

東沙環礁珊瑚復原指標研究



海洋國家公園管理處委託研究報告

中華民國 99 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

(國科會 GRB 編號)

PG9903-0632

東沙環礁珊瑚復原指標研究



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

研究助理：劉書廷、林紋如、方士碩、蔡新洋

、郭兆揚、陳淑麗、魏杰、唐國薰

海洋國家公園管理處委託研究報告

中華民國 99 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
Abstract	XI
第一章 緒論.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 研究背景.....	3
第三節 東沙環礁概述.....	9
第四節 預期目標.....	14
第二章 東沙環礁珊瑚群聚調查方法與分析.....	17
第一節 材料與方法.....	17
第二節 結果.....	24
第三章 結論與建議.....	61
第一節 結論.....	61
第二節 建議.....	83
附錄一 圖表	91
附錄二 東沙環礁珊瑚復原指標評審會議紀錄與回覆.....	117

附錄三 東沙環礁珊瑚復原指標期中審查會議紀錄與回覆.....	129
附錄四 東沙環礁珊瑚復原指標期末審查會議紀錄與回覆.....	149
參考文獻	177



表次

表 3-1 太平洋中其他瀉湖的小珊瑚密度及覆蓋率80

表 3-2 東沙環礁瀉湖區復原研究指標結果概況81

表 3-3 大白化後軸孔珊瑚在世界其他海域復原情況82

表 3-4 東沙環礁分區建議表格90





圖次

圖 2-1 採樣棲所調查地形示意圖	23
圖 2-2 東沙環礁內十個塊礁之四種棲所小珊瑚密度比較圖	36
圖 2-3 東沙環礁瀉湖內各棲所不同大小的小珊瑚比例分佈圖	37
圖 2-4 東沙環礁瀉湖區內四種棲所組成科別圖	38
圖 2-5 東沙環礁瀉湖區內四種棲所之珊瑚科別組成	39
圖 2-6 東沙環礁瀉湖區十個塊礁之四種棲所小珊瑚辛普森多樣性指數圖 ..	40
圖 2-7 東沙環礁瀉湖區十個塊礁之四種棲所小珊瑚夏儂多樣性指數圖	41
圖 2-8 東沙環礁瀉湖內美麗軸孔珊瑚照	42
圖 2-9 東沙環礁瀉湖內美麗軸孔珊瑚解剖顯微鏡檢查照	42
圖 2-10 東沙環礁瀉湖內菊珊瑚屬解剖顯微鏡檢查照	43
圖 2-11 東沙環礁瀉湖內樹珊瑚科盤珊瑚屬解剖顯微鏡檢查照	43
圖 2-12 東沙環礁瀉湖內刺葉珊瑚科苔珊瑚屬解剖顯微鏡檢查照	44
圖 2-13 東沙環礁瀉湖區內四種棲所生長速率圖	45
圖 2-14 東沙環礁瀉湖區礁底、礁頂生長速度比較圖	46
圖 2-15 東沙環礁瀉湖區礁底、礁坡生長速度比較圖	47
圖 2-16 東沙環礁瀉湖區礁底、礁間生長速度比較圖	48
圖 2-17 2010 年東沙環礁瀉湖內各調查點活珊瑚覆蓋率	49
圖 2-18 2010 年東沙環礁瀉湖內各調查點死珊瑚覆蓋率	50

圖 2-19 2010 年東沙環礁瀉湖內調查點珊瑚型態 rKS 圖.....	51
圖 2-20 2010 年東沙環礁瀉湖內礁頂、礁間調查點珊瑚型態 rKS 圖.....	52
圖 2-21 東沙環礁瀉湖內調查點珊瑚型態 rKS 圖.....	53
圖 2-22 東沙環礁瀉湖區軸孔珊瑚移植存活率與 $>30^{\circ}\text{C}$ 溫度關係圖.....	54
圖 2-24 東沙環礁瀉湖區中間 4 號礁礁頂、礁坡溫度比較圖.....	56
圖 2-25 東沙環礁近瀉湖口移植區之礁頂、礁底溫度比較圖.....	57
圖 2-26 東沙環礁瀉湖區內礁頂、礁坡溫度 30°C 以上的頻率空間分布圖..	58
圖 2-27 東沙各樣點共生藻類型分布圖.....	59



摘要

關鍵詞：東沙環礁、珊瑚、保育、入添、繁殖、復原指標

研究緣起

自 2007 年建立東沙環礁國家公園後，開始為期五年不對外開放的時期，並利用這段時間了解環礁在大白化後的復原現況並預測其未來。整合 2001 至 2008 年的珊瑚群聚調查報告，發現受損最嚴重的潟湖內活珊瑚覆蓋率變化極大 (2.8-70.5 %)；本研究以潟湖內各式棲所為調查單位，探討復原情形及展望。

研究方法及過程

我們將潟湖內塊礁分成更小尺度的棲地：礁頂、礁坡、礁底、塊礁間；接續 2009 年在 3-5 米的礁頂 (Reef top) 及 10-15 米的礁底 (Reef base) 的研究，今年將棲所設定在 6-8 米深的礁坡 (Reef slope) 與 9-15 米深的礁間。以八項復原指標：生殖、小珊瑚入添、生長率、死亡比率、病蟲害、珊瑚覆蓋率與類型 (rKS) 分佈、共生藻為評估切入點；因環礁在 1998 年大白化後軸孔珊瑚大量死亡，至今無明顯恢復跡象，一併評估其無法復原的因素。

重要發現

珊瑚會進行有性生殖，月份應在三至五月間。將東沙環礁四種棲所 (礁頂、礁坡、礁底、礁間) 小珊瑚密度取平均值，其值大幅低於其他區域潟湖的平均入添量。珊瑚生長率約 10.5 公厘/年，與南中國海珊瑚生長歷史資

料每年 11 公厘相近。在病蟲害部分，今年僅發現一隻棘冠海星，短時間內不會造成重大危害。潟湖內平均覆蓋率為 20%，離無人礁的覆蓋率 44-56% 相差甚多，珊瑚的死亡比例平均值為 50%，移植到潟湖內的軸孔珊瑚在經歷夏日三個月後存活率仍相當高，此結果不支持高溫造成新入添的軸孔珊瑚死亡，由此推論東沙環礁軸孔珊瑚沒有恢復是因為缺乏苗的入添。雖然塊礁的保育價值亦有差異，但基本特徵是缺乏繁生型珊瑚。以共生藻組成來看，D 型(擾動型)有相當出現頻度，表示高水溫確已影響東沙的珊瑚相，至於是否有助其適應高水溫就仍待探討。儘管經歷大破壞，但潟湖內珊瑚目前仍保有復原潛力。

主要建議事項

東沙環礁的環境壓力主要來自於過漁的人為壓力及全球氣候變遷，整體而言，東沙遠離了人為的海岸汙染壓力，可以提供一個研究過漁及氣候變遷對生態系影響的大好機會。而本研究提出以下立即性及長期建議：

立即可行之建議

主辦機關：海洋國家公園管理處

協辦機關：行政院海岸巡防署

後續進行珊瑚礁研究時應標明研究棲所，研究指標以今年結果作為對照組，除了調查潟湖內，亦應調查礁台及外環礁的珊瑚群聚，並且以年尺度固定監測永久穿越線的變化。

長期建議

主辦機關：海洋國家公園管理處

協辦機關：行政院大陸委員會

東沙環礁持續受到非法捕魚的危害，除了海上執法，也應透過兩岸交流從高層協商處理。





Abstract

Keywords: Dongsha Atoll, coral, conservation, recruitment, rKS, reproduction, recovery index

Dongsha Atoll National Park was established in 2007, and a 5-year close-park period has been implemented. The status and the future of the reefs are to be assessed in this period. Highly variable live coral coverage (2.8-70.5%) was reported within the lagoon from 2001 to 2008.

In this investigation, we identified four types of habitats, i.e., reef tops (3-5 m), reef slopes (6-8 m) and reef bases (10-15 m) of patch reefs, as well as inter-patches (9-15 m) in the lagoon of Dongsha Atoll. The survey in 2009 focused on tops and bases, and in 2010 the rest two habitats. A total of eight indices: reproduction, recruitment, growth rates, dead coral ratios, pests and diseases, live coral coverage, morphological types and zooxanthella types were used. In addition, since the branching acroporids have yet recovered since the 1998 massive bleaching event, we test hypotheses explaining this phenomenon.

The broadcasting corals presumably spawned between March and May. Small coral densities were much lower than that in the lagoons of mid-Pacific atolls. The skeletal extension rates averaged 10.5 mm/year, similar to that in the South China Sea. Few predators and diseases of corals were observed and they were not a threat to coral communities. Live coral coverage was 20% on average, lower than the 44-56% seen in uninhabited reefs in mid-Pacific. On average 50% of corals were dead. In addition, the lack of recovery of branching acroporids was investigated by a transplantation experiment conducted in the summer. The high survival rates after the summer months does not support the hypothesis that warm

water were still killing recruiting corals, rather, the lack of recruits might be the bottleneck to the recovery process. Presence of D-type zooxanthellae implicated the occurrence of warm water in recent past. The lagoon coral community maintains recovery potential despite the significant degradation by the 1998 massive bleaching and mortality event.

The stresses on Dongsha Atoll are anthropogenic, i.e., fishing pressure and global change. From another perspective, Dongsha is isolated from coastal pollution and provides a good opportunity to study the effects of overfishing and climate change on the coral reef ecosystem. There are two suggestions :

Immediate Actions

Responsible Agency: Marine National Park

In Cooperation with: Coast Guard

Survey the rims and the outer reefs of the atoll targeting identifiable habitats.

Use permanent transect to follow changes through years.

Long term goals

Responsible Agency: Marine National Park

In Cooperation with: Mainland Affairs Council

The degradation of Dongsha Atolls by illegal fishing activities can be alleviated by law enforcement. Besides, cooperation with mainland China authorities is a route worth pursuin

第一章 緒論

第一節 前言

珊瑚礁在地球上只佔 0.17% 的面積，卻是海洋生態系中生物多樣性最高的地方(Stone et al., 1996)，除了提供海洋生物生存的空間，也可屏蔽海岸，減少海浪的侵襲，根據 Darwin (1842) 對環礁構造如何形成的描述，當火山島漸漸下沉而周圍珊瑚繼續造礁堆疊，漸漸從群礁演變到堡礁乃至環礁，而東沙環礁有可能與其他環礁較不同的是它建構在冷泉碳酸岩盤上，附近海域可能有冷泉生物群落存在(徐等 2008)，且東沙環礁位於南海內波的傳遞路徑上，內波從東面前來，在外環礁擾動帶來冷水與豐富的營養鹽(Wang et al., 2007)。

東沙環礁之礁台 (reef rim) 形成一直徑約 25 公里的圓環，在 Darwin (1842) 敘述中提到一般珊瑚礁島多在迎風面 (windward side) 受海浪堆疊而成，但在太平洋的環礁裡有少部分小島生成在背風面 (leeward side)，這些背風面生成的小島面積通常比迎風面生成的陸地小；東沙島即是坐落在環礁的背風面上，由白色珊瑚沙與貝殼沙堆疊而成(陳等 2008)，此面積僅 1.74 平方公里的小島是環礁上唯一可居住地。在東沙環礁西南及西北方各有一水道口，是環礁內潟湖 (lagoon) 海水主要交換口，於漲退潮時可些微交換水流，而東沙環礁屬於全日潮型，在平潮期幾乎無潮流，整體而言無法形成環流，故潟湖區海水交換率不佳，此為導致環內溫度較高、水質亦較為混

濁一大因素，此外，從監測超過一年的水溫發現環內潟湖溫度較高發生在夏季，冬天環內水溫較環外為低（陳等 2008）。

在組成物種上潟湖與環礁外也大不相同，外環礁多桌形軸孔珊瑚，而環礁內潟湖則曾大量覆蓋分枝型軸孔珊瑚，由於環礁內魚種多樣性高，導致中國、越南等鄰近國家常非法越界捕魚，在過漁破壞下使得海洋資源耗損，且於近年來大尺度的全球氣候變遷，特別是 1998 年大白化後珊瑚相產生相當大的改變（鄭等 2005）；在國際自然保育聯盟（IUCN）建議下開啟東沙環礁成立海洋保護區的議題，經各方努力，終於在 2007 年公告成立以復育及保育為優先的東沙環礁國家公園（<http://dongsha.cpami.gov.tw/cp/main1.aspx>）。



第二節 研究背景

東沙早期研究資料稀少，欠缺系統性監測，而珊瑚相關研究在 1935 年馬廷英開始著手調查珊瑚生長情形，之後間隔四十年開始東沙海域生態調查，但因天候及船隻後勤支援限制，多只能在東沙島附近進行短暫的調查。自東沙環礁成立海洋國家公園後，採取五年的保育復育期，暫時不對一般觀光遊客開放，而以復育珊瑚礁環境為優先，此外也在各年度進行珊瑚相調查並從中訂立復原指標，東沙的珊瑚相是否在休養期間有所改變，而人為協助加速復原是否可行，又應如何進行保育？都是值得探討的問題。

全球尺度

在大尺度上，全球氣溫的變化是影響珊瑚礁生態的因素之一，而今全球珊瑚礁面臨相同的問題——過多的二氧化碳導致溫室效應及海水酸化，甚至可能使聖嬰與反聖嬰現象交替更頻繁，導致洋流與氣溫異常改變，特別是太平洋近赤道的區域，海水暖化的速度可能更快(Collins et al., 2010)。溫度的劇烈變化並非近年才開始產生，小幅度的溫度變化（1-2°C）可能會減緩珊瑚的生長速度及降低生育力(Goreau and Macfarlane, 1990; Brown and Ogden, 1993)，若是長時間大幅度改變溫度(2-3°C，>6 個月)則會提高死亡率 (Brown and Suharsono, 1990)，此外，不同的珊瑚物種對溫度升降的敏感度也不同，像是棘杯珊瑚屬就比較不容易產生白化，而軸孔珊瑚及鹿角珊瑚就屬於較容易受溫度影響的科別(Marshall and Baird, 2000)，溫度不只是導致珊瑚死亡率

增加，也造成生長速度減緩(Goreau and Macfarlane, 1990)，從生態學的角度，它改變了該區域生物種類組成(Vargas-Angel et al., 2001)。雖然異常的氣候不一定年年發生，且發生時可能只產生區域性的影響，但在制定保育策略時仍需了解大尺度上的溫度變化(Halpern et al., 2008)。大量排放二氧化碳也導致另一項副作用—海水酸化，在正常情況下碳酸鈣在海洋中上水層是超飽和的狀態，但海水酸化後碳酸鈣在較淺水層就可能呈現不飽和狀態，對部分擁有碳酸鈣骨骼的生物造成威脅，可能融化其骨骼，並且導致無脊椎生物幼苗死亡率提高(Dupont et al., 2008)，而對某些種類的珊瑚則可能在幼苗時成長速度較慢，也較容易受到藻類覆蓋(Suwa et al., 2010)；對成體方面，鈣化速率在工業革命後減少 10-50%(Kleypas and Yates, 2009)，以團塊型微孔珊瑚生長輪為例，受大氣中二氧化碳量及海水酸化程度影響使得生長輪密度降低(Wang et al., 2010)，甚至有預測當二氧化碳分壓升到 560ppm，達到工業革命以前的兩倍時，所有珊瑚將停止生長，而且骨骼開始融化(Silverman et al., 2009)。由於氣體溶解度與溫度高低有關，在高緯度氣體溶解度較大，故有部份預測指出 2030 年在緯度較高的地方就可能先呈現海水中碳酸鈣不飽和的狀態(McNeil and Matear, 2008)。

中尺度

整理世界各海域有關珊瑚礁生態改變的研究，通常都包含人為活動帶來的壓力，像是廢水使水質優養化、油汙染、沉積物、船隻造成的物理傷害以

及過漁現象等等，其中又分急性及慢性的傷害，以急性而言，像是破壞性漁法捕魚（炸魚）等造成明顯的傷害，通常不是永久性的，也有可能自行修復 (Pearson, 1981)，而慢性的像是陸源的營養鹽過多及廢汙水就經常有比較大的規模，並持續較長的時間，但地緣關係明顯。以深度為例，破壞和水深關連性大，在印尼海域的研究顯示陸源的汙染在 3 至 5 公尺水深減少珊瑚覆蓋率約 30-50% 而 10 公尺水深則達 40-60%，炸魚及船隻下錨造成的物理性傷害在 3 公尺水深約 50%，但是 10 米時傷害約 10% (Edinger et al., 1998)。以東沙環礁的情況而言，因為位在大海中，而東沙島的陸源營養鹽遠較大陸旁少、也無河川沖刷陸源沉積物入海，對環礁破壞主要來自漁業活動之直接急性傷害，而造成這些傷害的因素通常是過漁或使用破壞性捕魚手法：毒魚、炸魚及電魚，除了破壞生態也造成其他損失，像是旅遊收益上、環境保護的費用 (Pet-Soede et al., 1999)。而要阻止這些情形惡化，只靠加強海上執法，似乎效果有限，應設法從多方面突破：例如兩岸三地及南海周遭國家，需儘早推動國際合作共識，不論是在科學研究或管理上制定保護規範。

小尺度

扣除以上影響因素，在導致珊瑚礁破壞最常見的小尺度擾動就屬生物因子，像是棘冠海星 (*Acanthaster planci*)、白結螺 (*Drupella spp.*)、大型海藻 (Macroalgae) 以及各種珊瑚疾病等，通常生物性因子爆發仍有可能受到環

境因素左右，如水溫影響珊瑚黑帶病出現之季節(Zvuloni et al., 2009)，或者陸上營養鹽排放影響棘冠海星發生之範圍(Morimoto et al., 2010)。

以棘冠海星而言，因為生命力強，繁衍速度快，通常棘皮動物會受到食物限制牠們所在的區域，而棘冠海星在密度過高的時候就向外遷徙，因為較少種間競爭，牠們的密度也比其他棘皮動物來的高(Moore, 1978; Moran et al., 1992)，在食性上偏好吃軸孔珊瑚科、鹿角珊瑚科，角菊珊瑚屬及微孔珊瑚科等(Pratchett, 2007)，所以在軸孔珊瑚科附近密度最高，此外，成體與幼體在環礁中的分佈位置不同，幼體多在外環邊緣的礁冠 (reef crests)，而成體在塊礁出現(Sluka and Miller, 1999)。棘冠海星的大爆發中最出名的例子是1966-1974 年發生在大堡礁的案例，牠們以每年 49 公里的速度向南擴張 (Moran et al., 1992)，影響深度達 40 米、導致某些海域 80%的珊瑚礁破壞 (Pearson, 1969)。

白結螺的聚集受到食性、深度、季節等條件影響，聚集密度有極大的差異，喜好聚集在隱蔽處，牠們以齒舌刮食珊瑚，被刮食的部分易被藻類覆蓋，在高度聚集時與棘冠海星有相近的破壞力，幼體與成體皆偏好分枝型的軸孔珊瑚，但幼體在食性的偏好上較明顯；以水下一公尺左右的淺礁聚集密度較高(Schoepf et al., 2010)，此外因為聚集密度與大小、季節有關，可能是生殖季導致的非常態性聚集行為，而小白結螺在有成體居住的軸孔珊瑚存活率又較高，也是導致密度變異的原因之一 (Turner, 1994; Morton and Blackmore,

2009)，在大爆發的初期，白結螺的生長速度可以快速增加，並達到能繁衍下一代的大小，但在中後期新入添的白結螺生長速度緩慢許多，這也應驗了一地區的爆發可能不是外來入添導致，而是本身就擁有快速繁衍的能力 (Black and Johnson, 1994)，另外有研究指出白結螺的密度也受人為影響，在過漁的區域比保護區或限制捕撈區密度來的高 (Mcclanahan, 1994)，依此假說，東沙環礁長期過漁也可能造成白結螺增加，但另一方面目前東沙環礁僅在東沙島附近有些許分枝形軸孔珊瑚，且環礁潟湖區軸孔珊瑚比例極少，短期內可能無此危害之可能，但未來對潟湖內的軸孔珊瑚是否造成威脅仍值得持續觀察。

在珊瑚礁生態中，競爭通常發生在珊瑚、珊瑚藻、微細藻類、大型藻類等都需要空間附著，或都需要光線為能量來源的生物，而影響何者勝出的因素包含了環境及生物性的因素 (Littler and Littler, 1984)，環境因素例如營養鹽供給，從食物鏈觀點是由控制生長速率引起的 (bottom-up control)，像是當營養鹽豐富使得藻類大量生長；另一方面草食性魚類的攝食則為食物鏈上端來的生物性因素調控 (top-down control)，這些魚類刮食藻類則可避免藻類過度生長 (Stephenson and Searles, 1960)，以免由珊瑚為主體的生態系轉變成由藻類為主，故在低營養鹽高刮食壓力下對珊瑚礁生物多樣性的維持可能是最有利的狀況 (Littler et al., 2006)。雖然東沙環礁較少受到陸源營養鹽影響，但長久以來有內波從東方傳來，在撞擊外環礁時因地形產生冷水舉升並伴隨

著帶來營養鹽（謝 2009），所以長久來看東沙環礁在營養鹽的供給上的變化應該不大，但在生物性因素則受到過漁的影響，大型草食魚類減少，導致來自食物鏈上層的壓力消失，在春季藻類應會大量爆發，甚至可以將底部的珊瑚直接覆蓋，這部分須仰賴執法單位在保護區內禁漁，以便原有的生態組成有回復的機會。



第三節 東沙環礁概述

東沙環礁國家公園所劃定的範圍為環礁外圍向外延伸 12 海浬，總面積約 35 萬多公頃，其中規劃以環礁外圍 180 公尺（100 滄）等深線範圍內為核心保護區，面積約有 8 萬多公頃。基本上可將東沙環礁大致區分為中心的潟湖區、環狀的礁台區與外環礁三大區塊（附圖一），除了潟湖區約 200 多平方公里的面積之外；礁台區的總長度約 46 公里，寬約 2 公里，總面積估計也約有 200 多平方公里，基本上定義為相當淺的淺礁，包含大退潮時會露出的部分；外環礁則是礁台區以外的部分至 180 公尺等深線範圍內，面積範圍估計約有 200 多平方公里。

就珊瑚覆蓋率而言，外環礁 0-15m 範圍內的總珊瑚覆蓋率平均約 67%，其中石珊瑚與軟珊瑚約各佔一半，石珊瑚平均覆蓋率為 35%，軟珊瑚的平均覆蓋率則約 32%，外環礁也有死珊瑚殘骸，比例約佔 12% 左右。礁台區從目前已有的資料顯示，有兩個南邊樣點上幾乎都是死珊瑚骨骼殘骸，石珊瑚覆蓋率低，只有 5% 左右（宋 2001）。無論是外環礁或是潟湖區，不同地點的珊瑚群聚都有組成上變異，外環礁的東及南面以石珊瑚為主、軟珊瑚為輔；而北面則相反，以軟珊瑚為主、石珊瑚為主，西面則是以石珊瑚為優勢的群聚（戴 2006）；歷年調查中也發現近北水道口附近的樣點，有較多死亡珊瑚骨骼（戴 2005，2006）。在前人的調查中，潟湖區的調查棲所沒有固定，甚至有因珊瑚覆蓋率不佳而更換地點，但調查出的總珊瑚覆蓋率仍明顯少於

外環礁，只有約 25 %，但點間變異大，主要為石珊瑚群聚，幾乎沒有軟珊瑚，僅佔約 0.1 %，但有大量的死亡珊瑚骨骼散佈在潟湖區中，比例約佔總底質的 30 %，超過外環礁兩倍之多（戴 2005，2006，2008;樊等 2007；盧等 2008，宋等 2009）（附圖二）。

東沙環礁佔地遼闊，由於海況關係，只有潟湖區的樣點較容易到達，所以歷年的調查樣點都集中在東沙島附近與潟湖區中，共有 47 個樣點；相對的，外環礁的調查點無礁台保護，湧浪較大，小艇作業不易，因此歷年來調查點相對較少，只有 20 個樣點，在這如此大範圍的環礁裡，顯示了外環礁區的調查數似乎略嫌不足，且由於潛水作業上的限制，目前所能取得的監測資料都在 30m 以淺的海域，對於 30m 以深的海底生態狀況還無法得知。此外由於礁台區附近的淺礁使得船隻不容易靠近，目前尚未有系統性礁台區的實地調查。

整合 2001 至 2009 年的珊瑚群聚調查報告，發現在大尺度上，由於外環礁屬於開放式環境，其珊瑚群聚並未在 1998 年大白化事件中受到重大破壞，無論是珊瑚種類或數量都還是非常豐富；相反的，較封閉的潟湖區則在大白化事件中受到嚴重影響，死亡的珊瑚骨骼在潟湖區中到處可見（戴 2006）。根據陳陽益（2008）在潟湖區的棲地調查資料，以每一公里做棲地型態分類可以看出潟湖區的概況，其中有珊瑚存在的棲地約佔 73 %，而這些棲地中也有很大部份存在珊瑚殘骸，珊瑚殘骸出現 74 % 的潟湖區樣點（附圖三）。

小尺度上，東沙環礁潟湖區內的活珊瑚覆蓋率有很大的空間變異（2.8-70.5%），且藻類的覆蓋率偏高（戴 2006）。

潟湖區不只是單純的平坦地形，還有塊礁（patch reef）的存在。這些塊礁雖然佔不到潟湖區面積 1%，卻是潟湖內明顯的特徵，由衛星照片上都清楚可見，而塊礁包含的各種棲所珊瑚平均覆蓋率可達約 24%，在 2009 年前調查資料結果與塊礁間之珊瑚覆蓋率 25%相近（宋等 2001，2009;戴 2005，2006，2008;樊等 2007）。塊礁本身還能分成更小尺度的棲地：礁頂、礁坡、礁底，這些不同棲所之間都存在著不同的珊瑚分佈狀況，因珊瑚的入添通常會受到環境影響，像是光線、水質、沉積物等(Maida et al., 1994; Gleason et al., 2009)，或者受到海膽等刮食性生物移除(Sammarco, 1980)，所以棲所的選擇會影響到珊瑚的分佈(Price, 2010)，由於 2008 年以前調查時並無限定調查棲所類型，調查得到的活珊瑚覆蓋率也變化極大；故本研究自 2009 年開始以特定棲所進行東沙環礁潟湖內珊瑚群聚研究，去年在環礁東、西邊各挑選五個塊礁做頂、底調查評估，今年則以礁坡、礁間為調查區域，雖然塊礁在潟湖面積上比例不到 1%但棲所多樣，而潟湖內的棲所多半為礁間組成，缺少棲地的多樣性，故已塊礁為調查單位有一定的代表價值。在評估復原狀況時，若只計算覆蓋率並不能幫助了解環礁復原上的障礙，僅能代表該區的珊瑚數量，所以我們使用復原指標協助了解每個環節的問題，以小珊瑚入添量、生殖、生長率、覆蓋率…等來評估復原的情況；若無生殖行為則這個環

礁缺乏自行復原的能力所以需要生殖的指標，但從生殖到成功形成一定大小的小珊瑚間有很高的死亡率(Gosselin and Qian, 1997)，所以需要小珊瑚入添量指標去確認入添狀況是否順利；在生長的部分，大堡礁的珊瑚從 1990 年後開始有生長減緩的趨勢(Cooper et al., 2008)，而從生長指標可以判斷東沙的珊瑚是否也有相似狀況？在已經受 1998 年大白化摧殘後的環礁是否還有隱藏生物性因子的為害？而死亡比率則是計算死珊瑚佔總體珊瑚的比例多寡，可以進而回推當年的狀況，此外在珊瑚型態上，更以計算繁生型、競爭型、耐壓型三大珊瑚外型類型比例評估該區保育上的潛在價值(Edinger and Risk, 2000)，而十個塊礁中缺少屬於繁生型珊瑚的保育等級 3 區域(宋等 2009)，此結果顯示現今東沙繁生型珊瑚數量極少，而其中枝狀軸孔珊瑚在 1998 受害後，未曾恢復是主要因素。從水溫資料上發現環礁東、西邊水溫有差異，因東邊有內波帶來冷水，可以快速降低外環礁海水溫度長達四個小時，這可能也影響了潟湖內東、西邊水溫，同時溫度的差異也發生在礁頂、礁底之間。小珊瑚的部分在礁底多樣性高於礁頂，這可能是在礁底溫度較低較適合小珊瑚生長，但依舊缺少繁生型珊瑚的入添。

因為環礁內過去有許多軸孔珊瑚，但經歷大白化後，死亡的珊瑚骨骼大量覆蓋在環礁各處，經生物及物理因素造成許多碳酸鈣碎屑在海底沉積，在環礁內水流交換率不佳之下，可能是使得潟湖內水質混濁的因素之一，對礁底珊瑚的入添、生長及存活應該會有負面影響。

珊瑚的存活率和溫度的變化有關係，這對體內共生藻的組成亦可能有很大的關係，共生藻能夠透過光合作用提供養份給珊瑚 (Muscatine et al., 1981)。根據分子分類的證據，目前與珊瑚和其他海洋無脊椎動物共生的共生藻已發現 A-H 八大系群 (Rowan and Powers, 1991a; Carlos et al., 1999; Lajeunesse, 2001; Pochon et al., 2001)。其中 A、B、C、D 型為造礁珊瑚主要的共生藻。共生藻的類別和地理、宿主及光能利用策略有關 (LaJeunesse 2005, Stat et al., 2008a)。其中共生藻和宿主的專一性和珊瑚的生理有關 (Correa et al., 2009)。例如，A 型為「好光型」，C 型為「廣布型」，而 D 型為「耐熱型」。其中 C 型為造礁珊瑚體內主要的共生藻，大部分的珊瑚都與 C 型共生，但是 C 型對熱與強光較為敏感，因此，住有 C 型共生藻的珊瑚宿主比較容易白化。目前已知住有 D 型共生藻的珊瑚種類不多，大多數都在環境條件較為惡劣的棲地，例如潮間帶或是礁邊緣區。但是 D 型共生藻在逆境發生時比較不容易白化，而且住有 D 型共生藻的珊瑚能在高溫時有較好的光合效率 (Baird et al., 2003; Chen et al., 2005)。證據暗示，擁有 D 型共生藻的珊瑚在 1997 的大白化事件沒有受到影響 (Chen et al., 2005)，因此推理擁有 D 型共生藻的珊瑚可能在面對未來海洋升溫的威脅下，有較高的生存機會。因此透過本計畫瞭解東沙內環礁珊瑚體內共生藻組成，以及是否有擁有耐熱型之共生藻，以便能進一步探討並驗證上述理論。

第四節 預期目標

承接 2009 年調查，得知平均水溫資料礁頂較礁底高約一度，此因素可能是造成礁底珊瑚多樣性及生長速度較礁頂佳之原因，故今年增加礁塊邊坡調查與礁頂、礁坡水溫記錄比對，因塊礁僅佔環礁內潟湖的一小部分，本次作業預計增加調查第四種棲地—離塊礁兩百米的礁間，並於兩種棲地採取微孔珊瑚，從生長資料比較不同棲所生長情況；並從珊瑚生長類型、覆蓋率、共生藻組成及小珊瑚量，進一步推測環礁內珊瑚覆蓋率是否會向上提升，或有其他因素影響其復原，將調查結果區分出該棲地的珊瑚礁相特徵，畫分不同保育等級，建議分區以便擬訂優先保育策略。

在 2008 年繁生型珊瑚平均佔覆蓋率 13%，但 2009 年在許多調查點中繁生型珊瑚比例為 0，此結果差異明顯，雖然兩年調查棲地不全相同，但皆有礁頂此類棲所，因此推論非全由調查棲所不同造成，加上從去年的結論得知，水溫可能是影響環礁內珊瑚群聚的主要因素，而夏季水溫 30°C 以上的頻率從 28%-52%，有可能不利於繁生型珊瑚生長，綜合以上結果我們提出一個問題：東沙環礁潟湖內的軸孔珊瑚為何無復原跡象？在此提出兩個假說：1. 東沙軸孔珊瑚沒有復原是因為缺乏入添。2. 東沙夏天的水溫持續造成入添軸孔珊瑚的死亡。本研究將嘗試用代表繁生型珊瑚的分支型軸孔珊瑚做移植，從存活率驗證軸孔珊瑚尚未復原是環境改變導致，或是生物因子(缺乏入添)造成。

有正常的繁殖行為是自然族群的一大特徵，今年欲研究東沙珊瑚是否有進行生殖行為，因此採取組織樣本觀察，確認精卵發育情形是否正常，因東沙環礁與墾丁緯度僅相差 3 度左右，集體產卵時間可能與墾丁珊瑚同時發生，今年（2010）墾丁珊瑚在五月開始陸續產卵（<http://tw.news.yahoo.com/article/url/d/a/100506/131/255an.html>），生殖的最高峰可能在農曆三月中後，故判斷東沙珊瑚在同時期（陽曆五月初）生殖機率極大。

前幾年調查並未在環礁潟湖內建立永久穿越線監測，以致於缺乏觀察區域較佳解析力的變化記錄，本團隊從 2009 年調查塊礁頂底資料中挑出覆蓋率較高的 9 號礁，根據盧重光等人在 2008 年報告建議與挑選活珊瑚覆蓋率較高的原則，建立 10 米永久穿越線監測珊瑚的變化，另調查覆蓋率，並區分繁生型、競爭型或者耐壓型屬性及其小珊瑚入添量記錄，瞭解環礁內定點珊瑚群聚的變化，並於穿越線旁放置年溫度計以記錄當地水溫變化。



第二章 東沙環礁珊瑚群聚調查方法與分析

第一節 材料與方法

研究地點

本研究皆於東沙環礁內潟湖區進行，從衛星圖上得知在潟湖內分佈有兩百座以上的塊礁，我們將塊礁分為 2-3 米深的礁頂(Reef top)、7-8 米深的礁坡及 11-15 米深的礁底；接續去年研究的 10 座塊礁進行調查，今年改變棲地，新增礁坡及非塊礁區，以距離塊礁約 200 公尺，且 9-15 米深為礁間（圖 2-1）；另外考量到 9 號礁非典型塊礁，去年調查的礁頂為 7 米深，與其他礁頂的深度不同，加上地形非明顯礁坡，亦不符合礁坡的特徵，故不列入比較的部分。

為了能較精確掌握珊瑚礁的變化，以及考量之後固定調查的可行性，我們在東沙島東方設置一條永久穿越線，拍攝連續照片並放置於該報告光碟內以供以後比較。

小珊瑚入添

在礁坡以等深線方式調查，而在礁間以南北向拉穿越線，取 50~100 米進行截線上寬 1 米內的調查，記錄直徑小於 5 公分以下的小珊瑚(Miller et al., 2000)，每個小珊瑚邊放置比例尺並拍照，之後依照照片鑑定科別，並以影像軟體 Image J 計算小珊瑚的最長徑，因為最長徑與面積有很好的線性關係（宋等 2009），故以此代表小珊瑚的大

小，由照片轉為數據後分析不同棲所是否有珊瑚科別、密度與大小的差異。

指標的評斷方式以兩年調查得到的小珊瑚平均密度與其他地方的資料相比，主要以太平洋中其他環礁內的潟湖為比較區域，。

生殖

在東沙島附近採集微孔、軸孔等種類的珊瑚樣本。從成體上鑿取 3*3 公分的樣本，放置於以海水稀釋的 5% 中性福馬林固定，運送回台灣後改以 70% 的酒精泡製，將珊瑚切成兩半，一半以 85% 檸檬酸與 85% 甲酸以 1 比 1 混和配置酸液溶化骨骼，之後進行解剖顯微鏡觀察生殖腺發育情形。若有生殖行為則指標為正常情況。

生長率

從每個礁坡與礁間選擇一至兩顆直徑約 20 cm 的團塊型微孔珊瑚個體，以鐵槌、鑿子將其整個敲下，以提袋運送回島上，利用高壓沖水機將珊瑚組織去除，留下骨骼風乾後運回台灣。將骨骼以大型鋸檯從中心點鋸開，取生長軸的薄片，以 X-光拍攝得到數位影像電子檔，使用影像分析軟體 Image Pro 計算年輪，從外向內垂直拉線，線上明亮處為骨質較密，生長較慢時期，線上較暗處為骨質較鬆而生長快速的時期，將線上明暗值數位化，利用移動平均法去掉波動，再使用 Image J 換算年生長速度，每塊骨骼從生長最速處拉取三條線取平

均值，得到每年的生長速率觀測值；因 2009 年採取之樣本在計算生長率方法上與今年度方法不全一致，故皆重新量測。

此生長指標判斷主要以珊瑚生長是否趨緩，並比較同種珊瑚在中國海區域所得的歷史生長資料，若平均生長速度與歷史記錄相近，也沒有生長趨緩的情況則指標為佳。

珊瑚覆蓋率、死亡比例與類型 (rKS) 分佈調查

擾動、競爭、壓力是影響生物多樣性與豐富度的三大因素，只以覆蓋率判定一區的珊瑚保育價值會忽略掉環境壓力對種類的影響 (Huston, 1994)，Edinger(2000)提出把 Grime(1979)的 rKS 植物分類法應用到珊瑚上，以三大珊瑚類型比例評估該區投入保育資源的價值，這三種以耐壓型(stress-tolerators, S)為逆境下較容易存留的種類，通常生長緩慢，多為團塊型，如團塊微孔珊瑚、菊珊瑚科、蓮珊瑚科等；而繁生型(ruderals, r)則生長快速，像是軸孔珊瑚、火珊瑚與藍珊瑚；競爭型(competitors, K)通常為葉狀或分枝形非軸孔珊瑚類的珊瑚，或是表覆形的表孔珊瑚以及可自由移動的蕈珊瑚等，和繁生型珊瑚相比，競爭型珊瑚生長速度較慢，但承受干擾的能力較佳。綜合以上結果，從類型比例劃分出四個保育等級（保育等級 1~4）。實際數據取得則每採樣點設置兩條南北向 50 米穿越線，用 25*25 平方公分的框

架為固定範圍，使用數位相機以間隔 2 米的方式在穿越線左右邊各照一張，一個點共 100 張照片，以 CPCe (Coral Point Count with Excel extensions) 軟體分析，每張照片隨機取 30 個樣點進行分析覆蓋率，計算繁生型、競爭型與耐壓型活珊瑚的覆蓋率，以及比較死珊瑚與活珊瑚在不同棲地、樣點的差異。

此部份包含三種復原指標，在活珊瑚覆蓋率的判斷是以和其他地點覆蓋率相比為主，因為東沙環礁較接近無人居住的環礁條件(居住人數少)，若覆蓋率低於無人礁的情況則指標為差，若不考慮環礁潟湖條件，只以國際上判定活珊瑚覆蓋率的條件判斷，在覆蓋率>75% 為優，50-75% 為佳，25-50% 為差，<25% 則為劣(Gomez and Yap, 1988)；而死珊瑚覆蓋率指標則是越低越好，若與前人資料相比降低則表示有改善，但之前調查的方式有挑選覆蓋率佳的地方進行，在比較上不準確，故今年只能指出哪邊的死珊瑚覆蓋率較低；而 rKS 分析得到的指標是以保育等及越高越好進行判斷。

生物性因子影響

計算在礁坡、礁間的穿越線以及礁頂、礁坡的穿越線上觀察到的黑帶病 (BBD, black band disease)、黃帶病 (YBD, yellow band disease)、黑病 (BD, black disease)、白結螺 (*Drupella spp.*)、棘

冠海星 (*Acanthaster planci*) 等病蟲害，計算每平方公尺的數量，評估是否對珊瑚生長有影響，若近期對珊瑚沒有危害可能則指標為佳。

復原瓶頸假說測試 (移植)

環礁內潟湖區曾覆蓋大量分枝型軸孔珊瑚，死亡後留下立體的殘骸或者分解成新的沉積物 (樊等 2007)，經過多年卻無復原跡象，不論是在覆蓋率 rKS 分析或是小珊瑚的入添都極少看到軸孔珊瑚，推測可能在自然恢復能力上受限。移植是最常使用於復育環境的方式 (Maragos, 1974)，然而我們的目的並非為了進行復育移植，而是使用繁生型的分枝型軸孔珊瑚進行環境測試，是否為夏季高溫導致生長困難而死亡。作業上，剪取 10 公分以上的美麗軸孔珊瑚枝 (Okubo et al., 2007)，以水桶裝載至移植區，所有移植分枝皆利用支架撐高，避開沉積物降低移植珊瑚的存活率 (Rogers, 1983)；在活珊瑚區、3 米及 9 米的珊瑚骨骸區，以電線將五支珊瑚枝串成一串，每三串固定在一移植區，以束帶加強珊瑚枝與電線的連結，利用天然的立體結構固定移植串，經過三個月後計算存活率。此實驗在夏天水溫最高的季節進行，實際移植時間在 2010 年 5 月底，當年 9 月檢查結果。

永久穿越線

在東沙島東方設置永久穿越線，記錄 GPS 的位置。拉設南北向 10 米永久穿越線，在 0、2、10 米處以竹節鋼筋設置標記，用 25*25

平方公分的框架做 1*10 平方公尺內範圍內連續拍攝，共得 160 張照片，以照片進行 rKS 分析，另外拍攝最長徑小於 5 公分的小珊瑚照片，並於最南邊的竹節鋼筋旁設置每半小時記錄一次的自記式溫度計，預定以年尺度做監測其珊瑚相的變化。

溫度監測

於永久穿越線的頭尾放置自記式溫度計 (HOBO Pendant, UA-002-XX)，記錄頻度為 30 分鐘一次，溫度計精確度達攝氏 0.1 度，從五月底放置達九月中。另於東沙島北方 (二據) 存活的軸孔珊瑚旁設置一隻長期放置溫度計。所有設置點皆以牛奶瓶浮標做為標示，記錄 GPS 以增加回收之機會。短期溫度計回收後先處理數據，扣除 24 小時的平均溫度後得到日溫差，接著使用 Cosinor 軟體計算周期 (Refinetti et al., 2007)，並比較不同區域的水溫變化。

共生藻分析

於各樣點採集珊瑚群體的組織與骨骼標本，以 75% 酒精固定攜回實驗室後，萃取 DNA 進行分子鑑定共生藻品系，與資料庫相比對了解環礁內共生藻多樣性，並進行珊瑚骨骼種類鑑定。一般而言，C 型共生藻主要分佈於環境較穩定的區域，而 D 型則是在環境擾動較大的區域，因此，評估一個環境是否恢復亦或惡化，可由共生藻的類型當作一個依據。

