我們可以發現就地點而言，地衣的固碳作用，以在二氧化碳濃度較高的明德北路最好。接下來，針對荷苞山的文字衣來進行影響固碳作用的研究，發現溫度在 25 °C 最適宜，紫外光則是照度較低的 2090 lux 有不錯的固碳作用，而電場則是在 200 V/m 最好。所以綜合以上結果以下頁圖 30 呈現：

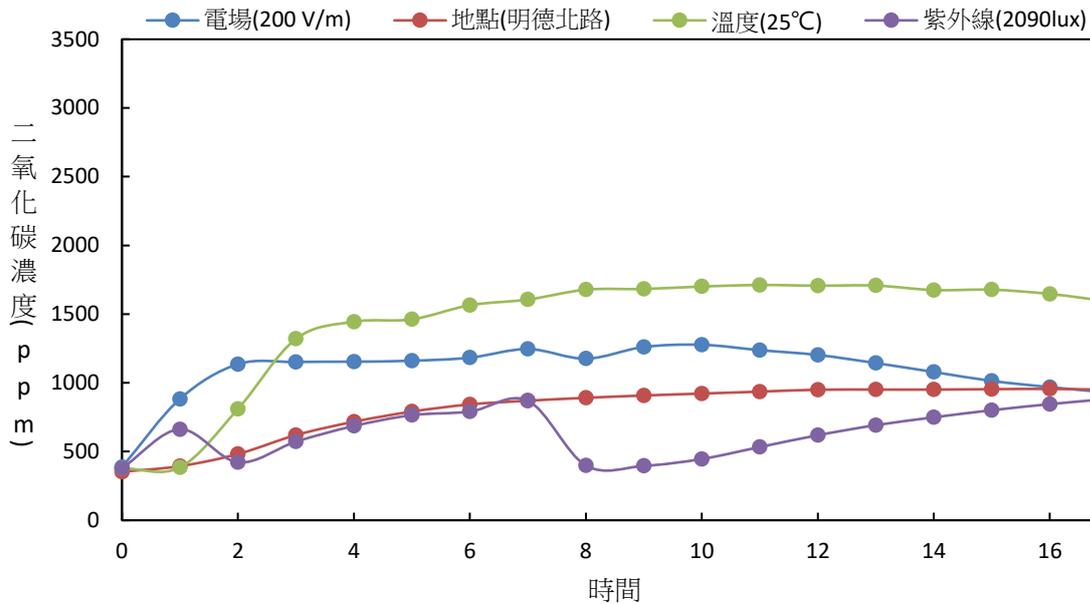


圖 30 地衣在不同環境變因下二氧化碳吸收效果比較圖
(溫度、電場與紫外線樣本採樣地點為荷苞山)

(一) 不同地點：

可發現位於二氧化碳濃度較高的明德北路地衣，吸收二氧化碳的效果優於其他地點。

(二) 針對荷苞山文字地衣：

對文字衣固碳作用影響因素比較為紫外線 > 電場 > 溫度，也就是說，文字衣會因為溫度高低、電場與紫外線強度的不同，而讓生長狀況與固碳作用的能力也有所不同。

因此，保護生態環境和降低碳排放與減緩暖化，對於地衣和其他生物的生存和發展影響深遠且關係緊密，若能繼續深入研究地衣的吸收二氧化碳能力和生長條件，可以幫助人類，更好地了解地球生態系統的運作方式和應對氣候變化的方法。

