

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030303

海葵白化藻知道~海葵體色之影響因素探討

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者： 國二 王心蘋 國二 許芊寧 國二 顏妤珊	指導老師： 蔡瑞琴 曾元珏
---	-----------------------------

關鍵詞：美麗海葵、共生藻、白化現象

摘要

林園濕地的海葵水溝區有美麗海葵存在，引起我們想探究海葵白化因素，並以 RGB 值量化海葵體色，以白化趨勢值比較體色變化。實驗發現美麗海葵生存的耐受範圍為鹽度 3%~6%、溫度 12~37°C 度、pH 值 6.4~8.5。海葵體色體柱顏色較觸手深，環境不適時觸手變化快速。海葵體內共生藻需吸收不同波長的光，照單色光白化趨勢值紅 \approx 藍光 $>$ 綠光，照綠光組白化較為緩和；26°C 適合海葵生長，低溫 21°C 組白化趨勢較高溫組明顯，不同溫度有不同的優勢藻類；以打入 CO₂ 調製不同 pH 之海水，結果顯示 pH 小於 6.4 不利海葵生存，酸化的海水使海葵體內蟲黃藻很快釋出，是造成海葵白化的重要因素。結果可應用在以影像即時監控海洋生物，將體色轉換成數值以了解其白化趨勢及時掌握環境變化。

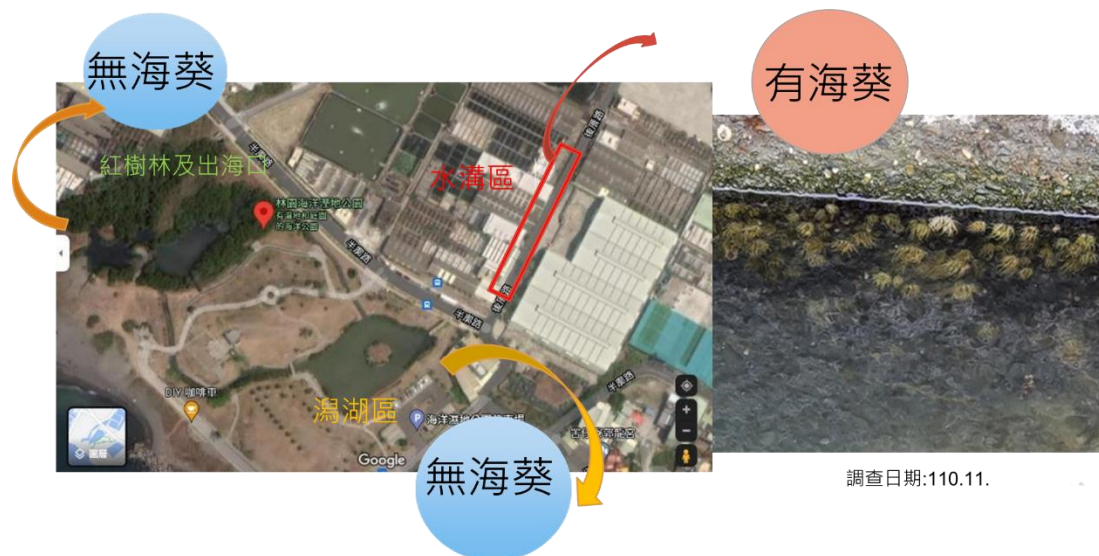
壹、前言

一、研究動機

拜訪了高雄的林園濕地，發現濕地公園旁的水溝竟有原本應該生活在海中的海葵！其中每隻海葵的體色或深或淺，這是受什麼影響呢？而為何美麗海葵能在這麼一個人為環境中蓬勃發展？而海葵和這些生物間是如何相關呢？又是什麼影響著海葵的體色？經查詢後我們得知，刺絲胞動物有部分養分來自體內行光合作用的共生藻類，而他們的體色濃淡亦取決於共生藻類的數量與密度。

常聽聞環境變化造成珊瑚白化現象，這種情形在美麗海葵的身上是否也有類似情形？我們查到美麗海葵是珊瑚的近親，同樣能與共生藻進行胞內共生現象，是研究珊瑚共生現象和白化現象的絕佳跳板生物(文獻一)。而在大環境改變下，美麗海葵和珊瑚也面臨相似的環境問題，海葵本身可供水母、小丑魚等生物居住，體內更是有共生藻類行光合作用，彼此互惠。而正因這些藻類妝點了海葵和珊瑚的體色，才有了繽紛的海底奇觀。而常聽聞的海葵或珊瑚白化，正是藻類遇到不合適環境而脫離海葵體柱，造成海葵或珊瑚體色變淡的現象。

海葵和珊瑚孕育了多樣化的生命，近年來「白化現象」正嚴重影響海洋生態，也反映出環境污染的課題。是甚麼樣的因子使美麗海葵在林園生長良好？又是什麼樣的因子讓刺絲胞動物有白化現象？抱著這些疑問，我們決定從美麗海葵出發，探討各種環境因子對其體色的影響，進而推知近代海洋生物與環境所面臨的問題。



照片 1 溼地公園附近巷道排水溝中有美麗海葵

二、研究目的

- (一) 探討光照與黑暗對美麗海葵體色的影響
- (二) 探討三種色光對美麗海葵體色的影響
- (三) 探討溫度對美麗海葵體色的影響
- (四) 探討鹽度對美麗海葵體色的影響
- (五) 探討海水中二氧化碳濃度對美麗海葵體色的影響
- (六) 探討影響美麗海葵體內及環境藻類變化之因素

三、文獻回顧

(一) 藻出葵違的真相~美麗海葵對海洋濕地環境適應性探討

本研究探討海洋濕地中美麗海葵、蟲黃藻及羽毛蕨藻三者間的共生關係，實察各區環境特色與美麗海葵分佈、探討光、鹽度、溫度、營養餵食等因素對其生長的影響，附近養殖漁業廢水提供適宜的海水和養分讓美麗海葵得以在此區域生活，而光照是影響美麗海葵體色和蟲黃藻數量的主因，而在黑暗的水溝區發現的白色美麗海葵，可在餵食含有蟲黃藻和纖毛蟲和照光下逐漸變成褐色。在3D列印水道模擬水流環境探討美麗海葵對水流緩急、附著物與附著面向的選擇與適應，結果發現美麗海葵傾向在緩水區固著，在急水區有群聚趨勢，在緩水區則較分散，這與自然觀察結果相符，而瀉湖區的美麗海葵多吸附於羽毛蕨藻上避免被水流沖走。(文獻二)

(二) 藻類培育——仙后水母與其共生藻

共生藻囊在光線不足時會使藍色濾光膜活化，讓共生藻得以更有效率的進行光合作用。趨光性的實驗中，證實仙后水母會移動到適合共生藻行光合作用、繁殖的環境(光源處)，以利共生藻生長。溶氧量的測定實驗中，發現共生藻行光合作用會釋出氧氣以供仙后水母與藻類體柱使用。共生藻消失速率實驗則可證明仙后水母對不同光源的環境會有不同的反應，需要適當地光照以利共生藻行光合作用。在光線不足時也會產生藍色濾光膜製造適合藻類生存的藍光或以消耗自身組織來減緩共生藻消失的程度，運用各種機制使共生藻能生存。而因環境良好而大量繁殖的共生藻也能提供成為仙后水母的營養來源。(文獻三)

(三) 能量的多寡對美麗海葵(*Aiptasiapulchella* Carlgren 1943)生殖策略的影響

高餵食頻率的美麗海葵無論有性或無性生殖都比低餵食頻率的美麗海葵有較好

的反應；光照強度與有無共生藻的處理對美麗海葵的有性與無性生殖則有較複雜的影響，在無性生殖方面，低光照強度與有共生藻美麗海葵比高光照強度與沒有共生藻組有較好的反應，在有性生殖方面，2000 lux 光照與有共生藻美麗海葵則有較好的反應。在環境變動下，有性生殖與無性生殖之間也發現沒有補償的現象。(文獻四)

(四) 藻到了！萼者之間的關係—萼柱珊瑚(*Stylophora pistillata*)與共生藻之觀察與研究

本研究針對東北角鼻頭港海域中主要的珊瑚品種——萼柱珊瑚 (*Stylophora pistillata*) 進行實地觀察、實驗研究，藉以探究其與共生藻(*zooxanthellae*)之關係。

透過複式顯微鏡觀察共生藻和珊瑚蟲。使用細胞計數器計算共生藻數量，再除以珊瑚分枝面積可得共生藻密度。影響珊瑚白化最劇烈的因子是海水溫度的極端高低溫變化。因此，測量棲地水溫為本研究監測對象。實驗驗證：短時間內水溫劇烈降低或稍長時間溫度穩定上升超出珊瑚適應範圍，共生藻密度隨之減少，造成白化。實驗綜合浮潛觀察，發現鼻頭海域的萼柱珊瑚在 2010 年 7~8 月可見白化的現象。(文獻五)

(五) 溫度、光週期與密度效應對美麗海葵有性生殖與無性生殖的影響

美麗海葵在低溫(22°C)的情況下較高溫(29°C)的海葵個體大，同時產生較大、較重的碎裂片，也產生較重的生殖腺；而在長日照(15小時光照)的情況下，雖然實驗結束時個體較短日照組(9小時光照)小，但是卻產生較重的生殖腺。有、無性生殖投資在不同的溫度及光週期下，也沒有顯著的相關。飼養在低密度的海葵(每個燒杯中飼養1隻)較飼養在高密度的海葵(每個燒杯中飼養4隻)個體大，同時產生較多、較大、較重的碎裂片，也產生較重的生殖腺；有、無性生殖投資之間則呈現顯著的正相關。實驗的結果初步驗證了美麗海葵的有、無性生殖之間並沒有補償作用的現象。(文獻六)

(六) Photosynthetic responses of the coral *Montipora digitata* to cold temperature stress.

全球氣候變化可能導致海面溫度上升，低溫壓力對珊瑚的影響可能會變得更大。在一系列溫度和光照實驗中進對珊瑚物種 *Montipora digitata* 的光合作用反應進行研究。珊瑚群落在較低溫度、不同光強度的持續時間處理。此外，珊瑚群落在3個月的恢復期後進行了檢查。光合效率分析使用脈衝幅度調製 (PAM) 螢光計 (F_o、F_m、F_v/F_m) 和葉綠素含量和用分光光度法和顯微鏡分析共生甲藻密度。低溫壓力對 *M. digitata* 有負面影響是光合效率 (F_v/F_m) 降低，共生甲藻和光合色素濃度的喪失。在較高光照條件下的珊瑚更容易受到低溫脅迫。嚴重的低溫壓力導致光損傷、白化和死

亡率上升。(文獻七)

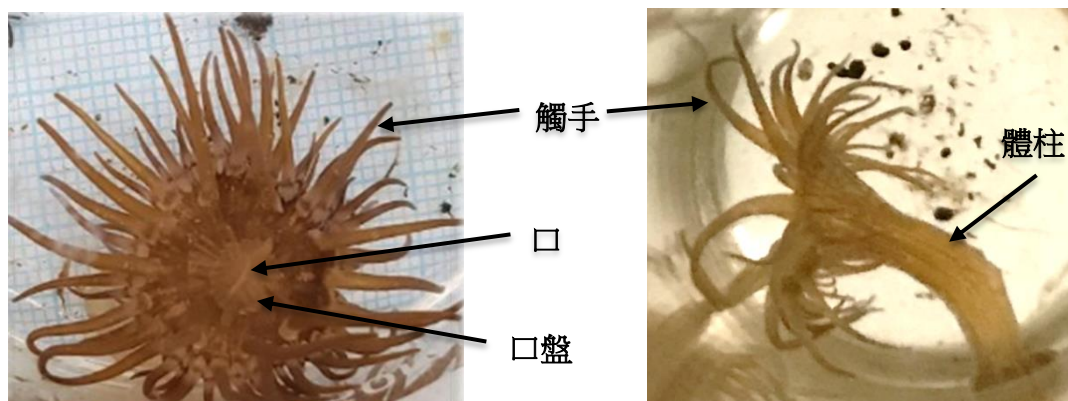
綜合和歸納以上文獻回顧，我們可以知道珊瑚、水母、海葵等刺絲胞動物的生物體內有共生藻與其互利共生，而環境變化會造成生物的白化現象。台灣是四面環海的島嶼，全球各地生物受極端氣候變化的影響與日俱增，**而美麗海葵就在我們生活的巷弄水溝中可以取得並在實驗室中飼養**，因此我們想延續學長姐們的研究，**因為發現海葵體色深淺不一，而其體色直接反應了海葵與共生藻對環境變化的影響**，因此想針對**美麗海葵體色的變化為主題**，**受那些環境因子影響?**尤其是全球暖化相關的因素影響了海洋生態環境，**水溫過高和過低、大氣中CO₂濃度變高是否也影響了溶於水中的CO₂呢?進而影響了海洋生物的生活呢?如何透過數據即時知道海洋生物的白化情形進而即時知道環境變化呢?於是展開我們的實驗。**

貳、研究設備及器材

一、研究對象

(一)美麗海葵(*Aiptasiapulchella* Carlgren):

分類地位為Phylum Cnidaria刺絲胞動物門、Anthozoa 珊瑚綱、Hexacorallia六放珊瑚亞綱、Actiniaria美麗海葵目(1科)。在研究刺絲胞動物與共生藻的胞內共生分子與細胞機轉中，常利用美麗海葵(*Aiptasia pulchella*)與其共生的渦鞭毛藻(*Symbiodinium spp.*)作為理想的模式生物。健康的海葵身體各處的內胚層中可觀察到不同密度的共生藻，但在白化的樣本中則無共生藻的分佈。海葵身體的構造如下圖所示:

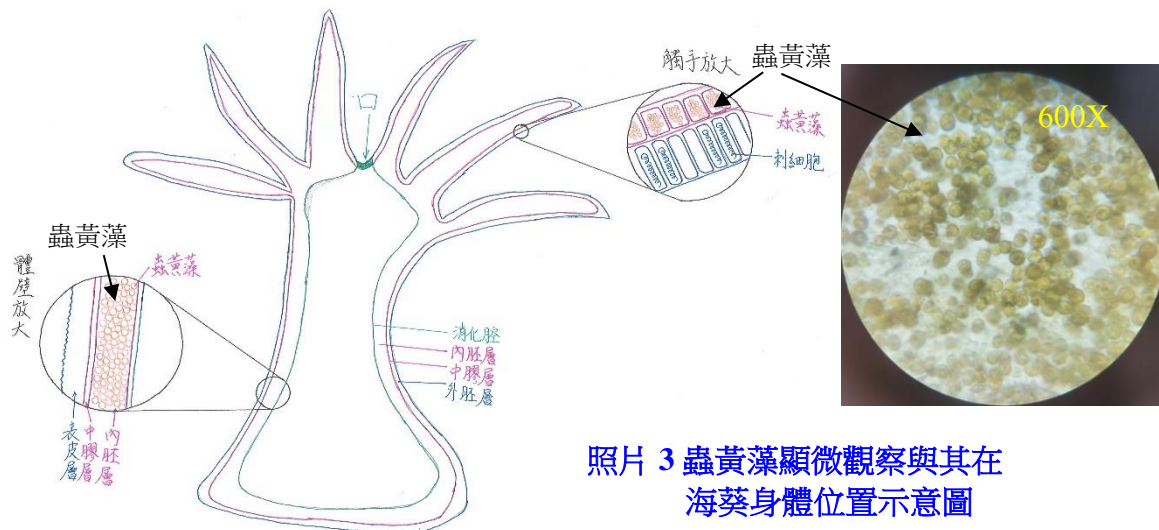


照片 2 美麗海葵 *Aiptasiapulchella* Carlgren 身體構造

(二)蟲黃藻 (*Zooxanthella*)

分類地位是色藻界 Chromista、粘孢子總門 Myzozoa、裂甲藻綱 Dinophyceae、Suessiales 目、Blastodiniaceae 科、*Symbiodinium* 屬，是多種海洋動物和原生動物內的一種金黃色共生菌。蟲黃藻大多數都是自營生物，並會為宿主提供易位式還原碳化物，如：葡萄糖、甘油、胺基酸等光合作用的產物。蟲黃藻可以為珊瑚礁提供高達 90% 的能源需

求作為回報，珊瑚為蟲黃藻提供保護、居所、營養（主要是含有氮和磷的廢料）和恆定供應光合作用所需的二氧化碳。透過對養分、光線及對過剩細胞的驅逐，珊瑚可以控制蟲黃藻的數量，以免其過度繁殖，這個動作稱為排出共生藻，而周圍的珊瑚有些會繼續接受他們。造礁珊瑚對蟲黃藻非常倚賴，使珊瑚被限制於只能在透光區內生長。




