

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 植物學科

(鄉土)教材獎

052102

誰「砂」了藻礁?—埋砂對藻礁生態的影響

學校名稱：臺中市立臺中女子高級中等學校

作者： 高二 盧佳秀	指導老師： 謝金山
---------------	--------------

關鍵詞：觀新藻礁、埋砂實驗、光合作用效率

摘要

桃園沿海藻礁生態地位重要，具有豐富生態、防波與研究地球氣候變遷價值，而可能造成藻礁死亡的有以下三點：工業廢水汙染、海岸建設破壞與周邊建設帶來的淤砂掩埋。

本研究旨在探討埋砂對於藻礁生態的影響，以人工海水混原生地海水架成的海水缸進行淤砂模擬實驗，分別埋 0.1cm 三天及五天、0.5cm 四天、3cm 三至五天、6cm 四天，用 Diving-PAM 測埋砂前後的光合作用效率變化。在埋砂 3cm 五天的實驗組中，發現殼狀珊瑚藻由紫轉橘，Fv/Fm 值下降至 0.046。持續追蹤觀察後，由橘轉白並喪失光合作用的能力。

由結果推測，殼狀珊瑚藻光合作用效率約在低於 0.300 時會有橘色色塊，若降至 0.045 則會逐漸轉白且無法復原。未來可望加入更多變因，並期待藉由本研究能喚起大眾對於藻礁生態的重視。

壹、研究動機

桃園藻礁屬於全球罕見以殼狀珊瑚藻為主要造礁生物，也是台灣面積最大且殼狀珊瑚藻純度最高的現生藻礁生態系，歷時七千多年的累積，具防波、生態多樣性和高研究價值，卻面臨生態浩劫。目前可能構成藻礁死亡原因有以下三點：工業廢水汙染、海岸建設破壞與周邊建設帶來的淤砂掩埋。而藻礁為多孔隙環境，由於動物多以此當作生長環境，若孔隙遭淤砂填滿，不僅令生態消失，也可能令礁體死亡。

因此我想藉由實驗得知，殼狀珊瑚藻在不同掩埋厚度及掩埋時間變化下，對其光合作用效率的影響與變化，並希望能讓大眾更加了解藻礁生態的重要性。

貳、研究目的

- 一、透過文獻與報導，了解藻礁生態面臨生態浩劫的原因。
- 二、比較殼狀珊瑚藻對不同埋砂深度與不同天數組合的光合作用效率變化。
- 三、觀察殼狀珊瑚藻變色歷程。

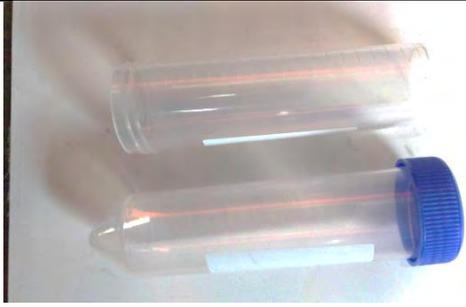
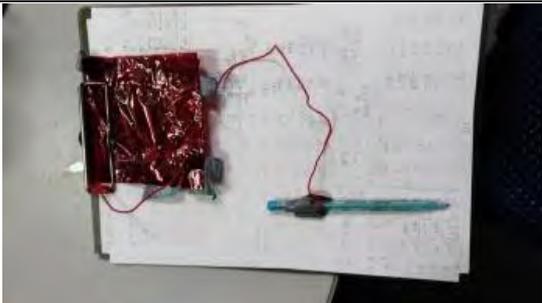
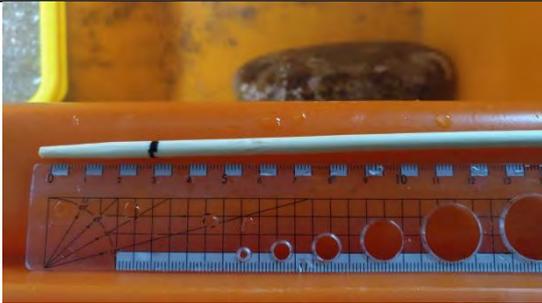
參、研究設備及器材

一、實驗裝置：海水缸



二、實驗器材

殼狀珊瑚藻所附著的鵝卵石	桃園原生地的海砂
	
圖 2-1 殼狀珊瑚藻所附著的鵝卵石	圖 2-2 桃園原生地的海砂
桃園原生地的海水	經灰化後的砂子
	
圖 2-3 桃園原生地的海水	圖 2-4 經灰化後的砂子

<p style="text-align: center;">Diving-PAM</p>  <p style="text-align: center;">圖 2-5 Diving-PAM 水管剪(切割用)</p>	<p style="text-align: center;">離心管(切割前)</p>  <p style="text-align: center;">圖 2-6 離心管(切割前)</p>
 <p style="text-align: center;">圖 2-7 水管剪(切割用)</p>	<p style="text-align: center;">離心管(切割後)</p>  <p style="text-align: center;">圖 2-8 離心管(切割後)</p>
<p style="text-align: center;">實驗記錄版(版夾+鉛筆+防水紙)</p>  <p style="text-align: center;">圖 2-9 實驗記錄版(版夾+鉛筆+防水紙)</p>	<p style="text-align: center;">塑膠盆</p>  <p style="text-align: center;">圖 2-10 塑膠盆</p>
<p style="text-align: center;">竹筷(標定厚度)</p>  <p style="text-align: center;">圖 2-11 竹筷(標定厚度)</p>	<p style="text-align: center;">橡皮筋</p>  <p style="text-align: center;">圖 2-12 橡皮筋</p>

肆、研究過程或方法

一、文獻探討

(一)殼狀珊瑚藻(crustose coralline algae, CCA)

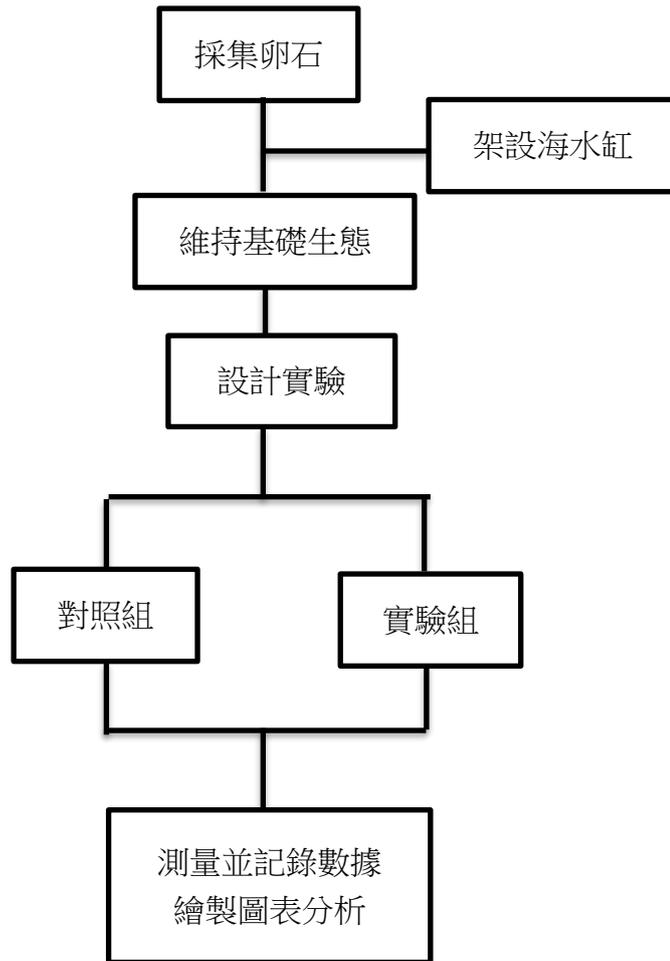
會造礁的海藻種類主要包括紅藻門的珊瑚藻、綠藻門的仙掌藻等，他們將海水中游離的鈣固定，在生長過後留下石灰質來造礁，其中以紅藻植物門(Phodophyta)，真紅藻綱(Florideophyceae)，珊瑚藻目(Corallinales)，珊瑚藻科(Corallinaceae)的珊瑚藻(coralline algae)最為普遍。基於礁體的外型，被分為兩亞科，有節珊瑚藻與無節珊瑚藻。其中殼狀珊瑚藻屬沒有關節的無節珊瑚藻，通常覆蓋在岩石表面(基質)上，為生物礁(biotic reef)。

(二)藻礁形成原因與珊瑚藻生態簡介

相較於珊瑚蟲形成的珊瑚礁，殼狀珊瑚藻和珊瑚蟲一樣皆會形成碳酸鈣的骨架，但殼狀珊瑚藻對生成環境的耐受性上較珊瑚蟲強，因此可知能形成藻礁的環境會具有硬基質如岩石等的存在，且環境較不利於珊瑚蟲生長，像是水質濁度較高或是鹽度等變化較大。