伍、參考資料

1. Campbell.Reece. (2013). *生物學*. (鍾楊聰等, 譯者) 偉明出版社.
2. GabrielCORNIC. (2022). *溫度對光合作用的影響*. 擷取自 encyclopédie de l'environnement:
<https://www.encyclopedie-environnement.org/zh/vivant-zh/effects-temperature-on-photosynthesis/>
3. JulietteASTA. (2022). *地衣，令人驚嘆的開拓者*. 擷取自 encyclopédie de l'environnement:
<https://www.encyclopedie-environnement.org/zh/vivant-zh/lichens-pioneering-organisms/>
4. 沈原民. (2015). *林業經營與農業管理對地衣的影響*. 林業研究專訊, 22(3), 37-39.
5. 官思妤. (2015). *大屯火山群地衣體之地球化學特性研究*.
6. 延陵科學綜合室. (2021). *地衣 Lichenes*. 擷取自 延陵植物標本閣:
<http://www.ngensis.com/flora/lichen.htm>
7. 姚奎宇,楊家棟. (2018). *苔蘚地衣圖鑑*.
8. 柏谷博之. (2011). *身邊常見的地衣*. (郭寶雯, 譯者) 晨星出版社.
9. 高善,林怡欣. (2002). *臺北市內湖區金面山地衣調查與空氣污染對地衣影響之探究*. 科學教育期刊(260), 24-35.
10. 維基百科編者. (2023). *光合作用*. 擷取自 維基百科: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E5%90%88%E4%BD%9C%E7%94%A8#C3%E7%B1%BB%E6%A4%8D%E7%89%A9>
11. 習崗, 楊運經. (2008). *大氣電場及其對植物和農業的影響*. 大學物理, 27(12), 50-52.
12. 許子淳. (2020). *二氧化碳濃度提高對不同耐陰性樹種苗木光合作用性*. 國立屏東科技大學, 森林系.
13. 陳科廷. (2015). *藻菌共生的生物-臺灣的膠衣科地衣研究*. 林業研究專訊, 22(3), 32-36.
14. 鍾國芳,邵廣昭. (2003). *Graphis scripta (L.) Ach. 文字衣*. 擷取自 台灣物種名錄:
https://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet_species_detail.php?name_code=141379&tree=y

【評語】 030308

優點：

本研究以地衣進行研究固碳研究，旨在分析不同場域採集的地衣在固碳作用方面的差異。實驗呈現了時間與地衣固碳作用的趨勢，使得讀者能夠清楚地觀察到變化的模式。呼應當今全球氣候變遷議題，研究題材切合時事。

建議及檢討：

1. 實驗中雖採集了五處環境有所差異的地衣，但各處只取一小片地衣用作實驗材料，此外在後續各項變因探討的實驗中也有同樣的問題，此小量的樣本數較難具科學代表性，建議各項實驗設計應宜有獨立三次以上重複。等面積不代表等量地衣、各處地衣生理狀況相同嗎？
2. 結果顯示地衣對二氧化碳吸收能力與生活環境的相互關聯性，此部分應再設計相關實驗，如空氣品質相關成分分析，是否因外在CO₂濃度所導致。或是藉由改變環境中CO₂濃度，看是否影響地衣的固碳作用

3. 實驗可以進一步進行無地衣狀態下的時間二氧化碳讀值的測量，
並以差值的方式進行分析。這樣的設計可以提供更直觀地觀察固
碳作用的效果

4. 建議在裝置圖解原理的部分提供簡單的補充說明。這樣的說明可
以幫助讀者更好地理解裝置的原理和操作方式。

作品海報

環境溫度、紫外線與電場強度對
古坑荷苞山文字衣(*Graphis scripta* (L.) Ach.)
固碳作用的影響



摘要

1. 古坑與斗六地區地衣來看，CO₂濃度越高，固碳作用越強。另外，可判斷出荷苞山的地衣種類為文字衣。
2. 針對荷苞山文字衣的固碳作用：
 - (1) 在25 °C環境下，文字衣固碳作用最好。
 - (2) 紫外線太強會減弱文字衣CO₂吸收率和產生白化現象，但紫外線不影響其光合作用的日夜節律性。
 - (3) 文字衣在低電壓(10V)下受電場刺激，電場越大固碳作用越好，同時也會影響其光合作用的日夜節律性。

