

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030307

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

學校名稱：臺北市立北投國民中學

作者： 國三 徐 昕 國三 吳禹嫻 國三 高珮瑄	指導老師： 侯怡如
---	------------------

關鍵詞：萼柱珊瑚、共生藻、珊瑚白化

作品名稱：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

摘要

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。

壹、研究動機

台灣是個漂亮的海島，神秘的藍色海洋對我們而言，有致命的吸引力。每週在東北角鼻頭進行野外實查，全副潛水裝備潛入大海。使我們的驚奇的是，台灣的珊瑚礁原來是如此的亮眼！藻類、魚群、無脊椎動物...任何一個從我們眼中捕捉到的，說是最美的畫面也不為過。因此，我們亟為關心與家鄉海洋有關的議題。珊瑚和共生藻有著密不可分的關係，幾乎他們的一生，都不能缺少彼此。兩者關係的「親密程度」是我們好奇之處，想起老師提及全球氣候變遷致使海溫失去往常穩定，所造成的珊瑚白化（康軒版第二冊4-5動物界、5-3生物間的交互作用）到底是危機還是轉機？於是做了以下的觀察實驗和研究，想要更深入的去了解萼柱珊瑚的全貌。

貳、研究目的

本研究朝下述五個研究方面進行探討：

- 一、了解萼柱珊瑚的外形特徵、內部構造與分類
- 二、了解萼柱珊瑚體內共生藻（zooxanthellae）的外形特徵與分類
- 三、萼柱珊瑚的型態、分布及其生存策略與其他珊瑚之比較
- 四、探究萼柱珊瑚與共生藻類的共生關係
- 五、探討海水溫與萼柱珊瑚中共生藻密度的關係

參、研究設備及器材

一、實驗材料：

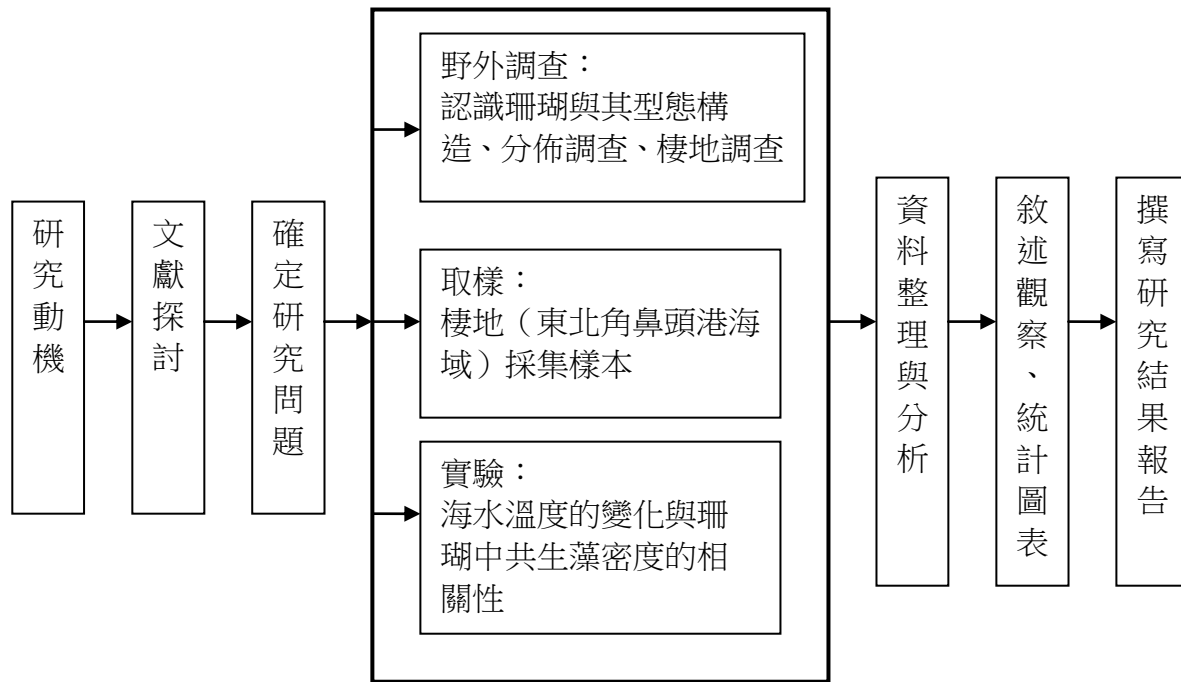
萼柱珊瑚、共生藻、過濾海水、鋁箔紙、丙酮、碎冰(樣本離開冰櫃時用)

二、實驗器材：

浮潛裝備、編號牌、油性筆、防水紙(做標籤)、夾鍊袋、斜口鉗、冰桶、-20°C 冰櫃、大試管(10mL)、小試管(2.0mL)、氣瓶、噴槍、微量分注器、高速離心機、高速震盪機、相機、細胞計數器、載玻片、蓋玻片、複式顯微鏡、計算機、計數器、量杯

肆、研究過程與方法

本研究開始於2010年5月至2010年12月，歷經收集並研讀相關文獻報告、多次研討擬定研究計畫，經由野外棲地實地觀察、取樣、實驗、資料整理與數據分析，呈現研究結果。圖一為研究流程架構。



圖一、研究流程架構

一、萼柱珊瑚的外形特徵、內部構造與分類

(一)實驗目的：認識珊瑚，觀察其構造、外形與分類。

(二)實驗材料：實驗珊瑚取自台灣東北角鼻頭港（北緯25.121719，東經121.916786）的萼柱珊瑚。採集樣本的時間範圍：July 12, 2010 - August 31, 2010。

(三)棲地調查：台灣東北角鼻頭港海域，採樣的地方約1-3米深，屬於淺水域。

(四)觀察萼柱珊瑚的外形特徵、內部構造：觀察健康珊瑚群體、開始白化的珊瑚群體，利用複式顯微鏡觀察並拍攝珊瑚蟲近照。

(五)觀察並紀錄萼柱珊瑚的生活史

二、萼柱珊瑚體內共生藻（zooxanthellae）的外形特徵與分類

(一)文獻探討：收集資料以了解共生藻類的分類地位。

(二)觀察活動：觀察共生藻的外形特徵：利用複式顯微鏡觀察並拍攝共生藻近照。

三、萼柱珊瑚的型態、分布及其生存策略與其他珊瑚之比較

(一)選用萼柱珊瑚的原因：常見、廣泛分布、優勢種、對環境敏感、已長時期進行科學研究（做很久了）、是實驗室水缸實驗的材料，視為珊瑚中的白老鼠。

(二)鼻頭海域中萼柱珊瑚與其他珊瑚的分布調查：

1.萼柱珊瑚在東北角鼻頭的分布調查

2.比較萼柱珊瑚與其他珊瑚的型態差異，進而探究其生存策略形成的原理。

四、萼柱珊瑚與共生藻類的共生關係

(一)文獻探討：收集資料以了解影響珊瑚與共生藻共生關係的人類活動因子、自然干擾因子。

(二)觀察活動：認識並比較健康（正常）珊瑚群體和白化珊瑚群體的外型差異。

五、水溫與萼柱珊瑚中共生藻密度的關係

(一)實驗目的：藉由珊瑚內共生藻密度的變化，探討海水溫度對珊瑚之影響。

(二)珊瑚採樣作業以及採樣的保存與運送：

1.隨機選樣四株碩大珊瑚群體(編號BT1~BT4)。首次採集時，在採集的珊瑚目標上標記(定位)，利於辨別。

2.利用斜口鉗剪取珊瑚分枝(約2~3公分)，各裝進有著對應編號的夾鏈袋Ex: BT1、BT2、BT3、BT4共4個分枝。(袋中必須裝有海水，保濕、不照光以保存樣本)。