儘管如此，與其他造礁生物相比，殼狀珊瑚藻的生長速率與其鈣質藻體的累積速率都很低，且殼狀珊瑚藻不能在太高光照強度的環境下生長。當光照強度超過 $200 \mu \times \text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$ 時，殼狀珊瑚藻的光合作用效能會劇烈下降。過去的研究顯示，在去除侵蝕作用的環境下，殼狀珊瑚藻的鈣質結構累積速率仍相當慢，礁體成長速率每年僅有 1.0~5.2 mm，若在自然環境中，藻礁形成期間除了面臨到強浪所造成的物理破壞、海水的融解作用、漂砂沉積物的覆蓋、生物侵蝕作用等因素，還需面臨到汙水而導致的營養鹽濃度提高及大型藻的競爭。因此藻礁礁體在自然環境中實際的增長速率應該更低。

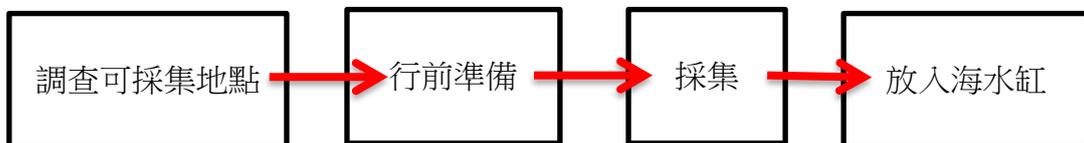
二、總流程圖



三、步驟流程說明

(一)採集卵石

1.流程圖



2.步驟說明

(1)調查可採集地點：

- A.排除保護區內的卵石，決定自永安漁港海岸採集
- B.以 Google Earth 探勘路線

(2)行前準備：

- A.架設海水缸(人工海鹽)

B.準備水桶數個，鏟子，有蓋水桶，膠鞋，帽子，塑膠箱

C.調查當日海水漲退潮時間

(3)採集：

		
殼狀珊瑚藻所附著的卵石	原生地砂	原生地海水

(4)放入海水缸：放置數日，觀察殼狀珊瑚藻適應情況

(二)維持基礎生態

1.流程圖



2.步驟說明

(1)加裝抽水馬達：以小盒子裝起，避免漂砂流入

(2)加裝濾水器：維持海水穩定

(3)加裝定時器：模擬晝夜日照變化

(三)設計實驗

1.流程圖



2.步驟說明

(1)觀察原生地漂砂覆蓋情況：在永安漁港海岸漂砂厚度大約為 0.1~0.5cm

(2)實驗前置準備：

A.因需排除砂子中有機物對殼狀珊瑚藻的影響，故需將砂子進行灰化

B.準備塑膠盆隔離實驗組與對照組

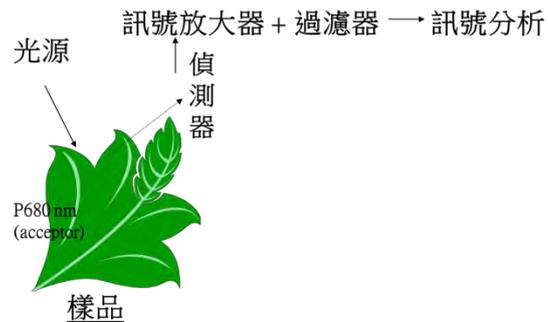
C.竹筷事先標示長度(3cm、6cm)，以便固定埋砂厚度

D.Diving-PAM 原理及數值意義

a.原理——葉綠素螢光原理

葉綠素螢光反應與光合作用

螢光儀量測原理



b.數值意義——螢光參數

Fo	測量光所測得的最初基礎葉綠素螢光產量值，此為暗適應下最小螢光值 (minimal chlorophyll fluorescence)，此時所有 PSII 呈現開啟狀態，即 QA 處於氧化態。
Fm	照射飽和脈衝光(saturation pulse)後所得之數值，此為暗適應下最大螢光值 (maximal chlorophyll fluorescence)，此時所有 PSII 呈現關閉狀態，即 QA 處於還原態。
Fv/Fm	$F_v = F_m - F_o$ ， $(F_m - F_o) / F_m = F_v / F_m = \Phi_{PSII} / qP$ 為光合系統 II(PSII)之最大光化學效率(maximal quantum efficiency of PS II photochemistry，Fv/Fm)，其值之高低可用作推估 光抑制之程度

(3)進行實驗：

A.各組實驗裝置照

	埋砂前	埋砂
0.1cm		
0.5cm		
3cm		
6cm		

B.圖片說明

a.0.1cm 組以橡皮筋作為埋砂厚度標定

b.0.5cm 組以切割後的塑膠圓環作為埋砂厚度標定

c. 3cm、6cm 組以畫線竹筷作為埋砂厚度標定

d.0.1cm 組的埋砂五天(左)與 3cm 組的埋砂五天(右)為同時進行，中間為對照組

e.6cm 組最上層藍盆為對照組

伍、研究結果

一、基礎光合作用效能檢驗：

編號	Fo	Fm	Fv/Fm
CCA 1	0.182	0.535	0.660
CCA 2	0.209	0.448	0.533
CCA 3	0.250	0.658	0.620
CCA 4	0.206	0.518	0.602
CCA 5	0.208	0.574	0.638

二、殼狀珊瑚藻受埋砂 0.1cm，四天後

(一)實驗照片



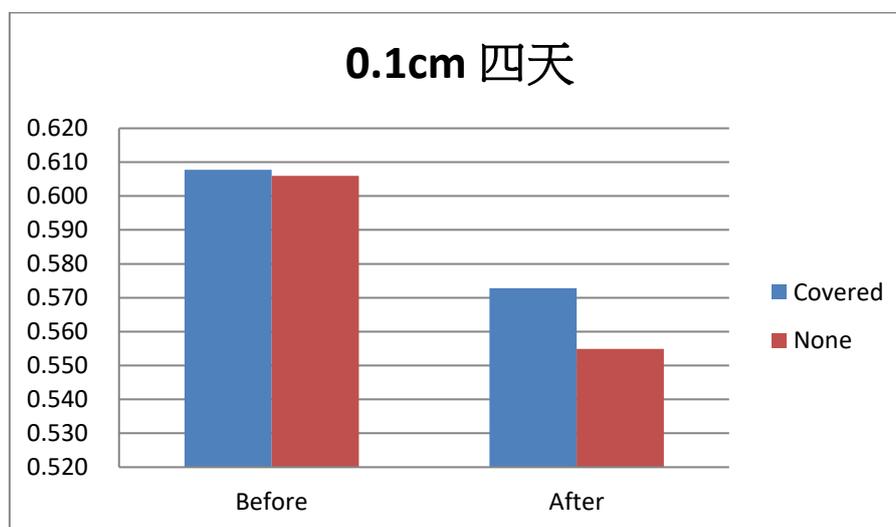
(二)光合作用效能檢驗

	編號	Before			After		
		Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm
Covered	1	0.259	0.659	0.607	0.231	0.587	0.606
	2	0.177	0.453	0.609	0.156	0.402	0.612
	3	0.147	0.374	0.607	0.256	0.512	0.500
None	1	0.146	0.371	0.606	0.222	0.595	0.627
	2	0.310	0.781	0.603	0.168	0.366	0.541
	3	0.139	0.355	0.608	0.155	0.308	0.497

(三)Fv/Fm 的平均值&標準差

	編號	Before	After
平均值	Covered	0.608	0.573
	None	0.606	0.555
標準差	Covered	0.001	0.063
	None	0.003	0.066