實驗器材

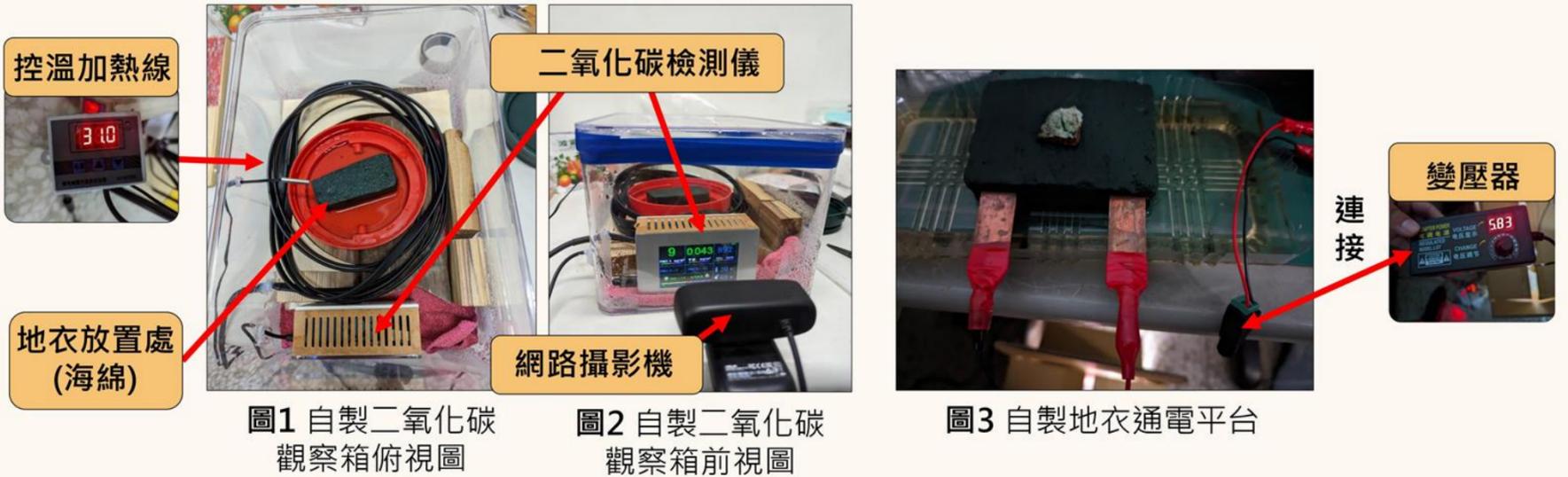


圖1 自製二氧化碳觀察箱俯視圖

圖2 自製二氧化碳觀察箱前視圖

圖3 自製地衣通電平台

研究結果

斗六、古坑不同地區

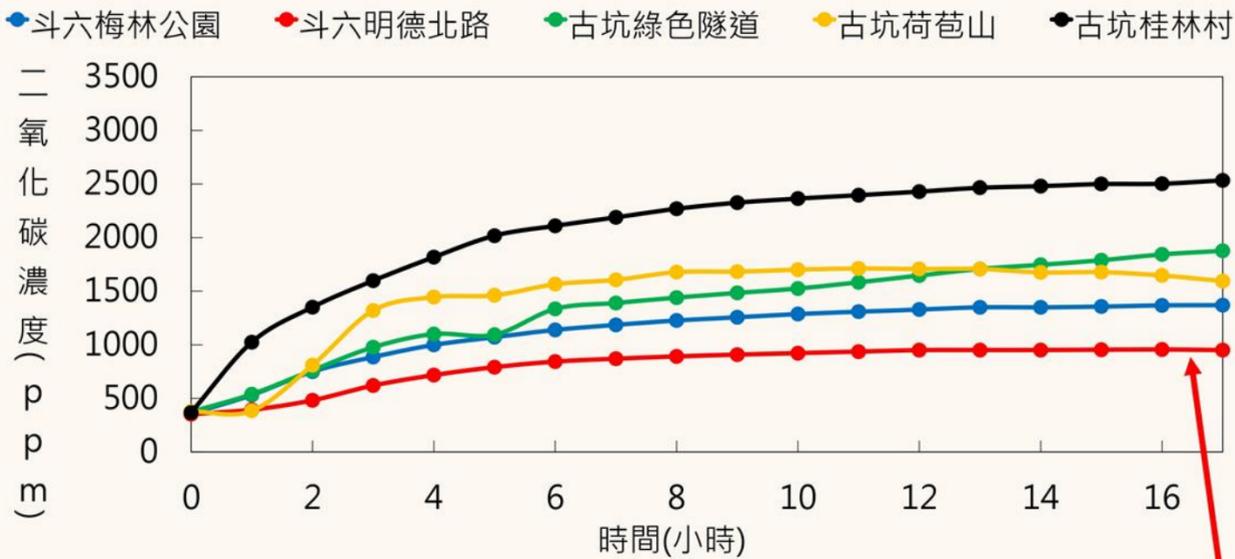


圖4 雲林斗六、古坑區地衣的固碳作用比較圖

1. 地衣在潮濕、光照充足且二氧化碳濃度較高的環境中，其吸收二氧化碳的能力較強。
2. 明德北路、綠色隧道和梅林公園位於道路旁，周圍較多污染，地衣在這些區域吸收二氧化碳的能力也相對較強。