二、 研究設備及器材

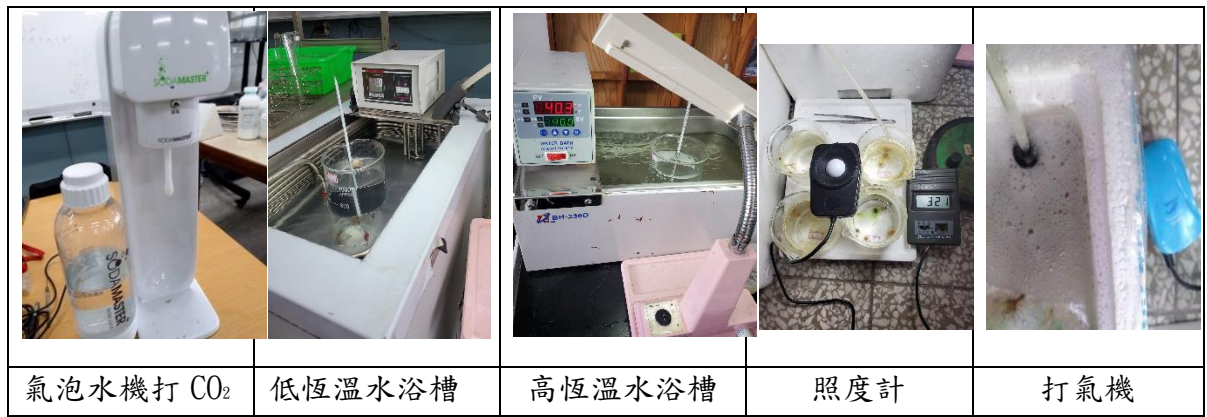
(一)採集與觀察一

捕魚網數支、鏟子數支、顯微鏡數台、網路攝影機一部、電腦數據分析、手機、各容積燒杯數個、滴管數支、載玻片、蓋玻片、玻璃棒數支、培養皿、鑷子。

(二)飼養和實驗設備一

打氣機數個、檯燈數組、保麗龍箱數個、珊瑚海鹽數包、鹽度計、pH 測量儀、飼養盒數個、燒杯、各種色光 LED 燈、定時開關、溫度計、照度計。

				
鹽度計	溫度計	珊瑚海鹽	水溫調節器	攝影器材
				
紅光 LED 燈	綠光 LED 燈	藍光 LED 燈	白光燈管	ph 值測量器



照片 4 實驗器材與設備

參、研究過程或方法

一、研究架構

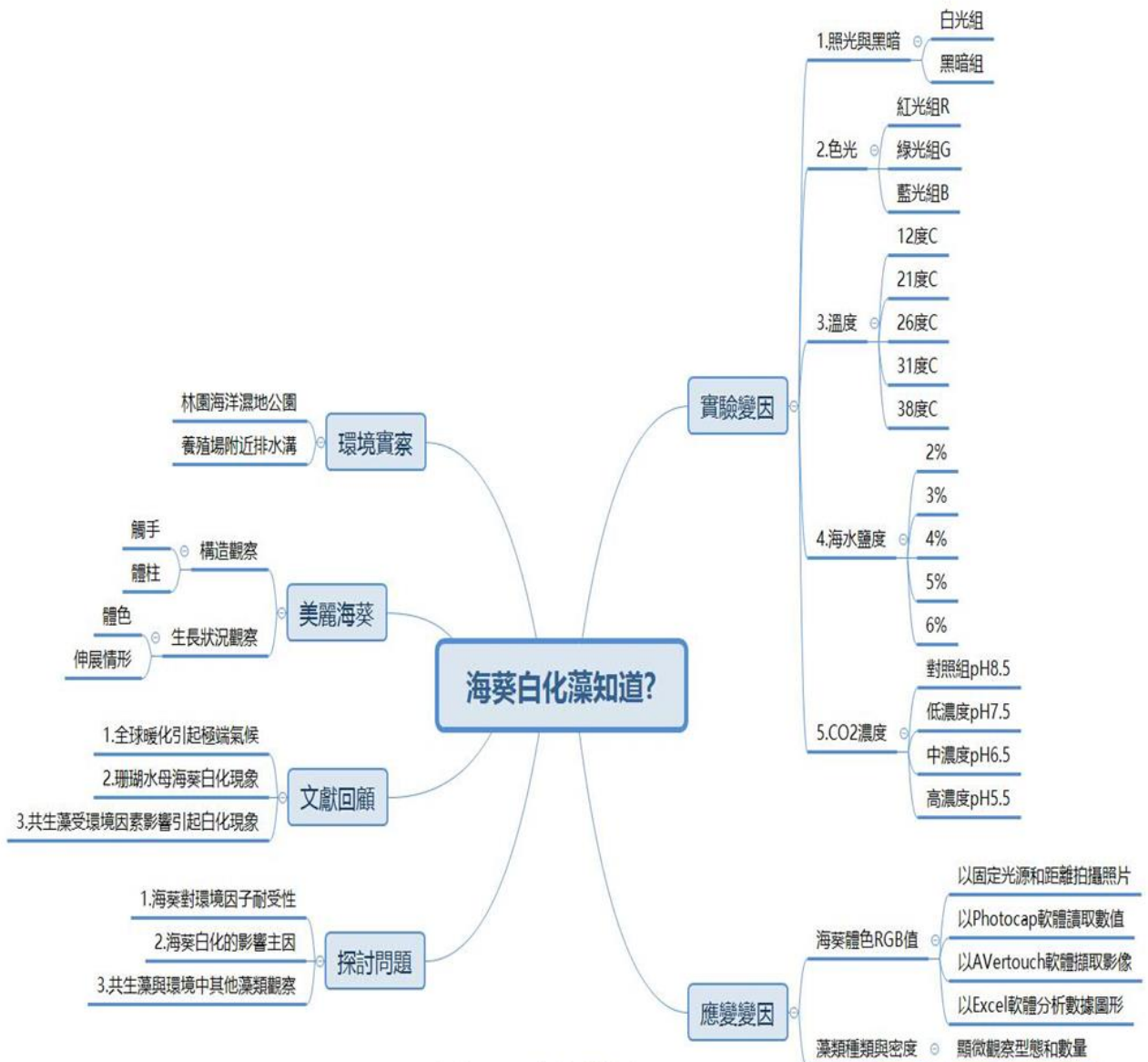


圖 1 研究架構圖

二、實地訪查、採樣及飼養

(一) 調查與觀察美麗海葵與其棲地環境

- (1) 在當地保育人員的解說與核准下(詳見附錄一: 海洋溼地公園研究切結與同意書), 我們多次前往海洋濕地公園觀察當地的水流動向並適量採集海葵。
- (2) 訪查得知水源流向為: 海洋→養殖戶→水溝→林園海洋濕地公園→海洋



照片 5 美麗海葵棲地環境介紹

(3) 調查各區域水質與環境特性描述:

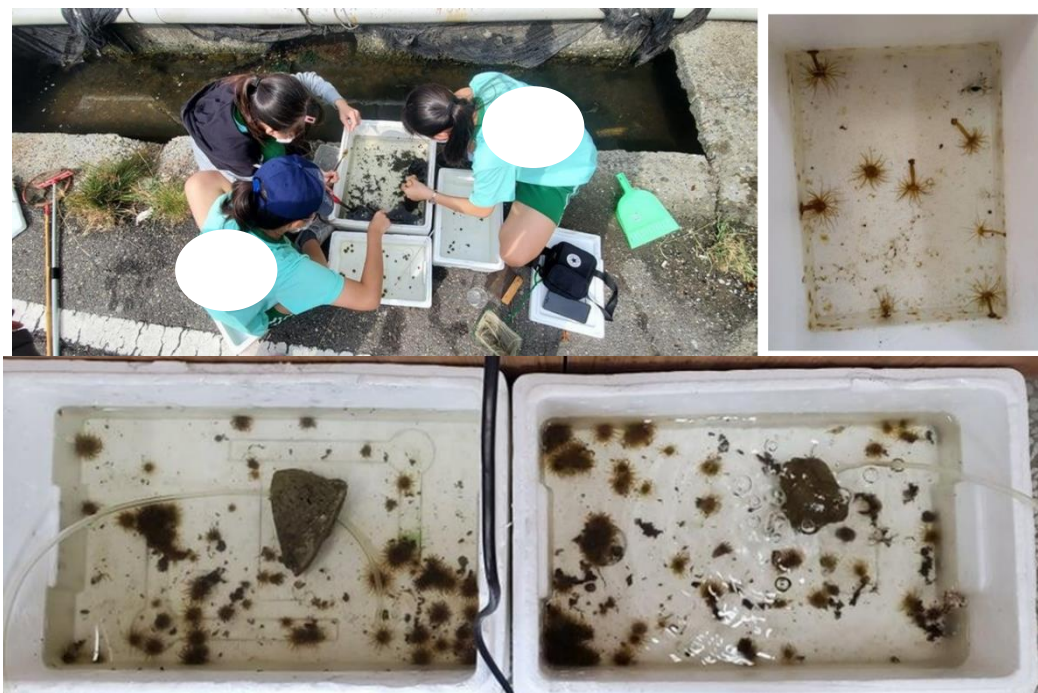
調查區域	日期	鹽度	水溫	pH	環境特色
水溝區	10.21	4.0%	24°C	7.8	水溫較低，流速快，比鄰養殖場排出之廢水流量和養分來源穩定。部分區域無法照到光。有海葵附著，海葵多附著在水溝側壁和可照光處。
	11.04	4.0%	24°C	7.8	
	03.10	4.5%	24°C	7.9	
瀉湖區	10.21	3.9%	28°C	8.3	水深約 50cm，流速慢。2020 年時有大量羽毛藻，但今年此區沒有發現海葵。
	11.04	3.6%	26°C	8.4	
	03.10	4.1%	28°C	8.6	
出海口區	10.21	3.6%	26°C	7.8	水深 20~50cm，水位較以往低、流速慢，且藻類、魚類數量不若以往多，也無海葵。
	11.04	3.5%	25°C	7.9	
	03.10	4.3%	27°C	7.7	



照片 6 美麗海葵環境調查與採集

(二) 帶回實驗室飼養海葵觀察並做後續實驗

在海洋溼地附近巷子水溝內發現許多的美麗海葵，輕輕以洗車用的橡膠刮板刮下附著於水溝壁的海葵，並在順著水流的方向佈置撈網撈起順流而下的海葵，在保麗龍盒中加入乾淨海水挑除其他生物如剛毛蟲等和水溝內的其他雜質，避免運送過程盒內水質變差發臭，以提高海葵存活率。將美麗海葵至於盒中帶回實驗室中，以打氣設備提供穩定的含氧，並定期測量海水鹽度維持穩定的水質環境，並以白光照射飼養美麗海葵，以提供後續實驗之海葵來源。



照片 7 打撈、分離與飼養美麗海葵

三、 拍攝照片及海葵體色分析

(一) 以固定距離和光照的拍照設備拍攝海葵照片

由於海葵體色會隨環境變化，若需長期實驗觀察必須維持海葵的生命，而以往研究海葵共生藻密度的實驗，是將海葵身體麻醉、以70%酒精固定後定量海葵的身體重量、體內的藻類密度，但此方法海葵即失去生命無法持續觀察，因此我們想以比較照片顏色的方式來估計海葵體內藻類的顏色濃度，進而推估海葵體內的共生藻數量。為了以科學方法確保我們估計海葵體色的有效性，我們必須先確認以下事項:

1. 各實驗分組的海葵放置於同樣顏色(白色)大小的保麗龍盒中飼養。
2. 將要拍照的樣本放入黑箱中靜置3分鐘以確保海葵不受擾動。
3. 在黑箱中提供固定的拍照照光光源、鏡頭與樣本距離要一致。
4. 以AVerTouch影像擷取軟體擷取拍照黑箱內的海葵照片並存檔。

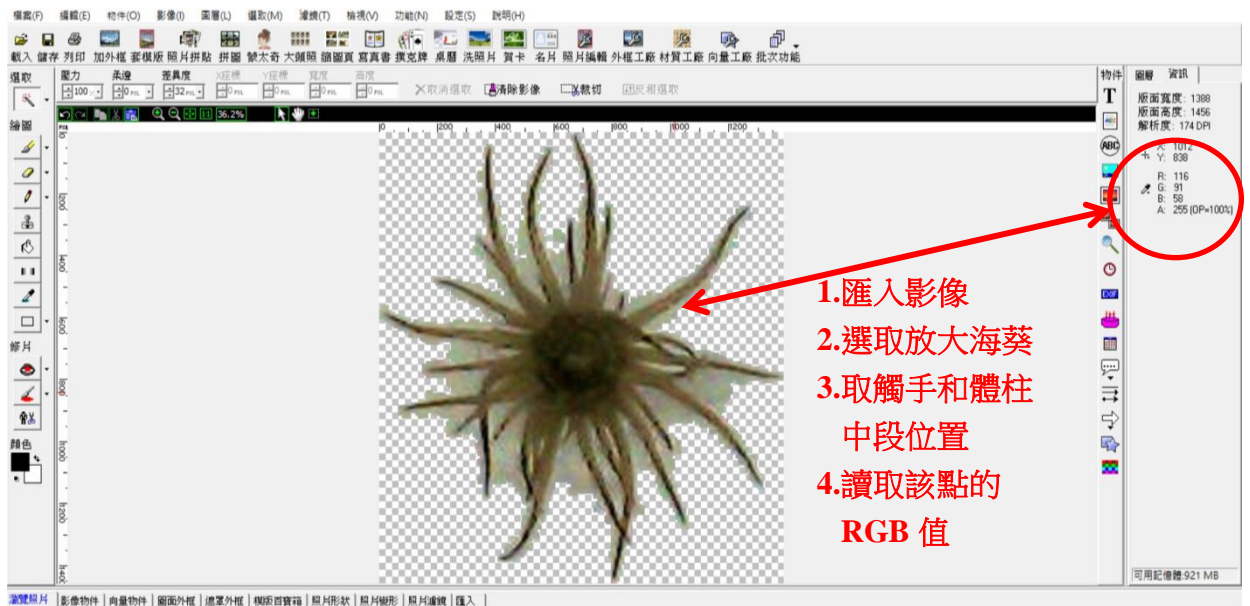


照片 8 以固定距離和光照的拍照設備拍攝海葵照片

(二) 以 Photocap 軟體讀取海葵體色的 RGB 值

雖然說「眼見為憑」，但每個人對顏色深淺的判斷標準不一，會受視覺和個人主觀判斷影響，而俗話說：科學「數據會說話」，因此我們藉由影像處理軟體 PhotoCap 來幫我們讀取海葵的體色 RGB 值：(詳見附錄二：顏色與其 RGB 值對照表)

1. 選取要分析的實驗組別照片，選取照片中的三隻海葵，點取海葵觸手中段和體柱中央部位各三個不同的點，讀取並於 Excel 記錄該點的 RGB 值。
2. RGB 數值能分析光照片中紅綠藍三原色含量之多寡。當三者數值皆為 225 時，即為白色；三者皆為 0 時全黑，此時海葵體色最深。
3. 將數據輸入 EXCEL 軟體中求各組之 R、G、B 值平均值，並繪製適合的統計圖表，藉以比較各組海葵的體色差異。

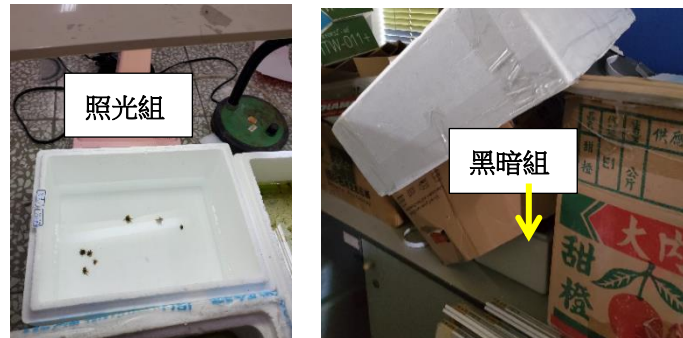


照片 9 以 PhotoCap 軟體讀取海葵體色的 RGB 值

四、 實驗設計

(一) 照光組和黑暗組

1. 以白光照射每天12小時為白光組，黑暗組海葵則置放於不開燈的暗室，以紙箱和保麗龍掩蓋但仍保持有空氣流通的空間。
2. 白光組和黑暗組各置入5隻海葵飼養，定期拍照並記錄其體色RGB值變化。



照片 10 照光組與黑暗組實驗裝置

(二) 色光組

1. 選擇光的三原色紅 R(波長約 640nm)、綠 G(波長約 510nm)、藍 B(波長約 450nm)燈泡為單色光源照射海葵，提供海葵三種不同的光源環境，並以保麗龍板阻隔不同光源之光線，以免色光間互相影響實驗結果。
2. 紅綠藍各組各置入 5 隻海葵飼養，定期拍照並記錄其體色 RGB 值變化。



照片 11 紅綠藍色光組實驗裝置

(三) 溫度控制組

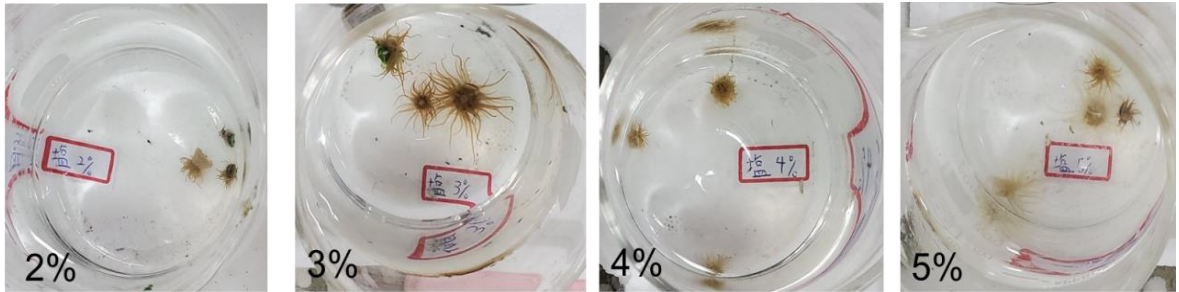
1. 利用水族水溫調節器將三缸飼養缸的水溫控制在室溫(約21°C)、26°C、31°C，以白光照射，各組各置入5隻海葵飼養，定期拍照並記錄其體色RGB值變化。
2. 分別以高溫和低溫恆溫水槽，調整低溫(13°C)~高溫(38°C)之間的水溫，探討海葵對溫度耐受性的極端範圍。



照片 12 溫度控制實驗的恆溫調節裝置

(四) 鹽度控制組

以鹽度計測量海水鹽度、以珊瑚海鹽和 RO 水調製 2%、3%、4%、5%、6% 的人工海水，以 250mL 燒杯裝定量不同鹽度的海水，各置入 3 隻海葵照射白光飼養，定期拍照並記錄其體色 RGB 值變化。



照片 13 不同鹽度海水各置入定量海葵

(五) CO₂濃度組

1. 過去為了提供更多的CO₂至水中，往往會添加鹼性的碳酸氫鈉(NaHCO₃)，這樣可能有外來的添加物和離子影響海水的成分和酸鹼值，因此為了模擬空氣中CO₂增加影響海水中的CO₂含量，我們利用氣泡水機將二氧化碳打入水中，以pH計測量CO₂飽和的海水酸鹼值約為4，這樣的pH值對海洋生物而言太酸且不符合海水實際酸鹼，於是我們設計了A~F組，分別加入不同量的含飽和CO₂的海水調製不同pH的酸化海水，並記錄每一組的酸鹼值如表1所示：

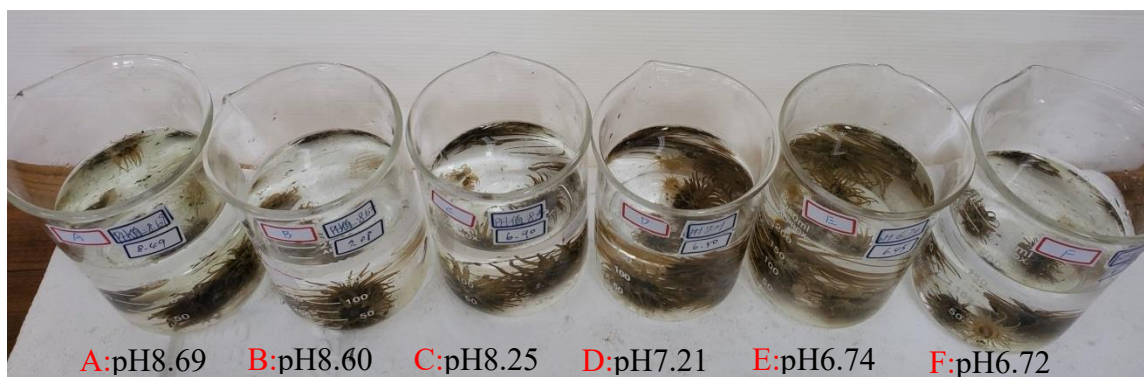
表1 調製不同濃度CO₂組別配置與pH測量

組別	A	B	C	D	E	F
飽和 CO ₂ 鹽度 3.5%海水(mL)	0	20	40	50	70	90
鹽度 3.5%海水 (mL)	250	230	210	200	180	160
測得 pH 值 測量結果	8.64	7.27	6.72	6.41	6.23	6.02



照片 14 以氣泡水機製造飽和 CO₂ 海水

2. 以250mL燒杯裝定量不同CO₂濃度的海水，各置入3隻海葵照射白光飼養，定期拍照並記錄其體色RGB值變化。



照片 15 調製不同含量 CO₂ 的海水 A~F 組

五、數據處理

- (一) 將游標至於照片中海葵的觸手、體柱位置上，讀取該位置的RGB值，輸入Excel以公式AVERAGE分別求得各組三隻海葵的觸手、體柱的RGB值平均值。
- (二) 以實驗天數為橫坐標，RGB平均值為縱座標代表體色變化，繪製與比較各實驗組別間的變化趨勢。
- (三) 黑色RGB值為0，白色RGB值為225，數值越大表示體色越淡，數值越小表示體色較深(請參見附錄2顏色與其RGB值對照表)。因此定義海葵體色的白化趨勢值公式如下：

$$\text{白化趨勢值} = \text{實驗後 RGB 平均值} / \text{實驗前 RGB 平均值}$$

(數值越大表示白化現象越嚴重)