(四)圖表比較



三、殼狀珊瑚藻受埋砂 0.1cm，五天後

(一)實驗照片—左方黃塑膠盆



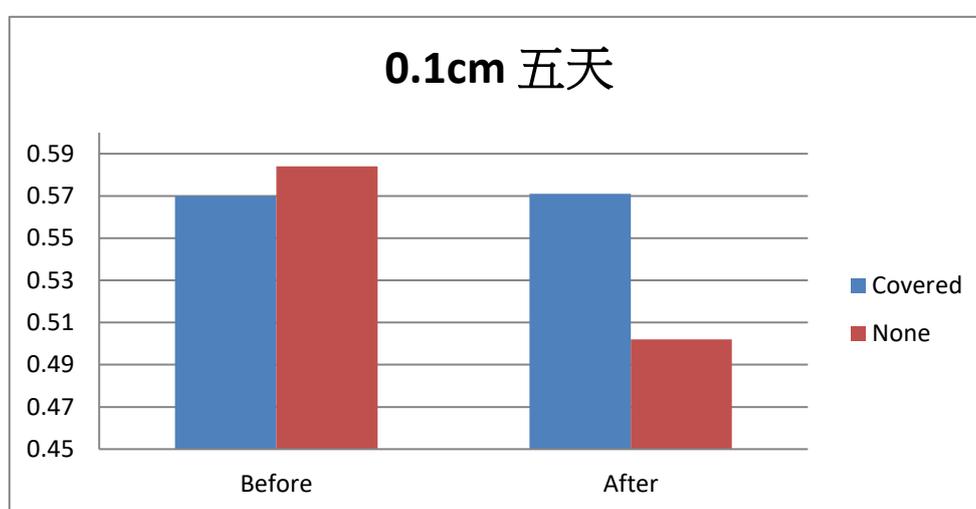
(二)光合作用效能檢驗

	編號	Before			After		
		Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm
Covered	1	0.244	0.650	0.625	0.231	0.587	0.606
	2	0.146	0.364	0.599	0.156	0.402	0.612
	3	0.173	0.422	0.590	0.256	0.512	0.500
	4	0.215	0.545	0.606	0.241	0.629	0.617
	5	0.205	0.425	0.518	0.135	0.234	0.423
	6	0.225	0.520	0.567	0.147	0.414	0.645
	7	0.226	0.442	0.489	0.170	0.370	0.541
None	1	0.168	0.359	0.532	0.148	0.318	0.535
	2	0.186	0.484	0.616	0.129	0.352	0.634
	3	0.204	0.507	0.598	0.200	0.525	0.619
	4	0.182	0.391	0.535	0.160	0.205	0.220
	5	0.170	0.372	0.543	0.178	0.343	0.481
	6	0.151	0.327	0.538	0.128	0.221	0.421
	7	0.227	0.621	0.634	0.161	0.406	0.603

(三) Fv/Fm 的平均值&標準差

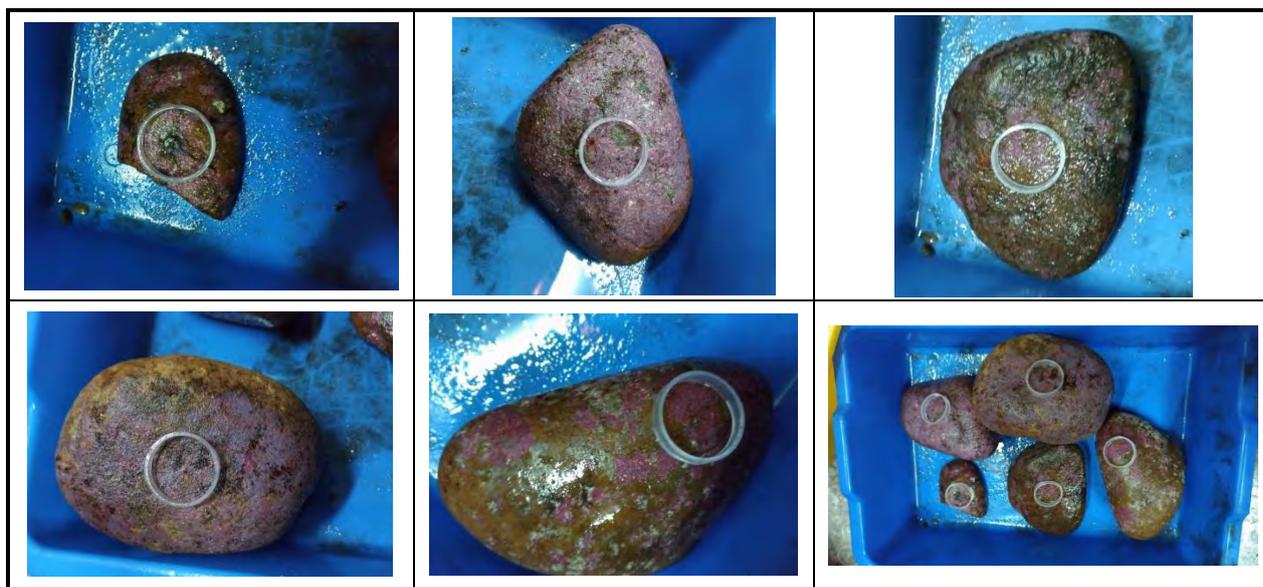
	編號	Before	After
平均值	Covered	0.570	0.584
	None	0.571	0.502
標準差	Covered	0.050	0.079
	None	0.044	0.147

(四)圖表比較



四、藻礁受埋砂 0.5cm，四天後

(一)實驗照片



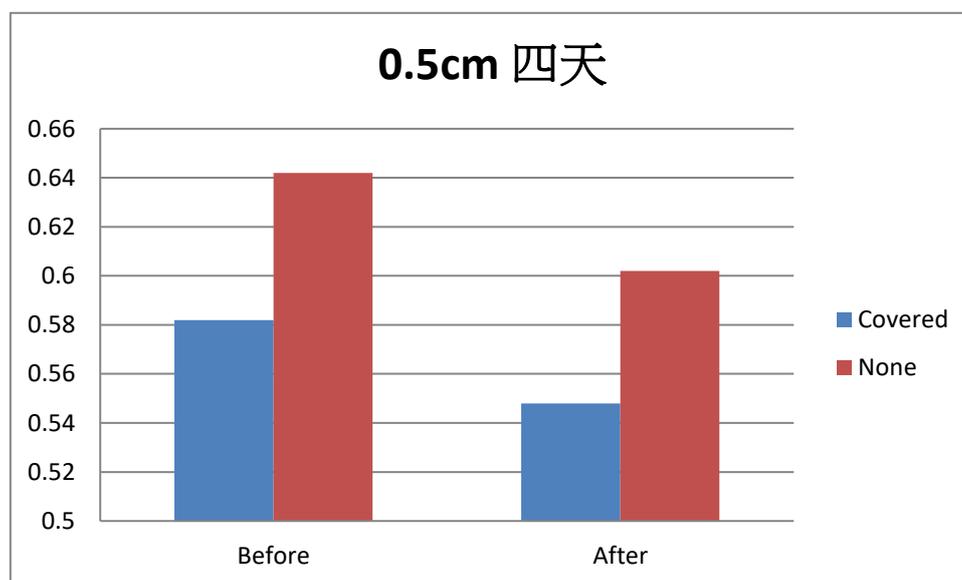
(二)光合作用效能檢驗

		Before			After		
	編號	Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm
Covered	1	0.217	0.469	0.537	0.154	0.314	0.510
	2	0.181	0.501	0.639	0.196	0.446	0.561
	3	0.140	0.321	0.564	0.141	0.313	0.550
	4	0.171	0.396	0.568	0.180	0.418	0.569
	5	0.206	0.518	0.602	0.225	0.502	0.552
None	1	0.237	0.684	0.654	0.257	0.633	0.594
	2	0.191	0.502	0.620	0.195	0.464	0.580
	3	0.194	0.628	0.691	0.171	0.401	0.574
	4	0.144	0.379	0.620	0.172	0.459	0.625
	5	0.175	0.468	0.626	0.245	0.672	0.635

(三) Fv/Fm 的平均值&標準差

	編號	Before	After
平均值	Covered	0.582	0.548
	None	0.642	0.602
標準差	Covered	0.039	0.023
	None	0.031	0.028