固碳作用最佳

採集五個地點地衣如下：

表1 不同斗六、古坑地區地衣外觀

地點	斗六梅林公園	古坑荷苞山	古坑綠色隧道	斗六明德北路	古坑桂林村
地衣外觀					
著生基體	樹皮				

測試地衣種類

1. 首先將地衣切片來觀察，可以看出菌落與菌絲的位置。
2. 使用三種地衣檢測液，分別針對地衣中的色素與澱粉來做檢測。

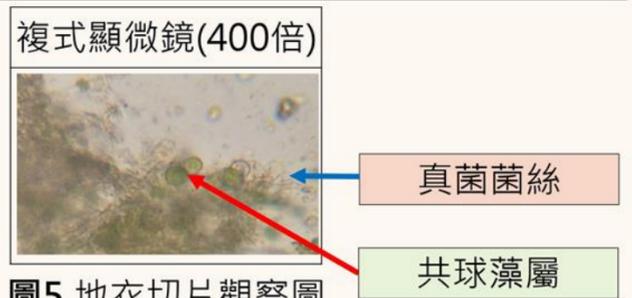


圖5 地衣切片觀察圖

表2 斗六、古坑地區地衣檢測狀態

地點	梅林公園	明德北路	綠色隧道	荷苞山	桂林村
檢測前					
地衣色素	1. 25%氫氧化鉀溶液檢測松蘿酸				
	2. 漂白水(次氯酸鈉)檢測苯醌衍生物				
澱粉	3. 碘液+碘化鉀混合溶液檢測澱粉				

綜合切片、地衣外觀以及試液檢測的結果與資料庫比對，僅確認古坑荷苞山地衣其物種名稱為文字衣，如下表。

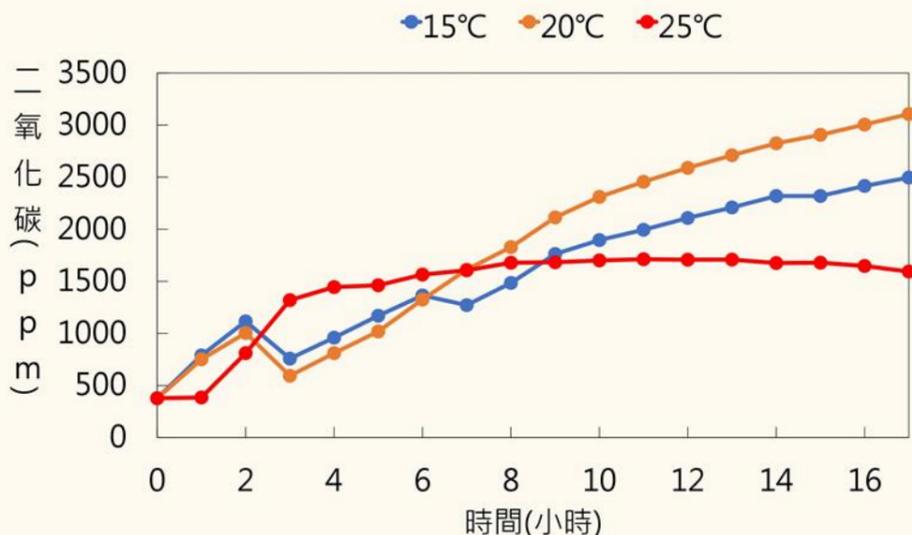
表3 荷苞山地衣分類

界	門	綱	目	科	屬	種
Fungi 真菌界	Ascomycota 子囊菌門	Lecanoromycetes 茶漬綱	Ostropales 厚頂盤菌目	Graphidaceae 文字衣科	Graphis 文字衣屬	Graphis scripta (L.) Ach. 文字衣