肆、研究結果

一、光照與黑暗對海葵體色的影響

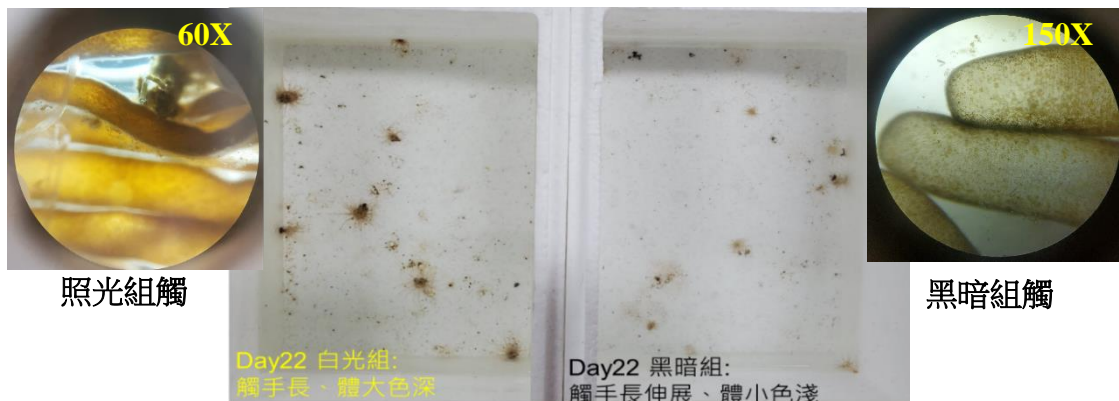
(一)型態變化

1. 實驗 3 天後我們發現生長在白光照射下的海葵明顯生長的比黑暗組好，觸手大、身體較伸展有活力，黑暗組則成縮小顏色變黑狀態。



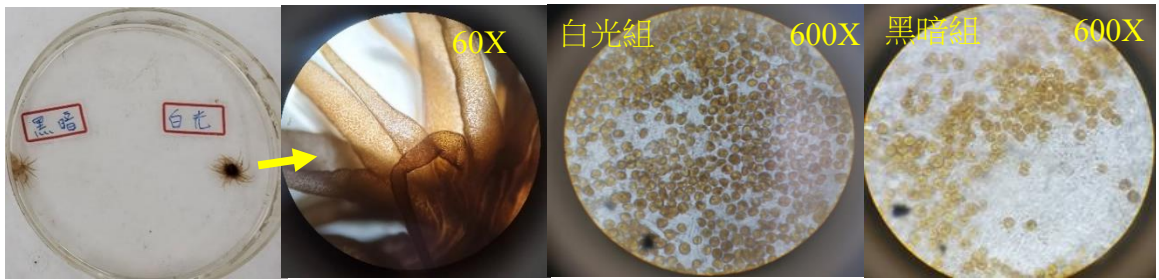
照片 16 實驗 3 天後光照組和黑暗

2. 實驗 22 天後我們發現生長在白光照射下的海葵觸手長、身體較伸展有活力，黑暗組則縮成更小，且顏色已完全呈現白化狀態，以顯微鏡觀察海葵觸手內蟲黃藻數量有明顯差異。



照片 17 實驗 22 天後光照組和黑暗組型態及觸手比較

3.海葵身體的顯微觀察可觀察到其觸手內因含有蟲黃藻故呈現褐色，而黑暗組海葵的蟲黃藻密度較小，呈現較淡的體色(RGB 平均值較高)。



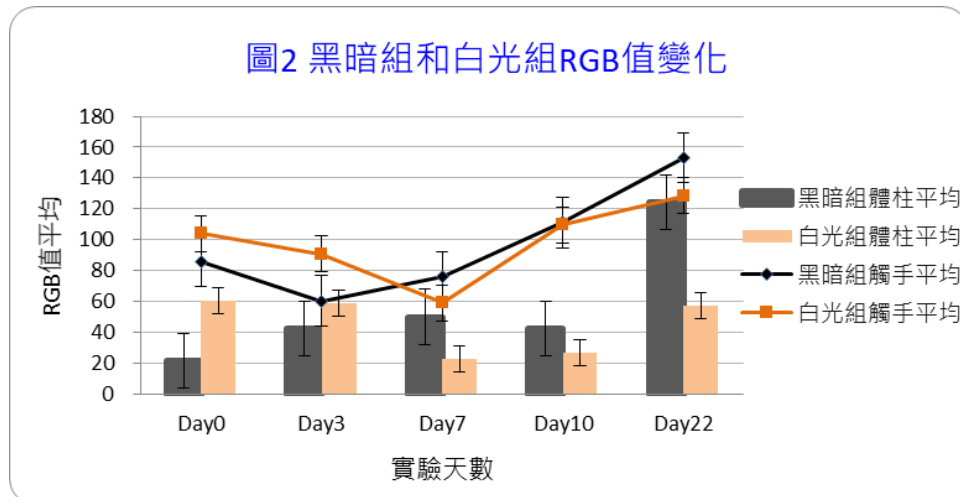
照片 18 海葵觸手及其內蟲黃藻顯微觀察

(二) 體色變化

表3 黑暗組和白光組RGB值變化

組別平均	Day0	Day3	Day7	Day10	Day22	白化趨勢
黑暗組觸手平均	86.0	60.3	75.9	111.2	153.3	1.78
白光組觸手平均	104.0	90.9	59.0	109.6	128.7	1.24
黑暗組體柱平均	21.4	42.2	50.1	42.3	124.1	5.79
白光組體柱平均	60.8	59.1	23.0	26.8	57.2	0.94

圖2 黑暗組和白光組RGB值變化





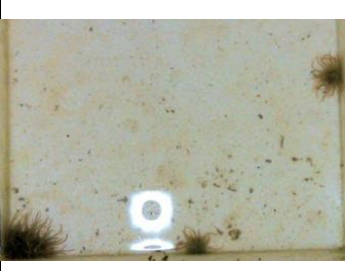
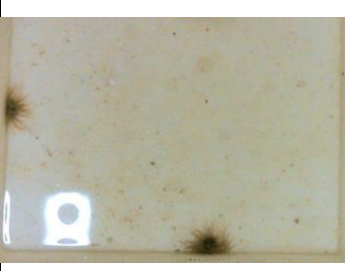

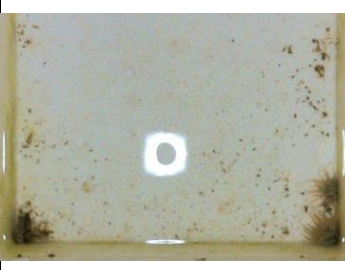
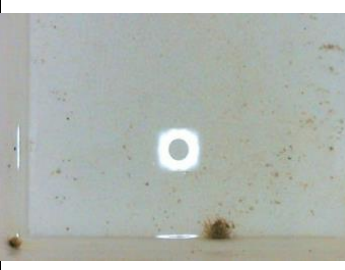
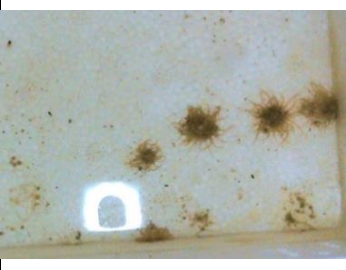
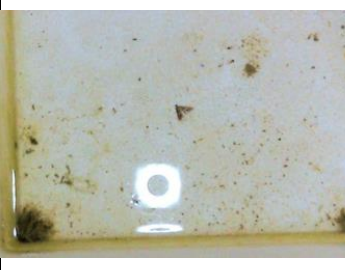
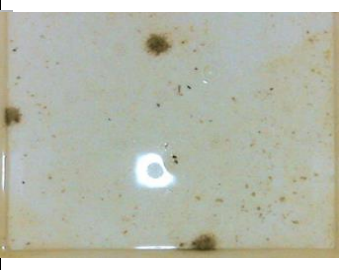


➤ 結果分析:

1. 無論白光組或黑暗組觸手 RGB 值均高於體柱，也就是體柱顏色比觸手深。
2. 白光組觸手和體柱 RGB 數值起伏相似，一開始體色變黑一週之後逐漸轉淡，推測開始因環境刺激身體收縮導致體色快速變深，經適應後逐漸伸展體色開始變淡。
3. 黑暗組無論觸手或體柱都是逐漸變白，尤其體柱部分經實驗 22 天後幾乎和觸手一樣幾乎呈現白色(平均值 153)，長期飼養後由白化趨勢數值來看黑暗組白化明顯，尤其是體柱白化趨勢 5.79 比觸手 1.78 來得明顯。
4. 黑暗組個體明顯較白光組小，推測因長期缺乏養分海葵會逐漸分解身體養分之故，且白光組生殖情形旺盛(多小海葵的發現)黑暗組則無生殖情形。因蟲黃藻須行光合作用，而在黑暗中海葵體內的蟲黃藻無法行光合作用，無法提供養分給海葵，因此觸手也隨之縮小。
5. 兩組若長期只有照光無餵食，都有逐漸白化的趨勢，可見僅靠照白光(照度約 3000LUX)無法提供完整的養分給海葵和藻類。

二、不同色光對海葵體色的影響

(一)型態變化:

天數	紅光組	綠光組	藍光組
Day0 110/11/12			
Day3 110/11/15			
Day7 110/11/19			
Day18 110/11/30			

照片 19 照不同光色的海葵變化

➤ 結果分析:

1. 無論照射何種色光，觸手體色均比體柱淡，觸手顏色變化比體柱變化明顯。
2. 照紅光組和綠光組觸手和體柱較大且伸展，藍光組觸手和身體明顯較其他二組變小許多，推測藍光對美麗海葵體內藻類行光合作用不利。但這和網路流傳水族燈加強藍光的說法不太一樣？於是我們又作了 RGB 值的相關分析。



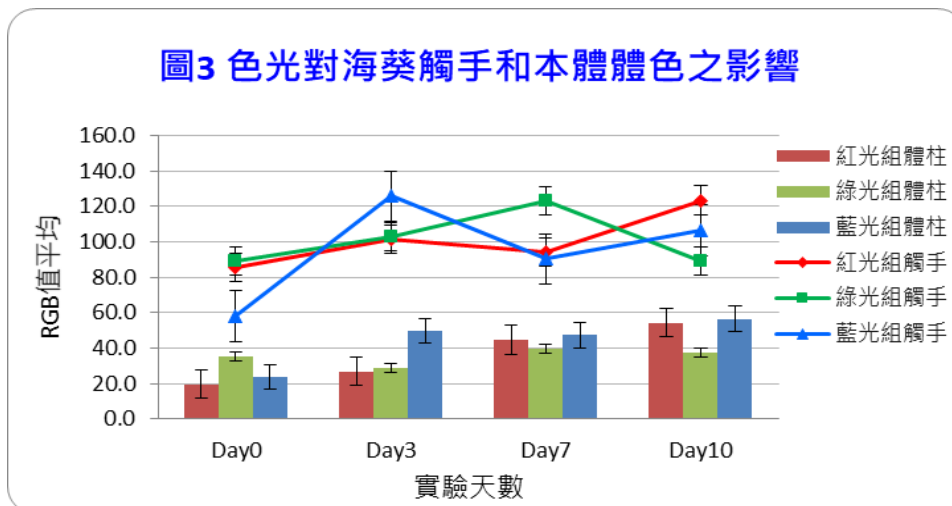
照片 20 不同光色的海葵比較

(二)體色變化 RGB 值分析

表 4 不同色光中海葵觸手和體柱 RGB 之平均值

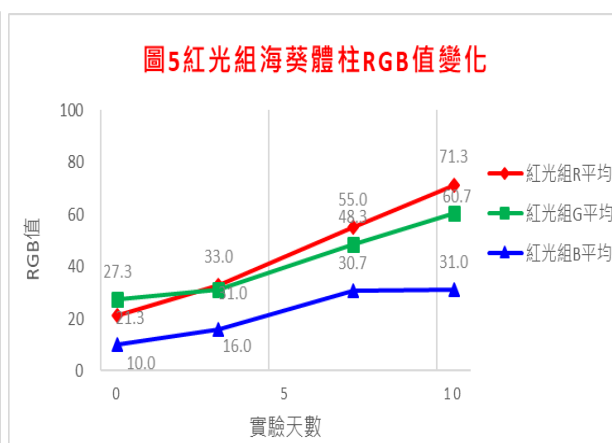
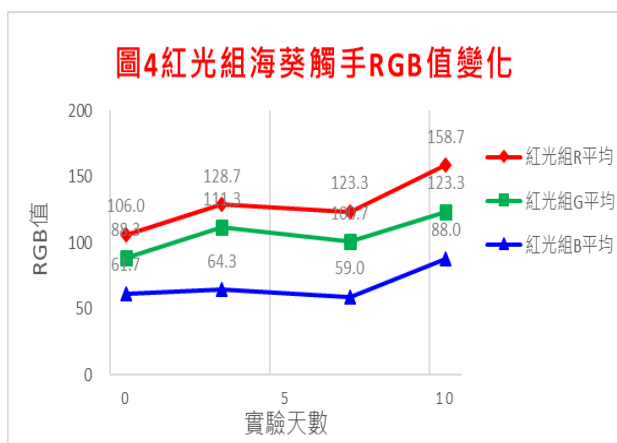
RGB平均值	Day0	Day3	Day7	Day10	白化趨勢
紅光組觸手	85.3	101.4	94.3	123.3	1.45
綠光組觸手	89.1	102.9	122.8	88.8	1.00
藍光組觸手	57.9	125.7	90.2	106.4	1.84
紅光組體柱	19.6	26.7	44.7	54.3	2.78
綠光組體柱	35.2	28.8	39.6	37.6	1.07
藍光組體柱	23.7	49.8	47.2	56.3	2.38

圖3 色光對海葵觸手和本體體色之影響

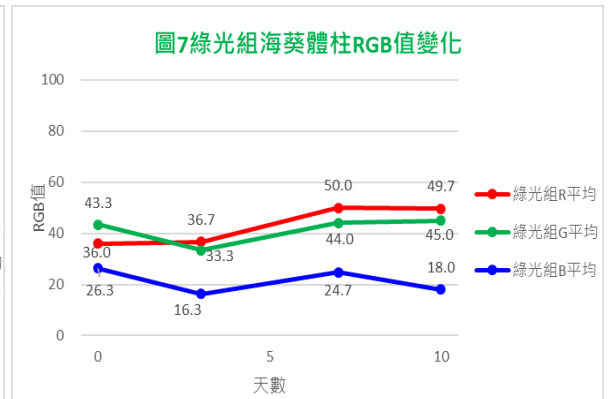
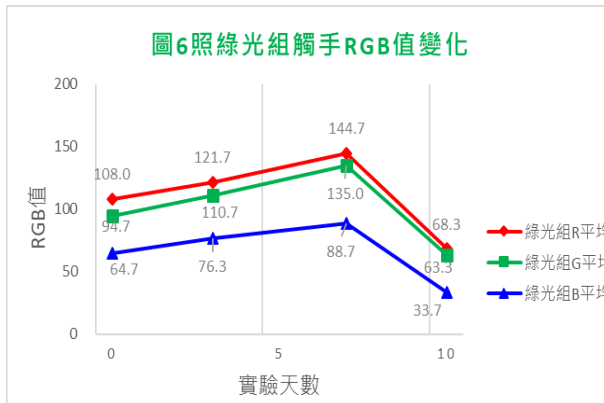


➤ 結果分析:

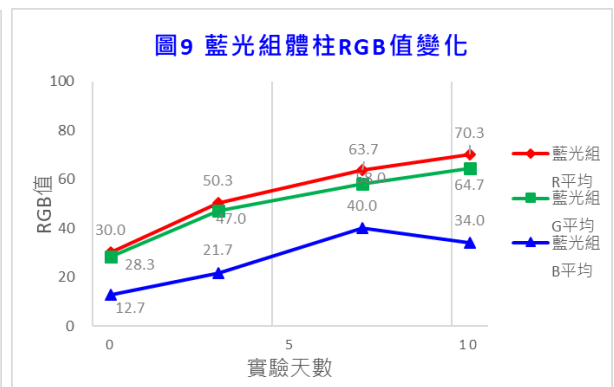
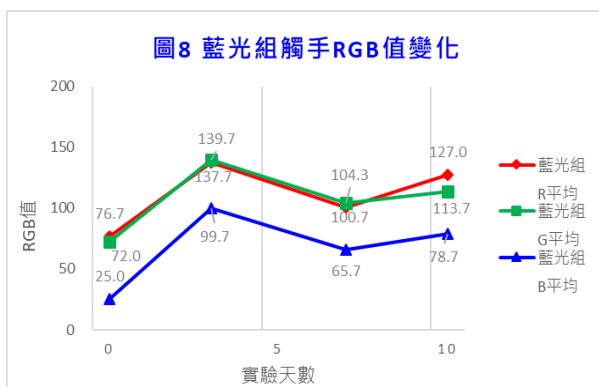
1. 由圖 3 所示，照三種單色光的組別海葵 RGB 平均值均逐漸上升、白化趨勢值紅≧藍光>綠光，照綠光組別白化情形相較為緩和。
2. 由圖 4~9 所示，各組觸手 R、G 值偏大，海葵體色偏黃褐色，也是共生蟲黃藻的顏色，在 RGB 值的比例上，無論觸手或體柱均為 R 值>G 值>B 值。
3. 由圖 4~5 所示，照紅光的組別照光 10 天後海葵觸手體色 R:G:B 約等於 5:4:3，體柱約為 5:4:2，體色藍色的比例降低。



4. 由圖 6~7 所示，照綠光組海葵 RGB 值最後是下降的，代表海葵體色顏色變深，觸手的 R:G:B 值約等於 2:2:1，體柱的 R:G:B 值比約等於 11:10:4，體色藍色比例下降。

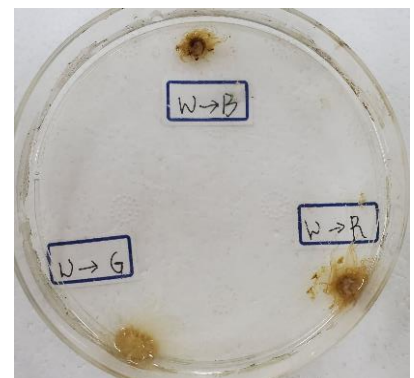


5. 由圖 8~9 所示，照藍光組海葵顏色和紅光組一樣逐漸變淺，觸手的 R:G:B 值約為 8:7:5，體柱的 R:G:B 值比約等於 2:2:1，體色藍色比例亦下降。



6. 綜上所述，三種單色色光中海葵體色 B 值較低(蟲黃藻吸收藍光較多)，理論上照射藍光光合作用效果應該比紅綠色來得好，但實際上實驗結果顯示三種單色光身體都變小且有白化趨勢，照射白光的海葵生長情形較單色光佳。

7. 由照片 21 所示，我們將原本照白光的海葵，改為照紅、綠、藍單一的色光，並將原本照單一色光者改照白光，結果發現，白光組改照單一色光後個體變小，單色光組改照白光後身體大小沒有變大，但體色有逐漸變深。推論因白光同時含有多個波長的光源，而海葵體內的藻類若能吸收各種不同波長的光，皆會比單一色光來得好。



照片 21 白光組改照單色光後的海葵比較

白光與紅光交互照射結果:



