

東沙環礁珊瑚群聚調查分析與復育策略研究

(一)

成果報告書

海洋國家公園管理處委託研究報告

中華民國 98 年 12 月

東沙環礁珊瑚群聚調查分析與復育策略研究

(一)

受委託者：中華民國珊瑚礁學會

研究主持人：宋克義

協同主持人：陳昭倫、王志騰、野澤洋耕

研究助理：黃鎧毅、陳柏年、林紋如、楊尚霖、

蘇室維、郭兆揚、陳淑麗、陳高松

海洋國家公園管理處委託研究報告

中華民國 98 年 12 月

目次

表次	II
圖次	III
摘要	V
第一章 緒論	1
第一節 前言	1
第二節 研究主題背景及有關研究的檢討	3
第二章 東沙環礁珊瑚群聚調查分析與復育策略研究	24
第一節 材料與方法	24
第二節 結果	29
第三章 結論與建議	56
第一節 結論	56
第二節 建議	67
附錄一	72
參考書目	86

表次

表 2-1 各點溫度變化之最適近日週期(以 Cosinor 方法測試)。……55

圖次

圖 2-1 東沙環礁瀉湖內微孔珊瑚生長速率頻度分布圖.....	36
圖 2-2 微孔珊瑚生長速率差值頻率分布圖。.....	36
圖 2-3 東沙環礁瀉湖西邊微孔珊瑚生長速率.....	37
圖 2-4 東沙環礁瀉湖內東邊微孔珊瑚生長速率.....	37
圖 2-5 1997-2008 年東沙環礁瀉湖內微孔珊瑚生長速率趨勢圖.....	38
圖 2-6、礁頂珊瑚生長速率趨勢圖.....	39
圖 2-7 東沙環礁瀉湖內礁頂、礁底小珊瑚密度比較圖.....	40
圖 2-8 東沙環礁瀉湖內礁底小珊瑚長徑與面積關係圖.....	41
圖 2-9 東沙環礁瀉湖內礁頂小珊瑚長徑與面積關係圖.....	41
圖 2-10 東沙環礁瀉湖內小珊瑚長徑頻率分布.....	42
圖 2-11 東沙環礁瀉湖內小珊瑚科別頻度分佈.....	42
圖 2-12 東沙環礁瀉湖內礁頂、礁底小珊瑚多樣性分析.....	43
圖 2-13 東沙環礁瀉湖內菊珊瑚科小珊瑚長徑頻率分布.....	44
圖 2-14 東沙環礁瀉湖內蕈珊瑚科小珊瑚長徑頻率分布.....	44
圖 2-15 東沙環礁瀉湖內微孔珊瑚科小珊瑚長徑頻率分布.....	44
圖 2-16 東沙環礁瀉湖內小珊瑚的平均大小.....	45
圖 2-17 東沙環礁瀉湖內菊珊瑚科菊珊瑚屬切片照.....	46
圖 2-18 東沙環礁瀉湖內樹珊瑚科盤珊瑚屬切片照.....	46

圖 2-19 東沙環礁瀉湖內刺葉珊瑚科瓣葉珊瑚屬切片照.....	47
圖 2-20 東沙環礁瀉湖內微孔珊瑚科微孔珊瑚屬切片照.....	47
圖 2-21 東沙環礁瀉湖內微珊瑚科管孔珊瑚屬切片照.....	48
圖 2-22 東沙環礁瀉湖內菊珊瑚科角星珊瑚屬切片照.....	48
圖 2-23 東沙環礁瀉湖內各調查點活珊瑚覆蓋率 (%).....	49
圖 2-24 東沙環礁瀉湖內各調查點死珊瑚覆蓋率 (%).....	49
圖 2-25 東沙環礁瀉湖內調查點 rKS 圖	50
圖 2-26 東沙環礁瀉湖內調查點 rKS 圖	50
圖 2-27 2009 東沙環礁瀉湖內礁頂與礁底水溫圖	51
圖 2-28 東沙環礁瀉湖內塊礁五之頂、底溫度差頻度分布圖.....	52
圖 2-29 東沙環礁瀉湖內塊礁六之頂、底溫度差頻度分布圖.....	52
圖 2-30 東沙環礁瀉湖內塊礁九之頂、底溫度差頻度分布圖.....	52
圖 2-31 東沙環礁瀉湖內塊礁五、六、九礁頂與礁底成對比較水溫圖	53
圖 2-32 東沙環礁瀉湖內礁頂與礁底溫度超過 30°C 的時間空間分布 圖	54
圖 2-33 東沙環礁瀉湖內塊礁大小頻率分布圖	54

摘 要

關鍵詞：東沙環礁、珊瑚覆蓋率、珊瑚外表類型分布、水溫

一、研究緣起

東沙環礁位置在距離台灣西南方大約 400 公里處，是我國海域最完整的珊瑚環礁。東沙環礁國家公園已於 2007 年成立，為了瞭解東沙環礁珊瑚群聚的復原狀況，本研究以環礁潟湖區之珊瑚群聚為研究、比較的對象。

二、研究方法及結果

由於環礁內有許多大小不等的塊礁 (patch reef) 矗立在沙、泥底上，我們以此為調查、採樣的單位，十組塊礁分別調查較淺、約 1-3 米深的礁頂 (reef top) 和較深、約 10-15 米深的礁底 (reef base)。水溫部分礁頂溫度幾乎都比礁底高，差值約攝氏一度；在測定的 2009 年七至九月期間，礁頂平均有 36 % 的時間超過 30 °C，而礁底只有 13 %；環礁西邊水溫也比東邊高。珊瑚部分共從五個面相來比較不同地點珊瑚礁的現況；小珊瑚組成是復原潛力的指標之一，雖記錄到了十科，但以菊珊瑚科、蕈珊瑚科及微孔珊瑚科佔大多數；各礁的小珊瑚總密度多在每平方公尺 0.5-3.0 株之間，而在礁底的小珊瑚總密度顯著比在礁頂為高；大小的比較則是在蕈珊瑚科有環礁東邊顯著大於西

邊的現象。為了得知一般大珊瑚近年生長的狀況，以數量多、體型大的微孔珊瑚為代表進行分析，以 X-光顯示其骨骼生長密度輪後，比較在各採樣點間的骨骼生長速率，結果發現礁底的珊瑚骨骼生長速率顯著的比礁頂的要高；環礁東、西邊之間的生長，以不配對的方式進行分析，並沒有發現顯著的差異；1997 至 2008 之間各年的生長速率，也沒有發現顯著的生長差異；平均而言，微孔珊瑚每年半徑的生長率為 0.9 公分。珊瑚生殖的部分，在 2009 六月中在各地點採集了可能有生殖腺存在的珊瑚樣本共五科，軟組織經解剖及組織切片並未發現生殖組織，很可能在採集時東沙珊瑚生殖季節剛過。整個調查過程中，除了五隻零星的棘冠海星，並沒有發現其他珊瑚病蟲害。為了分析珊瑚外表類型分布 (rKS) 與活珊瑚覆蓋率、死珊瑚覆蓋率和死珊瑚比例，針對十組塊礁，在礁頂與礁底分別進行穿越線拍攝，之後由照片上測定上述各項參數。各項分析中，僅在死珊瑚覆蓋率一項發現瀉湖區西邊顯著的比東邊高，其他以及礁頂與礁底之比較均無顯著差別。活珊瑚覆蓋率最高為 46%，死珊瑚可達 76%。三個外表類型中，僅繁生型珊瑚在礁頂、礁底的覆蓋率有顯著的差異，礁底多於礁頂。若以東、西邊劃分，東邊的耐壓型珊瑚覆蓋率顯著比西邊多；繁生型與競爭型珊瑚則沒有顯著差異。若將礁頂、礁底合併為一點，十個樣點內，樣點 6、7、9、10 主要是競爭型的型態群為主，是保育等級 2；

樣點 1、2、3 主要以耐壓型的型態群為主，是保育等級 1。在樣點 4、5、8，屬於保育等級 4，具有珊瑚生長型多樣性及中度珊瑚覆蓋率。

三、重要發現

本研究發現瀉湖區的珊瑚相有變異，同時能以不同區的水溫高低來解釋，高水溫區，如礁頂及瀉湖西邊，珊瑚狀況較差，這現象應反映在珊瑚礁保育策略的擬定上。

Abstract

Keywords : Dongsha Atoll, coral coverage, rKS, water temperature

Dongsha Atoll situated about 400 Km southwest of Taiwan is the most complete atoll ecosystem of our seas. We investigated the coral communities in the lagoon of the Dongsha Atoll National Park. The numerous patch reefs in the lagoon were used as the sampling units. A total of 10 pairs of shallow reef tops (1-3 m) and deep reef bases (10-15 m) were investigated. Water temperatures were found to be $\sim 1^{\circ}\text{C}$ higher at reef tops than on reef bases. The water temperature exceeded 30°C in 36 % of the time at reef tops, and 13% of the time at reef bases, during the summer period, i.e., between June and September, 2009. The water temperatures were also higher in the west than in the east of the lagoon. The reef conditions were compared from 5 aspects to evaluate their recovery potentials. The small corals are one such factor. A total of 10 families of small corals were recorded in which Faviidae, Fungiidae and Poritidae constituted the majority. Diversity index comparisons indicated that reef bases have higher diversity than reef tops. The densities of small corals, ranging between 0.5-3 individual/ m^2 , are higher on reef bases than on reef tops. In fungiids, individuals in the eastern lagoon were larger than those in the western lagoon. The skeletal extension rates of poritid corals were compared using X-ray pictures showing density bandings. Higher rates were found in reef bases than in reef tops, but no difference was found between western and eastern lagoon. On average, the extension rate is 0.9 cm/year. Tissues of corals were sampled in June 2009 for examination of gonads. However, no reproductive tissues were

found after decalcification and histology. No coral diseases or pests were found that may pose a large-scale threat in the near future. The morphological classes, live-coral coverage, dead-coral coverage were assessed by photo transects for all 20 sampling sites. Among the comparisons of reef bases v.s. reef tops and western v.s. eastern lagoons, only dead-coral coverage was found to be higher in eastern than in western lagoon. The highest live-coral coverage was 46 % and that of dead corals was 76 %. Among the three morphological types of corals, ruderals were found to be high in reef bases than in reef tops, and coverage of stress-tolerated corals were higher in eastern than in western lagoon. Among the 10 patch reefs, 4 are represented by mostly K type competitors and belongs to Conservation Class 2, 3 reefs are presented by mostly S type stress-tolerated corals and belongs to Conservation Class 1. The remaining 3 patch reefs belong to the highest Conservation Class 4 and are represented by diverse types of corals. The variations of coral fauna found among habitats in the lagoon are consistent with the temperature patterns, i.e., higher temperature poorer coral condition. Strategies to conserve corals in Dongsha should take temperature variations within the lagoon into consideration.

第一章 緒 論

第一節 前言

1. 主題

東沙環礁是台灣首座海洋國家公園，擁有我國海域最完整的珊瑚環礁。本研究以環礁潟湖內之珊瑚群聚為對象，希望藉由對它的現況調查，能評估其復原的能力；對於人為努力復育的必要性、方法也將一併探討，並提出策略上可採行及應優先採行的項目。

2. 緣起

東沙環礁在未成立國家公園前，就受到不當漁法的破壞，使得魚類、無脊椎動物以及珊瑚礁體都有不同程度的減損，再加上大尺度全球氣候變遷，使得幾百平方公里自然形成的珊瑚礁，面臨重大危機(方，1998)。經各方努力，保育為優先的國家公園終告成立，對此珍稀的環境展開第一步的保護措施；五年的保護期，轉眼即至，對東沙的珊瑚礁來說，到底是會繼續惡化、維持現狀、或有顯著進步，不但是科學上的焦點，也是民眾關心之所在，更是政府施政之重點；因此，調查東沙環礁目前狀況，評估其復原之程度、未來變化之趨勢及保育、復育工作應如何進行是有迫切需要的。

3. 預期目標

- A、了解東沙環礁珊瑚分布現況，包含珊瑚類型及破壞狀況，預測未來是向上提升，或是向下沈淪。
- B、從各個角度探討危機、潛力的存在，例如白化、病蟲害等等與珊瑚礁破壞有關之自然因子，以及生長、生殖等與珊瑚礁成長、復原有關之潛力因素。
- C、以目前各海域珊瑚相之特徵，將各海域分類，分別擬定保護之策略。
- D、另將做背景資料蒐集，以評估篩選對海水暖化和颱風影響具有抵抗力和恢復力的珊瑚種類，研究其生理生態特性並探討其復育潛能之必要性及可行性。

第二節 研究主題背景及有關研究的檢討

珊瑚礁是海洋生態中生物多樣性最高、生物量豐富、以及總生產力高的生態系。另一方面，珊瑚礁建立新環境，提供人們食物以及觀光遊憩資源，是普遍受到國際關注的海洋生態系。由於人為因素，例如過漁、水質優養化、沉積物、氣候暖化、二氧化碳濃度升高、白化事件等等容易直接、間接影響其生存，使得世界上已有許多的珊瑚礁都有衰敗的現象 (如Pandolfi et al. 2003)。在此我們檢討各個已知造成珊瑚礁衰敗的機制、對東沙的影響以及針對東沙可以採取的策略。

1. 全球尺度 - 二氧化碳對珊瑚礁的影響

從大尺度來看，因二氧化碳在大氣中累積而造成的暖化，第一個明顯受害的自然生態系就是珊瑚礁 (West & Salm 2003)。不正常水溫引發造礁珊瑚大量白化甚至死亡，將是此生態系劇變的開始。以發生在1997-1998年的珊瑚大白化事件為例，這次白化造成全球60 %的珊瑚礁區發生白化，而其中只有40 %的珊瑚回復 (Wilkinson 2004)，全球有高達16%的珊瑚礁被毀滅 (Global Coral Reef Monitoring Network)。全球暖化配合上約3-7年為週期的聖嬰現象，使得珊瑚大白化未必是每年發生，也未必是全球受害，例如加勒比海珊瑚礁大白化的頻率就較西太平洋高，這些不確定性也使得珊瑚礁保育除了必須

考量宏觀的全球變遷，也得要有因地制宜的中尺度策略。

空氣中高濃度的二氧化碳，也使得溶解到水中的二氧化碳濃度增加，長期可能造成全球海水pH值的降低 (Feely et al. 2004)；根據模式計算，過去兩百年來，海水的平均pH值約已降低了0.06，而水溫較低的高緯度因氣體溶解度較高應有較大的影響，相對來說，熱帶海域的改變幅度會較低；以目前的模擬資料顯示，大西洋海水pH值的改變又可能比太平洋來得大 (Sanyal 1997)。這麼些微的酸鹼度改變是不是真的會影響海洋生物的生活及生存呢？針對個別生物的實驗性數據顯示，穩定的大洋環境中的一種翼足類 (pteropods)，在海水改變酸鹼度的情況下，雖然仍是高過中性，但其外殼已經會有溶蝕現象而無法生存 (Comeau et al. 2009)；在較長的實驗中 (一至兩年)，造礁珊瑚的生長會減緩，甚至骨骼溶解 (Fine and Tchernov 2007; Hoegh-Guldberg 2008; Maoz 2009)。這些實驗的結果顯示，暖化背後的二氧化碳增加，其影響層面之廣，絕不止於溫度的提昇，尤其對海水中的生物而言，超乎想像。這兩項影響都得靠二氧化碳排放量的降低來改善，但是這全球尺度的現象唯有靠國際組織，結合全球各國政府，調整施政優先，抑止、減緩碳排放，並設法降低已排放的二氧化碳，才有可能收效。我政府能參與的，就是積極配合國際的舉措，避免在過程中受到傷害。針對敏感的珊瑚礁生態系，則應加強研究、保育，同時設法減

少來自其他方面的破壞。

2. 中尺度 - 人為因子對珊瑚礁的影響

除了全球尺度的現象，中尺度的環境變化包含了沉積物、優養化、過漁等等，這些因子多半可以由一個政府、國家單獨負責、掌握。目前過漁是東沙最明顯的現象，過漁使得食物網改變，一旦物種減少，會使得生態系比較禁不住擾動，容易造成少數物種在短時間內大幅增加 (Bascompte et al. 2005)，再透過食物鏈或物種間競爭，使其它物種大幅減少；例如草食性魚類被捕捉，數量減少，大型藻類因而大幅增加，佔去太多底質，又遮蔽了光線，間接對造礁珊瑚不利 (McManus and Polsenberg 2004)。但另一方面，中尺度的環境破壞及改變，由於牽涉到的層面相對比較小，任何改進措施都比較容易落實執行，並且在短期內看到效果。

針對漁船的非法捕魚，目前東沙主要靠海上執法，由於船隻大小及數量上的限制，執法範圍侷限在東沙本島附近海域；在執法區域內，漁船活動明顯較少，水下的魚類也有較大、較多的現象 (陳等 2005)，此點顯示執法確有成效。如何擴大效果到整個環礁，大約直徑25至30公里直徑的範圍，則是目前的挑戰。由於目前在東沙活動的以大陸漁船為主，對違法者的處置常有捉襟見肘之顧慮，以致執法效

能不如預期。從另一觀點，若過漁之問題能解決，東沙中尺度的人為破壞因素就解決了大半，所以此問題應列為保育施政之優先項目。台灣漁船也有遠赴外洋違法捕魚之經驗與歷史，而有效之執法往往不是在海面進行。以鮪魚為例，透過國際組織、外國政府往往更有效力。東沙保育也應考慮採用此模式。

儘管兩岸關係尷尬，實務上仍有許多合作空間。在學術上交流是目前進行中的，若能比照經濟議題，擱置主權爭議，則東沙過漁、非法捕魚的問題應能有所突破。大陸方面正在經濟起飛階段，對珊瑚礁保育的議題未必列為優先，若能藉由各種管道先讓政府層級認知此議題之重要性，繼而動之以民族大義，那麼改善東沙過漁及違法捕魚現況，向永續經營邁進應是一大突破。

中尺度的破壞因素還包括岸源沉積物及營養鹽沉積物，可能直接沉降在珊瑚組織上，造成其死亡，或停留在水層中遮蔽光線，阻斷了能量的來源 (Fabricius 2005)。營養鹽則提供微細浮游藻以及大型海藻快速生長的動力，牠們都與造礁珊瑚競爭光線，大型海藻並直接與珊瑚競爭底棲的空間。所幸這些在台灣珊瑚礁經常發生的現象，目前在東沙並不形成嚴重問題。未來只要東沙島上沒有大型工程 (如機場跑道翻修)，沒有大量遊客湧入，運進大量食物、補給，也可以將這兩個潛在問題列為施政次要項目，因此不在此做深入討論。

3. 小尺度 - 生物因子對珊瑚礁的影響

對珊瑚礁而言，除了大尺度的環境因子（全球暖化及海水酸化）及中尺度（過漁、優養化、陸源沉積物）的人為因素所造成的影響之外，生物因子也可能是改變珊瑚礁生態系的重要原因。在全球珊瑚礁中有一些影響範圍較廣、影響時間較長的生物因子，不定時的對珊瑚礁造成威脅，例如：棘冠海星、白結螺、珊瑚疾病及大型藻類等，這些生物因子經常對部分珊瑚礁造成區域性的破壞。

3-1 棘冠海星 (*Acanthaster planci*)

棘冠海星的族群爆發對珊瑚礁而言，是相當大的生物干擾 (Pearson 1981)，牠們可能會加速珊瑚礁的衰退 (Goldberg and Wilkinson 2004)。由於棘冠海星成體是以珊瑚為食的底棲生物，因此一旦出現族群量暴增的情形，就會對當地珊瑚礁造成相當大的破壞。棘冠海星繁殖力強、世代交替短 (Moore 1978)，所以很有潛力在短時間內繁衍出相當數量的族群，而其族群爆發的發生可能是因為暴增的入添量 (Johnson 1992)。很多環境因子都可能引發棘冠海星的數量突然增加，例如：陸源營養鹽的增加 (Birkeland 1982)、海水表面溫度提昇 (Lucas 1973)，其他像是天敵 (法螺) 減少而提高棘冠海星存活率或食物增加等，也都是可能的因子，但至今還沒有找到單一的因

素。受到棘冠海星大舉入侵的珊瑚礁區，破壞程度通常都很嚴重，1962年在大堡礁某些區域就造成近 80%的珊瑚死亡，影響範圍深至 40m 深的礁區都無法倖免 (Pearson and Endean 1969)；此外 2005 年於巴布亞新幾內亞的棘冠海星族群爆發也造成 55%的珊瑚死亡，當地珊瑚覆蓋率從 42%降至隔年的 19% (Pratchett et al. 2009)。不過棘冠海星對珊瑚礁的影響在某些地區也是會受到限制的，有研究指出以軸孔珊瑚 (*Acropora* spp.) 為主要族群的珊瑚礁較容易受到棘冠海星的捕食及攻擊，而微孔珊瑚 (*Porites* spp.) 則較不受到棘冠海星的青睞 (Pratchett 2007)。這些結果顯示影響珊瑚礁區受破壞的因子可能要優先考慮礁區本身的珊瑚組成。從東沙的觀點，如果營養鹽是造成棘冠海星族群爆發的原因，那麼發生在東沙的機會較小，因為東沙環礁的陸源營養少；但如果是法螺等天敵減少而造成棘冠海星族群不受控制，那麼東沙環礁就也暴露在相同的危機中。因此海巡的執法應特別告誡漁船，違法捕捉法螺為重點執法項目。

3-2 白結螺 (*Drupella* spp.)

以珊瑚為食的白結螺 (*Drupella* spp.) 會對珊瑚礁造成長期的干擾，因此白結螺與棘冠海星同樣被認為是具嚴重破壞潛力的珊瑚礁生物 (Birkeland and Lucas 1990)。白結螺以珊瑚組織為食，會以齒舌在珊瑚表面形成刮痕，這些刮痕通常會很快地被藻類覆蓋，久而久之對

珊瑚本體造成影響。野外的白結螺出現高度群聚現象，在珊瑚的分枝或隱蔽處，形成數量不等 (<10 隻、~200 隻，甚至大於 2000 隻) 的群集，夜晚活動及覓食，其身上通常有許多珊瑚藻覆蓋，偽裝成死亡的珊瑚分枝 (Cumming 1999)。Brian and Graham (2009) 認為白結螺的數量隨季節有明顯變化是由於其生殖季的關係，夏天白結螺的生物量明顯較冬天多，因此他們推論白結螺或許並非災難式的生物族群爆發，只不過是季節性的集體覓食或生殖而已。同時研究中也指出白結螺對珊瑚的食性較偏好軸孔珊瑚 (*Acropora* spp.) 等一些生長快速的分枝狀珊瑚，其珊瑚蟲的體型都很小 (Veron 1986)。所以白結螺對珊瑚礁的損壞與棘冠海星類似，都會受到礁區珊瑚組成的影響。白結螺的研究相對較少，大量出現的原因不明，因此無法評估發生的風險。目前東沙枝狀軸孔珊瑚尚未恢復，因此白結螺的主要棲所數量少，短期內可能威脅不大。

3-3 珊瑚疾病

與其他生物一樣，珊瑚也會因為病原體的感染而生病；由於在珊瑚礁的衰退中佔有重要地位，珊瑚疾病的研究在全球受到關注。珊瑚疾病的分佈在世界三大主要珊瑚礁區都有出現，包括澳洲大堡礁、印度西太平洋及加勒比海，這些疾病的增加會使珊瑚豐度降低，並改變珊瑚群聚的組成 (Aronson and Precht 2001)，導致珊瑚生病的可能原

因五花八門，例如海水溫度提高、沉積物增加、營養鹽過量及人為污染等，都是造成珊瑚生病的合理假說。其中黑帶病 (Black Band Disease) 有較好的證據，會受到海水中營養鹽而增生快速 (Voss and Richardson 2006)，因此跟陸源排放水可能有關，至於疾病本身是否因食物鏈上層改變而有較多生存機會，此假說可能較適用於星野黑皮海綿造成之珊瑚黑病，其他佔多數的細菌性、黴菌性疾病未必適用。造成常見珊瑚疾病如黑帶病、黃帶病、黑點病、黃斑病、白帶病等的病原體有細菌、藍綠菌、真菌及原生生物 (Sutherland et al. 2004; Rosenberg and Loya 2004)，此外還有引起黑病的星野黑皮海綿(Bryan 1973)。這些造成珊瑚損傷或死亡的疾病，幾乎都是以石珊瑚為宿主，但是加勒比海也有以柳珊瑚為宿主的疾病 (Kim et al. 2000)。珊瑚疾病雖然會使造礁珊瑚對環境的抵抗力下降並造成死亡，但同樣也受到環境因子的影響而可能有季節性的變化，如黑帶病在冬天會因水溫太低而減緩或停止生長 (Boyett et al. 2007)。珊瑚疾病之生態研究尚少，尤其在西太平洋更是在起步階段，目前知識不足以評估東沙受珊瑚疾病侵襲之風險。