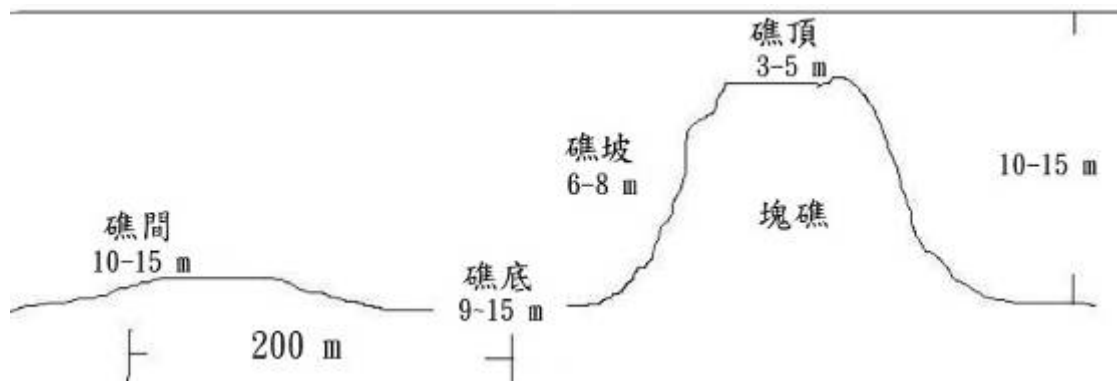


圖 2-1 採樣棲所調查地形示意圖



第二節 結果

今年總共調查 9 座塊礁，包含 9 個礁間與 8 個礁坡棲所，因海況受限，8 號礁無法調查。因 2009 年調查 9 號礁礁頂深度及地形異於各棲地，在混合比較棲所時不列入統計。所有調查點皆以 GPS 記錄位置（附表一）。

小珊瑚入添

塊礁中四個棲所的小珊瑚平均密度：礁坡 2.5 個/平方公尺>礁間 1.4 個/平方公尺>礁底 1.3 個/平方公尺>礁頂 0.8 個/平方公尺，將每塊礁對應的四種棲所做密度的比較，則發現有顯著差異（Friedman test, $p=0.018$ ），再以棲所兩兩比較，發現此差異由礁坡入添密度高於其他棲所造成（Wilcoxon Signed Rank test，坡、底 $p=0.04$ ，坡、頂 $p=0.01$ ，坡、間 $p=0.05$ ，），而其他三個棲所之間，彼此差異不顯著（Wilcoxon Signed Rank test，底、頂 $p=0.21$ ，頂、間 $p=0.18$ ，底、間 $p=0.76$ ）（圖 2-2），因為小珊瑚最長徑與面積有很好的線性關係（宋等 2009），將小珊瑚最長徑以每 0.5 公分做分區，做頻度分佈圖，有接近兩側對稱的圖型（圖 2-3）。

小珊瑚共發現 9 個科別，分別是菊珊瑚科（Faviidae）（附圖四）、蕈珊瑚科（Fungiidae）（附圖五）、微孔珊瑚科（Poritidae）（附圖六）、蓮珊瑚科（Agariciidae）（附圖七）、軸孔珊瑚科（Acroporidae）

(附圖八)、刺葉珊瑚科 (Echinophylliidae) (附圖九)、真葉珊瑚科 (Euphylliidae) (附圖十)、樹珊瑚科 (Dendrophylliidae) (附圖十一)、鹿角珊瑚科 (Pocilloporidae) (附圖十二)。其中以菊科 (57-66%)、蕈科 (15-23%)、微孔 (6-14%) 為主要組成科別 (圖 2-4)，將其他科別的珊瑚合成一組，比較同一科別在不同棲所組成並沒有顯著差異 (Chi-square, $p < 0.01$) (圖 2-5)。

從小珊瑚的科別及數量推算不同棲地的多樣性指數，以辛普森指數 (Simpson's index) 計算時無發現差異 (Friedman test, $p = 0.13$) (圖 2-6)，但以夏儂指數 (Shannon-Weiner index) 計算則有發現顯著差異 (Friedman test, $p = 0.03$) (圖 2-7)，以兩兩配對方式比較發現差異由礁頂部分多樣性較低造成 (Wilcoxon Signed Rank test, 頂、坡 $p = 0.02$, 頂、間 $p = 0.02$, 頂、底 $p = 0.01$)，另外三個棲所之間並沒有發現顯著差異 (Wilcoxon Signed Rank test, 底、坡 $p = 0.40$, 底、間 $p = 0.48$, 坡、間 $p = 0.61$)。

生殖

研究地點為東沙島的北邊及東岸，於 4/30、5/1、5/4、5/5、5/6、5/8 由海管處駐島人員吳瑞賢博士及陳慧如小姐等人採集珊瑚，共 5 科，包含菊珊瑚科 (Faviidae)、軸孔珊瑚科 (Acroporidae)、刺葉珊

瑚科 (Echinophylliidae)、真葉珊瑚科 (Euphylliidae)、樹珊瑚科 (Dendrophylliidae)。

四月底到五月初的樣本共觀察 87 個，在 4/30、5/1、5/4、5/5 皆有觀察到卵，但樣本數僅 10 個，分別是軸孔珊瑚 4 個、菊珊瑚 3 個、樹珊瑚 2 個、刺葉珊瑚 1 個，其中兩個軸孔珊瑚樣本的卵可從表面珊瑚孔清楚看見 (圖 2-8)，可能在當天晚上排放配子。軸孔珊瑚卵徑約 0.05 mm (圖 2-9)，每個珊瑚蟲約有 4 條腸絲，生殖力 (Fecundity) 為 8-10 個卵；菊珊瑚卵徑約 0.4 mm，生殖力為 11-80 個 (圖 2-10)；樹珊瑚卵徑約 0.6 mm，生殖力為 20-56 個 (圖 2-11)；刺葉珊瑚卵徑約 0.8 mm，生殖力為 700 個卵左右 (圖 2-12)。

九月份從瀉湖內採取第二批樣本 22 個，包含菊珊瑚科 16 個、軸孔珊瑚科 1 個、樹珊瑚科 1 個，都沒有觀察到精卵發育。

生長率

在 3 號及 5 號礁間無法取得團塊型微孔珊瑚，而 8 號礁因天候海況因素無法調查，其他調查點各取 1~2 顆直徑約 20 公分的團塊型微孔珊瑚，共得 19 塊 (附圖十三至二十七)。

從骨骼切面來看，1 號礁間的珊瑚生長紋顯示該珊瑚曾經大部分區域死亡，之後重新生長覆蓋回死亡的部分，但無法從 x 光照片發

現此類痕跡（附圖二十八）；而在 4 號、6 號、10 號礁間等較多以沙為底質的區域發現有部分珊瑚可能以未固著的方式生長，所以生長起始點位於切片中心。

此次取得的生長速率在礁坡部分從 4.9-15.4 mm/yr，平均生長率 11.2 mm/yr，而礁間部分從 6.8-17.8 mm/yr，平均生長率 11.0 mm/yr，以配對方式比較兩棲所珊瑚生長速率，沒有發現顯著差異（Paired t-test, $p=0.65$ ），而依棲所分別比較每年生長速度是否有差異，取每個樣本皆包含的年份做分析，礁坡取 2002 至 2009 年，礁間取 2005 至 2009 年，兩棲所的年間生長速度皆沒有發現顯著差異（Friedman test，礁坡 $p=0.07$ ，礁間 $p=0.84$ ）。

因今年新增棲所，將 6-8 米設為礁坡，而去年 9 號礁礁頂深度在 7 米，且地形又非陡坡，在做四種棲所比較時先不列入統計，以另一單獨棲所做比較。將礁頂、礁底、礁坡與礁間此四種棲所進行比較，以平均生長速率而言，2004-2008 年各棲所的平均生長速率：礁頂（10.9 公厘/年）>礁坡（10.8 公厘/年）>礁間（10.6 公厘/年）>礁底（9.8 公厘/年），以同一塊礁中的四個棲所同年度生長速度進行的配對，發現有顯著的差異（Friedman test, $p<0.01$ ）（圖 2-13），此差異由礁底生長速率較慢造成（Wilcoxon Signed Rank test，礁底、礁頂 $p=0.03$ ，礁底、礁坡 $p<0.01$ ，礁底、礁間 $p<0.01$ ）（圖 2-14、2-15、

2-16)，而其他棲所間並無顯著差異（Wilcoxon Signed Rank test，礁坡、礁頂 $p=0.80$ ，礁坡、礁間 $p=0.73$ ，礁頂、礁間 $p=0.17$ ）。若將塊礁位置、棲所類型、年份及生長速率一同比較，結果皆未發現顯著（Anova，地點 $p=0.43$ ，棲所 $p=0.72$ ，年 $p=0.67$ ，地點、棲所 $p=0.51$ ，地點、年 $p=0.42$ ，地點、棲所、年 $p=0.72$ ）。

珊瑚覆蓋率調查

在九個塊礁共 17 個調查區中，活珊瑚覆蓋率從 0~41%（圖 2-17）、死珊瑚（死亡但仍保有珊瑚結構的骨骼+破碎的珊瑚骨骼）覆蓋率從 0~86%（圖 2-18）、死珊瑚比例[死珊瑚/(死珊瑚+活珊瑚)]從 5.02%~100%、大型藻比例從 0~74%、表覆形藻類覆蓋率從 0~67%、泥的覆蓋率從 0~96%。其中只有活珊瑚覆蓋率在礁坡與礁間有顯著差異（Mann-Whitney U test, $p<0.001$ ）。其中 4 號礁礁坡石珊瑚覆蓋率 41%，礁間為 18%，平均為 29%為今年調查樣點中最高。以東、西邊做劃分，僅泥的覆蓋率在環礁東邊顯著高於西邊（Mann-Whitney U test, $p=0.008$ ），其餘大類如活珊瑚覆蓋率、死珊瑚覆蓋率、死珊瑚比例、大型藻和草皮狀海草的覆蓋率在東、西邊皆無顯著差異（Mann-Whitney U test, $p>0.5$, $p>0.5$, $p>0.5$, $p=0.283$, $p>0.5$ ）。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 0~3%，競爭型珊瑚覆蓋率範圍為 0~32%，耐壓型珊瑚覆蓋率範圍為 0~18%。以各類型珊瑚佔珊瑚群體中的比例進行統計分析，繁生型珊瑚在礁坡（2%）、礁間（2%）；競爭型在礁坡（70%）、礁間（50%）；耐壓型在礁坡（29%）、礁間（48%）皆無顯著差異（Mann-Whitney U test, $p>0.5$; $p=0.07$; $p=0.07$ ）。以東、西邊作畫分，三種類型的珊瑚在東、西邊皆沒有顯著差異（Mann-Whitney U test, $p=0.13$, $p=0.36$, $p=0.42$ ）。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 2-19），若將礁坡、礁間合起來看（圖 2-20），今年的調查塊礁除了 4 號礁位於保育等級 4（CC4），但已接近保育等級 1（CC1）之外，其餘塊礁皆位於保育等級 2（CC2），以競爭型珊瑚為主的珊瑚群聚。若將兩年（2009、2010）四種棲地資料合併計算，則塊礁 1、2、4、8 位於保育等級 4（CC4）；塊礁 5、6、7、9、10 位於保育等級 2（CC2）；塊礁 3 則位於保育等級 1（CC1）（圖 2-21）。

將 2009、2010 年收集到之礁頂、礁坡和礁底資料合併稱為塊礁，則塊礁的活珊瑚覆蓋率介於 8 號塊礁的 12% 至 4 號塊礁的 30%。礁間的活珊瑚覆蓋率介於 3 號礁的 0% 至 4 號礁的 18%。塊礁上的死珊瑚覆蓋率以 4 號塊礁的 10% 最低、7 號塊礁的 57% 最高；在礁間則是 3 號

礁的 0%最低、9 號礁的 86%最高，死亡比率平均值 50%。泥沙的覆蓋率在塊礁上以 7 號塊礁的 8%最低、8 號塊礁的 58%最高；在礁間則以 9 號礁的 0%最低、3 號礁的 96%最高。若以塊礁和礁間區分，塊礁上的活珊瑚（20%）覆蓋率顯著高於礁間（11%）（Mann-Whitney U Test, $p=0.01$ ）。死珊瑚覆蓋率與泥沙的覆蓋率在塊礁與礁間皆無顯著差異（Mann-Whitney U Test, $p=0.41$, $p=0.41$ ）。若同時區分塊礁、礁間與環礁東、西，則在塊礁和礁間的活珊瑚覆蓋率在環礁東、西側皆無顯著差異（Mann-Whitney U Test, $p=0.07$, $p>0.50$ ）。在塊礁上的死珊瑚覆蓋率在西側顯著高於東側（Mann-Whitney U Test, $p=0.009$ ）、泥沙的覆蓋率在東、西側則無顯著差異（Mann-Whitney U Test, $p=0.11$ ）。在礁間的死珊瑚覆蓋率在東、西間無顯著差異（Mann-Whitney U Test, $p=0.46$ ）；泥沙的覆蓋率則有顯著的東、西差異（Mann-Whitney U Test, $p=0.01$ ）。2009-2010 年在環礁內調查的活珊瑚平均覆蓋率為 18%。

生物性因子影響

僅在東沙島東北方 9 米移植區發現一隻躲藏在礁石內的棘冠海星（附圖二十九），沒有發現其他珊瑚礁疾病或白結螺等，但可以看到珊瑚被魚類啃食的痕跡（附圖三十）。

復原瓶頸測試（移植）

珊瑚移植後，經過 104 天後以 GPS 記錄點位尋回（附表二），拍照記錄存活率，並將島北母株、3 米深移植區、9 米深移植區的溫度記錄配對比較，三地點的溫度有顯著差異（Friedman test, $p < 0.01$ ），兩兩比較彼此也都有顯著差異（Wilcoxon Signed Rank tests, $p < 0.01$ ，三組成對比較），3 米區平均 29.7°C 較 9 米區高出 0.3°C ，但皆低於島北軸孔珊瑚母株旁所測得的均溫 30.4°C ；除了溫度的高低，也以超過 30°C 的時間長短判斷高溫影響的狀況，在 3 米區有 47%、而 9 米區有 39% 的時間超過 30°C ，但都低於東沙島北方珊瑚母株旁測得的 61%，可知在這三個地點間溫度皆有顯著差別，但平均差異小於 1°C 。

存活率定義部分，以每個片段上只要還有存活的珊瑚就記為存活（附圖三十一），整個死亡才列為死亡（附圖三十二），在母株上架設的移植串 15 段全數存活（附圖三十三），在 3 米移植區有 3 段死亡、12 段存活，9 米移植區則有 1 段死亡、14 段存活（圖 2-22）；利用卡方分配計算存活率與移植地點的關係，結論是不相關（Chi-square, $p = 0.17$ ），換句話說，雖然三個地點有水溫高低差，但並未造成軸孔珊瑚存活率的差別。另一方面，這些觀察也顯示 2010 年的夏季高溫沒有造成軸孔珊瑚的死亡。

溫度監測

水溫溫度計從 2010 年 5 月 30 日 12 點開始記錄，以每三十分鐘記錄一次，於 9 月 8 號 8 點回收，其中包含兩個礁頂、兩個礁坡及移植區 3 米、9 米的水溫資料，共得到 6 組 102 天溫度資料，另於島北回收一顆記錄頻率為每小時一次的溫度計，此溫度計記錄時間從 2010 年 5 月 27 日 1 點到 9 月 10 日 16 點；而 6 號礁礁頂與礁坡的溫度計均未能尋獲。皆以 GPS 記錄放置溫度計位置與深度（附表三）。

將礁頂、礁坡取平均溫度，比較 1 號礁（潟湖東邊）、4 號礁（中間）、潟湖口（西邊）的溫度，三個區位的溫度有顯著差異（Friedman test，成對比較， $p < 0.01$ ），溫度在 1 號礁 $>$ 4 號礁 $>$ 潟湖口（Wilcoxon Signed Rank test，1 號礁、4 號礁 $p < 0.01$ ，1 號礁、潟湖口 $p < 0.01$ ，4 號礁、潟湖口 $p < 0.01$ ）。同一塊礁礁頂與礁坡比較，礁頂平均溫度為 30°C ，而礁坡平均溫度為 29.8°C ，三個區域的礁頂水溫皆比礁坡高（Wilcoxon Signed Rank test，三個區域皆為 $p < 0.01$ ），最高相差 2.2°C ；有時水溫在礁坡會高於礁頂，但發生頻率低，在環礁東側為 1.5%（圖 2-23），環礁中間為 7.2%（圖 2-24），但近水道口的移植區卻有 27.9%（圖 2-25）。而 30°C 以上的頻率在 1 號礁礁頂為 69%，礁坡為 63%，4 號礁礁頂為 66%，礁坡為 65%，在 3 米移植區為 49%，9 米

的移植區為 40% (圖 2-26)，礁頂和礁坡之間沒有顯著差異 (Wilcoxon Signed Rank test, $p=0.11$)，另外東沙島北方 30°C 以上的頻率為 61%。

以 Cosinor 計算各調查點的近日周期，不論礁頂、礁坡、東沙島北方皆為 24 小時周期，在潟湖區的水溫變化的部分，整體上以潟湖口差異最大，而潟湖東邊 1 號礁水溫變化最小 (附表四)。

將 2009 及 2010 年資料比較，取重疊記錄日期 6 月 17 日 0 時至 9 月 8 日 8 時做分析，因 2009 年調查 9 號礁頂為 7 米深，將此深度畫分為斜坡，故設定為 9 號礁坡資料。2010 年礁頂溫度顯著較高 (Paired t-test, $p<0.01$)，平均比去年高出 0.79°C ，礁坡的平均溫度也與去年有顯著差異 (Paired t-test, $p<0.01$)，今年高出 0.95°C ，以水溫達 30°C 以上的百分比進行比較 (附表五)，則今年在礁頂區域比去年更常達到高溫 (Unpaired t-test, $p<0.05$)。另外去年得到的水溫資料中以東邊水溫達 30°C 以上的頻率比西邊少，但今年沒有發現此現象，反而是西邊水溫達 30°C 以上的頻率較低。

共生藻組成

在位於環礁東邊的樣點 2 中，礁頂含共生藻 D 型 (純 D 及 C+D 混合) 的比例較礁底高 ($36\%>7\%$) (圖 2-27 及附表)；而在樣點 3 所顯示的資料中，全都是 C 型的共生藻，尚未有 D 型共生藻出現；

樣點 4 中，礁頂中含 D 型的共生藻比例為 24%，遠高於只有 C 型共生藻的礁底；樣點 5 中，礁底的 D 型的共生藻佔約 22%。

而在位於環礁西邊的樣點 6 至樣點 10 中，樣點 6 不論在礁底還是礁頂，目前都是 C 型的共生藻；而在樣點 7 中，礁頂、礁底含 D 型共生藻比例分別為 32% 及 19%；樣點 8 則與樣點 4 相似，礁頂的共生藻含 D 型約 11%，礁底尚無共生藻類型 D；樣點 9 中，只有採集到礁底的樣本，皆只有 C 型共生藻；而在樣點 10，與上述趨勢相反，是礁底含 D 型共生藻比例高於礁頂（分別為 64%，25%）。

若將東沙潟湖西邊與東邊各礁體的資料合併分析，西邊平均溫度高於東邊（ $29.4^{\circ}\text{C} > 28.6^{\circ}\text{C}$ ），而含 D 型共生藻的比例有西邊高於東邊的現象（分別為 22%，18%）。

永久穿越線部分

在東沙島東邊永久穿越線的部份，以 GPS 記錄點位（北緯 $20^{\circ}41.016'$ ，東經 $116^{\circ}45.006'$ ），深 11 米，活珊瑚覆蓋率為 75%、死珊瑚覆蓋率為 3%、草皮狀海藻覆蓋率為 21%，泥和沙的覆蓋率為 1%。以型態群細分成繁生型、競爭型、耐壓型三種類型的珊瑚，繁生型實際覆蓋率為 0.02%，耐壓型為 6%，而競爭型覆蓋率為 69%；而佔珊

瑚群體的比例（繁生型覆蓋率/活珊瑚覆蓋率）依序為 0.02%、8%和 92%，屬於保育等級 2 的礁區。

在小珊瑚入添記錄部分，總共 21 個個體，最大宗為菊珊瑚科有 16 個，蕈珊瑚科 4 個，刺葉珊瑚科 1 個。



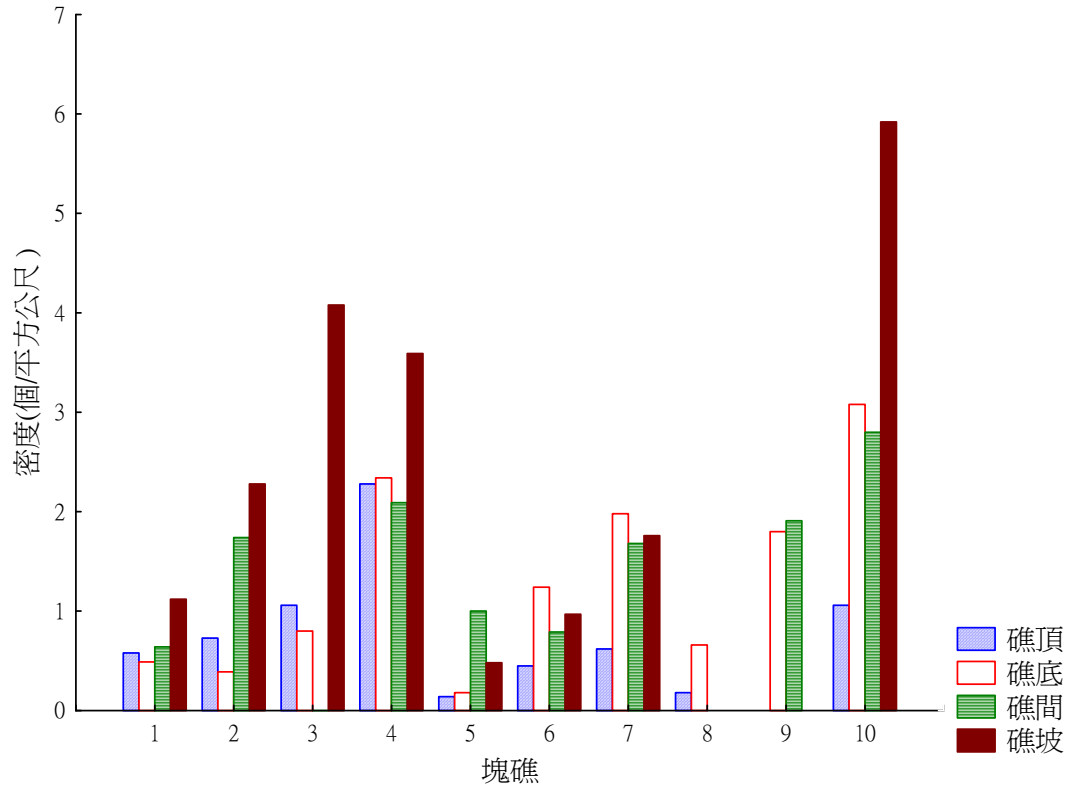


圖 2-2 東沙環礁內十個塊礁之四種棲所小珊瑚密度比較圖，入添密度在四種棲所間有顯著差異 (Friedman test, $p < 0.01$)，以礁坡密度最高。圖中 8 及 9 號礁各缺兩種棲所或數據。

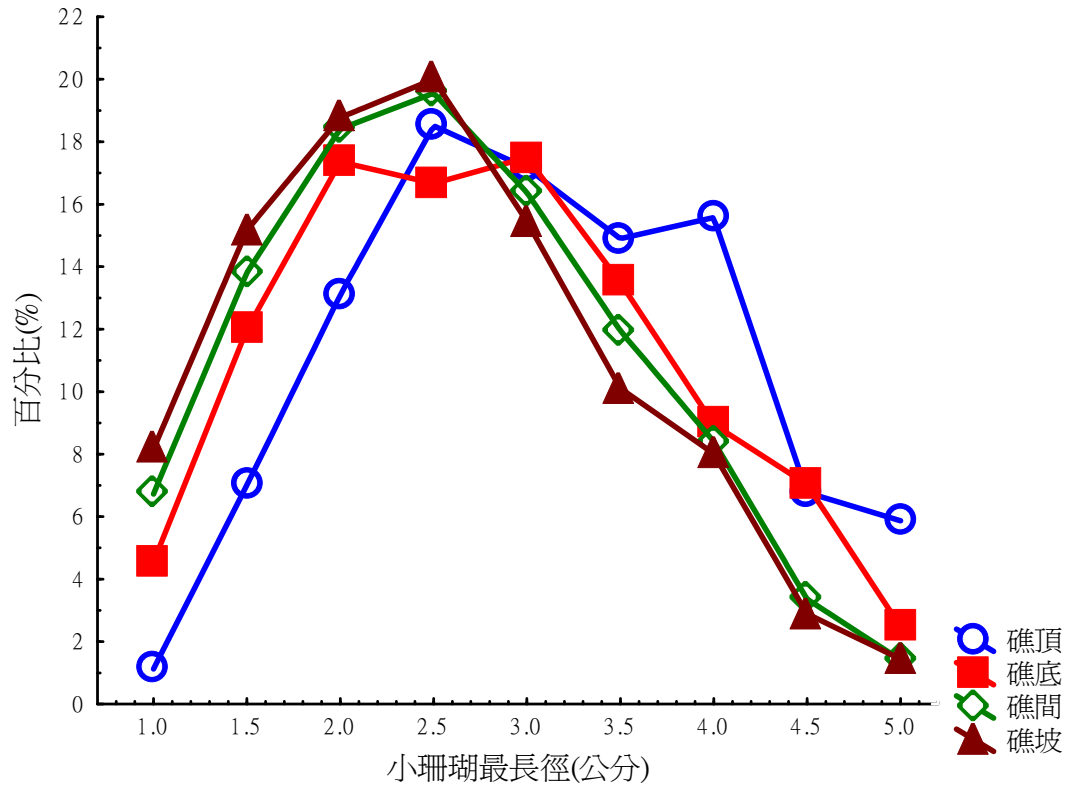


圖 2-3 東沙環礁瀉湖內各棲所不同大小的小珊瑚比例分佈圖。



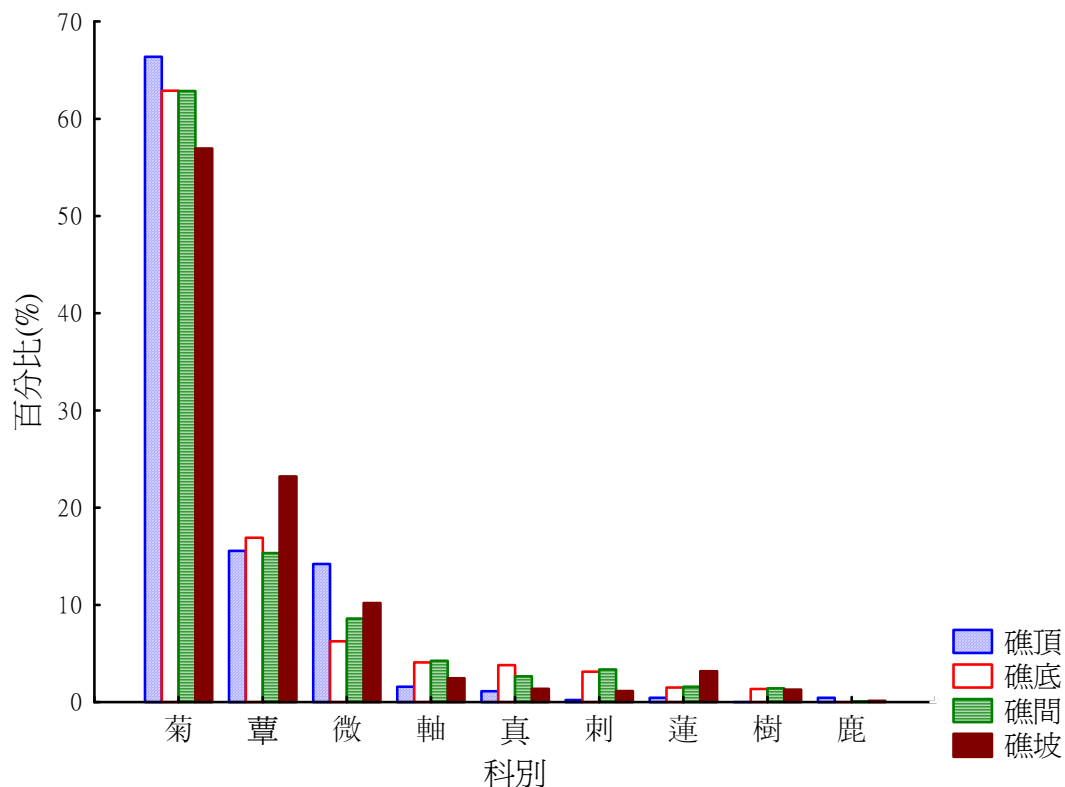


圖 2-4 東沙環礁瀉湖區內四種棲所組成科別圖，以菊珊瑚科 (57-66%)、蕈珊瑚科 (15-23%)、微孔珊瑚 (6%-14%) 為主要組成科別。菊：菊珊瑚科、蕈：蕈珊瑚科、微：微孔珊瑚科、軸：軸孔珊瑚科、真：真葉珊瑚科、刺：刺葉珊瑚科、蓮：蓮珊瑚科、樹：樹珊瑚科、鹿：鹿角珊瑚科。