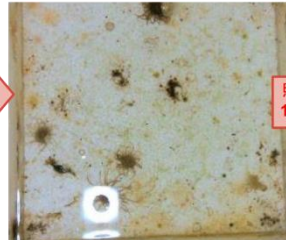
2021.11.22 白光組



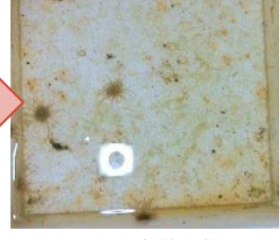
2021.11.26 白光組



2021.12.03 白轉紅組

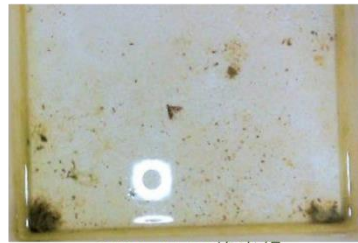


2021.12.10 白轉紅組



2021.12.17 白轉紅組

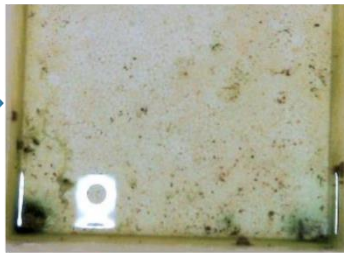
白光與綠光交互照射結果:



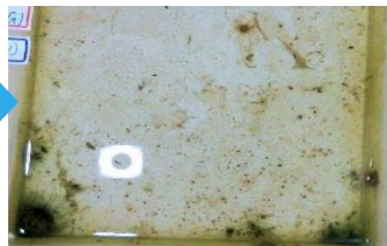
2021.11.30 綠光組



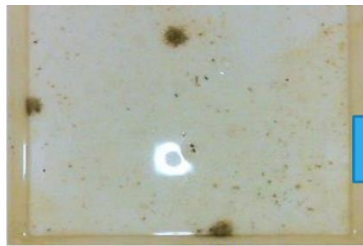
2021.12.03 綠轉白組
2021.12.17 綠轉白組



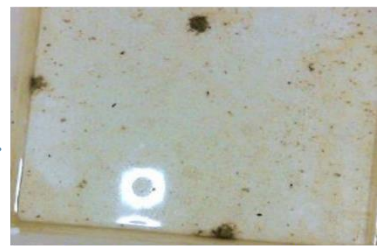
2021.12.10 綠轉白組



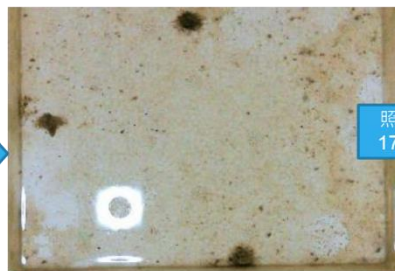
白光與藍光交互照射結果:



2021.11.30 藍光組



2021.12.03 藍轉白組



2021.12.10 藍轉白組

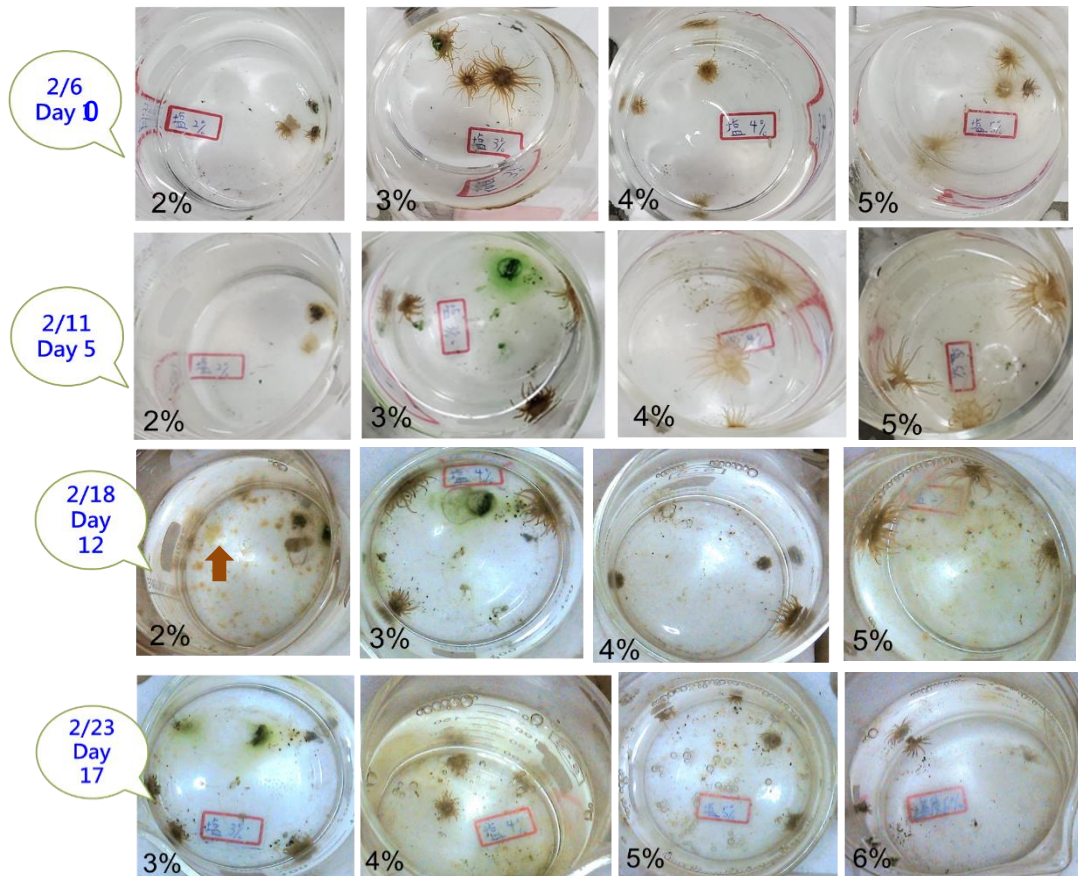


2021.12.17 藍轉白組

照片 22 白光組和單色光組交互照射結果比較

三、不同鹽度海水對海葵的影響

(一) 型態變化



照片 23 不同鹽度飼養之海葵型態

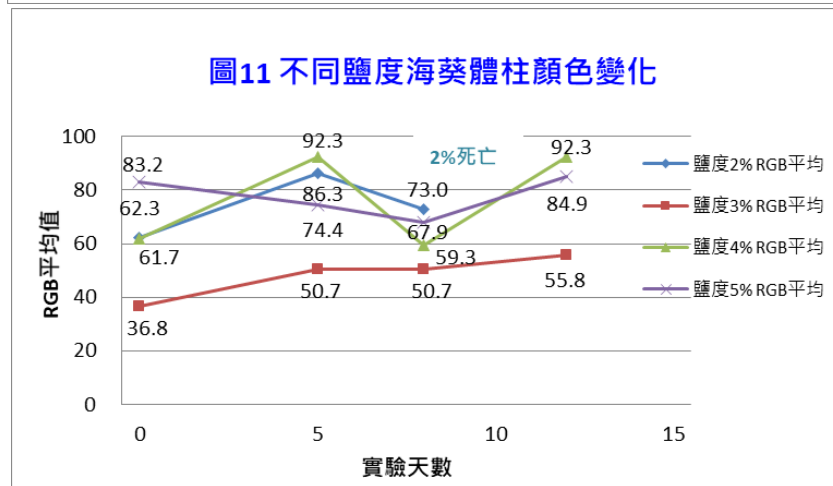
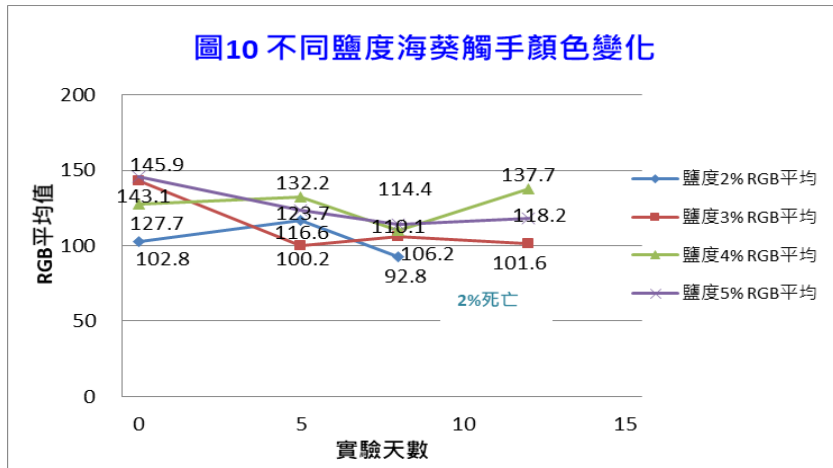
➤ 結果分析:

1. 鹽度 2% 在第 5 天之後身體已無伸縮現象，呈現死亡狀態，2% 組別死亡後觸手發黑，燒杯底部內出現釋出可能是蟲黃藻的褐色藻類。
2. 3%~5% 則生長狀態不錯，因此又設計 6% 組別再觀察 5 天後，發現只剩 1 隻存活，而其他死亡，因此歸納：美麗海葵對鹽度的耐受性範圍為 3%~6%。

(二) 體色分析

表 5 不同鹽度中海葵觸手和體柱 RGB 化變化

觸手平均值	Day0	Day5	Day8	Day12	白化趨勢值
鹽度2% RGB平均	102.8	116.6	92.8	死亡	0.90
鹽度3% RGB平均	143.1	100.2	106.2	101.6	0.71
鹽度4% RGB平均	127.7	132.2	110.1	137.7	1.08
鹽度5% RGB平均	145.9	123.7	114.4	118.2	0.81
體柱平均值	Day0	Day5	Day8	Day12	白化趨勢值
鹽度2% RGB平均	62.3	86.3	73.0	死亡	1.17
鹽度3% RGB平均	36.8	50.7	50.7	55.8	1.52
鹽度4% RGB平均	61.7	92.3	59.3	92.3	1.50
鹽度5% RGB平均	83.2	74.4	67.9	84.9	1.02

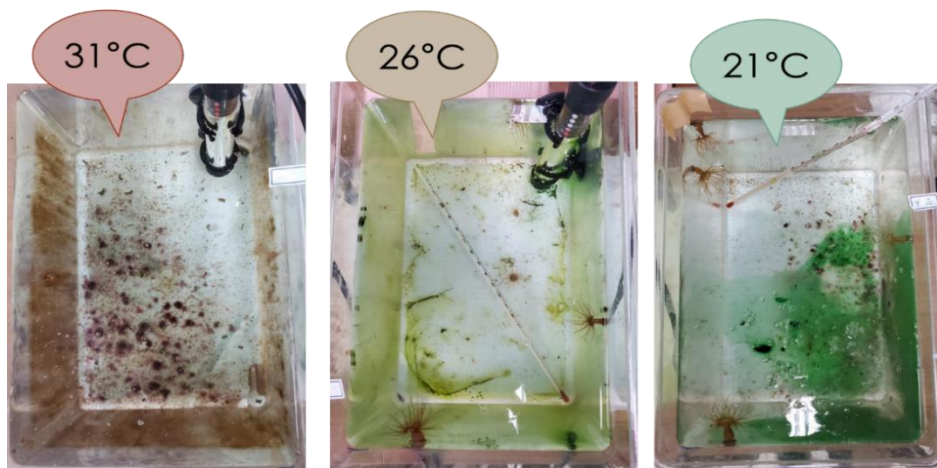


➤ **結果分析:**

1. 由圖 10~11, 海葵在不同鹽度的體色變化差異不大, **RGB 平均值 5% ≈ 4% > 3%**, 3% 濃度中海葵體色較深。
2. 就白化趨勢值而言鹽度各組沒有明顯的白化現象, 僅體柱稍微有白化情形。

四、不同溫度對海葵體色的影響

(一) 型態變化



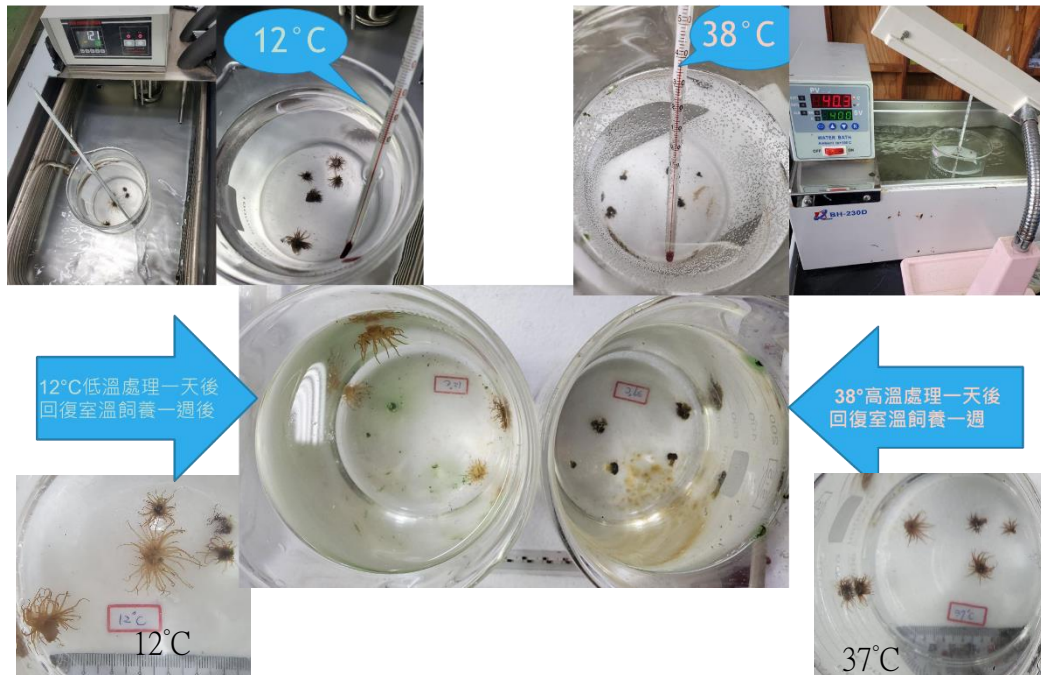
照片 24 不同恆溫飼養之海葵與飼養缸之藻類

➤ 結果分析:

1. 如照片 24 所示，31°C、26°C、及室溫約 21°C 的飼養箱中分別長出褐色與兩種不同色系的綠藻類。
2. 三種溫度海葵皆可生長與進行繁殖，都有出現新的小海葵(如照片 25 箭頭所示)，但沒有觀察到出芽，可能為海葵進行有性生殖、也可能是被撈進實驗缸的螞蟥長大而成。



照片 25 31°C 缸中的小海葵



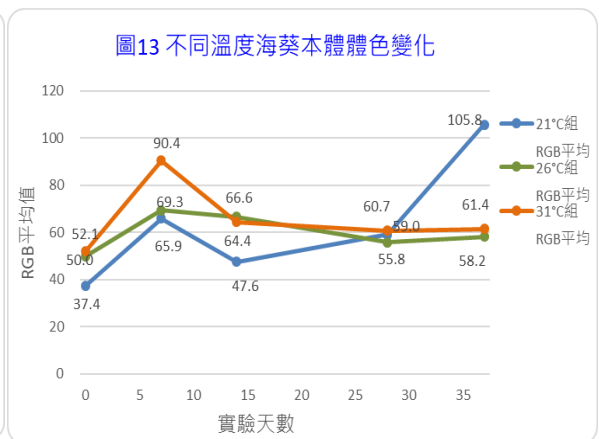
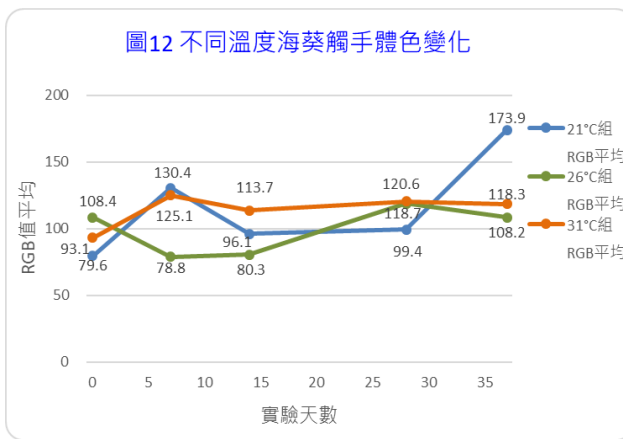
照片 26 極端低溫高溫處理後之海葵

3. 如照片 26 所示，經極端低溫 12°C 和極端高溫 38°C 處理一天後，再回復室溫飼養一週後，12°C 組海葵生長情形出現好轉，但 38°C 組已死亡無法回復，因此可推知美麗海葵對溫度耐受範圍為 12°C~37°C，超過以上溫度範圍不利海葵生長。

(二)體色分析

表 6 不同溫度中海葵觸手和體柱 RGB 變化

觸手平均值	Day0	Day7	Day14	Day28	Day37	白化趨勢
21°C組RGB平均	79.6	130.4	96.1	99.4	173.9	2.2
26°C組RGB平均	108.4	78.8	80.3	118.7	108.2	1.0
31°C組RGB平均	93.1	125.1	113.7	120.6	118.3	1.3
體柱平均值	Day0	Day7	Day14	Day28	Day37	白化趨勢
21°C組RGB平均	37.4	65.9	47.6	59.0	105.8	2.8
26°C組RGB平均	50.0	69.3	66.6	55.8	58.2	1.2
31°C組RGB平均	52.1	90.4	64.4	60.7	61.4	1.2



➤ 結果分析:

1. 三缸恆溫海葵的體色變化緩慢，白化趨勢值: 21°C > 31°C > 26°C:

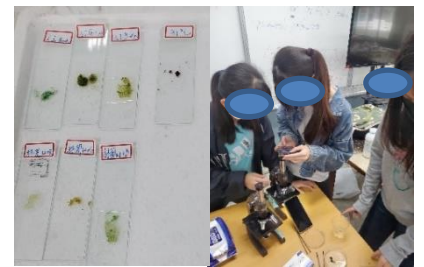
31°C: 體色正常，雖未如文獻所說出現嚴重白化，但溫度過高將釋出體內褐色藻類。