分類

古坑荷苞山地衣外觀明顯與其他地點地衣有差異。加上檢測結果。因此我們可以推測，這五個地點中至少有四種地衣。

溫度

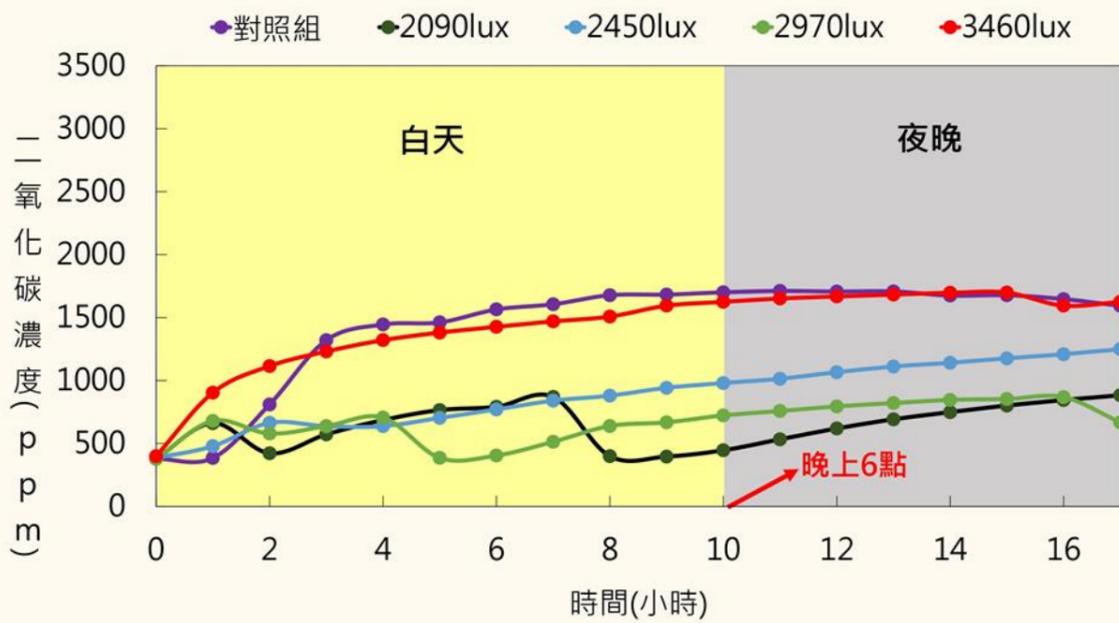


1. 二氧化碳錠不同溫度下釋放速率有所不同。溫度越高釋放越快，但25 °C雖然釋放CO₂最快，但下降幅度反而最大，也就代表此溫度所吸收CO₂最多。
2. 25 °C 的環境是地衣較容易生存的環境，其固碳作用速率比20°C和15°C環境下快，而且二氧化碳濃度越高的環境下吸收的固碳作用速率也會加速。

