

## 東沙環礁的珊瑚群聚

戴昌鳳<sup>1,2</sup>、鄭安怡<sup>1</sup>

(收稿日期：2006 年 3 月 28 日；接受日期：2006 年 5 月 3 日)

### 摘 要

東沙環礁為典型的環礁，直徑約 25 km，由寬約 2 km 的環狀礁台圍繞而成，部分礁台露出水面，東沙島位於環礁西側。環礁內的潟湖區直徑約 20 km，最深處約 16 m，環礁外圍水深 0~25 m 之間屬於礁斜坡區，寬約數百至千餘公尺，其中水深 0~15 m 的坡度平緩，表面有礁脊和槽溝交錯分布，水深 15~25 m 以深則為陡坡。2005 年 4 至 8 月間在環礁內及外部的珊瑚資源調查共記錄各類珊瑚共 250 種，包括石珊瑚類 207 種、軟珊瑚類 34 種、柳珊瑚類 4 種及水螅珊瑚 5 種。環礁內部潟湖區水深 5 m 以淺的底質主要由珊瑚殘骸組成，活珊瑚覆蓋率極低(<5%)；水深 5~10 m 的珊瑚覆蓋率稍高，約 10%，以團塊形的微孔珊瑚及菊珊瑚群體為主；水深 10 m 以深，則以蕈珊瑚和葉片形珊瑚為優勢物種，珊瑚覆蓋率約 15-20%。環礁外圍的珊瑚群聚則屬於良好狀態，主要分布在水深 0~15 m 的礁斜坡區，平均珊瑚覆蓋率在 75~85%；其中，東及南面的珊瑚群聚以石珊瑚類為主(約占三分之二)，皆以桌形和分枝形的軸孔珊瑚為優勢物種，軟珊瑚類約占三分之一。外環礁北面的珊瑚群聚則以軟珊瑚類為主(約占三分之二)，主要種類為指形軟珊瑚、肉質軟珊瑚和葉形軟珊瑚；石珊瑚類約占三分之一，以苔珊瑚科和菊珊瑚科的物種為主。環狀礁台區的地形平坦，以微孔珊瑚、絲珊瑚科和菊珊瑚科的物種為主。環礁內外之間珊瑚群聚的差異，可能是 1998 年的水溫異常造成兩地珊瑚死亡率的差異所致，而珊瑚死亡率的差異又與環礁內外的水流交換及環境差異有關。環礁內部潟湖區的現生珊瑚，包括微孔珊瑚、菊珊瑚及苔珊瑚科種類，皆屬於較能忍受水溫升高的物種；而大量殘骸所代表的軸孔珊瑚、表孔珊瑚及鹿角珊瑚則是對水溫升高敏感的物種。未來環礁內部潟湖區的珊瑚礁復育，可採用移植珊瑚分枝或群體的方式進行。

**關鍵詞：**東沙環礁，珊瑚群聚，南中國海

### 一、前 言

關於東沙島珊瑚資源的調查，最早的記錄是楊等(1975)報導 45 種珊瑚；其後，Dai et al.

---

1. 台灣大學海洋研究所。  
2. 通訊作者。E-mail: corallab@ntu.edu.tw

(1995)報導 137 種珊瑚，包括珊瑚類 101 種分屬於 13 科 34 屬，以及八放珊瑚類 6 科 8 屬 33 種、水螅珊瑚 1 科 1 屬 3 種，該報告也指出東沙島海域的珊瑚群聚以造礁石珊瑚為主，其中，軸孔珊瑚 (*Acropora* spp.) 和微孔珊瑚 (*Porites* spp.) 是最常見的種類，廣泛分布於東沙島四周海域；在潟湖內，主要由分枝形的軸孔珊瑚，構成枝桠交錯的海底景觀，而在環礁外圍平台，則以桌面形的軸孔珊瑚為主，密集覆蓋在礁石表面，形成層次分明的景觀；軟珊瑚則主要分布在西北及西南方礁台外緣的斜坡上；東沙環礁的珊瑚相屬於印度、太平洋區系，並與台灣南部、菲律賓及南沙群島都甚相似。Li et al. (2000) 在 1998 年的調查則發現東沙環礁的珊瑚群聚已產生巨大變遷，尤其是原來占據潟湖和礁台外緣的大片軸孔珊瑚和鹿角珊瑚群集都已死亡，而被絲狀海藻、海鞘、苔蟲和海綿所覆蓋，到處都是珊瑚墳場，在 3 天的潛水調查中，僅記錄到 14 科 26 屬 61 種的珊瑚。Soong et al. (2002) 共記錄到 17 科 52 屬 107 種珊瑚，而且東沙環礁的珊瑚覆蓋率仍很低，但是已有一些新生珊瑚幼苗附著在礁石上生長；而在東沙島東側的潟湖中仍可發現許多大型的棘孔珊瑚 (*Echinopora* spp.)、微孔珊瑚 (*Porites* spp.) 群體，以及蕈珊瑚科的種類分布於水深 10 m 以深底質上，顯示這些珊瑚是環境變遷中殘存的種類。樊(2004)則報導 198 種珊瑚，同樣顯示環礁潟湖的珊瑚遭受重大破壞，僅在南及北水道附近海底有較多珊瑚生長。

歷年調查資料顯示，東沙海域的珊瑚礁在 1997 年以前即受到長期過度捕撈和破壞性漁業行為的影響，漁業資源枯竭，及至 1998 年又遭受西太平洋海水暖化的影響(Morton and Blackmore, 2001; Burke et al., 2002)，造成珊瑚大量白化及死亡，導致活珊瑚稀少，珊瑚覆蓋率大幅降低 (方, 1998; Li et al., 2000; Li and Fang, 2002; Soong et al., 2002)，然而，過去的調查大多集中於東沙島周圍及潟湖部分礁區，對於廣大潟湖和環礁外圍的珊瑚礁現況所知仍很少，本研究目的在於調查東沙海域珊瑚礁現況，增進對東沙環礁生態系的瞭解，並做為東沙國家公園分區規劃及資源管理的基礎。