26°C: 顏色稍深，體內藻類生長情形良好，是適合海葵生長的溫度。

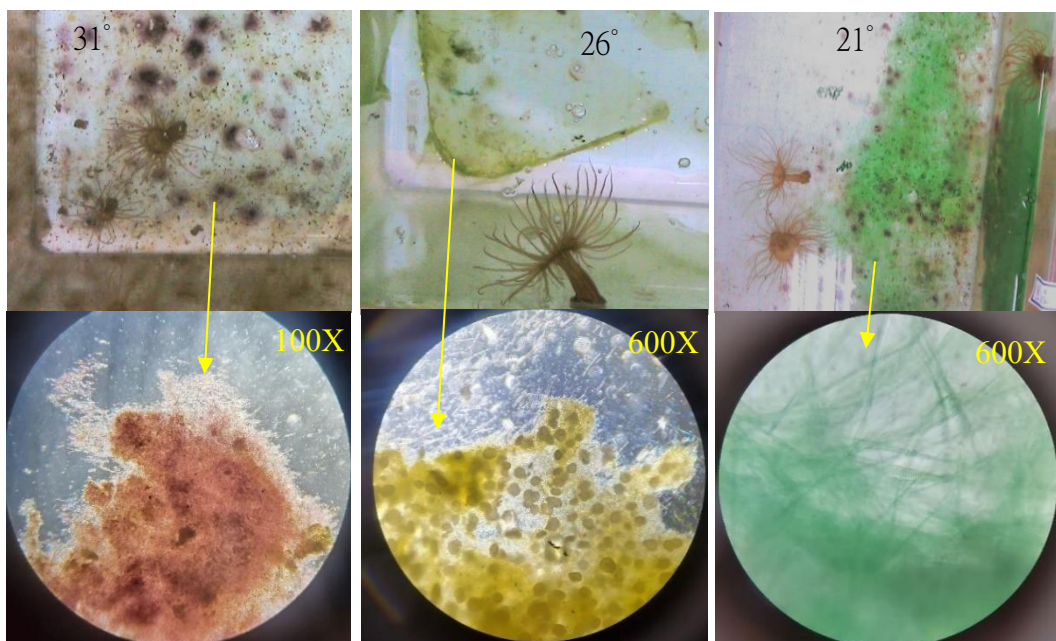
21°C: 顏色稍淺，因此推論低於 20°C 以下可能較不利海葵體內藻類生長。

(三)藻類觀察

在恆溫實驗中我們發現飼養缸中出現不同的藻類，顯然在相同鹽度為 4%，照射白光(照度約為 3000~4000LUX)環境下，不同溫度有不同的優勢藻類，如照片 28 所示，為了瞭解那是甚麼藻類，於是我們取各飼養缸內的藻類置於載玻片上於顯微鏡下觀察，在 31°C 高溫組為褐色藻類(除蟲黃藻外還有絲狀褐色藻類)，26°C 組為橄欖綠色球狀，而室溫 21°C 組則為青綠色絲狀之綠藻或藍綠菌，形狀和大小差異很大。



照片 27 藻類之顯微觀察

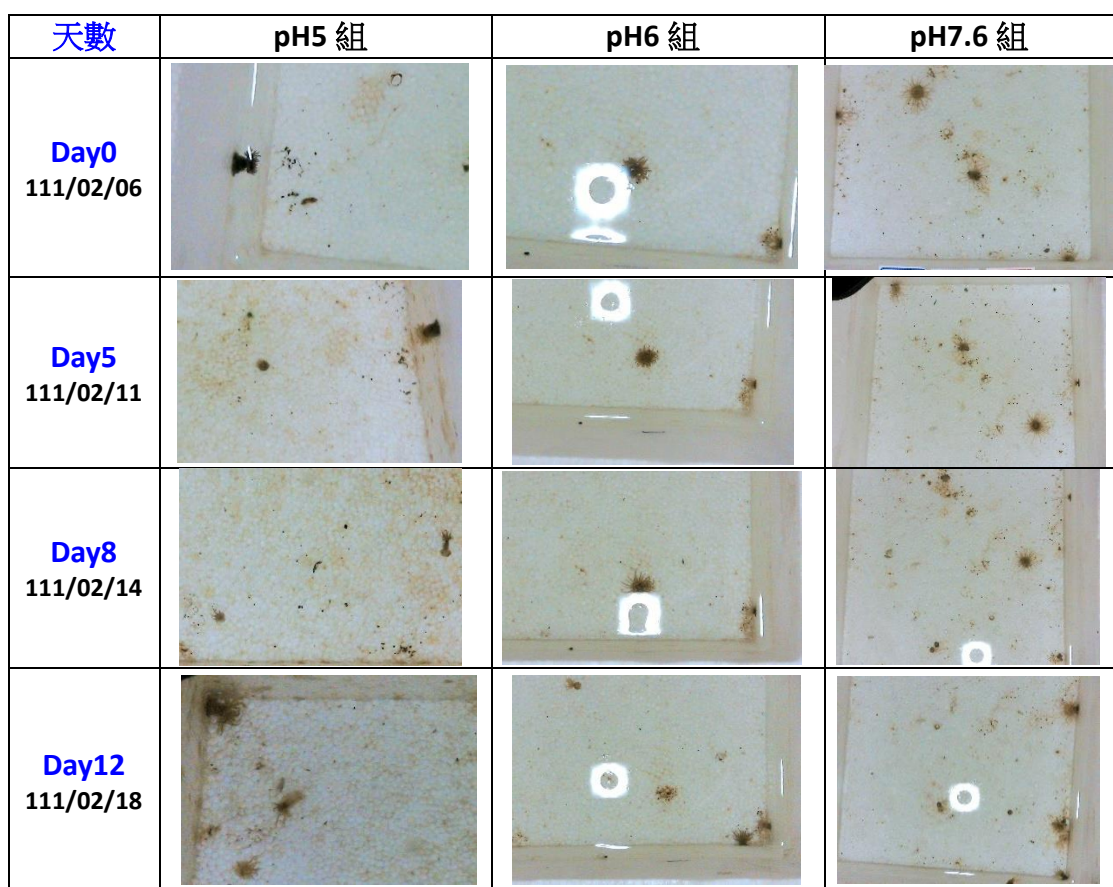


照片 28 不同溫度飼養之海葵體色與環境藻類顏色差異

五、不同濃度二氧化碳濃度對海葵的影響

(一)型態變化

利用氣泡水機將二氧化碳打進調製好的 4%人工海水直到冒泡，然後以此含 CO₂ 飽和海水加入正常海水中，調製出等量的高濃度 CO₂pH5、中濃度 CO₂pH6、正常濃度 CO₂ pH7.6 的海水，分別觀察海葵的生長情形。當海葵加入三種不同 pH 組時，發現酸性海水對海葵而言似乎是很大的環境變化和刺激，尤其是 pH5 的組別海葵一放進去即變形變黑，但因 CO₂ 會逐漸逸散 pH 值會再度上升我們連續觀察 12 天後發現海葵雖然漸漸恢復，但海葵因環境不適一直改變其位置，在酸性環境下體色逐漸白化。

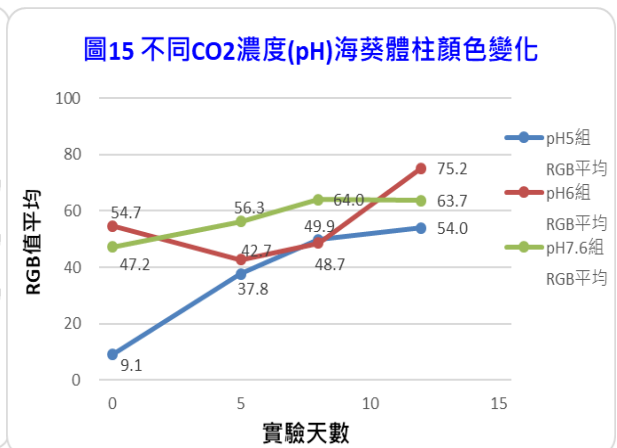
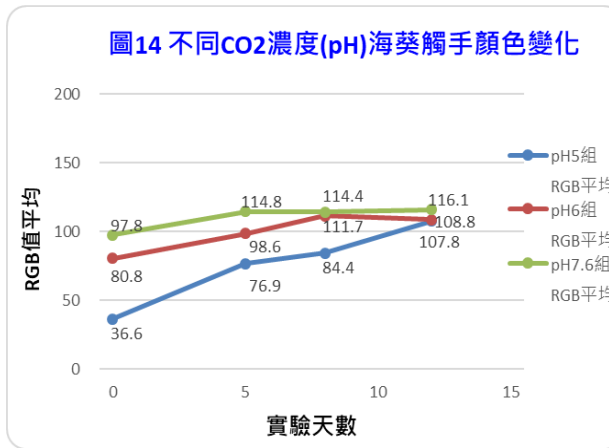


照片 29 不同 CO₂ 濃度(pH)之海葵體色變化

(二)體色分析

表 7 不同 CO₂ 濃度(pH)中海葵觸手和體柱 RGB 變化

觸手平均值	Day0	Day5	Day8	Day12	白化趨勢
pH5組RGB平均	36.6	76.9	84.4	107.8	2.95
pH6組 RGB平均	80.8	98.6	111.7	108.8	1.35
pH7.6組RGB平均	97.8	114.8	114.4	116.1	1.19
體柱平均值	Day0	Day5	Day8	Day12	白化趨勢
pH5組RGB平均	9.1	37.8	49.9	54.0	5.93
pH6組 RGB平均	54.7	42.7	48.7	75.2	1.38
pH7.6組RGB平均	47.2	56.3	64.0	63.7	1.35

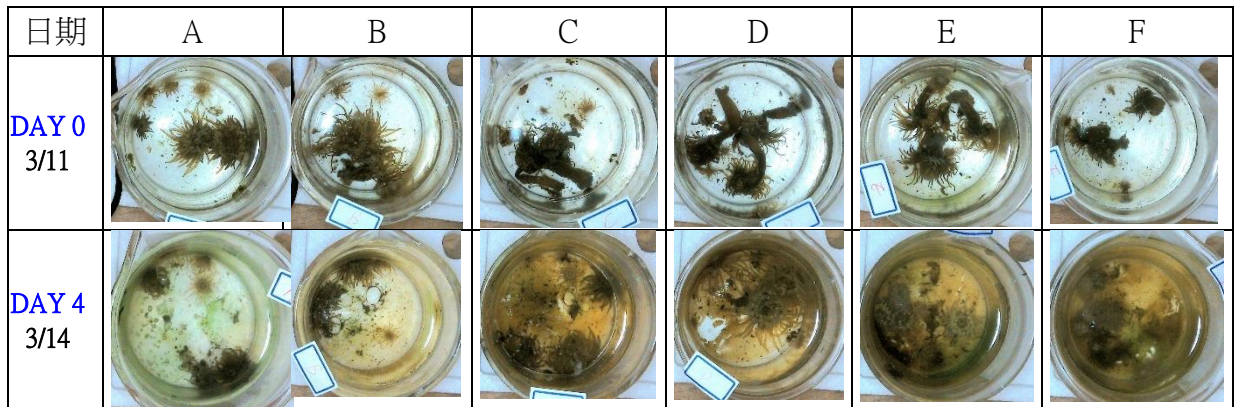


➤ 結果分析:

1. 打入 CO₂ 導致海水的酸鹼值變酸，不僅影響了海葵的體色，過酸 pH5 的海水也引起海葵體柱延長變形，觸手和身體失去收縮和反應能力。
2. 白化趨勢值 pH5 > pH6 > pH7.6。

(三)pH 耐受性實驗

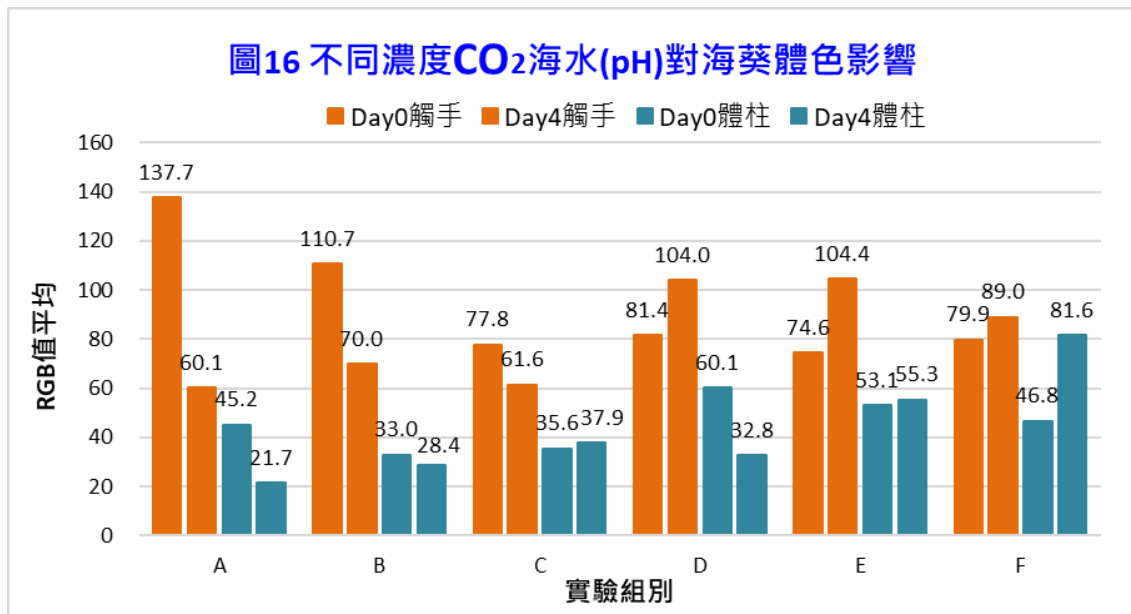
原本是想測試二氧化碳對蟲黃藻行光合作用的影響，沒想到打入 CO₂ 造成了海水 pH 值大大的降低，引起我們關注到海洋酸化問題也是引起海洋生物的危機，我們很想找出美麗海葵對 pH 值的耐受性，因此經多次測試我們將飽和 CO₂ 海水的比例多寡調製成 A~F 六組，並測出配置海水的 pH 值後，置入海葵並紀錄體色變化，照片 30。



照片 30 不同 CO₂ 濃度(pH)A~F 組之海葵體色變化

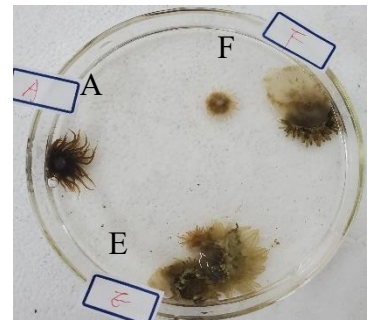
表 8 A~F 組海水配置、酸鹼值、體色分析結果

組別	A	B	C	D	E	F
飽和CO ₂ 海水(mL)	0	20	40	50	70	90
海水(mL)	250	230	210	200	180	160
pH值	8.64	7.27	6.72	6.41	6.23	6.02
Day0觸手RGB平均值	137.7	110.7	77.8	81.4	74.6	79.9
Day4觸手RGB平均值	60.1	70.0	61.6	104.0	104.4	89.0
Day0體柱RGB平均值	45.2	33.0	35.6	60.1	53.1	46.8
Day4體柱RGB平均值	21.7	28.4	37.9	32.8	55.3	81.6

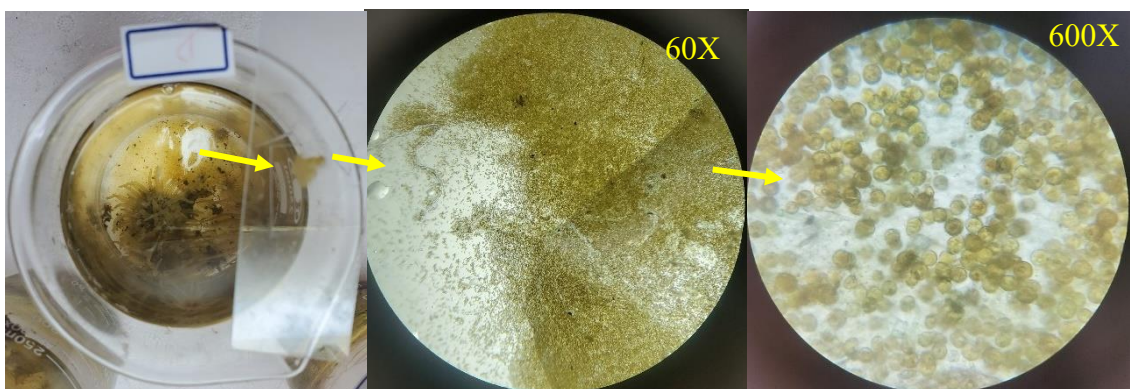


➤ **結果分析:**

1. 海葵體色在A~C組RGB值逐漸下降顯示觸手和身體顏色逐漸變深，D~F組RGB值逐漸上升顯示觸手和身體顏色逐漸白化，推論在pH值小於6.4時不適用於海葵生存。
2. 除了海葵體色發生變化外，我們發現燒杯底部出現的藻類顏色和濃度也有所不同，除了A組出現綠藻外，B~F組均出現褐色藻類。
3. 採取燒杯底不知藻類以顯微鏡觀察後發現，A組杯內藻類為綠色絲狀藍綠菌外，B~F組燒杯內褐色藻類為蟲黃藻，可見酸化的海水對海葵影響甚為快速，蟲黃藻很快離開海葵體內釋出至環境中。



照片 31 AEF 組海葵



照片 32 D 組燒杯底部褐色藻類顯微觀察

伍、討論

- 一、根據110年10月~111年3月期間實地訪查結果，林園海洋濕地的海葵分布和二年前調查結果(文獻二)相比僅剩下水溝區有穩定數量的美麗海葵存在，在瀉湖區和出海口區則不復存在，溼地人工瀉湖區因季節雨量常有乾涸時期影響了生物變動；而水溝區相較於其他區域最大的優勢是其穩定水溫(約24°C)、水流速度(適當溶氧量)、和養殖場排出海水(有機養分來源)，因而終年得以維持穩定的海葵數量，可見美麗海葵對環境因子的變化是敏感的。
- 二、在操作海葵的控制實驗時必須以刮勺輕刮與小心移動吸附於飼養槽中的海葵，否則分裝置個實驗組別的海葵容易損傷影響實驗結果，另外也因海葵對環境變化敏感，剛剛置入時身體會驟然收縮體色變深變黑，因此必須靜置1小時以上讓海葵逐漸回復自然伸展狀態才能進行拍照與讀取RGB值，海葵體色及型態整體趨勢歸納如下：

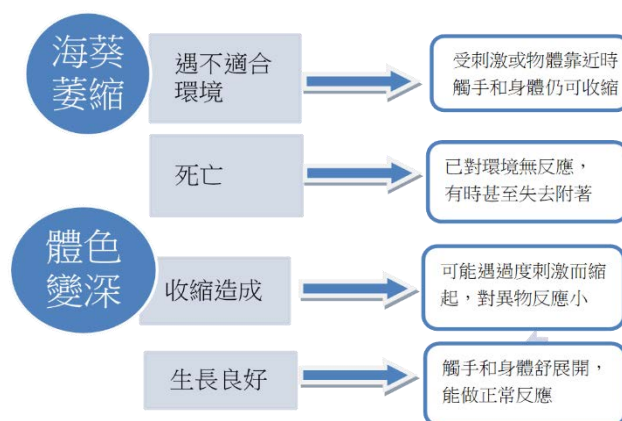







圖 17 海葵體型與體色變化趨勢示意圖

- 三、海葵和珊瑚同屬珊瑚綱，在身體構造和與共生藻的互利共生、白化現象等具有相似性，我們以水溝中容易取材飼養的美麗海葵做實驗來模擬不易進行的海洋生物實驗，並以體色變化為主軸發展本次研究，最大特色在於以RGB值量化方式合理推論海葵體色變化，以photocap軟體直接讀取以下色塊可知不同顏色的RGB值，以黑色、白色、橙色和淡黃色為例來計算RGB平均值：

顏色	R	G	B	RGB平均值
黑色 	0	0	0	0
褐色海葵 	118	90	62	90
白化海葵 	199	182	160	180
淡黃色 	252	213	181	215
白色 	255	255	255	255

- 四、在光和黑暗以及色光實驗中，結果顯示照白光組海葵皆比單一色光來得好，且和一般水族館推薦養海葵珊瑚要照藍光的結果不太一致，植物、藻類和藍藻都普遍存在葉綠

素 a，在光合作用過程中葉綠素 a 和葉綠素 b 的吸收光譜在藍紫光（430~480nm）、紅光區（640~660nm）都有吸收高峰，而蟲黃藻體內含有葉綠素a、c，藻褐素、β-胡蘿蔔素、葉黃素等各種光合色素，需要吸收各種不同波長的光，因此還是以照白光的效果為佳!