3-4 大型藻類

珊瑚礁中四種群聚：微細藻、大型藻類、造礁珊瑚與珊瑚藻的變動，受到營養鹽 (Bottom-up control) 及食藻生物的調控 (Top-down

control) (Mark et al. 2006)。大型藻類在珊瑚礁的出現，經常與季節有密切的關係；而大型藻類在珊瑚礁的生物量也受到營養鹽注入以及食藻者族群大小的影響。大型藻類在珊瑚礁區的增生很可能顯示環境中營養鹽濃度的提高，對只有貧營養鹽需求的珊瑚礁區來說是相當大的變動，由於營養鹽的增加同時也可能代表水體中懸浮物及濁度的提昇，這些環境變動對珊瑚族群來說都是負面的因子，容易造成珊瑚的白化或死亡。大型藻類除了會佔據珊瑚入添的生存空間之外，也會遮蔽淺水域的光線強度，對珊瑚入添的存活率有抑制的作用 (Sammarco 1982)。過漁造成食藻生物的減少也是珊瑚礁生態系衰敗的途徑之一。多數裙礁，由於附近陸地人口稠密，過漁與優養化常是同步發生，而結果都會對珊瑚礁生態系不利 (Hughes et al. 2007)。但究竟是過漁或優養化的影響比較大，何者應該是保育施政應優先面對的，反而一直有爭議 (Szmant 2002)。例如墾丁珊瑚礁大型海藻繁生的現象明確，但究竟是由食物鏈上層來的攝食壓力減少，或是由底層來的營養鹽豐富，或兩者合力造成，仍屬學術上值得探討的。就東沙而言，大量營養鹽的可能來源是內波 (Wang et al. 2007)，但目前並無法估計通量。內波並非始自近年，因此若營養鹽是主因，那麼藻類多應該是東沙多年來的特色；反之，若食藻者減少才是藻類繁生的原因，那麼解決過漁的問題，就能解決大型藻類問題。進一步的實驗，例如籠子隔

離實驗可以驗證食藻者假說，而營養鹽假說也可能藉由測定碳、氮元素比或氮同位素比例來驗證。

以上這些生物性因子都有可能在東沙環礁發生，棘冠海星與腹足類雖然都會對珊瑚礁造成大規模的破壞，但一般牠們的族群數量卻只有很低的密度，加上這些生物對珊瑚有相當的食性偏好，因此在以軸孔珊瑚 (*Acropora* spp.) 等分枝狀珊瑚為主的珊瑚礁區，可以加強這些對珊瑚有嚴重破壞潛力的生物之監測。環境因子如：營養鹽、沉積物、人為污染、過漁等，對於生物性因子有相當大的影響，珊瑚疾病和大型藻類的大量出現多與營養鹽有關，雖然東沙環礁受到陸源污染的機會極小，但東沙島受內波影響，是否帶來足量營養鹽有待驗證；此環礁外附近大陸漁船的過漁行為，不僅改變了珊瑚礁的生物群聚結構，連帶也增加非漁獲對象對珊瑚礁造成損害的機會。

4. 抗颱風及抗暖化之珊瑚品系

颱風是影響東沙環礁的自然因子，由於每年夏天都是颱風侵襲的季節，因此東沙目前珊瑚相可說是在歷經颱風洗禮下的產物，在此背景下，了解颱風影響的層面自然有學術上的價值 (Salazar-Vallejo 2002)，但是否有必要進行抵抗颱風的種類篩選就有待商榷。因為這都是自然循環的一部分，能在東沙生存的必定已經經歷多年來颱風的

淬練，已經反覆地經歷了自然的選擇，另外再加上人為的選擇並無必要，此乃因人擇的頻度、強度及規模都遠較大自然的小很多，在效果上必定差異很大，與其花費資源在此，不如投注在其它方面的措施，可能會更有成果。以上論點是以一般颱風為考慮，但若發生百年難見的超級颱風侵襲，則仍有記錄其特殊影響的必要。

篩選抗海水暖化的珊瑚物種議題，目前僅達學術探討的階段，尚未成熟到能執行之層面。珊瑚成熟動輒需十年以上，以短期之計畫，作如此長期才可能有結果之研究太具挑戰性，目前適合進行文獻整理及追蹤其他研究單位進展之紙上研究。就理論而言，珊瑚耐熱之關鍵未必在珊瑚組織本身，也可能與珊瑚細胞內共生藻品系有關 (Fabricius 2004)；若真如此，因單細胞藻類世代短，天擇或人擇作用的效力比較高，由此方向（而非宿主珊瑚）來尋求耐熱珊瑚之解答將比較合理。與抗颱風的種類篩選相類似，自然界溫水已經造成東沙環礁內枝狀軸孔珊瑚的大量死亡，其它種類受害程度相對較低，這個自然界的大量死亡，是否讓耐熱品系有更高機會生存繁衍，仍有待觀察。但物種間的消長，已有明確的結果。以東沙環礁為例，除了枝狀軸孔珊瑚之外，其他物種均存活生長。這個天擇很可能還會經常發生；其頻率，尤其是規模是人為選擇難以望其項背的。因此目前較佳策略應該是靜待全球基礎研究結果有較大進展後，再進行應用性的研

究。從保護生物多樣性的觀點，那些容易受颱風、海水暖化影響的珊瑚恰巧是珊瑚中的繁生類型，亦即回復、生長、繁衍潛力最高的類別。因此只要有足夠入添 (recruitment)，其恢復能力也最大。從另一觀點，東沙環礁於十年前 (1998年) 發生大白化，造成枝狀軸孔珊瑚大量死亡，經此十年仍沒有恢復跡象，令人懷疑是否：一、東沙海水環境漸漸產生質變，軸孔珊瑚苗不再適合附生。二、新入添珊瑚需有來源，若東沙附近海域的枝狀軸孔珊瑚都在大白化事件中受害，那麼缺乏苗種的補充就可能是東沙內環枝狀軸孔珊瑚要恢復的瓶頸。

5. 珊瑚礁的復育方法

隨著全世界珊瑚礁區受到大尺度的環境變化、中小尺度的人為破壞，珊瑚礁的衰退在很多報告中早已有充分證據，此現象引發了一連串復育珊瑚礁方法的發展 (Epstein et al. 2001, 2003)。復育 (restoration) 與保育 (conservation) 都是對受到破壞或即將消失的生物棲地進行一定的努力，然而復育生態學的概念較保育生態學更為積極 (Epstein et al. 2001)，保育傾向對生物及棲地進行保護，排除或降低人為干擾，但復育則假設有一定比例的消失棲地可以經由人為操作而加速恢復。珊瑚礁復育有相當的難度存在，因為不同的區域、不同的衰退過程及生態系結構的變化歷程都會影響後續的復育計畫，所以直至近年，珊瑚礁的復育仍沒有能被廣泛應用的方法 (Lindahl

1998)。目前全球有幾種不同復育方法：種苗放流、斷材散布、珊瑚移植、復育場、沉船區復育、穩定底質。策略上則需考慮成功的機會、要付出的代價，以及替代方案是否更為可行。

5-1 種苗放流、斷材散佈

人為的飼育珊瑚，將珊瑚幼苗放流於合適的海水環境中，是以往較常使用的方法之一，收集珊瑚釋放出的精卵，以人工方法混合受精後，再放流回海洋中，讓受精卵自行附苗生長。與其他物種的種苗放流方式比較來看，都需要幼苗本身有足夠強的環境適應力，才有機會繼續生長下去。而製造珊瑚片段投放在淺海珊瑚礁區，讓這些片段持續生長，也是一種方式，只是在海流與波浪的影響下，珊瑚片段的生存較容易受到威脅。

5-2 珊瑚移植

珊瑚移植是目前最常被使用也常能獲得重視與肯定的方法 (Epstein et al. 2001)，此方法的原理很簡單，就是移入新的珊瑚個體取代已死亡的珊瑚，以求達到增加自然界珊瑚覆蓋率的目的。許多研究對不同移植方法進行探討，結果顯示各種移植方法之間的存活率變異很大；原則上珊瑚片段必須在穩定且免於海浪侵襲的區域較容易固著而後生長 (Bowden-Kerby 2001)。珊瑚的移植有一些基本層面需要被

考慮，例如：珊瑚種類的選擇、移植相對於自然入添的速率、復育操作本身對礁區的影響、底質型態及移植後個體的生產力等 (Epstein et al. 2001, 2003)。珊瑚的來源是否造成挖東牆補西牆的效應，甚至造成城門失火殃及池魚的結果，都是在進行較大規模行動前需考量的因素。目前各研究報告的成功案例都有規模小的共同特徵。

5-3 復育場

對恢復礁區覆蓋率而言，移植生長快速的珊瑚是很常見的方法，但歷經了採枝、移動、固著等過多的環境壓力，過程不僅複雜且對珊瑚存活率以及提供珊瑚的海域有很大影響，因此另一個想法被提出：珊瑚花園 (gardening coral reefs) (Rinkevich 1995)。這是一個以養殖來增加珊瑚植株的概念：1.在實驗場或野外建立珊瑚的養殖場或復育場。2.再將這些在復育場生長良好的珊瑚移植到需要復育的礁區 (Christensen 1996)。復育場的選擇通常會選擇在適合珊瑚及其他無脊椎生物生存的天然海床上 (Jintana 1996)，也有研究指出水域中層懸掛式的珊瑚復育場更為合適，因為它提供了更好的生存條件，例如：水流增加、理想的光強度、沉積物減少及避開底棲捕食者 (Shafir et al. 2001)。Soong and Chen (2003) 在墾丁的研究指出過小的軸孔珊瑚 (*Acropora*) 片段無法成功的生長及存活，需控制在約4公分左右的大小才適合當個體增生的苗株，此結果顯示復育珊瑚的植株受到一定的

限制。復育場是經改良後較容易實施的珊瑚移植方法，雖然已在一些珊瑚礁區被應用，然而不同礁區條件不同，如何降低人工照顧的成本，卻又能有相當的產出，是基本的課題。以東沙環境條件，若能找到不易受高水溫影響且光照良好的水域，可以嘗試小規模試驗找得到苗株的物種。初期目標或可訂為比較各地點移植苗株的死亡率及生長速率。

5-4 沉船區復育

在珊瑚礁區外圍淺水域常出現船舶擱淺、沈沒或船舶碰撞，這些會對珊瑚礁造成許多不同程度的損傷，也會對礁區的結構形成破壞；遭受遽變的珊瑚群聚難以再生，且可能會因天然災害又受到二次破壞。這種區域的復育工作首要須搶救仍存活的珊瑚及海綿，並將船舶的殘骸移除，以免移位造成二度傷害，之後再重建礁區的立體結構，把搶救回來但分離的珊瑚及海綿重新黏合種植上去 (Precht et al. 2002)。與其他方法主要的不同在於用來復育的珊瑚個體來自原本受損區域而不是其他珊瑚礁。

就東沙而言，珊瑚礁區廣，相對而言對船舶傷害微不足道，同時受限於補給線長，搶救工程未必實際。防止溢出油料在大退潮時對暴露出的環礁上生物及珊瑚造成傷害是大型船舶擱淺時應有的考量。

5-5 穩定底質

許多珊瑚礁區的底質並非所見的穩固，經常是由許多碎塊及片段的礁石累積而成的，這些礁區很容易受到自然的災害而改變，當底質變的不穩定而鬆動，珊瑚就容易被水中滾動的投射物所摧毀或掩蓋，進而造成死亡，不穩定的底質也不適合新入添的珊瑚附著及生長，新的礁體無法形成，因此底質穩定性也成為復育的工作目標之一。

東沙環礁若內的枝狀軸孔珊瑚在十年前大量白化死亡後，目前許多折斷形成大小不一的碎片散佈在環礁內，甚至覆蓋大範圍海域 (樊 2007)。環礁內的不穩定的珊瑚殘骸時刻受到風浪攪動，對現存珊瑚群聚造成干擾，穩定底質雖是考慮的方向之一，但工程本身由於規模大，很可能有相當負面的效果。

一般死亡珊瑚骨骼會受各種鑽孔生物，如貝、多毛類、海綿等侵蝕成更小碎片，終極則形成珊瑚砂 (Bell 2008)，這是東沙島的沙源，也是環礁自然史的一部份。珊瑚從死亡到侵蝕成沙粒所需時間很難估計，或許十年前的大量死亡是解答此問題的一個機會，因為多半的枝狀軸孔珊瑚都是在同一事件中死亡。針對東沙珊瑚碎片，可監測其破壞之效應、隨時間本身被侵蝕之速率、主要侵蝕之物種等等基本研究。

5-6 保育與復育

評估珊瑚礁自然復原能力，是決定如何保護珊瑚礁的必要工作，

目前以人工方法復育珊瑚礁的研究很多 (Clark & Edwards 1995; Rinkevich 2008)，但是應用的尺度仍侷限在1-10公尺左右，換成面積則大約在100平方公尺的範圍，也就是說小尺度的破壞，例如船觸礁造成礁體完整性破壞，災情可能持續擴大時，是有人為介入的成功機會，但當破壞範圍以1-10公里、甚至更大的尺度為單位時，人工復原動輒要百年、千年的持續努力才看的到效果時，就顯得不切實際；因為在同樣時間尺度內，珊瑚礁本身的復原能力，就可能可以完全恢復舊觀，而仍有餘力。除了節省人力、物力之外，自然復原的另一特色是入添物種經天然汰選，多樣性可能較高，棲所之間變異大，與天然珊瑚礁無異。但珊瑚礁本身的復原能力究竟有多少？又要如何評估？何時才是需要人力介入的臨界點？

首先，破壞珊瑚礁的環境因素是否已經消失，顯然是一個重要的依據。以東沙為例，過漁和1997-1998年的大白化應該是造成當地珊瑚礁破壞的主要因素；目前過漁在東沙環礁執法區內應該有相當改善，此點可由珊瑚礁魚類之體型比較來驗證，同樣魚種在有效執法區內體型應有較大的現象。石珊瑚部分則因它們成長速度緩慢，未必看得出幾年來執法的成果。1998年珊瑚大白化，造成枝狀軸孔珊瑚大量死亡，至今未見恢復之跡象，但在同樣白化事件中，其他石珊瑚受損相對較輕；目前海水升溫再度侵襲珊瑚礁之危機並未解除，而一旦侵

襲，預測首當其衝者仍將是對水溫比較敏感的枝狀軸孔珊瑚（若有存活或新入添的）；由此觀點，目前實在不必將復育軸孔珊瑚作為優先的辦理事項，監測目前存活的較耐熱的石珊瑚，或在上次大白化、大量死亡事件中未曾受嚴重傷害的海域，觀察它們是否進一步受到傷害，反而是比較優先的工作。

6. 東沙環礁的復育策略

石珊瑚復育工作，目前在東沙只適合做小規模的研究工作，而不是大規模的實際應用。另一原則是應該以恢復珊瑚礁上造礁功能為優先目標，而不必以復育特定珊瑚物種為目的。就珊瑚礁保育、復育工作優先要解決的問題，應可以從兩大方面分別考慮：

6-1 保育方面

- A. 過漁是目前可以改善的機制，但如何在25公里範圍內有效保護珊瑚礁，除了擴大目前的執法範圍外，更需要有新思維及新作法。
- B. 以目前珊瑚礁狀況最好的區域，列為保護執法的重點，不必侷限於距離東沙本島之距離，以有效運用有限的資源。

6-2 復育方面

- A. 從珊瑚物種觀點，比較東沙存活狀況良好的物種中，那些比較容

易在目前被破壞的礁區上，經由人為協助，發展為活珊瑚礁區。

- B. 從棲所觀點，標定破壞比較嚴重的海域，評估哪些種類適合在此海域形成造礁功能、以及如何能改變棲所現況，造成長久的影響。

此保育、復育分區進行的概念，前提是要對環礁本身有更深入的瞭解，才能合理劃分何處要列為保育的重點，而何處又要列為復育的對象。我們認為有以下幾大方向的資料是要優先蒐集的：

- A. 小珊瑚的狀況如何？小珊瑚是一塊區域的復原潛力所在，如果該區域小珊瑚的種類、數量及狀況良好，相對來說就比較有自然復原的希望。

- B. 現生大型珊瑚的生長狀況如何？此處狀況指的是生長和生殖，只要珊瑚狀況正常，在破壞因素消除的前提下，珊瑚礁復原就有機會。反之若生長遲緩，生殖停頓，就是珊瑚礁危機的警訊。從大尺度來看，若大堡礁珊瑚近年的生長漸緩 (De'ath et al. 2009) 能當指標，那麼東沙環礁珊瑚的生長可能也會比以往差，但真相如何，有待發掘。

- C. 近期有病蟲害侵襲造成大量死亡的可能否？自然界本就有珊瑚疾病和以珊瑚為食者，牠們彼此生生相剋，就算此消彼長，也都是自然循環的一部份，而且多半有相當的恢復力。但就被破壞的生

態系而言，由於一些功能群的喪失，例如東沙大型魚類稀少罕見，有可能連鎖反應，造成巨大效應，而導致不可逆的日趨衰敗 (Hughes et al. 2007)；例如大型藻類繁生，會抑制珊瑚入添，對珊瑚礁恢復不利；或因環境改變、生態失衡，造成疾病蔓延、蟲害繁生 (例如白結螺、棘冠海星、各種疾病)。因此，此時監測珊瑚病蟲害的狀況對預測其復原力應有相當幫助 (Green 2000)。

- D. 評定珊瑚型態型群聚組成的型態。生物反映環境，由海域珊瑚型態型群聚組成應可以反推當地海域的環境狀況。Edinger & Risk (2000) 首先提出保護珊瑚礁分區的原則，也就是物種數多的環境優先，而快速消長，如雜草般來去快速的棲所就比較沒有投入資源的必要。若以東沙為例，物種數最高海域一旦發生劇烈變化，要恢復就相對困難，因此應列入優先保護區，深植此概念的一個想法就是在可運用資源有限下，必須把資源投注在最關鍵的棲所，這些珊瑚棲所分布在東沙何處，就是保護東沙的優先海域。

7. 東沙環礁現況

儘管地處偏遠，物力維艱，東沙珊瑚礁調查前後已有五十年的歷史 (馬 1959, 楊 1975)，就過去幾年在東沙進行的珊瑚調查 (戴 2005, 2006, 2008; 戴和鄭 2005, 2007; 樊 2005, 2007, 2008)，顯示出幾個現

象：

1. 珊瑚大白化造成環礁內枝狀軸孔珊瑚大量死亡，並使珊瑚覆蓋率降低，至今未見恢復。
2. 環礁外與潟湖區的珊瑚相有所區分，物種組成及數量上均有不同，環境影響大。環礁外和潟湖區明顯是不同的棲所，環礁外的珊瑚礁狀況較佳 (戴等 2008)。
3. 潟湖區珊瑚相變異仍然很大，以活珊瑚覆蓋率為例，不同調查地點可相差達數十倍 (戴等 2008)。
4. 颱風對東沙局部珊瑚礁區確有影響，但未曾發現全面性的影響 (戴等 2008)。

根據以上結果，顯然受影響較大的是以枝狀軸孔珊瑚為主的潟湖區珊瑚礁。但潟湖區死亡率變異大，有兩個可能假說，一是東沙環礁內深度不均勻，較深海域可達15-20米深，這些深水凹陷有可能水溫較低，是珊瑚存活率較高的海域 (王玉懷，個人通訊)。另一個假說是東沙環礁內的水表溫分布不均勻，造成東側水溫較低，存活珊瑚覆蓋率較高，而西側水溫較高，存活珊瑚覆蓋率較低 (戴昌鳳，個人通訊)，這兩個假說需待環礁東西兩邊及不同深度都有相當觀察數後就能加以驗證，本計畫即以此為研究目標。

第二章 東沙環礁珊瑚群聚調查分析與復育策略研究

第一節 材料與方法

1. 調查及採樣地點描述

本研究調查與採樣地點，以東沙環礁內潟湖區為範圍，其中有許多大小不一的塊礁 (Patch reef) 聳立在沙、泥底上。以這些塊礁為單位，進行下列項目的調查與採樣。經過五月、六月以及九月的調查，調查區域總共有十塊塊礁，東邊西邊各隨機選定五塊區域進行調查(附圖一)，而每一塊塊礁，我們將它分為較淺、約 1-3 米深的礁頂 (Reef top) 和較深、約 10-15 米深的礁底 (Reef base)(附圖二)，共 20 個調查點 (附表一)，其中 9 號塊礁為非典型的塊礁，沒有較明顯的陡坡。

2. 珊瑚生長

在礁頂及礁底用鐵鎚、鑿子各採集一塊團塊狀微孔珊瑚(直徑約 20 cm 個體)。帶回岸上後以沖水機將珊瑚組織清洗去除，剩下的骨骼風乾。將珊瑚骨骼以大型鋸台切下中心生長軸的薄片(5-10mm 厚)，以 X-光拍攝。所得到的 X 光片將之以相機翻拍之後(附圖三-七)，用影像分析軟體 Image Pro 量測年輪。首先，垂直於年輪拉一條線，分析線上的明暗程度，較亮處代表結構較緻密，比較不透光，較暗處代

表結構比較疏鬆，比較透光，以明暗的數位化值當作密度的指標，利用移動平均法 (moving average) 將數值每十筆、二十筆、三十筆、四十筆、五十筆加總，可以得到一系列代表密度高低的折線圖，其中以每三十筆相加的方式，能夠得到波峰波谷較清楚的結果，所以用三十筆相加的標準來處理資料。一個波峰便代表一生長年，計算波谷到波谷的距離可以得到每年生長的長度，為了降低在珊瑚不同部位取樣所可能造成的差異，每塊骨骼切片拉五條線，以上述方法分析之後平均，便可以得每一年的生長速率(Annual extension rate)。

3. 小珊瑚

每塊塊礁在礁頂及礁底，拉設一條 50 公尺穿越線，在穿越線寬 1 公尺範圍內，放置比例尺並拍下小珊瑚的照片，小於 5 cm 才列入計算 (Miller 2000)。按鑑定的結果將小珊瑚以科分類，並使用影像處理軟體 Image J，利用照片量測小珊瑚長徑和礁頂與礁底各一個調查點小珊瑚面積，比較不同塊礁間礁頂與礁底是否在種類、密度及大小上有所差異。

4. 珊瑚生殖

在礁頂及礁底各調查點採集多種類珊瑚樣本，從大小超過 50cm 以上的珊瑚上，採集大小約為 3*3cm 的樣本，上船後放入濃度 5% 的福馬林中固定。運送回台灣後，置換成 70% 的酒精保存，將樣本切下

一半留做鑑定，另外一半以濃度 10 % 的鹽酸將珊瑚骨骼溶化，先以解剖顯微鏡檢查剩餘的珊瑚組織是否有生殖腺，再用石蠟包埋切片的方式確定生殖腺是否發育，並比較礁頂與礁底間是否有不同的生殖率。

5. 珊瑚類型(rKS)分布與覆蓋率調查

調查紀錄三種基本類型（繁生型、競爭型、耐壓型）珊瑚之數量及大小，藉此評估該地點之環境特性與保育價值 (Edinger 2000)。繁生型 (ruderals, r) 生長快速，適合環境擾動大的棲所，如軸孔珊瑚、千孔珊瑚與藍珊瑚；競爭型 (competitors, K) 是競爭性較強的種類，外觀為葉狀或是分枝狀的非軸孔珊瑚的類群、起伏較低且珊瑚群體較小型的種類，如葉片狀的表孔珊瑚、分枝狀的微孔珊瑚與游離型的蕈珊瑚；耐壓型 (stress-tolerators, S) 為逆境忍受者，生長緩慢但是可以承受逆境，如團塊狀微孔珊瑚、管孔珊瑚與棘杯珊瑚。依據繁生型、競爭型、耐壓型三型不同的比例組成，可以將該地區分為四個保育等級 (Conservation class, CC)，當一個珊瑚群聚中超過 60% 皆為耐壓型珊瑚時，會被歸類到保育等級 1 (CC=1) 的珊瑚礁，這類珊瑚礁的特徵為空間複雜度、活珊瑚覆蓋率低、死珊瑚較活珊瑚的比例高、物種多樣性指數低，通常位於受到陸源污染嚴重的地區，除非移除陸源污染，否則珊瑚礁生態無法恢復，因此相對於其它點可以保護的物種數

量可能最低。珊瑚組成超過 50% 為競爭型或繁生型珊瑚時，分別被歸類到 CC=2 和 CC=3，各類珊瑚的數量約相等的地區則屬於 CC=4。CC=2 的特性為有較大單一類型的珊瑚群體存在，珊瑚覆蓋率高但物種多樣性低，地形複雜度中等。CC=3 的珊瑚覆蓋率偏低至中度，中至高的珊瑚物種豐度和地形複雜度。CC=4 的珊瑚礁，擁有最高的珊瑚物種豐度和地形複雜度，但珊瑚覆蓋率只有中等程度。在四個等級中，CC=4 因擁有最高的物種豐度、地形複雜度和稀有種數目，因此認為是最值得投入保育力量的地區。調查的方式為在礁頂及礁底各調查點，拉設 2 條 50 公尺長穿越線，以水下攝影機拍攝左右 50 公分寬的帶狀範圍內之珊瑚礁。將影片以亂數選擇時間點截圖，一個調查點總共擷取 160 張照片，用 CPCe 軟體以逢機灑點的方式，每張照片灑下 30 個點，計算繁生型、競爭型、耐壓型三大類活珊瑚覆蓋率，及死珊瑚與非珊瑚的覆蓋率。

6. 溫度的測量

在礁頂及礁底各調查點放置溫度計，溫度計可紀錄的精度為攝氏 0.2 度，紀錄頻率為每 30 分鐘一次，記錄自六月中旬開始直到九月中旬，一共三個月的水溫資料。放置溫度計處綁上寶特瓶浮標作記號，並記錄 GPS 資料，及拍攝水下位置照片以利回收溫度計。回收的資料以 Cosinor 的方式 (Refinetti, R. et al, 2007) 分析是否有日週期，資

料需先經過處理，將每一筆溫度資料分別與 22、23、24、25、26 個小時的平均溫度值相減之後，以所得到的差值來作計算，以求得日週期。

7. 珊瑚病蟲害調查

在礁頂及礁底各拉設2條50公尺長的穿越線，進行病蟲害的調查 (Rosenberg 2004)，在穿越線寬一公尺範圍內調查紀錄是否有各種珊瑚疾病 (Sutherland et al. 2004)，黑帶病 (BBD, black band disease)、黃帶病 (YBD, yellow band disease)、黑病 (BD, black disease)及白結螺 (*Drupella* spp.)、棘冠海星 (*Acanthaster planci*) 等病蟲害。