3.上岸後採立即分裝保存方式處理。即進行現場樣品分裝作業，

立即將分枝以鋁箔包裹，收於冰桶中帶回實驗室以進行樣品之分析。實驗室中，存放於-20°C 低溫保存。確保所採之樣本具代表性。

4.需特別注意樣本運抵實驗室的時間，以確保樣本皆能達到保存期限要求。

(三)分離共生藻

- 1.利用噴槍將珊瑚內共生藻沖洗下來並收集至夾鏈袋中。搖晃袋子使共生藻與海水混合液體集中於夾鏈袋底部。用剪刀在夾鏈袋底部的剪開一個小口將袋內液體倒入試管中，並把每一個大試管以海水加至4mL。(用微量分注器(pipet)將海水注入)
- 2.操作過程中，需暫時將大試管放入冰桶中保存。重複以上步驟完成每一組之後，放入高速離心機(CENTRIFUGE)，設定6000轉/分，10分鐘。
- 3.取出在離心機中的大試管會發現共生藻沉在底部中。把上層的海水倒掉，再重新加入4mL的乾淨海水。將大試管移至高速震盪機(VORTEX-GENIE)使共生藻與海水充分混合。重複6~9步驟總共4次。
- 4.最後一次加水至6mL，使共生藻與海水充分混合。混合後的液體，每一個大試管要個別分裝到三個小試管中(每小試管中裝入1mL)。
- 5.各小試管放入離心機，設定10000轉/分，5分鐘。倒掉上層的廢液後，置於-20°C冰櫃保存，實驗時再取出。
- 6.圖二為實驗流程



利用高壓氣瓶的噴槍噴下共生藻

底部剪開一小口

pipet

暫時保存於碎冰中的共生藻

小試管與試管盒

小試管與試管盒

大試管

將試管加海水至 4mL

CENTRIFUGE

VORTEX-GENIE

各種劑量的 pipet

以 pipet 取過濾海水

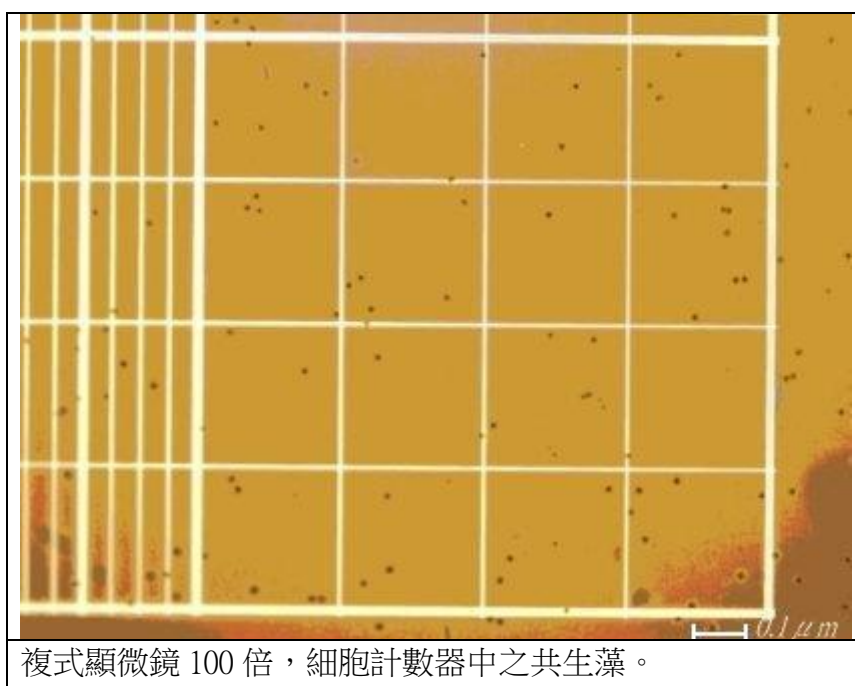
圖二、分離共生藻的實驗流程

(四)共生藻密度計算

- 1.冰櫃中取出共生藻，分別在三個小試管加入 1mL 海水並充分搖

晃、混合。

- 2.以微量分注器抽取 80uL 注入細胞計數器中，置於顯微鏡(100X)觀看，1個九宮格為1單位，每次計數共有8個九宮格，每個試管共計數3次。算出每個九宮格之中共生藻數量。圖三為每個九宮格之中的共生藻。
- 3.將那塊珊瑚的骨骼以鋁箔紙包覆，以測量珊瑚表面積，注意只能剛剛好包覆一層。
- 4.以電子秤秤出包覆每塊珊瑚的鋁箔紙的重量，並另外測量邊長分別為1cm、2cm、3cm、4cm、5cm的正方形鋁箔的重量，就可以算出每塊珊瑚的表面積。
- 5.計數器數出來的共生藻的數量先平均，再除以他的表面積，即是密度。



圖三、每個九宮格之中的共生藻

(五)樣本採集地之溫度測定

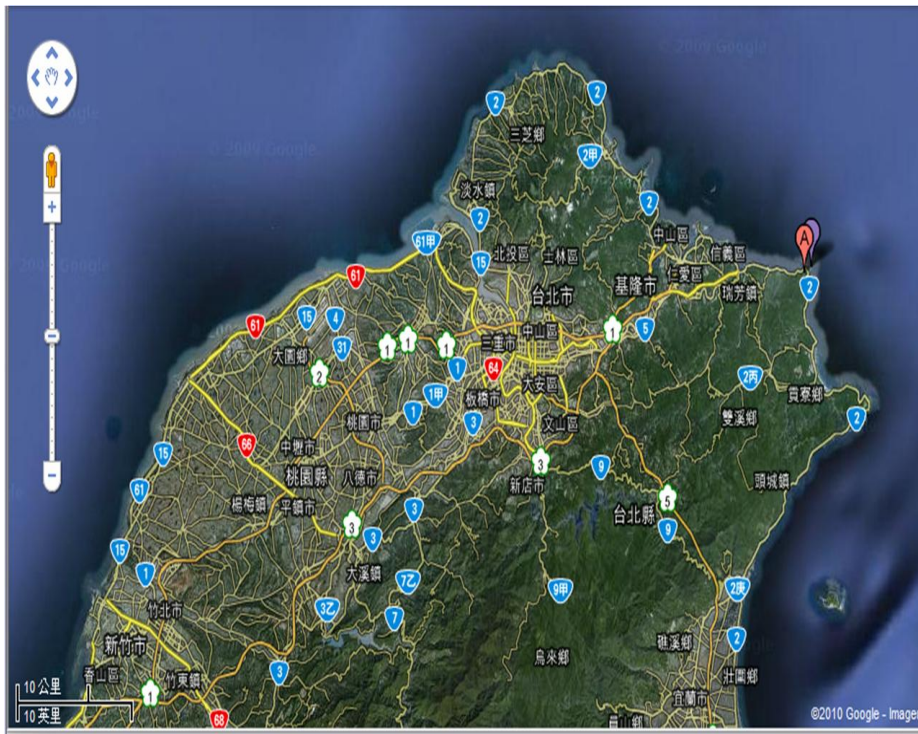
- 1.在採集珊瑚樣本旁的岩石上釘入電子溫度計。
- 2.定期清除附著在溫度計上面的藻類，以減少數據的誤差。