## 二、材料與方法

### 1. 珊瑚礁底質調查

調查地點包括東沙環礁內、外部及礁台區。在環礁內部縱貫潟湖中央的南、中、北共設立四個調查點，環礁外圍的北、東及南面共設立五個調查點(圖一)。在各調查點採用國際珊瑚礁總體檢的調查方法(Hodgson, 1999)，在各調查地點水深約 10 m 處各設置一條 50 m 長的橫截線，橫截線上以 20 cm 為一個觀測點，記錄底質類型 (分為：石珊瑚、大型海藻、礫石、軟珊瑚、海綿、沙、死珊瑚、岩石、泥及其他等十大類)的出現頻度，其中，死珊瑚係指近期死亡而外骨骼仍可辨認的珊瑚遺留，岩石(或空白基質)則包括沒有大型附著物的裸露珊瑚礁基質。每一橫截線至少記錄 200 點底質資料，以各類底質出現的頻率做為估計石珊瑚覆蓋率及各類底質所佔比例的依據。在環礁內部西北及礁台區，因地形及深度限制，並未做橫截線定量調查，僅進行珊瑚種類分布調查。

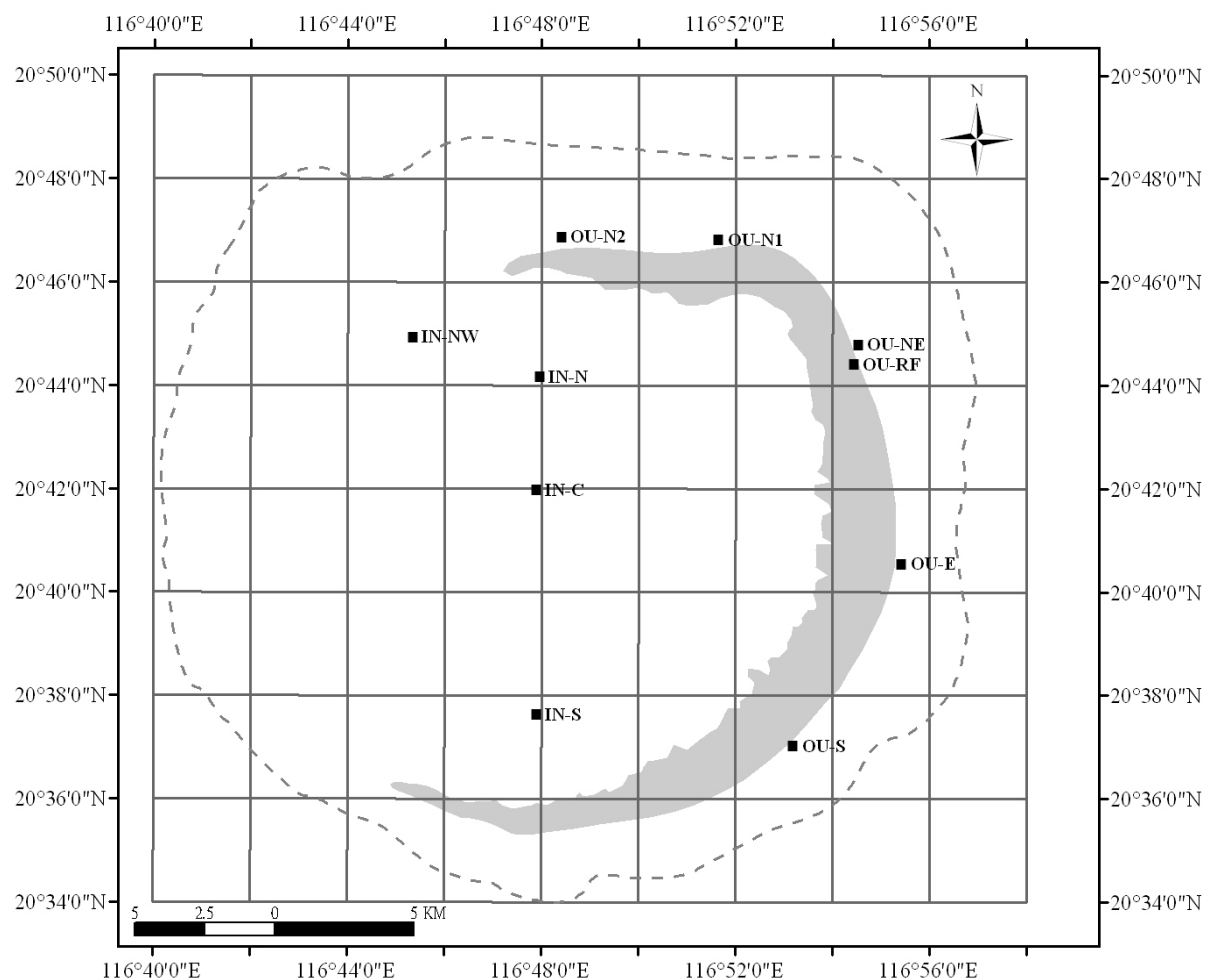
### 2. 珊瑚礁地形及珊瑚種類分布調查

在各調查地點沿著橫截線記錄兩側各 5 m 範圍，亦即 500 m<sup>2</sup> 內出現的珊瑚種類和豐富度。珊瑚種類豐富度的表示法為：R(稀少)表示在此範圍內只發現 1~2 株珊瑚群體；O(偶見) 表示可

發現 3~6 株珊瑚群體；C(常見) 表示可發現 7~15 株珊瑚群體；A(豐富) 表示可發現 15 株珊瑚群體以上。除了設立的橫截線之外，也在礁區利用水肺潛水與浮潛調查等方式搜尋、記錄珊瑚種類，並估計其在搜尋範圍內的豐富度。

### 3. 珊瑚群聚分析

各地點珊瑚群聚的物種和相對豐度資料，利用 Primer 軟體 (Clarke and Warwick, 2001) 進行聚類分析(cluster analysis)，並採用 Bray-Curtis 相似度指數為計算不同地點之間珊瑚群聚相似度的指標。