8. 環礁內塊礁大小

利用環礁衛星空照圖 (附圖八)，增加對比後，按照比例量測塊礁長徑長度，作為塊礁大小的指標，並計算塊礁數量及分布。

第二節 結果

本次研究一共調查了十塊塊礁，每塊塊礁各分為礁頂與礁底，其中放置溫度計的部分，由於天氣及海況因素無法作業，所以只有在其中五塊塊礁放置溫度計。調查結果總共分為下列幾項，珊瑚生長、珊瑚生殖、小珊瑚、珊瑚類型分布、溫度、珊瑚病蟲害調查。

1. 珊瑚生長

珊瑚生長的部分，我們取 1994 年至 2008 年的生長速率進行分析，生長速率變異相當大 (圖 2-1)，從每年 3.44 mm 到每年 20.18 mm。將每一塊礁礁頂與礁底的珊瑚作配對，礁底減去礁頂的差值分布是偏向正值的一方 (圖 2-2)，礁底的珊瑚生長速率顯著的比礁頂還要大 (Paired t-test, $p < 0.001$)。而將東、西兩邊分開來測試礁頂與礁底的生長差異，東邊礁底的珊瑚生長速率顯著的比礁頂大，礁底年生長率範圍為 4.6-17.9 mm，礁頂範圍 4.6-18.3 mm (Paired t-test, $p = 0.01$ ，圖 2-3)，西邊則是礁頂的生長速率顯著比礁底大，礁底年生長率範圍為 4.7-17.3 mm，礁頂範圍為 3.4-20.2 mm (Paired t-test, $p = 0.049$ ，圖 2-4)。比較東、西之間的生長，以不配對的方式進行分析，沒有發現顯著的差異，東邊平均 9.3 mm，西邊平均 8.8 mm (t-test, $p = 0.18$)，若將東、西每年度的生長資料平均，以年份作配對的方式分析，則自

1988 年至 2008 年間，東邊平均 9.2 mm，西邊平均 8.1 mm，東邊顯著長得比西邊快 (Paired t-test, $p=0.028$)。年間的生長速率，因為各樣本的大小不一，生長輪數不同，有些樣本並沒有 1997 年之前的生長數據，只能採用 1997 年之後至 2008 年的數據作配對的樣本分析，結果是年與年之間並沒有發現顯著的差異 (Friedman test, $p=0.29$)，就平均生長率而言，礁底約 9.0 mm，礁頂為 9.1 mm (圖 2-5)。礁頂、礁底分別以年與生長速率作迴歸分析，礁頂的生長速率隨著時間有下降的趨勢 (圖 2-6)，以原始資料及平均數值分析皆有此現象 (correlation analysis, 原始 $p=0.029$, 平均 $p<0.01$)，從每年 1.01 公分 (1997) 減緩到每年 0.82 公分 (2008)，下降了 18.5%，礁底與頂底合併在年與生長速率上則沒有相關 (原始：礁底 $p=0.97$ ，合併 $p=0.12$ ；平均：礁底 $p=0.87$ ，合併 $p=0.22$)。

2. 小珊瑚

小珊瑚調查結果，分為密度、種類及大小三個部分。密度 (d) 方面，不作配對分析時 (密度平均：頂東 $d=0.61$ 個/ m^2 ，頂西 $d=0.7$ 個/ m^2 ，底東 $d=0.98$ 個/ m^2 ，底西 $d=1.59$ 個/ m^2)，礁頂、礁底和東、西兩側皆沒有顯著差異 (ANOVA，頂、底： $p=0.06$ ；東、西： $p=0.29$)。當將礁頂、礁底以配對的方式分析時，則可發現礁底的密度 ($d=0.18-3.08$ 個/ m^2) 顯著的比礁頂 ($d=0.14-1.14$ 個/ m^2) 大 (圖 2-8，

Paired t-test, $p=0.02$)。小珊瑚大小的部分，因為小珊瑚的面積與最長徑存在著很好的關係 (圖 2-8、圖 2-9)，加上最長徑比較容易量測，所以選擇了小珊瑚的最長徑來當作大小的指標，而將所有長徑作頻度分布分析，可以發現呈現一個接近兩側對稱，類似鐘型分布的曲線，但是不符合常態分布 (圖 2-10, Normal distribution fitting, $p<0.001$)。

將所有的小珊瑚分科，可以發現其中以菊珊瑚科 (61.6%)、蕈珊瑚科 (16.6%) 以及微孔珊瑚科 (9.7%) 這三科佔大多數 (圖 2-11)(附圖九-十八)；密度方面，較多的三個科在礁頂、礁底並沒有顯著的差異 (Paired t-test, 菊珊瑚密度平均：頂 $d=0.49$ 個/ m^2 ，底 $d=0.79$ 個/ m^2 ， $p=0.27$ ，蕈珊瑚密度平均：頂 $d=0.13$ 個/ m^2 ，底 $d=0.21$ 個/ m^2 ， $p=0.2$ ，微孔珊瑚密度平均：頂 $d=0.09$ 個/ m^2 ，底 $d=0.06$ 個/ m^2 ， $p=0.42$)，其它少數科為一組時，礁底的密度比礁頂高 (Paired t-test, 密度平均：頂 $d=0.04$ 個/ m^2 底， $d=0.2$ 個/ m^2 ， $p<0.01$)。

另外利用小珊瑚的種類及數量，我們分析了小珊瑚在礁頂與礁底的多樣性指數 (Simpson's index & Shannon-Weiner index)，發現礁底的小珊瑚在生物多樣性方面顯著的高於礁頂 (Paired t-test, Simpson's index $p=0.05$, Shannon-Weiner index $p=0.008$)(圖 2-12)。

大小方面，我們去掉數量太少的科之後，以數量較多的三科來做統計分析，以便簡化結果。三種主要的科分別去作最長徑分布圖 (圖

2-13、圖 2-14、圖 2-15)，大小集中在 25-30 mm 附近，明顯的有一個峰值。用小珊瑚的種類、礁頂或礁底、東邊或西邊為因變數與小珊瑚的大小去做統計 (圖 2-16)，結果是小珊瑚的大小與東邊或西邊有關，東邊比西邊平均大 1.3 mm (ANOVA, $p < 0.01$)，礁頂比礁底平均大 3.2 mm (ANOVA, $p < 0.05$)，但是與種類無關 (ANOVA, $p = 0.2$)，各種類平均為菊：27 mm：微：28.2 mm 蕈：25.6 mm。其中東邊或西邊又與種類有交互作用。進一步去分析東邊或西邊與種類的關係，發現在三個科中，只有蕈珊瑚科在東、西兩邊大小有顯著的差異 (ANOVA, $p < 0.01$)，菊珊瑚科和微孔珊瑚科則沒有顯著差異 (ANOVA, $p = 0.96$ ， $p = 0.12$)。

3. 珊瑚生殖

本次研究在六月中旬，內環礁的 9 個地點，共採集 137 塊珊瑚樣本，共包含五科，菊珊瑚科 (Faviidae) 57 塊、微孔珊瑚科 (Poritidae) 46 塊、樹珊瑚科 (Dendrophylliidae) 4 塊、刺葉珊瑚科 (Echinophylliidae) 15 塊、軸孔珊瑚科 (Acroporidae) 15 塊。先以解剖顯微鏡觀察所有溶完骨頭的珊瑚軟組織，未發現任何的生殖腺存在，並以石蠟包埋切片確認，菊珊瑚屬 (*Favia* sp.) (圖 2-17)、盤珊瑚屬 (*Turbinaria* sp.) (圖 2-18)、瓣葉珊瑚屬 (*Lobophyllia* sp.) (圖 2-19)、微孔珊瑚屬 (*Porites* sp.) (圖 2-20)、管孔珊瑚屬 (*Goniopora* sp.) (圖

2-21)、角星珊瑚屬 (*Goniastrea* sp.)(圖 2-22)，結果並未發現任何生殖腺。

4. 珊瑚類型分布

在十個調查地區，活珊瑚覆蓋率範圍為 0.3-45.8 % (圖 2-23)，死珊瑚覆蓋率範圍從 7.5-75.7 %，死珊瑚比例[死珊瑚/(死珊瑚+活珊瑚)]從 9.7-99.6 % (圖 2-24)。礁頂與礁底在三方面皆沒有明顯的差異 (Wilcoxon Signed Rank test, $p=0.17$, $p=0.07$, $p=0.28$)。而十個調查地區中，其中 9 號點礁頂覆蓋率 45.8 %，礁底覆蓋率 29 %，兩者平均活珊瑚覆蓋率 37.4% 為所有調查地區最高。以東、西邊作畫分，活珊瑚覆蓋率沒有顯著的差異 (Mann-Whitney U test, $p=0.36$)，死珊瑚覆蓋率部分則是西邊顯著的比東邊大 (Mann-Whitney U test, $p<0.01$)。死珊瑚比例部分，東、西兩邊沒有顯著差異 (Mann-Whitney U test, $p=0.23$)。活珊瑚的部分，以型態群細分成繁生型、競爭型、耐壓型三種類型的珊瑚，去作比例的分析，實際覆蓋率方面繁生型珊瑚範圍為 0-9.2 %，競爭型珊瑚覆蓋率範圍為 0-45 %，耐壓型珊瑚覆蓋率範圍為 0.3-30.7 %。其中繁生型珊瑚在礁頂、礁底的覆蓋率有顯著的差異，礁底多於礁頂 (Wilcoxon Signed Rank test, $p<0.05$)，而其它競爭型、耐壓型則沒有顯著差異 (Wilcoxon Signed Rank test, $p=0.39$, $p=0.14$)。以東、西邊作畫分，東邊的耐壓型珊瑚覆蓋率顯著的比西邊

多 (Mann-Whitney U test, $p < 0.05$)，繁生型與競爭型珊瑚則沒有顯著差異 (Mann-Whitney U test, $p = 0.85$, $p = 0.47$)。根據 Edinger (2000)，依照各調查點礁頂、礁底各型活珊瑚覆蓋率的比率，可以畫出 rKS 三角圖 (圖 2-25)，若將礁頂礁底合起來看(圖 2-26)，十個塊礁內，塊礁 1、2、3，主要以耐壓型的型態群為主是保育等級 1，塊礁 6、7、9、10，主要是以競爭型的功能群為主，是保育等級 2。在塊礁 4、5、8，屬於保育等級為 4，具有珊瑚生長型多樣性及中度珊瑚覆蓋率。

5. 溫度

一共回收了八支溫度計，其中五支在礁底，三支在礁頂，有二支礁頂溫度計無法回收。紀錄的時間自 2009 年 6 月 17 號 0 時起至 9 月 15 號 24 時止一共 91 天。將礁底五點平均與礁頂三點平均之後，可以看出礁頂溫度幾乎都比礁底高 (圖 2-27)，而將礁頂、礁底有成對之溫度計 (第五、第六及第九塊塊礁) 的溫度相減之後，溫度的差值集中在高一度左右，最高可相差達 3.8 度，但也有約 6.7 % 的時間是礁底溫度較高的 (圖 2-28，圖 2-29，圖 2-30)。從同一時間點礁頂與礁底的溫度分布圖 (圖 2-31)，可以看到分布點多掉在 1:1 線下方，偏礁頂的地方，代表在同一時間點下，礁頂溫度的確是比礁底要高。在絕對溫度部分，每 30 分鐘紀錄一次的情況下，超過 30°C 的時間礁頂要比礁底多 (圖 2-32)，單看每塊塊礁 (附表二)，位於西邊的塊礁

六與塊礁九，礁底超過的百分比為 19.4%及 23.6%；礁頂超過的百分比高達 52.7 %及 31.2 %，而位於東邊的塊礁一、塊礁二、塊礁五，礁底超過的百分比為 2.3 %、3.2 %及 10.4 %；塊礁五礁頂則為 23.9 % (塊礁一與塊礁二礁頂溫度計無法收回)。從平均來看，礁頂平均有 35.9 % 的時間超過 30 °C，而礁底平均只 12.8 %；西邊平均 28.7 % 的時間超過 30 °C，東邊平均只 9.4 %。就溫度的總結果來看，礁頂平均溫度 (29.5 °C) 比礁底平均溫度 (28.8 °C) 高 (Paired t-test, $p < 0.001$)，且西邊平均溫度 (29.4 °C) 比東邊平均溫度 (28.7 °C) 高 (Paired t-test, $p < 0.001$)。另外以 Cosinor 方法測試各點溫度變化之最適近日週期，礁頂皆為 24 小時一個週期，而礁底之最適週期則從 22.2 至 26 小時一個週期不等 (表 2-1)。

6. 珊瑚病蟲害調查

在二十個調查點中，除了發現五隻零星的棘冠海星之外，沒有發現任何其它像是黑帶病、黃帶病、黑病或是白結螺等等的珊瑚病蟲害。

7. 環礁內塊礁大小

計算塊礁大小並作成頻率分布圖 (圖 2-33)，一共有 217 塊塊礁。可以發現塊礁大小多集中在 200 公尺範圍以內，最小為 88.8 公尺最大為 843.6 公尺。這些塊礁礁頂平坦，大約 1 至 2 米深，礁底則多為沈積物所覆蓋，二者之間多為坡度陡峭的斜坡。

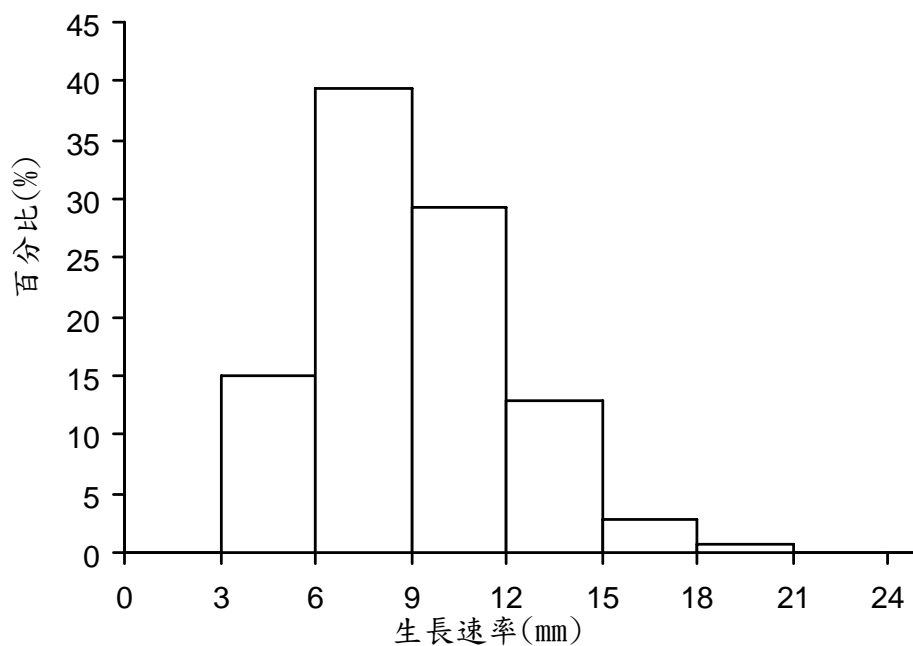


圖 2-1 東沙環礁潟湖內微孔珊瑚生長速率頻度分布圖。總觀察數為 20 個樣本，年份由 1984-2008，有些樣品僅有近年度生長資料。

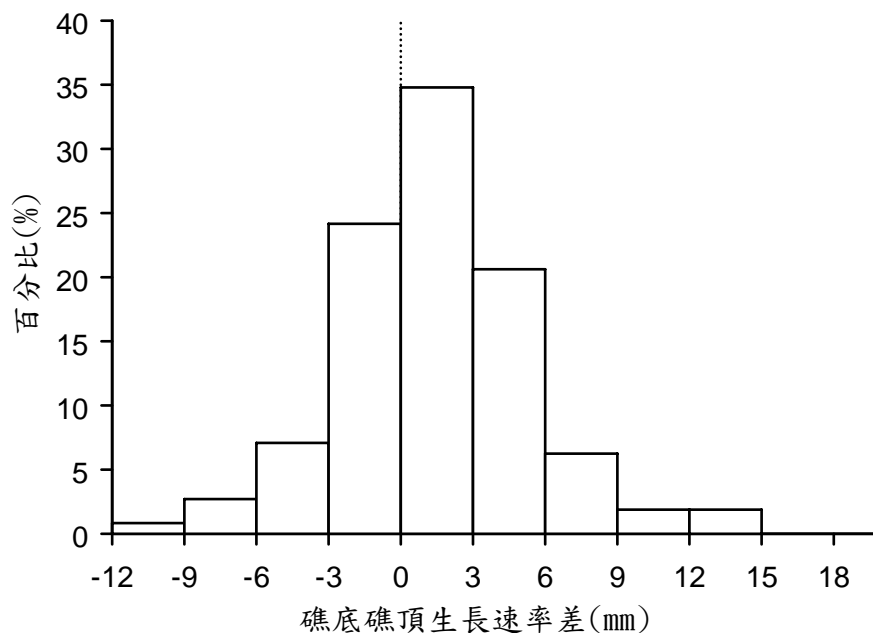


圖 2-2 東沙環礁潟湖內 1994 年到 2008 年，同一塊塊礁上，礁底減去礁頂的微孔珊瑚生長速率差值頻率分布圖。

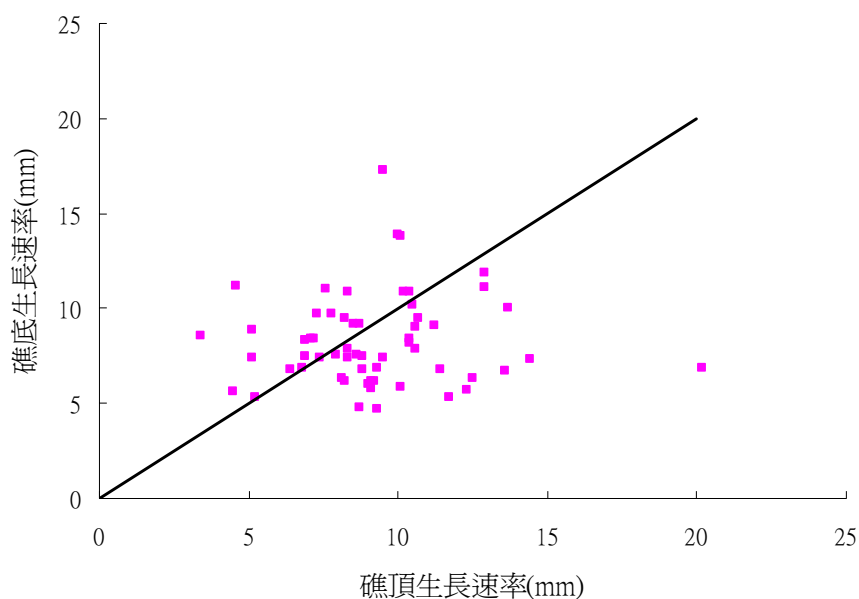


圖 2-3 東沙環礁潟湖西邊微孔珊瑚生長速率，礁頂比礁底大(Paired t-test, $p=0.049$)，圖中斜線為 1:1 線。

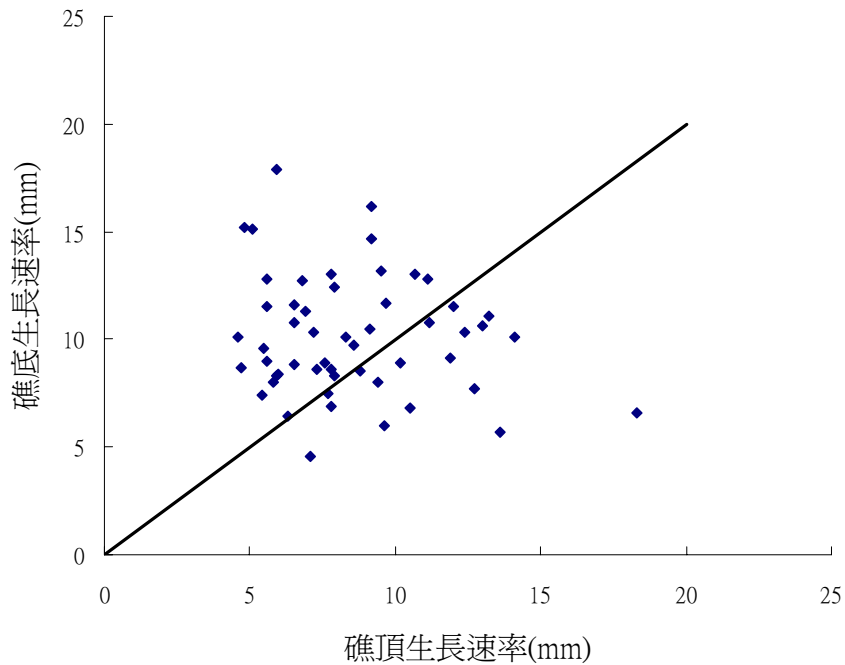


圖 2-4 東沙環礁潟湖內東邊微孔珊瑚生長速率，礁底比礁頂大 (Paired t-test, $p=0.01$)，圖中斜線為 1:1 線。

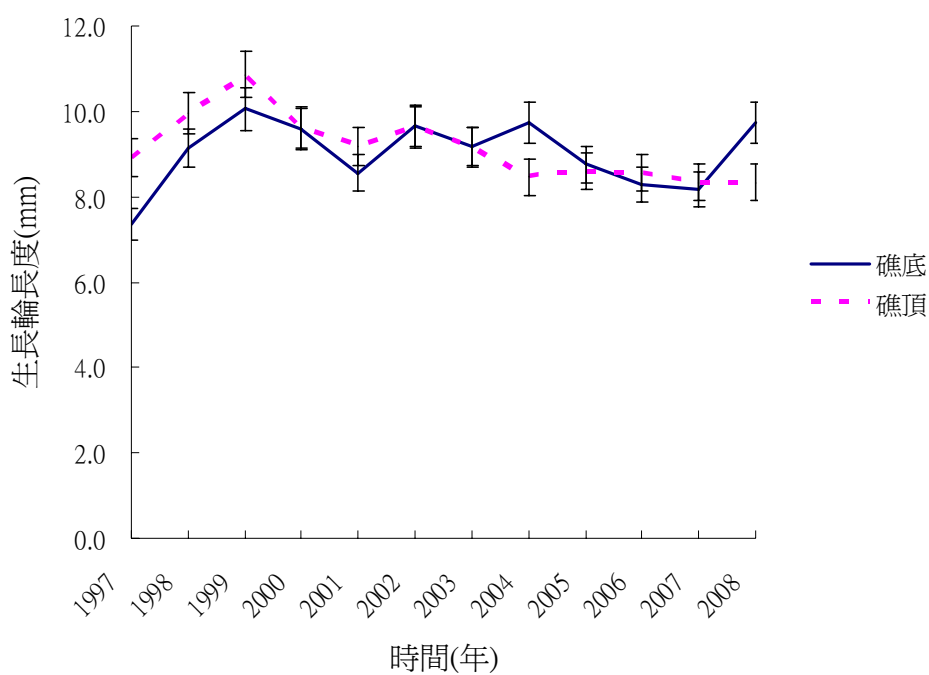


圖 2-5 1997-2008 年東沙環礁潟湖內微孔珊瑚生長速率平均趨勢圖，

年間未發現顯著差異 (Friedman Test, $p=0.29$)。

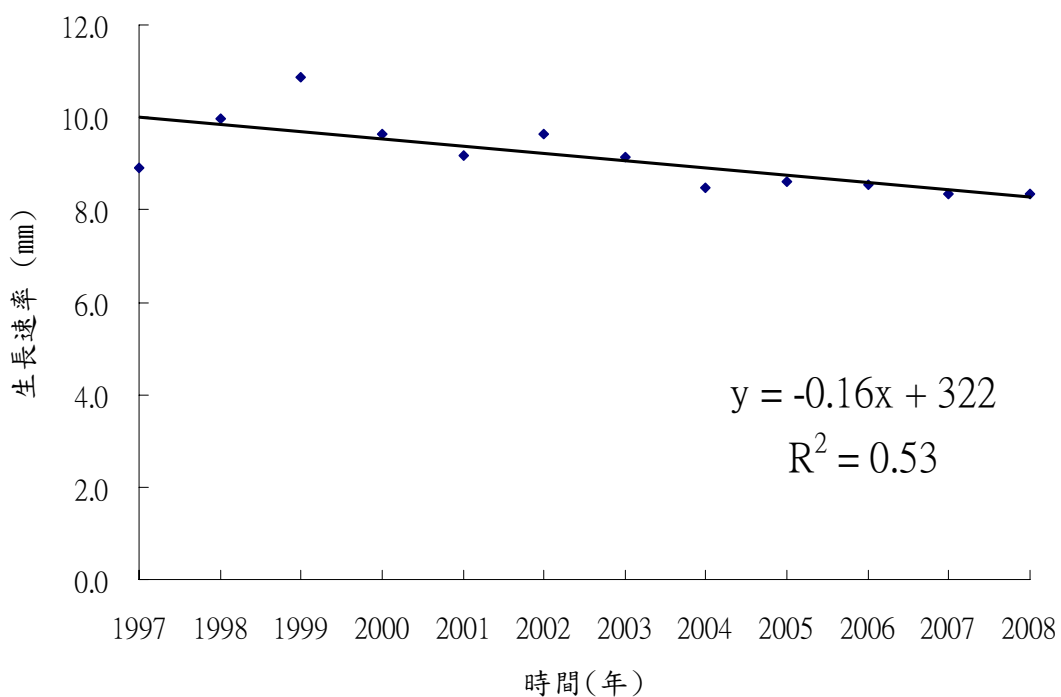
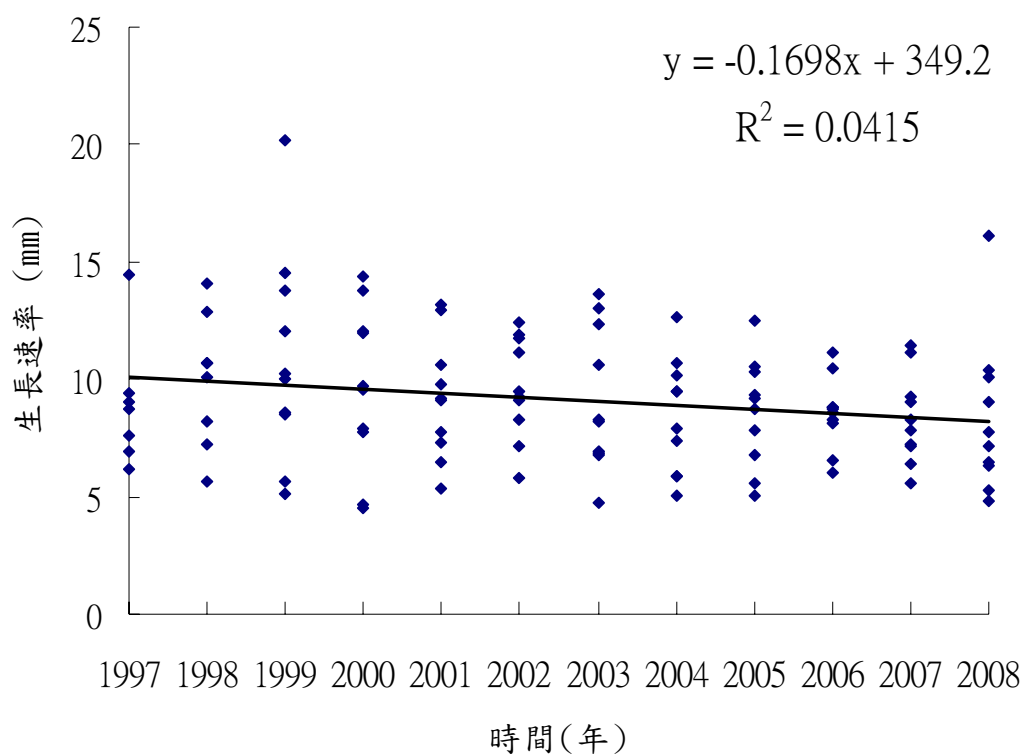