伍、研究結果

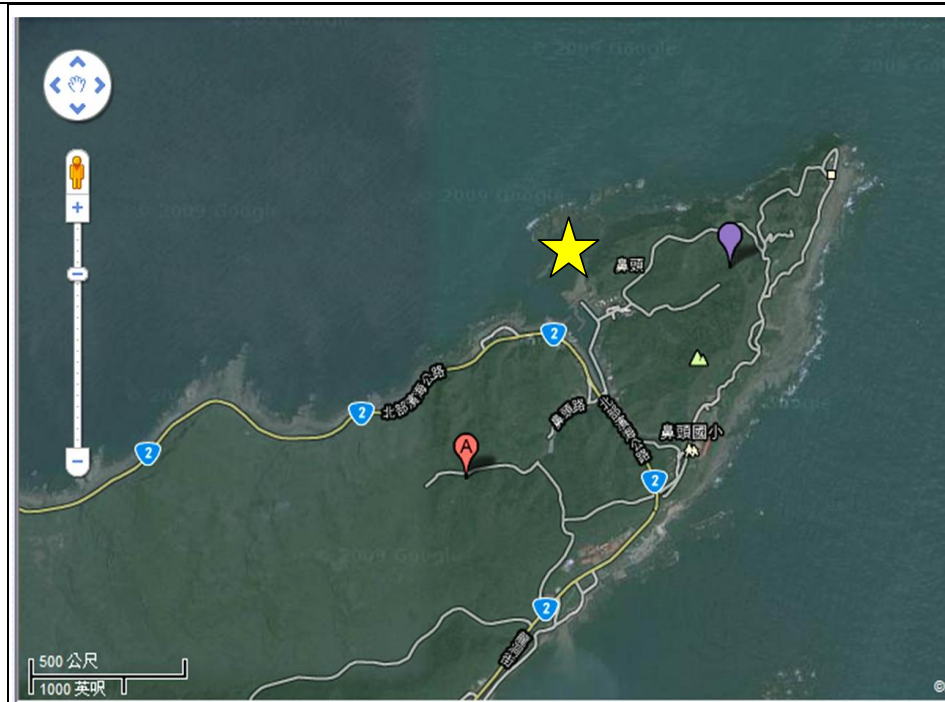
一、萼柱珊瑚的外形特徵、內部構造與分類

(一)棲地調查

- 1.珊瑚常發現於：熱帶大陸及島嶼的沿海岸水深 10 公尺以內的淺水海域。多棲息於缺乏營養鹽的水域中，受到海水溫度、鹽度、紫外線輻射、混濁度（或透光度）、溶氧量、營養鹽…等環境因子影響。
- 2.採集地點：東北角鼻頭港（北緯 25.121719,東經 121.916786），水深約 1~3 米深，屬於淺水域。圖四為珊瑚的採集地點。
- 3.鼻頭港附近沒有河流入海。可控制因河流攜帶泥沙、污染物、無機營養鹽…等人類活動因子對珊瑚白化的影響。
- 4.觀察、採集珊瑚以潛水方式進行，每週採集，以斜口鉗剪取珊瑚分枝，分別置於夾鏈袋。
- 5.圖五為採樣的實地環境照片及採樣的保存。



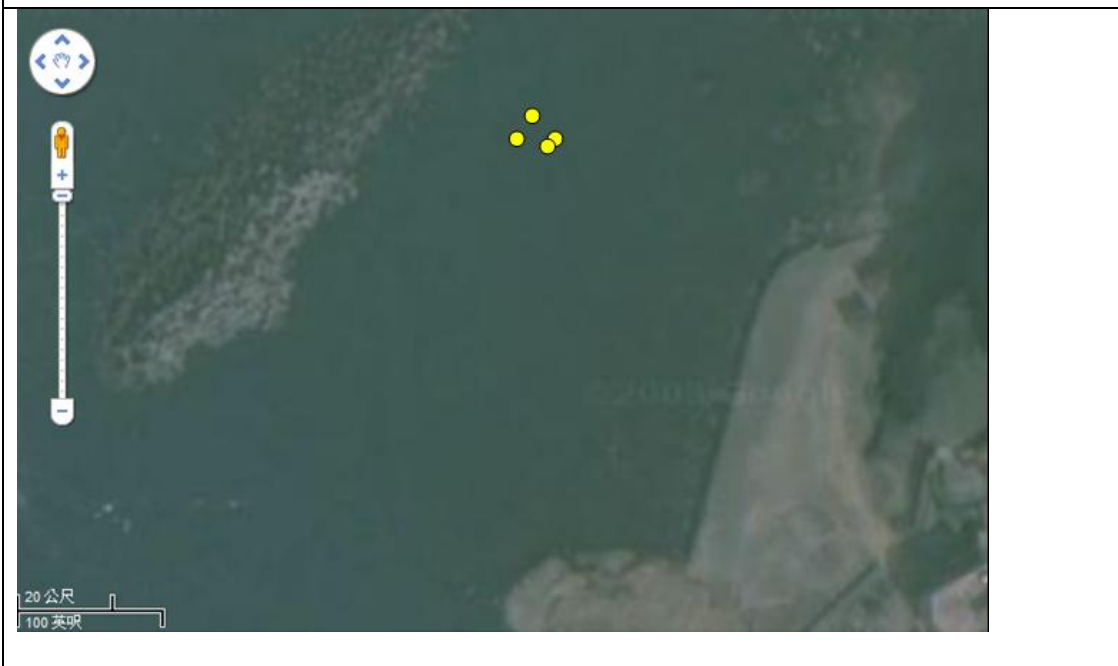
採集地點：東北角鼻頭港的 GOOGLE 衛星地圖



★ 星號為採集地點。




採集標地(黃色標記代表珊瑚所在)



採集標地：黃色標記代表珊瑚所在。

圖四、珊瑚的採集地點

	
採樣的地點環境	採樣的地點環境
	
上岸處理樣本	將珊瑚樣本裝入夾鏈袋

圖五、採樣的實地環境照片及採樣的保存

(二) 萼柱珊瑚的分類

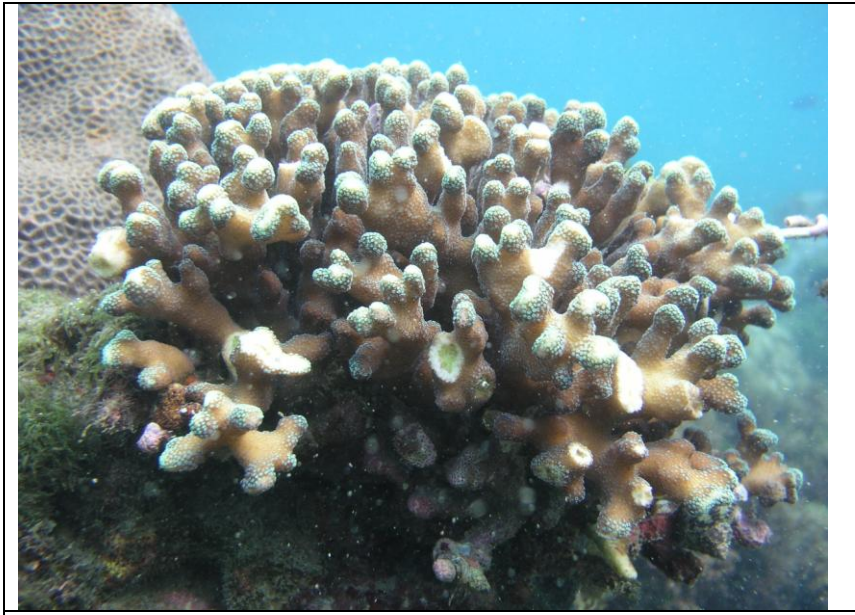
1. 萼柱珊瑚 (*Stylophora pistillata*) 的分類地位，見表一。

表一、萼柱珊瑚的分類

界	動物界
門	刺絲胞動物門
綱	珊瑚蟲綱
目	石珊瑚目
科	鹿角珊瑚科
屬	柱珊瑚屬
種	萼柱珊瑚種 <i>Stylophora pistillata</i>

(三) 萼柱珊瑚的外形特徵、內部構造

1. 實地浮潛觀察萼柱珊瑚：珊瑚群體的分枝頂端圓鈍為圓柱形，在同一群體內分枝的大小相當一致。群體呈棕褐或是淡褐色。分枝的型態和生長的环境有關，海流較強環境中分枝粗短而密集；海流較弱環境中的分枝較細長且排列疏鬆。實地浮潛觀察時，發現其中幾株珊瑚已逐漸白化。圖六~圖十為萼柱珊瑚照片。