(四)圖表比較



五、殼狀珊瑚藻受埋砂 3 cm，三天後

(一)實驗照片



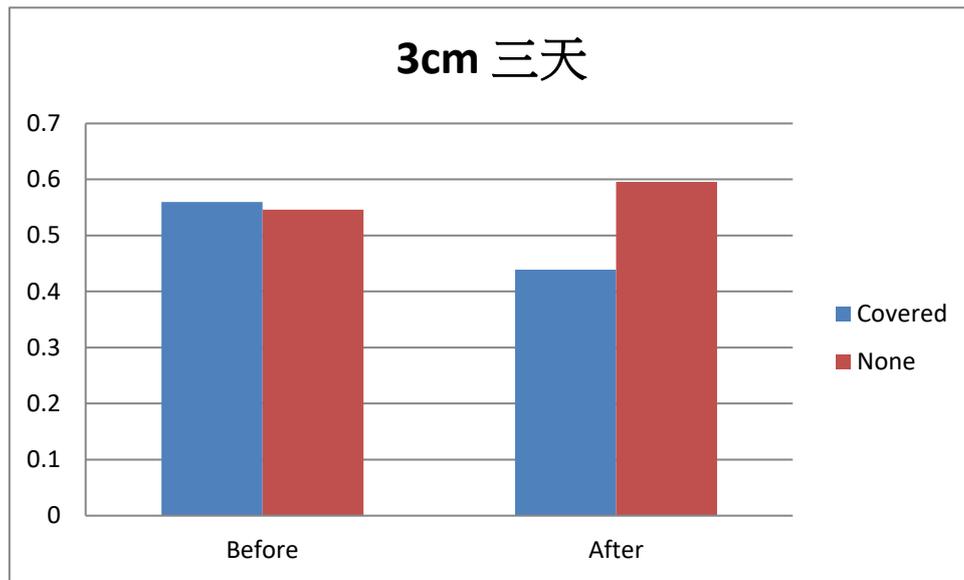
(二)光合作用效能檢驗

	編號	Before			After		
		Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm
Covered	1	0.293	0.656	0.553	0.142	0.279	0.491
	2	0.153	0.374	0.591	0.203	0.392	0.482
	3	0.131	0.291	0.550	0.176	0.424	0.585
	4	0.180	0.369	0.512	0.128	0.190	0.326
	5	0.171	0.419	0.592	0.231	0.334	0.308
None	1	0.301	0.594	0.493	0.143	0.313	0.543
	2	0.311	0.668	0.534	0.168	0.402	0.582
	3	0.182	0.509	0.642	0.184	0.507	0.637
	4	0.226	0.429	0.473	0.209	0.448	0.533
	5	0.306	0.743	0.588	0.157	0.498	0.685

(三) Fv/Fm 的平均值&標準差

	編號	Before	After
平均值	Covered	0.560	0.439
	None	0.546	0.596
標準差	Covered	0.033	0.118
	None	0.069	0.064

(四)圖表比較



六、殼狀珊瑚藻受埋砂 3 cm，五天後

(一)實驗照片



(二)光合作用效能檢驗

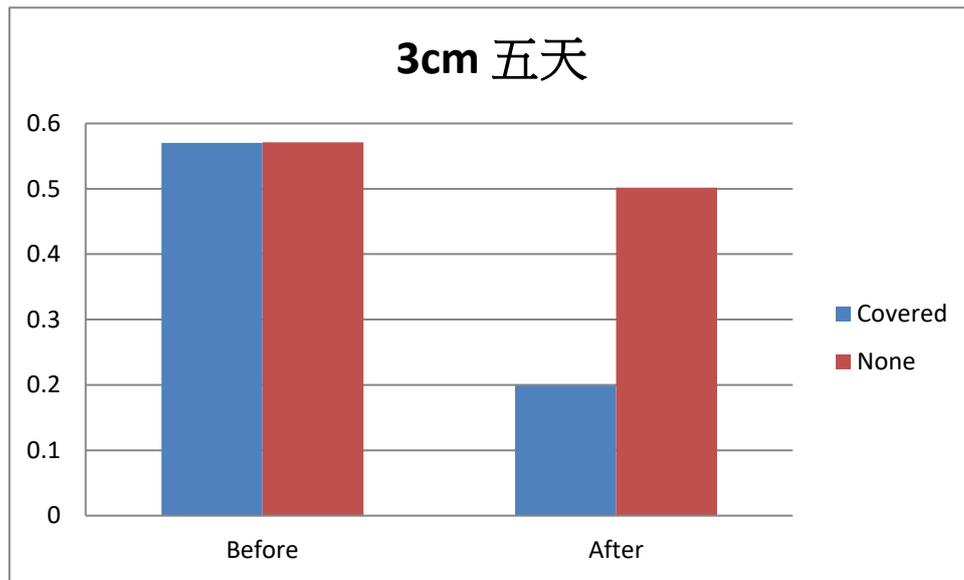
	編號	Before			After		
		Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm
Covered	1	0.145	0.336	0.568	0.189	0.251	0.247
	2	0.198	0.495	0.600	0.215	0.281	0.235
	3	0.242	0.535	0.548	0.188	0.197	0.046
	4	0.156	0.419	0.628	0.237	0.310	0.235
	5	0.371	0.674	0.450	0.313	0.362	0.135
	6(註)	0.166	0.433	0.617	0.202	0.232	0.129
	7	0.182	0.434	0.581	0.230	0.364	0.368
None	1	0.168	0.359	0.532	0.148	0.318	0.535
	2	0.186	0.484	0.616	0.129	0.352	0.634
	3	0.204	0.507	0.598	0.200	0.525	0.619
	4	0.182	0.391	0.535	0.160	0.205	0.220
	5	0.170	0.372	0.543	0.178	0.343	0.481
	6	0.151	0.327	0.538	0.128	0.221	0.421
	7	0.227	0.621	0.634	0.161	0.406	0.603

註：Covered 6 為埋砂五天取出後有明顯變色的殼狀珊瑚藻。(伍、研究結果：十)

(三) Fv/Fm 的平均值&標準差

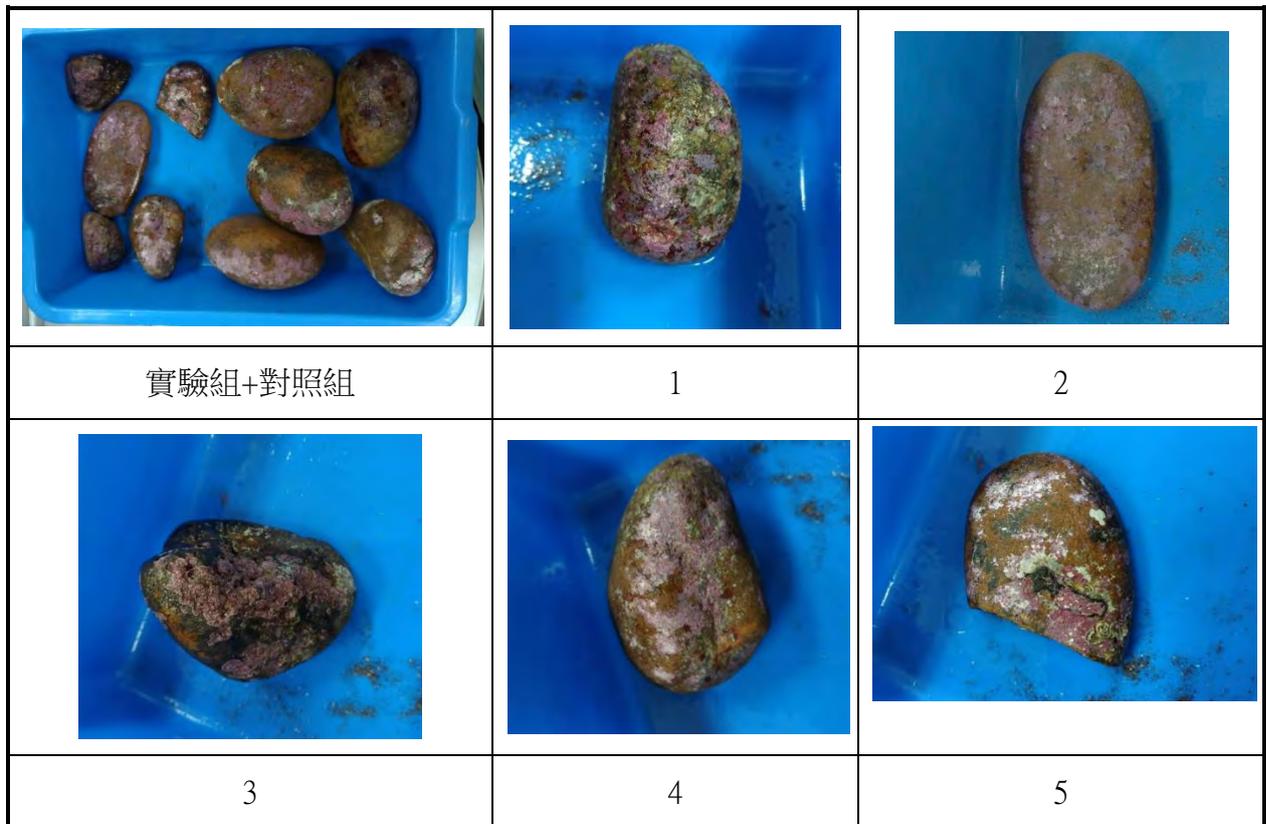
	編號	Before	After
平均值	Covered	0.570	0.199
	None	0.571	0.502
標準差	Covered	0.060	0.105
	None	0.044	0.147