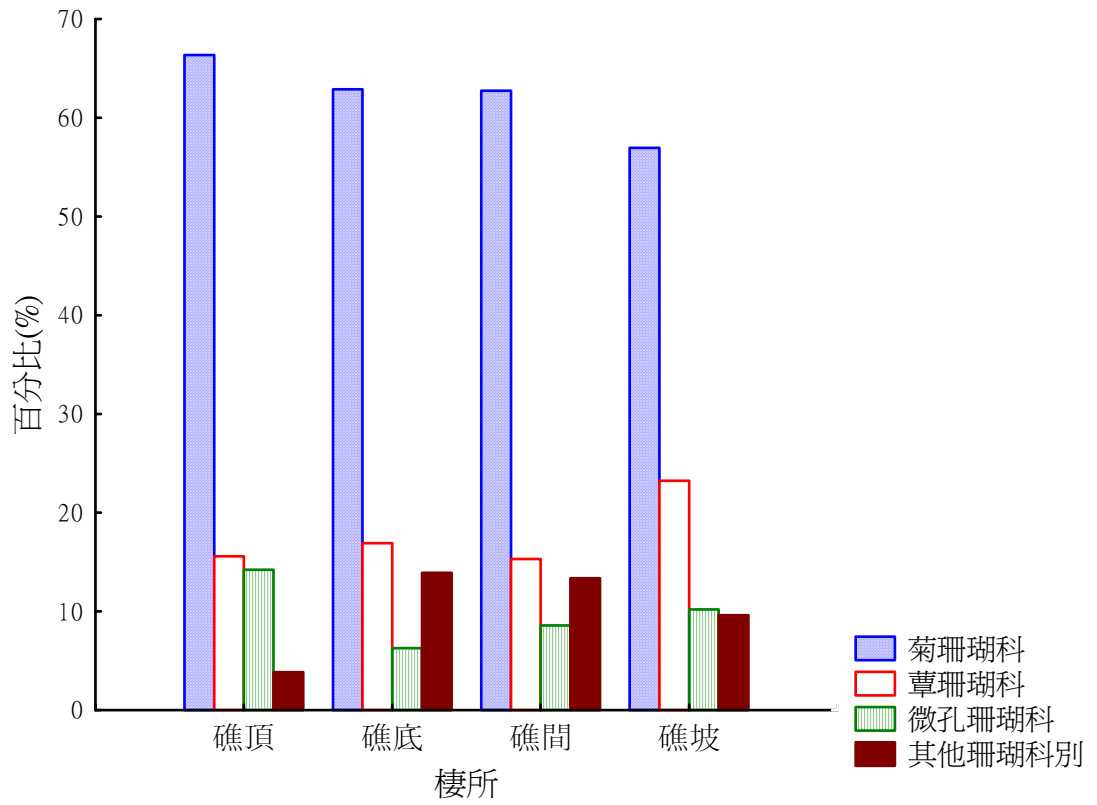


圖 2-5 東沙環礁潟湖區內四種棲所之珊瑚科別組成，兩者間相關 (Chi-square, $p < 0.01$)。

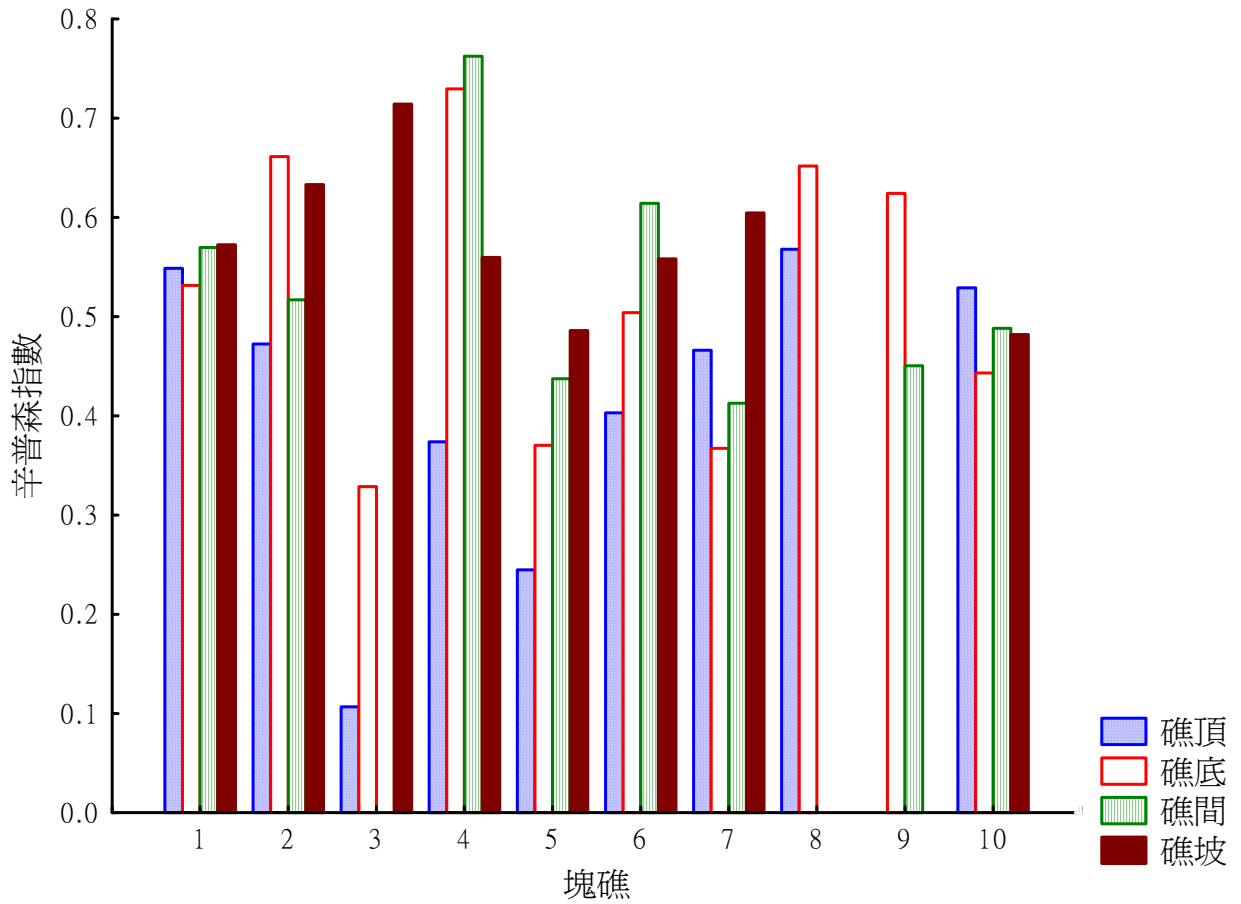


圖 2-6 東沙環礁瀉湖區十個塊礁之四種棲所小珊瑚辛普森多樣性指

數圖，棲所間未發現顯著差異 (Friedman test, $p=0.13$)。圖中 8 及 9

號礁各缺兩種棲所或數據。

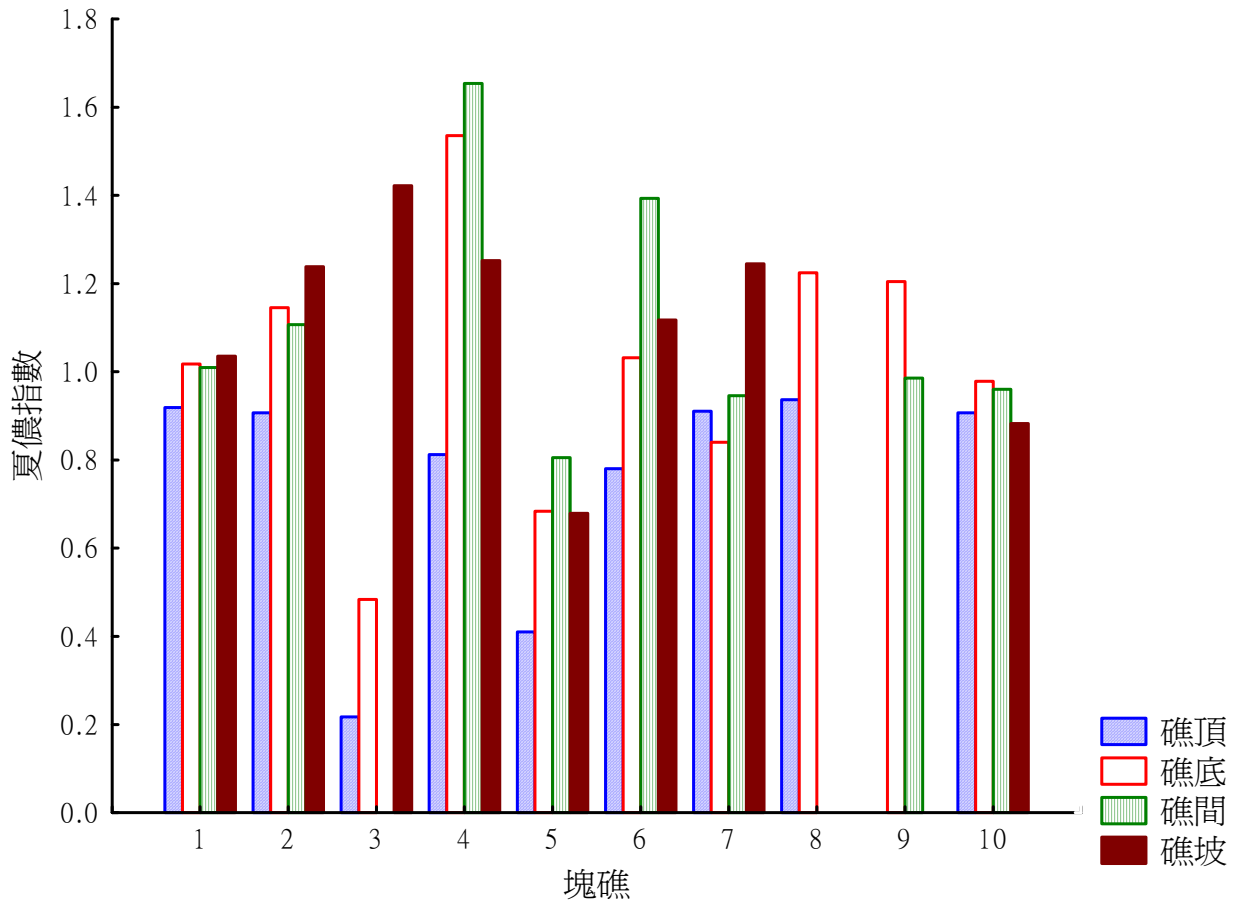


圖 2-7 東沙環礁瀉湖區十個塊礁之四種棲所小珊瑚夏儂多樣性指數

圖，棲所間有顯著差異 (Friedman test, $p=0.03$)。圖中 8 及 9 號礁

各缺兩種棲所或數據。

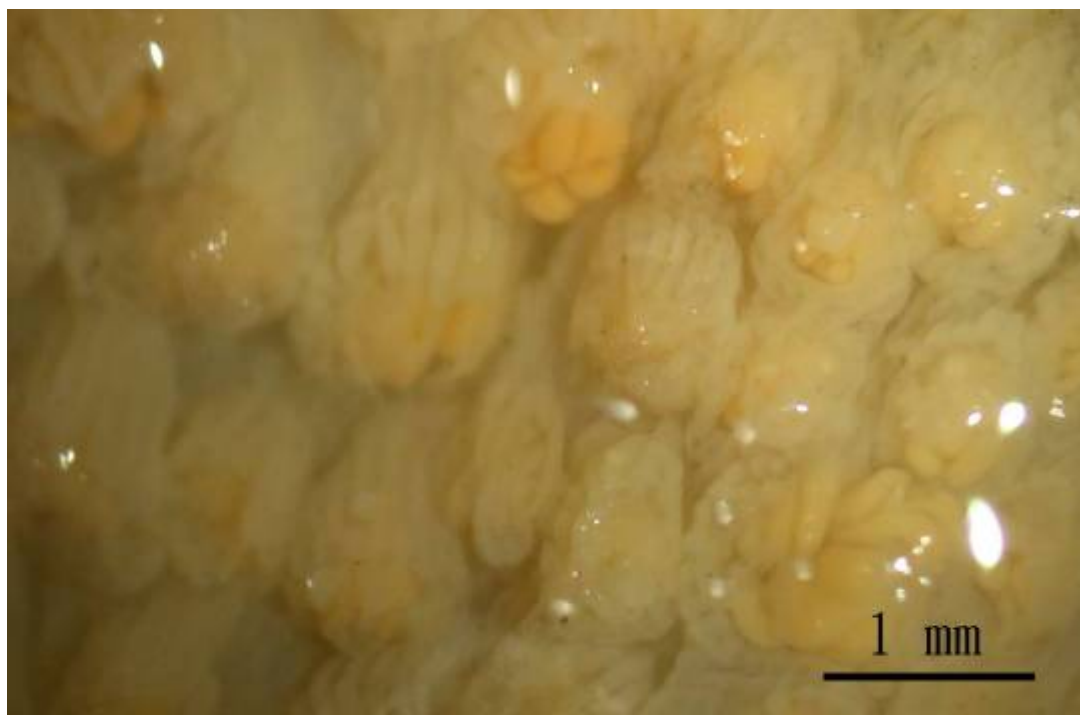


圖 2-8 東沙環礁瀉湖內美麗軸孔珊瑚去骨後之組織，可直接看到卵。



圖 2-9 東沙環礁瀉湖內美麗軸孔珊瑚解剖顯微鏡檢查照，卵徑約 0.5 mm。

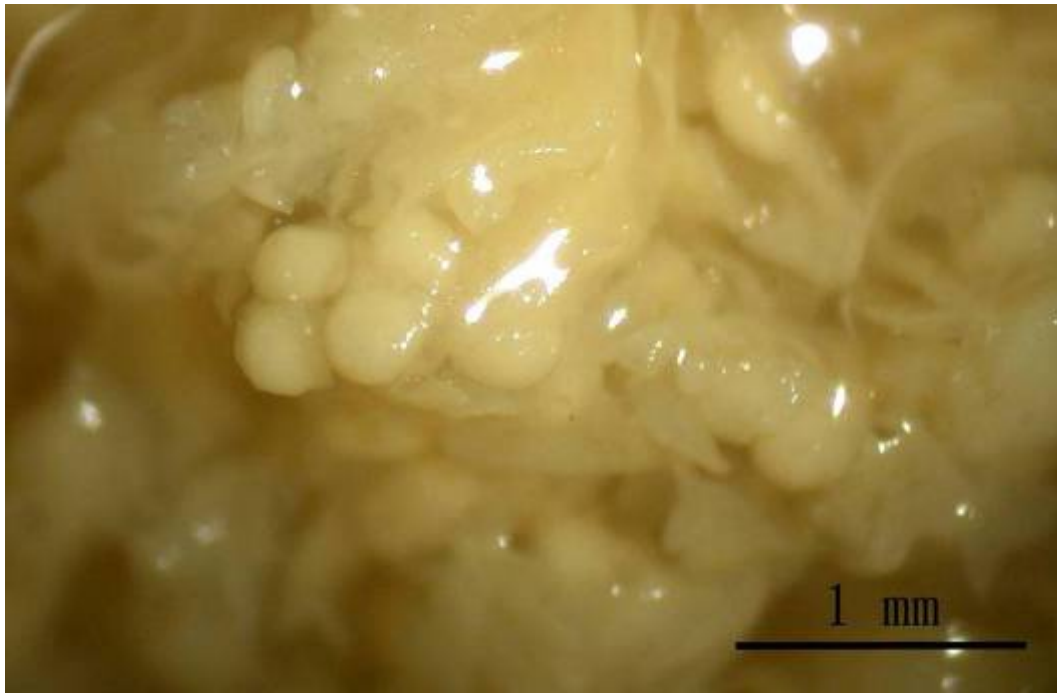


圖 2-10 東沙環礁瀉湖內菊珊瑚屬解剖顯微鏡檢查照，卵徑約 0.4 mm。



圖 2-11 東沙環礁瀉湖內樹珊瑚科盤珊瑚屬解剖顯微鏡檢查照，
卵徑約 0.6 mm。

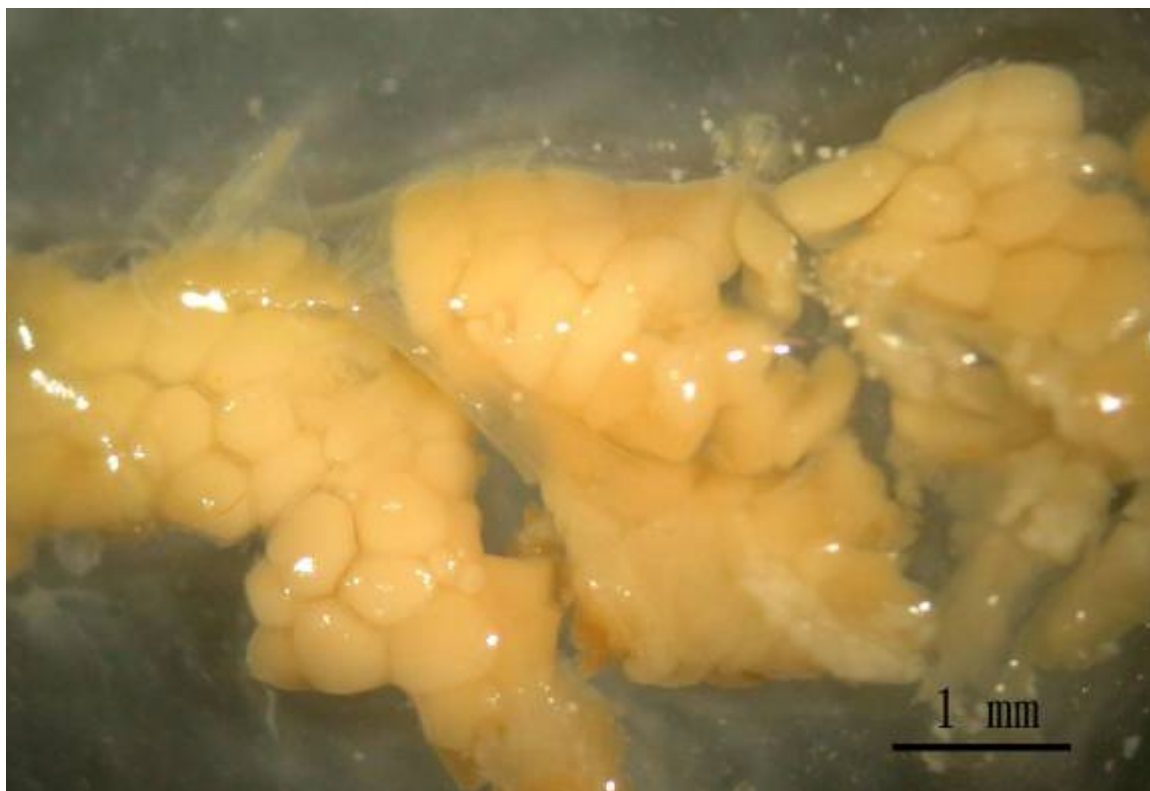


圖 2-12 東沙環礁瀉湖內刺葉珊瑚科苔珊瑚屬解剖顯微鏡檢查照，卵

徑約 0.8 mm。

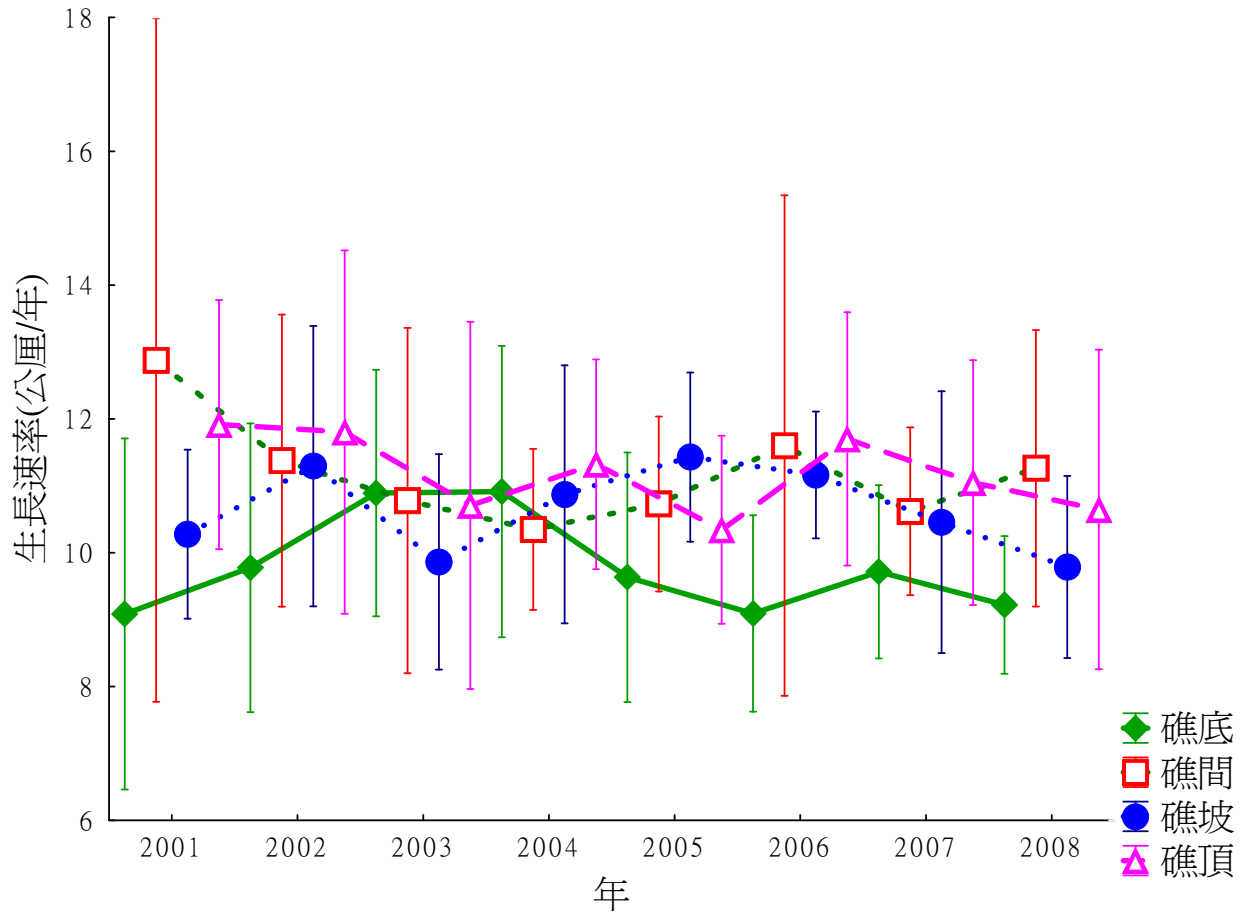


圖 2-13 東沙環礁潟湖區內四種棲所團塊型微孔珊瑚生長速率圖。礁

底生長顯著較慢 (Friedman test, $p < 0.01$)。

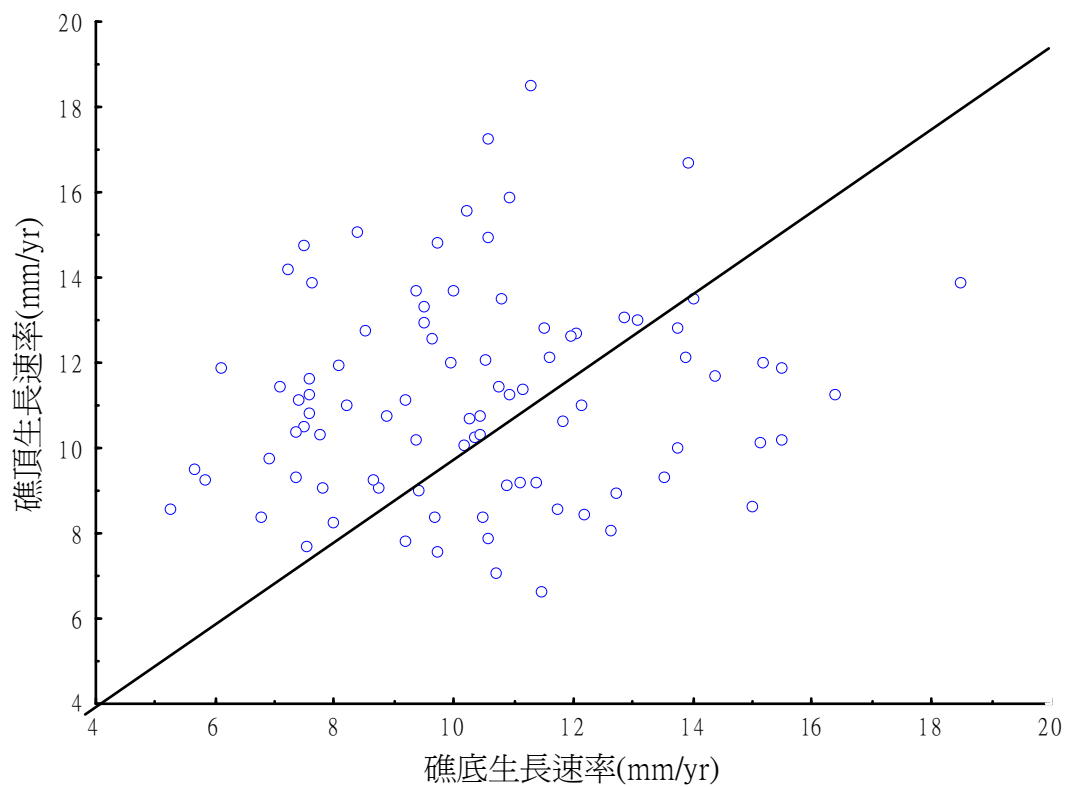


圖 2-14 東沙環礁瀉湖區礁底、礁頂生長速度比較圖，圖中為 1:1 趨勢線 (Wilcoxon Signed Rank test, $p=0.03$)。

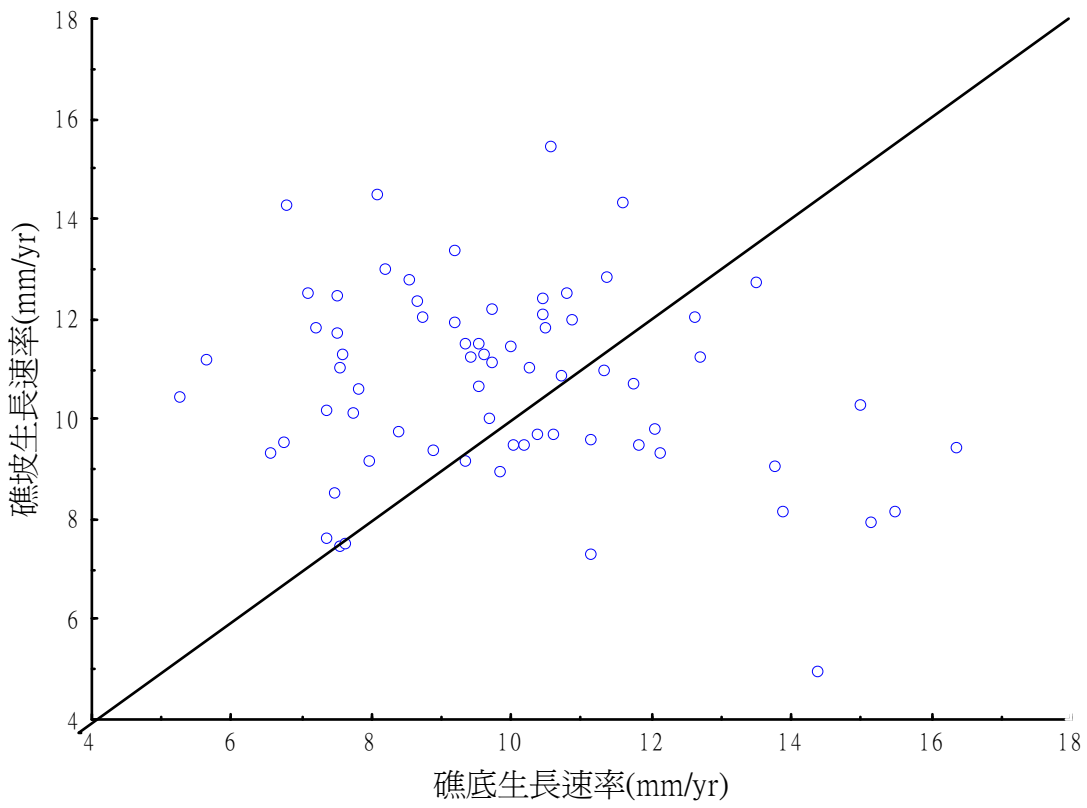


圖 2-15 東沙環礁瀉湖區礁底、礁坡生長速度比較圖，圖中為 1:1 趨勢線（Wilcoxon Signed Rank test, $p < 0.01$ ）。

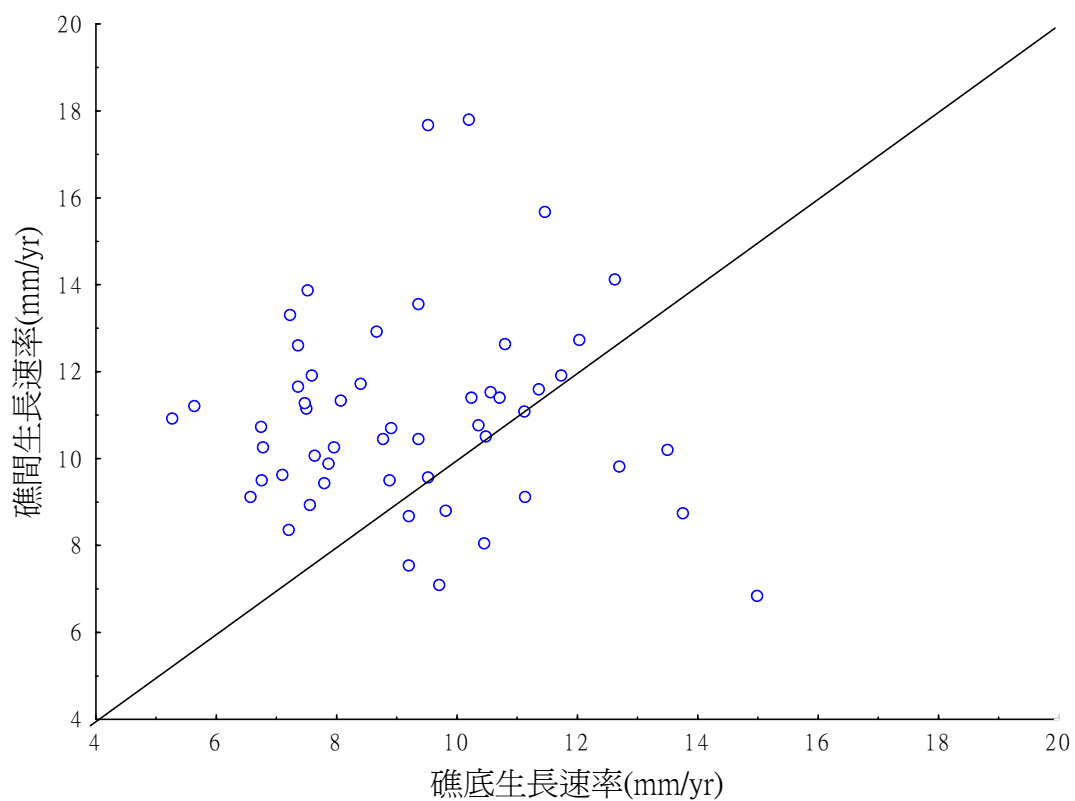


圖 2-16 東沙環礁瀉湖區礁底、礁間生長速度比較圖，圖中為 1:1 趨勢線（Wilcoxon Signed Rank test, $p < 0.01$ ）。

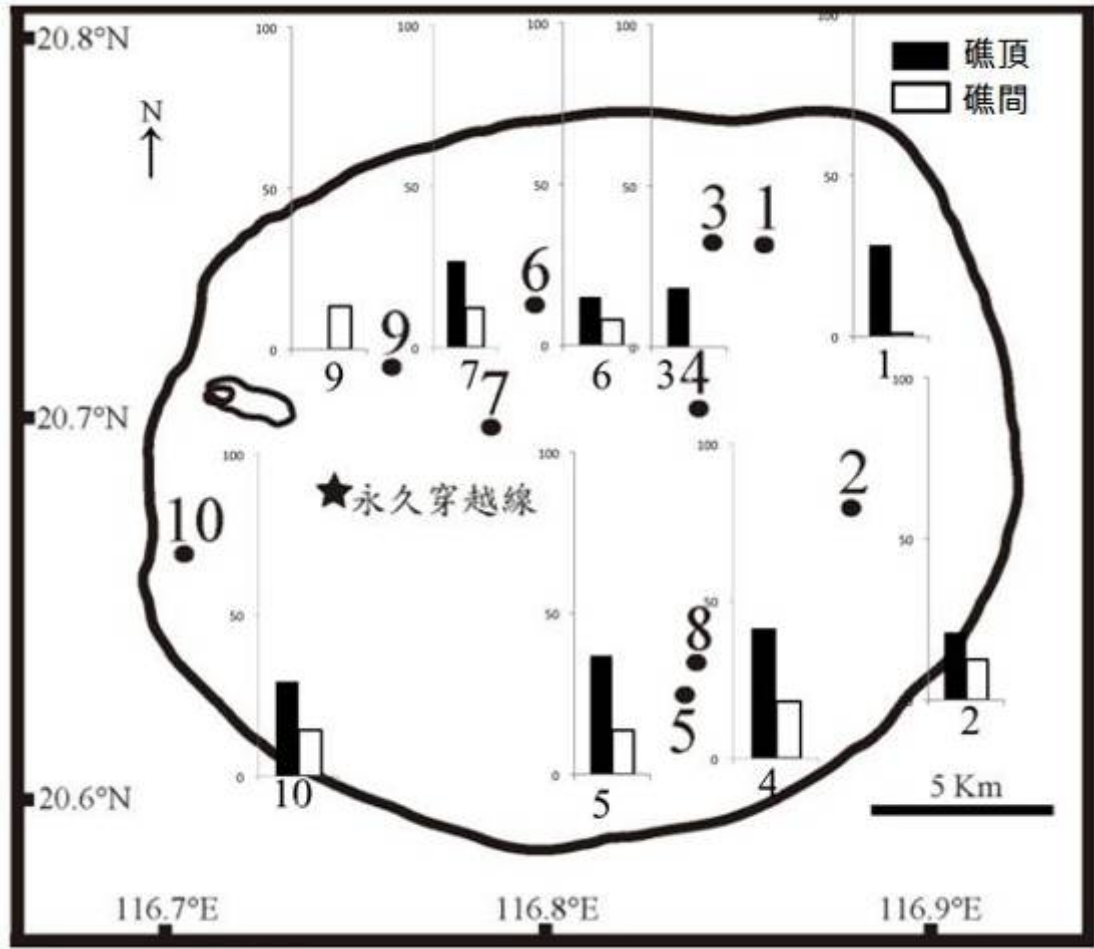


圖 2-17 2010 年東沙環礁瀉湖內各調查點活珊瑚覆蓋率 (%)。

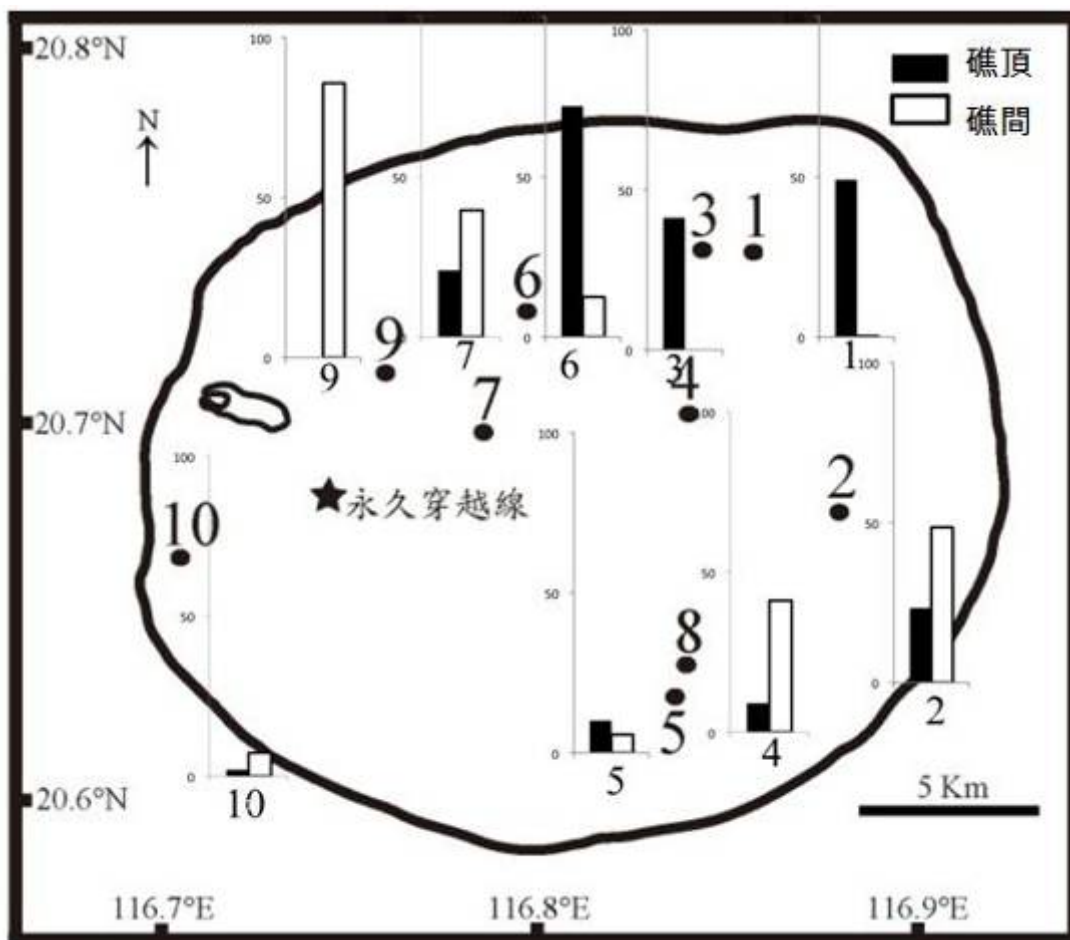


圖 2-18 2010 年東沙環礁瀉湖內各調查點死珊瑚覆蓋率 (%)。

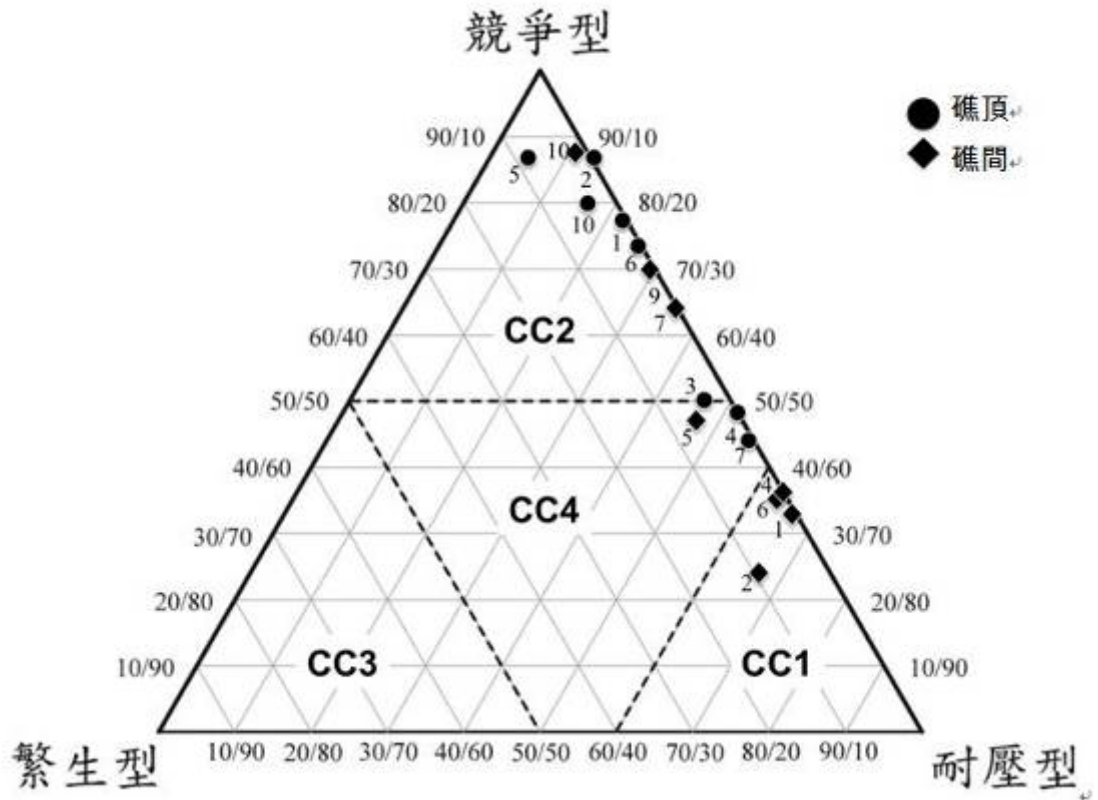


圖 2-19 2010 年東沙環礁瀉湖內調查點珊瑚型態 rKS 圖，分礁坡、
間，共十六個點（3 號礁礁間無活珊瑚存在）。

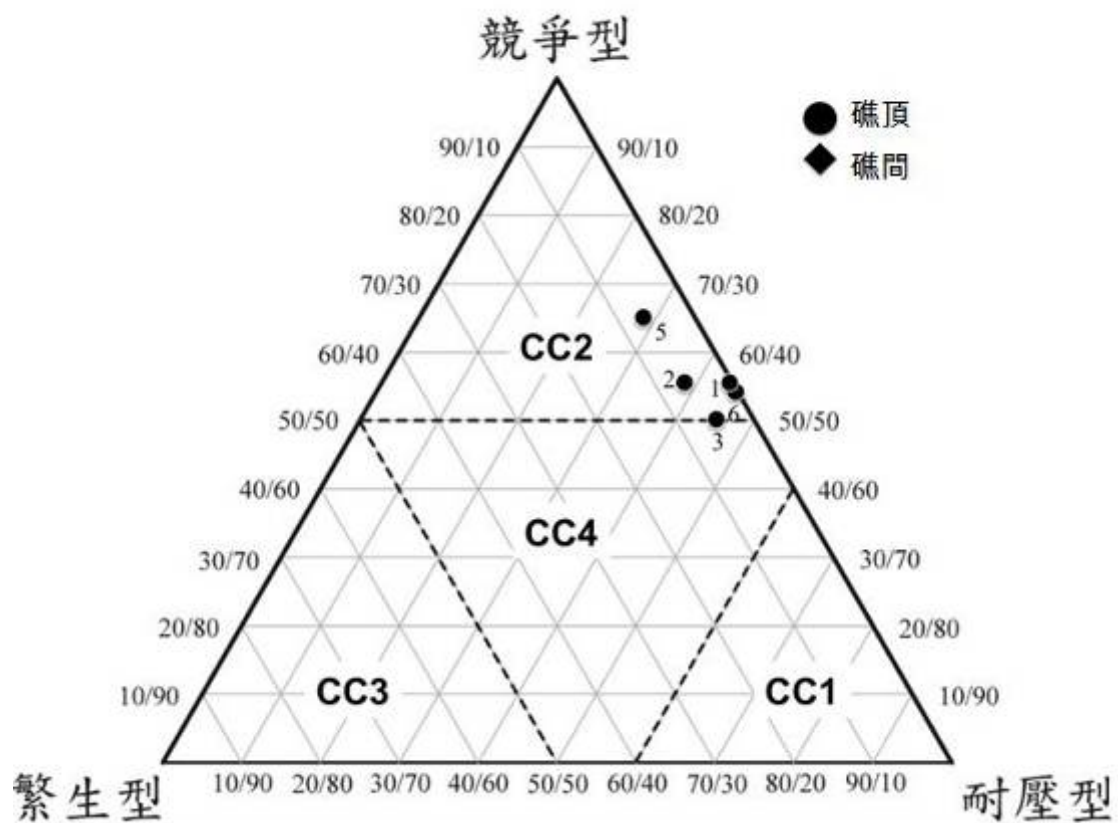


圖 2-20 2010 年東沙環礁瀉湖內礁頂、礁間調查點珊瑚型態 rKS 圖，共五個點。(8 號和 9 號礁無完整調查點，已在圖表 4-3 呈現故不列入)