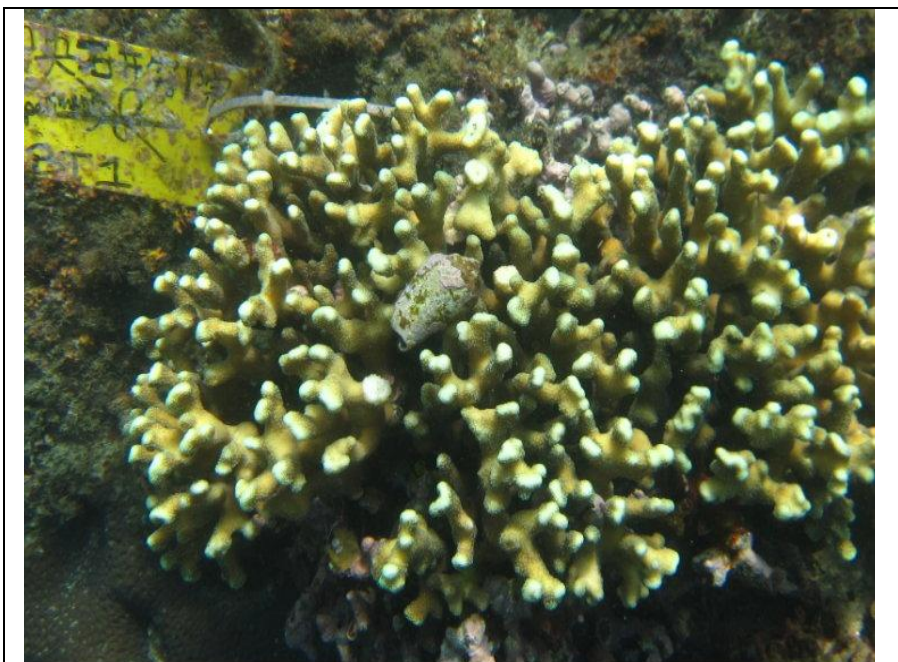
珊瑚在海底的生活環境。
珊瑚樣本剪下之後的痕跡清楚可見。橫截面呈圓形。

圖六



珊瑚在海底的生活環境。

圖七



健康的珊瑚群體，可以看到翠綠顏色。
左上角為綁上的標示牌。

圖八



健康的珊瑚群體，可以看到翠綠顏色。

圖九



已經開始白化的珊瑚群體，可以看出珊瑚的末端呈現白色。紅圈標示出珊瑚樣本剪下之後的痕跡。

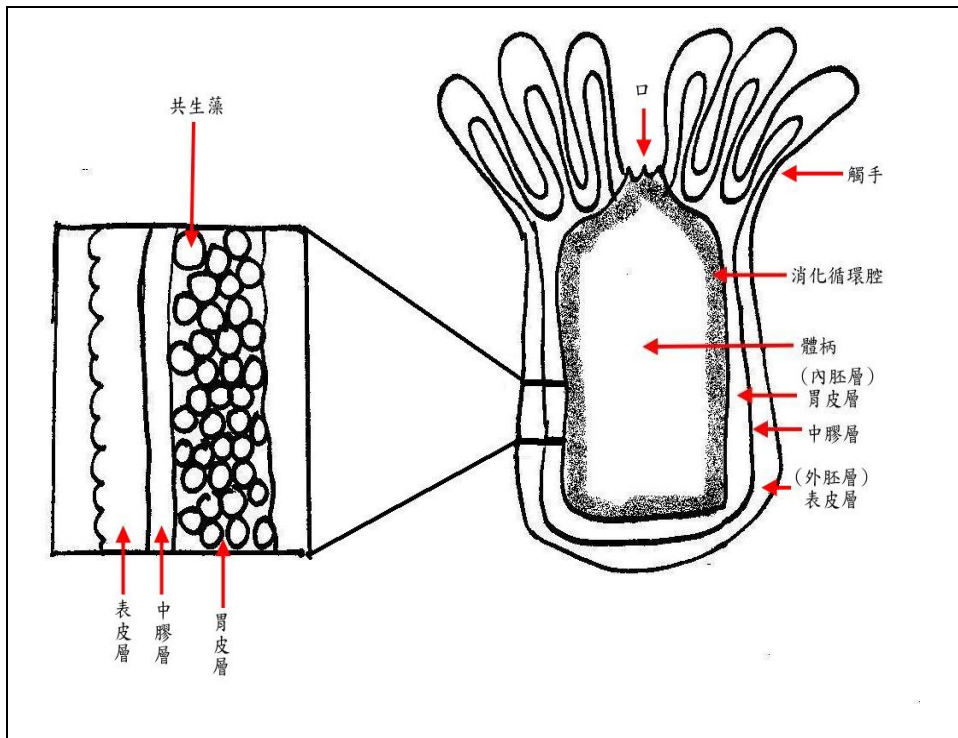
圖十

2.不同種類的珊瑚蟲大小不同，從 1 mm到>10 cm都有。珊瑚蟲身體的表皮層為兩個胚層組成。外面一層稱為外胚層的細胞層是表皮層，裡面稱為內胚層的細胞層是胃皮層。共生藻居住在珊瑚蟲的內胚層中。圖十一為複式顯微鏡（100×）下殘留的珊瑚蟲遺體（近照）。圖十二為珊瑚蟲內部構造的示意圖。圖十三、圖十四為萼柱珊瑚上的珊瑚蟲。