(四)圖表比較



七、殼狀珊瑚藻受埋砂 3 cm，四天後

(一)實驗照片



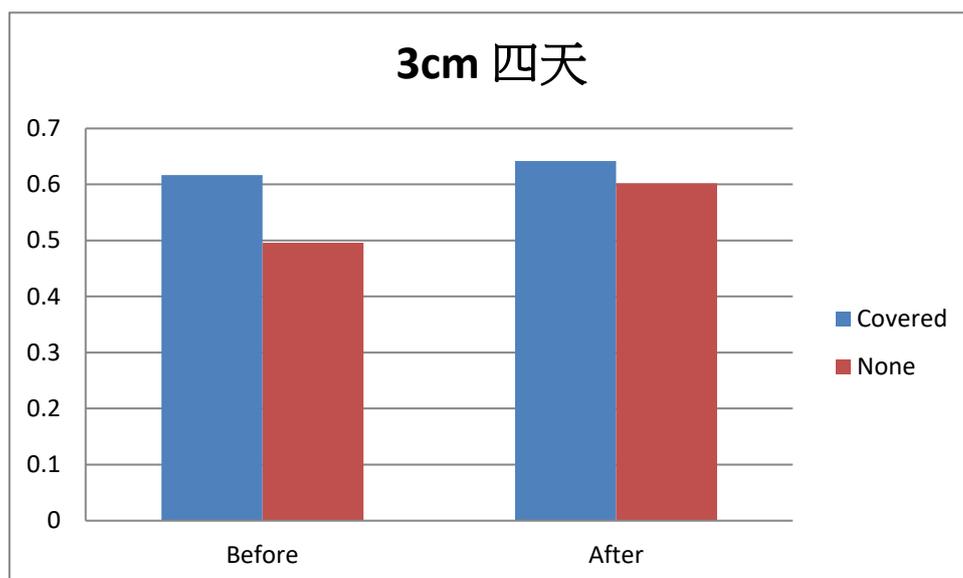
(二)光合作用效能檢驗

	編號	Before			After		
		Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm
Covered	1	0.164	0.439	0.626	0.219	0.476	0.540
	2	0.143	0.368	0.611	0.167	0.325	0.486
	3	0.171	0.447	0.617	0.171	0.365	0.532
	4	0.198	0.520	0.619	0.240	0.493	0.513
	5	0.203	0.520	0.610	0.365	0.617	0.408
None	1	0.237	0.684	0.654	0.257	0.633	0.594
	2	0.191	0.502	0.620	0.195	0.464	0.580
	3	0.194	0.628	0.691	0.171	0.401	0.574
	4	0.144	0.379	0.620	0.172	0.459	0.625
	5	0.175	0.468	0.626	0.245	0.672	0.635

(三) Fv/Fm 的平均值&標準差

	編號	Before	After
平均值	Covered	0.617	0.496
	None	0.642	0.602
標準差	Covered	0.007	0.053
	None	0.031	0.028

(四)圖表比較



八、殼狀珊瑚藻受埋砂 6 cm，三天後

(一)實驗照片



(二)光合作用效能檢驗

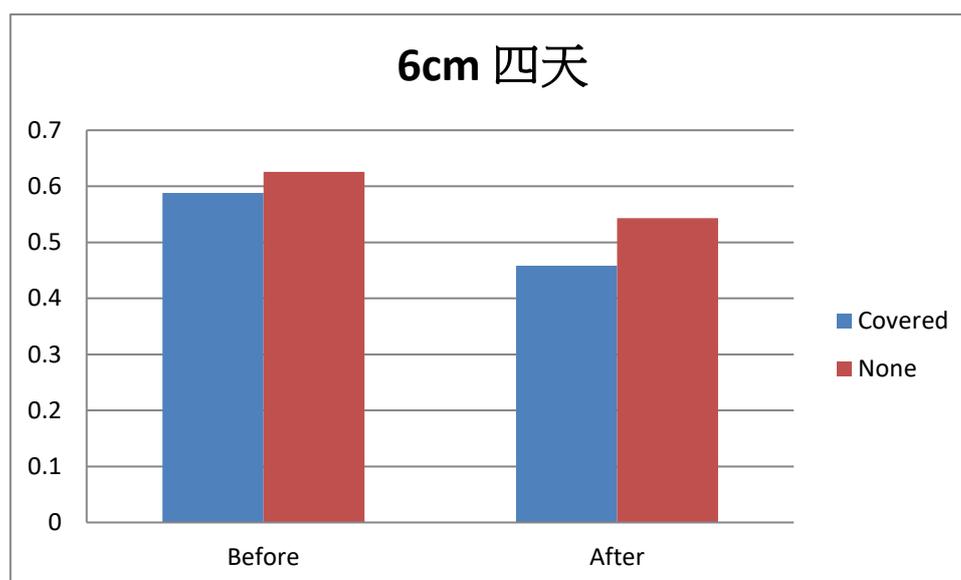
	編號	Before			After		
		Fo	Fm	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv/Fm
Covered	1	0.158	0.417	0.621	0.182	0.421	0.568
	2	0.148	0.364	0.593	0.225	0.433	0.480
	3	0.201	0.503	0.600	0.160	0.287	0.443

	4	0.249	0.542	0.541	0.262	0.392	0.332
	5	0.162	0.388	0.582	0.297	0.559	0.469
None	1	0.260	0.715	0.636	0.145	0.271	0.465
	2	0.153	0.464	0.670	0.198	0.468	0.577
	3	0.139	0.360	0.614	0.160	0.348	0.540
	4	0.202	0.518	0.610	0.314	0.708	0.556
	5	0.209	0.521	0.599	0.168	0.395	0.575

(三) Fv/Fm 的平均值&標準差

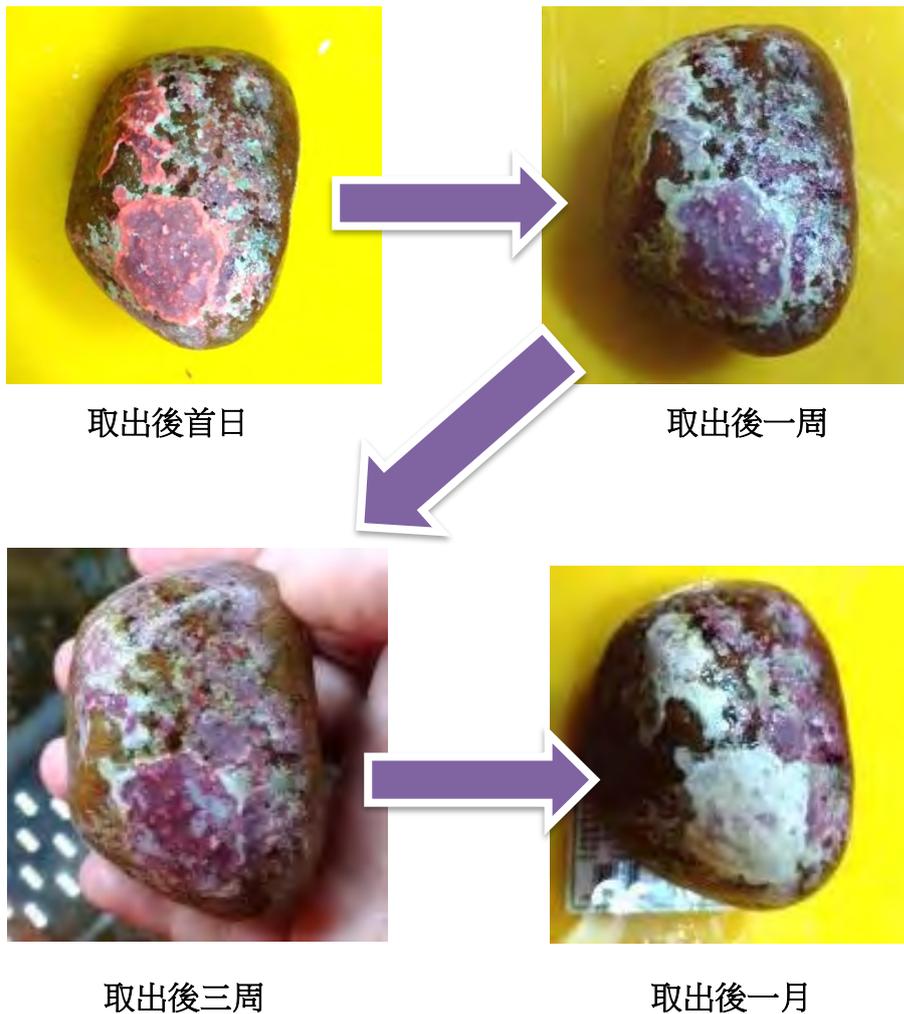
	編號	Before	After
平均值	Covered	0.588	0.458
	None	0.626	0.543
標準差	Covered	0.030	0.085
	None	0.028	0.046

(四)圖表比較



九、3cm 五天組中第 5 號殼狀珊瑚藻「橘化」後，光合作用效率變化

(一)實驗照片



(二)光合作用效能檢驗

	Fo	Fm	Fv/Fm
取出後首日	0.202	0.232	0.129
取出後一周	-	-	-
取出後三周	1.325	1.355	0.022
取出後一月	0.128	0.152	0.158