圖 2-6、礁頂珊瑚生長速率趨勢圖，上圖為原始數據，下圖為 10 塊樣本平均 (Correlation analysis, 上 $p=0.029$, 下 $p<0.01$)。

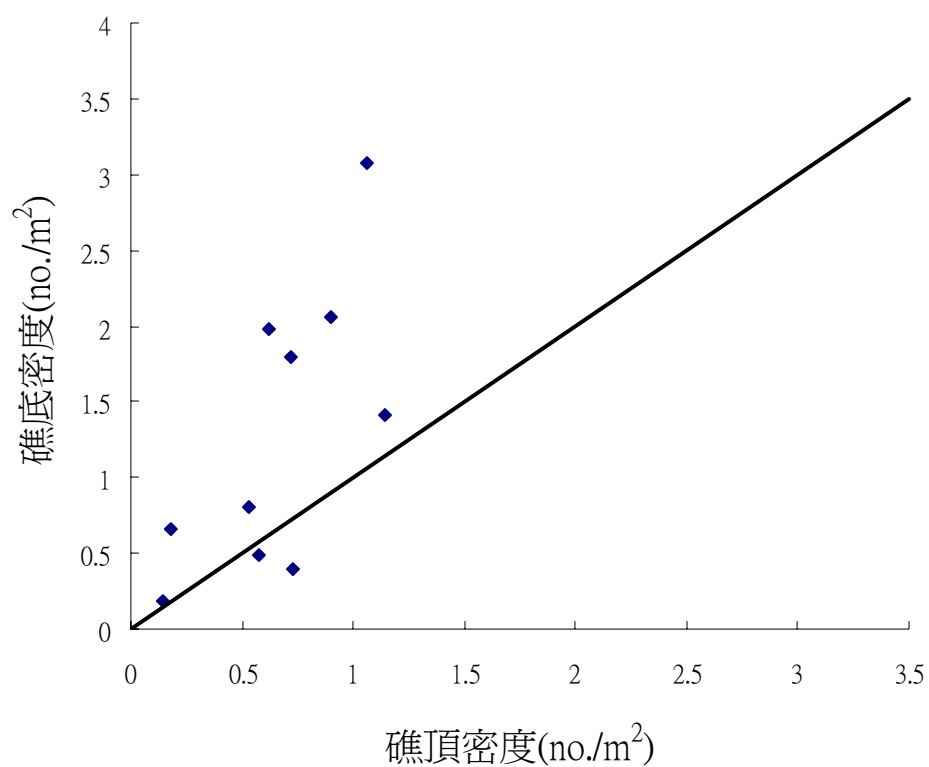


圖 2-7 東沙環礁潟湖內礁頂、礁底小珊瑚密度比較圖，圖中斜線為 1:1 直線，礁底密度比礁頂大 (Paired t-test, $p=0.02$)。

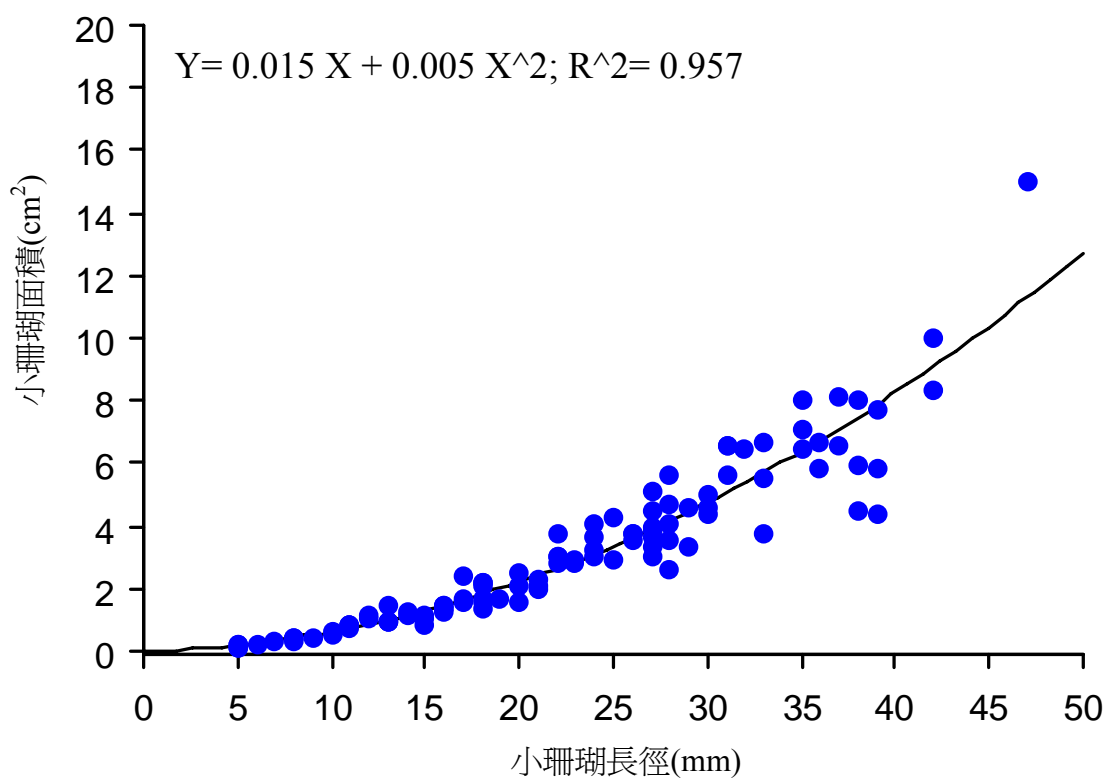


圖 2-8 東沙環礁潟湖內礁底小珊瑚長徑與面積關係圖。

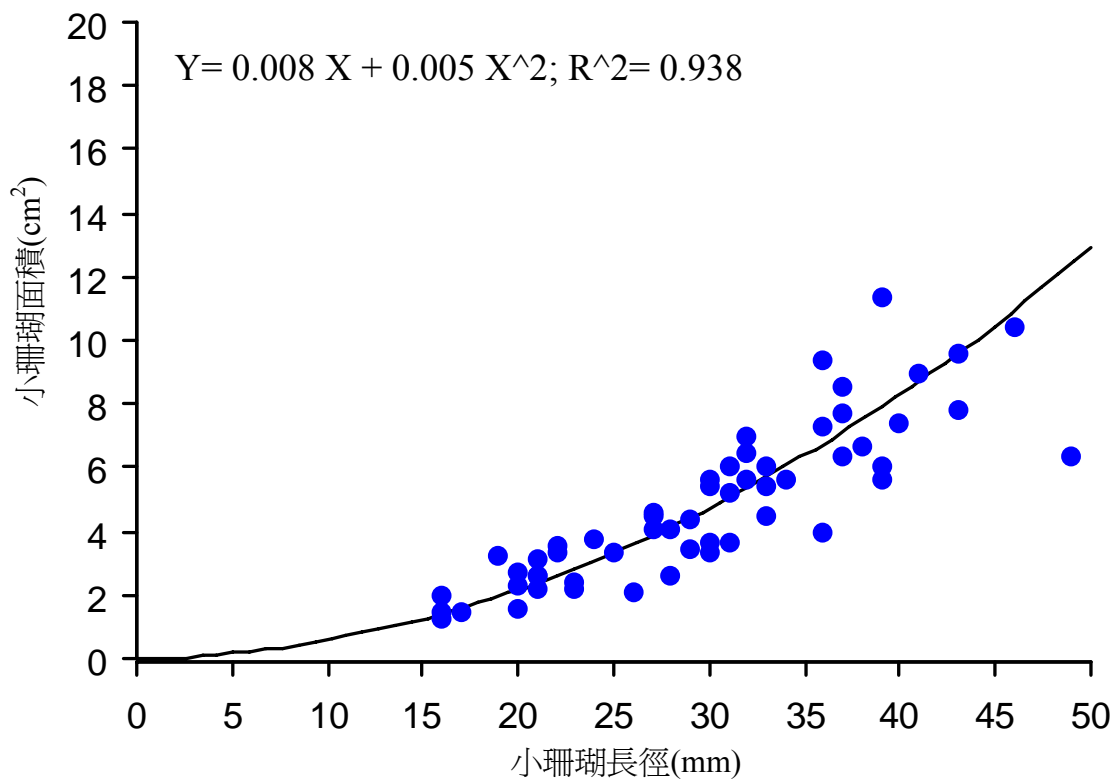


圖 2-9 東沙環礁潟湖內礁頂小珊瑚長徑與面積關係圖。

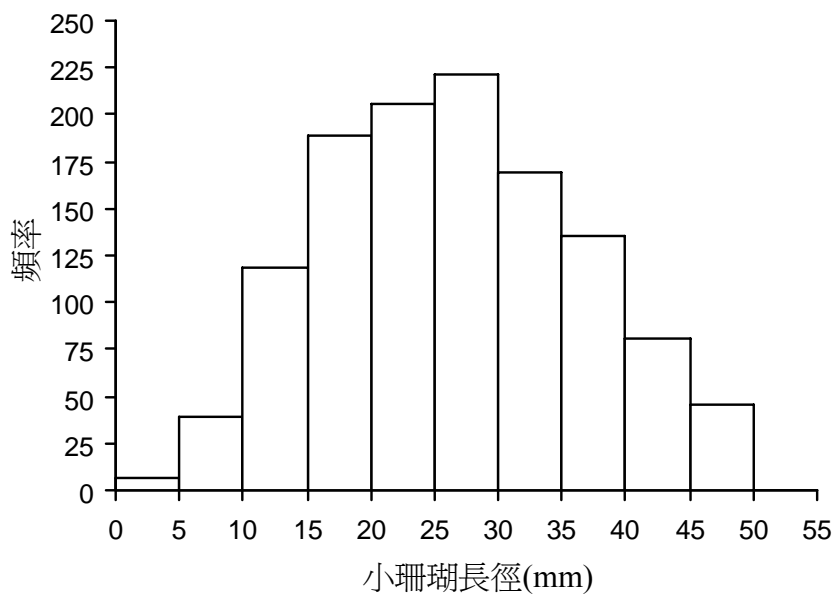


圖 2-10 東沙環礁瀉湖內小珊瑚長徑頻率分布。

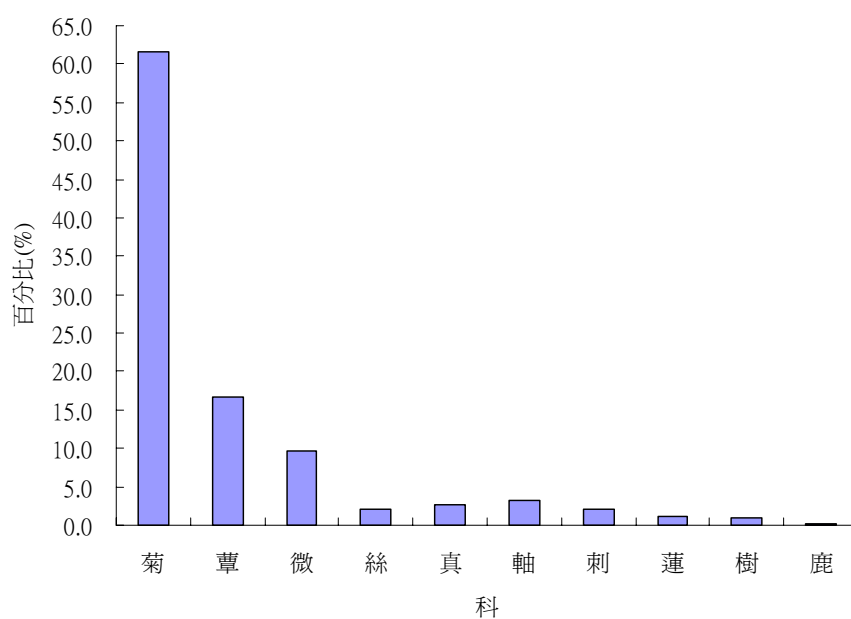


圖 2-11 東沙環礁瀉湖內小珊瑚科別頻度分佈。菊：菊珊瑚科、蕈：蕈珊瑚科、微：微孔珊瑚科、絲：絲珊瑚科、真：真葉珊瑚科、軸：軸孔珊瑚科、刺：刺葉珊瑚科、蓮：蓮珊瑚科、樹：樹珊瑚科、鹿：鹿角珊瑚科。

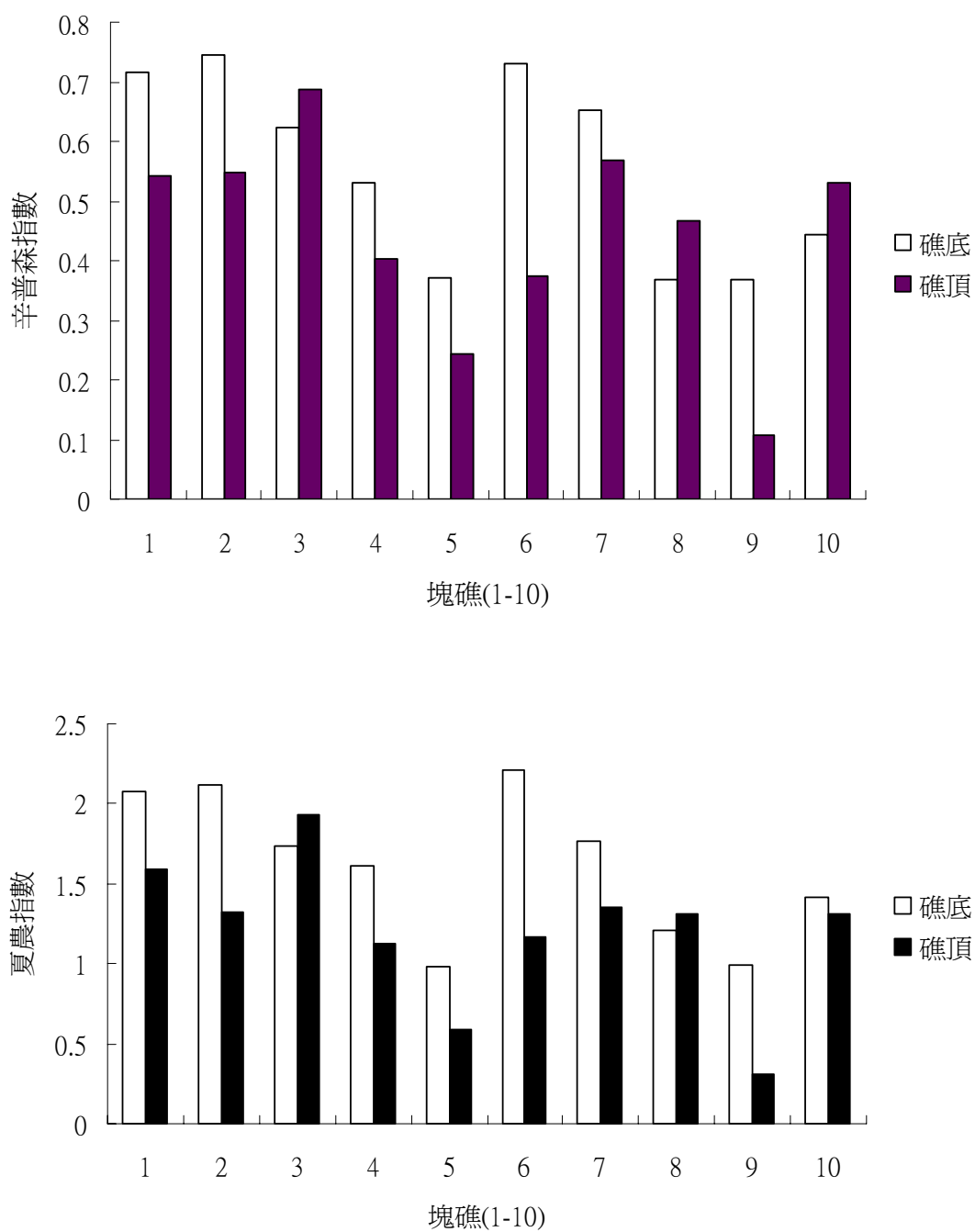


圖 2-12 東沙環礁潟湖內礁頂、礁底小珊瑚多樣性分析，礁底高於礁頂 (Paired t-test, Simpson's index $p=0.05$, Shannon-Weiner index $p=0.008$)。

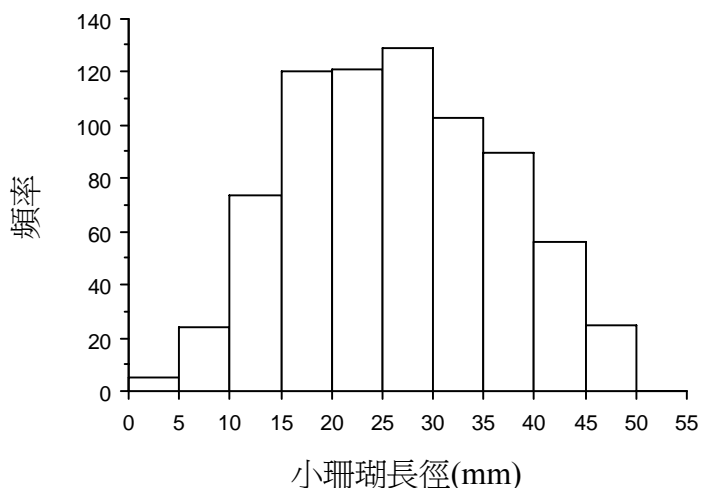


圖 2-13 東沙環礁瀉湖內菊珊瑚科小珊瑚長徑頻率分布。

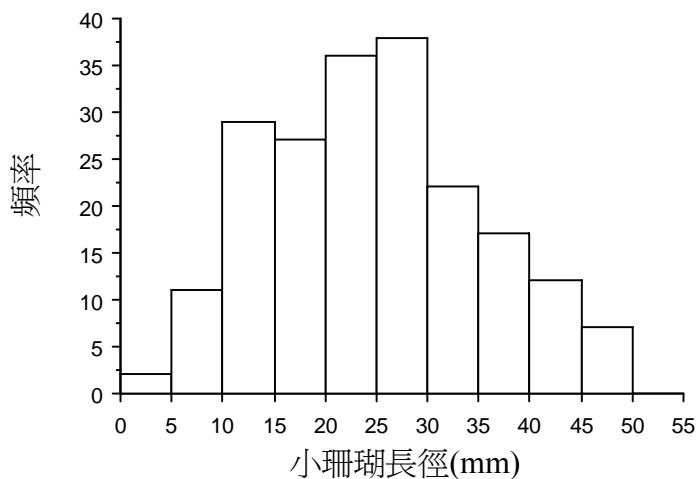


圖 2-14 東沙環礁瀉湖內蕈珊瑚科小珊瑚長徑頻率分布。

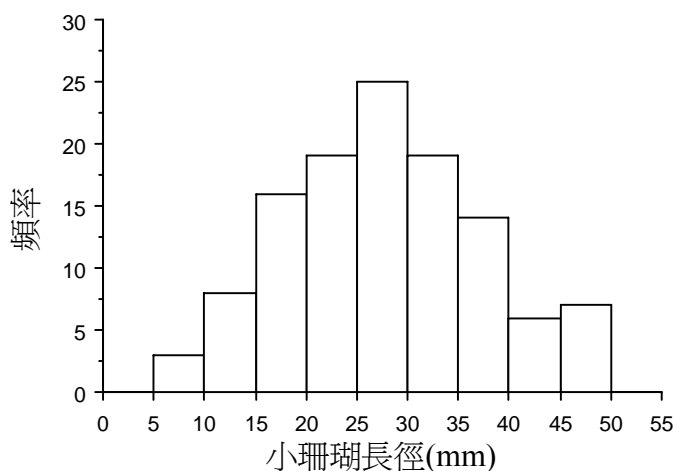


圖 2-15 東沙環礁瀉湖內微孔珊瑚科小珊瑚長徑頻率分布。

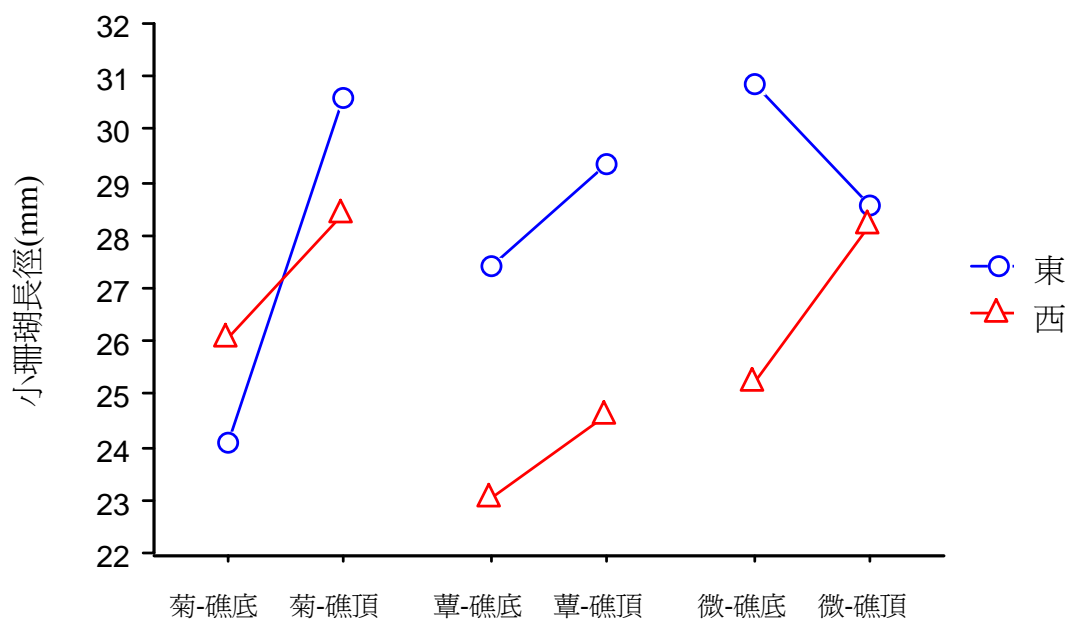


圖 2-16 東沙環礁潟湖內小珊瑚的平均大小，東邊顯著比西邊大 (ANOVA, $p < 0.01$)，礁頂顯著比礁底大 (ANOVA, $p < 0.05$)，科間沒有顯著差異 (ANOVA, $p = 0.2$)。菊：菊珊瑚科、蕈：蕈珊瑚科、微：微孔珊瑚科