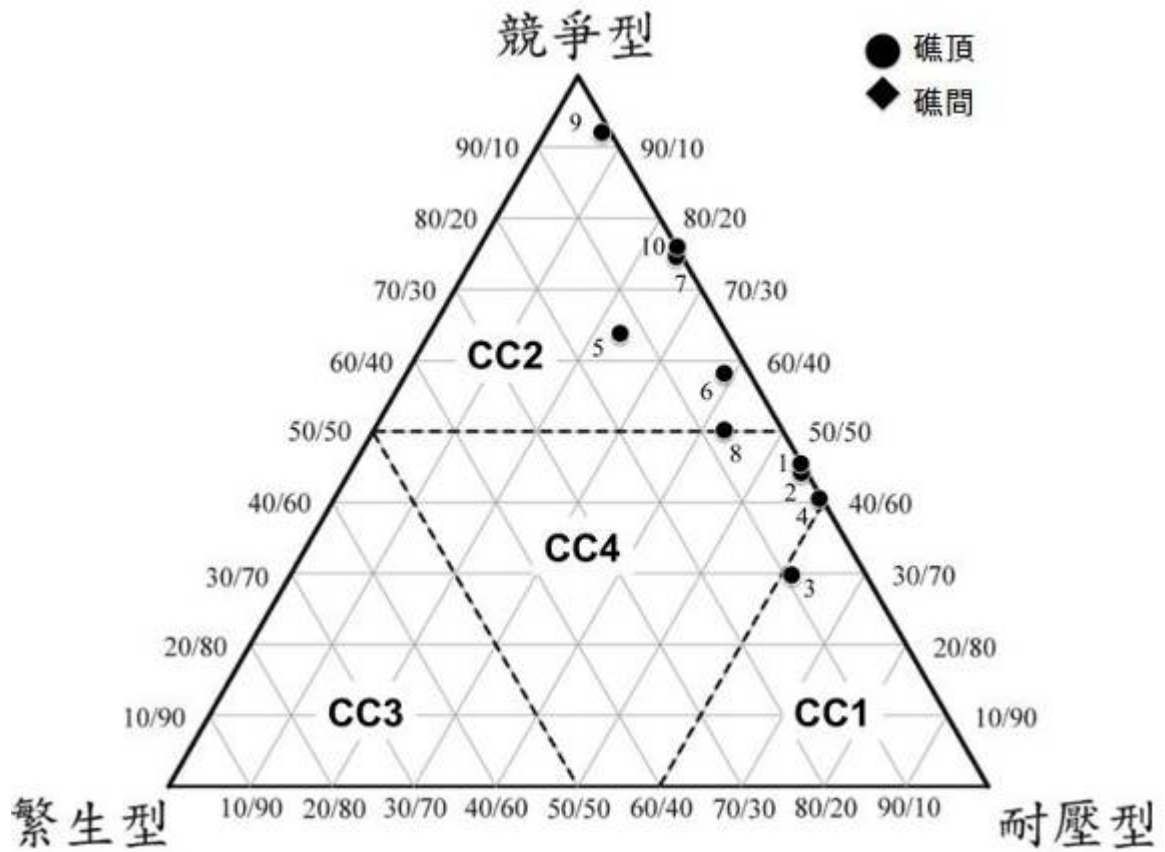


圖 2-21 東沙環礁瀉湖內調查點珊瑚型態 rKS 圖，共十個點（礁頂、礁坡、礁底、礁間合併）。

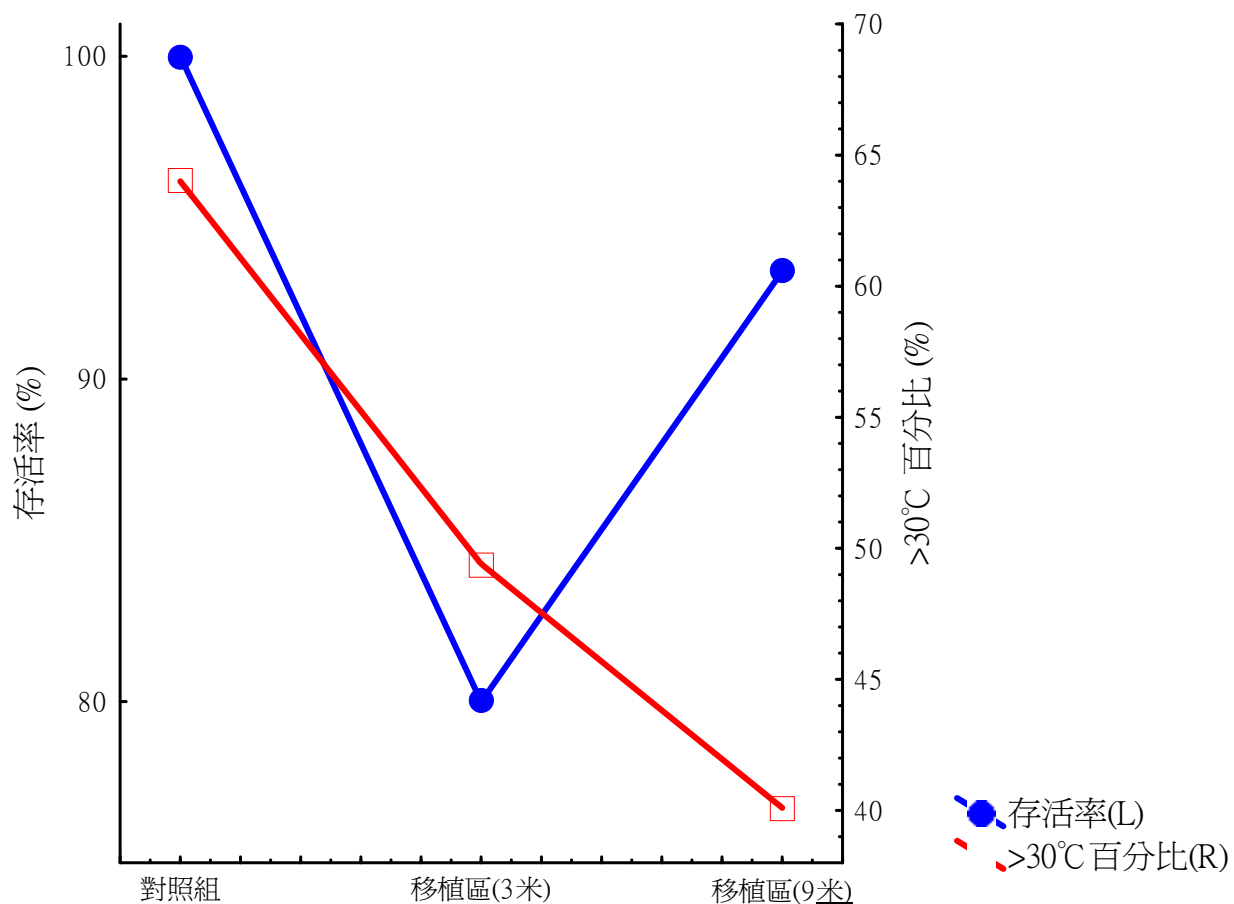


圖 2-22 東沙環礁瀉湖區軸孔珊瑚移植存活率與>30°C溫度關係圖，
沒有發現相關性 (Chi-square, $p=0.165$)。

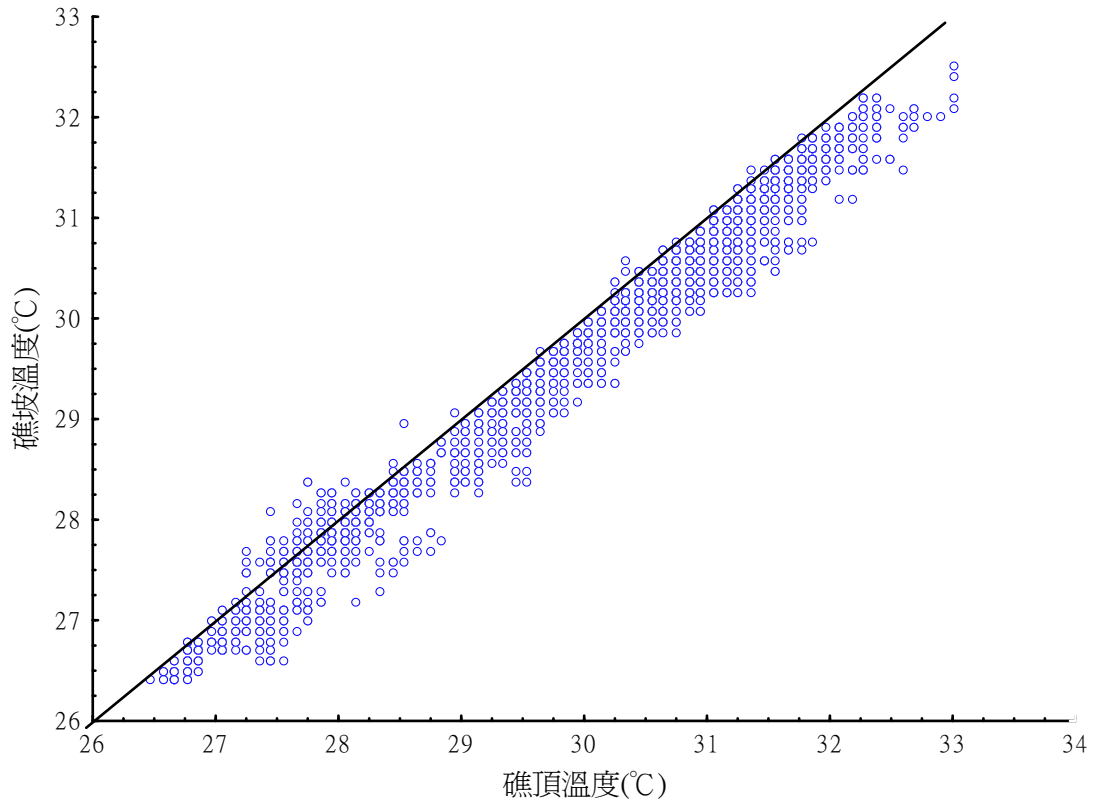


圖 2-23 東沙環礁瀉湖區東邊 1 號塊礁礁頂、礁坡溫度比較圖；線為 1:1 趨勢線，點有重覆資料。

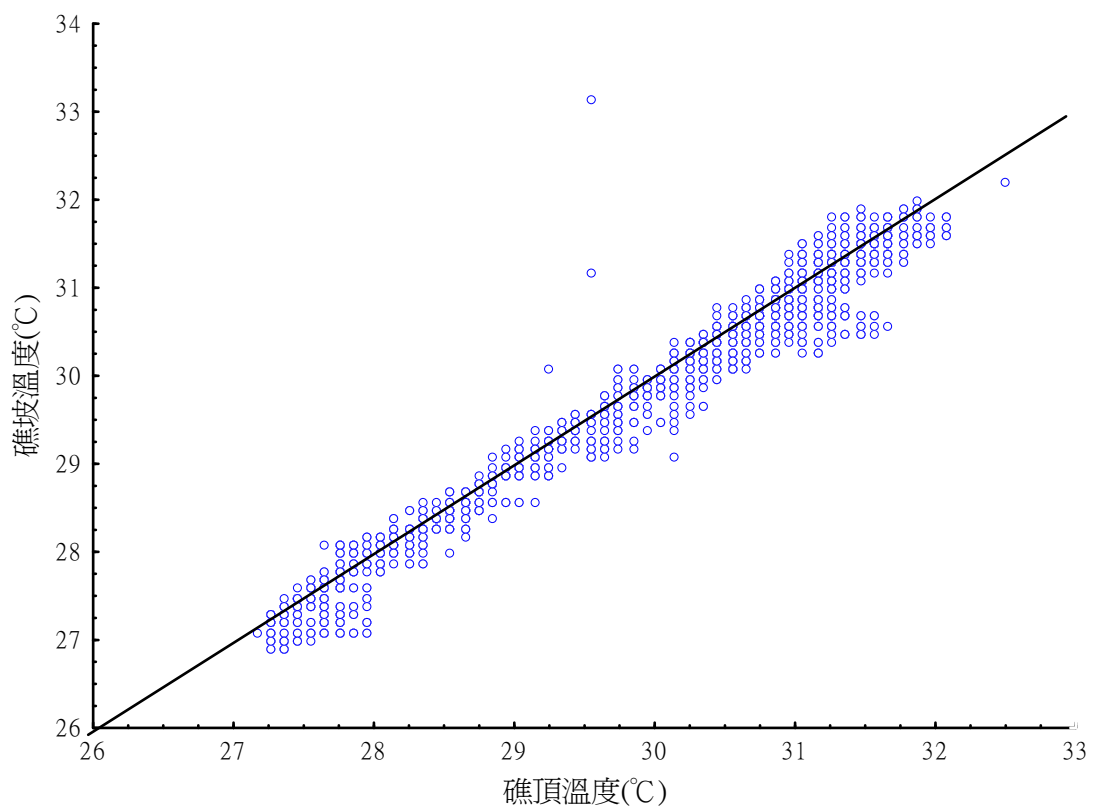


圖 2-24 東沙環礁瀉湖區中間 4 號礁礁頂、礁坡溫度比較圖；線為 1：



1 趨勢線。

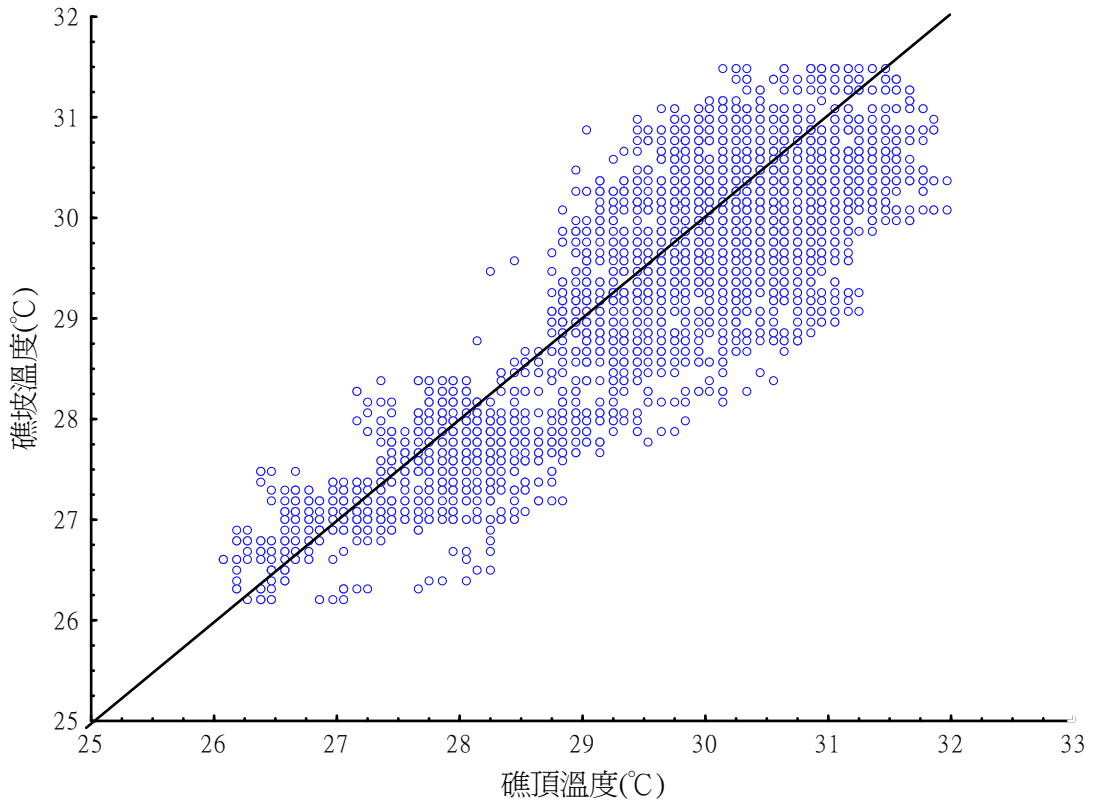


圖 2-25 東沙環礁近瀉湖口移植區之礁頂、礁底溫度比較圖；線為 1：



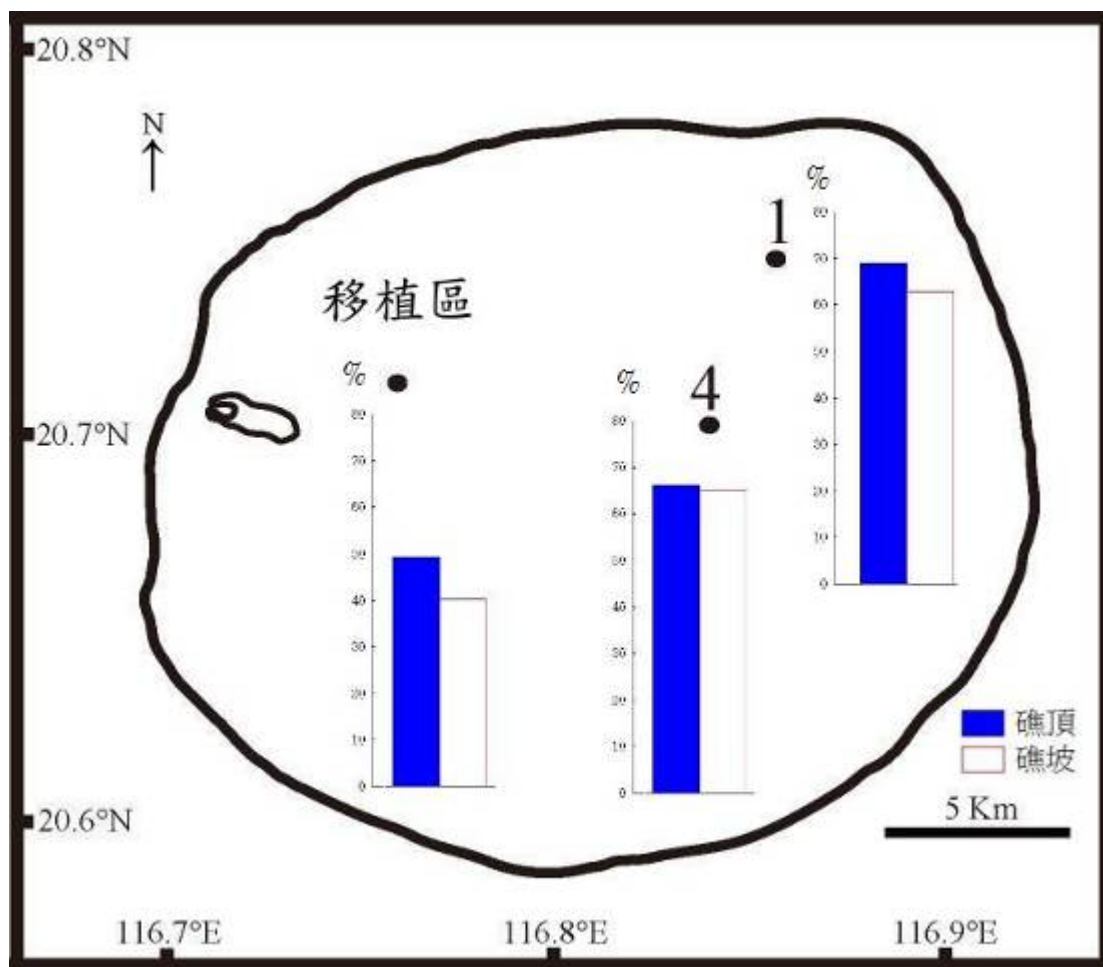


圖 2-26 東沙環礁瀉湖區內礁頂、礁坡溫度 30°C 以上的頻率空間分布

圖。

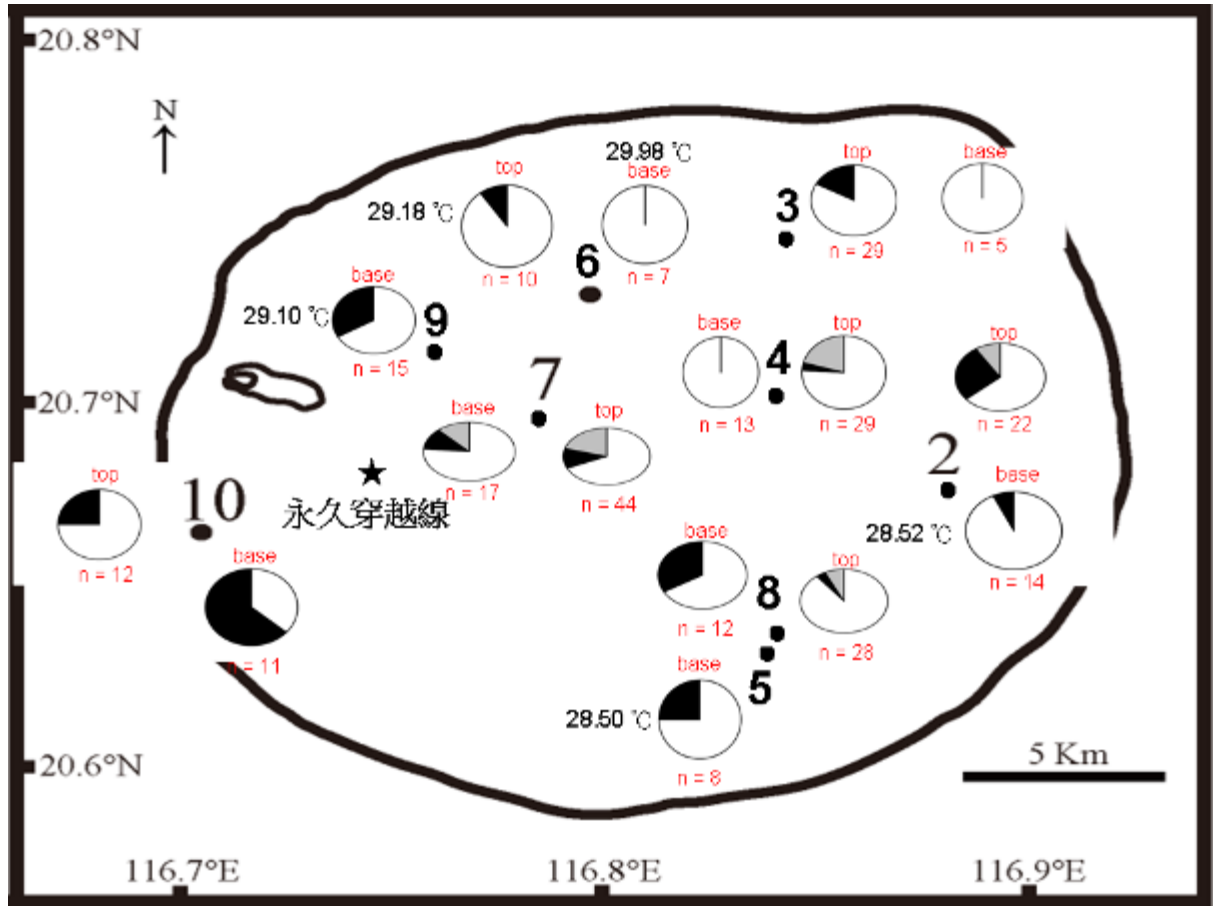


圖 2-27 東沙各樣點共生藻類型分布圖



第三章 結論與建議

第一節 結論

將各項指標結果與其他地區的研究比較，小珊瑚的入添數量（平均 1.49 個/平方公尺）比其他潟湖型棲所珊瑚入添量少（5.6-42 個/平方公尺）(Sandin et al., 2008; Barott et al., 2010; Penin et al., 2010)（表 3-1）；潟湖內大型珊瑚生長部分，團塊型微孔珊瑚平均 10.5 公厘/年，與前人調查到 11 公厘/年值相近(Nie et al., 1997)，沒有發現生長速度減緩的趨勢；自然界破壞因子在調查過程中僅發現一隻棘冠海星，不足以構成威脅；從覆蓋上判斷，塊礁（礁頂、礁坡、礁底合併）的覆蓋率比礁間來的高，但整體環礁的覆蓋率僅 20%，離無人居住的環礁潟湖覆蓋率（44-56%）還有一大段差距(Sandin et al., 2008) (表 3-1)，而珊瑚的死亡比率在四種棲所的平均值高達 50%，從 rKS 分析，依舊缺乏繁生型的珊瑚；生殖方面仍須調整採樣季節才能有完整結果；共生藻方面，D 型的出現顯示水溫確是個威脅。

由上述各項指標應可得到的簡要版結論是東沙珊瑚礁潟湖現況不佳（活珊瑚覆蓋率、rKS 評估、死亡比率），過去的威脅仍在（高水溫和過漁），但各項關鍵性功能（生殖、小珊瑚、生長、共生藻）均運作中，且來自生物性（病蟲害）的威脅不大（表 3-2）。預測未來

高水溫將很難改善，但過漁問題有很大的改善空間和解決的機會，應列為優先的施政項目。各子項目細節則一一討論於下。

小珊瑚入添

雖然正常進行生殖，要想有成功的子代還要經過層層關卡，由於多半珊瑚行體外受精(Fadlallah, 1983)，而海水的稀釋力會大幅降低精子的濃度(Levitan and Petersen, 1995)，影響受精比率，同步排放配子對這些珊瑚來說是重要的特徵(Harrison et al., 1984)。之後胚胎發育在水層中進行，需時至少幾天，此時隨水流漂散，又沒有防禦能力，經常都有很高的死亡率。附苗板收集全新附苗來估算入添是常見的方法(Soong et al., 2003)，但附苗板上發現的小珊瑚還在附著、變態後不久的階段，此時的小珊瑚還未經過最容易死亡的階段(Gosselin and Qian, 1997; Kuo and Soong, 2010; Penin et al., 2010)，像是懸浮物少、水溫、光線等因素都是造成死亡的因素(Gilmour, 1999; Green et al., 2010)。此外，通常在白化事件之後藻類覆蓋率會大幅增加，更不利於珊瑚著苗(Diaz-Pulido et al., 2010)，以墾丁海城的鹿角珊瑚為例，60%能活到兩個月大，而一直到近兩歲大時才有高的存活機會，但此時累計的死亡率已超過 95% (Kuo and Soong 2010)。

在本研究中小珊瑚是以最長徑達到 0.5-5 公分做為納入的標準，以此做為珊瑚入添的指標有幾項特點：

1.這些小珊瑚存活、長大的機會比起附苗板上的要高很多，也比較能反映未來有可能長成大珊瑚的數量。

2.只需要一次調查就可以得到相關的數據，這對遍遠的東沙特別適合。

3.缺點則是無從得知這些小珊瑚確切的附苗時間，無法評估附苗的季節及年度。

東沙環礁內四種棲所入添量雖有約略的一致性，但礁坡是入添密度最高的地方，這當然是環境因子差異所導致，但到底是在附苗時幼苗喜好不同所形成，或者是附苗後死亡率不同所導致，目前並無定論，若能將這部分釐清將有助於珊瑚礁保育；一般礁坡地形陡峭較不容易累積沉積物，溫度又較礁頂低，對小珊瑚的成長有利，事實上小珊瑚密度也顯著高於其他棲所，另外，比較特殊的是礁間這類棲所，因為地形差異大，在某些礁間沉積物極厚，卻也有些礁間幾乎沒有沉積物，故礁間的小珊瑚入添數量變化也大，甚至有在五號礁間的入添量還高於礁坡的現象。顯然在目前定義的礁間還包含了異質性的棲所。

從四種棲所看小珊瑚的大小組成，四種棲所間沒有顯著差別，特別的是小珊瑚的數量在最長徑在 2.5 公分處都有一個高峰，我們假設小珊瑚在入添後年間的存活率相當，密度主要受到入添量影響，這個

高峰暗示了在年間的入添量有明顯的差別，可能在數年有一波大量入添，而其他年份入添到潟湖區的數量較少，但實際上要解釋這現象需要永久穿越線上的固定監測，或是放置附苗板計算年間入添量的差別。

在小珊瑚科別組成部分，和生長在東沙環礁內的珊瑚組成一致，主要由耐壓型的菊珊瑚、微孔珊瑚及競爭型的蕈珊瑚為主，這些珊瑚的生長速度較繁生型緩慢，在短時間內要能看到珊瑚覆蓋率提升之可能性不大；1998 年大白化前潟湖內常見的軸孔珊瑚在本次調查中約佔小珊瑚數量的 3.1%，從骨骼切片標本中發現的軸孔珊瑚骨骼和東沙島北岸的軸孔珊瑚都屬於枝幹較粗的類型，但在新入添的分枝型軸孔珊瑚多為細枝型（附圖三十四），並非以往佔優勢的種類。在最接近水道口的 10 號礁可以明顯看到許多長度剛超過 5 公分的軸孔珊瑚，這可能表示從水道口已經開始有新的軸孔珊瑚入添，是否短期內能擴大分布到潟湖內就必須等待時間來回答。在台灣南部的墾丁入添量最高的科別為鹿角珊瑚(Soong et al., 2003)，在菲律賓北部則以鹿角、軸孔珊瑚為大宗(Garcia and Aliño, 2008)。東沙軸孔珊瑚入添少，可能限制了復原的速度。

從小珊瑚多樣性指數分析，辛普森指數沒有發現顯著差異，而夏儂指數則以礁頂的小珊瑚生物多樣性顯著少於其他棲所。兩種指數都

考量了物種豐度 (species richness) 及物種之間數量的均勻度 (evenness), 但是辛普森指數偏重在主要組成物種數量上的改變, 而夏儂指數則較注重次要組成物種的數量改變 (Magnussen and Boyle, 1995), 這表示造成物種多樣性差別的是礁頂小珊瑚在主要組成物種 (菊珊瑚、蕈珊瑚、微孔珊瑚) 以外的科別個數較少。造成這現象的原因有可能是礁頂的棲所複雜度較低, 或者礁頂水溫較高對其他科別的小珊瑚存活率有影響所導致 (宋等 2009)。光從小珊瑚的部分判斷保育選擇區域, 礁頂的保育價值最低而礁坡、礁間的保育價值較高。

將東沙環礁潟湖區的小珊瑚密度與太平洋其他區域相比, 在同樣調查標準 (小珊瑚最長徑在 5 公分內) 下, 在有人居住的環礁中, 卡洛琳環礁 (Caroline Atoll) 潟湖區的密度為 <18 個/平方公尺 (Barott et al., 2010), 巴爾米拉環礁 (Palmyra Atoll) 潟湖區為 25 個/平方公尺, 芬妮環礁 (Tabuaeran Atoll) 潟湖區為 20 個/平方公尺, 聖誕島 (Kiritimati) 潟湖區為 18 個/平方公尺, 無人居住的金曼環礁 (Kingman Atoll) 潟湖區為 42 個/平方公尺 (Sandin et al., 2008), 這些環礁都在夏威夷群島的附近, 而東沙環礁潟湖區的小珊瑚密度明顯低於這些環礁, 要自然回復到和這些環礁相近的程度還需要很長一段時間。

生殖

從四月底五月初得到的樣本裡包含卵子的樣本僅 11.5%，僅能確定有美麗軸孔珊瑚的樣本，這類珊瑚在日本地區記錄到的生殖力（每個珊瑚蟲的卵數）在 5-9 個左右(Okubo et al., 2007)，而東沙的美麗軸孔珊瑚生殖力較高，表示軸孔珊瑚生殖上並沒有困難，但也只是單一種珊瑚的狀況。菊珊瑚科組織含卵的僅佔所有菊珊瑚科樣本的 6%，造成此結果有兩種可能，一是有部分在前一個月已經將精卵釋出，從緯度上推論，東沙跟墾丁（約 22°N）僅差 1.5 度，而跟菲律賓西北方的 Bolinao（約 16.2°N）則相距 4.2 度，前者在五月進行生殖(Dai, 1992)，後者主要在三月進行生殖(Vicentuan et al., 2008)，故緯度在其間的東沙環礁有可能在 4 月前後進行珊瑚的集體生殖;其二是在採樣上選取部位或珊瑚群體過於年幼，像是在加勒比海的粗糙菊珊瑚在邊緣的生殖力較中間低(Soong and Lang, 1992)，而選擇小於五公分以下的珊瑚則可能尚未成熟(Miller et al., 2000)，欲解答生殖季需要再提前採樣的時間及採樣的方式。

雖然有正常進行生殖的部分，但從精卵釋出到散佈成功有很大的風險，從浮游期到茁苗這段時間受到飢餓、被捕食、生病等因素皆會降低苗的存活率(Thorson 1950; Strathmann, 1985; Rumrill, 1990; Graham et al., 2008)，此外還需要考慮一些物理上的因子，例如水溫

的影響(Edmunds et al., 2001)，當水溫過高(31°C)則會對幼苗及剛入添附著的苗造成傷害，例如約一週的高溫便能降低粗糙菊珊瑚苗13%的存活率(Randall and Szmant, 2009)。東沙環礁離其他珊瑚礁群距離數百公里，而珊瑚苗只能靠海流才能散播如此長距離(Thorson 1950; Strathmann, 1985; Rumrill, 1990; Graham et al., 2008)，漂流的時間增長受到的威脅也會增加，故成功的珊瑚苗主要應該還是來自於本地的珊瑚株(Gilmour et al., 2009)。一旦本地珊瑚大量死亡，幼苗入添量有可能成為珊瑚復原的瓶頸。

生長率

造礁珊瑚的骨骼生長能記錄下某些環境因子的變動(Dodge and Vaisnys, 1975)，像是緯度與季節的變化掌控了影響珊瑚生長的因素：光線、溫度、太陽輻射，改變了生長輪的寬度(Knutson et al., 1972; Kain, 1989)。早期測量珊瑚生長是以直接量測切面的紋路，而近代改以 x 光片方式分析生長速度與骨質密度(Bosscher, 1993)，一般常用的生長速率指標(Scoffin et al., 1992; Lough and Barnes, 2000)可以由下列公式連結在一起：

$$\text{鈣化速率 (g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}) = \text{生長速率 (cm} \cdot \text{y}^{-1}) * \text{骨質密度 (g} \cdot \text{cm}^{-3})$$

本計畫選擇使用團塊型微孔珊瑚為生長速率的測定種類，其中考量為此類珊瑚遍佈各大洋，且團塊形的生長速度較分枝型一致，無尖端生長速度較快影響(Goreau and Goreau, 1959)，一般此類珊瑚形成大群體，可以有多年的連續生長記錄。已知該種珊瑚受到輻射量增加、溫度增加時，生長輪變寬且鈣化速率增加但骨質密度下降(Lough and Barnes, 2000)，因為珊瑚骨骼是由共生藻協助提供能量下，堆積碳酸鈣構成，一但失去共生藻生長速度便減緩(Goreau and Goreau, 1959)，若長期暴露於過度的高溫或受到過強的光也會減緩鈣化速率，甚至發生珊瑚白化(Jones et al., 1998; Rodolfo-Metalpa et al., 2006)。

今年比較四種棲所時重新量測去年取得的礁頂、礁底珊瑚骨骼 x 光片，改以拉三條線取平均值計算每年生長速度，去年拉線時有部分並非從骨骼切片上生長速度最快處量測，今年一律由各年度生長最厚處做為指標，得到結果以礁頂生長速度較礁底快。從四個棲所比較生長速率，礁頂、礁坡、礁間顯著比礁底生長速度快，只看前三者，在越淺的地方生長速度越快，可能原因是溫度高及光強度佳，鈣化速率增加，使生長輪寬度增加，但礁底的深度在礁坡與礁間之間，生長速度卻是最慢的，這部分可能和沉積物有關，不同地點沉積物揚起的機率和珊瑚生長速度減緩相關(Dodge et al., 1974)，Bak (1978) 提出沉積物會影響到珊瑚的生長速度，他認為珊瑚蟲為了要清除掉身上的沉

積物而要耗費較多的能量，若是遇到沉積物揚起又會降低光度；在實驗室裡測試，珊瑚利用分泌黏液去除覆蓋的沉積物，當有沉積物時黏液的分泌量可比平時多約 30%(Riegl and Branch, 1995)，這些都耗去能量而可能降低生長速率。

團塊型微孔珊瑚在所有棲所平均生長速度 10.5 mm/yr，和前人調查到在南中國海的生長速度 11 mm/yr 值相近(Nie et al., 1997)，但較馬廷英（1959）調查的速率 12 mm/yr 慢，但馬廷英並非以 X 光片進行年輪判讀，生長速率差異在判別的誤差範圍之內。大堡礁的珊瑚從 1990-2005 年生長率下降了 13.3%(De'ath et al., 2009)，而我們從東沙環礁瀉湖區四個棲所採集的樣本（1999-2008）沒有發現生長減緩的趨勢，這兩個研究的樣品數相差在 10 倍以上，相比起來澳洲的研究發現差異的能力好了至少 3 倍。若能將馬廷英的採集的樣本重新製作成 X 光片分析（目前馬先生的標本在台中科博館整理中），則可能比較東沙珊瑚在近半個多世紀來是否真有生長減緩的情形。

在兩年的珊瑚切片樣本中有部分珊瑚中心點在骨骼塊中間而非在底部，這表示在生長的過程中沒有一直固著在基底面上，此類被稱之為塊狀珊瑚石（corallith），前人觀察到形成這種狀態的珊瑚還有雀屏珊瑚（*Pavona*）、絲珊瑚（*Siderastrea radians*）、粗糙菊珊瑚（*Favia fragum*）等(Glynn, 1974; Lewis, 1989)，這些珊瑚可能起先入添在死亡

的珊瑚骨骼、軟體動物外殼、珊瑚藻、小的石頭等表面(Yonge, 1935; Goreau and Yonge, 1968; Glynn, 1974; Pichon, 1974);從 10 號礁間取回的樣本切片上可以看到微孔珊瑚骨骼內包含軸孔珊瑚的骨骼，形成可滾動珊瑚的機制可能與 Rodriguez-Martnez (1999) 觀察相似，都是在切片中心點發現另外一種分枝型珊瑚骨骼，表示小珊瑚首先附著在死亡珊瑚的分枝處，生長到一定大小時骨骼斷裂，開始滾動於底質生長。塊狀珊瑚石通常在礁台內側，受浪影響的區域，而底質為粗石、沙質或其它容易累積沉積物(Sorauf, 2010)的環境被發現(Kissling, 1973)，長成圓形則有兩派說法，一種是經常有物理性擾動(Yonge, 1935; Kissling, 1973)，另一說法是受生物影響，像是魚類的啃食導致翻動(Glynn, 1974)，在發現這些樣本的地點皆為十幾米深的區域，僅十號礁靠近水道口，較有可能受到水流影響，其它區域在環礁內，幾乎沒有海流影響，就算是颱風影響，能延伸干擾到十五米深的區域也不容易，對於受到物理擾動的說法似乎只能解釋一個點，而受生物影響的部分從樣本無法發現，如何造成珊瑚在礁間滾動還有待探討，但可以確定從十多年前在部分礁間環境就存在許多沉積物。

珊瑚覆蓋率調查

活珊瑚覆蓋率在礁間明顯低於礁坡，而泥的覆蓋率在礁間明顯高

於礁坡，且礁間耐壓型珊瑚的比例平均為55%，已接近60%的保育等級1臨界值，顯示礁間的棲地僅適合特定種類的珊瑚生長。礁間佔整個東沙環礁的比例超過99%，因此礁間的珊瑚覆蓋率可作為東沙環礁珊瑚覆蓋率的代表，為11.28%；在佔據比例<1%的塊礁上，平均活珊瑚覆蓋率則為20.18%。然而不論是在塊礁或礁間，活珊瑚覆蓋率皆低於國際上認定的25%覆蓋率臨界質，屬於”劣”的珊瑚礁(Gomez and Yap, 1988)。雖然碎珊瑚骨骼為歷年累積之結果，因此較無法藉由今年的調查結果評價東沙珊瑚群聚的現況，但若考慮活珊瑚與碎珊瑚骨骼的覆蓋率總合，則可推估東沙環礁受到破壞前大多數礁體的珊瑚覆蓋率可能皆超過40%，屬於狀況良好的珊瑚礁。目前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在礁坡、礁間的分佈並沒有明顯的差異，有一個可能的原因是礁坡與礁間溫度無顯著差異導致，或者會因塊礁地形而呈現區塊性分佈。

根據Edinger(2000)，rKS三角圖的作法是較方便的判別方法，可以有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。在調查的塊礁中，從三角的型態分佈圖可以看出型態群都集中在競爭型與耐壓型上，繁生型珊瑚的覆蓋比例在許多地點為0、平均也只有

0.52%，可是根據戴在2008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%，除了採樣點不同可能引起此差別以外，也不能排除繁生型的珊瑚在過去兩年又有減損的可能。潟湖內珊瑚型態群的變動，表示東沙環礁內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入添或恢復成長，將會提高棲地複雜度，進而恢復生態系功能。

在世界上許多海域，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 et al., 2002)。而這種大尺度的影響，應該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中也可以看到，小珊瑚中軸孔珊瑚的比例很低。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，此時提供大型生物棲所的功能大為降低，反而會因不穩定的結構導致很

容易受物理性擾動而揚起沉積物，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。

生物性因子影響

2009 及 2010 年共調查 40 個不重複的區域，僅觀察到一種威脅性生物—棘冠海星，兩年皆於東沙島附近發現棘冠海星的蹤跡，而去年尚發現其零星散布在潟湖區，今年則無，數量皆不至於構成危害。棘冠海星喜食的軸孔珊瑚在潟湖內數量稀少，但在接近水道口或東沙島附近已有部分小軸孔珊瑚入添（附圖三十五），而今年是在接近水道口發現棘冠海星，其存在仍可能造成危害，須繼續定期調查。

生物的爆發除了入添因素也受到天敵數量的影響，攝食棘冠海星的物種像是大法螺(Chesher, 1969)、蘇眉魚（曲紋唇魚）等(Donaldson and Sadovy, 2001)，在前人（鄭等 2005）調查棘皮動物時便未發現大法螺的蹤跡，這次調查中也未發現任何大法螺的存在，而蘇眉魚可食用小型的棘冠海星，在東沙環礁有橫帶唇魚（東沙蘇眉）出現（鄭等 2005），此物種也可能獵食棘冠海星(Dulvy et al., 2004)，雖然受到長期非法捕撈，在近年的保護下，東沙島附近的魚隻有增加的趨勢（鄭等 2008），故成為防範棘冠海星爆發的一道自然防線，但若持續過度捕撈，屆時可能無法經自然天敵抑制棘冠海星。

除了棘冠海星，饅頭海星在長成成體後也會食用珊瑚蟲，雖然它造成珊瑚死亡的速度僅為棘冠海星的五分之一(Glynn and Krupp, 1986)，但食用的珊瑚種類包括：軸孔珊瑚、鹿角珊瑚、菊珊瑚、微孔珊瑚、蕈珊瑚，尤其偏好軸孔跟鹿角珊瑚(Quinn and Kojis, 2003)。

自從棘冠海星大爆發後，許多地方由軸孔珊瑚、鹿角珊瑚變成以微孔珊瑚為主要構成物種，然而棘冠海星和饅頭海星仍然存在(Quinn and Kojis, 2003)，依舊能對軸孔珊瑚及鹿角珊瑚造成傷害，在東沙的棘冠海星不多，但在調查中常常可以發現饅頭海星的存在，因為調查的時間皆於日間，而饅頭海星在白天時會停止進食，並爬離珊瑚找尋躲避處(Hawkins, 2006)，使得在調查時忽略了它的潛在危險，應考慮將此物種列入監測項目。

復原瓶頸測試（移植）

環境壓力對珊瑚的存活率有很大的影響，特別是水溫的高低引起珊瑚的白化(Jokiel and Coles, 1990)，長期溫度高於 30°C，珊瑚即開始驅逐共生藻，因而發生白化(Roberts, 1987)，或者突然的高溫也會造成白化甚至死亡(Hoeghuldberg and Smith, 1989)，高溫甚至使存活的珊瑚生殖力降低(Szmant and Gassman, 1990)。東沙環礁潟湖區的海水交換率不佳，潟湖內的水溫較環礁外來的高(陳等 2008)，雖然水流

可能可以提升珊瑚抗熱性(West and Salm, 2003),但瀉湖區僅在南北水道有明顯海水流動(陳等 2008),對於生長在環礁內的珊瑚是不利的;因此對於東沙環礁自大白化後軸孔珊瑚復原速度緩慢,我們提出了兩個假說:

甲、東沙軸孔珊瑚沒有復原是因為缺乏入添。

乙、東沙夏天的水溫持續造成入添軸孔珊瑚的死亡。

移植珊瑚可應用在測試環境上(Fan and Dai, 1999; Smith, 2004),在本調查中利用移植軸孔珊瑚測試水溫是否影響軸孔珊瑚生存而驗證上述第二項假說。今年夏天前移植的三組軸孔珊瑚都有相當高的存活率(80-100%),這顯示至少今年度的水溫並未造成牠們的大量死亡。就細節而言,配合溫度監測結果,9米移植區和3米移植區相差 0.3°C ,但不足以構成移植片段存活率上的差異,而今年環礁內整體的溫度較去年高,移植存活率卻沒有發現影響,故不論整體或細節都不支持假說乙。環礁內的軸孔珊瑚撐過2010年水溫最高的時段,若能進一步假設1998大白化後到2010年這段時間的水溫沒有比今年度更高,則軸孔珊瑚目前沒有在東沙環礁內復原的主因應該是缺乏苗的入添(假說甲)。

另外,有一說法是目前在東沙環礁內發現的少數軸孔珊瑚,可能是經過1998高溫後存留下來的珊瑚,牠們對高溫的忍受力可能較高

(Maynard et al., 2008)，像是共生藻的品系改組或增加(Glynn et al., 2001)，這說法暗示珊瑚細胞內共生藻的組成已發生變化，並且更能適應在較高水溫下生活，是否真是如此，有待進一步的驗證。

在全球大白化 12 年後，有些海域珊瑚礁的軸孔珊瑚已經有復原的跡象，像是西太平洋的帛琉(Golbuu et al., 2007)、南太平洋的斐濟、大堡礁部分區域以及加中美洲的勒比海區域，但在西太平洋-印度洋間的印尼西龍目島還未發現有復原跡象，而西印度洋的肯亞，復原程度從有到無的狀況都有(私人通訊，表 3-3)，在帛琉的研究指出在大白化時棲地不同，受到的白化程度也不同，這些受影響較少的區域保存了較多的軸孔珊瑚，所以起始的覆蓋率和珊瑚入添量都影響到復原的狀況(Golbuu et al., 2007)；東沙環礁在大白化後存活的軸孔珊瑚極少，此次移植實驗支持入添有限以致潟湖內軸孔珊瑚恢復緩慢的假說，因此推論人為的移植協助加速復原是有成功希望的，因為東沙環礁離其他珊瑚礁距離上百公里，若利用海運搬運其他地區的珊瑚片段花費時間極長，最好是利用東沙環礁現有的軸孔珊瑚進行移植，目前島周圍大群體的軸孔珊瑚數量不多，實際上能運用的移植片段並不足以移植到整個環礁，可以考慮以建造花園的方式進行小規模實驗(Rinkevich, 1995)；移植枝的來源除了直接折取外，也可以收集被風浪打斷的珊瑚枝(Soong and Chen, 2003; Garrison and Ward, 2008)，可

先在東沙島附近較不受風浪影響的區域進行珊瑚培育，因為沉積物會影響到移植珊瑚的存活率(Yap and Gomez, 1985)，在培育時可以利用釣魚線跟支架將珊瑚枝懸吊在水層中，等移植片段生長到能在沉積物中站立而不被掩埋時再移植到合適的復育區。

共生藻

許多研究顯示 D 型共生藻較 C 型更能在惡劣的環境中（例如溫暖的海水、水質混濁、海水酸化等）生存(Glynn et al., 2001; Rowan, 2004; Chen et al., 2005)。

在東沙內環礁東半部（樣點 1~5）及西半部（樣點 6~10），2009 年西半部海水平均溫度較東半部高（ $29.4^{\circ}\text{C} > 28.6^{\circ}\text{C}$ ），而含有 D 型共生藻的平均比例有西部較東部高（ $22\% > 17\%$ ）的趨勢；在礁頂與礁底的比較上，也有溫度較高的地區（礁頂）含 D 型共生藻比例（ 22% ）較高，而礁底的比例（ 16% ）較低的趨勢，雖然受限於樣品數，上述共生藻組成部份的比較在統計上並未達顯著，但變異的方向（溫高 D 型多）與先前在太平洋其他海域的研究結果是一致的(Glynn et al., 2001; Rowan, 2004)。

將樣點 2、5 及樣點 6、9 做比較，其共生藻 D 型的分布不同於前述溫度相關的推測，相反的，在樣點 6 的礁底及礁頂以及樣點 9 的

礁底，其共生藻類型卻皆為 C 型，推論其原因可能是溫度尚未達到臨界高溫來影響 C 型，另一可能則是未必有充分的 D 型來感染受高溫侵襲的珊瑚，是否有其它因素，如生長速度、耐熱度、光生理、及疾病在其中扮演部份角色(Correa et al., 2009)有待更多研究，例如一些研究結果顯示，團塊形的微孔珊瑚對白化的耐受性較高(Harriott, 1985; Marshall and Baird, 2000; McClanahan, 2000)，而厚實的碳酸鈣骨骼可能保護了珊瑚的生存，是否為上述所說，值得進一步去調查探討其原因。

在樣點 10 中，礁底的含 D 型共生藻比例遠遠高於礁頂（63% > 25%），這與其它地點的結果正好有相反的趨勢，顯然本研究的結果不支持共生藻組成可以用單一溫度因素來解釋，而其它參與的環境因素，則有待進一步研究。D 型共生藻除了具有耐熱的特性之外，對於擾動較大的區域，例如潮間帶或是深水區的礁底邊緣，都可以發現與逆境耐受力較強的珊瑚共生(Toller et al., 2001; Chen et al., 2005; Moore, 2007)。這是否表示在樣點 10 的礁底有較高的擾動存在，值得進一步探討。

面對海洋升溫的威脅，珊瑚白化的機率與強度將會逐漸升高(Hoegh-Guldberg O, 2007)。而擁有耐熱型共生藻 D 型的共生有可能使得珊瑚爭取一些時間去調整或適應其對抗高溫的能力(Baker, 2003;

Berkelmans, 2006)。因此，界定出 D 型共生藻出現比例高的珊瑚群體，或珊瑚礁區塊，追蹤其死亡率是目前可進一步測試假說的方法。



表 3-1 太平洋中其他瀉湖的小珊瑚密度及覆蓋率(原自 Barott et al., 2010; Penin et al., 2010; Sandin et al., 2008)

地點	居民	小珊瑚密度 (個/平方公分)	珊瑚覆蓋率 (%)
卡洛琳環礁 (Caroline Atoll)	有	<18	60%
巴爾米拉環礁 (Palmyra Atoll)	有	25	20%
芬妮環礁 (Tabuaeran Atoll)	有	20	20%
聖誕島 (Kiritimati)	有	18	15%
金曼環礁 (Kingman Atoll)	無	42	44%
Jarvis	無		44%
Howland	無		50%
Baker	無		56%
New Caledonia	有	5.6	

表 3-2 東沙環礁潟湖區復原研究指標結果概況

項目	結果	指標現況
小珊瑚入添量	比其他環礁潟湖少	差
珊瑚年生長率	與南中國海歷史資料生長速度相近	好
病蟲害	只發現一隻棘冠海星	好
生殖	有進行，但還需提前一個月採樣才能全掌握	普通
覆蓋率	低於無人環礁潟湖之珊瑚覆蓋率	差
死亡比率	四種棲所平均值為 50%	?
rKS	缺少繁生型珊瑚	差
共生藻	部分珊瑚擁有較抗熱的 D 型共生藻	?