陸、討論

一、藻礁基礎生態討論

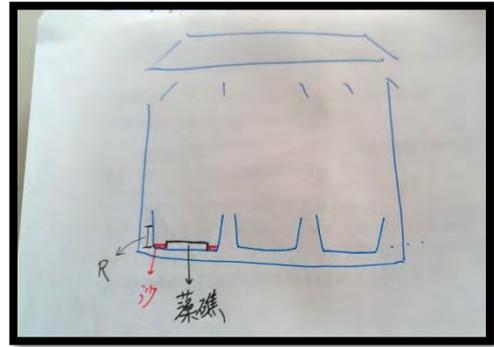
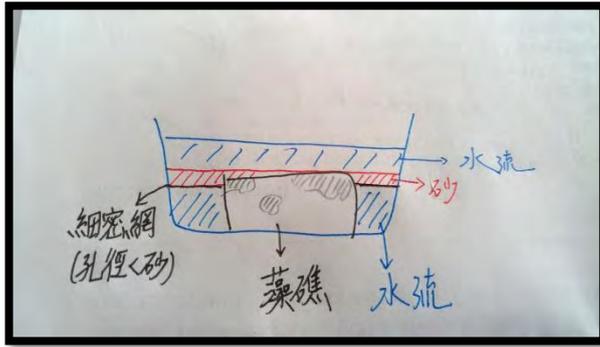
(一)由於關於藻礁的文獻資料較少，故除了上網搜尋相關新聞報導及影片外，也借閱相關政府機關的研究報告，供增進藻礁基礎知識的參考。藻礁生長速度為珊瑚礁的十分之一，能適應較汙濁的水質及較低的水溫，在溫暖清澈海域為珊瑚礁優勢，故在南部海岸較少見到藻礁的蹤影。相較之下，其他海岸中，尤以桃園沿海一帶分布最廣，其因有二：殼狀珊瑚藻(*crustose coralline algae, CCA*)需附著在礫石上，西海岸綿延的砂質灘地不符合需求，卻在桃園一帶有古石門沖積礫石層，因此造礁生物可以在這裡生長，桃園地區算砂丘地形的最北端，所以積砂的情形還在這些造礁生物的生長容許範圍內，相對在苗栗海岸，雖有礫石灘，卻因漂砂覆蓋週期過長，礁體累積不足，無法成礁；而富貴角向東延伸至東北角也有藻類造礁，但波浪強度太大的海岸，例如老梅石槽，要累積足夠的殼狀珊瑚藻，來建造大面積藻礁，機會不大，況且殼狀珊瑚藻生長需行光合作用，陽光足以穿透到的深度，才有足夠的光可進行光合作用。無論造礁條件多好，礁體厚度累積速率還是受到平均海水高度的限制，不會無限向上增長，即使是抬昇型海岸，藻礁也會因為抬昇作用成為高潮線的化石。

(二)實地採集前，除了要準備器皿承裝外，還要選在一天潮汐中海水退到最低潮線時才有最大面積的藻礁海岸。冬季採集時，也需注意天氣預報，慎防強風豪雨。在採集後還要留意不能讓藻礁離水太久，因此要提早並選在通風良好的地方架設海水缸，持續觀察藻礁在缸內的適應狀況。為避免有太多變因干擾，得用窗簾阻擋大部分的自然光，隨時注意缸內海水的鹽度變化，以免因蒸發旺盛導致鹽度過高。在藻礁適應海水缸良好，整個系統達穩定後，缸內本來蟄伏在孔隙中的蟲卵便會孵化。

二、藻礁埋砂實驗設計討論

(一)實驗裝置與設計討論

1.下圖是原先設計的實驗裝置，本來設計是要顆顆分離，但限於海水缸的大小，因此最後決定用塑膠盆分裝實驗組與對照組。



2.因為只有一組海水缸，擺放實驗用塑膠盆的位置與出水口的遠近會影響砂子沖走速率，對 0.1cm 及 0.5cm 組影響最明顯，卻發現恰可以模擬海浪侵蝕砂子的過程。在野外風浪會暫時帶走表面覆砂，讓藻礁得以持續生長，符合普通情況。

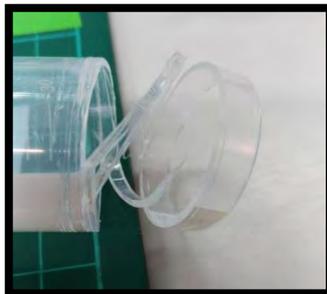
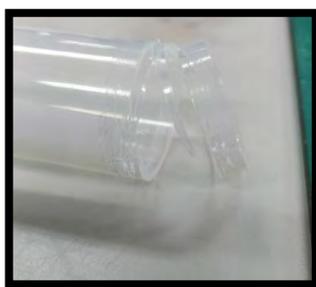
3.最初(0.1 組)試作時先以三個樣本數為實驗數據，發現樣本數可能太少，需要增加。第二次進行實驗(0.1cm 五天組與 3cm 五天組)時，將樣本數分別增加至七組，而 3cm 五天組已有變色結果。因此後期的實驗將樣本數降至五組，持續進行實驗。

(二)埋砂厚度 0.1cm 討論

一開始採用橡皮筋作為厚度標記，結果橡皮筋密度太小，導致一碰到水就漂浮在水面上，沒有達到預期的效果。解決方法→在水面下把砂子弄濕覆到藻礁上再量 0.1cm。

(三)埋砂厚度 0.5cm 討論

難以量測水面下覆 0.5cm 厚度的砂，也無法用橡皮筋處理。解決方法→將離心管以水管剪剪至適合高度(0.5cm)，嘗試數次後才剪出符合要求的圈環。



(四)埋砂厚度 3cm 討論

最初因適逢長假，便決定進行埋五天的實驗，以高度 10cm 的塑膠盆承裝藻礁，再用畫有 3cm 長的竹筷標定須埋砂的高度。

(五)埋砂厚度 6cm 討論

因為有之前 3cm 五天組變色的結果，6cm 組便選擇相對短的三天。但從標準差的數值

來看，可能是因為埋 6cm 對藻礁而言與埋 3cm 同，因此結果同埋砂 3cm 三天。

三、藻礁礁體「橘化」→「白化」討論

3cm 五天組中第六號藻礁取出後光合作用效率降至 0.045，出現橘色環繞紫色礁體的情況，起初以為是長出另外一種藻類，將其獨立出來另外觀察。一周後發現取出首日的橘色環繞部分已變成白色色塊，量測後發現已無光合作用能力，表示橘色色塊是藻礁色素裂解的結果，推測此現象可能是殼狀珊瑚藻死亡的另一種指標。

柒、結論

- 一、在良好狀況下，一般藻類的光合作用效率(Fv/Fm 值)約在 0.7~0.8，而藻礁約在 0.6 左右，從基礎效率測量結果可發現：將藻礁從野外帶回實驗用人工海水缸，能夠達到穩定的生態狀態。在野外也觀察到淤砂淤積嚴重的情況，對藻礁生態而言無疑為大危機。
- 二、根據實驗結果與討論，在 0.1cm 及 0.5cm 組中，因為砂子覆蓋少，容易受水流沖走，故埋砂對它的影響效果相較之下較不明顯；在 3cm 組，確定埋砂五天會對殼狀珊瑚藻造成無發恢復的色塊溶解；在 6cm 結果與 3cm 組三天大致同；而透過殼狀珊瑚藻橘化甚至白化的現象，可以清楚觀察到殼狀珊瑚藻在受到淤砂後的變化。綜上所述，埋砂超過 3cm，天數為五天以上，殼狀珊瑚藻便極有可能產生色素裂解的情況。
- 三、埋砂為決定藻礁生長因素中，較易觀察與實驗的變因，未來除了希望能進行不同厚度與不同時間的變色臨界值的實驗外，也希望能加入水溫、日照變化等的應變變因，更加了解藻礁生態與殼狀珊瑚藻。

捌、參考資料及其他

- 一、桃園縣政府農業發展局(2014)，桃園藻礁委託研究案期末報告，核定版，台灣，頁 40-44、96。
- 二、劉靜榆(2017)•全球稀有的大面積藻礁地形—桃園藻礁生態特性與保育•*科學月刊*，573•
取自 http://scimonth.blogspot.tw/2017/08/blog-post_30.html?m=1