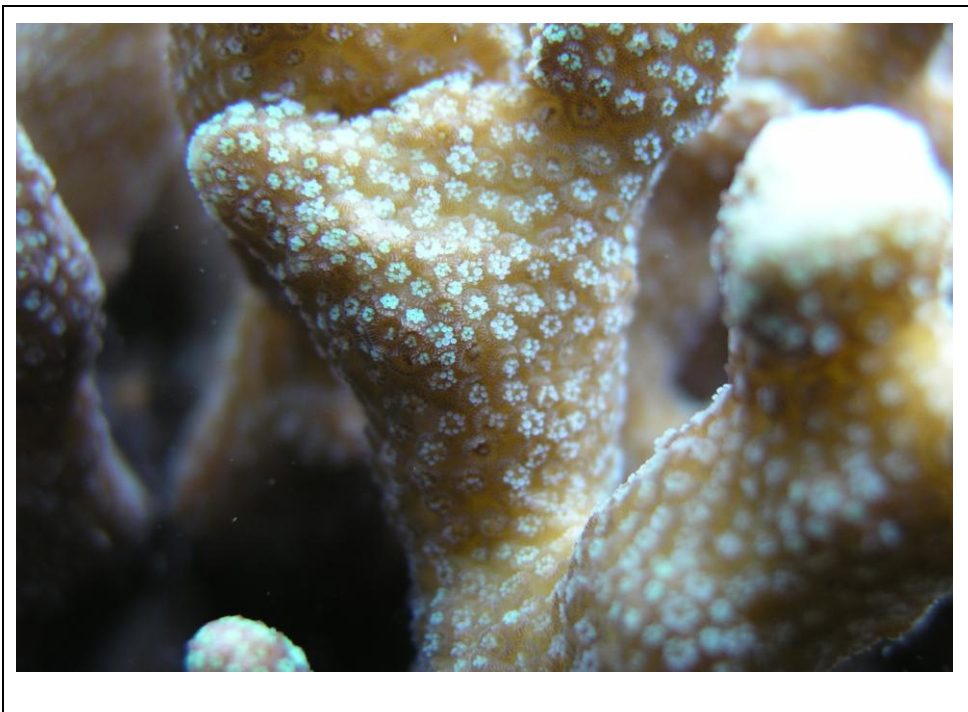


複式顯微鏡（100×）下殘留的珊瑚蟲遺體。

圖十一、複式顯微鏡下珊瑚蟲遺體



圖十二、珊瑚蟲內部構造示意圖



圖十三、萼柱珊瑚上的珊瑚蟲近照



圖十四、萼柱珊瑚上的珊瑚蟲近照

(四)珊瑚生殖型式之比較（孵育型的珊瑚、排放型的珊瑚之比較）

1. 孵育型的珊瑚：卵在體內受精，發育成成熟幼苗（就是小孩）後，釋出體外，自己找地方附著、生長。本研究實驗材料：萼柱珊瑚是孵育型的珊瑚。全年每個月會排放一次幼苗。
2. 排放型的珊瑚：珊瑚排出卵子和精子，分別與同種類不同群體的卵子和精子在海中受精。受精卵發育成幼蟲，隨著海流在適宜岩床著床。不同珊瑚的生活週期其實是差不多的，只是產卵的時間點不一樣。大多珊瑚在每年春末約農曆 3~4 月（媽祖生日）產卵。
3. 著床後進入珊瑚蟲的無性生殖階段。出芽（無性）生殖複製生出一群一模一樣的珊瑚蟲，形成珊瑚群體。群居在礁石表層不到一公分，下面是碳酸鈣外骨骼（J.E.N. Veron, 1993）。

二、萼柱珊瑚體內共生藻（zooxanthellae）的外形特徵與分類

(一)共生藻的分類

1. 共生於珊瑚蟲內胚層的單細胞藻類稱為共生藻(zooxanthellae)，

或稱為蟲黃藻(Jaap, W. C. 1985)。表二為蟲黃藻的分類。

- 2.蟲黃藻是屬名，指同一「屬」內範圍廣泛、許多不同種的微細藻類。現階段科學家仍努力界定、釐清蟲黃藻的分類，平常我們都是用屬名（蟲黃藻）來稱呼共生藻，其實混了很多種在裡面。
- 3.目前利用分子生物學的方法，將蟲黃藻分為 A、B、C、D、E、F、G、H、I，共 9 種。其中有 5 種和珊瑚共生，分別是 A、B、C、D、F。珊瑚最多只能跟兩種共生藻共生，但有的珊瑚只能跟一種共生藻共生。
- 4.其中 C 包含的更細種類最多，C1 是 C 的更細的種類，C1 是最普遍的一種。本研究的萼柱珊瑚在台灣只含 C1 這一種共生藻。

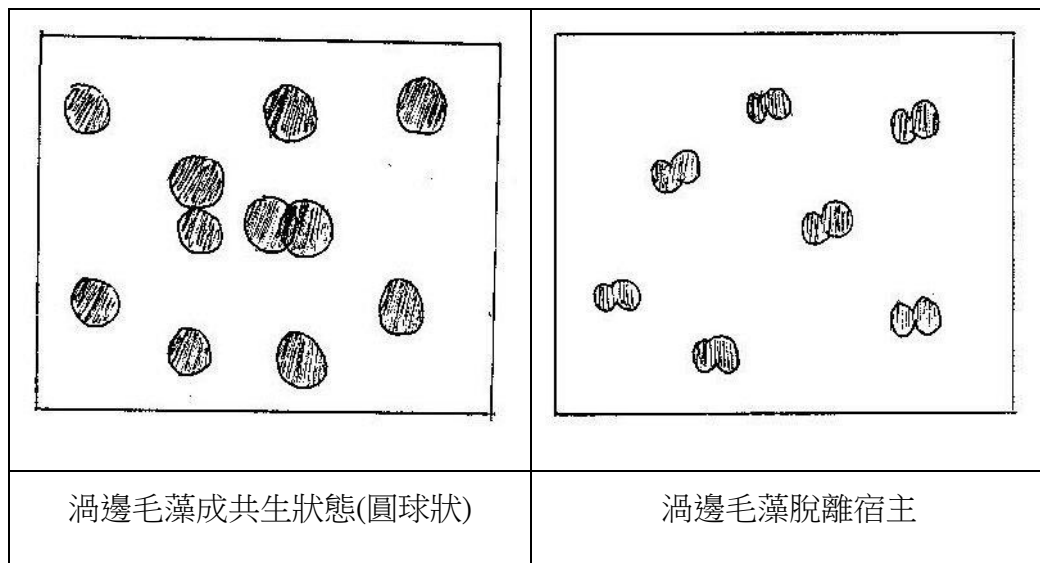
表二、蟲黃藻的分類地位

界	原生動物界 Protozoa
門	甲藻門 Dinophyta
綱	橫列甲藻綱 Dinophyceae
目	Blastodinales
科	Blastodiniaceae
屬	蟲黃藻屬 Symbiodinium
種	<i>Symbiodinium bermudense</i>
	<i>Symbiodinium cariborum</i>
	<i>Symbiodinium corculorum</i>
	<i>Symbiodinium goreauii</i>
	<i>Symbiodinium kawagutii</i>
	<i>Symbiodinium meandrinae</i>
	<i>Symbiodinium microadriaticum</i>
	<i>Symbiodinium pilosum</i>
	<i>Symbiodinium pulchrorum</i>

取自 <http://data.gbif.org/species/browse/taxon/11326937>

(二)共生藻的外形特徵

- 1.屬於渦鞭毛藻的一種。共生藻長得都一樣，外形為球狀，此形態有利於與熱帶珊瑚和其他許多海洋生物有互惠互利的關係。繁殖方式為簡單的細胞分裂。不同種類的共生藻功能性不同。
- 2.當共生藻於珊瑚體內時，是圓形球狀，可是當離開珊瑚時，二根鞭毛會出現，成為典型的渦鞭毛藻型態，藉由鞭毛的擺動自由活動(J.E.N. Veron ,2008)。圖十五為共生藻的示意圖。



圖十五、共生藻的示意圖

三、萼柱珊瑚的型態、分布及其生存策略與其他珊瑚之比較

- (一)珊瑚蟲的子代有兩種獲得共生藻的方法。一是直接從海水中取得，這種方法稱為「水平傳染」，珊瑚過濾海水中的共生藻，將腸腔內的共生藻傳遞到內胚層中。不同棲息環境的各珊瑚品種，可以選擇適合牠自己需求的共生藻類（耐輻射、耐熱...）；第二種方法便是直接由親代傳染給子代，所以親代和子代的共生藻種類一樣，稱為「垂直傳染」。本研究的萼柱珊瑚獲得共生藻的方式為「垂直傳染」。
- (二)兩種方法各有利弊，藉由水平傳染可以自己找到需要的共生藻類，所以當環境有所改變時，珊瑚蟲可以獲得幫助珊瑚適應環境的藻類；反倒是垂直傳染，如果環境改變，珊瑚的適應能力相對的弱。

萼柱珊瑚每個月會排放一次幼苗（就是小孩），這些幼苗一出生就帶有共生藻。

(三)刺絲胞動物的珊瑚蟲，獲得營養和能量的方式有二種。一是利用觸手及其上的刺絲胞捕食浮游動物，二是透過共生藻進行光合作用的養分供給珊瑚。單靠攝食無法維持正常發育並繁殖後代的，必須依賴與珊瑚互惠共存的共生藻提供足夠養分，獲取能量。萼柱珊瑚的攝食能力不是很好，共生藻供應的養分更為重要。

(四)萼柱珊瑚與其他珊瑚的型態比較：

1.不論是樹枝狀（分枝狀）、平展狀（桌面狀）、花瓣狀…等各種不同珊瑚造型，光照越好的部位發育越好。向光面會向上、向周圍擴展，以利競爭陽光（珊瑚如同植物）。因此，即使是薄片狀、平展狀（桌面狀）…等水平擴展的珊瑚種類，其背光的一面即使有充裕的空間，珊瑚蟲也不向這方向發育，它們只沿著見光的方向擴展，這都是由於共生藻在有光條件下充分進行光合作用。