表 3-3 大白化後軸孔珊瑚在世界其他海域復原情況（依據網路論壇

Coral List 上調查結果)

意見回應者	地點	海域	復原狀況
Andrew Baird	Little Pioneer Bay (Orpheus Island)	大堡礁 (Great Barrier Reef)	有
Robert van Woesik	Palau	西太平洋 (West Pacific)	有
Bruce Carlson	Fiji	南太平洋 (South Pacific)	有
Imam Bachtiar	West Lombok	印度-西太平洋 (Indo-West Pacific)	無
Mbije, N.E.J.	Zanzibar, S Tanzania	西印度洋 (West Indian Ocean)	有
David Obura	unspecified "central and highly-connected" sites	西印度洋 (West Indian Ocean)	有
David Obura	Kenya, central Seychelles	西印度洋 (West Indian Ocean)	些許
E Weil	Caracas Bay, Curacao and Bonaire; Puerto Rico	地中海 (Caribbean)	有
Dr. Ken Mattes	Belize	地中海 (Caribbean)	有

第二節 建議

從策略上，環礁是否應該分區管理以及要如何分區，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，在此我們提出幾項立即可行建議及中長期建議。

建議一

後續珊瑚保育及監測方案：立即可行建議

主辦機關：海洋國家公園管理處

從策略上，環礁是否應該分區管理以及要如何分區，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，與其將在有限的人力分散到整個環礁，不如先選定區域進行保育及復育。評估調查結果後，塊礁是個較為適當的區域，從各項復原指標中，塊礁的小珊瑚數量、珊瑚的生長速度、多樣性都比礁間來的高，而覆蓋率的部分也顯示塊礁的覆蓋率比礁間高，且塊礁的一致性也比礁間來得穩定，可以明確指出位置及面積，避免浪費精力在無珊瑚的區域。從 rKS 判斷保育等級，在瀉湖東邊 1、2、4 號礁分在最高的保育等級四區域，而以覆蓋率而言，東沙島旁（9 號礁）的區域有較高活珊瑚覆蓋率，故這些地方的保育價值較高，但從小珊瑚調查的資料來看，在覆蓋率較差的區域仍可能有較多的入添量，因為一但有繁生型珊瑚順利入添生長就可能連帶提升週遭的珊瑚礁相，而目前屬

於保育等級一的區域若增加繁生型珊瑚，則有機會快速提升保育價值到最高的等級四，所以以東邊及東沙島旁的塊礁為主要區域，而其他部分可以規劃為次要區域。

本次各項指數無法皆與前人結果比較，只能與其他地方的潟湖狀況相比，但整體環境仍相差較大，以後調查比較則應以本年度結果為對照組，這並不代表各項指數皆須每年進行，而是指標的應用則須依目標決定使，若要知道在人為努力下復育是否有成，可以從珊瑚覆蓋率判斷，而死亡比率則可告知是否有繼續惡化的趨勢，而小珊瑚數量及生長則在短期內變動不大，可以間隔幾年再進行調查，病蟲害部分有機會快速形成危害，建議每年都進行監測，而生殖部分目前已確定有進行，因每年生殖時間皆有估計上的誤差，若無必要確切知道時間點則不須繼續採樣調查，在共生藻的部分，現今對其研究正朝向撥雲見霧的狀況，若將來有發生特殊事件(大白化)才需再採取新的樣本。

此外，珊瑚礁年度間變化(例如：白化、死亡、珊瑚入添情况等)也是一般關心的焦點，這部分資料需較高的解析力，目前已在東沙島東方 11 米深處建立一條永久穿越線監測，並以照片連拍的方式做記錄，這批檔案將隨此成果報告收錄於光碟中，並留存在海管處存放。

建議二

復育軸孔珊瑚：立即可行建議

主辦機關：海洋國家公園管理處

在復育上，可開始研究人工移植以加速復原，先在東沙島附近進行小規模的移殖研究，原則上應捨棄已經生長藻類、風浪大的海域。也可考慮分階段進行，先建立海上 10 公尺尺度的苗床，待培育到能從底質上維持立體結構時再移植到塊礁附近或沈積物底質上。

建議三

外環礁及礁台區珊瑚群聚調查：立即可行建議

主辦機關：海洋國家公園管理處

協辦機關：行政院海岸巡防署

除了調查較多的潟湖區，應增加對外環礁與礁台區的調查。外環礁的部份建議在不同方位都增加不同調查點的永久穿越線，另外也要向外延伸至 30m 以深的海域進行探勘調查，使能更進一步的了解外環礁區；礁台區的部份則建議比照外環礁的方位，設立相對應的調查樣點及永久穿越線，無論是大退潮時在礁台上的調查，或是高潮時利用浮潛或水肺方式進行，都能有效的對礁台區的珊瑚群聚有更多的了解。

調查方法上也需針對不同環境有所調整。外環礁需較大船隻，例如十噸、廿噸級或更大的船隻（例如與海巡署碧海專案配合）。30m 水深以下之棲所不適合潛水人員作業，可考慮以遙控潛艇（ROV）或自動導航潛艇（AOV）取得影像資料，這些工具需有船隻配合，才較有可行性。礁台區在人員潛水可及之深度，策略上可以依棲所分區分年進行，期望上能在各棲所、各海域（東、南、西、北）設置永久性固定樣區使後續監測能更為完整，並且以 1998 年後未曾進行調查的區域為優先（表 3-4）。

建議四

東沙環礁潟湖保育：中長期建議

主辦機關：海洋國家公園管理處

協辦機關：行政院大陸委員會

保育現有的珊瑚是必須執行的一環，目前環礁內以競爭型、耐壓型珊瑚為主要組成，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，在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。對牠們比較大的直接威脅，除了更高水溫以外，生物因素（包括疾病、蟲害及大型海藻）及不當漁法皆可能扮演重要角色；在短期內

生物因子的干擾不致於造成珊瑚的危害，但非法捕魚的人為壓力卻持續在進行對珊瑚礁的傷害，在調查的過程中也有發現大陸漁工將小舟停泊在塊礁上，在礁頂進行潛水捕魚等作業，所以在策略上限制船隻靠近塊礁；目前東沙海上執法仰賴海巡署洋巡總局的船隻及人手支援，除了現場管理的部分，也應該積極從兩岸合作管道上研究如何配合執法、防堵非法捕魚，或從漁業經濟角度，如何降低其誘因，升高其成本，這些部份都需要有創新的做法才能突破現況。

建議五

開放東沙環礁國家公園給一般民眾參觀之方案配套：長期建議

主辦機關：海洋國家公園管理處

由於東沙幅原廣，只要控制遊客總數及其行為，應該不會直接造成太大負面效應。東沙島上全為政府單位，以旅遊為主的活動門檻甚高，可先由目前執行的生態志工計畫汲取經驗。在未來開放觀光時可以建議的潛點還是以東沙島附近為主，在東沙島東邊（永久穿越線附近區域）的珊瑚覆蓋率較佳，沒有強勁海流也不需要花費長時間在搭船移動；另外一個潛點區域則是在外環礁，依照之前的調查報告，外環礁較無受到大白化影響，珊瑚覆蓋率較潟湖內佳，但外環需要的船

隻與潟湖內不同，在外環風浪較大，而潟湖雖然風浪較小卻需要避免塊礁頂擱淺問題，這部分還有待專業人士評估。

東沙民生物資全由外進口，等於是人為注入營養鹽，除非能等量輸出，否則貧養的珊瑚礁生態系將開始累積營養，是否真會造成影響，可由大型藻類監測著手。

建議六

東沙環礁後續研究方式：長期建議

主辦機關：海洋國家公園管理處

協辦機關：已簽署 MOU 之各研究單位

由於研究團隊上島採樣耗費時間人力甚多，行程安排不易，又容易因天候狀況無法作業，若改以管理處駐島人員採樣，將可不受時間限制，例如本次研究團隊原本預期於四月底上島，受限於交通狀況，故委託海管處上島人員協助珊瑚採樣，這種方法避免了因交通等因素而錯失關鍵採樣時機，也從這次經驗得知兩方的合作是可行的，建議以後可以培訓海管處人員相關基礎知識，採樣的部分由上島人員進行，而分析則由學術單位負責。在這次調查中，我們也構思了一些新的問題：

1. 兩年的調查結果顯示小珊瑚組成比例最大值在最長徑 2.5 公分處，這種集中的現象是否真為年間入添數量差異造成？在礁台上、外環礁的狀況是否一樣？
2. 瀉湖內幾百座塊礁的成因為何？印、太平洋其它環礁也都有塊礁在瀉湖內，由於其上珊瑚相及覆蓋率均較豐富，了解它們的成因對珊瑚礁保育及復育可能都有相當的助益。
3. 東沙除了漁業以外鮮少其它人為活動影響，複雜的食物網可能是維護此生態系穩定的重要前提，各式物種豐沛，是極佳的自然實驗室，建議先以淺海域、近島之生物為研究對象，以降低船隻瓶頸所形成的障礙。

與學術單位合作，發揮彼此長處為原則，研究方向由雙方提出，可包含全球乃至東沙或更小尺度之議題，定時每季討論進度、需配合事項，以確保研究成果產出。此部份須積極推動，將可成各國家公園、保護區之範例。

表 3-4 東沙環礁分區建議表格

分區	中心潟湖區	環狀礁台區	外環礁區
威脅	1.死亡珊瑚殘骸堆積 2.水溫較高	1.大陸漁船濫捕 破壞礁台生態	1.風浪影響大
保育策略	1.可嘗試移植生長速度快的珊瑚	1.設立監測點	1.設立監測點
研究瓶頸	1.範圍廣闊，每年監測取樣不統一，無長期統計資料可用 2.容許小艇作業之海況時間短	1.到達不易 2.量化監測資料少	1.湧浪大、小艇無法接近或獨立作業 2.水肺潛水作業上有深度限制
建議	1.依 1998 年後未調查之區域，分區分年進行密度較高之調查	1.設立永久樣區並進行調查	1.需利用中大型研究船隻（例如與碧海專案配合） 2.利用遙控潛艇（ROV）或自動導航潛艇（AOV）取得較深海域之資料

附錄一 圖表

附表一、調查點之GPS位置與深度

調查點	緯度	經度	深度 (m)
1-礁坡	20°44.422'425	116°51.612'618	7
1-礁間	20°44.393'	116°51.710'	13
2-礁坡	20°40.470'	116°52.968'	8
2-礁間	20°40.645'	116°52.968'	12
3-礁坡	20°44.490'	116°50.758'	8
3-礁間	20°44.480'	116°50.680'	13
4-礁坡	20°41.951'	116°50.535'	7
4-礁間	20°41.883'	116°50.552'	15
5-礁坡	20°37.673'	116°50.380'	8
5-礁間	20°37.870'	116°50.397'	12
6-礁坡	20°43.576'	116°47.880'	7.5
6-礁間	20°43.380'	116°47.779'	12
7-礁坡	20°41.720'	116°47.210'	7
7-礁間	20°41.653'	116°47.168'	15
9-礁間	20°42.690'	116°45.579'	9

10-礁坡	20° 39.864'	116° 46.216'	8
10-礁間	20° 39.799'	116° 46.207'	10



附表二、移植點位之船用GPS與深度

移植點位	緯度	經度	深度 (m)
東沙島東北方淺區	20°42.814'	116°44.042'	3m
東沙島東北方深區	20°42.703'	116°45.602'	9m



附表三、放置溫度計的位置與深度

移植點位	緯度	經度	深度 (m)
1-礁坡	20°44.422'425	116°51.612'618	7
1-礁頂	20°44.422'425	116°51.612'618	3
4-礁坡	20°41.951'	116°50.535'	7
4-礁頂	20°41.951'	116°50.535'	3
6-礁坡	20°43.576'	116°47.880'	7.5
6-礁頂	20°43.576'	116°47.880'	4



附表四、東沙環礁潟湖區各測站溫度變化表。

測站	記錄間隔	與日均溫最大差值 (°C)	
1 號礁頂	30 分鐘	-1.01	1.59
1 號礁坡	30 分鐘	-0.82	1.69
4 號礁頂	30 分鐘	-0.45	0.7
4 號礁坡	30 分鐘	-0.58	0.71
3 米移植區	30 分鐘	-2.06	1.65
9 米移植區	30 分鐘	-1.88	2.27
東沙島北方	60 分鐘	-2.93	2.58



附表五、東沙環礁潟湖區礁頂、礁坡水溫30°C以上之頻率，以30分鐘
間隔記錄。

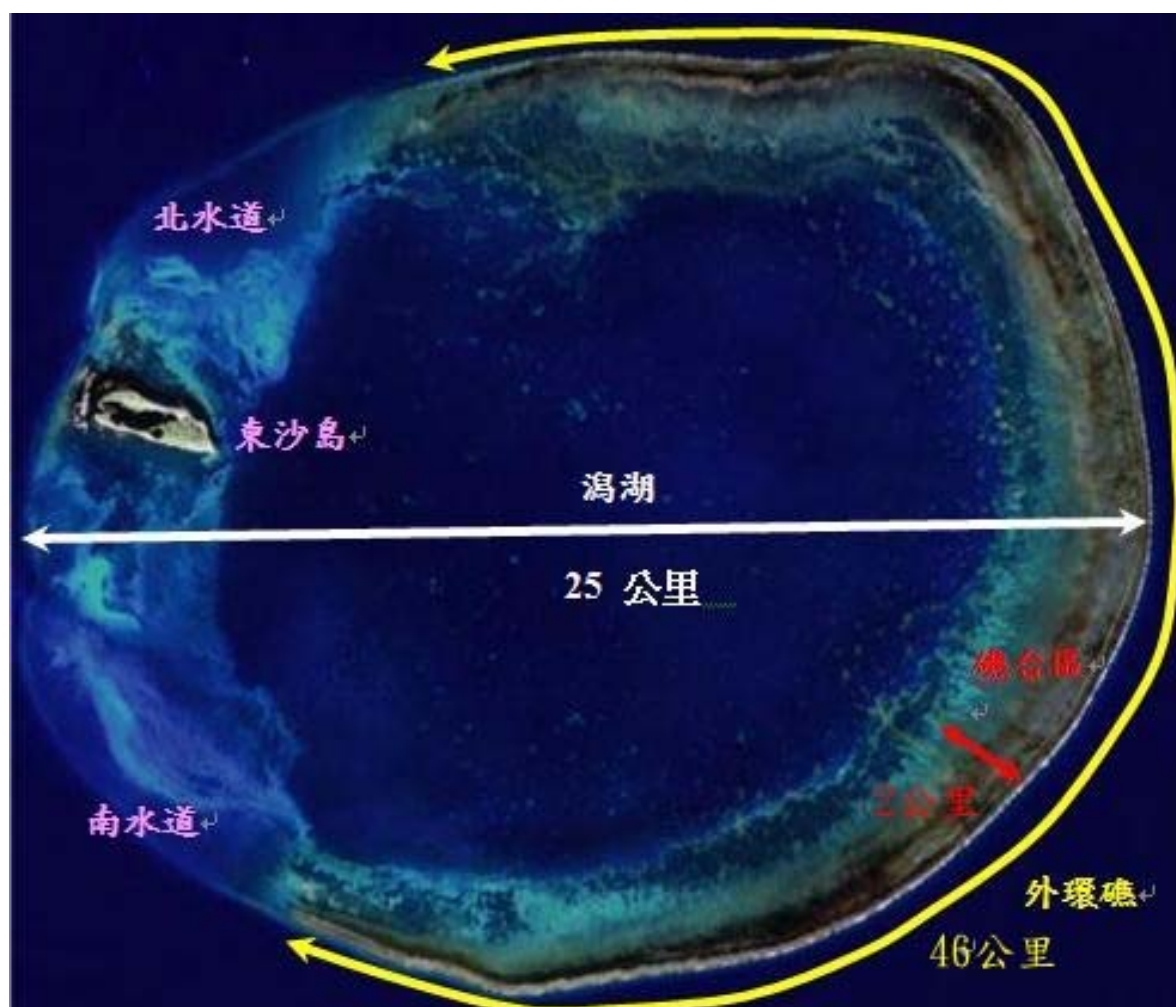
年	測站	百分比 (%)
2010	1 號礁礁頂	81.9
	4 號礁礁頂	80.2
	3 米移植區	59.7
	1 號礁礁坡	75.9
	4 號礁礁坡	78.7
2009	6 號礁礁頂	52.1
	5 號礁礁頂	25
	9 號礁礁坡	28.4



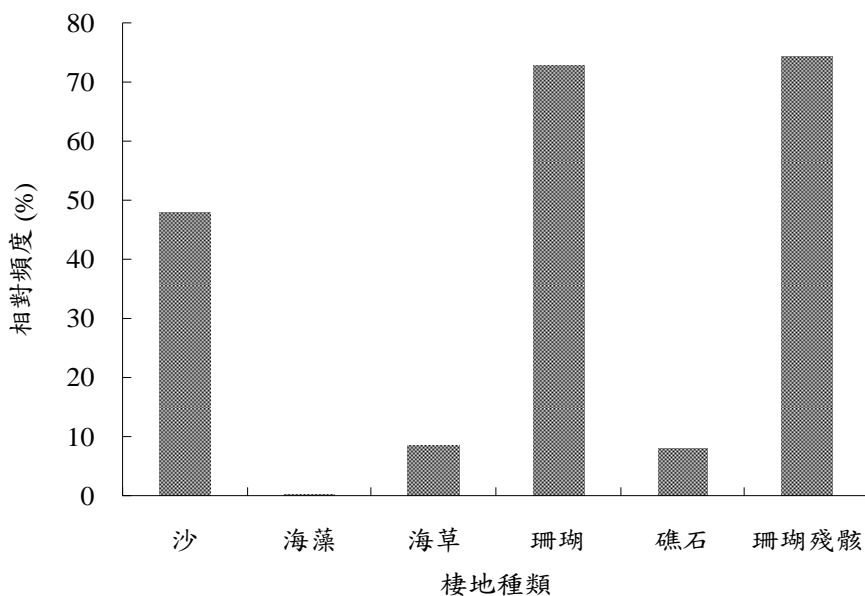
附表六、東沙各樣點共生藻類型分析組成樣本數

site	Sample No.	Clade C	Clade D	Clade C+D
2 top	22	14	6	2
2 base	14	13	1	0
3 top	29	24	5	0
3 base	5	5	0	0
4 top	29	22	1	6
4 base	13	13	0	0
5 base	8	6	2	0
6 top	10	9	1	0
6 base	7	7	0	0
7 top	44	30	5	9
7 base	17	13	2	2
8 top	28	25	1	2
8 base	12	8	4	0
9 base	15	10	5	0
10 top	12	9	3	0
10 base	11	4	7	0

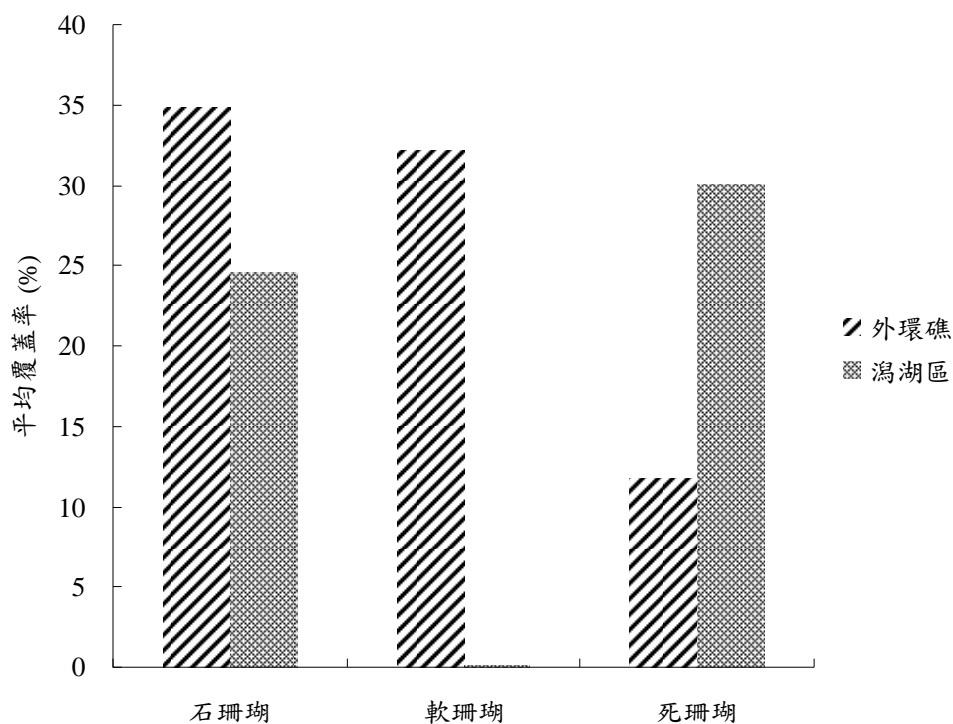




附圖一、東沙環礁國家公園珊瑚礁環境示意圖。



附圖二、2008年於瀉湖區調查的棲地種類與其相對頻度分佈圖（原始資料取自陳等 2008）。



圖三、東沙外環礁與瀉湖區之珊瑚覆蓋率比較（依2005-2009年各珊瑚群聚調查資料，平均後所得）。



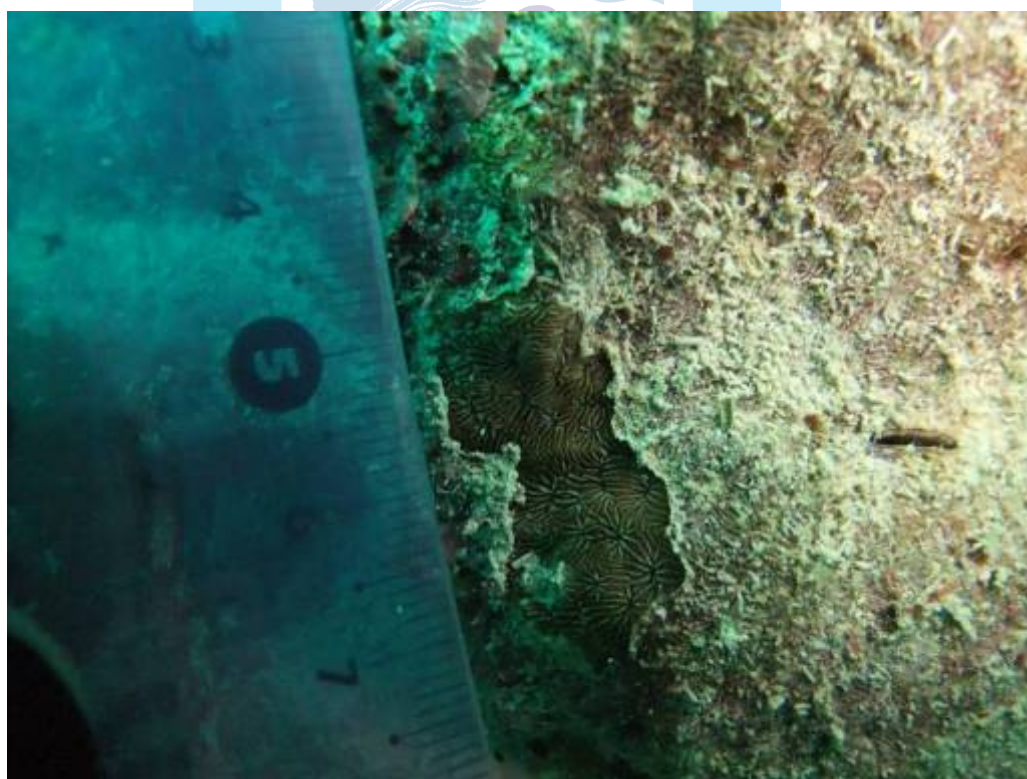
附圖四、菊珊瑚科小珊瑚



附圖五、蕈珊瑚科小珊瑚



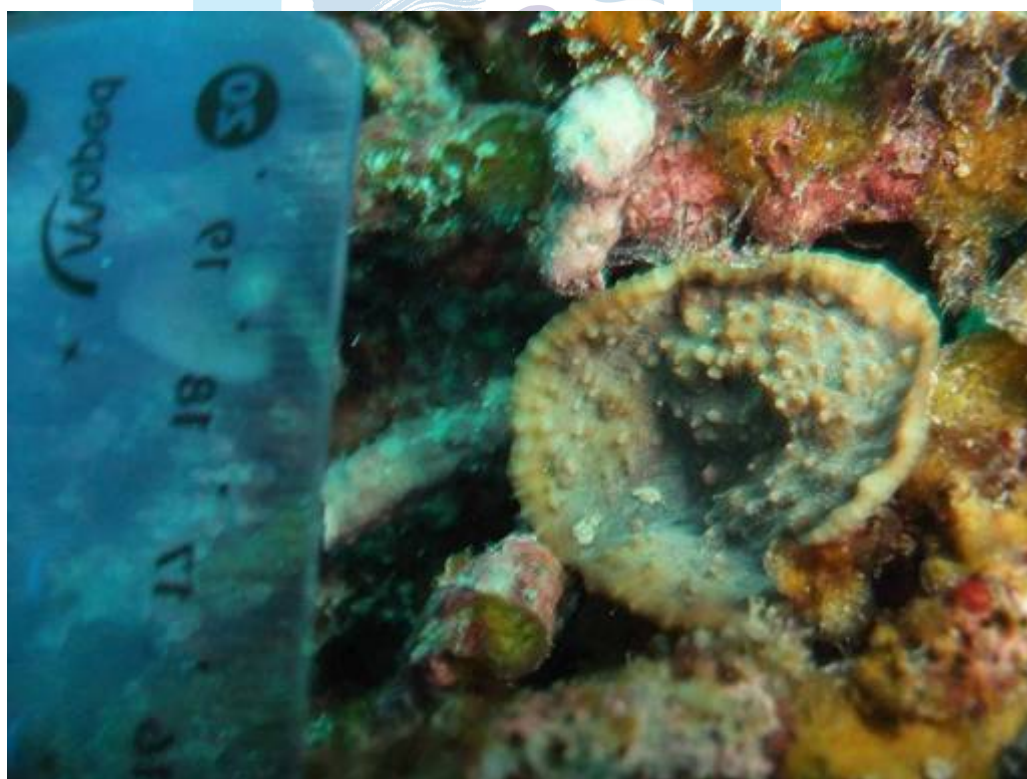
附圖六、微孔珊瑚科小珊瑚



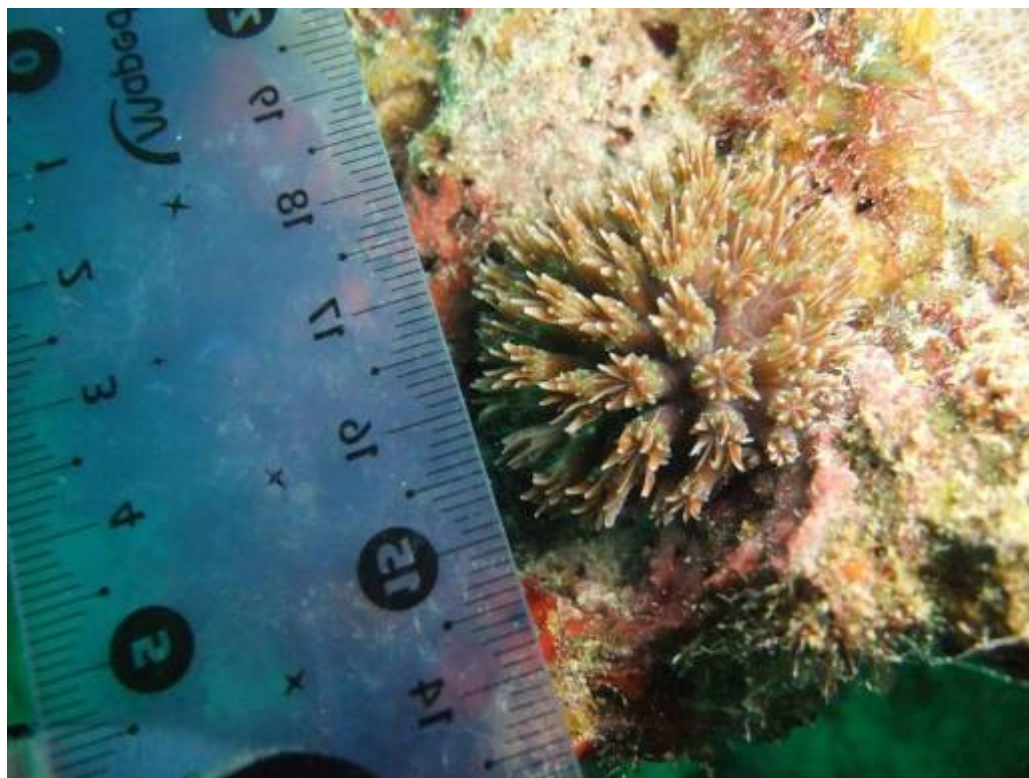
附圖七、蓮珊瑚科小珊瑚



附圖八、軸孔珊瑚科小珊瑚



附圖九、刺葉珊瑚科小珊瑚



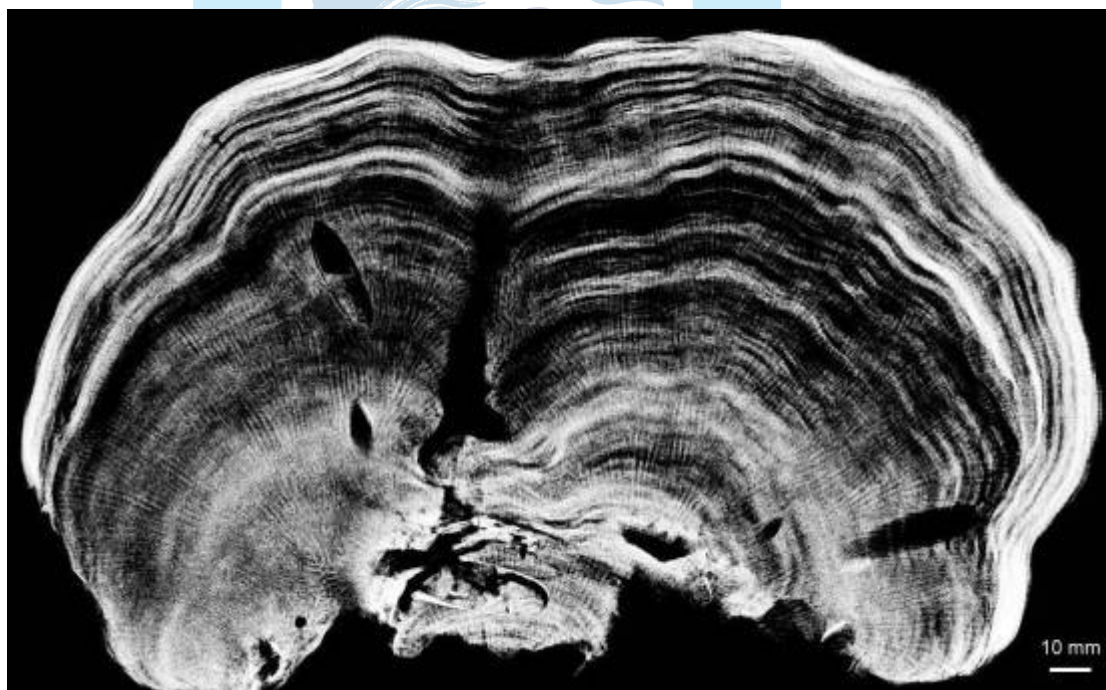
附圖十、真葉珊瑚科小珊瑚



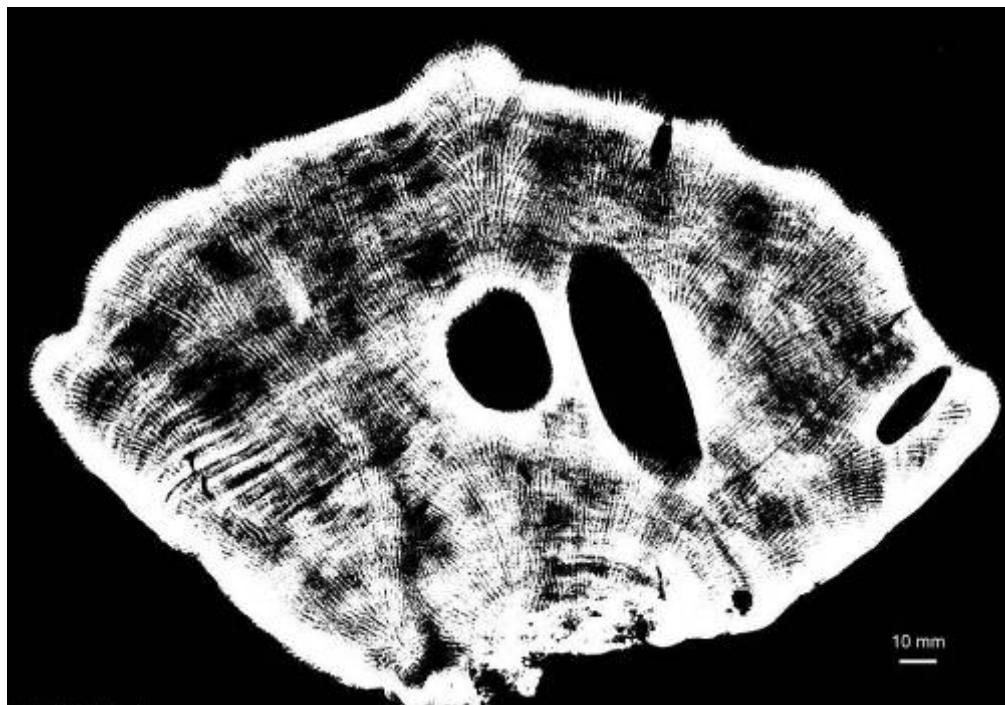
附圖十一、樹珊瑚科小珊瑚



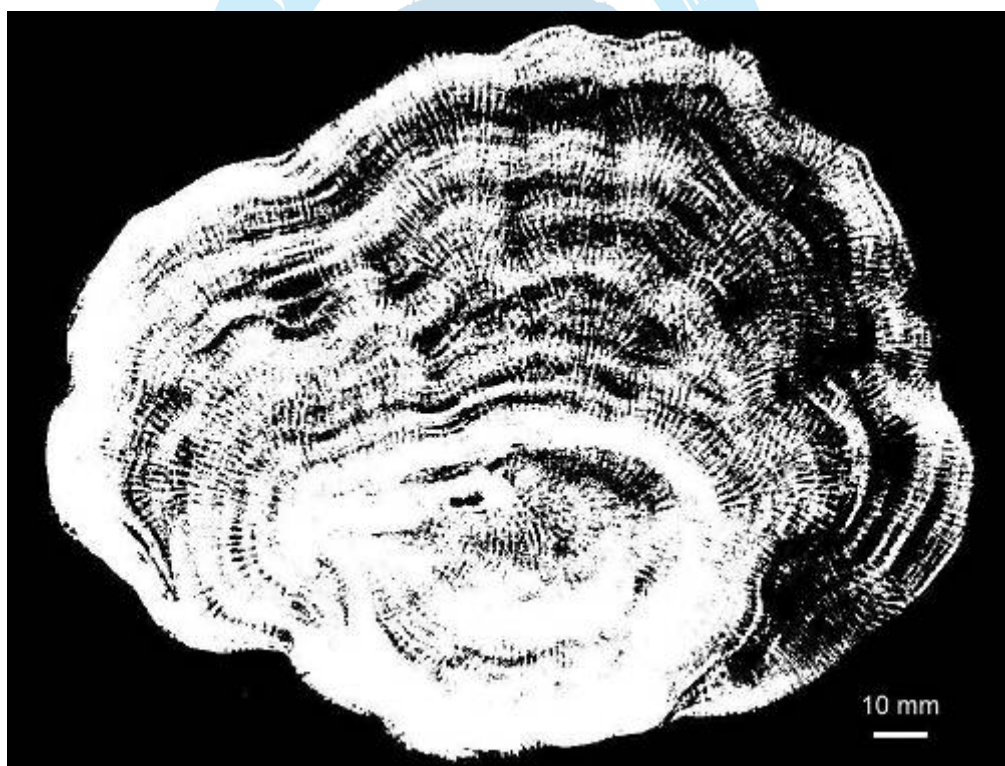
附圖十二、鹿角珊瑚科小珊瑚



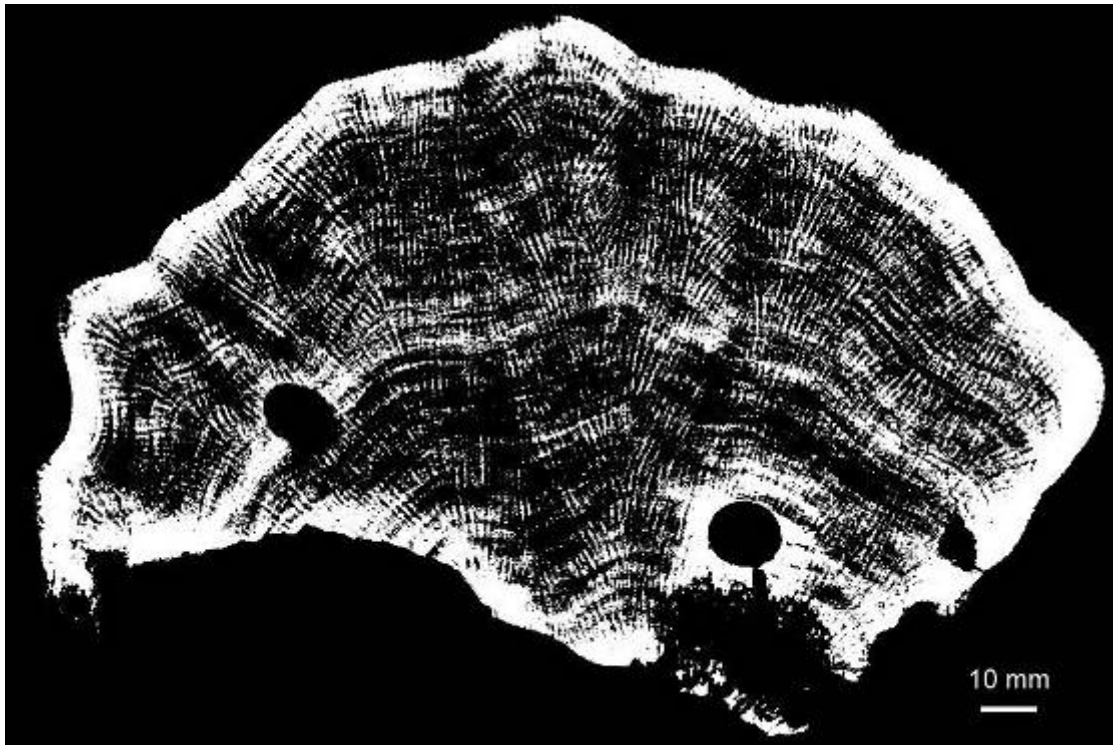
附圖十三、東沙環礁瀉湖區1號礁間團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



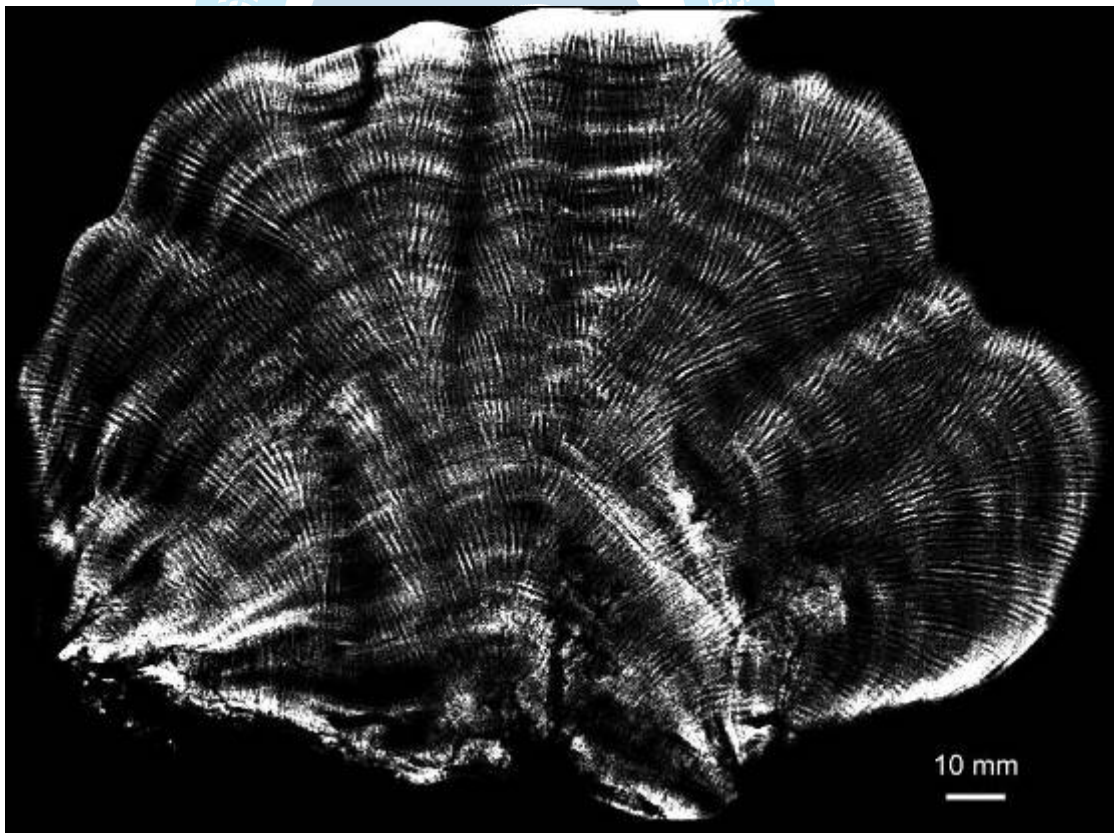
附圖十四、東沙環礁瀉湖區2號礁間團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



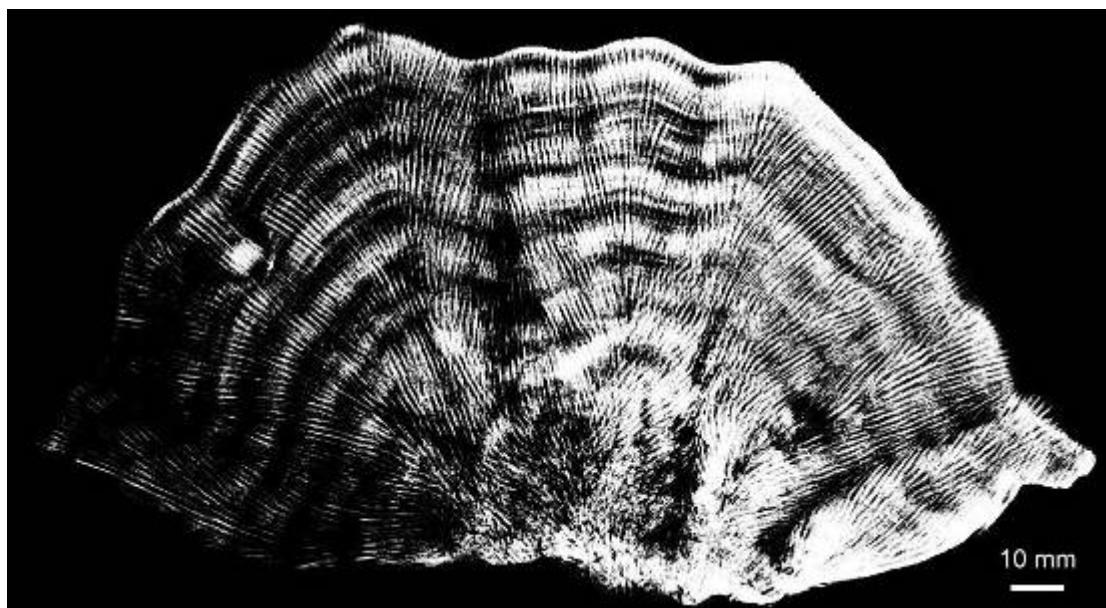
附圖十五、東沙環礁瀉湖區4號礁間團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