紫外線

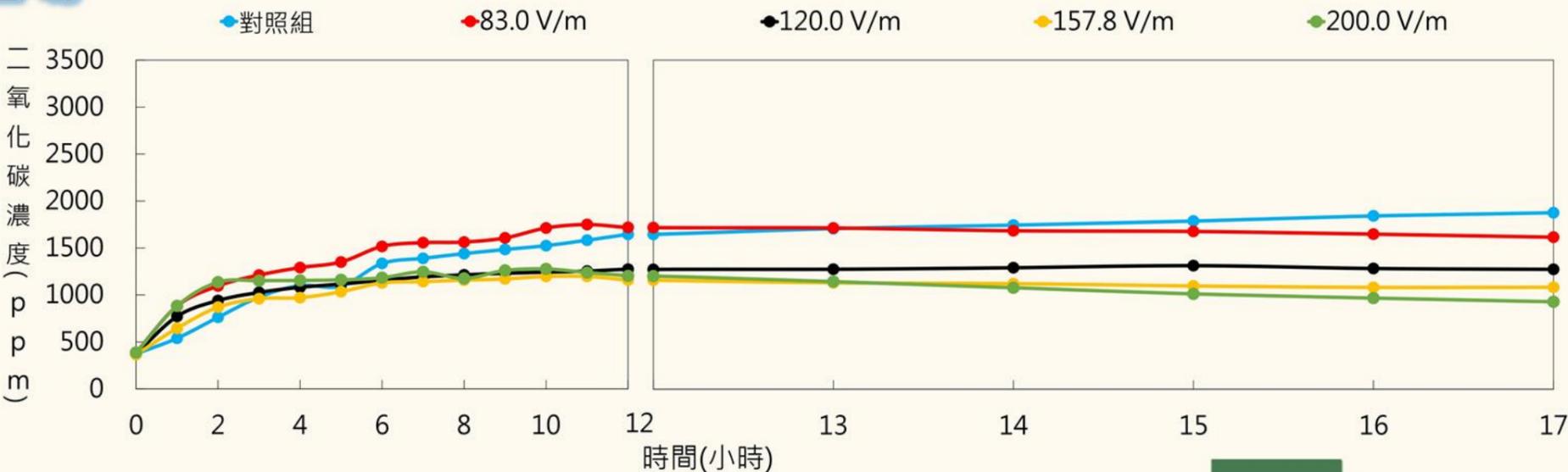
表4 文字衣受到UVA照射下的外觀變化

紫外光 照度(lux)	原始未照 紫外光	2090	2450	2970	3460
地衣 狀態					
顏色	灰色	灰色	灰色偏黃	藍綠色·偏螢光	偏白色



1. 紫外線過強(3460 lux)會破壞文字衣內部並造成白化現象。
2. 文字衣在照度為2970 lux 時，會呈現藍綠色，類似發螢光的效果。且在此照度下，文字衣吸收二氧化碳的量較高，6小時後效果漸趨正常。
3. 2090 lux 下，文字衣光合作用效率高且未發生白化。

電場



1. 文字衣受電場刺激之後，約從第6個小時開始分成兩種表現。
2. 受到120 V/m 以上的電場固碳效果較好，12 小時後開始有明顯的差異性。
3. 電壓越大，電場越大，其吸收二氧化碳濃度越明顯。
4. 電壓越大，讓原本白天光合作用變成在晚上光合作用也很明顯。

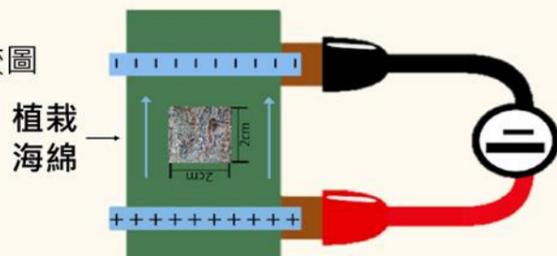


圖9 文字衣受電場刺激示意圖

地點		梅林公園	明德北路	綠色隧道	荷苞山	桂林村
地衣色素	具有松蘿酸	✓	✓	✓	✓	✓
	苯醌衍生物			✓		
具澱粉		✓		✓	✓	✓

一、根據以上所做的四種實驗，個別歸納出以下的結論：

- (一) 1. 利用試劑作用於地衣上的顏色變化，發現這五個地點所採集的地衣至少有四種以上(表5)。
- 2. 位在明德北路的地衣吸收二氧化碳的能力最強。(原因探討如下)