2.同種珊瑚不會搶地盤。不同種類的珊瑚為了競爭陽光或是附著的底部，共生不同的共生藻類，有不同的生存策略（天擇的結果）。

(1) 當陽光不足時，團狀珊瑚品種不用爭取陽光照射面積，可以經由水平傳染找到自己需要的共生藻類（選擇比較不需要陽光的共生藻類），而呈現小型團狀的珊瑚造型。圖十六為團狀珊瑚。圖十七為盤狀珊瑚。

(2) 萼柱珊瑚蟲的共生藻類直接由親代傳染給子代，所以親代和子代的共生藻種類一樣。珊瑚群聚呈現3度立體空間群聚。圖十八為柱狀珊瑚。



圖十六出自 <http://ago.gcaa.org.tw/issue/nuclear/news/corapic1.htm> 網站

四、萼柱珊瑚與共生藻類的共生關係

(一)共生藻生活於珊瑚蟲體內，使珊瑚實際上成為藻類與珊瑚本身共同的組合體。藻類利用珊瑚呼吸產生的二氧化碳、水和陽光進行光合作用，提供珊瑚蟲碳水化合物養分為能量來源、分泌碳酸鈣幫助珊瑚外骨骼的生長、並協助調節從珊瑚蟲處取得的光合作用必須的 CO_2 、N、P 等物質（珊瑚蟲的代謝產物）的循環。珊瑚蟲提供共生藻生活於受保護的環境，以及穩定的二氧化碳供應。

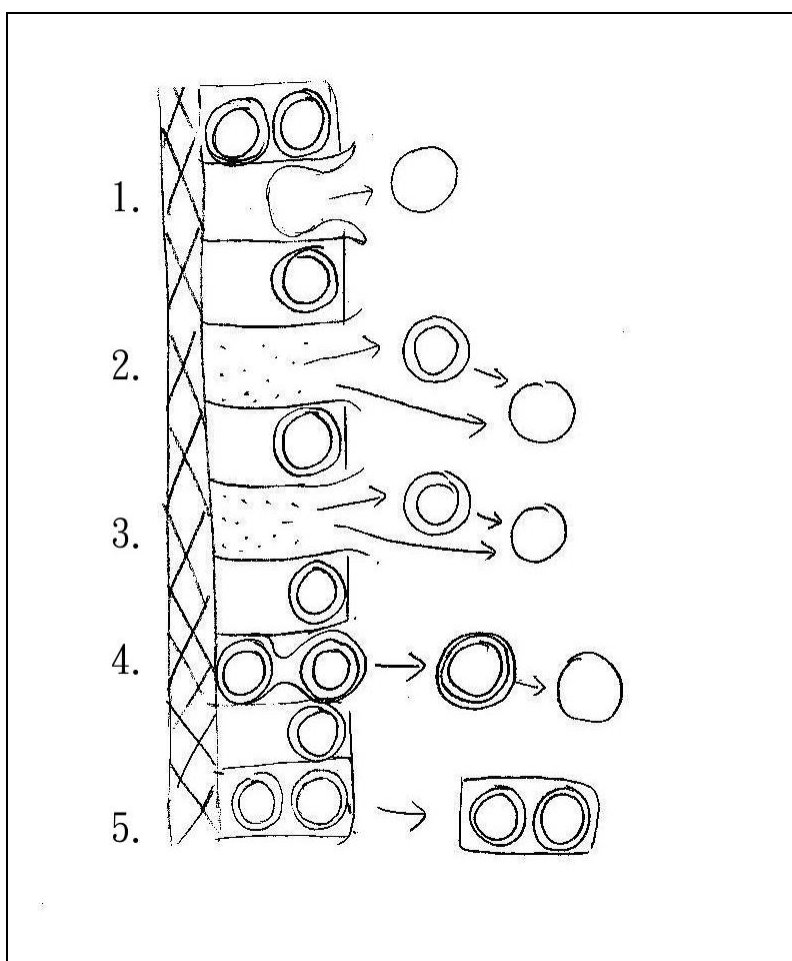
(二)珊瑚與共生藻共生關係的建立與瓦解

1.建立：共生關係的建立分為水平感染與垂直感染。水平感染是珊瑚由海中抓取漂流的共生藻進入其身體中開始共生關係，所以與之共生的共生藻品種有變化的可能，在氣候變遷的時代有利於存活；而垂直感染是珊瑚內共生藻是由其父母傳下來的，只會有父母體內的共生藻品種，相較於水平感染的珊瑚，在環境變遷時較不易適應。

2.瓦解：共生關係的瓦解主要與環境的變化有關，當環境改變，共生藻在珊瑚體內的數量就會有所變化，不適應時，共生關係即會瓦解。瓦解方式有下列幾種：

(1) 珊瑚蟲無法自共生藻獲取足夠養分，於是由口直接排出共生藻類(Jaap, W. C., 1985)。圖十九為珊瑚排出共生藻類的示意圖。

- (2) 共生藻因不適應週遭環境的變化而衰敗、失去色素。
 - (3) 共生藻自行脫離原珊瑚母體，重新尋找宿主。
 - (4) 珊瑚本身可以透過調節細胞組織的代謝廢物量以控制生活在體內藻類的數量。
 - (5) 共生藻機能衰敗珊瑚無法獲得足夠養份，於是消化共生藻。
- 3.白化並不是死亡，而是共生藻脫離珊瑚組織，顯示出下面的白色骨架（珊瑚分泌的碳酸鈣本色）透出來。如果造成珊瑚白化的壓力不是很嚴重或是白化壓力即時減緩，受影響的珊瑚通常能在數週或數月之間，恢復體內共生藻的密度。如果狀況持續緊張，長期的共生藻損失，白化的情形持續嚴重，無法恢復共生藻密度，最終珊瑚就會死亡(Jason Buchheim, 1998)。