五、實驗過程中發現同樣照光距離單色光燈泡的照度和白光燈照度相比並不一致，以我們實驗的白光和單色3W燈泡為例，同樣照光距離10公分時:白光照度約為3000LUX，綠燈照度為4240LUX大於紅燈1390LUX，而藍燈的照度則最小為460LUX，因而導致我們的海葵實驗結果白化趨勢值紅=藍光>綠光，照綠光組別反而白化情形相較為緩和(理論上藍光和紅光對光合作用有利)，綜合以上結果因而推論照度對海葵的影響程度大於色光的影響。建議未來做色光實驗時必須同時調整各種色光的照度一致，更能釐清結果究竟是色光的影響還是照度的影響。

六、二氧化碳實驗結果得知酸化海水對海葵的影響是快速且明顯的，雖然海洋至今吸收了近1/4的人為排放量，有助減緩全球暖化。但二氧化碳同時也是酸性氣體，溶在海水的量越來越多，海水就會變得越來越酸，縱使海洋表水PH平均值為8.1，但若數值因酸化往中性7.0偏，就會發生物種不適應的情形，讓珊瑚藻不能共生，螺貝類的外殼變質、破損(引自文獻十二)。因此我們的實驗探討溫度、二氧化碳等對海葵白化的影響，希望能喚醒大家對此議題的重視，雖然自然環境中海水的pH值似乎不可能低至pH5、6，但海葵住的水溝附近有石化產業，排放的氣體或廢水若不經嚴格控管亦有可能引發酸雨、水質酸化之危害!

七、利用RGB值數據來客觀呈現海葵體色變化，還有一項優點就是不需要像其他研究將海葵組織打碎、離心純化後才能測量藻類密度或吸光值等數據，我們可以長期觀察到海葵自然狀況下的體色變化，未來若我們利用連線的影像監測和分析裝置，未來可應用在發展長期監測和觀察海葵的體色變化情形的系統，借此來推測環境的變化，即時挽救逐漸白化的海葵和惡化的環境。



圖 18 研究結果應用與未來展望示意圖

陸、結論

一、海葵體色變化趨勢:

1. **R 值>G 值>B 值** 說明海葵體色體內共生藻整體而言偏黃褐色。
2. RGB 值平均**體柱>觸手**，說明蟲黃藻於體柱的密度和數量大於觸手。
3. 體色 RGB 值**觸手變化>體柱變化**，說明環境不適時觸手反應敏感快速。

二、美麗海葵生存的耐受範圍:

鹽度介於3%~6%、溫度12~37°C度、pH值6.4~8.5間。

三、光照與黑暗對海葵的影響:

組別	個體	觸手白化值	體柱白化值	白化趨勢	死亡	生殖
黑暗組	小	1.78	5.90	明顯	有	無
白光組	大	1.23	0.94	和緩	無	有

四、三種單色光對海葵的影響:

組別	個體	觸手白化值	體柱白化值	白化趨勢	死亡	生殖
紅光組	較大	1.45	2.78	較顯著	有	無
綠光組	較大	1.00	1.07	較緩和	無	無
藍光組	最小	1.84	2.38	較顯著	有	無

1. 照白光組海葵皆比單一色光來得好，單色光改照白光後生長情形明顯轉好，照白光組改照單色光後海葵變小萎縮，推測體內的藻類需吸收各種不同波長的光。
2. **白化趨勢值紅≡藍光>綠光**，**照綠光組別白化情形相較為緩和**，**藍光和紅光對美麗海葵體內藻類行光合作用不利。**

五、鹽度對海葵的影響:

組別	生存	體色	觸手白化值	體柱白化值	藻類多寡/種類
2%	×	變黑死亡	0.90	1.17	死亡時釋出褐藻
3%	✓	較深	0.71	1.52	3%~6%差異不大/褐藻
4%	✓	中	1.08	1.50	
5%	✓	中	0.81	1.02	
6%	✓	中	僅剩一隻存活		

六、溫度對海葵的影響:

組別	個體	觸手白化值	體柱白化值	白化趨勢	死亡	生殖
21° C	小	2.2	2.8	較顯著	無	有
26° C	大	1.0	1.2	較緩和	無	有
31° C	大	1.3	1.2	較緩和	有	有

1. 美麗海葵對溫度耐受範圍為12°C~37°C，26°C是適合海葵生長的溫度，**白化趨勢值: 21°C > 31°C > 26°C**，低溫組白化趨勢較高溫組明顯。
2. **不同溫度有不同的優勢藻類**，在31°C高溫組為褐色藻類，26°C組為橄欖綠色球狀，而室溫21°C組則為青綠色絲狀之綠藻或藍綠菌。

七、二氧化碳濃度(pH值) 對海葵的影響:

組別	個體	觸手白化值	體柱白化值	白化趨勢	死亡	生殖
pH5	萎縮	2.95	5.93	非常顯著	有	無
pH6	小	1.35	1.38	較緩和	有	無
pH7	大	1.19	1.35	較緩和	無	有

1. **白化趨勢值 pH5 > pH6 > pH7.6**，pH 小於 **6.4** 之組別不適合海葵生存。
2. **酸化的海水對海葵影響甚為快速**，蟲黃藻很快離開海葵體內釋出至環境中，也是造成海葵白化的重要原因。

八、環境因子除了影響海葵與蟲黃藻的共生關係外，也會影響飼養槽內整體的藻類生長狀態，因海葵體壁附著與海水中的其他藻類會因溫度、酸鹼度差異而有不同的優勢藻類。

柒、參考文獻資料

- 一、王昱堡、彭紹恩(2015)。垃圾變黃金! 新興海洋模式生物-美麗海葵。國立海洋生物博物館76期館訊，1-2頁。
- 二、顏羽彤等三人(2020)。藻出葵違的真相~美麗海葵對海洋濕地環境適應性探討(第60屆高雄市科展說明書)。高雄市。
- 三、蔡佳宏(2009)。藻類培育——仙后水母與其共生藻(第八屆旺宏科學獎成果報告書)。高雄:高師大附中。
- 四、陳建勳(2000)。能量的多寡對美麗海葵(*Aiptasiapulchella* Carlgren 1943)生殖策略的影響(碩士論文)。高雄:國立中山大學海洋生物研究所。
- 五、徐昕等三人(2000)。藻到了! 萼者之間的關係—萼柱珊瑚(*Stylophora pistillata*)與共生藻之觀察與研究(第51屆中小學科展作品說明書)。
- 六、張恆源(2003)。溫度、光週期與密度效應對美麗海葵有性生殖與無性生殖的影響(碩士論文)。高雄:國立中山大學海洋生物研究所。台北市。
- 七、Tracey Saxby(2001)。Photosynthetic responses of the coral *Montipora digitata* to cold temperature stress. A Thesis submitted by B.Sc. B.A. The University of Queensland, Australia.
- 八、林佑珊(2013)。美麗海葵內部構造之組織學分析(碩士論文)。國立東華大學海洋生物科技研究所
- 九、珊瑚的色彩何以如此絢爛。取自<http://www.ifuun.com/a201801068668425/>
- 十、不只珊瑚，海葵也會白化。慢島旅臉書(2020)。取自<https://www.facebook.com/AdagioIsland/posts/829190807615069/>
- 十一、BBC：海水愈來愈酸，鱈魚及部分海洋生物數量將大幅減少。The News Lens關鍵評論(2017)。取自<https://www.thenewslens.com/article/81689>
- 十二、海水酸化 - 二氧化碳引起的另一個環境衝擊(2017)。科技大觀園。取自<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000009/detail?ID=41f757f0-46ad-4f7b-8ac6-70efc549d2c4>

附錄一：海洋溼地公園研究切結與同意書

林園海洋濕地公園美麗海葵研究切結書

- 一、 研究學生姓名：、、
- 二、 就讀學校：國民中學
- 三、 作品名稱：海葵白化藻知道-海葵體色之影響因素探討
- 四、 研究切結內容：本研究以海洋濕地公園及周圍排水溝內的美麗海葵為研究對象，研究期間自110年10月-111年7月於公園及附近觀察、調查水質及採樣海葵，科學研究期間以善待生物及不影響生態為原則，保護生物之生存環境為主要考慮因素，並不會有虐待動物、影響生物生存之行為：
1. 研究之動物為美麗海葵，該生物非農委會保育類生物且為無脊椎動物，實驗數量約每次50隻左右，共採集。
 2. 每次實地訪查均在老師指導及陪同下前往濕地公園觀察、調查和採樣。
 3. 實驗過程中維護適合海葵生存的環境並將對海葵的傷害減至最低。
 4. 實驗地點：國中校園
 學校；指導教師簽名：
 電話：
 地址：
- 五、 林園海洋濕地公園管理單位同意以上切結內容：



理事長：

立書人簽名：

指導老師簽名：

附錄二：顏色與其RGB值對照表

	R	G	B	值		R	G	B	值		R	G	B	值
黑色	0	0	0	#000000	黃色	255	255	0	#FFFF00	淺灰藍色	176	224	230	#B0E0E6
象牙黑	41	36	33	#292421	香蕉色	227	207	87	#E3CF57	品藍	65	105	225	#4169E1
灰色	192	192	192	#C0C0C0	鎊黃	255	153	18	#FF9912	石板藍	106	90	205	#6A5ACD
冷灰	128	138	135	#808A87	dougello	235	142	85	#EB8E55	天藍	135	206	235	#87CEEB
石板灰	112	128	105	#708069	forum gold	255	227	132	#FFE384	青色	0	255	255	#00FFFF
暖灰色	128	128	105	#808069	金黃色	255	215	0	#FFD700	綠土	56	94	15	#385E0F
白色	255	255	255	#FFFFFF	黃花色	218	165	105	#DAA569	靛青	8	46	84	#082E54
古董白	250	235	215	#FAEBD7	瓜色	227	168	105	#E3A869	碧綠色	127	255	212	#7FFFD4
天藍色	240	255	255	#00FFFF	橙色	255	97	0	#FF6100	青綠色	64	224	208	#40E0D0
白烟	245	245	245	#F5F5F5	鎊橙	255	97	3	#FF6103	綠色	0	255	0	#00FF00
白杏仁	255	235	205	#FFF5DC	胡萝卜色	237	145	33	#ED9121	黃綠色	127	255	0	#7FFF00
cornsilk	255	248	220	#FFF8DC	桔黃	255	128	0	#FF8000	鈷綠色	61	145	64	#3D9140
蛋壳色	252	230	201	#FCE6C9	淡黃色	245	222	179	#F5DEB3	翠綠色	0	201	87	#00C957
花白	255	250	240	#FFFAF0	棕色	128	42	42	#802A2A	森林綠	34	139	34	#228B22
gainsboro	220	220	220	#DCDCDC	米色	163	148	128	#A39480	草地綠	124	252	0	#7CFC00
ghostWhite	248	248	255	#F8F8FF	鍛淡黃土色	138	54	15	#8A360F	酸橙綠	50	205	50	#32CD32
蜜露橙	240	255	240	#F0FF00	鍛棕土色	135	51	36	#873324	薄荷色	189	252	201	#BDFCC9
象牙白	250	255	240	#FAFF00	巧克力色	210	105	30	#D2691E	草綠色	107	142	35	#6B8E23
亞麻色	250	240	230	#FAF0E6	肉色	255	125	64	#FF7D40	暗綠色	48	128	20	#308014
navajoWhite	255	222	173	#FFDEAD	黃褐色	240	230	140	#F0E68C	海綠色	46	139	87	#2E8B57
old lace	253	245	230	#FDF5E6	玫瑰紅	188	143	143	#BC8F8F	嫩綠色	0	255	127	#00FF7F
海貝殼色	255	245	238	#FFF5EE	肖茨土色	199	97	20	#C76114	紫色	160	32	240	#A020F0
雪白	255	250	250	#FFFAFA	標土標	115	74	18	#734A12	紫羅藍色	138	43	226	#8A2BE2
紅色	255	0	0	#FF0000	烏賊墨棕	94	38	18	#5E2612	紫藍色	160	102	211	#A066D0
					赫色	160	82	45	#A0522D					

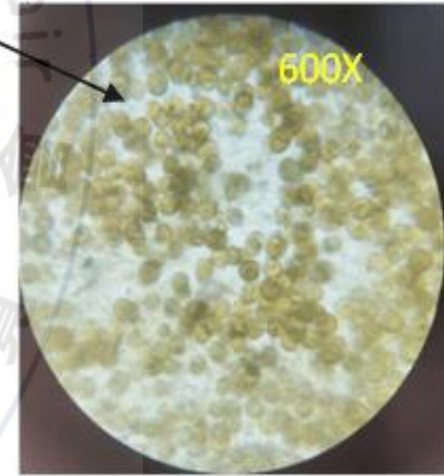
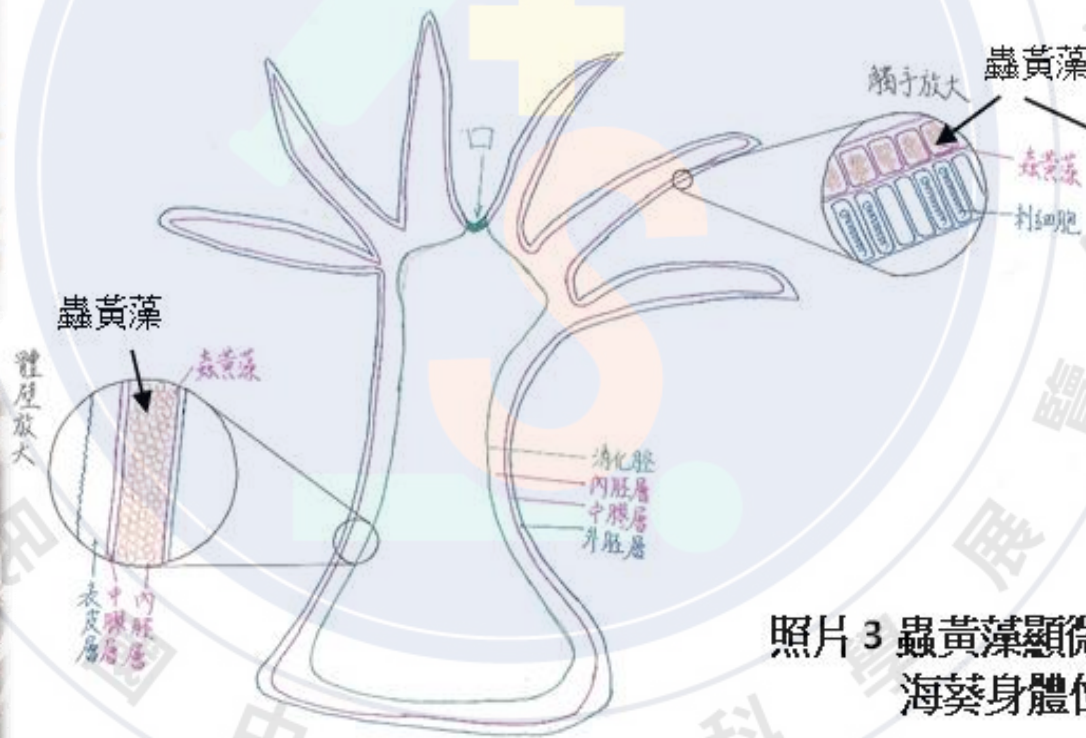
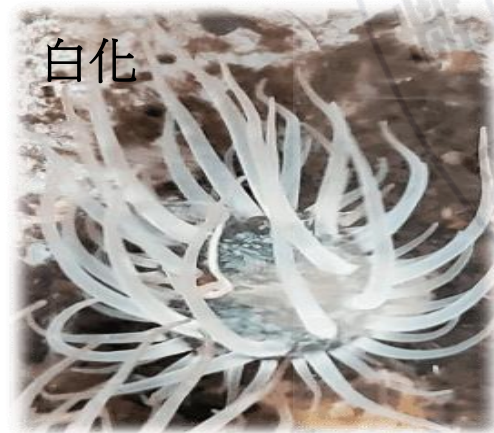
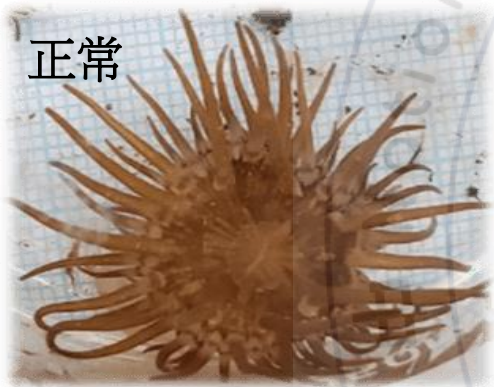
【評語】 030303

本實驗為延伸性研究，探討光照與黑暗、三種色光、溫度、鹽度、二氧化碳濃度等環境因子對美麗海葵體色的影響，結果可應用在以影像即時監控海洋生物，將體色轉換成數值以了解其白化趨勢及時掌握環境變化。建議如下：

1. 因為海葵體內的藻類隨溫度或環境因子而稍有變化，本研究又以建立測量 RGB 值來做為推測白化趨勢的參考，若能找到白化趨勢值與存活臨界的關係，對於未來環境監控會是很好的應用依據。
2. 從實驗結果中，不宜做出美麗海葵對鹽度的耐受性範圍為 3%~6%，因為 6% 的死亡率很高。因此建議同學們未來針對研究成果下結論時，可以更加的謹慎小心。
3. 未來可以探討單獨或群聚海葵對於環境壓力所造成白化現象的差異性，可進一步的觀察海葵彼此存活關聯性的協調模式。

作品簡報

海葵白化藻知道~ 海葵體色之影響因素探討



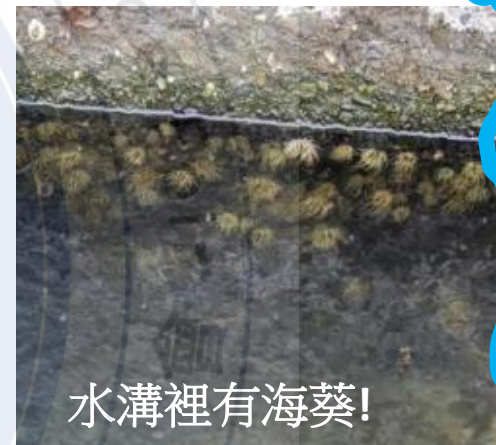
照片3 蟲黃藻顯微觀察與其在海葵身體位置示意圖

研究動機

在林園濕地的三個觀察點進行訪查，**發現水溝區有海葵蹤跡**

調查區域	日期	鹽度	水溫	pH	環境特色
水溝區	10.21	4.0%	24°C	7.8	水溫較低，流速快，比鄰養殖場排出之廢水流量和養分來源穩定。部分區域無法照到光。有海葵附著，海葵多附著在水溝側壁和可照光處。
	11.04	4.0%	24°C	7.8	
	03.10	4.5%	24°C	7.9	
瀉湖區	10.21	3.9%	28°C	8.3	水深約 50cm，流速慢。2020 年時有大量羽毛蕨藻，但今年此區沒有發現海葵。
	11.04	3.6%	26°C	8.4	
	03.10	4.1%	28°C	8.6	
出海口區	10.21	3.6%	26°C	7.8	水深 20~50cm，水位較以往低、流速慢，且藻類、魚類數量不若以往多，也無海葵。
	11.04	3.5%	25°C	7.9	
	03.10	4.3%	27°C	7.7	

1. 水溝區



水溝裡有海葵!