【評語】 052102

1. 桃園藻礁是台灣特別的生態系，研究主題取自本土環境重要議題，研究具有本土性與鄉土性。
2. 利用簡易的概念在實驗室模擬藻礁埋砂對其影響，推論在原生環境若是環境開發後受海砂影響，造成的傷害，切合最近的環保時事議題。
3. 本研究結果探討的變因較少，試驗設計科學性較弱，嚴謹度較為不足，試驗結果變異性及標準差過大，對實際藻礁生態的影響仍待商榷。建議未來實驗時標準化每個埋砂深度的影響時間、每一個處理組的樣本數與卵石大小進行試驗，有助於縮小標準差。

摘要

桃園沿海藻礁生態地位重要，具有豐富生態、防波與研究地球氣候變遷價值，而可能造成藻礁死亡的有以下三點：工業廢水汙染、海岸建設破壞與周邊建設帶來的淤沙掩埋。

本研究旨在探討埋砂對於藻礁生態的影響，以人工海水混原生地海水架成的海水缸進行淤沙模擬實驗，分別埋0.1cm三天及五天、0.5cm四天、3cm三至五天、6cm四天，用Diving-PAM測埋砂前後的光合作用效率變化。在埋砂3cm五天的實驗組中，發現殼狀珊瑚藻由紫轉橘，Fv/Fm值下降至0.046。持續追蹤觀察後，由橘轉白並喪失光合作用的能力。

由結果推測，殼狀珊瑚藻光合作用效率約在低於0.300時會有橘色色塊，若降至0.045則會逐漸轉白且無法復原。未來可望加入更多變因，並期待藉由本研究能喚起大眾對於藻礁生態的重視。

壹、研究動機

桃園藻礁屬於全球罕見以殼狀珊瑚藻為主要造礁生物，也是台灣面積最大且殼狀珊瑚藻純度最高的現生藻礁生物多樣性，歷時七千多年的累積，具防波、生態多樣性和高研究價值，卻面臨生態浩劫。目前可能構成藻礁死亡原因有以下三點：工業廢水汙染、海岸建設破壞與周邊建設帶來的淤沙掩埋。而藻礁為多孔隙環境，由於動物多以此當作生長環境，若孔隙遭淤沙填滿，不僅令生態消失，也可能令礁體死亡。

因此本研究欲實驗殼狀珊瑚藻在不同掩埋厚度及掩埋時間變化下，對其光合作用效率的影響與變化，並希望能讓大眾更加了解藻礁生態的重要性。

貳、研究目的

- 一、透過文獻與報導，了解藻礁生態面臨生態浩劫的原因。
- 二、比較殼狀珊瑚藻對不同埋砂深度與不同天數組合的光合作用效率變化。
- 三、觀察殼狀珊瑚藻變色歷程。

參、實驗器材與流程設計

一、實驗器材



A. 濾水器：
過濾水中雜質

B. 鹵素燈：
模擬太陽光照射

C. 海水：
以人工海鹽加上一
桶原生地海水
進行混和過濾

D. 長有殼狀珊瑚藻
的卵石



Diving-PAM



灰化後原生地海砂



鵝卵石



實驗記錄板



竹筷(標定厚度)



塑膠盆

二、Diving-PAM原理及數值意義

1. 原理——葉綠素螢光原理

葉綠素螢光反應與光合作用

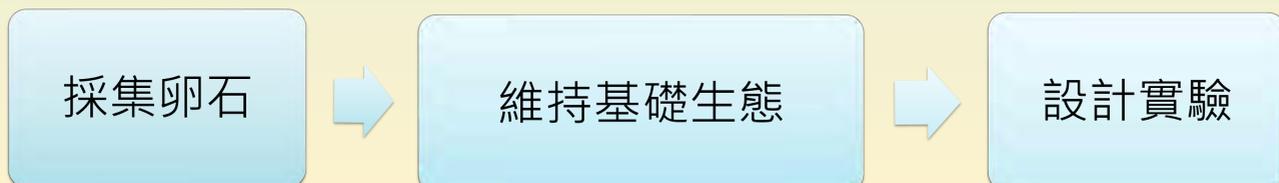
螢光儀量測原理



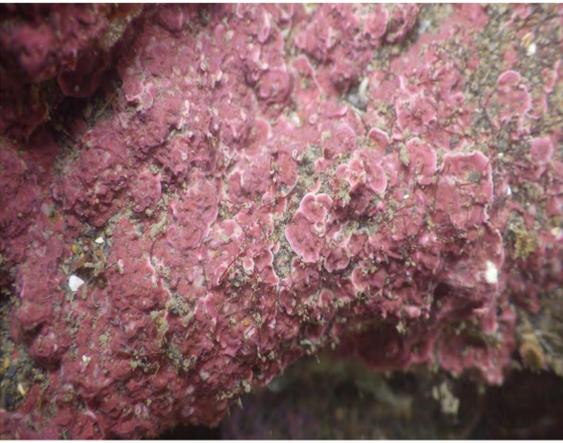
2. 數值意義——螢光參數

Fo	測量光所測得的最初基礎葉綠素螢光產量值，此為暗適應下最小螢光值(minimal chlorophyll fluorescence)，此時所有PSII呈現開啟狀態，即QA處於氧化態。
Fm	照射飽和脈衝光(saturation pulse)後所得之數值，此為暗適應下最大螢光值(maximal chlorophyll fluorescence)，此時所有PSII呈現關閉狀態，即QA處於還原態。
Fv / Fm	$F_v = F_m - F_o$ ， $(F_m - F_o) / F_m = F_v / F_m = \Phi_{PSII} / q_P$ 為光合系統II(PSII)之最大光化學效率(maximal quantum efficiency of PSII photochemistry, Fv/Fm)，其值之高低可用作推估 光抑制之程度

三、研究流程與設計



肆、文獻整理



- 學名:殼狀珊瑚藻(crustose coralline algae, CCA)

- 珊瑚藻生態簡介

固定海水中游離的鈣，在生長過後留下石灰質來造礁，其中以珊瑚藻(coralline algae)最為普遍。基於礁體的外型，被分為兩亞科，有節珊瑚藻與無節珊瑚藻。其中殼狀珊瑚藻屬沒有關節的無節珊瑚藻，通常覆蓋在岩石表面(基質)上，為生物礁(biotic reef)。

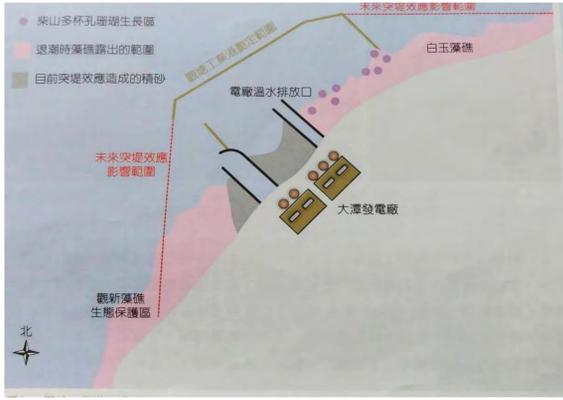
- 藻礁形成原因

殼狀珊瑚藻會形成碳酸鈣的骨架，對生成環境的耐受性上較珊瑚蟲強，能形成藻礁的環境會具有硬基質(如岩石)等的存在，且環境較不利於珊瑚蟲生長，像是水質濁度較高或是鹽度等變化較大。

儘管如此，與其他造礁生物相比，殼狀珊瑚藻的生長速率與其鈣質藻體的累積速率都很低，且殼狀珊瑚藻不能在太高光照強度的環境下生長。當光照強度超過 $200 \mu \times \text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$ 時，其光合作用效能會劇烈下降。過去的研究顯示，在去除侵蝕作用的環境下，殼狀珊瑚藻的鈣質結構累積速率仍相當慢，礁體成長速率**每年僅有 1.0~5.2 mm**。

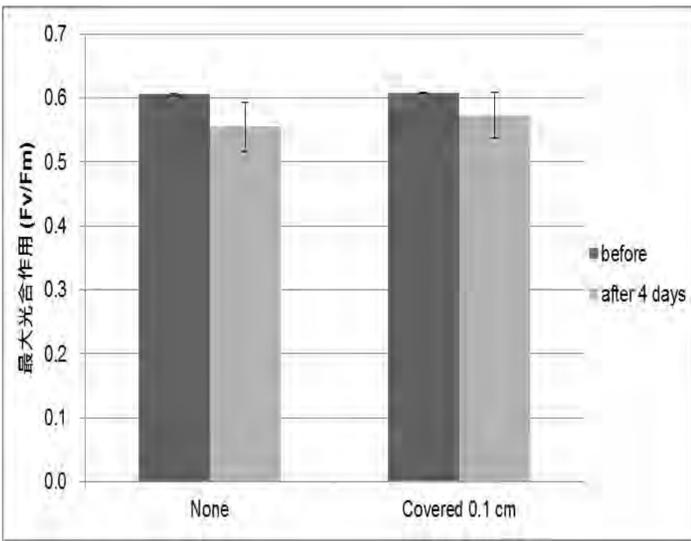
- 面臨危害

若在自然環境中，藻礁形成期間除了面臨到強浪所造成的物理破壞、海水的融解作用、漂砂沉積物的覆蓋、生物侵蝕作用等因素，還需面臨到汙水而導致的營養鹽濃度提高及大型藻的競爭。因此藻礁礁體在自然環境中實際的增長速率更低。