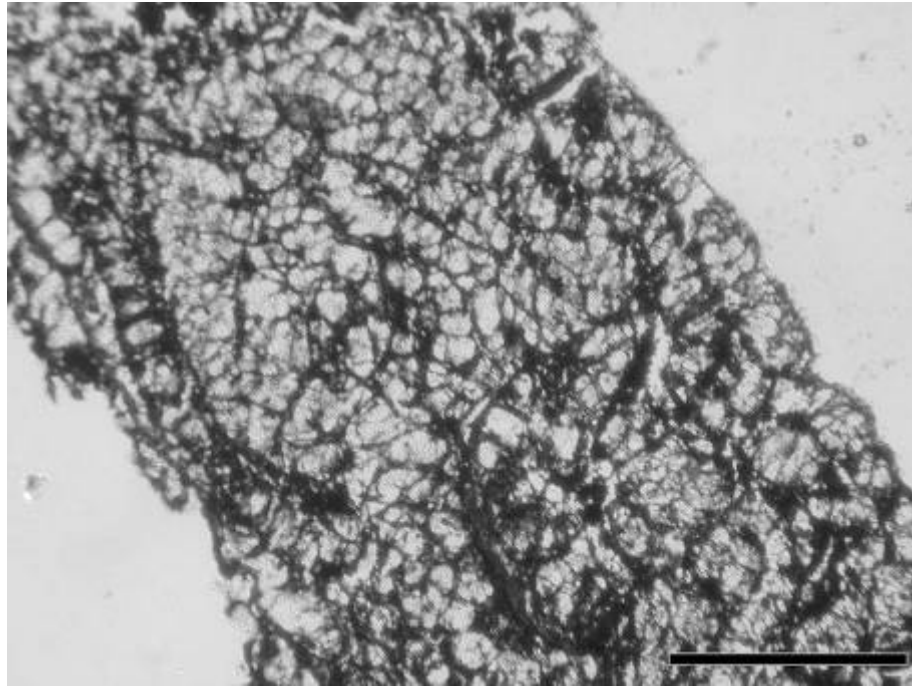


圖 2-17 東沙環礁潟湖內菊珊瑚科菊珊瑚屬切片照，比例尺為
100 μ m。

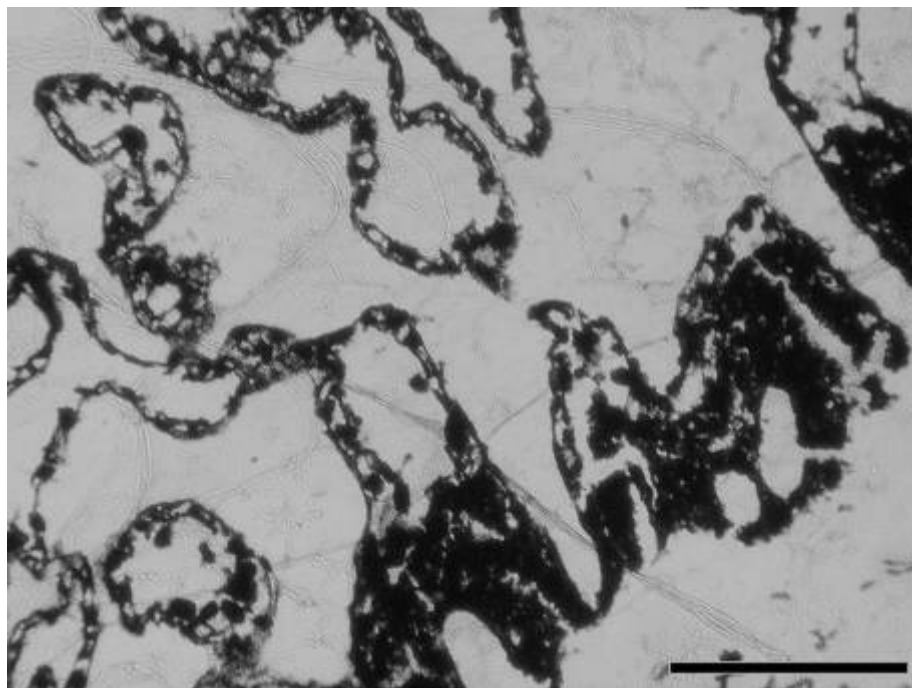


圖 2-18 東沙環礁潟湖內樹珊瑚科盤珊瑚屬切片照，比例尺為
100 μ m。

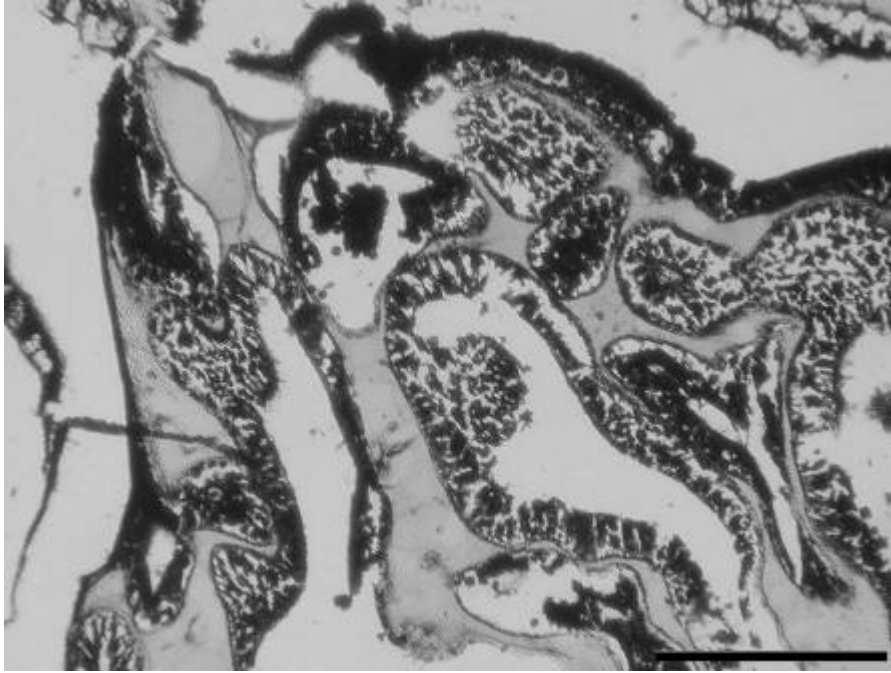


圖 2-19 東沙環礁瀉湖內刺葉珊瑚科瓣葉珊瑚屬切片照，比例尺為
100 μ m。

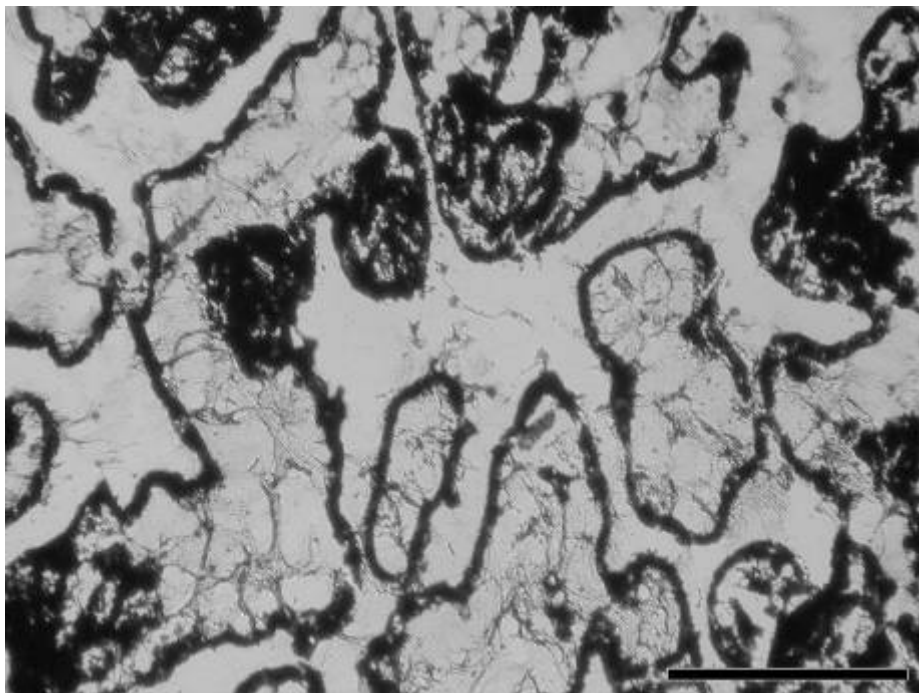


圖 2-20 東沙環礁瀉湖內微孔珊瑚科微孔珊瑚屬切片照，比例尺為
100 μ m。



圖 2-21 東沙環礁瀉湖內微珊瑚科管孔珊瑚屬切片照，比例尺為
100 μ m。

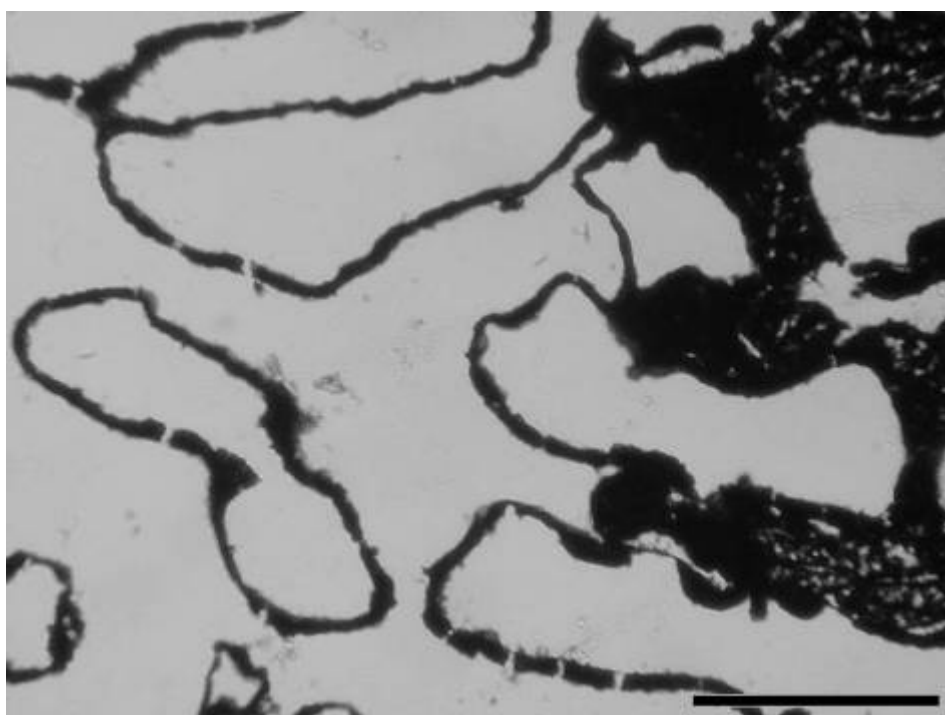


圖 2-22 東沙環礁瀉湖內菊珊瑚科角星珊瑚屬切片照，圖中比例尺為
100 μ m。

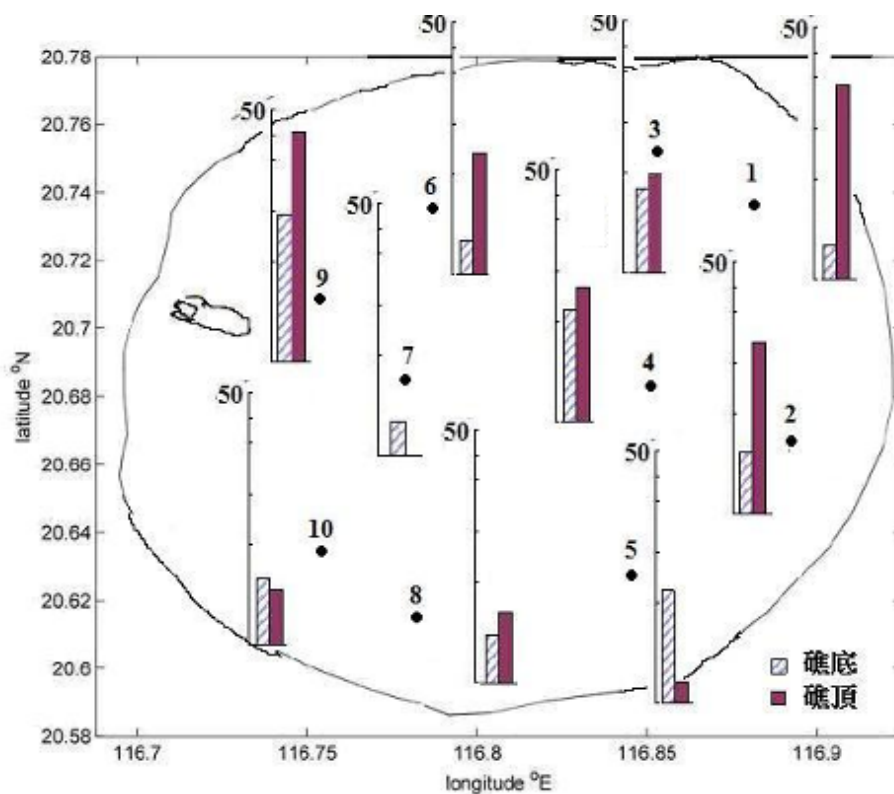


圖 2-23 東沙環礁潟湖內各調查點活珊瑚覆蓋率 (%)。

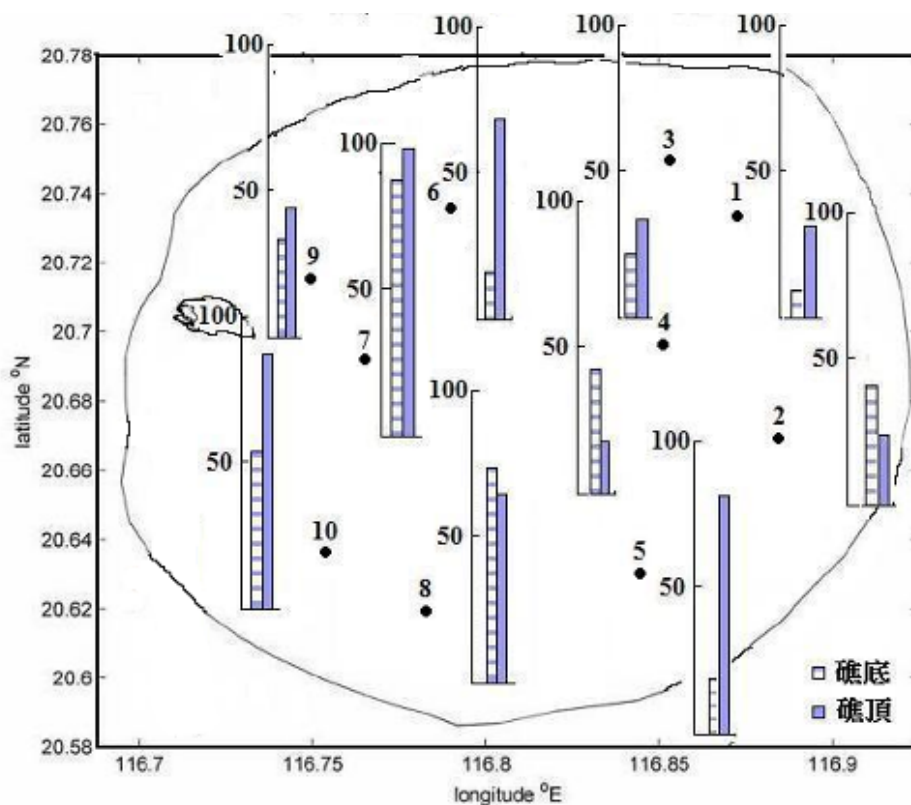


圖 2-24 東沙環礁潟湖內各調查點死珊瑚覆蓋率 (%)。

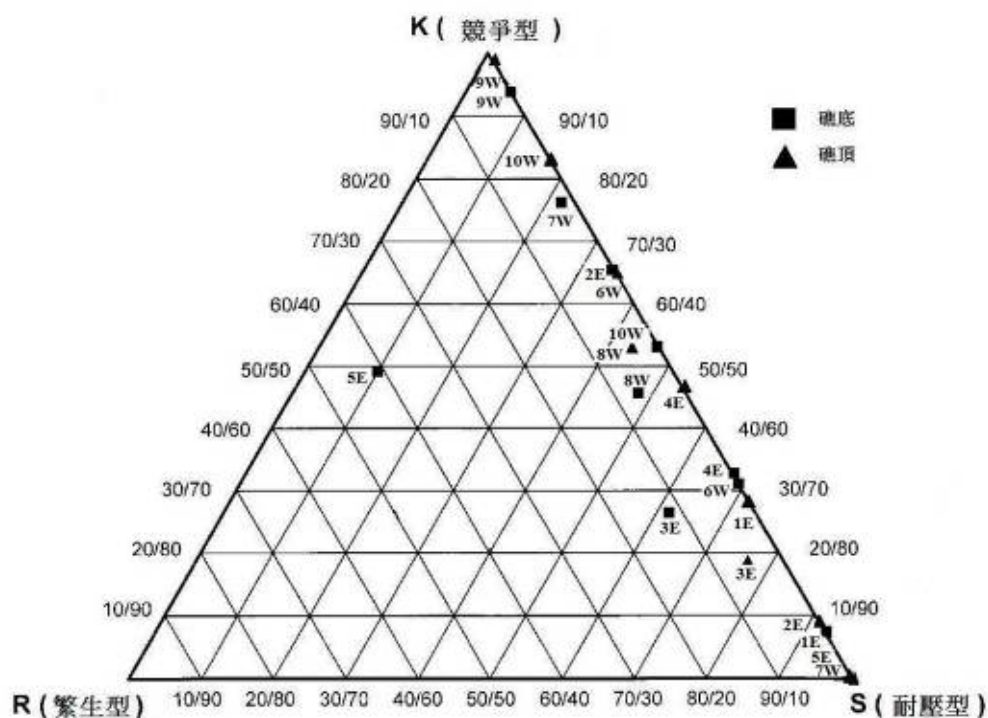


圖 2-25 東沙環礁潟湖內調查點 rKS 圖，分礁頂、底，共二十個點。

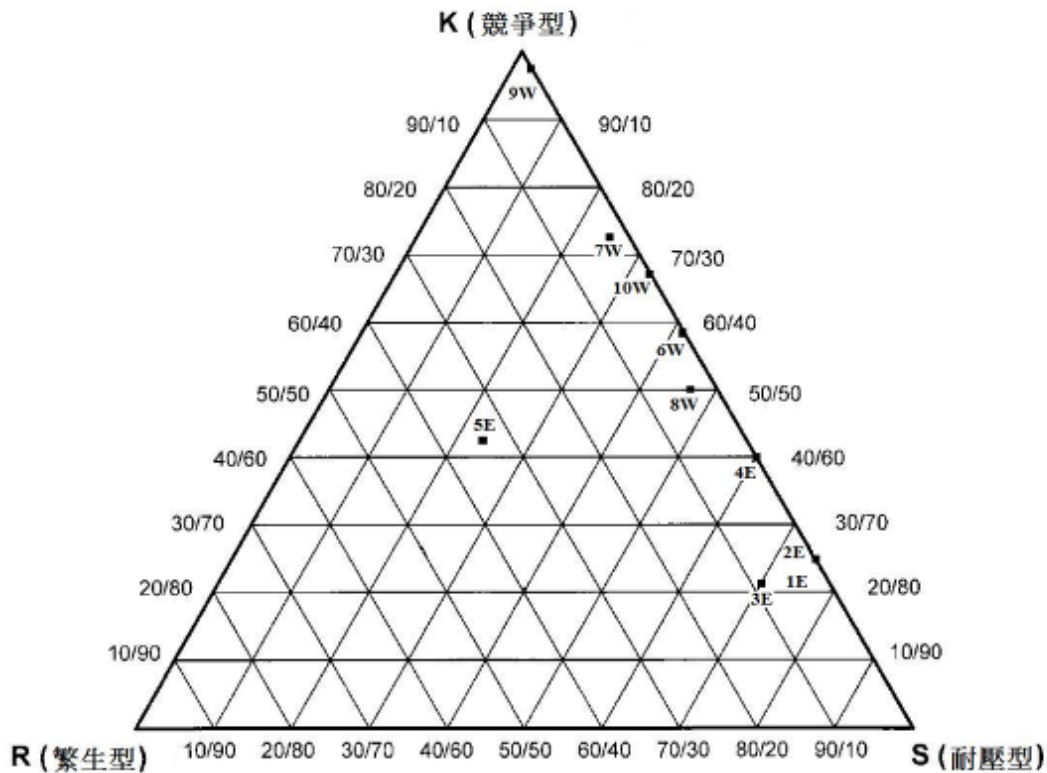


圖 2-26 東沙環礁潟湖內調查點 rKS 圖，共十個點 (礁頂、底合併)。

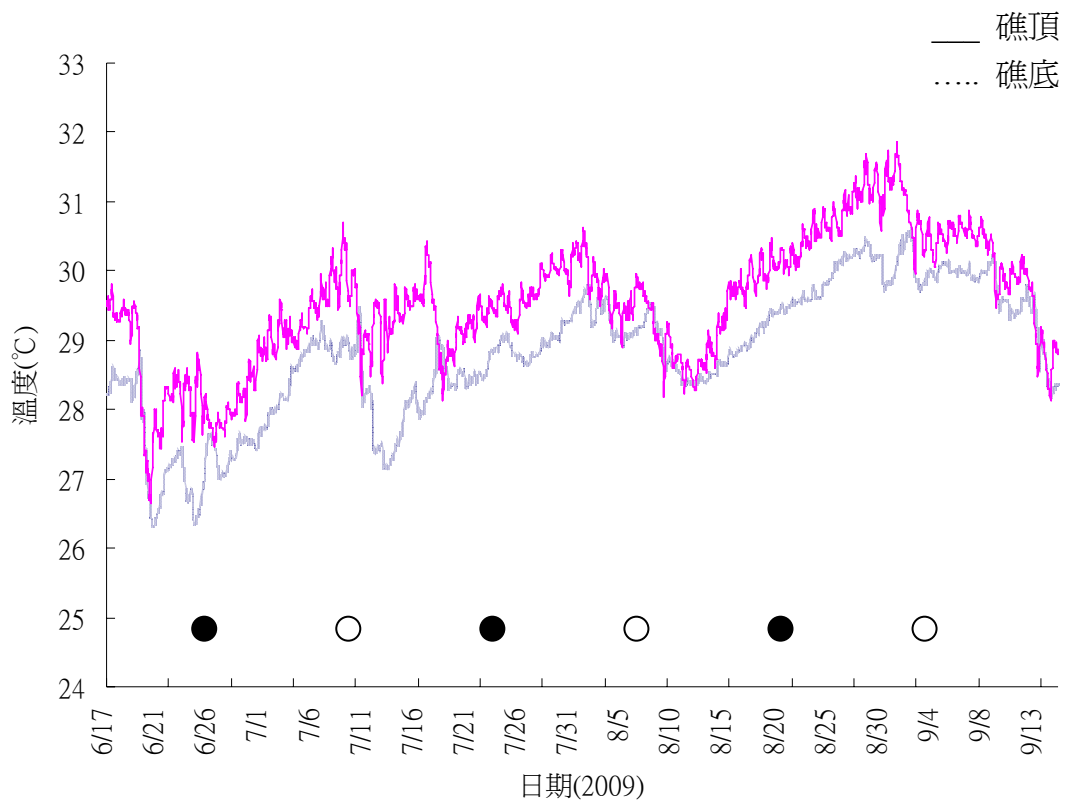


圖 2-27 2009 東沙環礁潟湖內礁頂與礁底水溫圖，下方圓圈代表月亮週期，空心圓圈為滿月，實心圓圈為新月 (礁頂為三點的平均，礁底為五點的平均)。

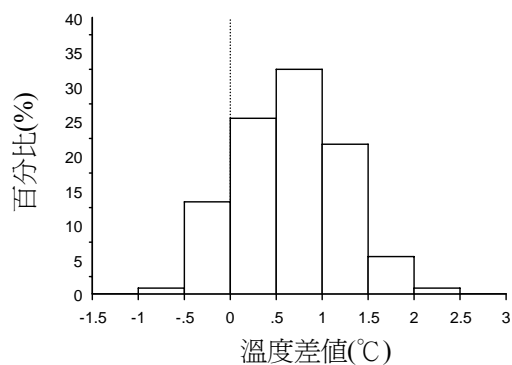


圖 2-28 東沙環礁潟湖內塊礁五之頂、底溫度差頻度 (每三十分鐘測量一次) 分布圖。

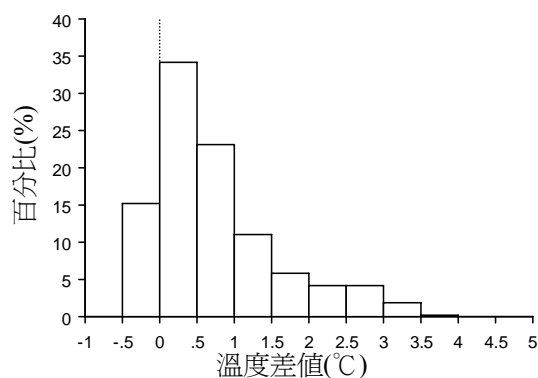


圖 2-29 東沙環礁潟湖內塊礁六之頂、底溫度差頻度 (每三十分鐘測量一次) 分布圖。

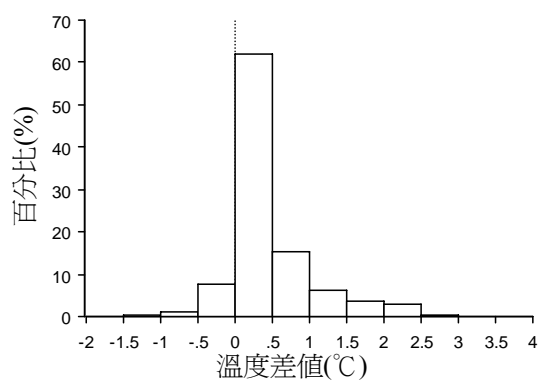


圖 2-30 東沙環礁潟湖內塊礁九之頂、底溫度差頻度 (每三十分鐘測量一次) 分布圖。

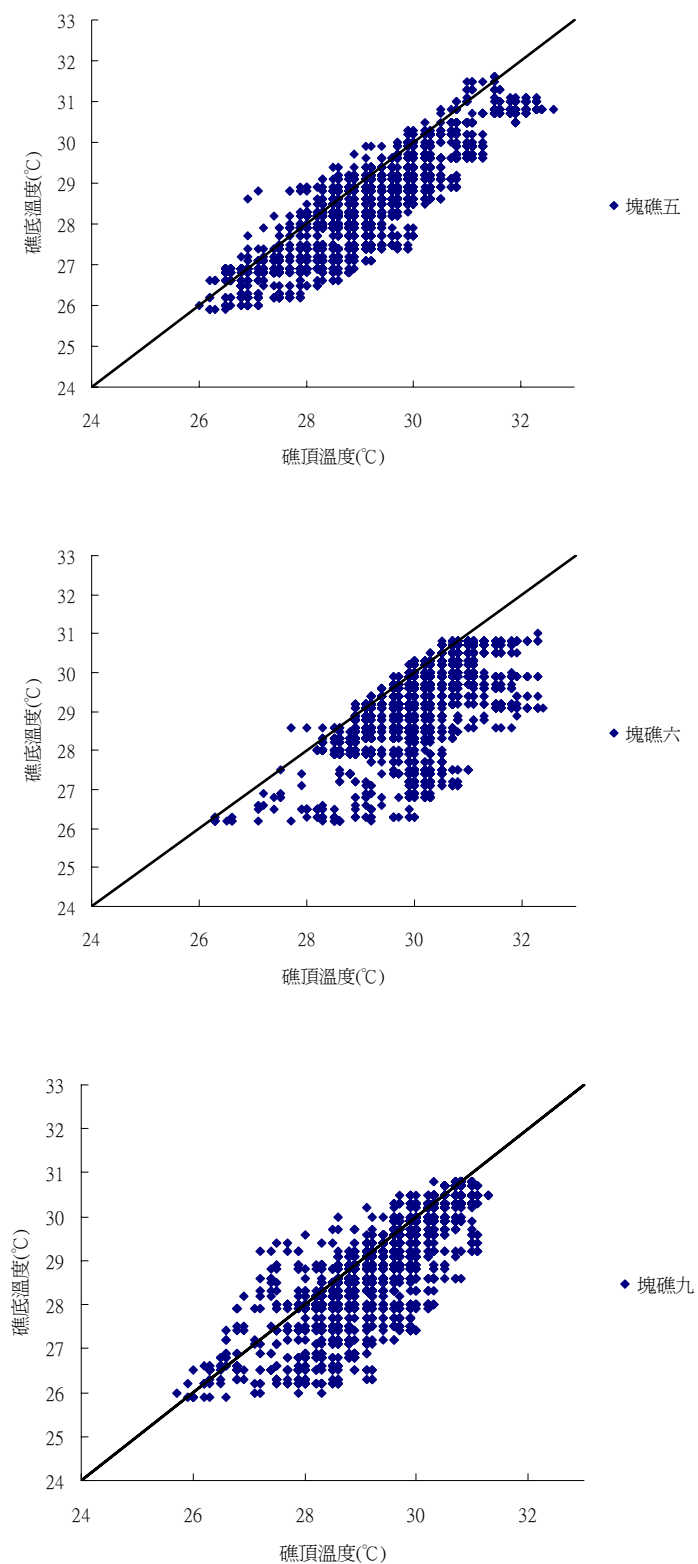


圖 2-31 東沙環礁潟湖內塊礁五、六、九礁頂與礁底成對比較水溫圖
(斜線為 1:1 直線)。

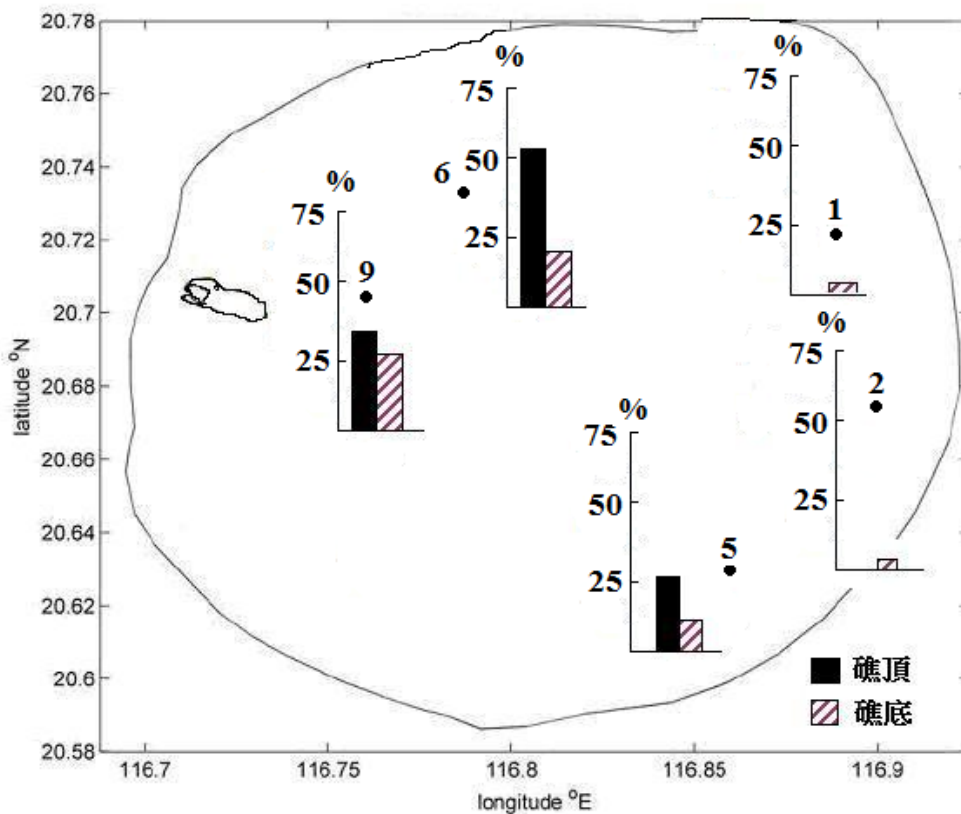


圖 2-32 東沙環礁潟湖內礁頂與礁底溫度超過 30°C 的時間空間分布

圖，其中第一及第二塊礁礁頂部分因為溫度計無法收回。

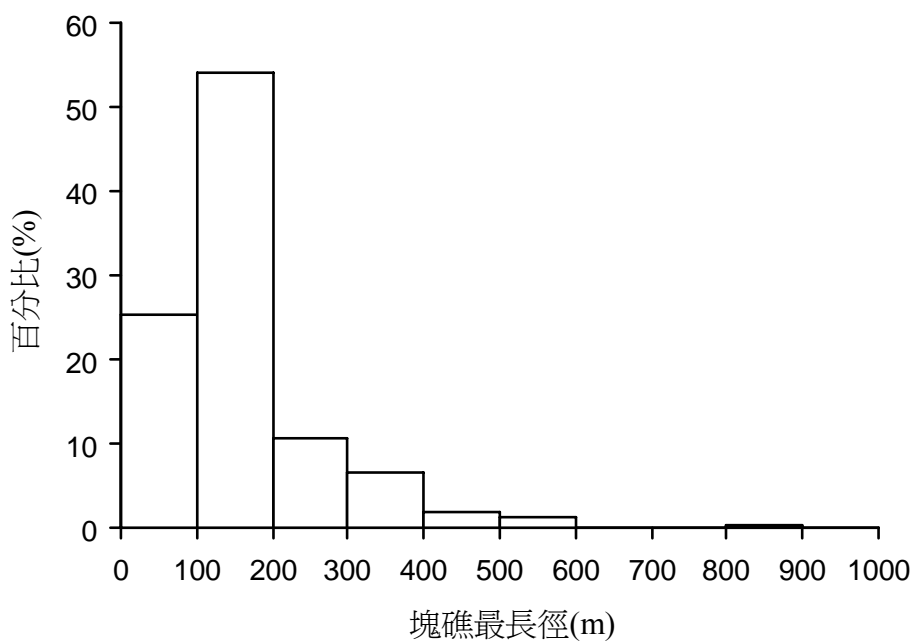


圖 2-33 東沙環礁潟湖內塊礁大小頻率分布圖，共 217 塊塊礁。

表 2-1 各點溫度變化之最適近日週期 (以 Cosinor 方法測試)。

塊礁編號	礁頂(小時)	礁底(小時)
1	-	22.8
2	-	25
5	24	25
6	24	26
9	24	22.2

第三章 結論與建議

第一節 結論

溫度對珊瑚礁生態系來說，是一個全球尺度的問題。而在小尺度的東沙環礁，我們也找到了一些與溫度相關的現象，分別從以下幾個項目去探討。

1. 珊瑚生長

馬廷英首先提出珊瑚生長過程中會有生長輪 (馬 1933 引用自馬 1959)，之後 Knutson et al. (1972) 証實了從團塊狀的珊瑚骨骼切片上，可以找到每一年度，帶狀的生長密度輪，其中團塊狀的微孔珊瑚一直普遍被用來作為研究珊瑚生長的代表性物種。溫度與光線是影響團塊狀微孔珊瑚生長的重要因素 (Lough and Barnes, 2000)，在 25-27 °C 的範圍內，溫度越高珊瑚的鈣化速率與生長率越高，平均每上升 1 °C 生長厚度增加 3.1mm，而光線照射比較充足的珊瑚，在鈣化速度與生長率上也有比較高的表現。但是另外也有研究指出，珊瑚白化會讓鈣化的速度降低，使得珊瑚生長較慢 (Suzuki, 2003)，所以在可以紀錄到的溫度範圍，與生長速率的關係就不是線性的，超過一定範圍，白化、死亡都可能發生。在珊瑚生長數據的取得方法上，我們採用大

多數研究選擇的 X 光法 (Lough and Barnes, 2000)，但是我們只取每年的生長率 (Annual extension rate) 來作比較，而不量測鈣化速率與密度，因為根據 Lough and Barnes (2000)，生長率與鈣化速度成良好正相關，與密度成良好的負相關。東沙微孔珊瑚的生長率，平均一年約 0.9 公分，但是每塊樣本之間存在的變異以及年間的變異很高 (圖 2-1)，當混合在一起分析時，統計上沒有辦法有效的找出其它因素是否也造成差異。而我們採集了頂、底成對的生長樣本，因為實驗設計上可以作配對的分析，能夠容易找出差異，得到礁底比礁頂生長得較快的結論。而這個差異暗示著地點內的環境因子造成生長情況的不同，而影響的因子很可能便是礁頂、礁底水溫的差異。因為礁頂的水溫比較高，超過 30 °C 的時間較多 (圖 2-32)，所以有可能造成珊瑚生長地比較緩慢。另外一個影響生長的說法是礁頂、礁底光線的不同，但是按照前人的研究，光線較充足的礁頂應該會生長地較好，而事實卻相反。這可能是因為溫度的效應大過了光線的效應所造成的結果，雖然礁底的光線較不充足但卻有較合適的水溫環境，使其生長狀況較佳。

同樣地，東、西邊的水溫也有差異，但是卻找不到骨骼生長速率上的不同，可能是因為在實驗設計上沒有辦法以配對的方式來分析，所以比較難以找出差別。另外一方面，在年與年之間找不到生長的差

異，第一個可能的原因是環境的異質性造成個體間不同棲所的差異很大，第二個可能的原因是因為在量測生長輪的時候，主觀的認定一個生長年度造成的年間合併，使得不同的樣本在年跟年之間也可能無法配對而有位移，這是一種很難避免的誤差，除非能夠利用其它的年代標誌，比方說車諾比核爆留下的痕跡來比對，才能夠校正骨骼比較深層的年代。馬 (1959) 的研究著作中比較各地的微孔珊瑚年成長的速率，其中帛琉是 2.3 公分、夏威夷群島平均是 1.317 公分、南中國海平均是 1 公分、大堡礁平均是 0.9 公分、新加坡是 1.8 公分、巴西平均是 0.5 公分，這些紀錄年代久遠，且不是用 X 光的方式去照年輪，方法上也許較不精確，但是依舊有參考的價值。Glenn et al. (2009) 發現大堡礁的珊瑚生長率自 1990 年之後，從每年 1.43 公分 (1990) 減緩到每年 1.24 公分 (2005)，下降了 13.3%，他們推測持續的全球環境變遷可能會使大堡礁的珊瑚在未來失去成長造礁的能力。因為我們的採樣方式為將整塊珊瑚採回來，所以能夠得到的珊瑚較小塊，資料年代比較短，沒有辦法與大堡礁這麼多年的資料作比較，而東沙環礁內其實有許多足夠大的珊瑚，可以提供更久遠的紀錄來與大堡礁的珊瑚作比較，但是這需要有較好且較高成本的技術，如鑽取岩心的方式，才能夠得到數十年，甚至上百年以上的資訊，進而能夠更精確去分析長期的生長速率變化。但在礁頂的生長速率上，也有發現生長速

率衰減的趨勢，不過在礁底與整體來看並沒有這個現象。

2. 小珊瑚

紀錄到的小珊瑚由十個科所組成 (圖 2-11)，其中佔絕大多數的是菊珊瑚科、微孔珊瑚科及蕈珊瑚科的小珊瑚。在Miller (2000) 的研究中，美國佛羅里達洲，比斯坎國家公園 (Biscayne National Park) 的小珊瑚主要的組成則為絲珊瑚科、微孔珊瑚科、菊珊瑚科及蓮珊瑚科。宋 (2003) 的研究發現，1997年台灣南部墾丁的所放置的附苗板上，珊瑚入添有95%屬於鹿角珊瑚科，剩下的5%則為軸孔珊瑚科，而1998年的時候，只記錄到鹿角珊瑚科的附苗。1999與2000年時，鹿角珊瑚的入添依然是主要的族群 (90 %及95 %)，在這四年的紀錄中，只有兩株入添不屬於鹿角珊瑚和軸孔珊瑚。比較其它研究，東沙不同的地方在於有許多的蕈珊瑚科小珊瑚，但是卻很少有鹿角珊瑚的小珊瑚，這是比較特殊的一點，顯然這是存活之後的小珊瑚組成，與剛入添的小珊瑚組成相當的不同。小珊瑚的密度，礁底比礁頂高 (圖 2-7)，而主要的三科在礁頂、礁底上密度沒有差異，有差異的是其他科的小珊瑚，礁底密度高於礁頂。這現象有可能是因為礁頂的水溫較高，所以不適合其它科小珊瑚生存。還有其它環境因素可能造成影響，例如光線強度的差異是不能忽略的原因；另外，礁底環境離沈積的細沙很近，對小個體珊瑚而言，若著生位置不佳，容易被揚起的沈

積物覆蓋，而造成死亡。

從小珊瑚的種類大多數為菊珊瑚科、微孔珊瑚科以及蕈珊瑚科的情況來看，前兩種屬於耐壓型的珊瑚，後一種則為競爭型的珊瑚，卻缺少繁生型的珊瑚型態群，顯示環礁內，繁生型珊瑚在短期內可能復原潛力低。大多數珊瑚幼生著苗的研究，是用人造材料的附苗板收集幼苗 (Harriott, 1998)，而幼苗非常小 (1-2mm)，並且不容易存活至小珊瑚的大小，一但達到小珊瑚的階段後就不容易死亡了 (郭 2001)。而我們的調查方式選取的小珊瑚為自然底質上 0.5-5 公分大小的小珊瑚，已經達到比較不容易死亡的階段，拿來作為復原潛力的參考指標比較直接。