附圖十六、東沙環礁瀉湖區6號礁間團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



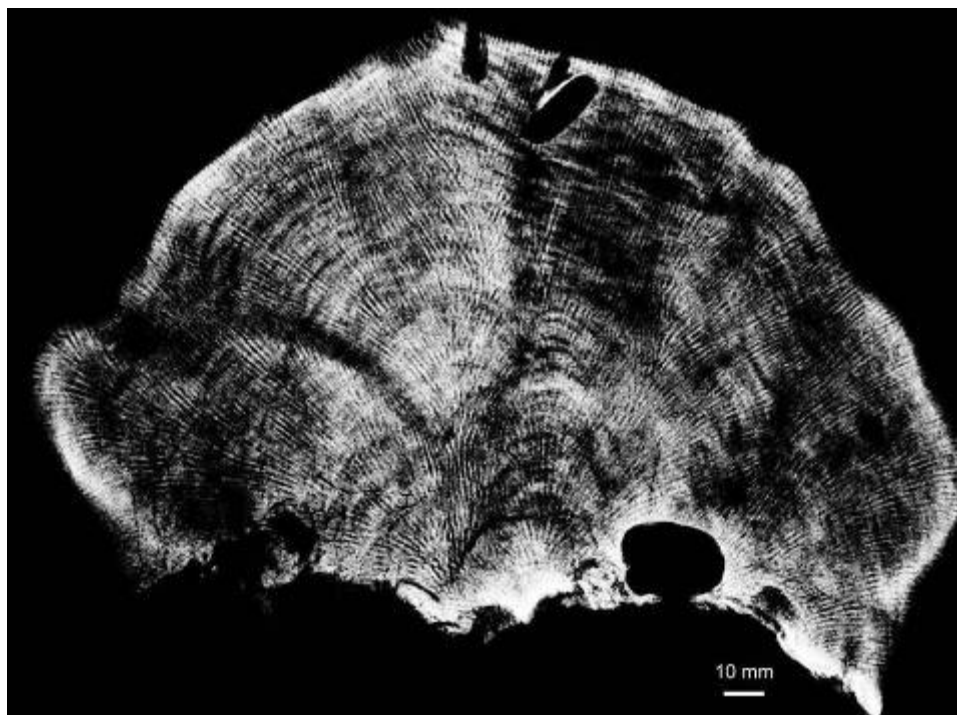
附圖十七、東沙環礁瀉湖區7號礁間團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



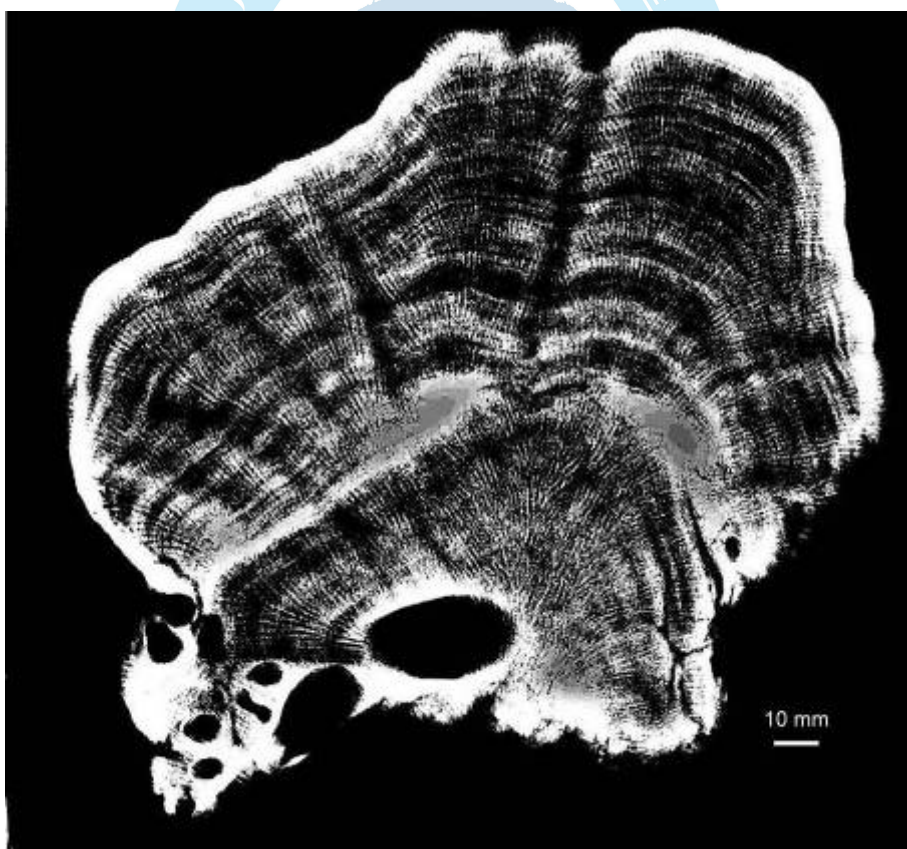
附圖十八、東沙環礁瀉湖區9號礁間團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



附圖十九、東沙環礁瀉湖區10號礁間團塊型微孔珊瑚生長X光照片。

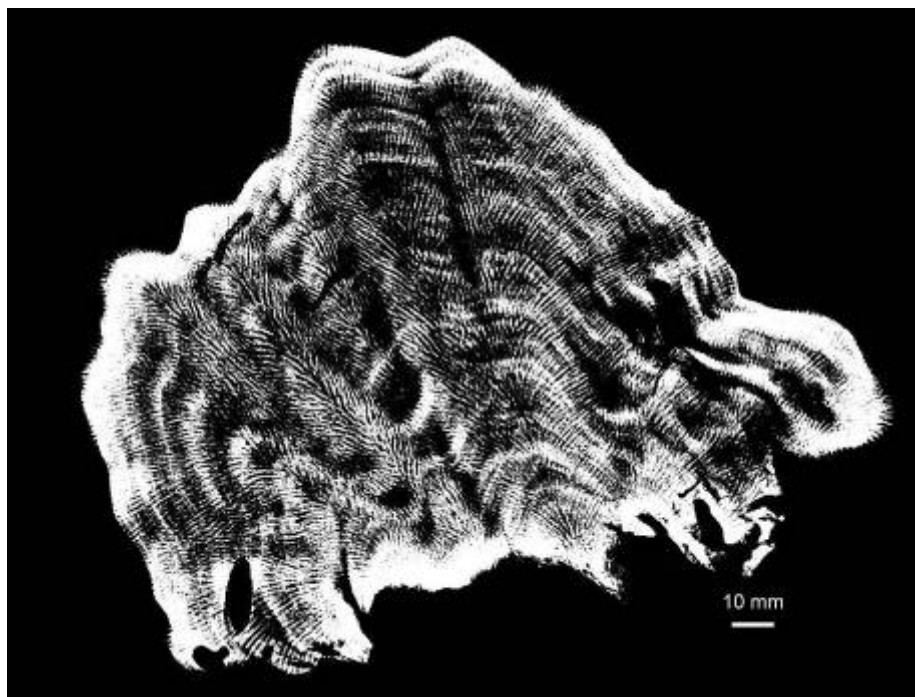


附圖二十、東沙環礁瀉湖區 1 號礁坡團塊型微孔珊瑚生長 X 光

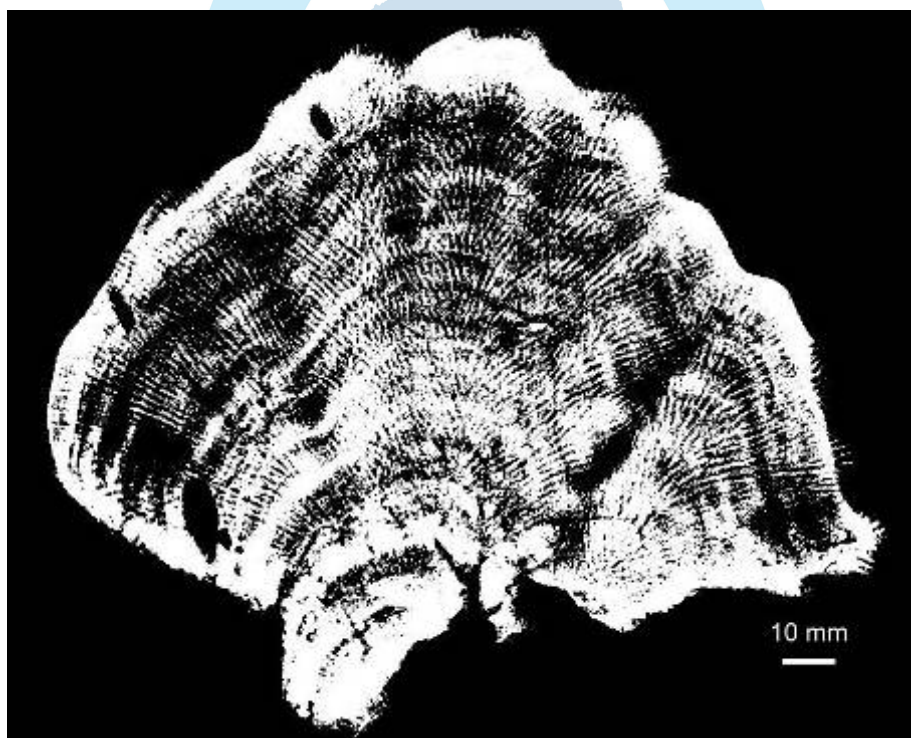


照片。

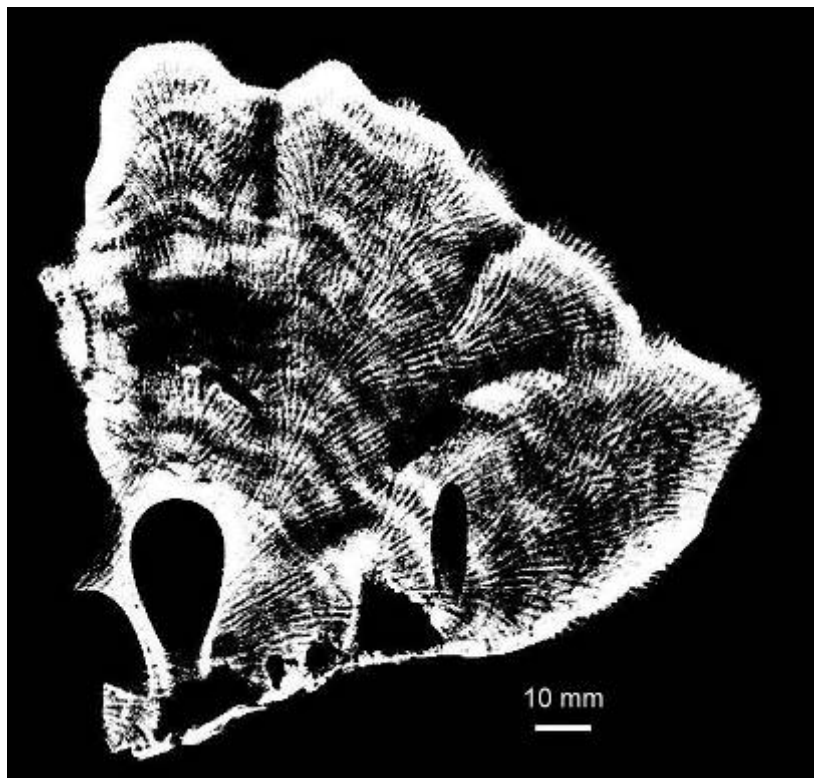
附圖二十一、東沙環礁瀉湖區 2 號礁坡團塊型微孔珊瑚生長 X 光照片。



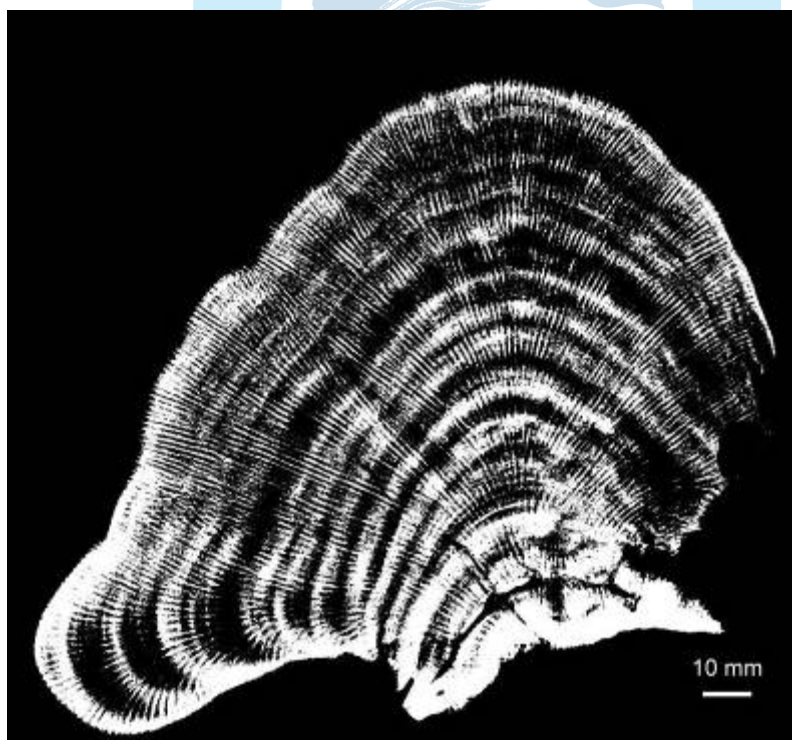
附圖二十二、東沙環礁瀉湖區3號礁坡團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



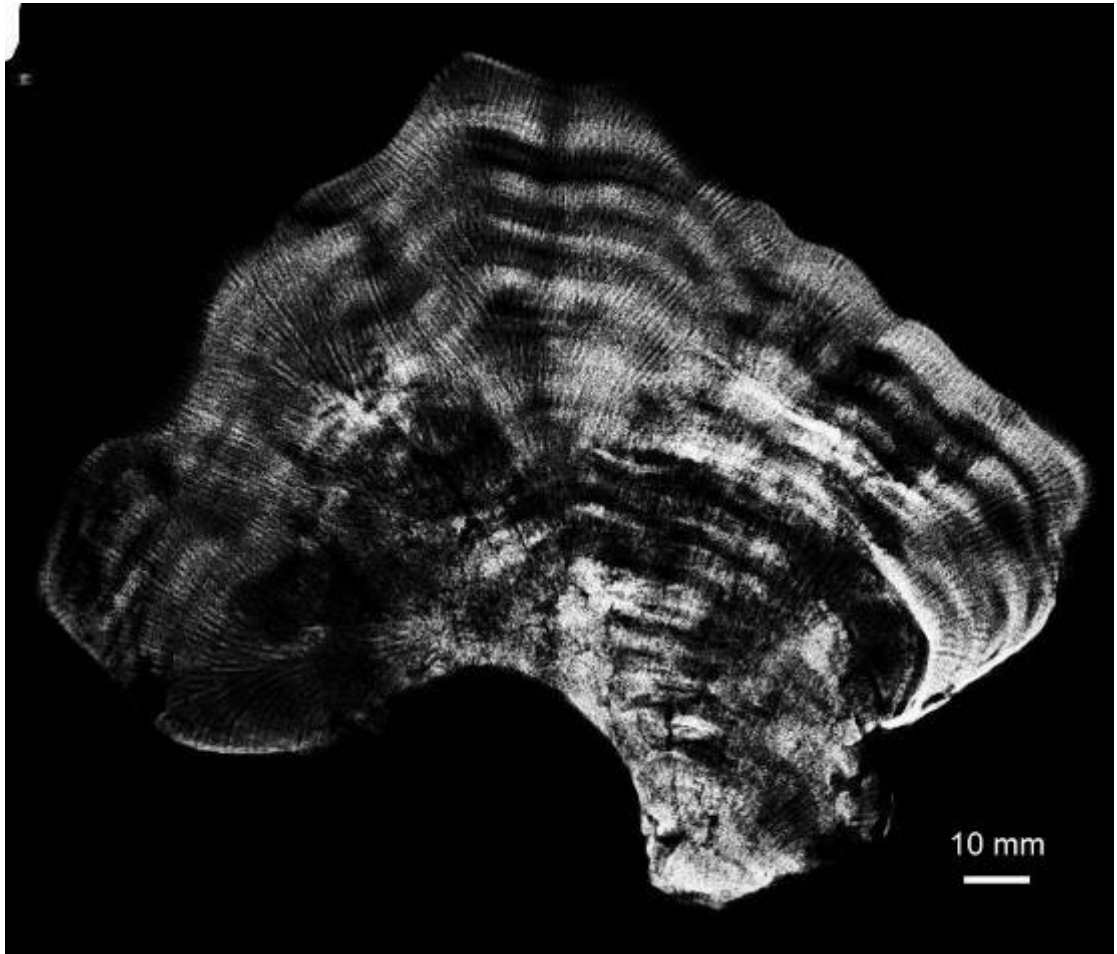
附圖二十三、東沙環礁瀉湖區4號礁坡團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



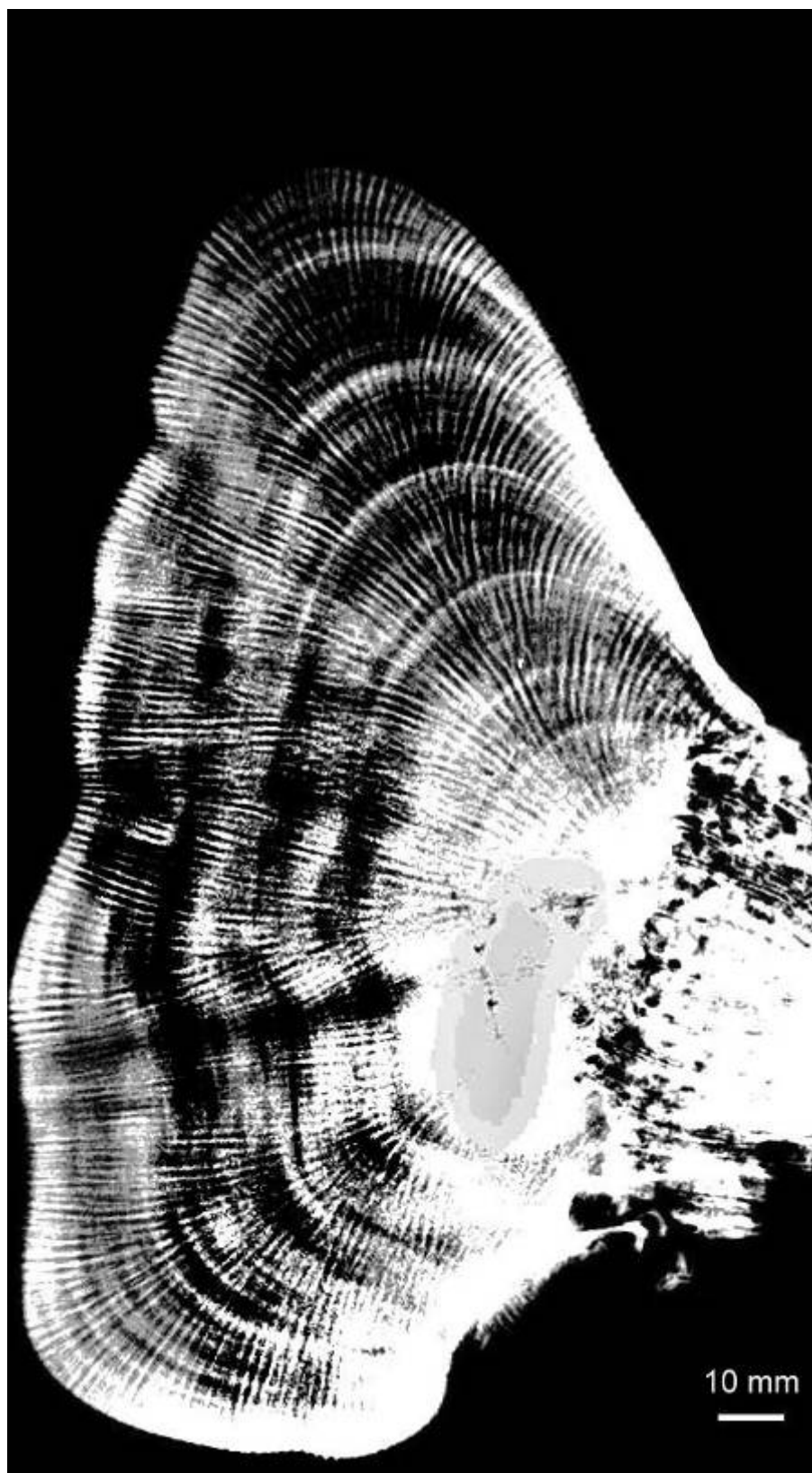
附圖二十四、東沙環礁瀉湖區5號礁坡團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



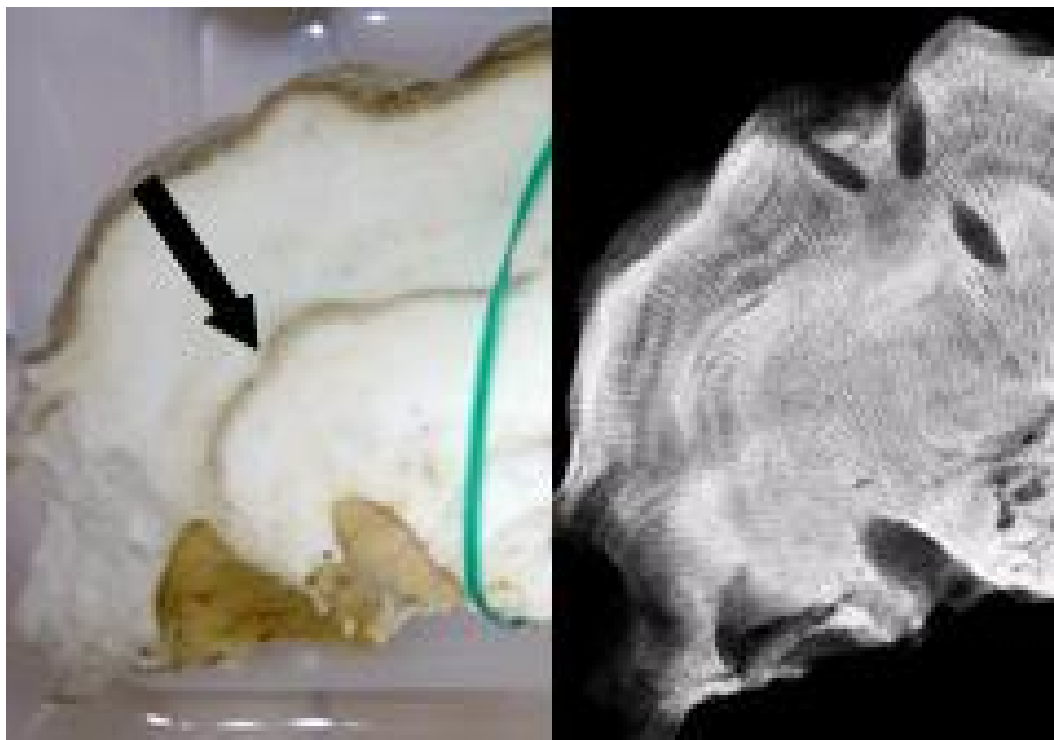
附圖二十五、東沙環礁瀉湖區6號礁坡團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



附圖二十六、東沙環礁瀉湖區7號礁坡團塊型微孔珊瑚生長X光照片。



附圖二十七、東沙環礁瀉湖區10號礁坡團塊型微孔珊瑚生長X光照
片。



附圖二十八、東沙環礁瀉湖區1號礁礁間珊瑚切片與x光照片，能從樣本照片看出中間有死亡時留下的黃灰色痕跡而無法從x光照片看出。



附圖二十九、東沙環礁瀉湖區發現的棘冠海星。



附圖三十、東沙環礁瀉湖內珊瑚被魚啃食的痕跡



附圖三十一、東沙環礁瀉湖中3米移植區之存活軸孔珊瑚片段。



附圖三十二、東沙環礁瀉湖中3米移植區之死亡軸孔珊瑚片段。



附圖三十三、東沙島北方軸孔珊瑚移植母株。



附圖三十四、東沙環礁瀉湖區十號礁礁坡觀察到的細緻軸孔珊瑚。



附圖三十五、東沙環礁瀉湖區10號塊礁礁坡觀察到新入添的軸孔小珊

附錄二 東沙環礁珊瑚復原指標評審會議紀錄與回覆

海洋國家公園管理處

「東沙環礁珊瑚復原指標研究」案 評審會議記錄

壹、時間：99年3月3日（星期三）下午3時整

貳、地點：本處視訊會議室

參、主持人：鄭肇家

記錄：莊正賢

肆、評審委員：

委員姓名	簽名	委員姓名	簽名
王維賢委員	王維賢	鄭肇家委員	鄭肇家
李澤民委員	請假	余澄堉委員	余澄堉
謝蕙蓮委員	謝蕙蓮	陳國永委員	陳國永
曾萬年委員	曾萬年		

伍、列席人員：

本處人員
王俊堯

陸、出席廠商代表：

中華民國珊瑚礁學會
宋克義、林紋如、劉書廷、方士碩

柒、討論及決定

一、報告事項之案由及決定

- (一) 本案依採購法第22條第1項第9款規定，採限制性招標，預算經費180萬元。於本年（99年）1月20日上網公告，2月4日上午10時假本處第1會議室舉行資格審查，計有中華民國珊瑚礁學會等1家廠商投標，經依據投標須知規定進行資格審查，符合投標資格，遂進行公開評選事宜。
- (二) 本案評選委員會由7名委員組成，本評選會議出席委員6名，其中外聘學者專家3名，符合應有委員總額二分之一以上出席，且其中外聘專家、學者人數，不得少於出席委員人數之三分之一之規定，遂進行本評選會議議程。
- (三) 本案工作小組初審意見，請參閱書面意見。

二、討論事項之案由及決定

- (一) 本標案計有中華民國珊瑚礁學會等1家廠商經資格審查，符合投標須知規定，請評選委員依投標須知之評選項目及配分評選。
- (二) 投標廠商簡報（略）
- (三) 評選委員意見

王維賢委員：

1. 珊瑚入添調查僅以記錄幼株數量及大小（< cm），如何量化反映每年的新增數量。
2. 病蟲害等破壞因子之比重如何量化。
3. 三種基本珊瑚類型（r、K、S）均勻分布地點具有優先保護之價值。是否三種珊瑚類型有最佳或自然界常見之比例。
4. 珊瑚產卵時間與復原指標研究有何關聯。

謝蕙蓮委員：

1. 本研究之hypotheses請說明，特別是有關劣化（相對於復原）的假設為何。是否劣化因素排除就有助於復原？

2. 指標架構為何？請明確先於架構出來。
3. 預期目標四、擬比較珊瑚種類的生殖差異與環境之關連，但在研究方法中p. 6並未進行環境因子採樣，如何能作比較？如何知道不利的因子是那些？
4. 瀉湖內大型珊瑚生長的採樣目的為何？與目標之關係為何？亦即知道生長速率的歷史對復原指標有何意義？對管理有何意義？
5. 強烈建議增加一節對管理上面的建議，包括所得結果在管理上的應用、指標的選擇、指標的意義、分區分級管理的初步計畫...等等。
6. 服務建議書p. 7研究方法中移動珊瑚至東沙島附近觀察.....，此類樣品如何取得？
7. 復原指標是否能提出(或指出)復原潛力的空間分布？

曾萬年委員：

1. 群聚(多樣性指標)與族群動態的研究層次要區隔。
2. 族群的層次，要選擇那種指標種來評估？

$$P_2 = P_1 + R(\text{入添量}) + R(\text{成長量}) - \text{損失死亡}$$
 (Predation and Disease 等) P_2, P_1 為 t_1 及 t_2 年的族群量
3. 復原指標的optimal標準在那裏？
4. 保護—如何保護？除了illegal fishing的防止之外，還能如何保護？保護的概念及策略？自然現象的話，不必保護。

余澄琦委員：

1. 廠商應交付調查影像圖片，惟邀標書及服務建議書均未載明數量，請查明於其他招標文件是否已載明。
2. 邀標書所載之工作內容有“珊瑚共生藻多樣性與耐熱系群分布評估”乙項，但服務建議書中研究方法與過程，似未敘明其研究方法與過程，建議補充敘明。
3. 經費配置，專任助理年終獎金高於1.5(月/年)的常

規，協同主持人津貼請列單價及支領月數。

陳國永委員：

1. 本計畫執行乃依5年通盤檢討為目標，訂出評估基準值、瞭解復原趨勢，作為100年度生物調查判斷之依據。
2. 服務建議書研究方法相關數據如何處理及指標如何建立。
3. 觀察點如何選定，如何進行環境描述，及相關頻率為何？

三、臨時動議之案由及決定：（無）

四、其他應行記載之事項：（無）

捌、決議

- 一、經彙整出席評選委員審查結果，中華民國珊瑚礁學會獲平均分數為82.2，序位名次第1，審查結果並經出席委員一致同意，依本案投標須知規定，由中華民國珊瑚礁學會取得優先議價權。
- 二、本委託研究案將擇日通知廠商議價，屆時請得標廠商將本評選委員建議修正之內容事項，納入合約辦理。

玖、散會（同日下午12時40分）

海洋國家公園管理處
「東沙環礁珊瑚復原指標研究」案 評審會議紀錄

壹、時間：99年3月3日（星期三）下午3時整

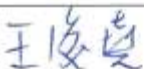
貳、地點：本處視訊會議室

參、主持人：鄭肇家  記錄：莊正賢

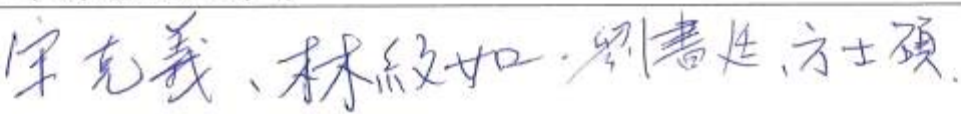
肆、評審委員：

委員姓名	簽名	委員姓名	簽名
王維賢委員		鄭肇家委員	
李澤民委員	(請假)	余澄堉委員	
謝蕙蓮委員		陳國永委員	
曾萬年委員			

伍、列席人員：

本處人員


陸、出席廠商代表：

中華民國珊瑚礁學會


「東沙環礁珊瑚復原指標研究」案 評審會議紀錄意見回覆

壹、時間：99年3月3日（星期三）下午3時整

貳、地點：本處視訊會議室

參、主持人：鄭肇家

記錄：莊正賢

肆、評審委員：

審查意見

意見回覆

謝委員蕙蓮：

1.本研究之 hypotheses 請說明， 1.感謝委員提問。本研究為調查

特別是有關劣化(相對於復原) 研究，尚無針對問題提出的假
的假設為何。是否劣化謝委員 說。環礁潟湖珊瑚群聚的劣化

蕙蓮：

假設，最嚴重的應為無珊瑚生
殖及生長；而區域間的差別可
能可顯示不同區域間的劣化程
度。劣化因素排除後未必有助
於復原，但至少自然發展的
機會。

2.指標架構為何？請明確先於架 2.本研究中所調查之活、死珊瑚

構出來。

覆蓋率、小珊瑚入添、團塊型
珊瑚生長速度等，均為珊瑚復
原的指標，詳情請閱成果報

告。

3. 預期目標四、擬比較珊瑚種類 3. 根據去年資料顯示，由於環礁的生殖差異與環境之關連，但在研究方法中 p.6 並未進行環境因子採樣，如何能作比較？如何知道不因素排除就有助於復原？
3. 根據去年資料顯示，由於環礁的溫度，東邊低；而塊礁的礁頂也較低，所以是否會造成生殖的差別是本研究想探討的問題，但受限於行程安排變動，改由海管處人員代為採樣，故僅得到東沙島附近的樣本。
4. 瀉湖內大型珊瑚生長的採樣目的為何？與目標之關係為何？亦即知道生長速率的歷史對復原指標有何意義？對管理有何意義？
4. 採樣大型珊瑚是為了瞭解不同地區的生長，是否與當地溫度有關？與歷史資料比較可確鑿是否有生長減緩的狀況，此資訊可作為排定保育優先順序的依據。
5. 強烈建議增加一節對管理上面的建議，包括所得結果在管理
5. 感謝委員建議。

上的應用、指標的選擇、指標的意義、分區分級管理的初步計畫...等等。

6.服務建議書 p.7 研究方法中移動珊瑚至東沙島附近觀察，此類樣品如何取得？ 6.此部分因行程安排問題，改以直接採樣觀察生殖腺發育取代。

7.復原指標是否能提出（或指出）復原潛力的空間分布？ 7.復原指標應可代表珊瑚群聚於環礁潟湖內的復原潛力，而這些珊瑚群聚的空間分佈基本上實際調查的各樣點。

曾委員萬年：

- 1.群聚（多樣性指標）與族群動態的研究層次要區隔。 1.感謝委員建議。
- 2.族群的層次，要選擇那種指標種來評估？ $P2 = P1 + R(\text{入添量}) + R(\text{成長量}) - \text{損失死亡}$ (Predation and Disease 等) $P2$ ， 2.基本上入添的部分以小珊瑚數量為主；而成長則依據珊瑚生長速率，此外還加入珊瑚生殖與否。

P1 為 t1 及 t2 年的族群量。

3. 復原指標的 optimal 標準在那裏？
3. 定性指標的有無只能用在復原中的狀態，無法有速率概念上的評估。

4. 保護—如何保護？除了 illegal fishing 的防止之外，還能如何保護？保護的概念及策略？自然現象的話，不必保護。

4. 同意委員說法。

余委員澄清：

1. 廠商應交付調查影像圖片，惟邀標書及服務建議書均未載明數量，請查明於其他招標文件是否已載明。
1. 感謝委員提醒。已於 p.12 中加註照片數量。

2. 邀標書所載之工作內容有“珊瑚共生藻多樣性與耐熱系群分布評估”乙項，但服務建議書中研究方法與過程，似未敘明
2. 已於 p.7 中補充研究方法與過程。

其研究方法與過程，建議補充

敘明。

3.經費配置，專任助理年終獎金 3.已於 p.11 中修正。

高於 1.5（月/年）的常規，協

同主持人津貼請列單價及支領

月數。

陳委員國永：

1.本計畫執行乃依 5 年通盤檢討 1.感謝委員指導。

為目標，訂出評估基準值、瞭

解復原趨勢，作為 100 年度生

物調查判斷之依據。

2.服務建議書研究方法相關數據 2.現階段只有定性的評估：復原

如何處理及指標如何建立。

中、衰退中或停滯期等，需累

積多年資料才有辦法建立相關

完整的指標。

3.觀察點如何選定，如何進行環 3.感謝委員提問。觀察點原則上

境描述，及相關頻率為何？

依據 2009 年的 10 個調查點，

以塊礁為主，監測頻率由於珊瑚群聚的變動不大，因此以一年一次為主。





附錄三 東沙環礁珊瑚復原指標期中審查會議紀錄與回覆

「東沙環礁珊瑚復原指標研究」期中審查會 會議紀錄

- 一、 開會時間：中華民國 99 年 7 月 23 日星期五下午 2 時 00 分
- 二、 開會地點：本處視訊會議室
- 三、 主持人：楊模麟處長
記錄：蔡雅如
- 四、 出席單位及人員：如簽到簿
- 五、 報告事項：

(一)本計畫辦理事項為，1.訂定東沙環礁珊瑚整體復原量化指標；2.調查及分析各項珊瑚復原個別指標，包括(1)紀錄不同棲所三基本類型(rKS)珊瑚覆蓋率，以反推其環境及相對應之保育措施，探討珊瑚變動狀況指標；(2)以截線採樣影像記錄不同棲所之現生珊瑚，以方便長期比較，建立珊瑚狀況指標；(3)了解東沙環礁不同棲所近年新珊瑚入添之組成及密度，了解珊瑚復原指標內在因子；(4)比較東沙環礁內不同棲所珊瑚生長率是否降低，進而探討珊瑚復原指標內在因子；(5)調查東沙環礁內潛在之負面破壞因子(如疾病、捕食者...)，以了解珊瑚復原指標外在因子；(6)研究東沙珊瑚之有性生殖，並比較不同地區相同珊瑚種類的生殖差異與環境之關聯；(7)建立造礁珊瑚共生藻多樣性與耐熱系群分布的調查，作為評估復原與抵抗逆

境的依據，以提供本處對於珊瑚礁保育經營管理之參考；3.了解東沙珊瑚變動趨勢，並針對各海域及不同棲所珊瑚特徵，訂定保育方式。

(二)本案係委託中華民國珊瑚礁學會（計畫主持人：中山大學海洋生物研究所宋克義教授）辦理，經99年1月20日公開招標，2月4日開標符合資格，3月3日評選會議通過，3月19日簽訂契約，計劃執行期限為99年3月19日至99年12月30日。

(三)本案受託單位依規定於99年7月15日前提送期中報告過處符合規定，爰訂於99年7月23日召開期中審查會議。

六、簡報：略

七、委員意見：

羅文增教授：

- 1.整體文獻回顧做得不錯。
- 2.建議將各種指標整理(綜合)為一說明(分析)表。
- 3.內文及圖表內之格式請儘求一致，包括字型及大小及中(英)文等。
- 4.內文錯別字及部分文辭請自行再檢視修正。
- 5.圖 2-1 請標示尺度及單位及指北方向(N)。
- 6.其他細部建議請參閱「期中報告」內文。

林幸助教授：

- 1.若此計畫為第二年期，報告中應置入第一年之成果概述。
- 2.是否可以同時記錄海草或其他基質之覆蓋度。
- 3.建議將簡報檔之礁頂礁背等之位置圖置入報告中。
- 4.病蟲害所指為何應該再評述之。
- 5.共生藻資料未置入期中報告。
- 6.報告中圖說標示與格式混亂，請統一。
- 7.報告中有錯字，請修正。
- 8.如何訂出這些珊瑚復原指標及其意義？

呂明毅副研究員：

- 1.研究指出死亡珊瑚骨骼覆蓋在環礁各處(80%左右)，可能會對潟湖內水質及珊瑚的入添、生長存活有負面影響。請問未來之保育策略可否建議以人為方式，移除這些死亡珊瑚骨骼及碎屑？
- 2.鸚哥魚雖會啃食珊瑚，但對珊瑚礁的復育更新可能有所貢獻，建議一併納入未來監測的生物性影響因子。
- 3.一些文字小錯誤，請更正：
(1)摘要：第 8 行、第 18 行，倒致 「導」致。

(2)第一章緒論，P.9 第 9 行，石珊瑚為主 石珊瑚為「輔」。

(3)第二節目前進步與結果，P.18 第 16 行，刪除「頂、間 $P<0.005$ 」。

(4)P.19 第 6 行，吳尊賢博士 吳「瑞」賢博士。

(5)P.20 第 10 行，附圖 11 附圖十「四」(請再確認)。

(6)參考書目，P.37(第 11 行，魏傑 魏「杰」；第 15 行，刪除「王玉懷」)

王樹倫副教授：

- 1.在如此短的時間內完成此份報告實屬不易，應給予肯定，期望結案報告是份圖文並茂精緻易讀的報告。
- 2.文中引用文獻的方式不統一，且部份引用資料無法在參考書目內找到，宜仔細校對。
- 3.有些文字繕打錯誤，尤其在摘要內要儘量避免，「倒」致；「補」魚。
- 4.圖文分布宜再考量一下。例如哪些要放在圖內、哪些要放在附圖內。以我非珊瑚專業，我很想知道 Patch reef 塊礁的空間分布，唯一可以找到是附圖一及圖 2-1，圖要表達

的意義不清楚；品質也有待提升，有些圖 Y 軸，單位顛倒，建議第一章內放一張清晰的研究位置或區域圖。

5.建議摘要內每個段落前，不需有小標題。

6.有些專業的「行」語，可否更白話，如永久穿越線、小珊瑚入添、復原之瓶頸等非珊瑚專業一下子無法窺其堂奧。

楊模麟處長：

1.可否撰述珊瑚復原指標的重要性。

2.另外這些指標所代表的面向，是否可以針對(1)政策決策者、(2)專家、(3)經營管理者以及(4)民眾，給予介紹與建議。

3.本案的指標是否可以量化或是使用數字表示，以供日後檢核之用。並提供一綜合判斷的指標，及說明這些指標的重要性，讓政策決策者或經營管理者，了解復育程度與復原指標間的關聯，及該往哪個方向進行保育復育。

徐韶良秘書：

1.塊礁的選擇是否可代表環礁區域內整體塊礁的特性；而塊礁對於整體環礁的代表性如何？

2.小珊瑚的生長率在 2.5cm 有個 peak，可否解釋其代表之意義。

3. 報告中計算不同種類珊瑚含卵量代表珊瑚的生產力，其生產力代表的意義不同種類可以比較嗎？另外與其他地方的珊瑚比較，是否有其差異。
4. 軸孔珊瑚在潟湖內的量很少，未來如經研究證實，入添量不足與海水溫度過高的二項假設皆成立，則是否在現地經營管理上應有更積極的作為？例如外環礁冷海水的引入。
5. 報告書環礁內總珊瑚的覆蓋率高達 24.7% (p.8~9) 甚至高過塊礁的珊瑚覆蓋率 24%，請問如何推估？或說明其不一致的原因。
6. 文中指出的珊瑚礁保護等級與棲地類型，是否可以說明其定義。
7. 本案的目標是期望可以作為未來東沙環礁復育監測之參考依據，不知本案作定義的七項復原指標是否足夠達到其目標及現場將如何應用？

余澄堉課長：

1. 第一章緒論中對於復育探討的課題，所提中尺度與小尺度在執法上的改善方法，有何不同或建議？
2. 報告中有些口語化的文字，請檢視修正。

3.東沙環礁國家公園已成立 4 年，接下來要檢討是否開放遊憩行為，可否請執行單位提供潛水點的位置及規劃，以供本處參考。

陳國永課長：

- 1.珊瑚產卵的時間是否有其代表性。
- 2.對於工作進度，請執行單位要確實掌控。
- 3.文中永久樣區的設立，是否有其選擇之依據或其代表性，請說明。
- 4.關於復原指標的部份，能否有整體規劃架構，以利了解。


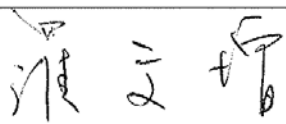
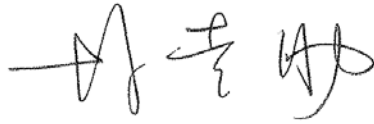

八、決議：

本案期中審查原則通過，請受託單位中華民國珊瑚礁學會根據審查委員及與會人員所提之意見，予以修正並納入後續應辦理事項。

九、臨時動議：無

十、散會（中午 16 時 10 分）

海洋國家公園管理處「東沙環礁珊瑚復原指標研究」委託研究計畫期中審查會議紀錄

時 間：99 年 7 月 23 日(星期五)下午 2 時	
地 點：本處視訊會議室	
主 席：楊模麟處長  記 錄：蔡雅如	
出席人員	簽 到 處
國立中山大學海洋生物研究所 李澤民教授	請 假
國立中山大學海洋資源學系 羅文增教授	
國立中興大學生命科學系 林幸助教授	
國立海洋生物博物館 呂明毅副研究員	
高雄海洋科技大學海洋環境系 王樹倫副教授	請 假