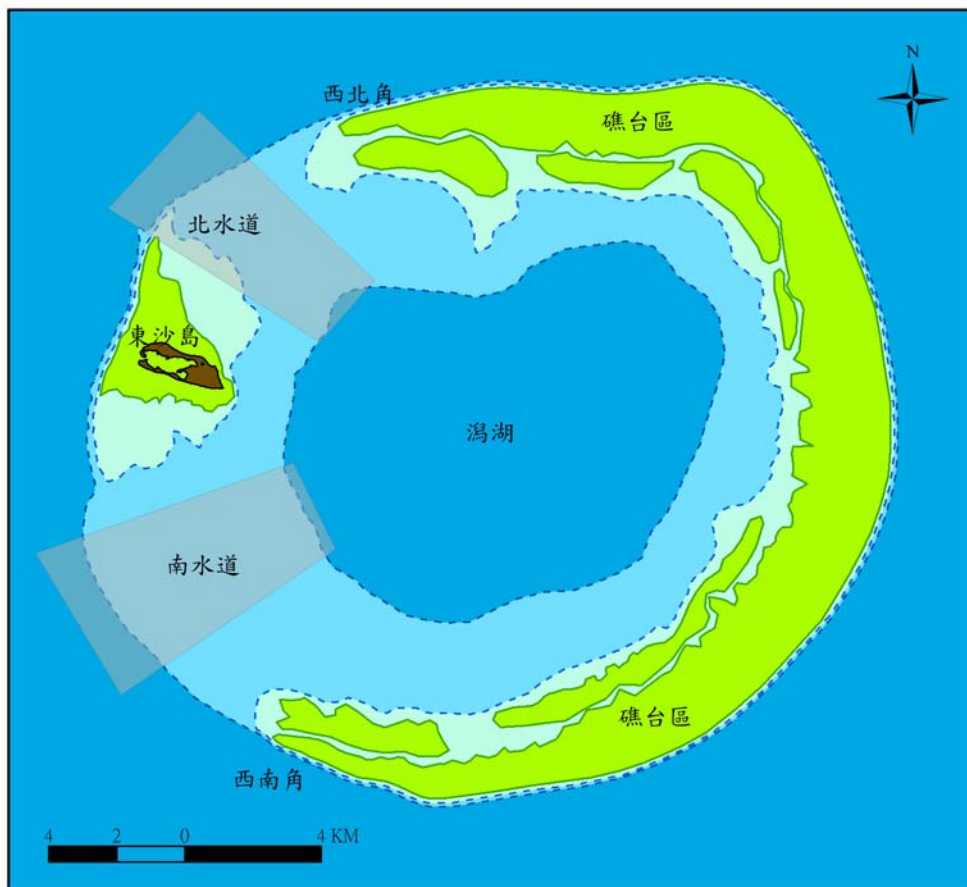


圖一. 東沙環礁珊瑚群聚調查地點位置圖。

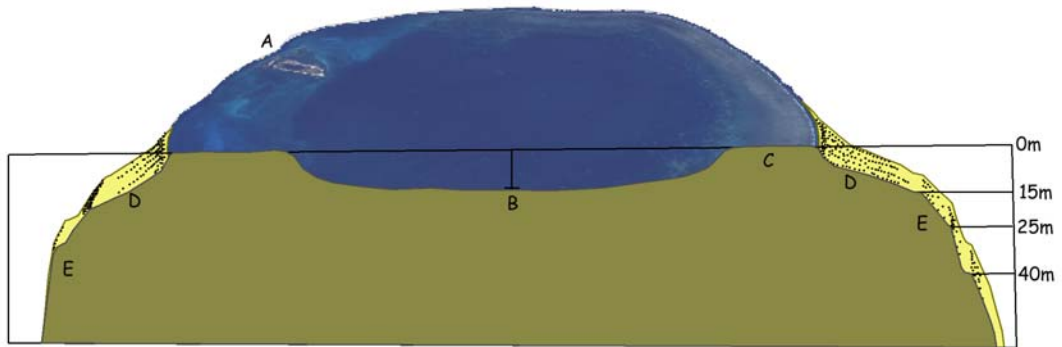
### 三、結 果

#### (一) 珊瑚礁地形

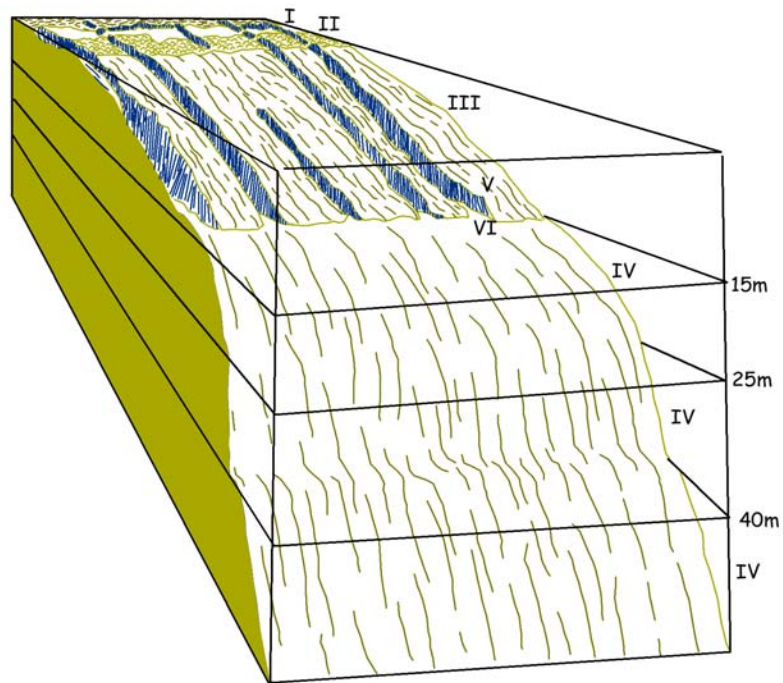
東沙環礁為典型的環礁，直徑約 25 公里，面積約 500 平方公里，主要係由造礁珊瑚建造形成。環礁周圍的礁台在低潮時大部分露出水面，礁台長約 46 km，寬約 2 km，環礁內部的潟湖直徑約 21 km，深度大多在 10 m 以內，最深處約 16 m；在潟湖西北及西南方為北及南水道，是潟湖與外界海水交換的通道(圖二)。雖然我們在環礁內部潟湖區和環礁外部的調查地點都相當有限，但是由於環礁內及外部各地點所顯示的珊瑚礁形態都很一致，因此大致可歸納出東沙環礁的面貌，如圖三及四所示。東沙環礁地形的剖面圖(圖三)顯示，東沙環礁內部潟湖區的鄰近東沙島和礁台處都是很淺的平台，環礁外圍在水深 25 m 以淺是礁斜坡，寬約數百至一千餘公尺，坡度通常很平緩，表面有礁脊和槽溝交錯分布，槽溝大致呈輻射狀，由礁台延伸至珊瑚礁邊緣，顯示為波浪及海流侵蝕的地形(圖四)。珊瑚主要分布在水深 0~15 m 礁斜坡區的礁脊和槽溝壁上，槽溝底部為海流通道，甚少珊瑚生長，但是有些珊瑚碎屑堆積(圖五 a)；水深 15~25 m 以深則為陡坡，表面平坦，礁脊和槽溝皆不發達；水深 25 m 則為斷崖，幾乎呈垂直下降，陡坡上有一些棘穗軟珊瑚及柳珊瑚附著生長(圖五 b)，底部則由淺海礁斜坡區崩落的礁塊或掉落的珊瑚碎屑等沉積物組成；水深 40 m 以下又有一小型平台，再往下也是斷崖。