圖十九、共生關係瓦解示意圖

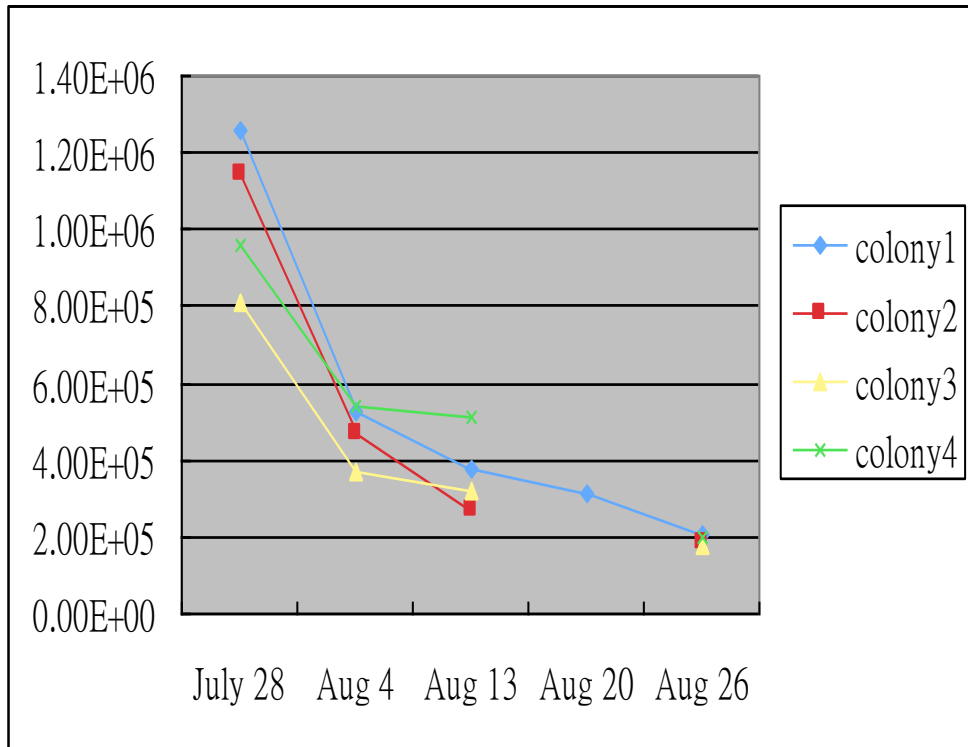
五、水溫與萼柱珊瑚中共生藻密度的關係

(一)實驗結果顯示：

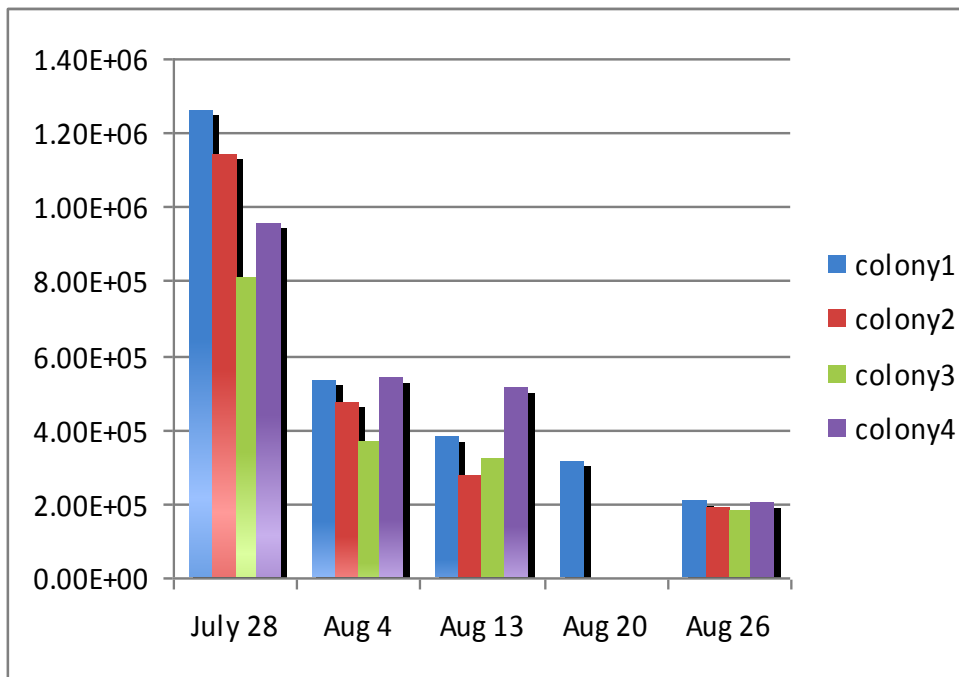
- 1.珊瑚體內共生藻密度數值的大小，因珊瑚種類不同以及棲地地點不同而異。如何判定珊瑚是否白化？舉例來說：健康的珊瑚樣本其體內共生藻密度若為 $10^6 / \text{c m}^2$ ，經過一段時間之後，數值變成為 $10^5 / \text{c m}^2$ 或是 $10^4 / \text{c m}^2$ 時，判定珊瑚不健康了；同一珊瑚的情況下，共生藻密度值為 $10^3 \sim 10^2 / \text{c m}^2$ ，此時的珊瑚可稱之為白化。通常，我們以 $1.66 \times 10^5 / \text{c m}^2$ 作為判斷珊瑚健康與否的標準值。本研究中共生藻密度測量實驗的結果整理見表三。圖二十為共生藻密度變化折線圖。圖二十一為共生藻密度變化長條圖。
- 2.大部分的珊瑚體內共生藻密度約為 $1-5 \times 10^6 / \text{c m}^2$ ，當珊瑚白化時，通常會失去 60-90%的共生藻（Glynn, 1983）。
- 3.圖二十二為採樣期間海水溫度變化。海水溫度變化配合共生藻密度變化得知：短時間內海水溫度降低，或是大約 1-2 週的海水溫度持續平穩上升，到超過珊瑚的適應範圍，會使珊瑚內共生藻密度下降，造成白化。
- 4.因為不同的位置、陽光、海流……同一天的 4 個樣本數據也有差異。

表三、共生藻的密度測量結果

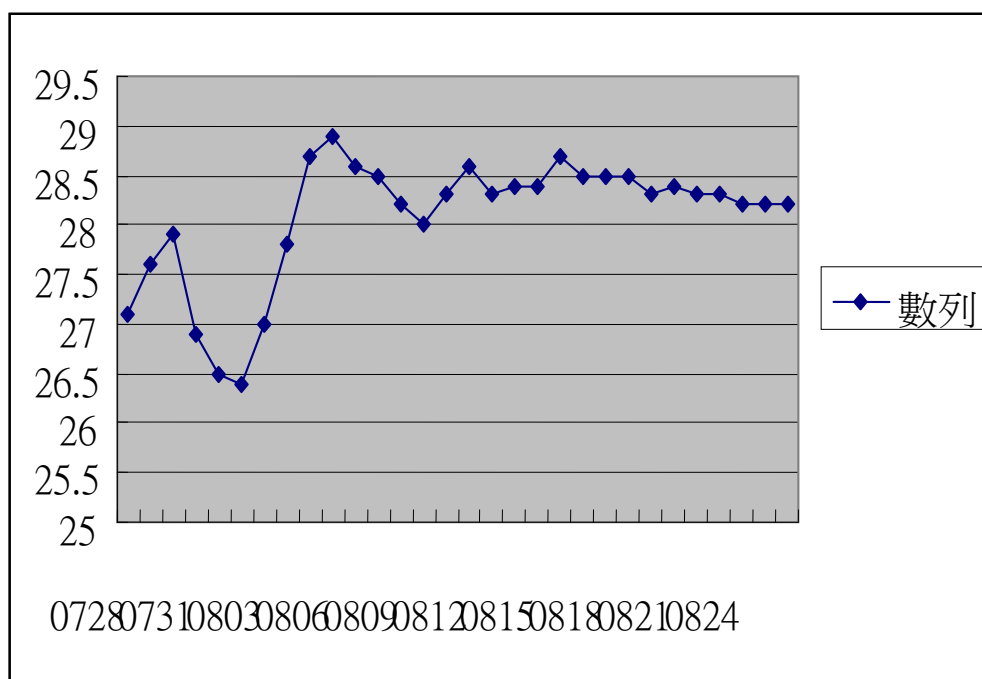
	colony1	colony2	colony3	colony4
July 28	1.26×10^6	1.14×10^6	8.09×10^5	9.56×10^5
Aug 4	5.29×10^5	4.71×10^5	3.66×10^5	5.39×10^5
Aug 13	3.76×10^5	2.72×10^5	3.21×10^5	5.12×10^5
Aug 20	3.12×10^5			
Aug 26	2.05×10^5	1.85×10^5	1.81×10^5	1.98×10^5