另一方面，我們所調查的小珊瑚，在限制大小範圍的調查條件之下，仍在大小分布上呈現出兩側對稱類似鐘型分布的現象 (圖 2-10)，為了排除是不同種類合併造成的影響，依科分類之後 (圖 2-13、圖 2-14、圖 2-15)，卻還是有一個集中的高峰產生，這暗示有其它的因素在影響小珊瑚大小的分布，可能的推測是這些小珊瑚是在數年前，一段入添大爆發後所存活下來的，而這之前與之後沒有其它大量的入添。

小珊瑚大小方面，造成礁頂的比礁底大的原因，可能是較淺處的環境在小珊瑚生長方面條件比深處好，例如光線比較充足，水體較不

混濁，儘管相對來說溫度比較高。不過東邊蕈珊瑚科的小珊瑚比西邊大的情況，配合上東邊的水溫較西邊低，說明了蕈珊瑚科的小珊瑚大小也許還是有受到溫度的影響，太高溫比較長不大。這個方面目前無法得到定論，需要未來更多的研究來找到答案。

Smith (1997) 同時利用人工附苗板與拍照監控固定測線的方式來計算小珊瑚幼苗的數量，發現後者會有低估的現象，因為以附苗板收集到的幼苗數較多，這是因為附苗板可以帶回實驗室，在較好光線及放大倍率下檢查，而照相法受限現場因素較多。而本研究的調查方式為拉設穿越線調查範圍內的小珊瑚數量，比較接近 Miller (2000) 的方式，有可能會漏掉一些被其它珊瑚或是底質掩蓋住的小珊瑚，進而低估了小珊瑚的數量，比較好的估計附苗方式當然是放置人工的附苗板來計算數量，但是附苗板的缺點是它所收集到的幼苗，大部分都無法成長至 0.5-5 公分大小的小珊瑚，所以就作為復原潛力指標來說，我們選用的調查方法應更為適合。另外，這些調查的小珊瑚中，有些可能是大塊珊瑚破碎後或部份死亡後所形成的小珊瑚，然而無法百分之百的確定哪些是新的入添，哪一些是破碎之後留下的，但是我們假設這個現象在地點與頂、底間是沒有存在差異的，不構成影響，而且一旦固著在底質上，它生長成為大珊瑚的潛力應該是相同的 (Nishikawa et al, 2009)。

3. 珊瑚生殖

珊瑚生殖的部份，因為天候的因素及計畫期間的限制，成功採樣的日期為六月中旬。珊瑚的產卵時間，緯度約 26 度的日本那霸為八月 (Woesik, 1995)，台灣南部 (約北緯 22 度) 在五月 (Dai et al. 1992)，而約北緯 1 度的新加坡為 3 月 (Guest, 2002)，有越靠近赤道的地點會越早的趨勢。以墾丁的珊瑚產卵時間為五月中來看，緯度較低的東沙環礁的珊瑚生殖時間應該更為提早，故可以解釋此次研究並未能採集到具有生殖腺的樣本。根據此一假說，要找到東沙環礁珊瑚的生殖時間，必須要將採樣時間提早，並且更加密集地進行採樣才有可能。

另外一個可以比較生殖能力的方法，是找尋已知終年都有生殖的種類，例如鹿角珊瑚科 (Pocilloporidae)，在台灣南部海域已知是一年四季會生殖，並排放幼苗的珊瑚 (Fan & Dai 1996, 2002, 2003)。但是根據戴 (2008) 的調查，東沙內環礁的鹿角珊瑚數量並不多，可能不容易找到足夠的量進行實驗。

珊瑚幼苗能散佈到沒有活珊瑚的堅硬底質上，對珊瑚礁復原是個重要的機制，但散佈的成功機會應與距離有相當程度的負相關 (Cowen & Sponaugle 2009)。東沙環礁附近最近的具規模珊瑚礁區距離在 400 公里以上，能從外地靠漂流到達東沙的珊瑚幼苗數量可能有

限，從演化尺度上交換基因的意義可能大於生態尺度上經常性的補充入添意義。東沙環礁幼苗的來源是來自本身或是來自更遙遠的海域，目前並無研究；但只要東沙現有的珊瑚能正常生殖，相信其它南海區域淺海珊瑚礁環境也會有類似的生殖狀況。

4. 珊瑚類型分布

在東沙環礁內的珊瑚以競爭型及耐壓型為主，繁生型珊瑚數量較少且多分布在礁底的地方，礁頂幾乎都沒有的狀況，可能是因為礁底的水溫較低，而繁生型的珊瑚以軸孔珊瑚為主，對溫度的耐受程度都較低，較高水溫的礁頂，平均超過 30 °C 的時間是礁底的 2.8 倍，無法提供合適的生存環境。雖然整體上，東、西兩邊的活珊瑚覆蓋率沒有差異，但是分不同的型態群來看的時候，東邊的耐壓型珊瑚較西邊多，而且在死珊瑚覆蓋率的部分西邊比東邊多，配合上東、西兩邊的溫度差異，西邊平均超過 30 °C 的時間是東邊的 3 倍左右，可能是造成此一結果的原因。根據 Edinger (2000)，rKS 三角圖的作法是較方便的調查方法，卻可以更效率的反應出一個區域的狀況，這包含了物種豐富度、棲地的空間複雜程度、稀少物種的豐富度、礁的狀況及珊瑚的存活率等指標，並且可以將調查海域區分出保育等級，據此作出適切的保育策略。在十個調查的塊礁中，從三角圖 (圖 2-26) 可以看出型態群都集中在競爭型與耐壓型的邊上，繁生型珊瑚的覆蓋比

例在許多地點為 0 %、平均也只有 5 %，可是根據戴在 2008 年所作的調查，環礁內八個調查點平均有 13%的比例是繁生型珊瑚，沒有一個地點的比例為 0 %，除了採樣點不同所引起的差別以外，也可能顯示繁生型的珊瑚在過去一年又有減損。環礁內珊瑚型態群的變動，表示東沙內環礁整體環境都面臨緊迫，這可能因為颱風、季風、環境變遷及人為活動等各種因子所造成之影響。但是從另一角度來看只要生長迅速的繁生型珊瑚能夠大量成長回來，便能夠將各地點的保育價值往中央的最高保育等級移動，也就是區內總物種數、稀有物種及棲所複雜度也都可能隨之升高；相對地，若目前受損嚴重的是競爭型和耐壓型珊瑚，由於他們多半都是生長比較緩慢的物種，環礁內可能要花更多的時間才能回復。

在世界上許多地方，繁生型的珊瑚都有減少的現象，因為過高的水溫殺死了對溫度敏感的枝狀軸孔珊瑚以及颱風破壞了牠們的棲地 (Miller, 2002)。而這種大尺度的影響，有可能也造成了東沙臨近海域枝狀軸孔珊瑚的死亡，進而使得東沙環礁缺少軸孔珊瑚的幼苗來源，讓環礁的繁生型珊瑚復原的非常緩慢，從我們所調查的小珊瑚種類數量累計圖 (圖 2-11) 中也可以看到，軸孔珊瑚的小珊瑚比例不到 5 %。如果這個推論正確，那麼軸孔珊瑚的復原可能也會因為入添幼苗的限制，而需要很長的時間。

死亡的枝狀軸孔珊瑚，原本仍保持立體交叉、網絡狀架構，對其它棲息生物提供相當空間；之後因生物侵蝕、穿孔，枝、梗折斷成類似碎石堆，此時提供大型生物棲所的功能大為降低，反而成為製造珊瑚細砂的重要來源 (樊 2007)，根據我們在幾個採樣點的沈積物分析，直徑小於 10 μ m 的粉砂佔了 1-5% 的重量 (未發表)，這些小顆粒很容易受物理性擾動而揚起成為懸浮物，是否也因此造成珊瑚礁環境惡化、甚至死亡，有待進一步研究。

5. 珊瑚病蟲害

調查的結果發現，東沙內環礁的珊瑚在病蟲害方面影響不大，雖然有幾隻零星的棘冠海星，但卻沒有發現其它病害。而這零星的棘冠海星並未達到足以威脅珊瑚礁群聚的程度，可以視為環境中正常應存在的生物，並不足為慮。但是在調查的過程中，我們並未發現棘冠海星的天敵-大法螺，很有可能因為過漁的關係造成大法螺族群的消失，這有可能造成棘冠海星族群量突然大爆發，進而造成大量珊瑚受到啃蝕破壞。

6. 假說驗證

在過去幾年的東沙珊瑚礁研究中 (戴 2005, 2006, 2008；戴和鄭 2005, 2007；樊 2005, 2007, 2008)，可以發現環礁內的活珊瑚覆蓋率分布極不均勻。戴 (2008) 的報告中指出，外環礁的珊瑚覆蓋率經常

達 80 % 以上，而瀉湖區的珊瑚覆蓋率卻有較大的變異程度(12- 70.5 %)，其中東邊覆蓋率很高 (平均達 60 % 以上)。所以我們提出了深度(礁頂與礁底)的假說和東、西邊的假說，並從各個面向試圖找出珊瑚礁覆蓋率分布不均的因素。從整體活珊瑚的覆蓋率來看，礁頂、礁底和東、西兩邊皆沒有發現顯著的差異，顯然有其它因素在影響活珊瑚覆蓋率。珊瑚群聚分成 rKS 三個型態群的時候，r 型珊瑚在礁底的絕對覆蓋率顯著的比礁頂高，而 S 型珊瑚在東邊的絕對覆蓋率顯著的比西邊高。在生長方面，雖然東、西邊沒有找到差異，但是不同深度卻有所差異，深的地方珊瑚長得比較快。另外，小珊瑚的密度礁底比礁頂高，東、西兩邊沒差異。這些現象支持了，深度與東、西邊兩個因子可能都發揮了影響的作用，並且作用在不同功能型的珊瑚及不同的方面上。而溫度可能是一個重要的因子，從全面性的角度來看，它可以決定繁生型珊瑚的存活與否，而從區域性的角度，也支持了溫度是造成不同深度及地點間生長、小珊瑚和珊瑚型態群差異的因素。

第二節 建議

針對保護東沙環礁的策略，我們建議可以粗分為保育以及復育兩方向。前者著重在保護目前狀況良好的礁體，後者著重在復建遭破壞的礁體。

1. 保育策略

在保育的方面，東沙環礁外、環礁內明顯是不同環境，不但物理狀況不同，珊瑚礁物種組成也大相徑庭(戴等 2008)，由於本年度資料都來自瀉湖區，我們先僅就此部份討論。

就環礁內而言，我們的優先是如何讓那些競爭型、耐壓型的珊瑚能夠有更好的存活展望；這兩型是目前環礁內存活珊瑚的主要組成，它們經歷了多年來的漁業行為，也渡過了 1998 年的全球珊瑚礁大白化，牠們受損傷狀況不若繁生型的枝狀軸孔珊瑚明顯，我們預期下一波大規模白化若發生，牠們受損狀況也應該相對較輕。這些珊瑚生長較慢，經常都需多年連續生長，逐漸形成。對牠們比較大的直接威脅，除了更熱的水溫以外，沈積物、生物因素（包括疾病、蟲害及大型海藻）及不當漁法可能扮演重要角色，而保育措施需針對這些危害因子擬定（見前言）。