圖二. 東沙環礁是一發育完整的環礁，具有各類型的環礁地形。



圖三. 東沙環礁珊瑚礁結構剖面圖。A: 東沙島, B: 瀉湖, C: 礁台(reef flat), D: 礁斜坡(reef slope), E: 陡坡 (drop-off); 環礁外圍直徑約 25 km。



圖四. 東沙外環礁垂直分區結構圖。I: 礁台區(reef flat), II: 礁緣區(reef crest), III: 礁斜坡 (reef slope), IV: 陡坡 (drop-off)。

## (二) 珊瑚群聚

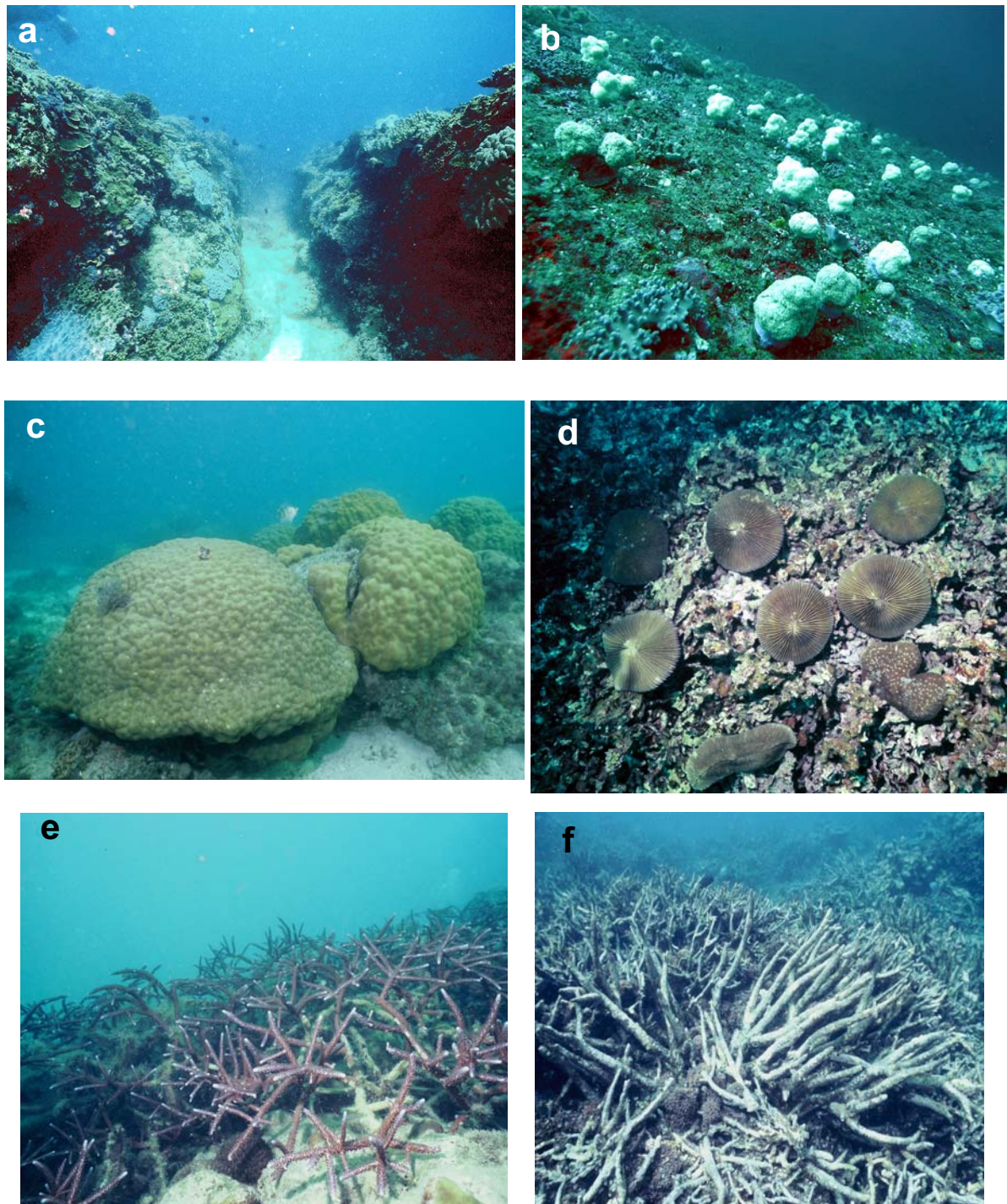
### 1. 環礁內部

環礁內部以中央區域較深，水深約 10~16 m，周圍鄰近環狀礁台處的水深通常在 5 m 以內。潟湖南部鄰近南水道處水深約 5~12 m，其底質為塊狀礁和沙底交錯分布的棲地，沙底主要由珊瑚骨骼碎片和珊瑚細沙構成，塊狀礁則主要由死珊瑚骨骼(占 58.5%)及團塊形的微孔珊瑚(*Porites* spp.)大型群體構成(圖五 c)，菊珊瑚科(Faviidae)種類，包括多種菊珊瑚(*Favia* spp.)、角菊珊瑚(*Favites* spp.)、角星珊瑚(*Goniastrea* spp.)、腦紋珊瑚(*Platygyra* spp.)及細菊珊瑚(*Cyphastrea* spp.)等的小群體也很常見，礁石邊緣有紅扇珊瑚(*Melithaea ochracea*)生長，整體石珊瑚覆蓋率約 37.5%(表一)。

表一. 東沙環礁內及外部的珊瑚覆蓋率及其他底質類型的比例。OU-S: 環礁外部南面; OU-E: 環礁外部東面; OU-N: 環礁外部北面; IN-S: 環礁內部南面; IN-C: IN-N: 環礁內部北面。

	OU-S	OU-E	OU-N	IN-S	IN-C	IN-N
石珊瑚	42.5	60.0	26.5	37.5	17.5	6.5
軟珊瑚	28.5	24.5	54.0	0.0	0.0	0.0
死珊瑚	11.0	3.0	1.0	58.5	44.5	71.0
沙	8.5	0.5	1.0	4.0	15.5	2.5
礫石	7.5	8.5	13.0	0.0	18.0	18.5
大型藻類	1.0	2.0	3.0	0.0	4.5	1.5
海綿	1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0
黏土、泥	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
其他	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0