3. 出海口



2. 瀉湖區

研究方法

白化趨勢值 =
實驗後RGB平均值 / 實驗前RGB平均值

1. 水溝採集



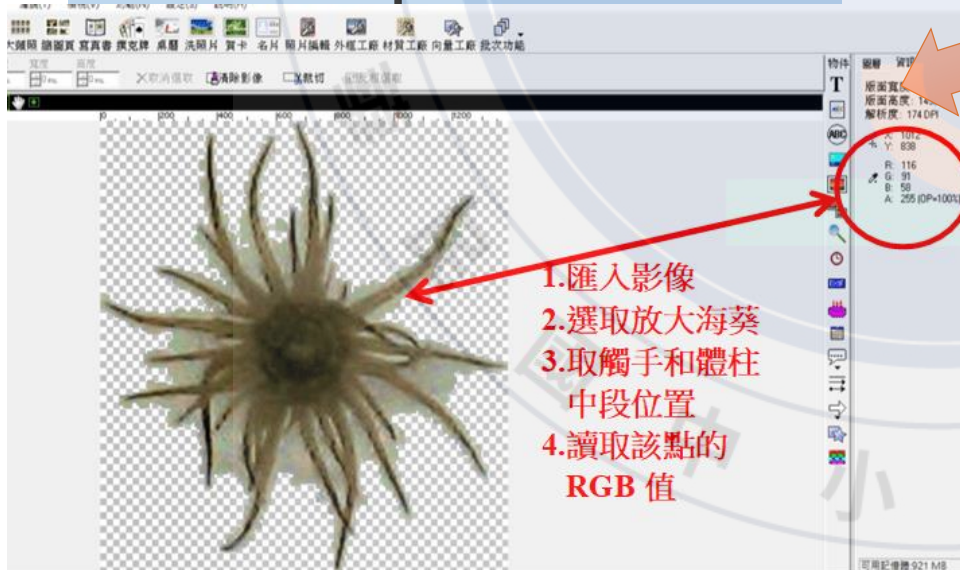
2. 實驗室飼養



3. 變因實驗



以Photocap讀體色RGB值

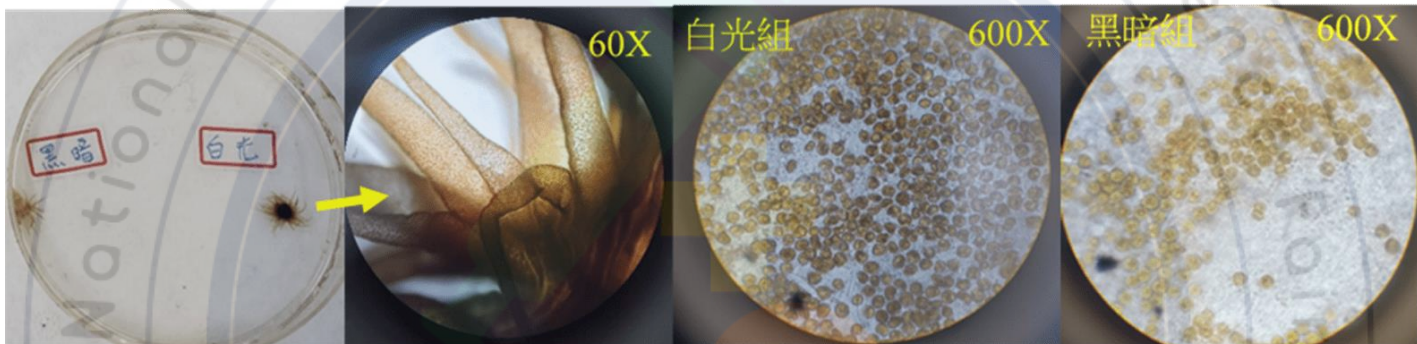


以定距和光照拍攝照片



研究一、光對海葵的影響

組別	個體	觸手白化值	體柱白化值	白化趨勢	死亡	生殖
黑暗組	小	1.78	5.90	明顯	有	無
白光組	大	1.23	0.94	和緩	無	有



照片 18 海葵觸手及其內蟲黃藻顯微觀察

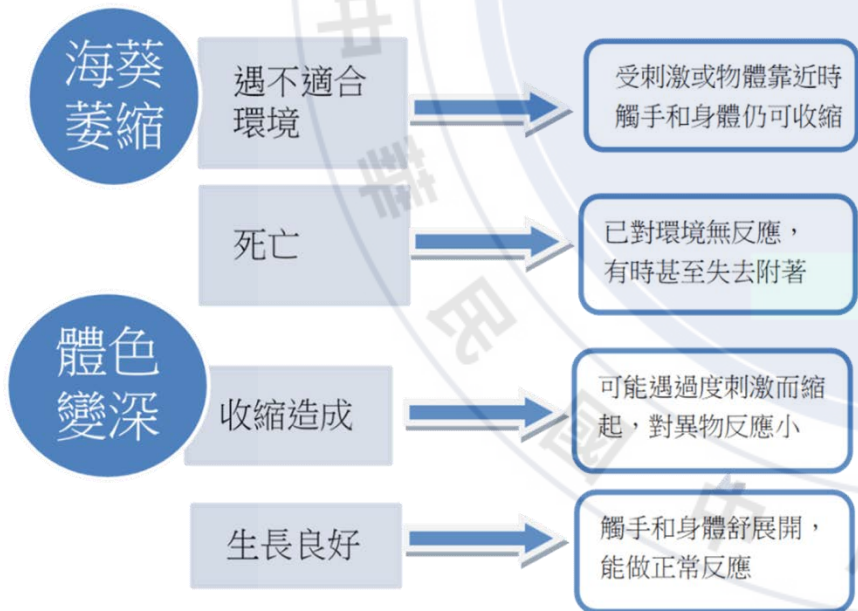
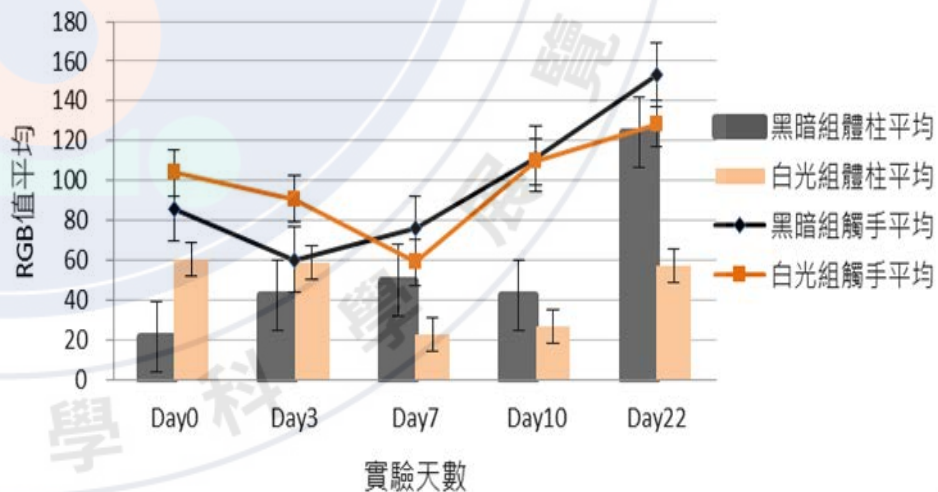


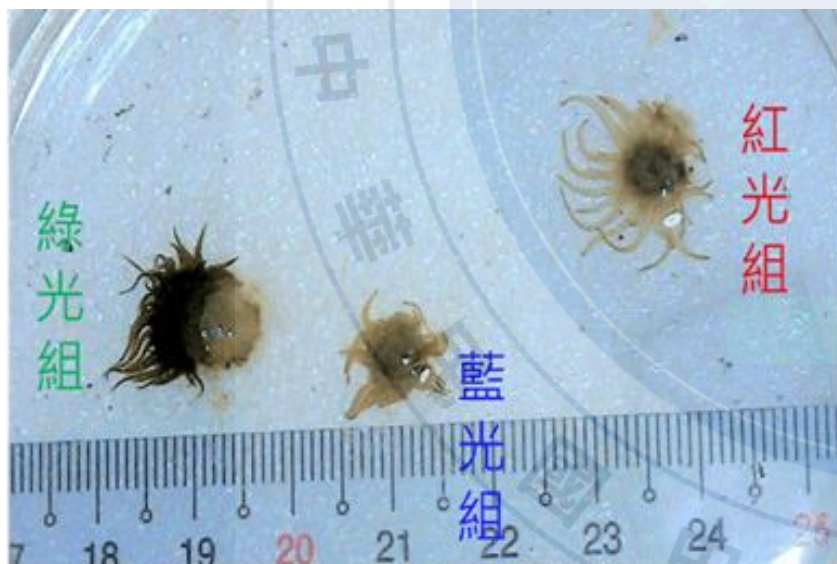
圖2 黑暗組和白光組RGB值變化



研究二、色光對海葵體色影響

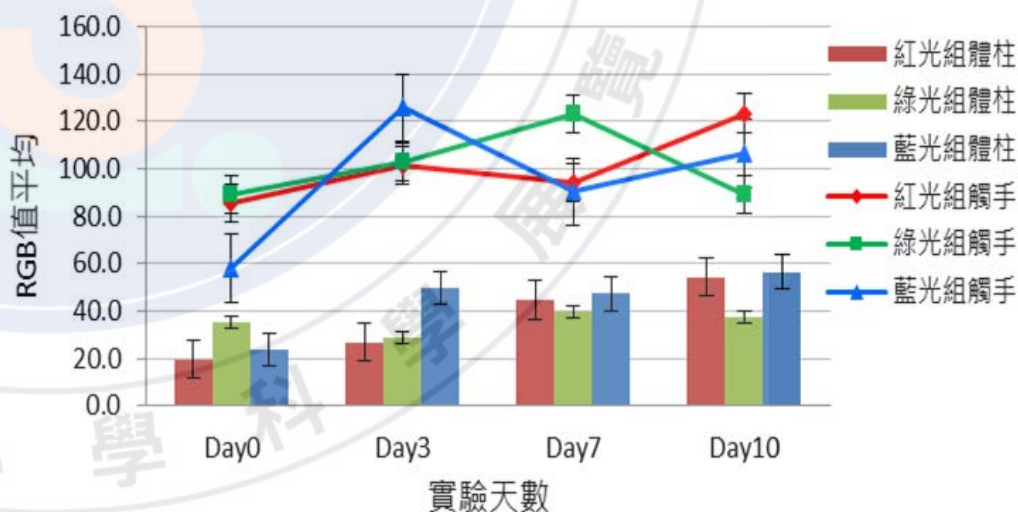
組別	個體	觸手白化值	體柱白化值	白化趨勢	死亡	生殖
紅光組	較大	1.45	2.78	較顯著	有	無
綠光組	較大	1.00	1.07	較緩和	無	無
藍光組	最小	1.84	2.38	較顯著	有	無

1. 白化趨勢值紅=藍光 > 綠光，照綠光白化情形相較為緩和。
2. R值 > G值 > B值。體色藍色的比例降低。



照片 20 不同光色的海葵比較

圖3 色光對海葵觸手和本體體色之影響



色光影響

照紅光的組別觸手體色藍色的比例降低。

照綠光組海葵RGB值最後是下降，體色藍色比例下降。

照藍光組海葵顏色和紅光組一樣逐漸變淺

白光組較單色光佳，照度對海葵的影響大於色光!

圖4紅光組海葵觸手RGB值變化

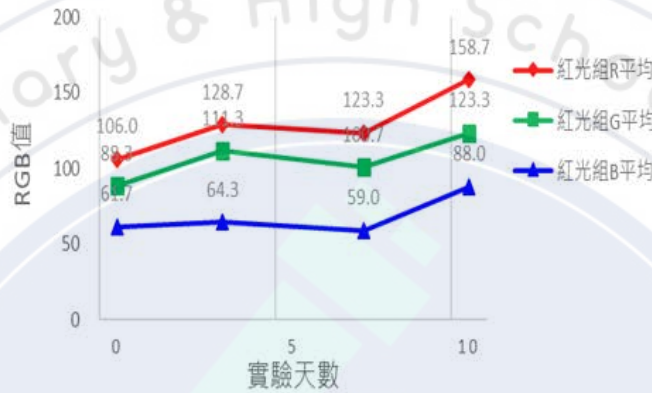


圖5紅光組海葵體柱RGB值變化

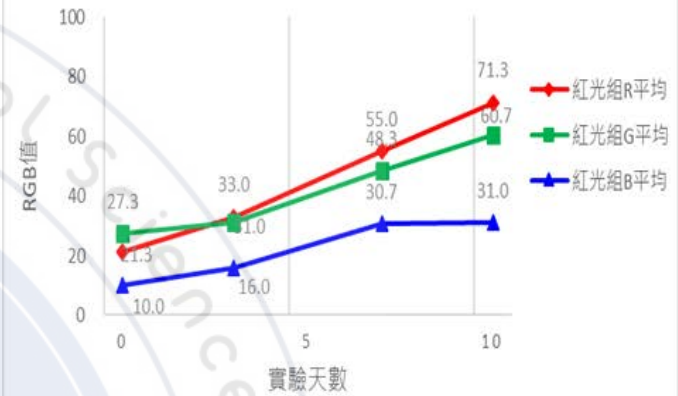


圖6照綠光組觸手RGB值變化

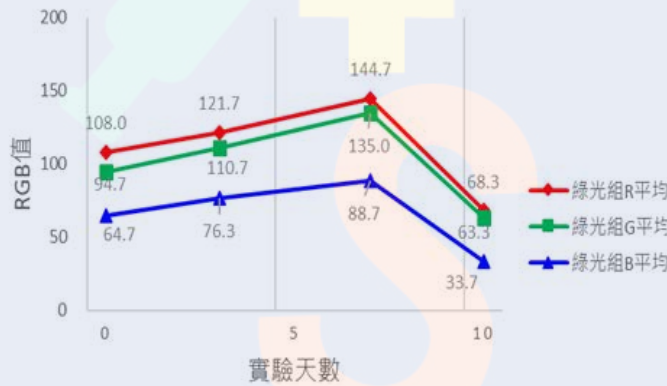


圖7綠光組海葵體柱RGB值變化

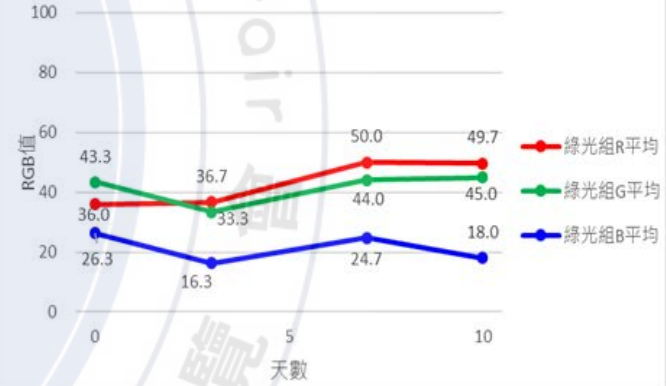


圖8 藍光組觸手RGB值變化

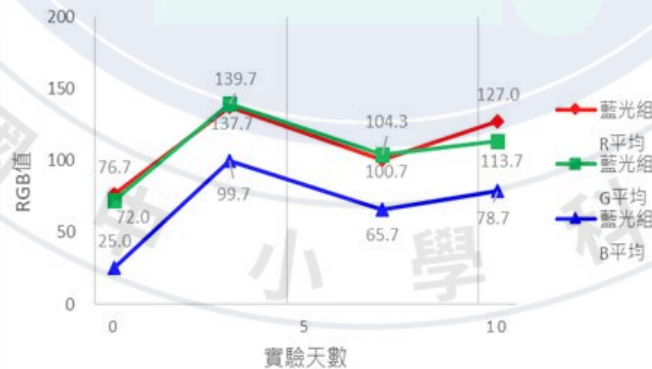
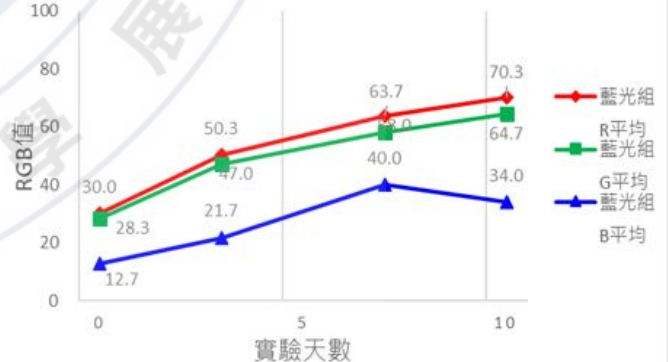
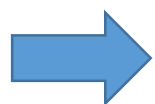
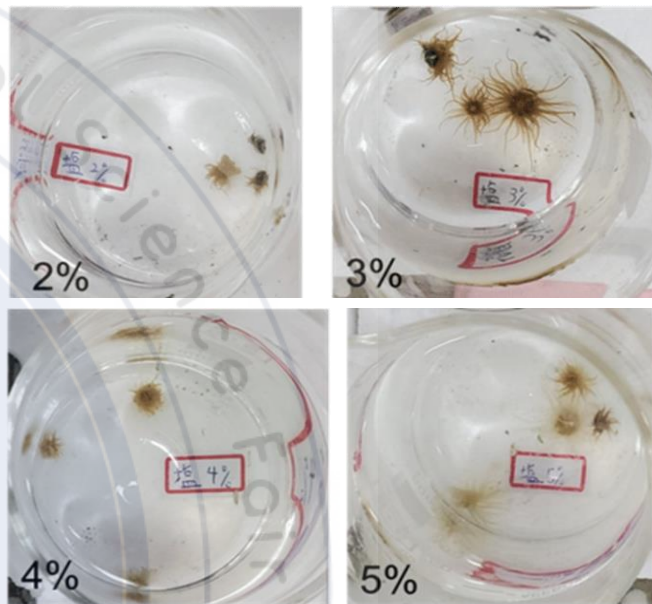


圖9 藍光組體柱RGB值變化



研究三：鹽度海葵體色影響

組別	生存	體色	觸手白化值	體柱白化值	藻類多寡/種類
2%	×	變黑死亡	0.90	1.17	死亡時釋出褐藻
3%	✓	較深	0.71	1.52	3%~6%差異不大/褐藻
4%	✓	中	1.08	1.50	
5%	✓	中	0.81	1.02	
6%	✓	中	僅剩一隻存活		