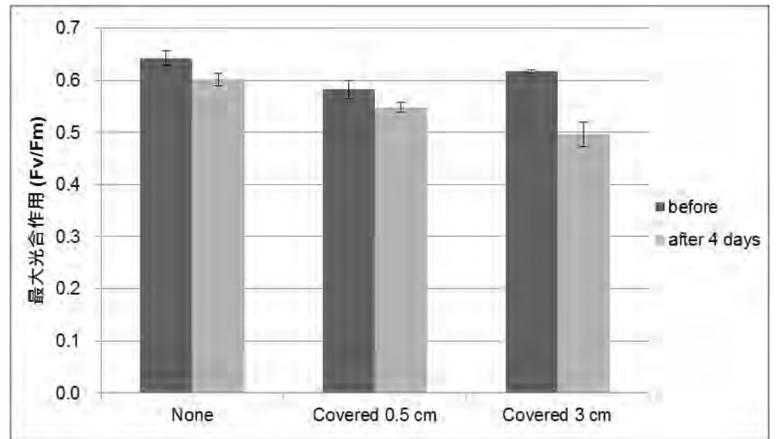


伍、研究結果

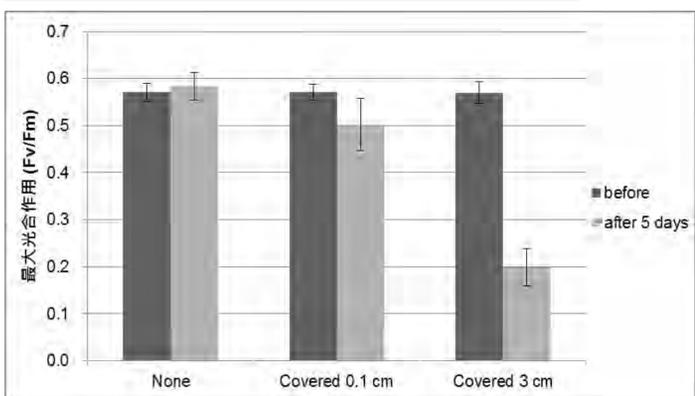
一、受埋砂0.1cm，四天後



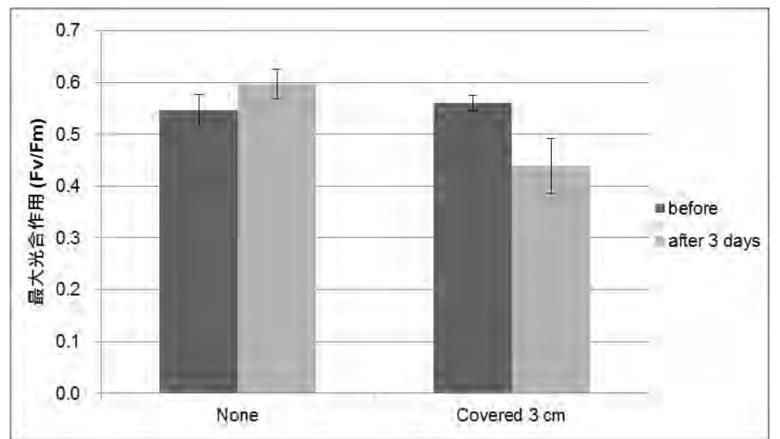
三、受埋砂0.5cm及3cm，四天後



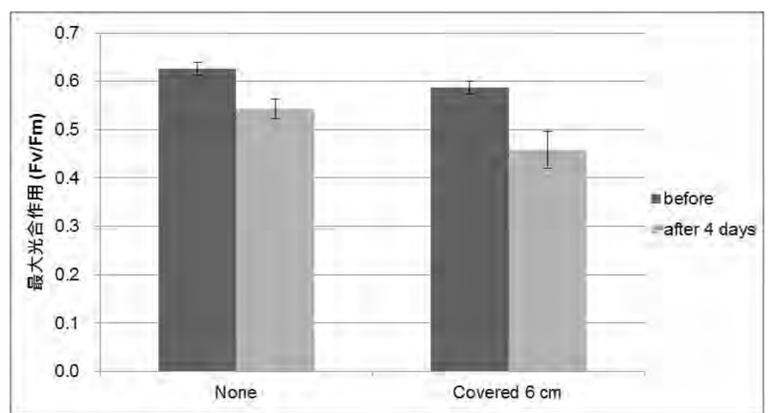
二、受埋砂0.1cm及3cm，五天後



四、受埋砂 3 cm，三天後



五、受埋砂 6 cm，三天後



六、3cm五天組中第6號殼狀珊瑚藻「橘化」後，光合作用效率變化

取出後首日

取出後一周

取出後三周

取出後一月



	Fo	Fm	Fv/Fm
未埋砂前	0.166	0.433	0.617
取出後首日	0.202	0.232	0.129
取出後一周	-	-	-
取出後三周	1.325	1.355	0.022

陸、討論

一、藻礁基礎生態討論

(一)南部海岸較少見到藻礁的蹤影：

桃園古石門沖積礫石層(相較苗栗與東北角)、平均海水高度限制(高潮線化石)。

(二)實地採集要注意：天氣預報、事先架設海水缸、控制光線鹽度。

(三)系統達穩定後，蟄伏在藻類孔隙中的蟲卵便會孵化。

二、藻礁埋砂實驗設計討論

(一)實驗裝置與設計討論

1. 塑膠盆分裝

2. 擺放的位置與出水口的遠近
→ 模擬海浪侵蝕砂子的過程

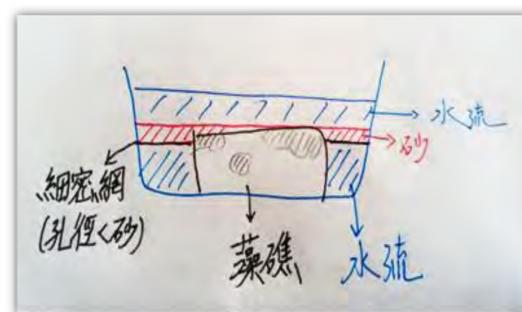
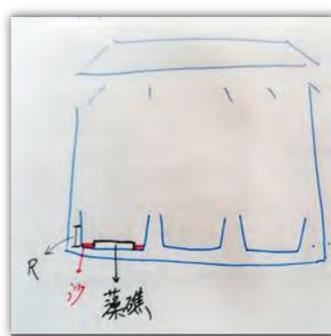
3. 樣本數3→7→5

(二)埋砂厚度0.1cm討論：橡皮筋

(三)埋砂厚度0.5cm討論：離心管

(四)埋砂厚度3cm討論

(五)埋砂厚度6cm討論



三、藻礁礁體「橘化」→「白化」討論

→ 殼狀珊瑚藻色素裂解

柒、結論

一、在良好狀況下，一般藻類的光合作用效率(Fv/Fm值)約在0.7~0.8，而藻礁約在0.6左右，從基礎效率測量結果可發現：將藻礁從野外帶回實驗用人工海水缸，能夠達到穩定的生態狀態。在野外也觀察到淤砂淤積嚴重的情況，對藻礁生態而言無疑為大危機。

二、根據實驗結果與討論，在0.1cm及0.5cm組中，因為砂子覆蓋少，容易受水流沖走，故埋砂對它的影響效果相較之下較不明顯；在3cm組，確定埋砂五天會對殼狀珊瑚藻造成無法恢復的色塊溶解；在6cm組結果與3cm組三天大致同；而透過殼狀珊瑚藻橘化甚至白化的現象，可以清楚觀察到殼狀珊瑚藻在受到淤砂後的變化。綜上所述，埋砂超過3cm，天數為五天以上，殼狀珊瑚藻便極有可能產生色素裂解的情況。

三、埋砂為決定藻礁生長因素中，較易觀察與實驗的變因，未來除了希望能進行不同厚度與不同時間的變色臨界值的實驗外，也希望能加入水溫、日照變化等的應變變因，更加了解藻礁生態與殼狀珊瑚藻。

捌、參考資料

一、桃園縣政府農業發展局(2014)，桃園藻礁委託研究案期末報告，核定版，台灣，頁40-44、96。

二、翰林生物及時LINE NO.3，「藻礁！找礁！找一藻，礁在哪？」