圖二十、共生藻密度變化折線圖



圖二十一、共生藻密度變化長條圖

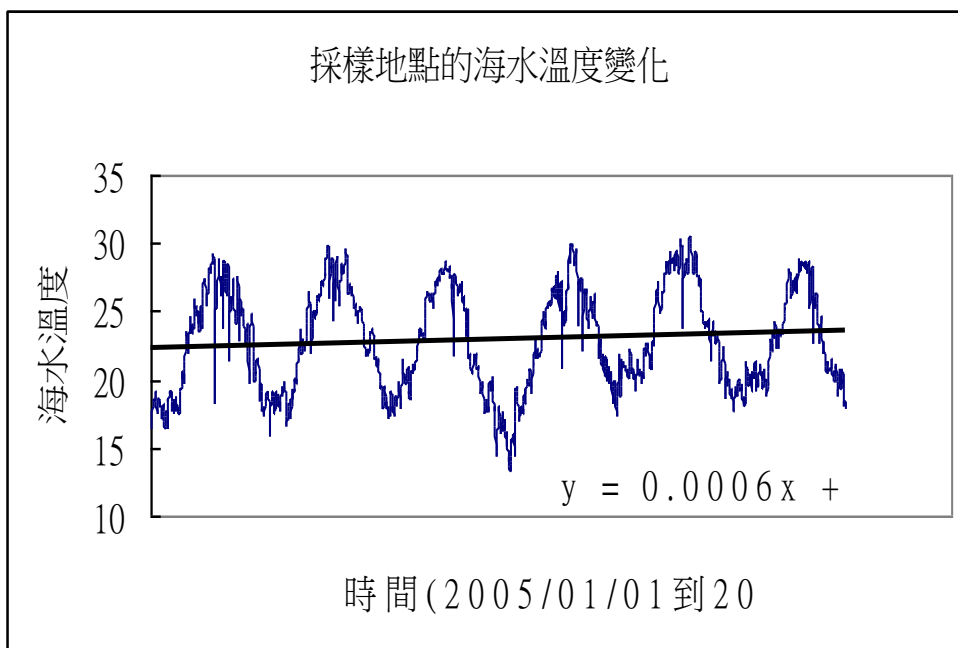


圖二十二、採樣期間海水溫度變化

陸、討論

一、人類活動因子（網具、過度捕撈、過度開發、污染物、水中沉積物、無機營養鹽）、自然干擾因子（極端海溫變化、太陽輻射、潮差、暴雨）和珊瑚內共生藻密度變化有著極大的關連。其中影響最劇烈的因子是海水溫度的極端高低溫變化。因此，水溫為本研究監測對象。

(一)圖二十三為 2005/01/01-2010/12/31 採樣地點海水溫度變化，發現：趨勢線的斜率是 0.0006， $0.0006 \times 365 = 0.219$ 數值為正值，表示每年海水溫度增加了 0.219°C 。



圖二十三、採樣地點的海水溫度變化折線圖

(二)當海水溫度劇烈變化(降低)或是持續平穩上升超過珊瑚適應範圍，共生藻離開已不適合自己的環境，密度便會減少。失去共生藻的珊瑚產生白化，或許便於日後重新獲得新的和健康的共生藻，然而，如果環境不改善，共生藻不再回來，珊瑚就會死亡。海水溫度升高成為大家關注的環境議題。

二、四面環海的台灣，海洋是我們非常重要的資源。許多脊椎、無脊椎動物以及藻類密切結合成珊瑚礁生態系，讓極度貧瘠的大海中能創造出生氣盎然的珊瑚礁，讓無數的海洋生物在此棲息、成長。此生態系又可稱之為「海洋的熱帶雨林」。我們極需瞭解它的狀態，也需要監測它的變遷，氣候變遷對珊瑚的影響可能改變珊瑚物種的分布，或是族群數量的消長。這些改變甚至造成物種組成的改變而打破現有的生態平衡。

三、從文獻資料得悉：共生藻密度低於 $1.66 \times 10^5 / \text{cm}^2$ 時，已面臨白化危機。密度數值越低，則代表該株珊瑚白化情況越嚴重。同一天的4個樣本數據也有差異。是因為不同地點的光線、海流、深度造成不同樣本之間的環境差異。

四、珊瑚體內組織共生許多可行光合作用的單細胞藻類。微細藻類之所以備受關注，其重要性除了可供給全球高等生物所需仰賴的大部分的氧氣，並可以平衡二氧化碳(造成氣候暖化的頭號殺手)的量，同時也是水中食物鏈的基礎。

五、珊瑚白化是一個未受到適當關注的普遍問題。

(一)全世界的珊瑚白化增加與面積日漸擴大。可能危及許多珊瑚礁物種的生存，危及物種多樣性。

(二)鼻頭海域的珊瑚在 2010 年 7~8 月可見白化的現象，但是並沒有完全白化，或許這對珊瑚來說會是個轉機，只要我們努力改善環境節能減碳，尚未完全白化的珊瑚依舊有可能再度恢復鮮豔的色彩。

(三)我們據此推論：氣候變遷致使全球暖化，會讓珊瑚體內共生藻密度逐漸下降，若不改善環境將導致珊瑚死亡。

六、進行此研究，我們學會：在野外(珊瑚棲地)如何保存樣本，並學習設計實驗作法，如：計數共生藻。當我們完成這個實驗時，會想要知道更多關於珊瑚的化學特性。

柒、結論

- 一、珊瑚常位於沿海，水深約 10 公尺深的淺海地帶。珊瑚是由許多珊瑚蟲聚集而成，而不同種類的珊瑚蟲會發展出不同型態的珊瑚礁。珊瑚蟲的身體是由兩胚層組成，分為外胚層和內胚層。
- 二、共生藻屬於渦邊毛藻的一種，和珊瑚有著密不可分的共生關係，他們位居於珊瑚蟲的內胚層中，與珊瑚交換產物，雙方成為互惠互利的關係。藻類利用珊瑚呼吸產生的二氧化碳、水和陽光進行光合作用，提供珊瑚蟲碳水化合物養分為能量來源，本身也從珊瑚蟲處取得的光合作用必須的 CO₂、N、P 等物質循環。
- 三、萼柱珊瑚屬於垂直感染，直接由母體提供共生藻給幼體。
- 四、當環境發生變化時，共生藻有時會自行離開珊瑚，有時會衰敗失去色素或是由珊瑚本身釋放或是消化，這樣的現象，就是造成白化的情況。
- 五、從我們的實驗數據可知道，溫度會影響珊瑚內共生藻密度。當溫度急遽變化，或是逐漸上升至珊瑚的適應範圍外，共生藻密度會大幅下降。而陷在由於全球暖化海水溫度在上升當中，我們必須好好保護環境，讓珊瑚維持美麗繽紛的色彩。
- 六、我們深刻了解要努力保護我們的環境。多認識海洋，多花時間在海洋中學習。希望未來可以使用這些資料，以幫助珊瑚礁的生存。

捌、參考資料

一、中文部份

- 1.李永適(1999)。消失中的台灣珊瑚礁著。臺北市：大地地理。
- 2.台灣石珊瑚誌 I、II。臺北市：國立台灣大學。
- 3.彭紹恩·王立雪·黃慧茹·陳啟祥(2010年1月)。珊瑚與共生藻專題報導。科學發展，445期。
- 4.許嘉閔(民96)。籬枝軸孔珊瑚體內共生藻群聚在時間上的變動與光合生理差異(碩士論文)。取自 <http://ntur.lib.ntu.edu.tw/>

二、西文部份

5. J.E.N. Veron (1993) Corals of Australia and the Indo-Pacific [Hardcover] : *Corals and corals reef*(pp.21-29). University of Hawaii Press.
6. J.E.N. Veron (2008) A Reef in Time: The Great Barrier Reef from Beginning to End [Paperback] : *Geological history*(pp.33-37). Belknap Press.
7. Eric Borneman ,(2001).Aquarium Corals: Selection, Husbandry, and Natural History [Paperback] : *Coral reefs*(pp.285-308). TFH Publications.
8. Glynn, P. W. (1983) Environ. Conserv. 10, 149-153.
9. Jaap, W. C. (1985) Proc. 5th Coral Reef Congr. 6, 143-148.
10. Porter, J. W., Fitt, W. K., Spero, H. J., Rogers, C. S. & White, M. W. (1989) Proc. Natd. Acad. Sci. USA 86, 9342-9346.
11. Jason Buchheim (1998) Coral Reef Bleaching

【評語】 030307

1. 分工解說明確、口語流暢、條理分明。
2. 探討海水溫度變化與共生藻密度的關係時，研究的期程至少要 1~2 年長期定點比較，所得的數據才有說服力。