由圖10結合圖4可知：地衣生長在二氧化碳濃度較高環境下(明德北路)，吸收二氧化碳能力相對較強。

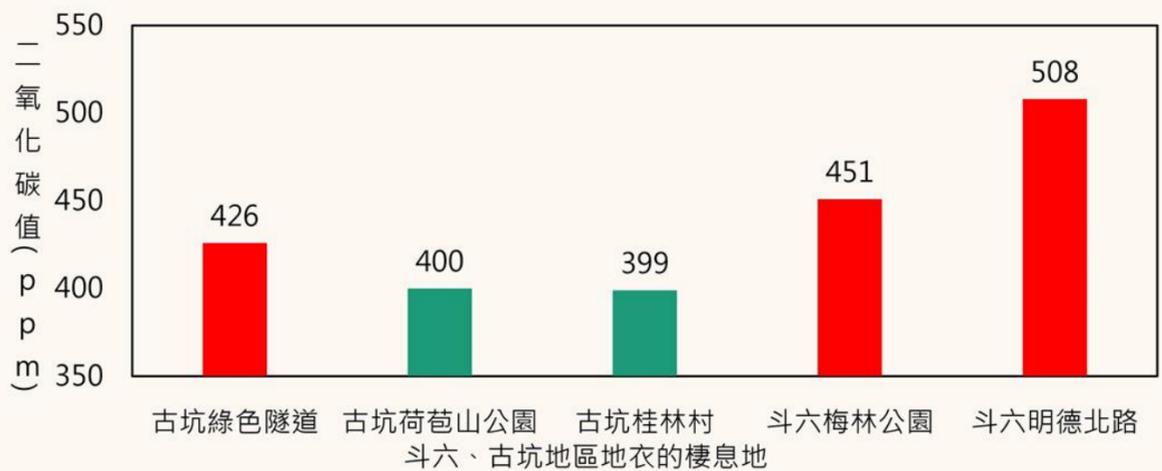


圖10 斗六、古坑區地衣採樣地點中午二氧化碳濃度(ppm)

針對荷苞山文字衣來研究：

- (二) 文字衣較容易生存的溫度為25 °C。(文獻參考為圖11)

- (三) 1. 紫外光強度過強會破壞文字衣內藻類的細胞膜和葉綠素分子，降低光合作用並產生白化現象。
- 2. 在不同 UV照度下，文字衣的外觀顏色變化會有所不同。
- 3. 文字衣內藻類遵守日夜節律性的光合作用，不受外加紫外線影響。

- (四) 1. 電壓越大則電場越大，文字衣固碳作用的效果越好。
- 2. 對文字衣外加電場，會影響內部藻類光合作用的日夜節律性。

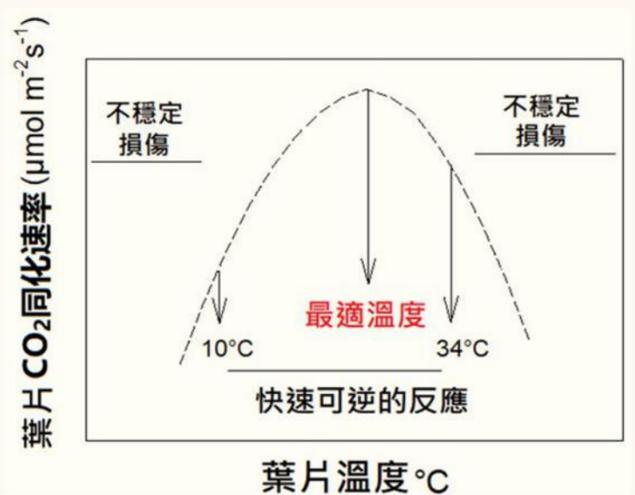


圖11 活體葉片二氧化碳吸收速率隨溫度變化示意圖 (Gabriel, 2022)

二、總結：

將古坑、斗六區地衣與針對荷苞山文字衣進行各種影響固碳作用研究的最佳結果合併探討，以下圖12為明德北路地衣(非文字衣)以及荷苞山文字衣分別針對溫度(25 °C)、紫外光(2090 lux)與電場(200 V/m)的結果分析：