潟湖中央水深 10~16 m 處底質主要為死珊瑚、沙及礫石。死珊瑚骨骼大多呈碎片狀密佈於底質上(占 44.5%)，有些因無法辨認而歸類為礫石(18%)。現生珊瑚覆蓋率約 17.5%(表一)，以蕈珊瑚科(Fungiidae)的種類為主(圖五 d)，最常見的是外表呈圓形的蕈珊瑚(*Fungia* spp.)，直徑多數在 10 cm 以上，都是由單一珊瑚蟲形成的個體；其次是群體型的蕈珊瑚，包括蛞蝓匐石珊瑚(*Herpolitha limax*)、多葉珊瑚(*Polyphyllia talpina*)、強壯展珊瑚(*Sandalolitha robusta*)及鋸齒展珊瑚(*S. dentata*)等，這些珊瑚都與底質游離，有些散佈於沙底上；其次常見者為葉片形的大珊瑚群體，主要種類有片棘孔珊瑚(*Echinopora lamellosa*)、芽棘孔珊瑚(*E. germmacea*)、粗糙棘葉珊瑚(*Echinophyllia aspera*)等；底質上也有一些菊珊瑚科、目珊瑚科和苔珊瑚科(Mussidae)的小群體零散分布。



圖五. a: 東沙環礁外圍的珊瑚礁地形為礁脊和槽溝交錯分布; b: 環礁外圍水深 20-25 公尺之間為陡坡，其上有許多棘穗軟珊瑚分布; c: 瀉湖南方鄰近南水道的微孔珊瑚群體; d: 瀉湖中央底質上的蕈珊瑚，生長在珊瑚碎屑表面; e: 瀉湖北部殘存的美麗軸孔珊瑚(*Acropora muricata*)群集，其基部被雀鯛佔據為巢; f: 瀉湖北部礁區已死亡多年的軸孔珊瑚殘骸。

環礁內部潟湖北面的底質大多為死珊瑚骨骼碎片(占 71%)，有些因死亡已久而歸類為礫石(占 18.5%)，現生珊瑚以微孔珊瑚較多，其他則為少數的軸孔珊瑚、蕈珊瑚、菊珊瑚、棘葉珊瑚、片珊瑚(*Pectinia* spp.)、斜花珊瑚(*Mycedium elephantotus*)、瓣葉珊瑚(*Lobophyllia* spp.)及合葉珊瑚(*Symphyllia* spp.)種類，物種多樣性甚高，但是活珊瑚覆蓋率僅約 6.5%；其中有美麗軸孔珊瑚(*Acropora muricata*)形成的群集(圖五 e)，是極少數殘存的軸孔珊瑚之一，但是其基部已被領域性雀鯛佔據為巢，僅餘頂端存活，生長狀況並不佳。

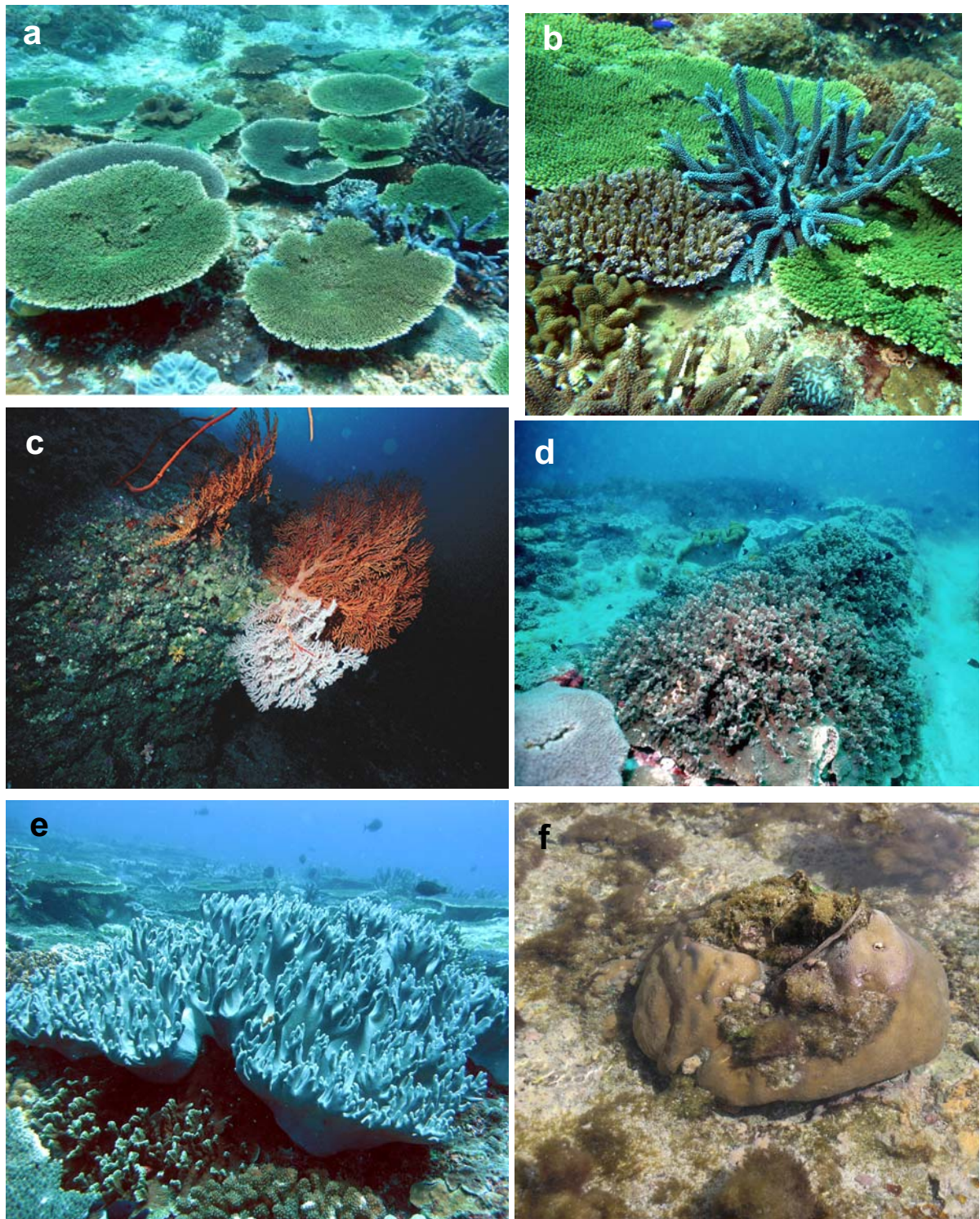
潟湖西北面靠近北航道處的礁區都很淺，大片區域的水深都不超過 5m，底質主要為由死亡之軸孔珊瑚骨骼殘骸構成，骨骼分枝成束，緊密連結，厚達數公尺(圖五 f)，顯示原先該區軸孔珊瑚生長非常茂盛，但是在遭遇大災變之後幾乎已全部死亡，僅少數微孔珊瑚及管孔珊瑚(*Goniopora* spp.)殘存下來，新近附著的珊瑚甚少，覆蓋率低於 2%。