3%~6%皆為海葵可生存的範圍，
3%濃度中海葵體色較深。

圖10 不同鹽度海葵觸手顏色變化

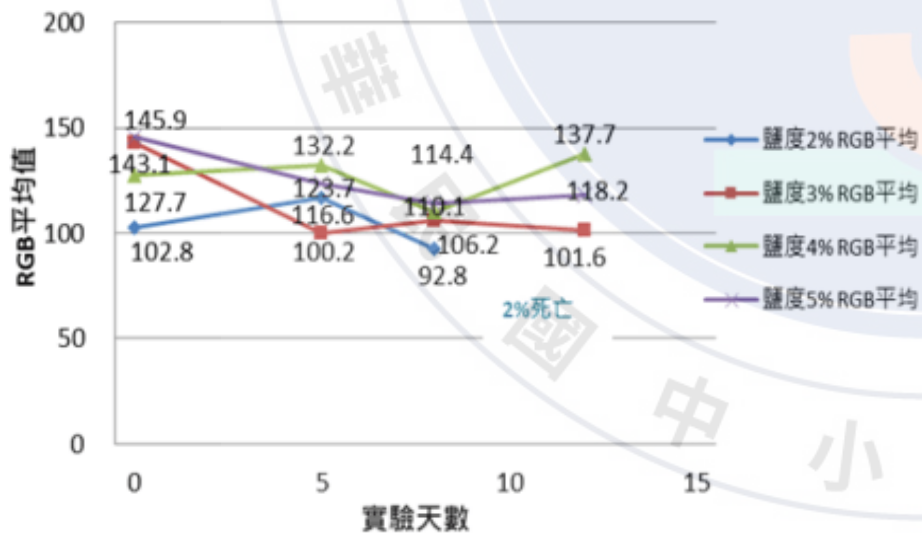
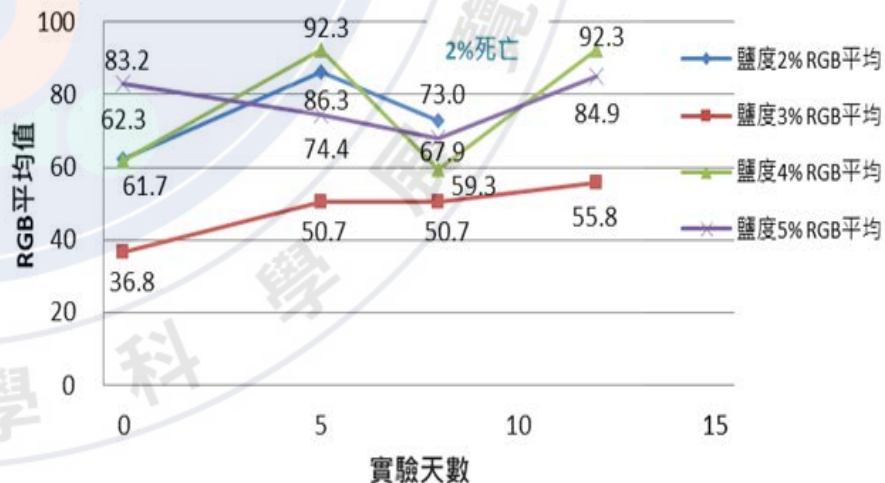
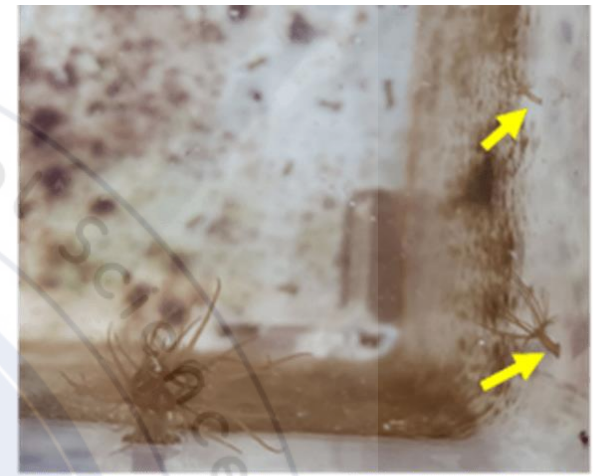


圖11 不同鹽度海葵體柱顏色變化



研究四:溫度對海葵體色影響

組別	個體	觸手白化值	體柱白化值	白化趨勢	死亡	生殖
21°C	小	2.2	2.8	較顯著	無	有
26°C	大	1.0	1.2	較緩和	無	有
31°C	大	1.3	1.2	較緩和	有	有



照片 25 31°C 缸中的小海葵

1. 低溫組白化趨勢較高溫組明顯。
2. 不同溫度有不同的優勢藻類。

圖12 不同溫度海葵觸手體色變化

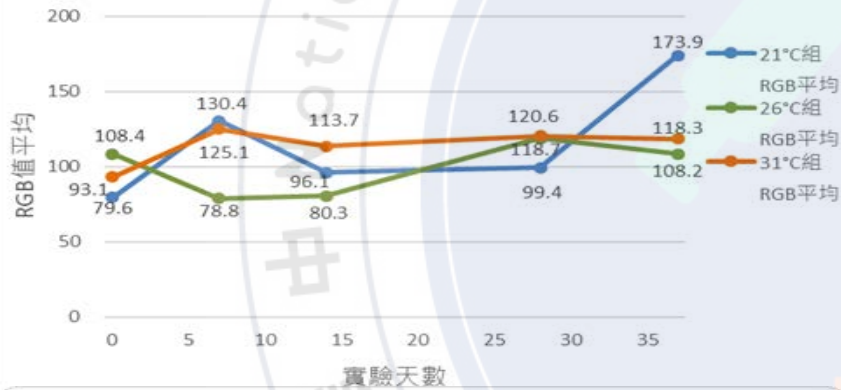
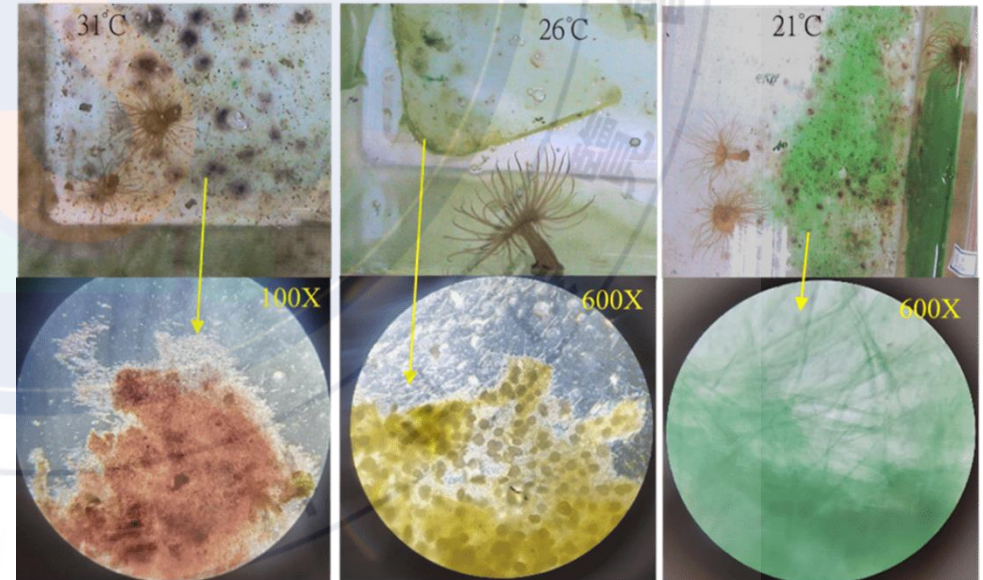
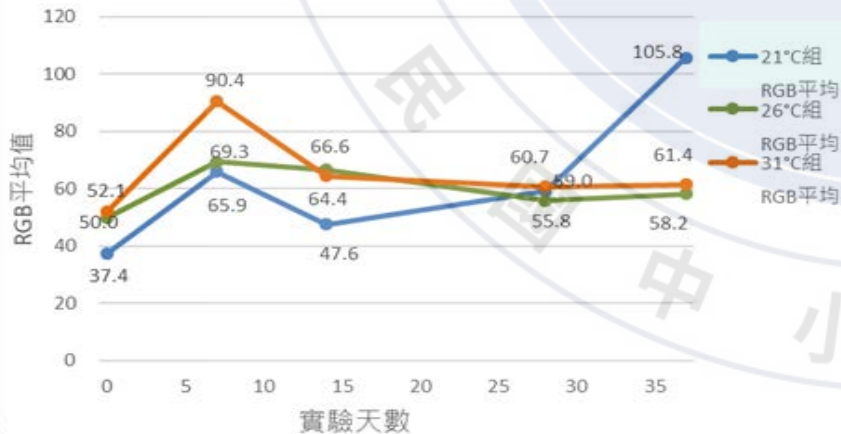


圖13 不同溫度海葵本體體色變化



照片 28 不同溫度飼養之海葵體色與環境藻類顏色差異

溫度耐受範圍：12 °C ~ 37 °C

在低溫恆溫槽裡個體萎縮



以高溫恆溫水浴槽飼養

12°C低溫處理一天後
回復室溫飼養一週後



38°C高溫處理一天後
回復室溫飼養一週



照片26 極端低溫高溫處理後之海葵

經極端低溫12°C和極端高溫38°C處理一天後，回歸室溫飼養一周，12°C生長情形佳，38°C變黑萎縮已死亡

研究五: 二氧化碳(pH)對海葵體色影響

組別	個體	觸手白化值	體柱白化值	白化趨勢	死亡	生殖
pH5	萎縮	2.95	5.93	非常顯著	有	無
pH6	小	1.35	1.38	較緩和	有	無
pH7	大	1.19	1.35	較緩和	無	有

以氣泡水機打CO₂至1000mL海水中



打CO₂至冒泡飽和



測量pH值

➔ 白化趨勢值:pH5 > pH6 > pH7.6

圖14 不同CO₂濃度(pH)海葵觸手顏色變化

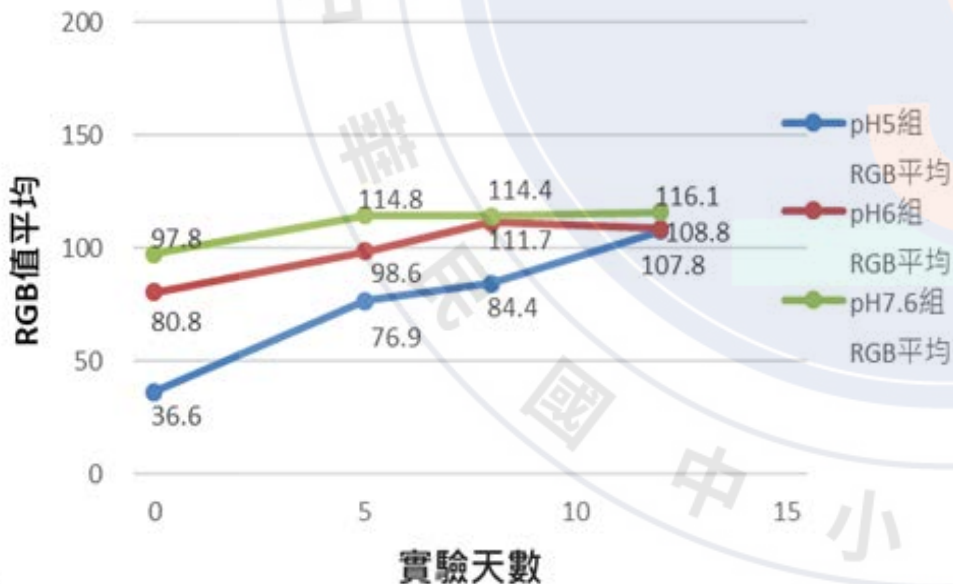
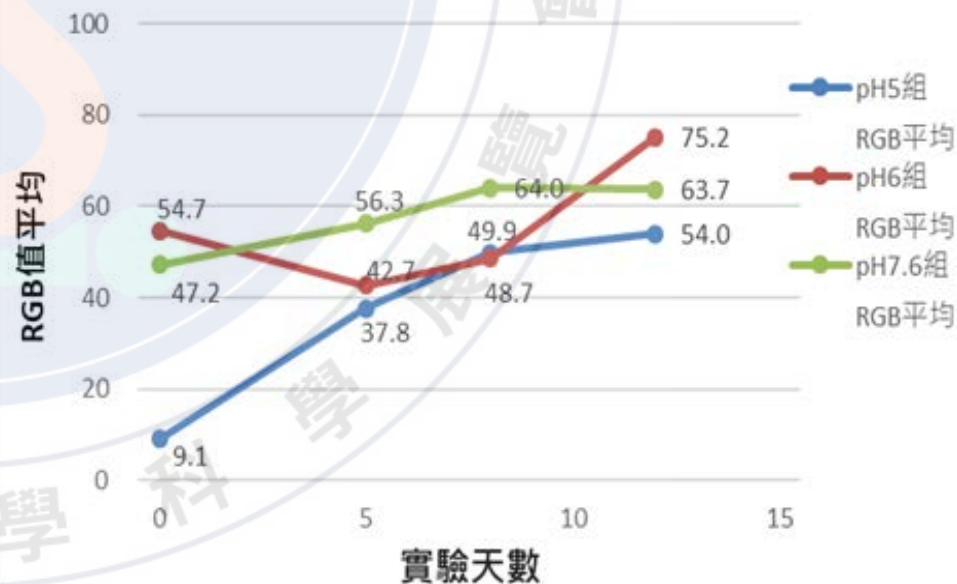


圖15 不同CO₂濃度(pH)海葵體柱顏色變化

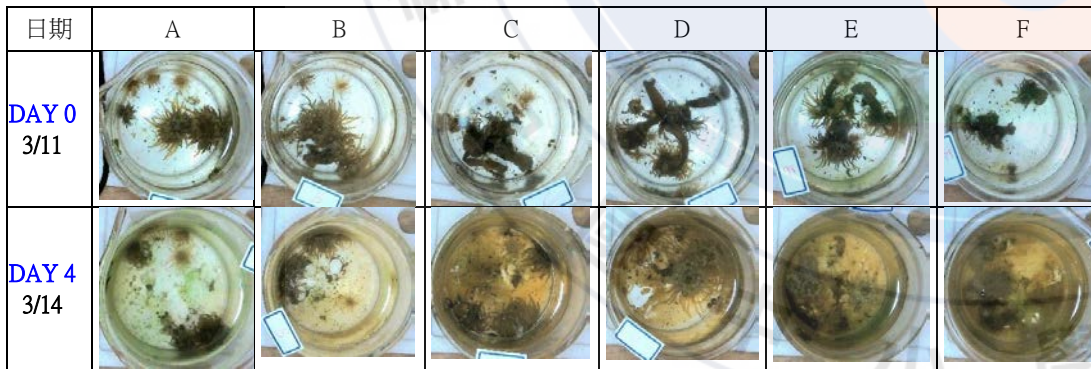
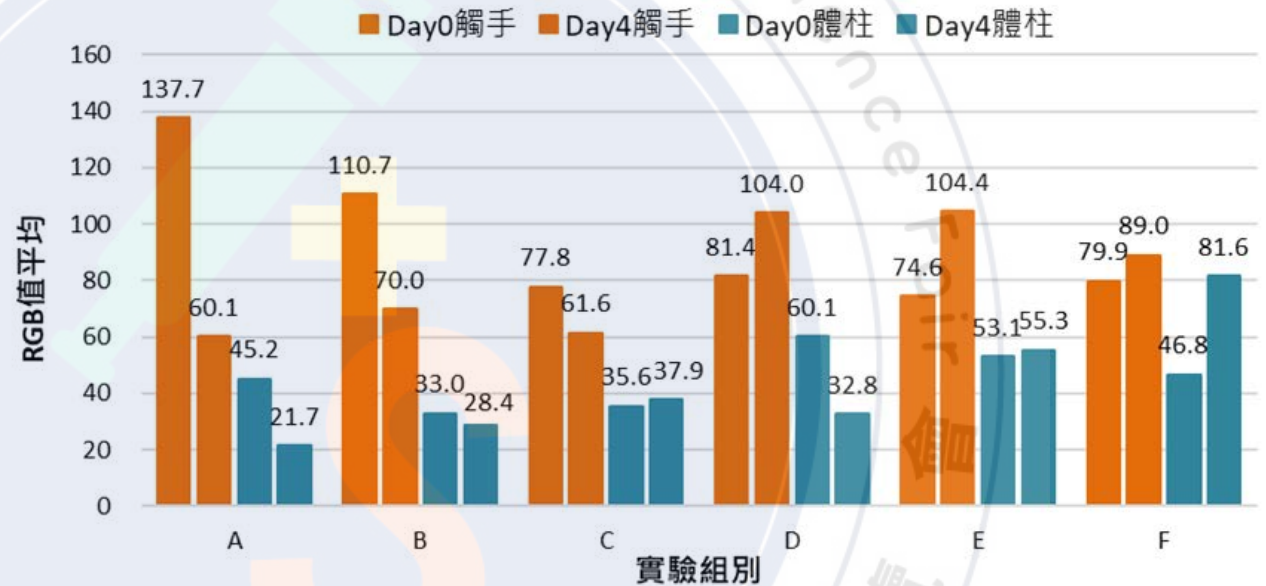


二氧化碳(pH)

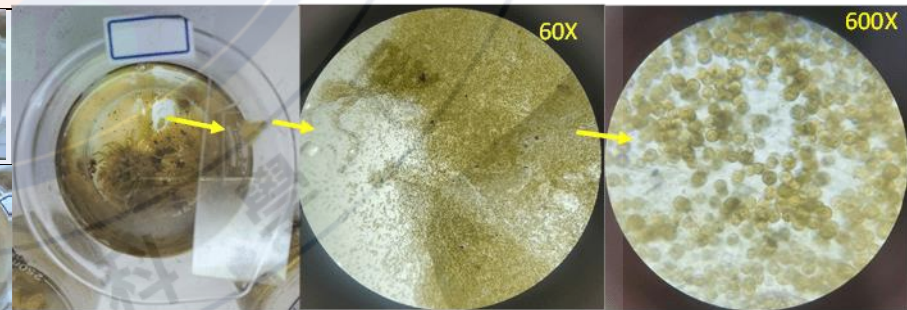
1. A~C組RGB值下降，D~F組上升，pH值小於6.4時不適用於海葵生存。
2. 酸化的海水對海葵影響甚快，蟲黃藻很快離開海葵釋出至環境中。

組別	A	B	C	D	E	F
飽和CO ₂ 海水(mL)	0	20	40	50	70	90
海水(mL)	250	230	210	200	180	160
pH值	8.64	7.27	6.72	6.41	6.23	6.02

圖16 不同濃度CO₂海水(pH)對海葵體色影響



照片 30 不同 CO₂ 濃度(pH)A~F 組之海葵體色變化

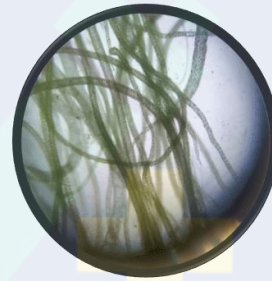
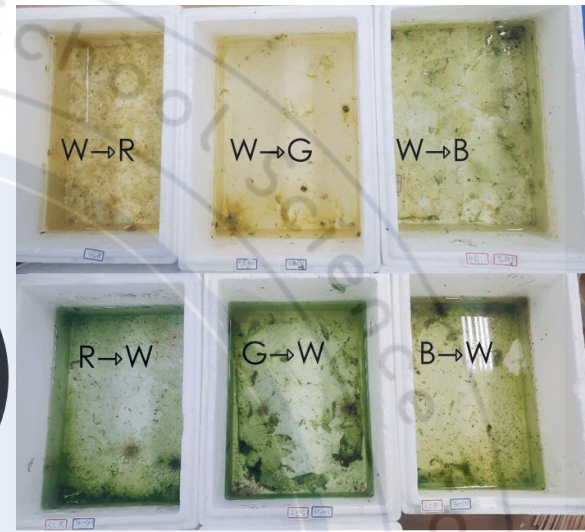


照片 32 D 組燒杯底部褐色藻類顯微觀察

未來展望

Q1: 不同色光、溫度下環境
藻類的消長是否影響海
葵體內蟲黃藻共生關係?

Q2: 如何即時監控海洋生物
與環境?



及時挽救逐漸白
化的海葵和環境