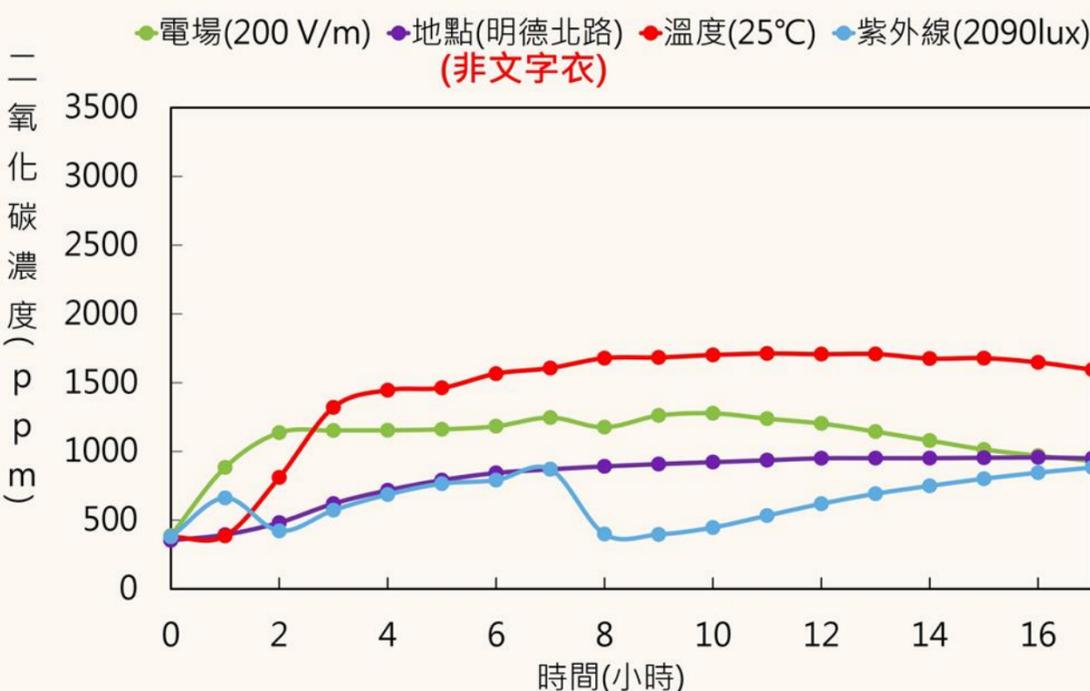


圖12 文字衣在不同環境變因下二氧化碳吸收效果比較圖

- (一) 不同地點：發現位於二氧化碳濃度較高的明德北路地衣，吸收二氧化碳的效果優於其他地點。

- (二) 針對荷苞山文字地衣：對文字衣固碳作用影響因素比較為紫外線 > 電場 > 溫度。

因此，保護生態環境和降低碳排放與減緩暖化，對地衣和其他生物的生存和發展影響深遠且關係緊密，繼續深入研究地衣可以幫助人類，更好地了解地球生態系統的運作方式和應對氣候變化的方法。

參考資料

- Campbell,Reece. (2013). 生物學 (鍾楊聰等, 譯者) 偉明出版社.
- GabrielCORNIC. (2022). 溫度對光合作用的影響. 擷取自 encyclopédie de l'environnement: <https://www.encyclopedie-environnement.org/zh/vivant-zh/effects-temperature-on-photosynthesis/>
- JulietteASTA. (2022). 地衣·令人驚嘆的開拓者. 擷取自 encyclopédie de l'environnement: <https://www.encyclopedie-environnement.org/zh/vivant-zh/lichens-pioneering-organisms/>
- 沈原民. (2015). 林業經營與農業管理對地衣的影響. 林業研究專訊, 22(3), 37-39.
- 官思妤. (2015). 大屯火山群地衣體之地球化學特性研究.
- 延陵科學綜合室. (2021). 地衣 Lichenes. 擷取自 延陵植物標本園: <http://www.ngensis.com/flora/lichen.htm>
- 姚奎宇,楊家棟. (2018). 苔蘚地衣圖鑑.
- 柏谷博之. (2011). 身邊常見的地衣 (郭寶雯, 譯者) 晨星出版社.
- 高善,林怡欣. (2002). 臺北市內湖區金面山地衣調查與空氣污染對地衣影響之探究. 科學教育期刊(260), 24-35.
- 維基百科編者. (2023). 光合作用. 擷取自 維基百科: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E5%90%88%E4%BD%9C%E7%94%A8#C3%E7%B1%BB%E6%A4%8D%E7%89%A9>
- 習崗,楊運經. (2008). 大氣電場及其對植物和農業的影響. 大學物理, 27(12), 50-52.
- 許子淳. (2020). 二氧化碳濃度提高對不同耐陰性樹種苗木光合作用性. 國立屏東科技大學, 森林系.
- 陳科廷. (2015). 藻菌共生的生物-臺灣的膠衣科地衣研究. 林業研究專訊, 22(3), 32-36.
- 鍾國芳,邵廣昭. (2003). Graphis scripta (L.) Ach. 文字衣. 擷取自 台灣物種名錄: https://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet_species_detail.php?name_code=141379&tree=y