## 2. 環礁外部

相對於環礁內部，東沙環礁外部的珊瑚群聚仍保持在良好狀態，各調查地點活珊瑚(包括石珊瑚和軟珊瑚)的覆蓋率都在 70% 以上(表一)。環礁外部南方水深 4~15 m 的礁區為平緩斜坡，表面地形為礁脊和槽溝交錯分布，礁脊寬約數公尺至十餘公尺，溝溝較窄，寬約 2~5 m，由淺向深處彎曲延伸或斷續分布。珊瑚主要分布在礁脊表面和槽溝兩側，覆蓋率約 71%，其中，石珊瑚類約占群聚組成的三分之二，軟珊瑚類約占三分之一。石珊瑚類以桌形和分枝形的軸孔珊瑚最占優勢(圖六 a)，其次是團塊形的菊珊瑚科和苔珊瑚科種類；軟珊瑚類則以肉質軟珊瑚(*Sarcophyton* spp.)、葉形軟珊瑚(*Lobophytum* spp.)和指形軟珊瑚(*Simularia* spp.)為主，穗珊瑚科(Nephtheidae)和傘珊瑚科(Xeniidae)的種類很少出現。大致而言，水深 0~15 m 之間以石珊瑚較占優勢，水深 15 m 以深則軟珊瑚的覆蓋率逐漸增加。

環礁外部東面共有二調查地點，一在東面(116.923767E, 20.675700N)，另一在靠近東北角處(116.908817E, 20.746383N)。兩地點的珊瑚礁地形和珊瑚群聚都很相似；珊瑚礁表面為礁脊和槽溝交錯分布狀態，槽溝由淺海向深海延伸，在水深 5~15 m 之間為平緩斜坡，珊瑚覆蓋率高達 84.5%，其中石珊瑚類約占 60%，軟珊瑚類占 24.5%，礁石表面密布各類的桌形軸孔珊瑚，其中夾雜分布一些粗狀分枝的軸孔珊瑚(圖六 b)和巨枝鹿角珊瑚(*Pocillopora eydouxi*)，其次則為團塊形的石珊瑚，包括菊珊瑚、角菊珊瑚、角星珊瑚、合葉珊瑚、雀屏珊瑚(*Pavona* spp.)等。軟珊瑚類則有肉質軟珊瑚、葉形軟珊瑚和指形軟珊瑚等。水深 15~25 m 之間為坡度稍大的斜坡，礁石表面的珊瑚相逐漸成為軟珊瑚占優勢的群聚，水深 25 m 以下為陡坡(drop-off)，鄰近陡坡處有許多棘穗軟珊瑚(*Dendronephthya* spp.)分布，陡坡從水深 25 m 垂直下降至約 40 m 處有一台階，再往深處也是陡坡。陡坡表面分布著紅扇珊瑚(圖六 c)、棘穗軟珊瑚、紅鞭珊瑚(*Junceella* sp.)和黑角珊瑚(*Antipathes* spp.)，另有少數的石珊瑚稀疏分布。





圖六. 東沙環礁外部的珊瑚群聚，a: 環礁外圍東及南面的珊瑚群聚以桌形軸孔珊瑚；b: 粗分枝和桌面形的軸孔珊瑚共同構成珊瑚群聚；c: 水深約 35 公尺礁壁上的柳珊瑚；d: 環礁外部北面的礁脊和槽溝交錯分布；e: 環礁北面常見的指形軟珊瑚 (*Simularia* sp.); f: 礁台區的微孔珊瑚在低潮時部分露出水面。

環礁外部北面二地點所呈現的珊瑚礁地形和珊瑚群聚特徵也很相似。調查區水深 5~15m 之間為很平緩的斜坡，表面為礁脊和槽溝交錯分布地形，槽溝很淺，深度通常小於 1 m，而且斷續分布(圖六 d)；水深 10 m 以下則有大型礁塊分布，地形較富變化。礁石表面的珊瑚覆蓋率約 80.5%，其中，軟珊瑚較為優勢，約占三分之二(54%)，主要種類組成肉質軟珊瑚、葉形軟珊瑚和指形軟珊瑚(圖六 e)，尤其是柔軟指形軟珊瑚 (*Simularia flexibilis*) 常形成大型群集密集覆蓋在礁石表面，許多指形軟珊瑚的群體直徑超過 1 m，基部的骨針凝集堆積，具有造礁功能。石珊瑚類約占總生物量的三分之一(26.5%)，主要組成是團塊形的菊珊瑚科(Faviidae)、苔珊瑚科(Mussidae)種類，以及表覆形的表孔珊瑚(*Montipora* spp.)和片珊瑚科(Pectiniidae)種類，分枝形和桌面形的軸孔珊瑚較少。大型礁塊的側面則有柳珊瑚分布，其中以紅扇珊瑚(*Melithaea ochracea*)最為常見。