出席機關(單位)	職稱	簽到處
海洋國家公園管理處	副處長	蘇翠亭
	秘書	徐部長
	企劃經理課	余澄堉
	解說教育課	
	保育研究課	陳國永
出席廠商	職稱	簽到處
中華民國珊瑚礁學會	理事	宋克義
		陳昭倫

「東沙環礁珊瑚復原指標研究」委託研究計畫
期中審查會 會議紀錄

- 一、 開會時間：中華民國 99 年 7 月 23 日 星期五下午 2 時 00 分
- 二、 開會地點：本處視訊會議室
- 三、 主持人：楊模麟處長 記錄：蔡雅如
- 四、 委員意見：

審查意見

意見回覆

羅文增委員：

1. 整體文獻回顧做得不錯。 1. 感謝委員意見。
2. 建議將各種指標整理(綜合)為一說明(分析)表。 2. 感謝委員建議。
3. 內文及圖表內之格式請儘求一致，包括字型及大小及中(英)文等。 3. 感謝委員指正。全文已統一格式。
4. 內文錯別字及部分文辭請自行再檢視修正。 4. 感謝委員指正。全文已修改。
5. 圖 2-1 請標示尺度及單位及指北方向(N)。 5. 感謝委員意見。

6.其他細部建議請參閱「期中報告」內文。 6.感謝委員意見。全文已修改。

林幸助委員：

1.若此計畫為第二年期中之報告 1.感謝委員建議。已於期末報告中應置入第一年之成果概述。 中增加介紹第一年成果。

2.是否可以同時記錄海草或其他基質之覆蓋度。 2.感謝委員意見。於東沙環礁潟湖區幾乎為珊瑚殘骸、活珊瑚、泥沙組成，在調查點中僅在 3 號礁間發現少數海草，於穿越線上取得之照片使用 CPCe 分析時會依照取樣點紀錄底質種類。

3.建議將簡報檔之礁頂礁底等之位置圖置入報告中。 3.感謝委員建議。已修改圖表位置。

4.病蟲害所指為何應該再評述之。 4.感謝委員意見。於期末報告中增加對病蟲害之介紹。

5.共生藻資料未置入期中報告。 5.感謝委員指正。已於期末報告



併入。

6.報告中圖說標示與格式混亂，請統一。
6.感謝委員指正。圖說已修正並統一格式。

7.報告中有錯字，請修正。
7.感謝委員指正。全文已修正。

8.如何訂出這些珊瑚復原指標及其意義？
8.感謝委員意見。生長、生殖、入添、死珊瑚覆蓋率為珊瑚

群聚之基本現象，皆可從中得知珊瑚群聚發展現況，而珊瑚覆蓋率與類型分佈調查是以 Edinger 於 2000 年提出，以三大珊瑚類型比例評估該區珊瑚保育價值，不同的珊瑚礁類型可代表受環境影響的程度，通常破壞越多保育價值越低。

呂明毅委員：

1.研究指出死亡珊瑚骨骼覆蓋在
1.感謝委員意見。所有的環礁潟

環礁各處(80%左右)，可能會對潟湖內水質及珊瑚的入添、生長存活有負面影響。請問未來之保育策略可否建議以人為方式，移除這些死亡珊瑚骨骼及碎屑？

湖區都會發生類似的情況，若以人為方式移除底質在擴大到整體環礁時效力不彰，不建議以人為方式移除珊瑚殘骸。

2. 鸚哥魚雖會啃食珊瑚，但對珊瑚礁的復育更新可能有所貢獻，建議一併納入未來監測的生物性影響因子。

2. 感謝委員意見。鸚哥魚數量於調查點不多，且無法有效估計數量，在調查作業上有困難。

3. 一些文字小錯誤，請更正：

(1) 摘要：第 8 行、第 18 行，倒 3. 感謝委員指正。全文已修改。

致→「導」致。

(2) 第一章緒論，P.9 第 9 行，石

珊瑚為主→石珊瑚為「輔」。

(3) 第二節目前進步與結果，P.18

第 16 行，刪除「頂、間

P<0.005」。

(4)P.19 第 6 行，吳尊賢博士→吳

「瑞」賢博士。

(5)P.20 第 10 行，附圖 11→附圖

十「四」(請再確認)。

(6)參考書目，P.37(第 11 行，魏

傑→魏「杰」；第 15 行，刪

除「王玉懷」)

王樹倫委員：

1.在如此短的時間內完成此份報 1.感謝委員意見。

告實屬不易，應給予肯定，期

望結案報告是份圖文並茂精

緻易讀的報告。

2.文中引用文獻的方式不統一， 2.感謝委員指正。已重新校對參

且部份引用資料無法在參考 考資料。

書目內找到，宜仔細校對。

3.有些文字繕打錯誤，尤其在摘 3. 感謝委員指正。全文已修改。

要內要儘量避免，「倒」致；

「補」魚。

4.圖文分布宜再考量一下。例如 4.感謝委員建議。

哪些要放在圖內、哪些要放在

附圖內。以我非珊瑚專業，我

很想知道 Patch reef 塊礁的空

間分布，唯一可以找到是附圖

一及圖 2-1，圖要表達的意義

不清楚；品質也有待提升，有

些圖 Y 軸，單位顛倒，建議第

一章內放一張清晰的研究位

置或區域圖。

5.建議摘要內每個段落前，不需 5.感謝委員意見。此微委託研究

有小標題。

計畫報告摘要格式。

6.有些專業的「行」語，可否更 6.感謝委員意見。

白話，如永久穿越線、小珊瑚

入添、復原之瓶頸等非珊瑚專

業一下子無法窺其堂奧。

楊模麟處長：

- 1.可否撰述珊瑚復原指標的重要 1.感謝處長建議。
性。
- 2.另外這些指標所代表的面向， 2.感謝處長意見。於最後章節建
是否可以針對(1)政策決策 議部分提出。
者、(2)專家、(3)經營管理者
以及(4)民眾，給予介紹與建
議。
- 3.本案的指標是否可以量化或是 3.感謝處長意見。每項指標變化
使用數字表示，以供日後檢核 差異極大，若以量化或合併
之用。並提供一綜合判斷的指 成數字則無法與其他調查做
標，及說明這些指標的重要 細部比較，故另外於建議之
性，讓政策決策者或經營管理 章節提出保育及復育執行意
者，了解復育程度與復原指標 見。
間的關聯，及該往哪個方向進
行保育復育。

徐韶良秘書：

- 1.塊礁的選擇是否可代表環礁區 1.感謝秘書意見。塊礁為系統性
域內整體塊礁的特性；而塊礁 抽查分佈在環礁內的樣點，

對於整體環礁的代表性如何? 我們假設塊礁間差異不大。
雖然塊礁在環礁中面積極少，但包含的棲所類型卻很多樣，故有一定的代表性。

2.小珊瑚的生長率在 2.5cm 有個 peak，可否解釋其代表之意義。
2.感謝秘書意見。此可能為幾年前一次較大規模入添成功所導致。

3.報告中計算不同種類珊瑚含卵量代表珊瑚的生產力，其生產力代表的意義不同種類可以比較嗎?另外與其他地方的珊瑚比較，是否有其差異。
3.感謝秘書意見。生殖力是於同種類間比較使用，只有美麗軸孔珊瑚能鑑別到種，進行與其他地方美麗軸孔珊瑚的比較，在日本同種珊瑚生殖力在 7-9 個卵左右，和東沙的美麗軸孔珊瑚卵數相當。

4.軸孔珊瑚在瀉湖內的量很少，未來如經研究證實，入添量不
4.感謝秘書意見。該部分需交由海洋工程等專業人員給予建

足與海水溫度過高的二項假 議。

設皆成立，則是否在現地經營

管理上應有更積極的作為?例

如外環礁冷海水的引入。

5.報告書環礁內總珊瑚的覆蓋率 5.感謝秘書意見。於之前的調查

高達 24.7%(p.8~9)甚至高過塊 中並無固定調查棲所，所以

礁的珊瑚覆蓋率 24%，請問如 會有因覆蓋率不佳而更換調

何推估?或說明其不一致的原 查點的狀況，包含人為偏

因。 差，我們的調查點排除人為

偏見，單純以抽樣做調查。

6.文中指出的珊瑚礁保護等級與 6.感謝秘書意見。於期末報告中

棲地類型，是否可以說明其定 增加說明定易。

義。

7.本案的目標是期望可以作為未 7.感謝秘書意見。這些復原能力

來東沙環礁復育監測之參考 指標皆可應用於管理層面，

依據，不知本案作定義的七項 將於討論部分說明。

復原指標是否足夠達到其目

標及現場將如何應用？

余澄堉課長：

1. 第一章緒論中對於復育探討的課題，所提中尺度與小尺度在執法上的改善方法，有何不同或建議？
1. 感謝課長意見。小尺度須仰賴執法單位查緝更加嚴苛，而中尺度方面更需要國際的合作，從管理層面下手，尋求

高層核發許可證時的嚴格省察，以及港口交易漁貨的限制。

2. 報告中有些口語化的文字，請檢視修正。
2. 感謝課長意見。已修正。

3. 東沙環礁國家公園已成立 4 年，接下來要檢討是否開放遊憩行為，可否請執行單位提供潛水點的位置及規劃，以供本處參考。
3. 感謝課長意見，此於建議章節中提出。

陳國永課長：

1. 珊瑚產卵的時間是否有其代表
1. 感謝課長意見。珊瑚的產卵有

性。

時候會分到兩個月份，這次的調查只能說明該月份有珊瑚進行生殖行為而不能代表全東沙的珊瑚生殖時間。

2.對於工作進度，請執行單位要 2.感謝課長提醒。

確實掌控。

3.文中永久樣區的設立，是否有 3.感謝課長意見。永久穿越線的其選擇之依據或其代表性，請 樣區是從之前調查覆蓋率後說明。

挑選出保育等級較高或覆蓋率較高的區域，希望能更確切掌握珊瑚相變動。

4.關於復原指標的部份，能否有 4.感謝課長意見。補充於前言及整體規劃架構，以利了解。 討論的部分。

附錄四 東沙環礁珊瑚復原指標期末審查會議紀錄與回覆

「東沙環礁珊瑚復原指標研究」委託研究計畫期末審查會議紀錄

一、開會時間：99年12月2日(星期二)下午2時

二、開會地點：本處視訊會議室

三、主持人：鄭肇家副處長

記 錄：賴瑋倩

四、出席單位及人員：如簽到簿

五、報告事項：

(一) 本計畫係委託中華民國珊瑚礁學會(計畫主持人：中山大學海洋生物研究所宋克義教授)辦理，本計劃預定完成之工作項目含：

1. 調查並提出東沙環礁珊瑚群聚結構及變動之主要因素；
2. 調查並提出東沙環礁珊瑚群聚的復原評估模式或指標；
3. 調查東沙環礁珊瑚的有性生殖時間；
4. 完整掌握東沙環礁珊瑚礁發展現況，並提出對未來氣候變遷衝擊的因應及復育對策。

(二) 本研究計畫契約期程為99年3月19日至99年12月30日止。本案受託單位業依規定於99年11月15日前提送期末報告過處符合規定，爰於本日召開期末審查會議。

六、受託單位簡報(中華民國珊瑚礁學會)(略)

七、討論

楊模麟處長：

- 1.我記得在期中報告時，老師提到東沙珊瑚的復育一定是要靠自然的力量，若是要優先復育的話，建議了兩個地點，一個是在環礁東北，另一個是在東沙島東方，因為此兩區域珊瑚在 rKS 曲線上是比較適合進行復育的地方。
- 2.小珊瑚入添量持續進來，若溫度若不持續變高的話，靠自然力量復原的前景看好，不過今天在看了老師的報告之後，發現好像有點落差。
- 3.報告中比較了世界各國的珊瑚礁系統，深度多少不清楚，書中提到北方三島沒有發現白化現象，老師提到今年溫度 30 度，溫度變化不是太大的影響因素，期中報告中討論了 6 個點，現在期末討論了 10 個點，為何歸納出的結論差異這麼大？例如生長率從期中報告的 9mm 變成期末報告的 10.5mm。
- 4.從老師報告中提到與珊瑚共生的共生藻有耐熱型的部分，讓我想到在全球暖化下，是否有可能進行耐熱型的珊瑚復育？

- 5.報告中提到 7 項珊瑚復原指標，是否能提供出一個權重，比如生長率佔多少百分比，入添量佔多少百分比，最後加總起來得出一個復原狀態。
- 6.可否請老師寫個 2-3 頁的解說內容提供我們海管處做環境教育之用？

林幸助教授：

- 1.期末報告整體看起來比期中報告好很多。我也覺得水溫不是影響的因素，是否有做水溫的長期監測是很重要的，連續的水溫監測器是一定要設立的。
- 2.在報告中列出多項的珊瑚復原指標中，似乎珊瑚的入添量是個限制因子，不過還是可以看到一些小珊瑚，會不會與底質有關？有何方法可以知道珊瑚入添從哪裡來？
- 3.為什麼礁坡的珊瑚入添密度高？
- 4.為什麼小珊瑚密度在礁頂高？
- 5.為什麼珊瑚生長速率各年間變易大？
- 6.共生藻組成似乎不是一個好指標，對於珊瑚復原而言，其理論基礎為何？

王玉懷副教授：

- 1.多重指標設計實驗，資料豐富，分析深入。

- 2.入添率指標顯示東沙環礁珊瑚狀況不良。小於 5cm (10 歲) 之小珊瑚能否承受夏季高溫？
- 3.北航道為海水交換主要孔道，有機會帶入環礁外較深之冷水。可能會降低高溫之影響？
- 4.要將東沙環礁珊瑚狀況恢復到 1998 年以前的狀況可能性似乎不大，建議經營管理之策略：除珊瑚外，考慮其他納入生態旅遊特色之項目：海草、貝類、魚蝦（如俾磔貝、龍蝦、龍膽石斑）等，不用將焦點集中在珊瑚的復原情況上。不過要以禁止捕獵為先決條件。

鄭肇家副處長：

- 1.內波效應在東沙環礁復育的影響上是否有影響？

戴昌鳳教授（書面意見）：

- 1.本計畫在經費有限及諸多野外作業限制之下，對東沙環礁瀉湖區的珊瑚做了多方面的調查和研究，而且各方面都有些成果，基本上是相當不容易的。
- 2.關於珊瑚復育指標，請補充說明(1)為何選用這些指標，(2)各指標代表的意義，(3)未來的監測應優先選用何種指標，(4)各指標的判斷基準。

- 3.圖 2-4, 2-5 皆為小珊瑚之科別組成及空間分布，應於圖說中註明，此科別組成與成體珊瑚之組成和空間分布是否有差異？
- 4.圖 2-13 應註明珊瑚類別及各值的標準差或範圍，圖說中”棲底”應為”礁底”。
- 5.表 3-1 最後一欄應為”指標現況”，評估方式及標準是否於文中補充說明，以免太過主觀。
- 6.文獻有缺不少，尤其是共生藻部分，請補充。
- 7.一些錯別字請改正，如：第 84 頁，第 5 行：“頻估”應為”評估”，倒數第 2 行：“礁檯”應為“礁台”，另外，p.5 學名請用斜體字。
- 8.為使研究站人員將來能引用相同作法，請補充”r-K-S”類別珊瑚種類之列表。

蔡雅如研究員：

- 1.2000-2002 年珊瑚生長率在礁間生長有較快的現象，是否與當時反聖嬰現象明顯所導致的溫度變化有關？建議老師找資料比對。
- 2.本案珊瑚復原指標是否可以量化，以作為管理站同仁未來進行珊瑚礁長期監測的參考。

3.報告所提到全球中宣稱珊瑚礁已復原的地區是依哪些復原指標，與本案所提的是否相似？

陳慧如技士：

1.依我在島上進行的調查，在東沙島周邊可發現小軸孔珊瑚的入添，但亦發現在夏季高水溫期珊瑚有部分死亡之現象。

2.而春夏底藻的滋生可能也會阻礙珊瑚著苗，是否有可能阻礙珊瑚苗進入潟湖內的因子？

莊正賢技正：

1.p.27 最後一段提到礁頂、礁底、礁坡與礁間的生長速度不同，此差異係由礁底生長速率較慢造成，請老師說明是什麼意思。

2.東沙環礁的海水交換都在環礁西邊，是否與水流交換不良這樣的環境因素有關，而非其他生物因子影響所致？

許書國課長：

1.珊瑚覆蓋率調查結果，七個塊礁的調查區與永久穿越線（達 75%）所得結果有相當大的差異，其中永久穿越線只做 10 公尺，其代表性是否足夠？又 2008 年盧或戴老師的調查，潟湖東邊之覆蓋率優於西邊，而本報告東西區並無

差異，且均偏低，其造成差異之原因，可否分析？未來本處如欲加以評估，應採用何種方式？

2.小珊瑚入添量小，是否受到環境基質影響？在環礁礁台是否有可能情況較好？而非缺乏入添源？

陳國永課長：

- 1.報告中提及共生藻的分析，是萃取 DNA 進行分子鑑定共生藻品系，是否有定序？是否有嘗試了解內部演化適應的情形？是否可以從基因序列來了解哪部分有助耐熱功能？
- 2.決定共生藻品系為何？影響共生藻品系為何？另外 p.77 p.78 描述上是否有矛盾？
- 3.p.59 之圖 2-27，東沙各樣點共生藻類型分布圖，1)似乎是 C 型為主，結論認為 D 型及 C+D 型為主，可是 2)就過去的調查了解，溫度以潟湖東側及南北航道偏低。請說明。

賴瑋倩研究員：

- 1.中文摘要內容與英文摘要有異，請依英文摘要修訂為正確內容，另 Abstract 中東沙環礁國家公園名稱請修正。
- 2.在本報告摘要中提出八項珊瑚復原指標：生殖、小珊瑚入添、生長率、死亡率、病蟲害、珊瑚覆蓋率、類型 (rKS)

分布與共生藻。然而在內文中並無針對死亡率做出討論，可否說明之？

3.第 7 頁提及『在低營養鹽高刮食壓力下對珊瑚礁生物多樣性的維持可能是最有利的狀況』，可否再做解釋說明？

4.圖表的輔助：十座塊礁的位置在整個環礁中標示非常不清楚，請明確標出；第 34 頁共生藻組成部分，是否可輔以表格呈現？

5.報告中未提及此九座塊礁的調查在東沙環礁珊瑚群聚之代表性。

6.本案之成果報告格式請依剛提供給老師的內政部委託研究格式撰寫(包含封面)。

7.有不少錯字請更正，”補”魚、”紀”錄、”頻”估，第 66 頁 $N22^{\circ} \rightarrow 22^{\circ}N$ ，第 77 頁共生藻類型卻皆為---

8.塊礁對於整體環礁的代表性在期末報告中還是未見老師述明。

八、結論

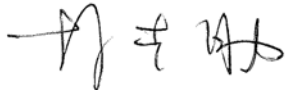

執行單位對於現場資料收集進度符合，所以本案期末審查原則通過，請受託單位中華民國珊瑚礁學會根據審查委員及與會人員所提之意見，予以修正並納入後續應辦理事項。

九、散會（同日下午 3 時 52 分）



海洋國家公園管理處「東沙環礁珊瑚復原指標研究」委託研究計畫

期末審查會議紀錄

時 間：99 年 12 月 2 日(星期四)下午 2 時	
地 點：本處視訊會議室	
主 席：楊模麟處長	
記 錄：賴瑋倩	
出席人員	簽 到 處
國立台灣大學海洋研究所 戴昌鳳教授	請假
中央研究院生物多樣性研究中心 謝蕙蓮研究員	請假
國立中山大學海洋生物研究所 李澤民教授	請假
國立海洋生物博物館 王維賢館長	請假
國立中興大學生命科學系 林幸助教授	
國立師範大學生命科學系 陳仲吉教授	請假
國立中山大學海下科技暨應用海 洋物理研究所 王玉懷副教授	

出席機關(單位)	職稱	簽到處
海洋國家公園管理處	副處長	鄭肇亨
	秘書	徐部長
	企劃經理課	吳心穎
	解說教育課	許書國
	保育研究課	王伶兒 · 陳慧如 賴瑋倩 蔡麗如 莊正賢
	東沙管理站	請假
出席廠商	職稱	簽到處
中華民國珊瑚礁學會	計畫主持人	宇克義
		許嘉閔 鄧北揚 劉書廷

「東沙環礁珊瑚復原指標研究」委託研究計畫

期末審查會議紀錄意見回覆

一、開會時間：99年12月2日(星期二)下午2時

二、開會地點：本處視訊會議室

三、主持人：鄭肇家副處長

記 錄：賴瑋倩

四、委員意見：

審查意見

意見回復

楊處長模麟：

- | | |
|---|---|
| <p>1.我記得在期中報告時，老師提到東沙珊瑚的復育一定是要靠自力的力量，若是要優先復育的話，建議了兩個地點，一個是在環礁東北，另一個是在東沙島東方，因為此兩區域珊瑚在 rKS 曲線上是比較適合進行復育的地方。</p> | <p>1. 原則上，要優先保育的是現況最佳的，以 rKS 來當指標，在瀾湖東方及東北方的 1、2、3、4 號礁四種棲所合併後接近保育等級四的區域，所以保育價值高，唯軸孔珊瑚的數量少。原則上，要優先復育的是現況最差，但破壞因素已消除的。目前任何復育工作，應以驗證「破壞因素是否已消除」為前提，2010 年度已進行小範</p> |
|---|---|

圍(2 個點) 驗證, 結果樂觀(詳見 2010 報告), 往後可增加驗證點涵蓋範圍, 同時進行復育技術測試。

2. 小珊瑚入添量持續進來, 若溫度若不持續變高的話, 靠自然力量復原的前景看好, 不過今天看了老師的報告之後, 發現好像有點落差。
2. 就長遠來看, 是可以靠自然恢復, 在做比較的這些環礁在覆蓋率上比東沙環礁高, 而他們也提出珊瑚入添和本身覆蓋率相關, 所以東沙環礁的珊瑚覆蓋率增加後, 入添的珊瑚苗也會增加, 所以靠自然力恢復是時間上較長。

3. 報告中比較了世界各國的珊瑚礁系統, 深度多少不清楚, 書中提到北方三島沒有發現白化現象, 老師提到今年溫度 30 度, 溫度變化不是太大的影響因素, 期中報告中討論了 6 個點,
3. 感謝處長指教。今年的水溫與去年相較的確有顯著差異, 但差異不見得會造成珊瑚的傷害。在第一次進行調查時是以 2009 年度調查中珊瑚覆蓋率較佳的區域優先, 所以與第二

現在期末討論了 10 個點，為何歸納出的結論差異這麼大？例如生長率從期中報告的 9mm 變成期末報告的 10.5mm。

批調查的情況會有部分落差。在珊瑚生長率上，去年在計算年生長速度的量測線不全由珊瑚當年生長最快處計算，所以在期末報告時統一重新測量，且由同一人判斷排除掉人為誤差。

4. 從老師報告中提到與珊瑚共生的共生藻有耐熱型的部分，讓我想到在全球暖化下，是否有可能進行耐熱型的珊瑚復育？

4. 目前已知的研究中，與 C 型共生的珊瑚其生長率及鈣化速率都較 D 型來的快，而有的珊瑚其宿主具有與共生藻的專一性，未必皆能與 D 型共生藻共生，因此還有待觀察。

5. 報告中提到 7 項珊瑚復原指標，是否能提供出一個權重，比如生長率佔多少百分比，入添量佔多少百分比，最後加總起來得出一個復原狀態。

5. 感謝處長提議。指標是依照需要去使用的，沒有辦法合併成單一指數，今年度因為沒有之前資料比較，所以以太平洋其他環礁潟湖作比較，之後可以

以今年的結果做基準，像是小珊瑚數量增加、覆蓋率增加表示有進步，而死亡比率降低或不變則為佳。

6. 可否請老師寫個 2-3 頁的解說內容提供我們海管處做環境教育之用？
6. 感謝處長建議。此文件將附電子檔於成果報告光碟中。

林委員幸助：

1. 期末報告整體看起來比期中報告好很多。我也覺得水溫不是影響的因素，是否有做水溫的長期監測是很重要的，連續的水溫監測器是一定要設立的。
1. 感謝委員指教。我們在東沙島北方有設置一顆自計式溫度計，約能記錄 3 年左右，可待後續收回。

2. 在報告中列出多項的珊瑚復原指標中，似乎珊瑚的入添量是個限制因子，不過還是可以看到一些小珊瑚，會不會與底質有關？有何方法可以知道珊瑚入添從哪
2. 底質與珊瑚的入添是有相關的，在不穩定的底質小珊瑚易被沉積物掩蓋而死亡，但沒有做這一部份的實驗，無法確定在東沙的影響情況。小珊瑚入

裡來？

添的來源目前無法得知，但應仍以環礁內外自產的為大多數。

3. 為什麼礁坡的珊瑚入添密度高？ 3. 我們推測礁坡的沉積物較少可能造成存活率，甚至附苗率高。

4. 為什麼小珊瑚密度在礁頂高？ 4. 小珊瑚密度平均為礁坡>礁間>礁底>礁頂，礁頂水溫較高，可能是影響的因素，確切因素還未知。

5. 為什麼珊瑚生長速率各年間變異大？ 5. 珊瑚生長是在共生藻協助下，堆積碳酸鈣而成，而此受到光線、溫度、沉積物等影響，每個珊瑚受到條件不同，生長速度也有差，但在年間生長速度沒有發現顯著差異。

6. 共生藻組成似乎不是一個好指 6. 對淺海域珊瑚而言，其能量需

標，對於珊瑚復原而言，其理論基礎為何？

求 90% 以上由共生藻行光合作用所提供，由此可知共生藻對珊瑚的重要性。一般而言，C 型共生藻主要分佈於環境較穩定的區域，而 D 型則是在環境擾動較大的區域，因此，評估一個環境是否恢復亦或惡化，可由共生藻的類型當作一個指標。

王委員玉懷：

1. 多重指標設計實驗，資料豐富， 1. 感謝委員指教。

分析深入。

2. 入添率指標顯示東沙環礁珊瑚狀況不良。小於 5cm (約 10 歲) 之小珊瑚能否承受夏季高溫？ 2. 這些小珊瑚多半已經歷過夏季的高溫才能生長存活下來，除非之後有特別熱或更長時間高溫，不然不足以威脅其生長。

3. 北航道為海水交換主要孔道，有 3. 在溫度紀錄中的確是在水道

機會帶入環礁外較深之冷水。可 口的溫度較低。

能會降低高溫之影響？

4. 要將東沙環礁珊瑚狀況恢復到 4. 同意委員說法。

1998 年以前的狀況可能性似乎

不大，建議經營管理之策略：除

珊瑚外，考慮其他納入生態旅遊

特色之項目：海草、貝類、魚蝦

(如俾磔貝、龍蝦、龍膽石斑)

等，不用將焦點集中在珊瑚的復

原情況上。不過要以禁止捕獵為

先決條件。

鄭副處長肇家：

1. 內波效應在東沙環礁復育的影響 1. 感謝副處長提醒。內波對東沙

上是否有影響？

潟湖中珊瑚的影響還不清

楚，就以帶來冷水降溫這方面

是有助於復原的。

戴委員昌鳳：

1. 本計畫在經費有限及諸多野外作 1. 感謝委員指教。

業限制之下，對東沙環礁潟湖區的珊瑚做了多方面的調查和研究，而且各方面都有些成果，基本上是相當不容易的。

2.關於珊瑚復育指標，請補充說明 2.感謝委員建議。以補充於報告

(1)為何選用這些指標，(2)各指 內文。

標代表的意義，(3)未來的監測應
優先選用何種指標，(4)各指標的
判斷基準。

3.圖 2-4, 2-5 皆為小珊瑚之科別組 3.感謝委員建議，成體珊瑚之組

成及空間分布，應於圖說中註 成和空間分布部分目前並無
明，此科別組成與成體珊瑚之 資料，將規畫未來進行比較分
組成和空間分布是否有差異？ 析。

4.圖 2-13 應註明珊瑚類別及各值 4.感謝委員指正，已修改。

的標準差或範圍，圖說中”棲底”
應為”礁底”。

5.表 3-1 最後一欄應為”指標現 5.感謝委員建議。已補充於內

況”，評估方式及標準是否於文 文。

中補充說明，以免太過主觀。

6.文獻有缺不少，尤其是共生藻部 6.感謝委員指正，已修改。

分，請補充。

7.一些錯別字請改正，如：第 84 7.感謝委員指正，已修改。

頁，第 5 行：“頻估”應為 ”評

估”，倒數第 2 行：“礁檯”應

為“礁台”，另外，p.5 學名請用

斜體字。

8.為使研究站人員將來能引用相同 8.感謝委員建議。因種類繁多，

作法，請補充”r-K-S”類別珊瑚種 而此分類是以外型及特定種

類之列表。

類為依據，故補充方法於內

文。

蔡委員雅如：

1.2000-2002 年珊瑚生長率在礁間 1.感謝委員建議。缺乏該處當時

生長有較快的現象，是否與當時 海水溫度記錄，由於年間生長

反聖嬰現象明顯所導致的溫度 率小於年度內珊瑚間變異，目

變化有關？建議老師找資料比對。
前要解釋年間變異困難。

2. 本案珊瑚復原指標是否可以量化，以作為管理站同仁未來進行珊瑚礁長期監測的參考。

2. 感謝委員建議。適合的特徵皆已量化(如生長率、小珊瑚密度)，但若將複雜的生態系打一個復原指標分數則不易有

科學上依據，請參考前述指標應用方法。若為管理需求，可考慮以 2009 -2010 的活珊瑚覆蓋率為基準，往後增減百分比做為指標。

3. 報告所提到全球中宣稱珊瑚礁已復原的地區是依哪些復原指標，與本案所提的是否相似？

3. 這些復原區域是依據網路論壇 Coral List 上調查結果，環境種類皆不相同，但皆是以軸孔珊瑚之恢復為基準，僅一處已發表結果。

陳委員慧如：

1. 依我在島上進行的調查，在東沙

1. 在其他研究中指出軸孔珊瑚

島周邊可發現小軸孔珊瑚的入
在第一年(約 2 公分大)時死亡
添，但亦發現在夏季高水溫期珊
率較高，若此時經歷高溫而未
瑚有部分死亡之現象。
死則未來面對相同高溫時存
活機會應較大。

2.而春夏底藻的滋生可能也會阻礙
2.這是一個可能因子，但藻類是
珊瑚著苗，是否有可能是阻礙珊
珊瑚礁正常存在的生物，一般
瑚苗進入潟湖內的因子？
仰賴食藻生物加以控制。

莊委員正賢：

1.p.27 最後一段提到礁頂、礁底、
1.此處是指在把四種棲所生長
礁坡與礁間的生長速度不同，此
速度一同進行分析比較，發現
差異係由礁底生長速率較慢造
礁底生長速度比另外三個棲
成，請老師說明是什麼意思。
所慢，而礁頂、礁坡、礁間生
長速度則沒有顯著差異。

2.東沙環礁的海水交換都在環礁西
2.環礁多半是在背風面才有主
邊，是否與水流交換不良這樣的
要的水道口，這可能會在入添
環境因素有關，而非其他生物因
量上有所影響，在水溫上面也
子影響所致？
會有影響，但是否直接造成更

多環境差異則仍未知。

許委員書國：

1. 珊瑚覆蓋率調查結果，七個塊礁的調查區與永久穿越線（達 75%）所得結果有相當大的差異，其中永久穿越線只做 10 公尺，其代表性是否足夠？又 2008 年盧或戴老師的調查，瀉湖東邊之覆蓋率優於西邊，而本報告東西區並無差異，且均偏低，其造成差異之原因，可否分析？未來本處如欲加以評估，應採用何種方式？
1. 永久穿越線的用途是用來監測較細微的變化，故只取 10 公尺做代表，若有能力，可在不同棲所設置更多永久穿越線，以增加代表性。而覆蓋率部分，我們的調查點以系統採樣原則，無人為挑選，盡量做到無偏差的取樣，方法與前人（捨棄覆蓋率較低的點）不同。未來的評估應以監測永久穿越線為優先，可以避免點間差異大的問題。

2. 小珊瑚入添量小，是否受到環境基質影響？在環礁礁台是否有可能情況較好？而非缺乏入添源？
2. 小珊瑚的入添的確可能受到基質影響，若真要確認是否因此則須放置附苗板，但東沙環礁面積廣大，且珊瑚苗在著苗

到形成小珊瑚之間大部分會死亡，這部分是否有必要進行研究則須再考量，礁台的情況缺乏調查故無法評估。

陳委員國永：

1. 報告中提及共生藻的分析，是萃取 DNA 進行分子鑑定共生藻品系，是否有定序？是否有嘗試了解內部演化適應的情形？是否可以從基因序列來了解哪部分有助耐熱功能？
1. 目前尚未至定序階段，未來會定序，目前已有國外學者嘗試利用內部演化來解釋適應的情形，但本篇目前未列入考量，然而因共生藻多樣性極高，目前仍處於定序分類其類別，因此尚未了解到可幫助耐熱的功能。
2. 決定共生藻品系為何？影響共生藻品系為何？另外 p.77 p.78 描述上是否有矛盾？
2. 一般而言，多數的珊瑚與 C 型共生藻共生，而 D 型共生藻則較常在擾動較大的環境發現；共生藻的獲得方式，其一是由母系垂直遺傳獲得的，另

一則為從外在環境所取得。根據目前所得知的結果，僅由溫度去推測共生藻所分佈的情形，然而在東沙亦可能有其他因子影響共生藻分佈的情形，未來會將其納入考量。

3.p.59 之圖 2-27，東沙各樣點共生藻類型分布圖，1)似乎是 C 型為主，結論認為 D 型及 C+D 型為主，可是 2)就過去的調查了解，溫度以潟湖東側及南北航道偏低。請說明。

3. 一般而言，C 型主要生長在環境因子較穩定的狀態下，而 D 型被發現較常出現在溫度較高及礁的邊緣區，而本篇所推論的，為含 D 型共生藻在東西兩邊及礁頂及礁底可能有差異，目前研究發現，可能部分的 C 型共生藻亦屬於耐熱型。

賴委員偉倩：

1. 中文摘要內容與英文摘要有異， 1. 感謝委員指正，已修改。

請依英文摘要修訂為正確內容，另 Abstract 中東沙環礁國

家公園名稱請修正。

2. 在本報告摘要中提出八項珊瑚復原指標：生殖、小珊瑚入添、生長率、死亡率、病蟲害、珊瑚覆蓋率、類型（rKS）分布與共生藻。然而在內文中並無針對死亡率做出討論，可否說明之？
2. 感謝委員指正，已補充於內文。
3. 第 7 頁提及『在低營養鹽高刮食壓力下對珊瑚礁生物多樣性的維持可能是最有利的狀況』，可否再做解釋說明？
3. 感謝委員提問，已補充於內文。
4. 圖表的輔助：十座塊礁的位置在整個環礁中標示非常不清楚，請明確標出；第 34 頁共生藻組成部分，是否可輔以表格呈現？
4. 感謝委員建議。已補充於內文。
5. 報告中未提及此九座塊礁的調
5. 這些塊礁是以系統採樣原則

查在東沙環礁珊瑚群聚之代表性。 隨機從潟湖內挑選，因此應有相當代表性，若能增加採樣點，代表性更高。

6. 本案之成果報告格式請依剛提 6. 感謝委員建議。

供給老師的內政部委託研究格式撰寫(包含封面)。

7. 有不少錯字請更正，”補” 7. 感謝委員指正，已修改。

魚、”紀”錄、”頻”估，第66

頁 N22° → 22°N，第77頁共生藻

類型卻皆為---

8. 塊礁對於整體環礁的代表性在 8. 感謝委員提問，已補充於內

期末報告中還是未見老師述明。 文。



參考文獻

- 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。
- 宋克義、李忠潘、薛憲文、王兆璋、楊磊、邱文彥、陳一鳴、張學文，2001，東沙島及南沙太平島興建碼頭工程可行性調查評估規劃工作，國立中山大學海洋環境學系。
- 宋克義、陳昭倫、王志騰、野澤洋耕，2009，東沙環礁珊瑚群聚調查分析與復育策略研究（一）。海洋國家公園管理處委託研究報告。
- 陳忠、楊華平、黃奇瑜、顏文、陸鈞，2008，南海東沙西南海域冷泉碳酸鹽盤及其意義，現代地質 22（3）。
- 陳陽益、王玉懷、李忠潘、薛憲文、田文敏、劉金源、戴昌鳳、曾若玄，2008，東沙內環礁海域海流、水深與棲地調查。海洋國家公園管理處委託研究報告。
- 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。

盧重光、樊同雲、魏杰、郭富雯、黃意筑、林乃正，2008，東沙環礁

珊瑚長期監測與復育規畫。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，2006，東沙海域珊瑚礁生態資源調查與監測（二），第肆

章 珊瑚類資源的調查。海洋國家公園管理處委託辦理報告。

謝育展，2009，由衛星影像及水文資料分析內波對東沙海域葉綠素濃

度分佈之影響，國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所碩士論文。

Baker, A.C.: Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: Diversity, ecology and biogeography of Symbiodinium. *Annual Review of Ecology and Systematics* 34 (2003) 661-689.

Barott, K.L., Caselle, J.E., Dinsdale, E.A., Friedlander, A.M., Maragos, J.E., Obura, D., Rohwer, F.L., Sandin, S.A., Smith, J.E. and Zgliczynski, B.: The Lagoon at Caroline/Millennium Atoll, Republic of Kiribati: Natural History of a Nearly Pristine Ecosystem. *PLoS ONE* 5 (2010) e10950.

Berkelmans, R.a.v.O., M. : The role of zooxanthellae in the thermal tolerance of corals a 'nugget of hope' for coral reefs in an era of

- climate change. Proceedings of the Royal Society of London B Biological Sciences 273 (2006) 2305-2312.
- Black, R. and Johnson, M.S.: Growth-Rates in Outbreak Populations of the Corallivorous Gastropod *Drupella-Cornus* (Roding 1798) at Ningaloo Reef, Western-Australia. Coral Reefs 13 (1994) 145-150.
- Bosscher, H.: Computerized-Tomography and Skeletal Density of Coral Skeletons. Coral Reefs 12 (1993) 97-103.
- Brown, B.E. and Ogden, J.C.: Coral Bleaching. Scientific American 268 (1993) 64-70.
- Brown, B.E. and Suharsono: Damage and Recovery of Coral Reefs Affected by El-Nino Related Seawater Warming in the Thousand Islands, Indonesia. Coral Reefs 8 (1990) 163-170.
- Chen, C.A., Yang, Y.W., Wei, N.V., Tsai, W.S. and Fang, L.S.: Symbiont diversity in scleractinian corals from tropical reefs and subtropical non-reef communities in Taiwan. Coral Reefs 24 (2005) 11-22.
- Chesher, R.H.: Destruction of Pacific Corals by Sea Star *Acanthaster Planci*. Science 165 (1969) 280-&.
- Collins, M., An, S.I., Cai, W.J., Ganachaud, A., Guilyardi, E., Jin, F.F., Jochum, M., Lengaigne, M., Power, S., Timmermann, A., Vecchi, G. and Wittenberg, A.: The impact of global warming on the tropical Pacific ocean and El Nino. Nature Geoscience 3 (2010) 391-397.

- Correa, A.M.S., Brandt, M.E., Smith, T.B., Thornhill, D.J. and Baker, A.C.: Symbiodinium associations with diseased and healthy scleractinian corals. *Coral Reefs* 28 (2009) 437-448.
- Dai CF, Soong K and TY, F.: Sexual reproduction of corals in northern and southern Taiwan., *Proc. 7th Coral Reef Symp., Guam 1992*, pp. 448-455.
- De'ath, G., Lough, J.M. and Fabricius, K.E.: Declining Coral Calcification on the Great Barrier Reef. *Science* 323 (2009) 116-119.
- Diaz-Pulido, G., Harii, S., McCook, L.J. and Hoegh-Guldberg, O.: The impact of benthic algae on the settlement of a reef-building coral. *Coral Reefs* 29 (2010) 203-208.
- Dodge, R.E., Aller, R.C. and Thomson, J.: Coral Growth Related to Resuspension of Bottom Sediments. *Nature* 247 (1974) 574-576.
- Dodge, R.E. and Vaisnys, J.R.: Hermatypic Coral Growth Banding as Environmental Recorder. *Nature* 258 (1975) 706-708.
- Donaldson, T.J. and Sadovy, Y.: Threatened fishes of the world: *Cheilinus undulatus* Ruppell, 1835 (Labridae) . *Environmental Biology of Fishes* 62 (2001) 428-428.
- Dulvy, N.K., Freckleton, R.P. and Polunin, N.V.C.: Coral reef cascades and the indirect effects of predator removal by exploitation. *Ecology Letters* 7 (2004) 410-416.

- Dupont, S., Havenhand, J., Thorndyke, W., Peck, L. and Thorndyke, M.: Near-future level of CO₂-driven ocean acidification radically affects larval survival and development in the brittlestar *Ophiothrix fragilis*. *Marine Ecology-Progress Series* 373 (2008) 285-294.
- Edinger, E.N., Jompa, J., Limmon, G.V., Widjatkomo, W. and Risk, M.J.: Reef degradation and coral biodiversity in Indonesia: Effects of land-based pollution, destructive fishing practices and changes over time. *Marine Pollution Bulletin* 36 (1998) 617-630.
- Edinger, E.N. and Risk, M.J.: Reef classification by coral morphology predicts coral reef conservation value. *Biological Conservation* 92 (2000) 1-13.
- Edmunds, P.J., Gates, R.D. and Gleason, D.F.: The biology of larvae from the reef coral *Porites astreoides*, and their response to temperature disturbances. *Marine Biology* 139 (2001) 981-989.
- Fadlallah, Y.H.: Sexual reproduction, development and larval biology in scleractinian corals *Coral Reefs* (1983) 129-150.
- Fan, T.Y. and Dai, C.F.: Reproductive plasticity in the reef coral *Echinopora lamellosa*. *Marine Ecology-Progress Series* 190 (1999) 297-301.
- Garcia, J.R. and Aliño, P.M.: Factors influencing coral recruitment patterns in the Sulu Sea marine corridors, *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, Ft. Lauderdale, Florida, 2008.