就環礁內是否應該分區管理以及如何分區，也是值得探討的議

題，畢竟東沙環礁範圍太廣，漁業壓力大，而可運用資源卻相對有限。雖然活珊瑚的覆蓋率在東、西兩邊沒有差異，但是其中的耐壓型珊瑚在東邊覆蓋率比較高，且東邊的水溫較西邊低，在保育能量有限的情況下，應該加強保育東邊的海域，一方面耐壓型的珊瑚對環境的耐受度較高，一方面水溫條件比較好，預期全球溫度長期上升的情況下，能夠存活下來時間與機會也會較多。

若以 rKS 型態群的分析 (圖 2-25) 來看，坐落在中央 CC4 範圍內的 4、5、8 號塊礁，具有珊瑚生長型多樣性及中度珊瑚覆蓋率，其中 4 號及 5 號塊礁在東邊所以應該考慮要把保育的重點放在這兩個區塊附近的海域。而從絕對的珊瑚覆蓋率角度來評估，根據國際珊瑚健康狀況的分法，覆蓋率 25-50% 為尚可，若依覆蓋率超過 25% 的下限為指標，應該保育的地方為 1、2、9 號塊礁附近的海域，把握住現有的活珊瑚也是需要努力的目標。又根據小珊瑚多樣性的分析 (圖 2-12)，礁底的小珊瑚多樣性較高，加上礁底的珊瑚在骨骼切片上，生長狀況較佳，因此較深的礁底可能是保育的第一目標。而一旦東邊其它地點，繁生型珊瑚能夠回復到一定的數量，整個區域的珊瑚礁狀況便會改善，所以東邊的其它區塊也要列在保育的範圍內，但是可以規劃為次要區域。

本研究以塊礁為採樣單位，其意義是驗證水溫上、下有別，方便

成對比較的實驗設計，但塊礁雖多，在東沙環礁內的分布卻未必均勻(附圖二)，因此採樣點涵蓋雖做均勻分布，卻遺漏非塊礁區，這在以後調查中，應可考慮做系統性彌補。就塊礁本身而言，只區分為礁頂、礁底兩組，太過簡化，無法充份反映礁區複雜度，若在兩者之間增加“坡壁”組，應該有更完整的結果。

2. 復育策略

對東沙環礁珊瑚的復育問題，建議以天然的復原為主，小規模復育為輔。在復育的方面，要有所作為的前提是造成破壞的外在因素已經改善，這在東沙環礁主要可分水溫及漁船管制兩方面探討。引起珊瑚大規模白化、死亡的水溫升高是全球尺度大環境造成，很難以東沙之力扭轉，但是造成東沙環礁內東、西部海域水溫差異的機制若能進一步釐清，對地方性降溫卻可能有所助益。有兩個假說與此相關，一是漲退潮時環礁水流之流向，另一是由東邊海洋內波帶來之冷水。若能確定何者為關鍵因素，有可能以工程方法調整水流路徑或方向，達到局部降溫以拯救珊瑚之目的。

不同深度方面，礁頂比較高溫，在復育作為上，我們認為應該要將力量放在溫度較低的礁底部分，以求符合進行復育的前提，而東邊因為水溫比西邊低，又是應優先考量的。相對的，若把復育的力量放在西邊及礁頂的話，比較有可能會因為過高的水溫造成珊瑚的死亡而

白費功夫。

漁船管制方面，漁船之所在就是資源之所在，目前台灣漁船幾乎都不在東沙海域作業，基本原因是無利可圖。如何讓大陸漁船也無利可圖，除了從執法面加強，提高其作業成本外，也可從外交面(兩岸事務)與中國大陸協商加以管制，增加其風險；或由經濟面著手，開放部份生態旅遊項目，降低其捕魚動機。在這些長期目標達成前，可考慮與大陸方面合作，調查漁獲物種及大小組成，以了解哪些是主要漁獲對象，又有哪些需要特別保護。另一方面，為了了解保護的效果，兼顧現實面，也可周知大陸漁船優先保護區之加強執法區之範圍，在此區內將加強違規處理之強度。本篇建議均為原則性，須與有經驗執法單位討論可能引發效應，研議周詳再予執行。

3. 後續研究

本年度的研究調查中，我們發現幾個部份可以供後人繼續研究以期得到答案。第一是影響小珊瑚的組成和數量的因素，這是個複雜的問題，目前只發現了大致的趨勢，但不清楚造成的機制。第二是瀉湖區的海水為何如此混濁，形成這些細小顆粒的原因為何？這些顆粒是否會對珊瑚的生存造成影響？第三是東沙珊瑚何時產卵？這需要更密集的採樣才有可能找到答案；相關的問題是入添小珊瑚都是本地產的嗎？第四是非採樣區，如塊礁的邊坡與非塊礁區的珊瑚狀況如何？而

調查過程中發現，邊坡的珊瑚覆蓋率相當高，並且珊瑚種類的組成與礁頂、礁底似乎不同，非塊礁區的狀況則是不清楚，這兩類區域的狀況都值得後續的研究去調查分析，並與現有的資料進行比較。第五是去鑽東沙數百年的珊瑚岩心，以得到更多年代的珊瑚生長歷史資料，並與大堡礁的結果作比較，將東沙的珊瑚生長狀況與世界長期的環境變遷狀況作一個關聯。以上這些後續可作之研究，若能有長期駐留東沙島上之研究人員配合，將會更有可行性及發展性，建議可申請替代役名額，招收相關領域之人員，以增進研究的成效。東沙環礁是一個十分特殊的環境，在如此廣闊的區域之內，我們目前所了解的還太少，相信仍有許多繼續努力的空間。

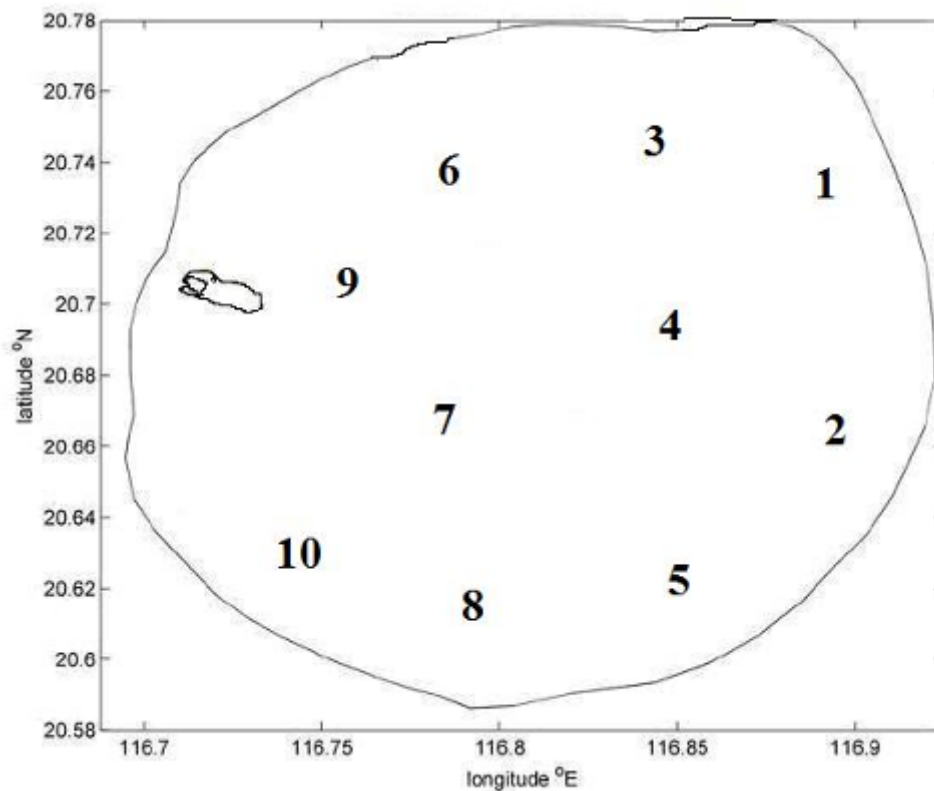
附錄一

附表一、各調查點 GPS 位置與深度。

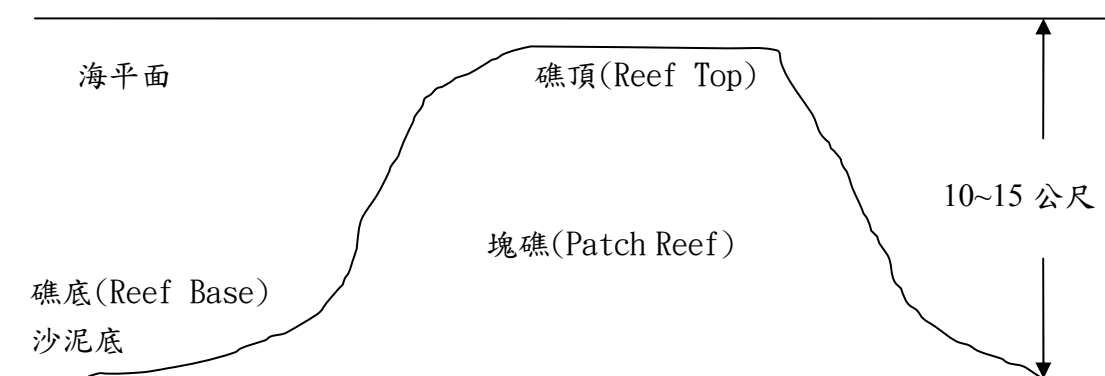
調查點	GPS 位置	Depth(m)
1-底	北緯 20°44'375" , 東經 116°51'636"	12
1-頂	北緯 20°44'344" , 東經 116°51'644"	3
2-底	北緯 20°40'680" , 東經 116°52'358"	15
2-頂	北緯 20°40'464" , 東經 116°52'950"	4
3-底	北緯 20°44'462" , 東經 116°50'746"	12
3-頂	北緯 20°44'462" , 東經 116°50'746"	4
4-底	北緯 20°41'947" , 東經 116°50'529"	15
4-頂	北緯 20°41'947" , 東經 116°50'529"	3
5-底	北緯 20°37'853" , 東經 116°50'436"	12
5-頂	北緯 20°37'673" , 東經 116°50'380"	3
6-底	北緯 20°43'348" , 東經 116°47'819"	15
6-頂	北緯 20°43'564" , 東經 116°47'876"	4
7-底	北緯 20°41'708" , 東經 116°47'204"	12
7-頂	北緯 20°41'708" , 東經 116°47'204"	4
8-底	北緯 20°38'199" , 東經 116°50'529"	12
8-頂	北緯 20°38'199" , 東經 116°50'529"	4
9-底	北緯 20°42'840" , 東經 116°45'315"	13
9-頂	北緯 20°41'010" , 東經 116°45'011"	7
10-底	北緯 20°39'864" , 東經 116°46'216"	11
10-頂	北緯 20°39'864" , 東經 116°46'216"	5

附表二、各塊礁溫度超過 30°C(含)的次數與百分比，每 30 分鐘一次。

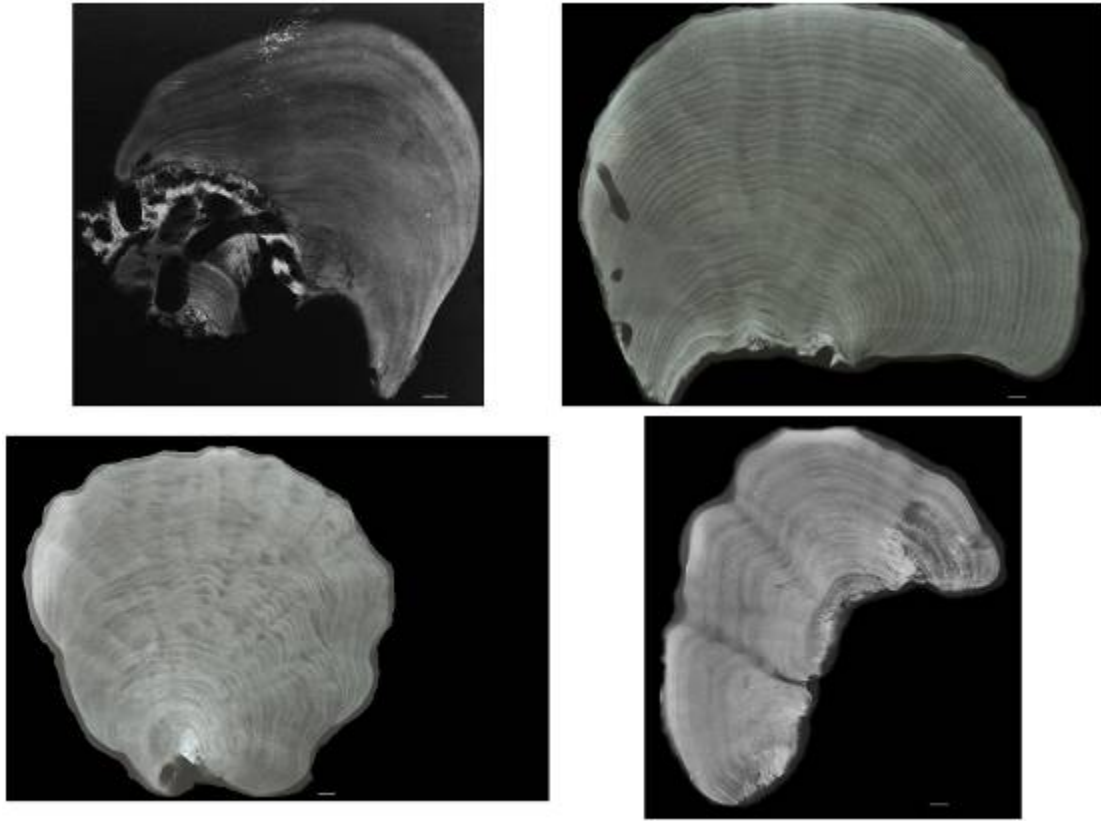
地點	超過 30°C 次數	總次數	百分比(%)
1-底	319	4368	7.3
2-底	138	4368	3.2
5-底	454	4368	10.4
5-頂	1043	4368	23.9
6-底	846	4368	19.4
6-頂	2301	4368	52.7
9-底	1031	4368	23.6
9-頂	1363	4368	31.2



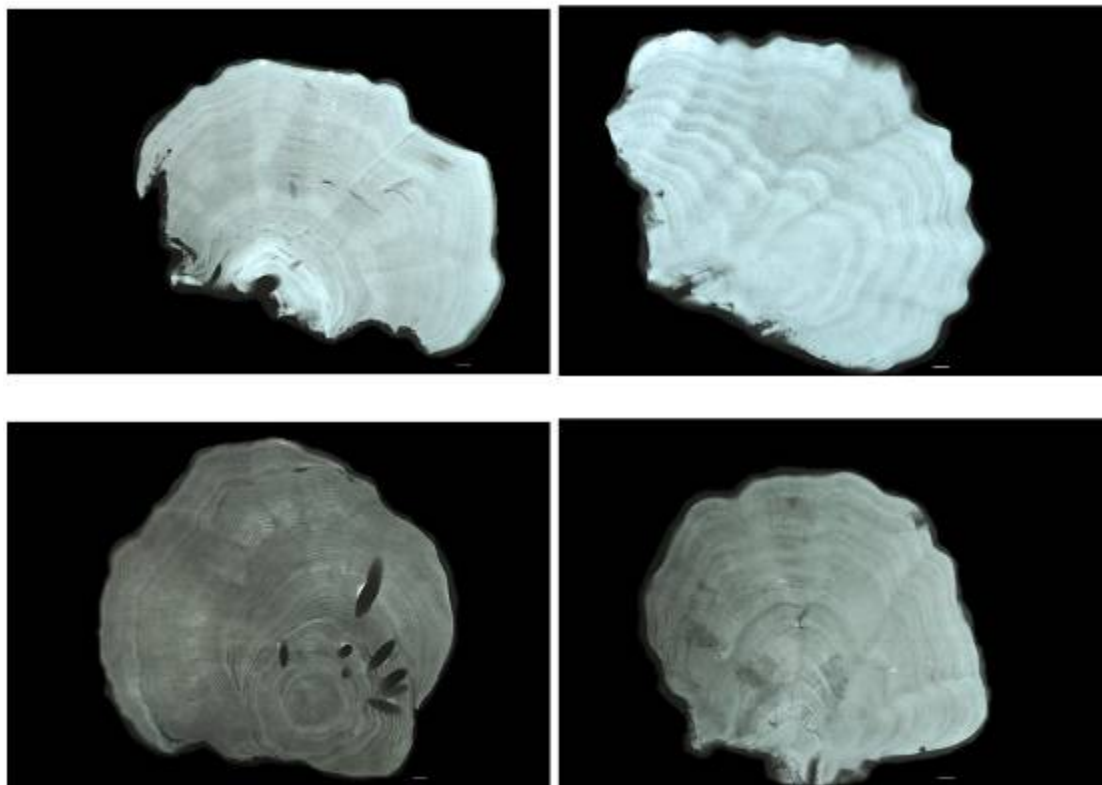
附圖一、內環礁各調查點相關位置圖。



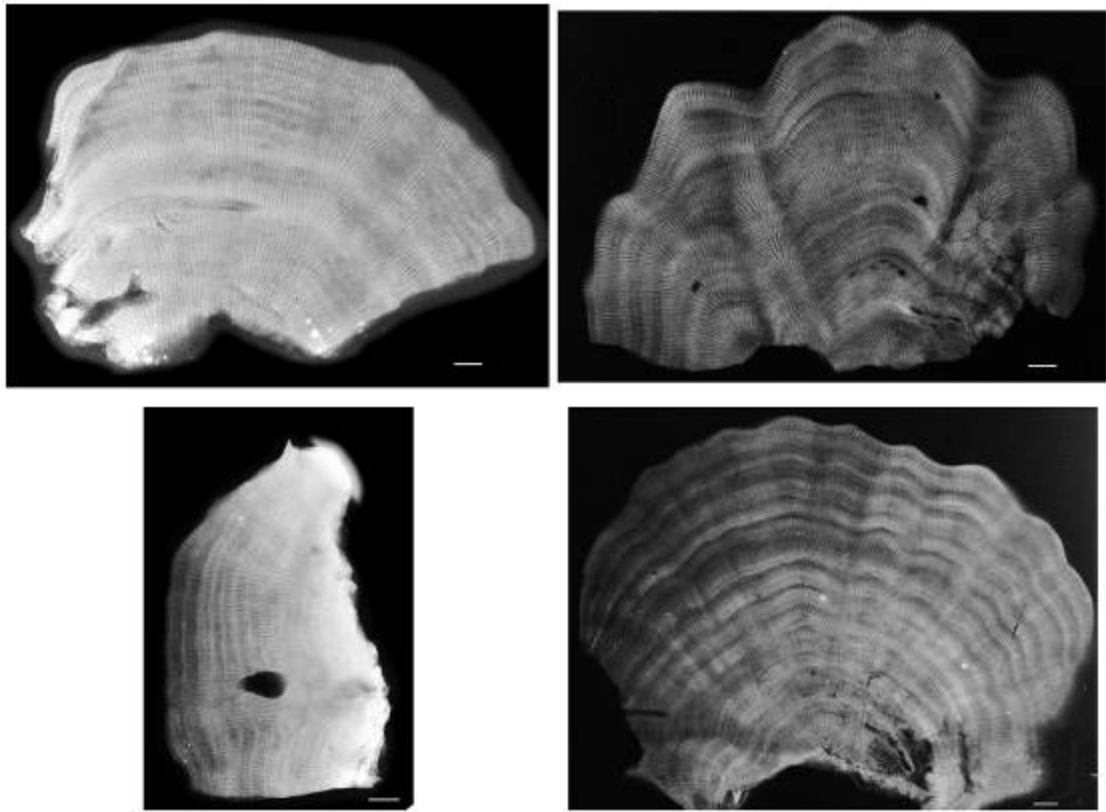
附圖二、塊礁垂直剖面示意圖。



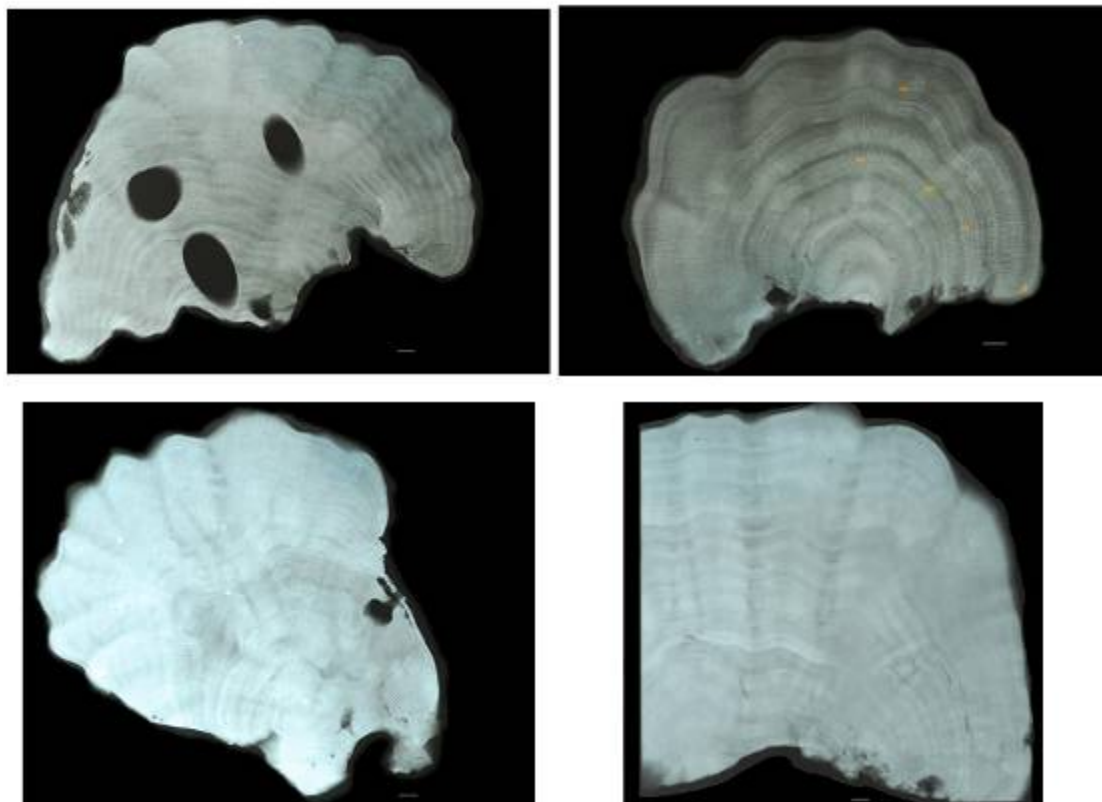
附圖三、珊瑚骨骼切片 X 光照，左上:塊礁一礁底、右上:塊礁一礁頂、
左下:塊礁二礁底、右下:塊礁二礁頂。



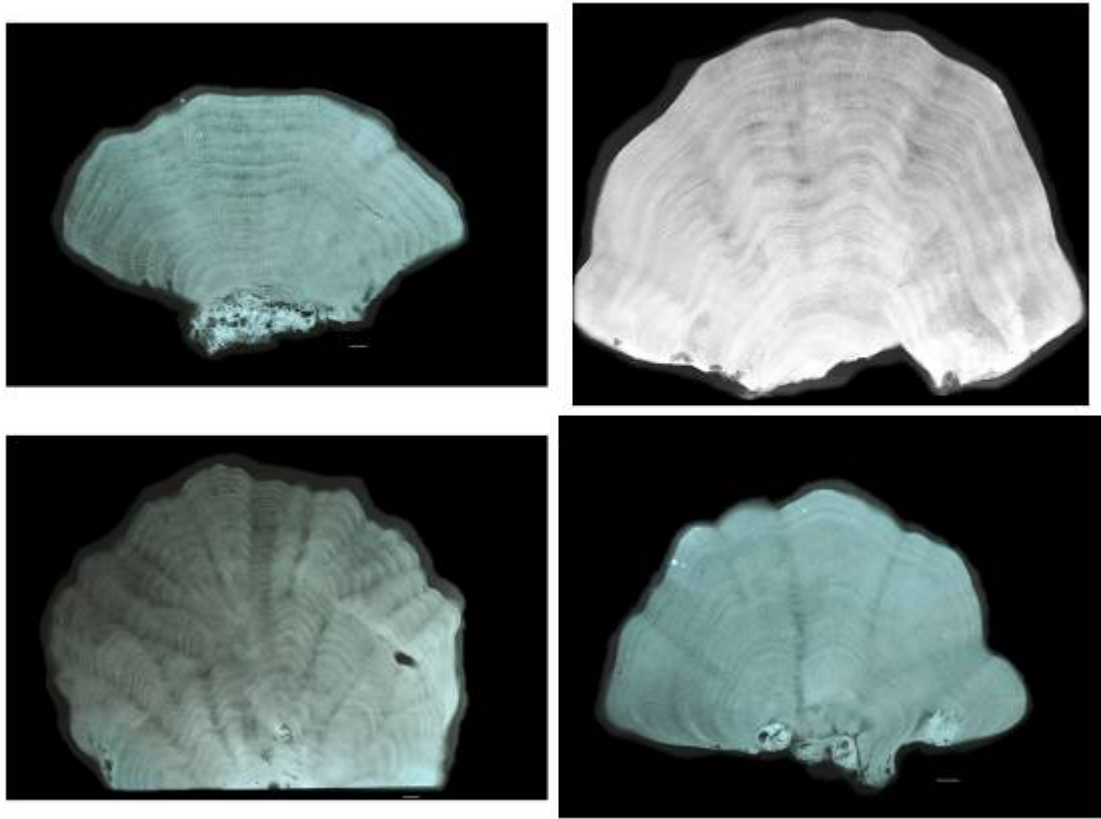
附圖四、珊瑚骨骼切片 X 光照，左上:塊礁三礁底、右上:塊礁三礁頂、
左下:塊礁四礁底、右下:塊礁四礁頂。