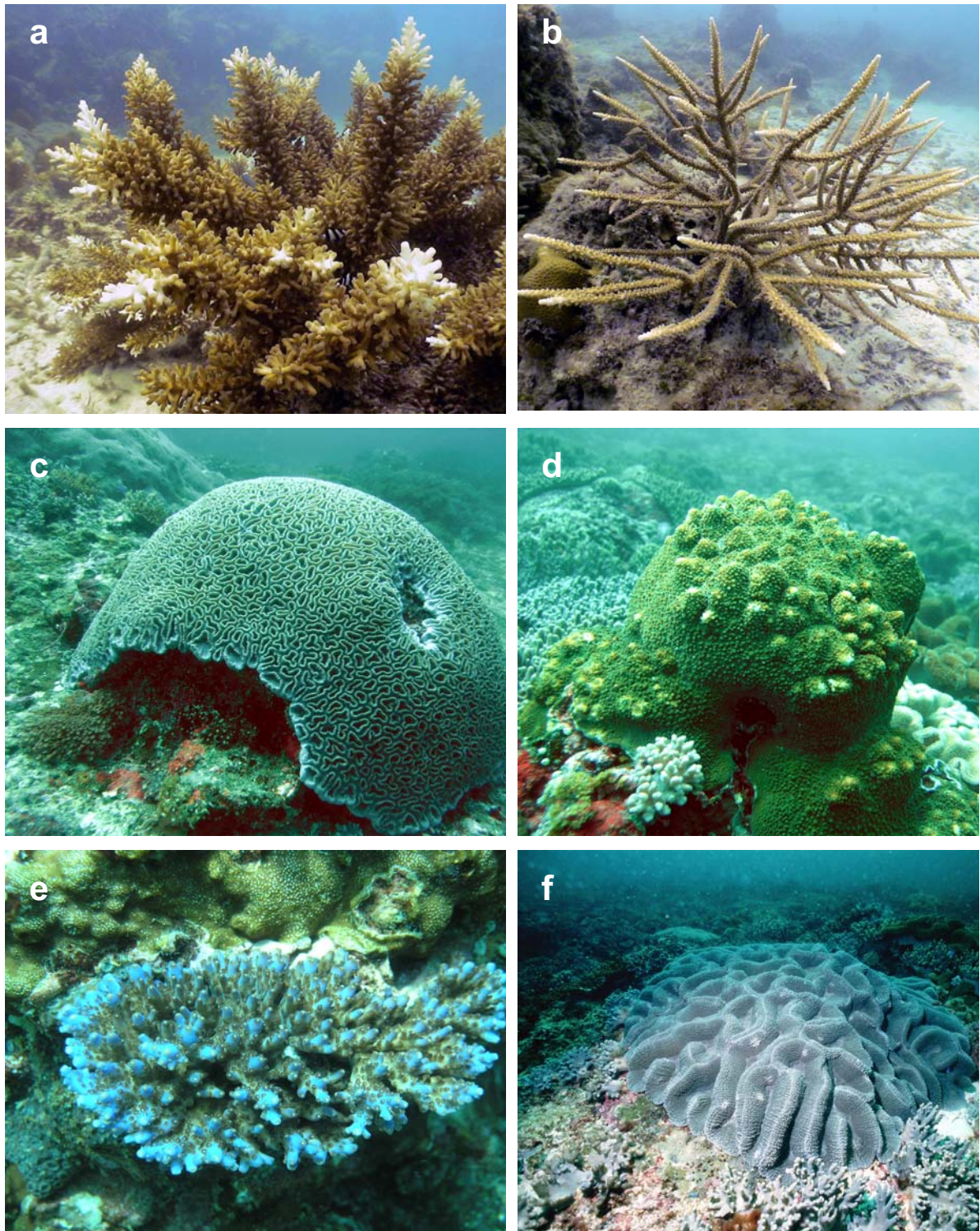
### 3. 礁台

東沙環礁的礁台外形呈馬蹄形，自北面延伸至東、南面，長約 50 公里，寬度約 2~3 公里，在衛星影像上清晰可見，大部分區域位在海平面附近，退潮時露出水面，漲潮時則部分區域淹沒水中。礁台上有許多擱淺船隻，構成特殊景觀。我們在環礁東面的礁台上步行調查約 1 公里的範圍，礁台表面主要由珊瑚碎屑和活珊瑚群體構成，地形平坦，表面有一些潮池，潮池中有豐富的生物，包括大型海藻和海草，顯示礁台區的生產力很高，也有許多棘皮動物的海膽、陽遂足和海參、環節動物多毛類、海鞘及刺胞動物的海葵和水螅等；珊瑚則以團塊形和表覆形的石珊瑚群體為主(圖六 f)，例如微孔珊瑚、菊珊瑚、角星珊瑚、腦紋珊瑚等。初步觀察結果顯示，礁台區的生物量和生物多樣性都很高。

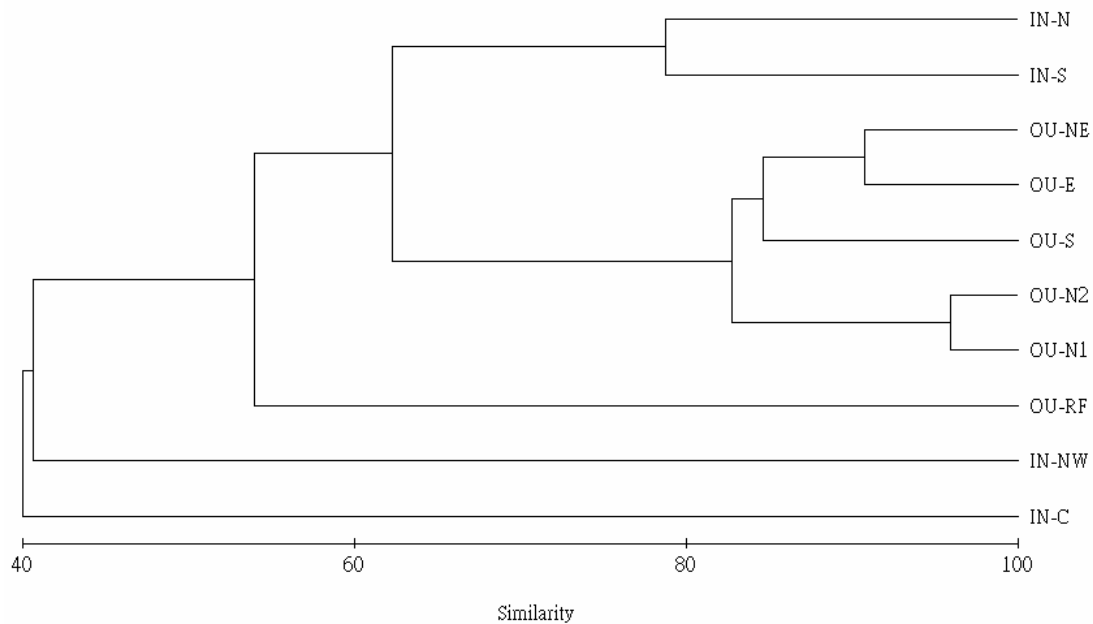
#### (三) 珊瑚相

綜合各地點珊瑚種類的調查資料，共記錄有石珊瑚類(Scleractinia) 207 種、軟珊瑚類(Alcyonacea) 34 種、柳珊瑚類(Gorgonacea) 4 種、水螅珊瑚類(Hydrocorallia) 5 種等，共 250 種珊瑚。其中包含台灣海域的一新記錄屬(刺杯珊瑚 *Acrhelia* sp.)及六新記錄種：刺刷軸孔珊瑚(*Acropora echinata*)、纖細軸孔珊瑚(*Acropora exquisita*)、越南菊珊瑚(*Favia vietnamensis*)、尖銳軸孔珊瑚(*Acropora abrotanoides*)、顆粒軸孔珊瑚(*Acropora granulosa*)、彎曲瓣葉珊瑚(*Lobophyllia flabelliformis*)(圖七)。還有一些特殊顏色型或生長型的珊瑚，都可在東沙外環礁海域發現。