- Garrison, V. and Ward, G.: Storm-generated coral fragments - A viable source of transplants for reef rehabilitation. *Biological Conservation* 141 (2008) 3089-3100.
- Gilmour, J.: Experimental investigation into the effects of suspended sediment on fertilisation, larval survival and settlement in a scleractinian coral. *Marine Biology* 135 (1999) 451-462.
- Gilmour, J.P., Smith, L.D. and Brinkman, R.M.: Biannual spawning, rapid larval development and evidence of self-seeding for scleractinian corals at an isolated system of reefs. *Marine Biology* 156 (2009) 1297-1309.
- Gleason, D.F., Danilowicz, B.S. and Nolan, C.J.: Reef waters stimulate substratum exploration in planulae from brooding Caribbean corals. *Coral Reefs* 28 (2009) 549-554.
- Glynn, P.W.: Rolling stones amongst the scleractinia: mobile coralliths in the Gulf of Panama., *Proc 2nd Int Coral Reef Symp*, Brisbane, 1974, pp. 183-198.
- Glynn, P.W. and Krupp, D.A.: Feeding Biology of a Hawaiian Sea Star Corallivore, *Culcita-Novaeguineae* Muller and Troschel. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 96 (1986) 75-96.
- Glynn, P.W., Mate, J.L., Baker, A.C. and Calderon, M.O.: Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997-1998 El Niño-Southern oscillation event: Spatial/temporal patterns and

- comparisons with the 1982-1983 event. *Bulletin of Marine Science* 69 (2001) 79-109.
- Golbuu, Y., Victor, S., Penland, L., Idip, D., Emaurois, C., Okaji, K., Yukihiro, H., Iwase, A. and van Woesik, R.: Palau's coral reefs show differential habitat recovery following the 1998-bleaching event. *Coral Reefs* 26 (2007) 319-332.
- Goreau, T.F. and Goreau, N.I.: The Physiology of Skeleton Formation in Corals .2. Calcium Deposition by Hermatypic Corals under Various Conditions in the Reef. *Biological Bulletin* 117 (1959) 239-250.
- Goreau, T.F. and Yonge, C.M.: Coral Community on Muddy Sand. *Nature* 217 (1968) 421-&.
- Goreau, T.J. and Macfarlane, A.H.: Reduced Growth-Rate of *Montastrea-Annularis* Following the 1987-1988 Coral-Bleaching Event. *Coral Reefs* 8 (1990) 211-215.
- Gosselin, L.A. and Qian, P.Y.: Juvenile mortality in benthic marine invertebrates. *Marine Ecology-Progress Series* 146 (1997) 265-282.
- Graham, E.M., Baird, A.H. and Connolly, S.R.: Survival dynamics of scleractinian coral larvae and implications for dispersal. *Coral Reefs* 27 (2008) 529-539.
- Green, D.H., Edmunds, P.J., Pochon, X. and Gates, R.D.: The effects of substratum type on the growth, mortality, and photophysiology of

- juvenile corals in St. John, US Virgin Islands. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 384 (2010) 18-29.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R. and Watson, R.: A global map of human impact on marine ecosystems. *Science* 319 (2008) 948-952.
- Harriott, V.J.: Mortality-Rates of Scleractinian Corals before and during a Mass Bleaching Event. *Marine Ecology-Progress Series* 21 (1985) 81-88.
- Harrison, P.L., Babcock, R.C., Bull, G.D., Oliver, J.K., Wallace, C.C. and Willis, B.L.: Mass Spawning in Tropical Reef Corals. *Science* 223 (1984) 1186-1189.
- Hawkins, S.V.: Feeding Preference of the Cushion Star, *Culcita Novaeguineae* in Mo'orea. University of California, Berkeley, , 2006.
- Hoegh-Guldberg O, M.P., Hooten AJ, Steneck RS, Greenfield P, Gomez E, Harvell CD, Sale PF, Edwards AJ, Caldeira K, Knowlton N, Eakin CM, Iglesias-Prieto R , Muthiga N, Bradbury RH, Dubi A, Hatziolos ME: Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318 (2007) 1737-1742.

- Hoegh-Guldberg, O. and Smith, G.J.: The Effect of Sudden Changes in Temperature, Light and Salinity on the Population-Density and Export of Zooxanthellae from the Reef Corals *Stylophora-Pistillata* Esper and *Seriatopora-Hystrix* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 129 (1989) 279-303.
- James E and Sorauf: Colonial form, free-living corals, and macroborers from the Pleistocene of South Florida 2010.
- Jokiel, P.L. and Coles, S.L.: Response of Hawaiian and Other Indo-Pacific Reef Corals to Elevated-Temperature. *Coral Reefs* 8 (1990) 155-162.
- Jones, R.J., Hoegh-Guldberg, O., Larkum, A.W.D. and Schreiber, U.: Temperature-induced bleaching of corals begins with impairment of the CO₂ fixation mechanism in zooxanthellae. *Plant Cell and Environment* 21 (1998) 1219-1230.
- Kain, J.M.: The Seasons in the Subtidal. *British Phycological Journal* 24 (1989) 203-215.
- Kissling, D.: Circumrotatory growth form in Recent and Silurian corals. In: Boardman RS, C.A., Oliver WA Jr. (Ed.) , *Animal colonies: Development and functioning throughtime*. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, 1973, pp. 43-58.
- Kleypas, J.A. and Yates, K.K.: Coral Reefs and Ocean Acidification. *Oceanography* 22 (2009) 108-117.

- Knutson, D.W., Smith, S.V. and Buddemeier, R.W.: Coral Chronometers - Seasonal Growth Bands in Reef Corals. *Science* 177 (1972) 270-&.
- Kuo, K.M. and Soong, K.: Post-Settlement Survival of Reef-Coral Juveniles in Southern Taiwan. *Zoological Studies* 49 (2010) .
- Levitan, D.R. and Petersen, C.: Sperm Limitation in the Sea. *Trends in Ecology & Evolution* 10 (1995) 228-231.
- Lewis, J.B.: Spherical Growth in the Caribbean Coral *Siderastrea-Radians* (Pallas) and Its Survival in Disturbed Habitats. *Coral Reefs* 7 (1989) 161-167.
- Littler, M.M. and Littler, D.S.: Models of tropical reef biogenesis: the contribution of algae. . *Progress in phycological research* 3 (1984) 323-364.
- Littler, M.M., Littler, D.S. and Brooks, B.L.: Harmful algae on tropical coral reefs: Bottom-up eutrophication and top-down herbivory. *Harmful Algae* 5 (2006) 565-585.
- Lough, J.M. and Barnes, D.J.: Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 245 (2000) 225-243.
- Magnussen, S. and Boyle, T.J.B.: Estimating Sample-Size for Inference About the Shannon-Weaver and the Simpson Indexes of

- Species-Diversity. *Forest Ecology and Management* 78 (1995) 71-84.
- Maida, M., Coll, J.C. and Sammarco, P.W.: Shedding New Light on Scleractinian Coral Recruitment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 180 (1994) 189-202.
- Marshall, P.A. and Baird, A.H.: Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs* 19 (2000) 155-163.
- Maynard, J.A., Anthony, K.R.N., Marshall, P.A. and Masiri, I.: Major bleaching events can lead to increased thermal tolerance in corals. *Marine Biology* 155 (2008) 173-182.
- McClanahan, T.R.: Coral-Eating Snail *Drupella-Cornus* Population Increases in Kenyan Coral-Reef Lagoons. *Marine Ecology-Progress Series* 115 (1994) 131-137.
- McClanahan, T.R.: Bleaching damage and recovery potential of Maldivian coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 40 (2000) 587-597.
- McNeil, B.I. and Matear, R.J.: Southern Ocean acidification: A tipping point at 450-ppm atmospheric CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (2008) 18860-18864.

- Miller, M.W., Weil, E. and Szmant, A.M.: Coral recruitment and juvenile mortality as structuring factors for reef benthic communities in Biscayne National Park, USA. *Coral Reefs* 19 (2000) 115-123.
- Moore, R.J.: Is *Acanthaster-Planci* an R-Strategist. *Nature* 271 (1978) 56-57.
- Moore, S.E., and R.C. Lien: Pilot whales follow internal solitary waves in the South China Sea. *Marine Mammal Science* 23 (2007) 193-196
- Moran, P.J., Death, G., Baker, V.J., Bass, D.K., Christie, C.A., Miller, I.R., Millersmith, B.A. and Thompson, A.A.: Pattern of Outbreaks of Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster-Planci* L) Along the Great-Barrier-Reef since 1966. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 43 (1992) 555-568.
- Morimoto, N., Furushima, Y., Nagao, M., Irie, T., Iguchi, A., Suzuki, A. and Sakai, K.: Water-Quality Variables across Sekisei Reef, A Large Reef Complex in Southwestern Japan. *Pacific Science* 64 (2010) 113-123.
- Morton, B. and Blackmore, G.: Seasonal variations in the density of and corallivory by *Drupella rugosa* and *Cronia margaritcola* (Caenogastropoda: Muricidae) from the coastal waters of Hong Kong: ('plagues' or 'aggregations'? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89 (2009) 147-159.

- Nie, B.F., Chen, T.G., Liang, M.T., Wang, Y.Q., Zhong, J.L. and Zhu, Y.Z.: Relationship between coral growth rate and sea surface temperature in the northern part of South China Sea during the past 100 a. *Science in China Series D-Earth Sciences* 40 (1997) 173-182.
- Okubo, N., Motokawa, T. and Omori, M.: When fragmented coral spawn? Effect of size and timing on survivorship and fecundity of fragmentation in *Acropora formosa*. *Marine Biology* 151 (2007) 353-363.
- Pearson, R.G.: Recovery and Recolonization of Coral Reefs. *Marine Ecology-Progress Series* 4 (1981) 105-122.
- Pearson, R.G., and Endean, R.: A preliminary study of the coral predator *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) on the Great Barrier Reef. In: Notes, Q.D.o.H.a.M.F. (Ed.) , 1969, pp. 27-68.
- Penin, L., Michonneau, F., Baird, A.H., Connolly, S.R., Pratchett, M.S., Kayal, M. and Adjero, M.: Early post-settlement mortality and the structure of coral assemblages. *Marine Ecology-Progress Series* 408 (2010) 55-U76.
- Pet-Soede, C., Cesar, H.S.J. and Pet, J.S.: An economic analysis of blast fishing on Indonesian coral reefs. *Environmental Conservation* 26 (1999) 83-93.
- Pichon, M.: Free living scleractinian coral communities in the coral reefs of Madagascar., *Proc 2nd Int Coral Reef Symp Brisbane, 1974*, pp. 173-181.

- Pratchett, M.S.: Feeding preferences of *Acanthaster planci* (Echinodermata : Asteroidea) under controlled conditions of food availability. *Pacific Science* 61 (2007) 113-120.
- Price, N.: Habitat selection, facilitation, and biotic settlement cues affect distribution and performance of coral recruits in French Polynesia. *Oecologia* 163 (2010) 747-758.
- Quinn, N.J. and Kojis, B.L.: The dynamics of coral reef community structure and recruitment patterns around Rota, Saipan, and Tinian, western Pacific. *Bulletin of Marine Science* 72 (2003) 979-996.
- Randall, C.J. and Szmant, A.M.: Elevated Temperature Affects Development, Survivorship, and Settlement of the Elkhorn Coral, *Acropora palmata* (Lamarck 1816) . *Biological Bulletin* 217 (2009) 269-282.
- Refinetti, R., Cornelissen, G. and Halberg, F.: Procedures for numerical analysis of circadian rhythms. *Biological Rhythm Research* 38 (2007) 275-325.
- Riegl, B. and Branch, G.M.: Effects of Sediment on the Energy Budgets of 4 Scleractinian (Bourne 1900) and 5 Alcyonacean (Lamouroux 1816) Corals. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 186 (1995) 259-275.

- Rinkevich, B.: Restoration strategies for coral reefs damaged by recreational activities: The use of sexual and asexual recruits. *Restoration Ecology* 3 (1995) 241-251.
- Roberts, L.: Coral Bleaching Threatens Atlantic Reefs. *Science* 238 (1987) 1228-1229.
- Rodolfo-Metalpa, R., Richard, C., Allemand, D., Bianchi, C.N., Morri, C. and Ferrier-Pages, C.: Response of zooxanthellae in symbiosis with the Mediterranean corals *Cladocora caespitosa* and *Oculina patagonica* to elevated temperatures. *Marine Biology* 150 (2006) 45-55.
- Rogers, C.S.: Sublethal and Lethal Effects of Sediments Applied to Common Caribbean Reef Corals in the Field. *Marine Pollution Bulletin* 14 (1983) 378-382.
- Rowan, R.: Coral bleaching - Thermal adaptation in reef coral symbionts. *Nature* 430 (2004) 742-742.
- Rumrill, S.S.: Natural Mortality of Marine Invertebrate Larvae. *Ophelia* 32 (1990) 163-198.
- Sammarco, P.W.: *Diadema* and Its Relationship to Coral Spat Mortality - Grazing, Competition, and Biological Disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 45 (1980) 245-272.
- Sandin, S.A., Smith, J.E., DeMartini, E.E., Dinsdale, E.A., Donner, S.D., Friedlander, A.M., Konotchick, T., Malay, M., Maragos, J.E., Obura, D., Pantos, O., Paulay, G., Richie, M., Rohwer, F., Schroeder, R.E.,

- Walsh, S., Jackson, J.B.C., Knowlton, N. and Sala, E.: Baselines and Degradation of Coral Reefs in the Northern Line Islands. *PLoS ONE* 3 (2008) e1548.
- Schoepf, V., Herler, J. and Zuschin, M.: Microhabitat use and prey selection of the coral-feeding snail *Drupella cornus* in the northern Red Sea. *Hydrobiologia* 641 (2010) 45-57.
- Scoffin, T.P., Tudhope, A.W., Brown, B.E., Chansang, H. and Cheeney, R.F.: Patterns and Possible Environmental Controls of Skeletogenesis of *Porites-Lutea*, South Thailand. *Coral Reefs* 11 (1992) 1-11.
- Silverman, J., Lazar, B., Cao, L., Caldeira, K. and Erez, J.: Coral reefs may start dissolving when atmospheric CO₂ doubles. *Geophysical Research Letters* 36 (2009) -.
- Sluka, R.D. and Miller, M.W.: Status of crown-of-thorns starfish in Laamu Atoll, Republic of Maldives. *Bulletin of Marine Science* 65 (1999) 253-258.
- Smith, L.W.: Influence of water motion on resistance of corals to high temperatures: Evidence from a field transplant experiment, 2004.
- Soong, K., Chen, M.H., Chen, C.L., Dai, C.F., Fan, T.Y., Li, J.J. and Fan, H.M.: Spatial and temporal variation of coral recruitment in Taiwan. *Coral Reefs* 22 (2003) 224-228.

- Soong, K. and Chen, T.A.: Coral transplantation: Regeneration and growth of *Acropora* fragments in a nursery. *Restoration Ecology* 11 (2003) 62-71.
- Soong, K.Y. and Lang, J.C.: Reproductive Integration in Reef Corals. *Biological Bulletin* 183 (1992) 418-431.
- Stone, L., Eilam, E., Abelson, A. and Ilan, M.: Modelling coral reef biodiversity and habitat destruction. *Marine Ecology-Progress Series* 134 (1996) 299-302.
- Strathmann, R.R.: Feeding and Nonfeeding Larval Development and Life-History Evolution in Marine-Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16 (1985) 339-361.
- Suwa, R., Nakamura, M., Morita, M., Shimada, K., Iguchi, A., Sakai, K. and Suzuki, A.: Effects of acidified seawater on early life stages of scleractinian corals (Genus *Acropora*). *Fisheries Science* 76 (2010) 93-99.
- Szmant, A.M. and Gassman, N.J.: The Effects of Prolonged Bleaching on the Tissue Biomass and Reproduction of the Reef Coral *Montastrea-Annularis*. *Coral Reefs* 8 (1990) 217-224.
- Thorson, G.: Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biol Rev Camb Philos Soc* 1 (1950) 1-45.
- Toller, W.W., R. Rowan and Knowlton, N.: Repopulation of zooxanthellae in the Caribbean corals *Montastraea annularis* and *M.*

- faveolata following experimental and disease-associated bleaching. Biol. Bull. 201 (2001) 360-373.
- Turner, S.J.: Spatial Variability in the Abundance of the Corallivorous Gastropod *Drupella-Cornus*. Coral Reefs 13 (1994) 41-48.
- Vargas-Angel, B., Zapata, F.A., Hernandez, H. and Jimenez, J.M.: Coral and coral reef responses to the 1997-98 El Nino event on the Pacific coast of Colombia. Bulletin of Marine Science 69 (2001) 111-132.
- Vicentuan, K.C., Guest, J.R., Baria, M.V., Cabaitan, P.C., Dizon, R.M., Villanueva, R.D., Alino, P.M., Edwards, A.J., Gomez, E.D. and Heyward, A.J.: Multi-species spawning of corals in north-western Philippines. Coral Reefs 27 (2008) 83-83.
- Wang, X., Wang, D.X., Gao, R.Z. and Sun, D.H.: Anthropogenic climate change revealed by coral gray values in the South China Sea. Chinese Science Bulletin 55 (2010) 1304-1310.
- Wang, Y.H., Dai, C.F. and Chen, Y.Y.: Physical and ecological processes of internal waves on an isolated reef ecosystem in the South China Sea. Geophysical Research Letters 34 (2007) -.
- West, J.M. and Salm, R.V.: Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. Conservation Biology 17 (2003) 956-967.
- Yap, H.T. and Gomez, E.D.: Growth of *Acropora-Pulchra* .3. Preliminary-Observations on the Effects of Transplantation and

- Sediment on the Growth and Survival of Transplants. *Marine Biology* 87 (1985) 203-209.
- Yonge, C.M.: Studies on the biology of the Tortugas corals. : III. The effect of mucus on oxygen consumption. Carnegie Institution of Washington publication 1935.
- Zvuloni, A., Artzy-Randrup, Y., Stone, L., Kramarsky-Winter, E., Barkan, R. and Loya, Y.: Spatio-Temporal Transmission Patterns of Black-Band Disease in a Coral Community. *Plos One* 4 (2009) -.
- Baird, A.H., Babcock, R.C. and Mundy, C.P.: Habitat selection by larvae influences the depth distribution of six common coral species. *Marine Ecology-Progress Series* 252 (2003) 289-293.
- Baker, A.C.: Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: Diversity, ecology and biogeography of *Symbiodinium*. *Annual Review of Ecology and Systematics* 34 (2003) 661-689.
- Barott, K.L., Caselle, J.E., Dinsdale, E.A., Friedlander, A.M., Maragos, J.E., Obura, D., Rohwer, F.L., Sandin, S.A., Smith, J.E. and Zgliczynski, B.: The Lagoon at Caroline/Millennium Atoll, Republic of Kiribati: Natural History of a Nearly Pristine Ecosystem. *PLoS ONE* 5 (2010) e10950.
- Berkelmans, R.a.v.O., M. : The role of zooxanthellae in the thermal tolerance of corals a 'nugget of hope' for coral reefs in an era of climate change. *Proceedings of the Royal Society of London B Biological Sciences* 273 (2006) 2305-2312.
- Black, R. and Johnson, M.S.: Growth-Rates in Outbreak Populations of the Corallivorous Gastropod *Drupella-Cornus* (Roding 1798) at Ningaloo Reef, Western-Australia. *Coral Reefs* 13 (1994) 145-150.
- Bosscher, H.: Computerized-Tomography and Skeletal Density of Coral Skeletons. *Coral Reefs* 12 (1993) 97-103.
- Brown, B.E. and Ogden, J.C.: Coral Bleaching. *Scientific American* 268 (1993) 64-70.
- Brown, B.E. and Suharsono: Damage and Recovery of Coral Reefs Affected by El-Nino Related Seawater Warming in the Thousand Islands, Indonesia. *Coral Reefs* 8 (1990) 163-170.

- Chen, C.A., Yang, Y.W., Wei, N.V., Tsai, W.S. and Fang, L.S.: Symbiont diversity in scleractinian corals from tropical reefs and subtropical non-reef communities in Taiwan. *Coral Reefs* 24 (2005) 11-22.
- Chesher, R.H.: Destruction of Pacific Corals by Sea Star *Acanthaster Planci*. *Science* 165 (1969) 280-&.
- Collins, M., An, S.I., Cai, W.J., Ganachaud, A., Guilyardi, E., Jin, F.F., Jochum, M., Lengaigne, M., Power, S., Timmermann, A., Vecchi, G. and Wittenberg, A.: The impact of global warming on the tropical Pacific ocean and El Nino. *Nature Geoscience* 3 (2010) 391-397.
- Cooper, T.F., De 'Ath, G., Fabricius, K.E. and Lough, J.M.: Declining coral calcification in massive *Porites* in two nearshore regions of the northern Great Barrier Reef. *Global Change Biology* 14 (2008) 529-538.
- Correa, A.M.S., Brandt, M.E., Smith, T.B., Thornhill, D.J. and Baker, A.C.: Symbiodinium associations with diseased and healthy scleractinian corals. *Coral Reefs* 28 (2009) 437-448.
- Dai, C.F., K. Soong and T.Y. Fan Sexual reproduction of corals in northern and southern Taiwan., Proc. 7th Coral Reef Symp., Guam 1992, pp. 448-455.
- De'ath, G., Lough, J.M. and Fabricius, K.E.: Declining Coral Calcification on the Great Barrier Reef. *Science* 323 (2009) 116-119.
- Diaz-Pulido, G., Harii, S., McCook, L.J. and Hoegh-Guldberg, O.: The impact of benthic algae on the settlement of a reef-building coral. *Coral Reefs* 29 (2010) 203-208.
- Dodge, R.E., Aller, R.C. and Thomson, J.: Coral Growth Related to Resuspension of Bottom Sediments. *Nature* 247 (1974) 574-576.
- Dodge, R.E. and Vaisnys, J.R.: Hermatypic Coral Growth Banding as Environmental Recorder. *Nature* 258 (1975) 706-708.
- Donaldson, T.J. and Sadovy, Y.: Threatened fishes of the world: *Cheilinus undulatus* Ruppell, 1835 (Labridae). *Environmental Biology of Fishes* 62 (2001) 428-428.
- Dulvy, N.K., Freckleton, R.P. and Polunin, N.V.C.: Coral reef cascades and the indirect effects of predator removal by exploitation. *Ecology Letters* 7 (2004) 410-416.
- Dupont, S., Havenhand, J., Thorndyke, W., Peck, L. and Thorndyke, M.: Near-future level of CO₂-driven ocean acidification radically affects larval survival and development in the brittlestar *Ophiothrix fragilis*. *Marine Ecology-Progress Series* 373 (2008) 285-294.

- Edinger, E.N., Jompa, J., Limmon, G.V., Widjatmoko, W. and Risk, M.J.: Reef degradation and coral biodiversity in Indonesia: Effects of land-based pollution, destructive fishing practices and changes over time. *Marine Pollution Bulletin* 36 (1998) 617-630.
- Edinger, E.N. and Risk, M.J.: Reef classification by coral morphology predicts coral reef conservation value. *Biological Conservation* 92 (2000) 1-13.
- Edmunds, P.J., Gates, R.D. and Gleason, D.F.: The biology of larvae from the reef coral *Porites astreoides*, and their response to temperature disturbances. *Marine Biology* 139 (2001) 981-989.
- Fadlallah, Y.H.: Sexual reproduction, development and larval biology in scleractinian corals *Coral Reefs* (1983) 129-150.
- Fan, T.Y. and Dai, C.F.: Reproductive plasticity in the reef coral *Echinopora lamellosa*. *Marine Ecology-Progress Series* 190 (1999) 297-301.
- Garcia, J.R. and Aliño, P.M.: Factors influencing coral recruitment patterns in the Sulu Sea marine corridors, *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, Ft. Lauderdale, Florida, 2008.
- Garrison, V. and Ward, G.: Storm-generated coral fragments - A viable source of transplants for reef rehabilitation. *Biological Conservation* 141 (2008) 3089-3100.
- Gilmour, J.: Experimental investigation into the effects of suspended sediment on fertilisation, larval survival and settlement in a scleractinian coral. *Marine Biology* 135 (1999) 451-462.
- Gilmour, J.P., Smith, L.D. and Brinkman, R.M.: Biannual spawning, rapid larval development and evidence of self-seeding for scleractinian corals at an isolated system of reefs. *Marine Biology* 156 (2009) 1297-1309.
- Gleason, D.F., Danilowicz, B.S. and Nolan, C.J.: Reef waters stimulate substratum exploration in planulae from brooding Caribbean corals. *Coral Reefs* 28 (2009) 549-554.
- Glynn, P.W.: Rolling stones amongst the scleractinia: mobile coralliths in the Gulf of Panama., *Proc 2nd Int Coral Reef Symp*, Brisbane, 1974, pp. 183-198.
- Glynn, P.W. and Krupp, D.A.: Feeding Biology of a Hawaiian Sea Star Corallivore, *Culcita-Novaeguineae* Muller and Troschel. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 96 (1986) 75-96.

- Glynn, P.W., Mate, J.L., Baker, A.C. and Calderon, M.O.: Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997-1998 El Niño-Southern oscillation event: Spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982-1983 event. *Bulletin of Marine Science* 69 (2001) 79-109.
- Golbuu, Y., Victor, S., Penland, L., Idip, D., Emaurois, C., Okaji, K., Yukihiro, H., Iwase, A. and van Woesik, R.: Palau's coral reefs show differential habitat recovery following the 1998-bleaching event. *Coral Reefs* 26 (2007) 319-332.
- Gomez, E.D. and Yap, H.T.: Monitoring reef condition. In: Kenchington, R.A., Hudson, B.E.T. (Ed.), *Coral reef management handbook*. UNESCO regional office for science and technology for Southeast Asia (ROSTSEA), Jakarta, 1988, pp. 171-178.
- Goreau, T.F. and Goreau, N.I.: The Physiology of Skeleton Formation in Corals .2. Calcium Deposition by Hermatypic Corals under Various Conditions in the Reef. *Biological Bulletin* 117 (1959) 239-250.
- Goreau, T.F. and Yonge, C.M.: Coral Community on Muddy Sand. *Nature* 217 (1968) 421-&.
- Goreau, T.J. and Macfarlane, A.H.: Reduced Growth-Rate of *Montastrea-Annularis* Following the 1987-1988 Coral-Bleaching Event. *Coral Reefs* 8 (1990) 211-215.
- Gosselin, L.A. and Qian, P.Y.: Juvenile mortality in benthic marine invertebrates. *Marine Ecology-Progress Series* 146 (1997) 265-282.
- Graham, E.M., Baird, A.H. and Connolly, S.R.: Survival dynamics of scleractinian coral larvae and implications for dispersal. *Coral Reefs* 27 (2008) 529-539.
- Green, D.H., Edmunds, P.J., Pochon, X. and Gates, R.D.: The effects of substratum type on the growth, mortality, and photophysiology of juvenile corals in St. John, US Virgin Islands. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 384 (2010) 18-29.
- Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R. and Watson, R.: A global map of human impact on marine ecosystems. *Science* 319 (2008) 948-952.
- Harriott, V.J.: Mortality-Rates of Scleractinian Corals before and during a Mass Bleaching Event. *Marine Ecology-Progress Series* 21 (1985) 81-88.

- Harrison, P.L., Babcock, R.C., Bull, G.D., Oliver, J.K., Wallace, C.C. and Willis, B.L.: Mass Spawning in Tropical Reef Corals. *Science* 223 (1984) 1186-1189.
- Hawkins, S.V.: Feeding Preference of the Cushion Star, *Culcita Novaeguineae* in Mo'orea. University of California, Berkeley, , 2006.
- Hoegh-Guldberg O, M.P., Hooten AJ, Steneck RS, Greenfield P, Gomez E, Harvell CD, Sale PF, Edwards AJ, Caldeira K, Knowlton N, Eakin CM, Iglesias-Prieto R , Muthiga N, Bradbury RH, Dubi A, Hatziolos ME: Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318 (2007) 1737-1742.
- Hoegh-guldberg, O. and Smith, G.J.: The Effect of Sudden Changes in Temperature, Light and Salinity on the Population-Density and Export of Zooxanthellae from the Reef Corals *Stylophora-Pistillata* Esper and *Seriatopora-Hystrix* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 129 (1989) 279-303.
- Huston, M.A.: Biological diversity: the coexistence of species on changing landscapes. , Cambridge University Press. Cambridge, New York, 1994, pp. 681.
- Jokiel, P.L. and Coles, S.L.: Response of Hawaiian and Other Indo-Pacific Reef Corals to Elevated-Temperature. *Coral Reefs* 8 (1990) 155-162.
- Jones, R.J., Hoegh-Guldberg, O., Larkum, A.W.D. and Schreiber, U.: Temperature-induced bleaching of corals begins with impairment of the CO₂ fixation mechanism in zooxanthellae. *Plant Cell and Environment* 21 (1998) 1219-1230.
- Kain, J.M.: The Seasons in the Subtidal. *British Phycological Journal* 24 (1989) 203-215.
- Kissling, D.: Circumrotatory growth form in Recent and Silurian corals. In: Boardman RS, C.A., Oliver WA Jr. (Ed.), *Animal colonies: Development and functioning throughtime*. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, 1973, pp. 43-58.
- Kleypas, J.A. and Yates, K.K.: Coral Reefs and Ocean Acidification. *Oceanography* 22 (2009) 108-117.
- Knutson, D.W., Smith, S.V. and Buddemei.Rw: Coral Chronometers - Seasonal Growth Bands in Reef Corals. *Science* 177 (1972) 270-&.
- Kuo, K.M. and Soong, K.: Post-Settlement Survival of Reef-Coral Juveniles in Southern Taiwan. *Zoological Studies* 49 (2010).

- Levitan, D.R. and Petersen, C.: Sperm Limitation in the Sea. *Trends in Ecology & Evolution* 10 (1995) 228-231.
- Lewis, J.B.: Spherical Growth in the Caribbean Coral *Siderastrea-Radians* (Pallas) and Its Survival in Disturbed Habitats. *Coral Reefs* 7 (1989) 161-167.
- Littler, M.M. and Littler, D.S.: Models of tropical reef biogenesis: the contribution of algae. . *Progress in phycological research* 3 (1984) 323-364.
- Littler, M.M., Littler, D.S. and Brooks, B.L.: Harmful algae on tropical coral reefs: Bottom-up eutrophication and top-down herbivory. *Harmful Algae* 5 (2006) 565-585.
- Lough, J.M. and Barnes, D.J.: Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 245 (2000) 225-243.
- Magnussen, S. and Boyle, T.J.B.: Estimating Sample-Size for Inference About the Shannon-Weaver and the Simpson Indexes of Species-Diversity. *Forest Ecology and Management* 78 (1995) 71-84.
- Maida, M., Coll, J.C. and Sammarco, P.W.: Shedding New Light on Scleractinian Coral Recruitment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 180 (1994) 189-202.
- Maragos, J.E.: Coral transplantation: a method to create, preserve, and manage coral reefs. University of Hawaii Sea Grant Prog, 1974, pp. 30.
- Marshall, P.A. and Baird, A.H.: Bleaching of corals on the Great Barrier Reef: differential susceptibilities among taxa. *Coral Reefs* 19 (2000) 155-163.
- Maynard, J.A., Anthony, K.R.N., Marshall, P.A. and Masiri, I.: Major bleaching events can lead to increased thermal tolerance in corals. *Marine Biology* 155 (2008) 173-182.
- McClanahan, T.R.: Coral-Eating Snail *Drupella-Cornus* Population Increases in Kenyan Coral-Reef Lagoons. *Marine Ecology-Progress Series* 115 (1994) 131-137.
- McClanahan, T.R.: Bleaching damage and recovery potential of Maldivian coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 40 (2000) 587-597.
- McNeil, B.I. and Matear, R.J.: Southern Ocean acidification: A tipping point at 450-ppm atmospheric CO₂. *Proceedings of the National*

- Academy of Sciences of the United States of America 105 (2008) 18860-18864.
- Miller, M.W., Bourque, A.S. and Bohnsack, J.A.: An analysis of the loss of acroporid corals at Looe Key, Florida, USA: 1983-2000. *Coral Reefs* 21 (2002) 179-182.
- Miller, M.W., Weil, E. and Szmant, A.M.: Coral recruitment and juvenile mortality as structuring factors for reef benthic communities in Biscayne National Park, USA. *Coral Reefs* 19 (2000) 115-123.
- Moore, R.J.: Is *Acanthaster-Planci* an R-Strategist. *Nature* 271 (1978) 56-57.
- Moore, S.E., and R.C. Lien: Pilot whales follow internal solitary waves in the South China Sea. *Marine Mammal Science* 23 (2007) 193-196
- Moran, P.J., Death, G., Baker, V.J., Bass, D.K., Christie, C.A., Miller, I.R., Millersmith, B.A. and Thompson, A.A.: Pattern of Outbreaks of Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster-Planci* L) Along the Great-Barrier-Reef since 1966. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 43 (1992) 555-568.
- Morimoto, N., Furushima, Y., Nagao, M., Irie, T., Iguchi, A., Suzuki, A. and Sakai, K.: Water-Quality Variables across Sekisei Reef, A Large Reef Complex in Southwestern Japan. *Pacific Science* 64 (2010) 113-123.
- Morton, B. and Blackmore, G.: 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 (2009) 147-159.
- Nie, B.F., Chen, T.G., Liang, M.T., Wang, Y.Q., Zhong, J.L. and Zhu, Y.Z.: Relationship between coral growth rate and sea surface temperature in the northern part of South China Sea during the past 100 a. *Science in China Series D-Earth Sciences* 40 (1997) 173-182.
- Okubo, N., Motokawa, T. and Omori, M.: When fragmented coral spawn? Effect of size and timing on survivorship and fecundity of fragmentation in *Acropora formosa*. *Marine Biology* 151 (2007) 353-363.
- Pearson, R.G.: Recovery and Recolonization of Coral Reefs. *Marine Ecology-Progress Series* 4 (1981) 105-122.

- Pearson, R.G., and Endeian, R.: A preliminary study of the coral predator *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) on the Great Barrier Reef. In: Notes, Q.D.o.H.a.M.F. (Ed.), 1969, pp. 27-68.
- Penin, L., Michonneau, F., Baird, A.H., Connolly, S.R., Pratchett, M.S., Kayal, M. and Adjerdoud, M.: Early post-settlement mortality and the structure of coral assemblages. *Marine Ecology-Progress Series* 408 (2010) 55-U76.
- Pet-Soede, C., Cesar, H.S.J. and Pet, J.S.: An economic analysis of blast fishing on Indonesian coral reefs. *Environmental Conservation* 26 (1999) 83-93.
- Pichon, M.: Free living scleractinian coral communities in the coral reefs of Madagascar., *Proc 2nd Int Coral Reef Symp Brisbane, 1974*, pp. 173-181.
- Pratchett, M.S.: Feeding preferences of *Acanthaster planci* (Echinodermata : Asteroidea) under controlled conditions of food availability. *Pacific Science* 61 (2007) 113-120.
- Price, N.: Habitat selection, facilitation, and biotic settlement cues affect distribution and performance of coral recruits in French Polynesia. *Oecologia* 163 (2010) 747-758.
- Quinn, N.J. and Kojis, B.L.: The dynamics of coral reef community structure and recruitment patterns around Rota, Saipan, and Tinian, western Pacific. *Bulletin of Marine Science* 72 (2003) 979-996.
- Randall, C.J. and Szmant, A.M.: Elevated Temperature Affects Development, Survivorship, and Settlement of the Elkhorn Coral, *Acropora palmata* (Lamarck 1816). *Biological Bulletin* 217 (2009) 269-282.
- Refinetti, R., Cornelissen, G. and Halberg, F.: Procedures for numerical analysis of circadian rhythms. *Biological Rhythm Research* 38 (2007) 275-325.
- Riegl, B. and Branch, G.M.: Effects of Sediment on the Energy Budgets of 4 Scleractinian (Bourne 1900) and 5 Alcyonacean (Lamouroux 1816) Corals. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 186 (1995) 259-275.
- Rinkevich, B.: Restoration strategies for coral reefs damaged by recreational activities: The use of sexual and asexual recruits. *Restoration Ecology* 3 (1995) 241-251.
- Roberts, L.: Coral Bleaching Threatens Atlantic Reefs. *Science* 238 (1987) 1228-1229.

- Rodolfo-Metalpa, R., Richard, C., Allemand, D., Bianchi, C.N., Morri, C. and Ferrier-Pages, C.: Response of zooxanthellae in symbiosis with the Mediterranean corals *Cladocora caespitosa* and *Oculina patagonica* to elevated temperatures. *Marine Biology* 150 (2006) 45-55.
- Rogers, C.S.: Sublethal and Lethal Effects of Sediments Applied to Common Caribbean Reef Corals in the Field. *Marine Pollution Bulletin* 14 (1983) 378-382.
- Rowan, R.: Coral bleaching - Thermal adaptation in reef coral symbionts. *Nature* 430 (2004) 742-742.
- Rumrill, S.S.: Natural Mortality of Marine Invertebrate Larvae. *Ophelia* 32 (1990) 163-198.
- Sammarco, P.W.: *Diadema* and Its Relationship to Coral Spat Mortality - Grazing, Competition, and Biological Disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 45 (1980) 245-272.
- Sandin, S.A., Smith, J.E., DeMartini, E.E., Dinsdale, E.A., Donner, S.D., Friedlander, A.M., Konotchick, T., Malay, M., Maragos, J.E., Obura, D., Pantos, O., Paulay, G., Richie, M., Rohwer, F., Schroeder, R.E., Walsh, S., Jackson, J.B.C., Knowlton, N. and Sala, E.: Baselines and Degradation of Coral Reefs in the Northern Line Islands. *PLoS ONE* 3 (2008) e1548.
- Schoepf, V., Herler, J. and Zuschin, M.: Microhabitat use and prey selection of the coral-feeding snail *Drupella cornus* in the northern Red Sea. *Hydrobiologia* 641 (2010) 45-57.
- Scoffin, T.P., Tudhope, A.W., Brown, B.E., Chansang, H. and Cheeney, R.F.: Patterns and Possible Environmental Controls of Skeletogenesis of *Porites-Lutea*, South Thailand. *Coral Reefs* 11 (1992) 1-11.
- Silverman, J., Lazar, B., Cao, L., Caldeira, K. and Erez, J.: Coral reefs may start dissolving when atmospheric CO₂ doubles. *Geophysical Research Letters* 36 (2009) -.
- Sluka, R.D. and Miller, M.W.: Status of crown-of-thorns starfish in Laamu Atoll, Republic of Maldives. *Bulletin of Marine Science* 65 (1999) 253-258.
- Smith, L.W.: Influence of water motion on resistance of corals to high temperatures: Evidence from a field transplant experiment, 2004.

- Soong, K., Chen, M.H., Chen, C.L., Dai, C.F., Fan, T.Y., Li, J.J. and Fan, H.M.: Spatial and temporal variation of coral recruitment in Taiwan. *Coral Reefs* 22 (2003) 224-228.
- Soong, K. and Chen, T.A.: Coral transplantation: Regeneration and growth of *Acropora* fragments in a nursery. *Restoration Ecology* 11 (2003) 62-71.
- Soong, K.Y. and Lang, J.C.: Reproductive Integration in Reef Corals. *Biological Bulletin* 183 (1992) 418-431.
- Sorauf, J.E.: Colonial form, free-living corals, and macroborers from the Pleistocene of South Florida 2010.
- Stephenson, W. and Searles, R.B.: EXPERIMENTAL STUDIES ON THE ECOLOGY OF INTERTIDAL ENVIRONMENTS AT HERON ISLAND I. EXCLUSION OF FISH FROM BEACH ROCK. *Australian Journal of Marine & Freshwater Research* 11 (1960) 241-267.
- Stone, L., Eilam, E., Abelson, A. and Ilan, M.: Modelling coral reef biodiversity and habitat destruction. *Marine Ecology-Progress Series* 134 (1996) 299-302.
- Strathmann, R.R.: Feeding and Nonfeeding Larval Development and Life-History Evolution in Marine-Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16 (1985) 339-361.
- Suwa, R., Nakamura, M., Morita, M., Shimada, K., Iguchi, A., Sakai, K. and Suzuki, A.: Effects of acidified seawater on early life stages of scleractinian corals (Genus *Acropora*). *Fisheries Science* 76 (2010) 93-99.
- Szmant, A.M. and Gassman, N.J.: The Effects of Prolonged Bleaching on the Tissue Biomass and Reproduction of the Reef Coral *Montastrea-Annularis*. *Coral Reefs* 8 (1990) 217-224.
- Thorson, G.: Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biol Rev Camb Philos Soc* 1 (1950) 1-45.
- Toller, W.W., R. Rowan and Knowlton, N.: Repopulation of zooxanthellae in the Caribbean corals *Montastraea annularis* and *M. faveolata* following experimental and disease-associated bleaching. *Biol. Bull.* 201 (2001) 360-373.
- Turner, S.J.: Spatial Variability in the Abundance of the Corallivorous Gastropod *Drupella-Cornus*. *Coral Reefs* 13 (1994) 41-48.

- Vargas-Angel, B., Zapata, F.A., Hernandez, H. and Jimenez, J.M.: Coral and coral reef responses to the 1997-98 El Nino event on the Pacific coast of Colombia. *Bulletin of Marine Science* 69 (2001) 111-132.
- Vicentuan, K.C., Guest, J.R., Baria, M.V., Cabaitan, P.C., Dizon, R.M., Villanueva, R.D., Alino, P.M., Edwards, A.J., Gomez, E.D. and Heyward, A.J.: Multi-species spawning of corals in north-western Philippines. *Coral Reefs* 27 (2008) 83-83.
- Wang, X., Wang, D.X., Gao, R.Z. and Sun, D.H.: Anthropogenic climate change revealed by coral gray values in the South China Sea. *Chinese Science Bulletin* 55 (2010) 1304-1310.
- Wang, Y.H., Dai, C.F. and Chen, Y.Y.: Physical and ecological processes of internal waves on an isolated reef ecosystem in the South China Sea. *Geophysical Research Letters* 34 (2007) -.
- West, J.M. and Salm, R.V.: Resistance and resilience to coral bleaching: Implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology* 17 (2003) 956-967.
- Yap, H.T. and Gomez, E.D.: Growth of *Acropora-Pulchra* .3. Preliminary-Observations on the Effects of Transplantation and Sediment on the Growth and Survival of Transplants. *Marine Biology* 87 (1985) 203-209.
- Yonge, C.M.: Studies on the biology of the Tortugas corals. : III. The effect of mucus on oxygen consumption. Carnegie Institution of Washington publication 1935.
- Zvuloni, A., Artzy-Randrup, Y., Stone, L., Kramarsky-Winter, E., Barkan, R. and Loya, Y.: Spatio-Temporal Transmission Patterns of Black-Band Disease in a Coral Community. *Plos One* 4 (2009) -.