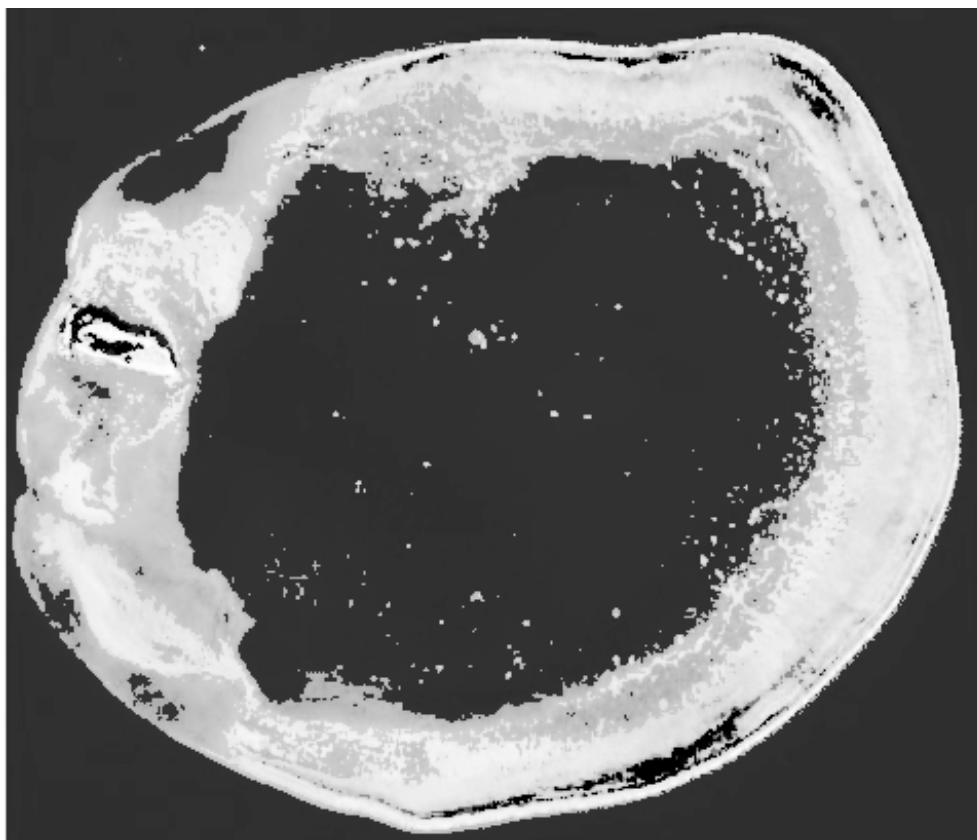
附圖五、珊瑚骨骼切片 X 光照，左上:塊礁五礁底、右上:塊礁五礁頂、
左下:塊礁六礁底、右下:塊礁六礁頂。



附圖六、珊瑚骨骼切片 X 光照，左上:塊礁七礁底、右上:塊礁七礁頂、
左下:塊礁八礁底、右下:塊礁八礁頂。



附圖七、珊瑚骨骼切片 X 光照，左上:塊礁九礁底、右上:塊礁九礁頂、
左下:塊礁十礁底、右下:塊礁十礁頂。



附圖八、東沙環礁空照圖，利用影像軟體加強對比找出塊礁分布。



附圖九、軸孔珊瑚科小珊瑚。



附圖十、微孔珊瑚科小珊瑚。



附圖十一、菊珊瑚科小珊瑚。



附圖十二、刺葉珊瑚科小珊瑚。



附圖十三、蕈珊瑚科小珊瑚。



附圖十四、鹿角珊瑚科小珊瑚。



附圖十五、蓮珊瑚科小珊瑚。



附圖十六、真葉珊瑚科小珊瑚。



附圖十七、絲珊瑚科小珊瑚。



附圖十八、樹珊瑚科小珊瑚。

參考書目

- 方力行，1998，東沙環礁調查及規劃報告。國立海洋生物博物館籌備處，48 頁。
- 馬廷英，1959，海水溫度與造礁珊瑚成長率關係之研究。The world book，台北，台灣。
- 楊榮宗、江永棉、陳汝勤，1975，東沙島綜合調查報告。台灣大學海洋研究所專刊第 8 號，33 頁。
- 樊同雲、郭兆揚、方力行，2005，東沙環礁的珊瑚相與珊瑚群聚健康狀況。Platax 1:49-69。
- 樊同雲、方力行、吳秉哲、魏杰、郭富雯、劉弼仁、林科含，2007，東沙環礁珊瑚復育試驗及可行性評估。海洋國家公園管理處委託研究報告。
- 戴昌鳳，2005，東沙海域生態資源基礎調查研究，第肆章 珊瑚類資源的調查。內政部營建署委託辦理報告。
- 戴昌鳳，2006，東沙海域珊瑚礁生態資源調查與監測(一)，第肆章 珊瑚類資源的調查。內政部營建署委託辦理報告。
- 戴昌鳳、鄭安怡，2006，東沙環礁的珊瑚群聚。國家公園學報 16 (1):1-17。
- 郭坤銘、宋克義，2001，南灣海域珊瑚幼生添入量、生長與存活率調查研究。
- Aronson RB, Precht WF. 2001. White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hydrobiologia* 460: 25-38.
- Bryan, P. G. 1973. Growth rate, toxicity and distribution of the encrusting sponge *Terpios* sp. (Hadromerida: Suberitidae) in Guam, Mariana Islands. *Micronesica* 9: 237-242.
- Birkeland, C. 1982. Terrestrial run-off as a cause of outbreaks of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea). *Marine Biology* 69: 175-185.
- Birkeland, C., and Lucas, J. S.. 1990. *Acanthaster planci*: major management problem of coral reefs. CRC Press, Boca Raton, Florida.

- Bowden-Kerby, A. 2001. Low-tech coral reef restoration methods modeled after natural transplantation processes. *Bull. Mar. Sci.* 69:915-931.
- Bascompte J., Melian C.J., and Sala E. 2005. Interaction strength combinations and the overfishing of a marine food web. *PNAS* 102(15): 5443-5447.
- Boyett, H. V., D. G. Bourne, and B. L. Willis. 2007. Elevated temperature and light enhance progression and spread of black band disease on staghorn corals of the Great Barrier Reef. *Marine Ecology* 151: 1711-1720.
- Bell, J. J. 2008. The functional roles of marine sponges. *Estuarine, coastal and shelf Science* 79(3): 341-353.
- Brian, M. and Graham, B. 2009. Seasonal variations in the density of and corallivory by *Drupella rugosa* and *Cronia margariticola* (Caenogastropoda: Muricidae) from the coastal waters of Hong Kong: 'plagues' or 'aggregations'?. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89(1): 147-159.
- Clark S, Edwards AJ. 1995. Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: evaluation of a case study in the Maldiv Islands. *Coral Reefs* 14: 201-213.
- Christensen, N. L.; Bartuska, A. M.; Brown, J. H.; Carpenter, S.; D'Antonio, C.; Francis, R.; Franklin, J. F.; MacMahon, J. A.; Noss, R. F.; Parsons, D. J.; Peterson, C. H.; Turner, M. G.; Woodmansee, R. G. 1996. The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis of ecosystem management. *Ecol. Appl.* 6: 665-691.
- Cumming, R. L. 1999. Predation on reef-building corals: multiscale variation in the density of three corallivorous gastropods, *Drupella* spp. *Coral Reefs* 18: 147-157.
- C. Wilkinson. 2004. Status of Coral reefs of the World: 2004, ed. Global Coral Reef Monitoring Network, Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia, 301 pp.
- Chen. J. P., J. J. Li., J. H. Hwang., L. S. Fang., and K. T. Shao. 2005. 2004 年東沙環礁魚類現況. *Platax* 2005: 1-24.
- Cowen RK, Sponaugle S. 2009. Larval Dispersal and Marine Population Connectivity. *ANNUAL REVIEW OF MARINE SCIENCE* 1: 443-466.

- D. Knutson, R. Buddemeier, S. Smith. 1972. Coral Chronometers: Seasonal Growth Bands in Reef Corals *Science* 177: 270.
- De'ath, G., Janice M. Lough, Katharina E. Fabricius. 2009. Declining Coral Calcification on the Great Barrier Reef. *Science* 323: 116-119.
- Edinger Evan N., Michael J. Risk. 2000. Reef classification by coral morphology predicts coral reef conservation value. *Biological Conservation* 92(1): 1-13.
- Epstein, N.; Bak, R. P. M.; Rinkevich, B. 2001. Strategies for gardening denuded coral reef areas: the applicability of using different types of coral material for reef restoration. *Restor. Ecol.* 9: 432-442.
- Epstein, N.; Bak, R. P. M.; Rinkevich, B. 2003. Applying forest restoration principles to coral reef rehabilitation. *Aquat. Conserv.* 13: 387-395.
- Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J. et al. 2004. Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science* 305: 362-366.
- Fabricius K, Mieog JC, Colin PL, Idip D, Van Oppen MJH. 2004. Identity and diversity of coral endosymbionts (zooxanthellae) from three Palauan reefs with contrasting bleaching, temperature and shading histories. *Mol. Ecol.* 13: 2445-2458.
- Fabricius. K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine pollution bulletin* 50(2): 125-146.
- Fine, M., and Tchernov, D. 2007. Scleractinian coral species survive and recover from decalcification. *Science* 315(5820): 1811.
- Green EP, Bruckner AW. 2000. The significance of coral disease epizootiology for coral reef conservation. *Biol. Cons.* 96: 347-361.
- Guest JR, Chou LM, Baird AH, Goh BPL. 2002. Multispecific, synchronous coral spawning in Singapore. *Coral Reefs* 21:422-423.
- Goldberg, J., Wilkinson, C., 2004. Global threats to coral reefs: coral bleaching, global climate change, disease, predator plagues, and invasive species. In: Wilkinson, C. (Ed.), *Status of Coral Reefs of The World*. Australian Institute of Marine Science, Townsville 67-92.
- Harriott VJ, Fisk DA. 1988. Recruitment patterns of scleractinian corals: a study of three reefs. *Aust J Mar Freshwater Res* 39:409-416.
- Hughes, Terence P., Rodrigues, Maria J., Bellwood, David R., Ceccarelli, Daniela., Hoegh-Guldberg, Ove., McCook, Laurence.,

- Moltschaniwskyj, Natalie., Pratchett, Morgan S., Steneck, Robert. S., Willis, Bette. 2007. Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Current biology* 17(4): 360-365.
- Hoegh-Guldberg O, Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, D. R., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R.)1, Muthiga, N., Bradbury, R. H., Dubi, A., Hatziolos, M. E. 2008. Coral adaptation in the face of climate change - Response. *Science* 320 (5874): 315-316.
- Johnson, C. 1992. Settlement and recruitment of *Acanthaster planci* on the Great Barrier Reef: questions of process and scale. *Australian Journal of Marine & Freshwater Research* 43: 611-627.
- Jintana, N.; Tipaporn, T.; Tanate, P.; Songchai, S. 1996. Hatchery seed production of the fluted giant clam (*Tridacna squamosa* Lamarck, 1819) and ocean nursery of the juveniles for restocking in Koh Tao, Thailand. Proc. 7th Workshop Tropical Marine Mollusk Program (TMMP) on Central and West Java, Indonesia 17: 101-108.
- Kim K, Harvell CD, Kim PD, et al. 2000. Fungal disease resistance of Caribbean sea fan corals (*Gorgonia* spp.). *Marine Biology* 136: 259-267.
- Lucas, J. S. 1973. Reproductive and larval biology of *Acanthaster planci* (L.) in the Great Barrier Reef waters. *Micronesica* 9: 197-203.
- Lindahl, U. 1998. Low-tech rehabilitation of degraded coral reefs through transplantation of staghorn corals. *Ambio* 27: 645-650.
- Lough J.M., D.J. Barnes. 2000. Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 245:225-243.
- Moore, R. J. 1978. *Acanthaster planci* an r-strategist?. *Nature* 271: 56-57.
- Miller MW, Weil E, Szmant AM. 2000. Coral recruitment and juvenile mortality as structuring factors for reef benthic communities in Biscayne National Park, USA. *Coral Reefs* 19: 115-123.
- Miller M.W.,A.S. Bourque, J.A. Bohnsack. 2002. An analysis of the loss of acroporid corals at Looe Key, Florida, USA: 1983–2000. *Coral Reefs* 21: 179-182.
- McManus. J. W., and J. F. Polsenberg. 2004. Coral–algal phase shifts on coral reefs: ecological and environmental aspects. *Progress in Oceanography* 60: 263–279.
- Mark, M. Littler., Diane, S. Littler., Barrett, L. Brooks. 2006. Harmful

- algae on tropical coral reefs: Bottom-up eutrophication and top-down herbivory. *Harmful Algae* 5: 565-585.
- Maoz Fine and Dan Tchernov. 2009. Scleractinian Coral Species Survive and Recover from Decalcification. *Science* 315: 30.
- Nishikawa A., R.A. Kinzie, iii, K. Sakai. 2009. Fragmentation and genotypic diversity of the scleractinian coral *Montipora capitata* in Kaneohe Bay, Hawaii. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2009, 89:101-107.
- Pearson, R. G., and Endean, R. 1969. A preliminary study of the coral predator *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) on the Great Barrier Reef. *Fish Notes* 3: 27-55.
- Pearson, R.G. 1981. Recovery and recolonisation of coral reefs. *Marine Ecology Progress Series* 4: 105-122.
- Precht, W.F. Aronson, R. B. and Swanson, D.W. 2002. Improving scientific decision-making in the restoration of ship-grounding sites on coral reefs. *Bull. Mar. Sci.* 69: 1001-1012.
- Pandolfi, John M. Bradbury, Roger H. Sala, Enric Hughes, Terence P. Bjorndal, Karen A. Cooke, Richard C. McArdle, Deborah McClenachan, Loren Newman, Marah J. H. Paredes, Gustavo Warner, Robert R. Jackson, Jeremy B. C. 2003. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science* 301(5635): 955-958.
- Pratchett, M.S.. 2007. Feeding preferences of *Acanthaster planci* (L.) under controlled conditions of food availability. *Pacific Science* 61: 113-120.
- Pratchett, M.S., Schenk, T. J., Baine, M., Syms, C., and Baird. A.H. 2009. Selective coral mortality associated with outbreaks of *Acanthaster planci* L. in Bootless Bay, Papua New Guinea. *Marine Environmental Research* 67: 230-236.
- Rinkevich, B. 1995. Restoration strategies for coral reefs damages by recreational activities: the use of sexual and asexual recruits. *Restor. Ecol.* 3: 241-251.
- Rosenberg, E., and Y. Loya. 2004. *Coral health and disease*. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Refinetti, R., Cornélissen, G., and Halberg, F.. 2007. Procedures for numerical analysis of circadian rhythms. *Biological Rhythm Research* 38: 275-325.
- Rinkevich B. 2008. Management of coral reefs: We have gone wrong

- when neglecting active reef restoration. *Mar. Poll. Bull.* 56: 1821-1824.
- Sammarco, P. W., 1982. Effects of grazing by *Diadema antillarum* Philippi (Echinodermata: Echinoidea) on algal diversity and community structure. *Journal of experimental marine biology and ecology* 65: 83-105.
- Sanyal, A., Hemming N. G., Broecker W.S., and Hanson G. N. 1997. Changes in pH in the eastern equatorial Pacific across stage 5-6 boundary based on boron isotopes in foraminifera. *Global biogeochemical cycles* 11: 125-133.
- Smith SR. 1997. Patterns of coral settlement, recruitment, and juvenile mortality with depth at Conch Reef, Florida. *Proc 8th Int Coral Reef Symp* 2:1197-1202.
- Salazar-Vallejo SI. 2002. Tropical storms and tropical coastal biodiversity. *Revista De Biologia Tropical* 50: 2002.
- Szmant, A. M. 2002. Nutrient enrichment on coral reefs: Is it a major cause of coral reef decline?. *Estuaries* 25(4B): 743-766.
- Soong K, Chen TA. 2003. Coral transplantation: Regeneration and growth of *Acropora* fragments in a nursery. *Restoration ecology* 11(1): 62-71.
- Suzuki A., M. K. Gagan, K. Fabricius, P. J. Isdale, I. Yukino, H. Kawahata. 2003. Skeletal isotope microprofiles of growth perturbations in *Porites* corals during the 1997-1998 mass bleaching event. *Coral Reefs* 22: 357-369.
- Sutherland, K. P., J. W. Porter, and C. Torres. 2004. Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. *Marine Ecology Progress Series* 266: 273-302.
- Shafir, S.; van Rijn, J.; Rinkevich, B. 2001. Nubbing of coral colonies: a novel approach for the development of inland broodstocks. *Aquat. Sci. Conserv.* 3: 183-190.
- S. Comeau., G. Gorsky., R. Jeffree., J.-L. Teyssi'e., and J.-P. Gattuso. 2009. Impact of ocean acidification on a key Arctic pelagic mollusc (*Limacina helicina*). *Biogeosciences* 6: 1877-1882.
- West, J. M., and Salm, R. V. 2003. Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. *Conservation biology* 17(4): 956-967.
- Veron, J. 1986. *Corals of Australia and the Indo-Paci"e*. Angus and Robertson, North Ryde, New South Wales, Australia.

- Van Woesik R. 1995. Coral communities at high latitude are not pseudopopulations: evidence of spawning at 32°N, Japan. *Coral Reefs* 14:119-120.
- Voss, J. D., and L. L. Richardson. 2005. Nutrient enrichment enhances black band disease progression in corals. *Coral Reefs* 25: 569-576.
- Wang, Y. H. Dai, C. F., and Chen, Y. Y. 2007. Physical and ecological processes of internal waves on an isolated reef ecosystem in the South China Sea. *Geophysical research letters* 34: L18609.

海洋國家公園管理處「東沙環礁珊瑚群聚調查分析與復育策略研究(一)」

委辦研究案期末會議記錄

壹、 時間：98 年 12 月 17 日(星期四)上午 9 時 30 分

貳、 地點：高雄都會公園管理站會議室。

參、 主持人：吳全安處長

記錄：蔡雅如

肆、 審查委員意見與答覆：

審 查 意 見	意 見 回 覆
<p>李澤民委員：</p> <p>1.計劃結果多符合目標。</p> <p>2.分析方法，將樣區分為東西區域是否唯一方法，請考慮。</p> <p>3.請說明圖 2-27、2-28、2-29 之塊礁溫度差之不同的原因，與水深、潮汐、波浪、海流方向之關係，比較塊礁 5 及 6，礁頂溫度是 6 > 5 (30 °C 以上) ，而活珊瑚百分比是 6 < 5，所以可能除了溫度以外，尚有其他因子是重要影響因子。</p>	<p>1.感謝委員意見。</p> <p>2.感謝委員意見。樣區的選擇是參考 2008 年的報告，採非隨機的方式選取，期望能從這些樣區回答想瞭解的問題。</p> <p>3.感謝委員意見。塊礁 5 及 6 的深度差不多，所以水深不會是影響溫度差的原因，而潮汐、波浪及海流方向由於未在樣點設置海流儀等遺棄取得相關資訊，所以無法就目前資料得知。影響活珊瑚百分比之因素，是可能有其他複雜環境因素，需要其他實驗及觀察才有辦法得知。</p>
<p>陳仲吉委員：</p> <p>1.摘要部份(二、研究方法及過程)建議改</p>	<p>1.感謝委員建議。已做更正修改。</p>

為(二、研究方法與結果)。

2.圖 2-9 有關潟湖內小珊瑚長徑分布頻率呈鐘形分布，請問原因何在?(報告書中說明某一年度有大量生長之原因)，而在圖 2-5 有微孔珊瑚(1997-2008 年)之生長速率平均生長趨勢，請問可否由兩者間推論可能在哪一年度可能大量生長。

3.圖 2-5 潟湖內微孔珊瑚生長速率平均趨勢，結果顯示在 1997-2002 年礁頂生長較礁底厚度為大，但在 2002 年至今卻呈現，礁頂生長小於或等於礁底，請問可能原因何在?有無可能蒐集歷年衛星資料(溫度)，比較之間的相關以探討可能原因。

4.有關溫度效應部份，計畫中以 30°C 為比較之界線，並已超過 30°C 之頻率來相互比較，事實上高溫持續之時間，為造成 stress 相為重要之因素，建議相關分析應考慮之因素。

2.感謝委員意見。小珊瑚之分佈成鐘型分佈可能是由於在這群小珊瑚附生的前後一段時間較少其他珊瑚幼苗於東沙環礁內附苗，所以使得我們的調查結果出現鐘型分佈。小珊瑚的生長受到許多其他環境因子影響，所以無法與生長速率平均生長趨勢合併推論，兩者是不同的觀察結果。

3.感謝委員意見。礁頂的生長率隨時間下降，所以較高的生長率在 2002 年之後就小於礁底之生長率，可能的因素為海水溫度已超過珊瑚合適的生長範圍，所以導致其生長率下降。衛星的海水溫度資料收集範圍太廣，解析度無法分析如此小範圍的溫度變化，且衛星溫度只有海水表面溫度而沒有底部溫度，無法合併比較分析。

4.感謝委員意見。計算高溫持續時間之公式需使用歷年平均溫度來計算，而目前並沒有追蹤多年的海水溫度，因此無法以此項因子作為分析之因素。建議往後之計畫能持續追蹤環礁內特定地點的海水溫度，得以做此分析。

戴昌鳳委員：

- | | |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1.錯字(瀉湖)請改正為(潟湖)，名詞(如：環礁內、環礁外)請統一，格式請修改一致。</p> | <p>1.感謝委員指正。全文已修改錯字並統一格式。</p> |
| <p>2.摘要：“研究緣起”請補充說明。</p> | <p>2.感謝委員建議。已補充於摘要。</p> |
| <p>3.第3頁：全球暖化(global warming)與聖嬰現象不宜混為一談。</p> | <p>3.感謝委員意見。文字敘述已做修改。</p> |
| <p>4.P.4 第5~6行敘述修正。</p> | <p>4.感謝委員指正。文章已做修正。</p> |
| <p>5.人為因子的影響，以影響因子的來源看，其實是小尺度的，而生物因子的影響，非人力所能左右，反而可能是中尺度的，如棘冠海星。</p> | <p>5.感謝委員意見。尺度問題是相當主觀的看法，人為因子往往可以擴及大範圍的破壞，因此較傾向中尺度的影響；而生物因子等的病蟲害出現，可能對礁區的影響只是小部分的損傷，所以較偏向小尺度的。</p> |
| <p>6.P.15 復育方法還有：種苗放流(seeding)、珊瑚片段(coral fragments)。</p> | <p>6.感謝委員建議。已於報告中增加此兩種方法的部分。</p> |
| <p>7.東沙珊瑚礁本身的復原能力有多少？是考量復育的關鍵。以小珊瑚為指標有些盲點，因為附著後的死亡率受到環境和其他生物影響。</p> | <p>7.感謝委員意見。以小珊瑚為指標是復原能力指標的其中一種方法，本報告從實際執行面考量後決定以小珊瑚為復原能力作為指標。</p> |

<p>8.圖 2-14，直徑<1.5cm 的小珊瑚少，比較可能是人為判斷的誤差。</p> <p>9.圖 2-4，忽略珊瑚體之間的差異，會誤導訊息。</p> <p>10.礁頂及礁底的珊瑚生長率比較，為何不用 paired-t-test?</p> <p>11.P.35 礁底處為 10cm 厚的沉積物，此數值是否為測量值?</p>	<p>8.感謝委員意見。各點採樣方法均相同，因此可忽略其中的誤差。</p> <p>9.感謝委員意見。圖內結果以包含珊瑚個體間之變異。</p> <p>10.感謝委員指正。已於報告中修改。</p> <p>11.感謝委員意見。此數值為人為測估計值。</p>
<p>陳國永課長：</p> <p>1.就東沙環礁珊瑚復育的問題，過去一直有「復育」及「復原」二說，就本計畫的執行，在未來究應採行何方案，請調查單位提供具體的建議與明確的論述。</p> <p>2.就本次的調查結果，目前東沙海域珊瑚礁情形，究竟是朝著復原趨勢或是未復原？請調查單位補充說明。</p> <p>3.本次調查結果所提珊瑚 rks 型態群，目前以 k 及 s 型為主，那未來是朝何類型的發展趨勢？</p>	<p>1.感謝委員意見。建議以天然復原為主，小規模復育為輔。</p> <p>2.感謝委員意見。以軸孔珊瑚的覆蓋率來看，東沙珊瑚礁目前尚未有復原的跡象。</p> <p>3.感謝委員意見。應是以 k 及 s 型為主的型態發展，但若有 r 型的珊瑚入添，則有機會改變東沙環礁內的珊瑚型態，走向較均勻的發展。</p>

4.就本次的調查，競爭型與耐壓型珊瑚對環境的抵抗力，請問調查單位看法如何。

4.感謝委員意見。就珊瑚型態來看，耐壓型珊瑚對環境的抵抗力較好。