各調查地點珊瑚群聚種類組成的聚類分析結果(圖八)顯示，外環礁五調查地點的珊瑚群聚基本上屬於同一大群，其中，北、東及南面的珊瑚群聚各自形成一小群，東(OU-E, OU-NE)及南面(OU-S)屬於石珊瑚類優勢群聚，珊瑚群聚物種組成的相似度高達 85%；北面(OU-N1, OU-N2)屬於軟珊瑚類優勢群聚；內環礁的南(IN-S)及北側(IN-N)形成一群，是以微孔珊瑚科及菊珊瑚科為主要組成的群聚；內環礁中央(IN-C)自成一類，為葦珊瑚科和片珊瑚科優勢的群聚，外環礁的礁台區(OU-RF)也自成一類，屬於獨特的潮間帶珊瑚群聚；內環礁的西北面(IN-NW)則屬於嚴重破壞的珊瑚群聚，物種數少，活珊瑚極少。



圖七. 生長於東沙海域，但在台灣附近海域未曾有記錄的石珊瑚。a: 刺刷軸孔珊瑚 (*Acropora echinata*); b: 纖細軸孔珊瑚 (*Acropora exquisita*); c: 越南菊珊瑚 (*Favia vietnamensis*); d: 尖銳軸孔珊瑚 (*Acropora abrotanoides*); e: 顆粒軸孔珊瑚 (*Acropora granulosa*); f: 彎曲瓣葉珊瑚 (*Lobophyllia flabelliformis*).



圖八. 東沙環礁各調查地點珊瑚群聚組成的群集分析結果(各地點代號及位置如圖一及表一所示)。

#### 四、討 論

從珊瑚礁地形和地貌看來，東沙珊瑚礁是一典型的環礁(Guilcher, 1988)，它的形狀近於圓形，有發育完整的礁平台、島嶼、潟湖和南北水道。若與南海的珊瑚礁比較，東沙環礁的地形與西沙群島(莊等, 1983)及南沙群島(鍾等, 1966)的珊瑚礁都有類似之處。基本上，南海的珊瑚礁是在第三紀南海形成、擴張和演變過程中逐漸形成的；在此過程中，陸地緩慢下沉，珊瑚礁向上生長，兩者速度相近，於是逐漸形成珊瑚礁。莊等(1983)指出西沙群島由於陸地下沉速度不均勻，因此形成明顯的三級階地；同樣的階地也出現在東沙環礁，第一級階地自水深3~5 m延伸至水深約15 m，此段的坡度平緩，槽溝和礁脊發達，礁表面的珊瑚生長繁盛；第二級階地在水深15~25 m之間，坡度較陡，槽溝和礁脊皆不發達，礁表面平坦，珊瑚覆蓋率低，而且主要以軟珊瑚為主；第三級階地則在水深約40 m處，礁表面僅有一些軟珊瑚、柳珊瑚及黑珊瑚群體生長。這種地形特徵顯示東沙環礁在形成過程中的下沉速度並不一致。

就大尺度的生物地理區而言，東沙環礁的石珊瑚類大多是印度-西太平洋廣泛分布種(Veron, 1993)，其石珊瑚群聚物種組成與西太平洋熱帶珊瑚礁相似，軟珊瑚相則與恆春半島南灣海域相似(Dai 1991)。但是少數珊瑚物種的組成有些差異，例如在印度-西太平洋分布非常廣而常見的尖枝列孔珊瑚(*Seriatopora hystrix*)和藍珊瑚(*Heliopora coerulea*)，在東沙環礁內及外部皆未發現，萼柱珊瑚(*Stylophora pistillata*)也很少。由於尖枝列孔珊瑚和萼柱珊瑚都是對水溫升高非常敏感的種類(Loya et al., 2001)，牠們可能是在1998年的大白化事件中大幅減少或消失，藍珊瑚也可能遭遇相似的情況。

東沙環礁外部的珊瑚群聚，造礁珊瑚種類多、覆蓋率高，而且是以桌形和分枝形的軸孔珊

瑚為主體架構物種，這些都是生長較快速的造礁物種，顯示東沙環礁外部的珊瑚群聚屬於健康狀態，仍保有健全的造礁功能(Edinger and Risk, 2001)。環礁外部北面的珊瑚群聚，雖然以軟珊瑚為優勢物種，但是其中大多數具有造礁功能，因此也屬於健康的珊瑚群聚。環礁內部瀉湖區的珊瑚則在 1998 年的大白化事件之後大量死亡 (Li et al., 2000; Soong et al., 2002; Dai, 2005)。尤其是水深 5m 以淺的底質上到處都是軸孔珊瑚殘骸，活珊瑚覆蓋率很低；水深 5~10 m 海域的珊瑚覆蓋率稍高(約 10~15%)，以微孔珊瑚及菊珊瑚科種類為主；水深 10 m 以深，則以蕈珊瑚和葉片形珊瑚為主要物種，珊瑚覆蓋率較高，約有 15~20%。瀉湖區珊瑚覆蓋率最高處位於南水道附近，可達約 35%，主要物種也是微孔珊瑚及菊珊瑚科種類。環礁內及外部珊瑚群聚物種組成的差異，反映出兩地珊瑚種類在水溫升高衝擊下的命運大不相同。這種現象在其他珊瑚礁也有出現(Wilkinson, 2000; Glynn et al., 2001; Vargas-Angel et al., 2001)，1997-98 年的 ENSO 事件在太平洋東岸珊瑚礁的影響就呈現明顯的時空變異，即使是鄰近的礁區也可能呈現截然不同的影響，這種差異與地區性的環境條件有關。導致東沙環礁內外的差異可能與海水的交換有關，由於環礁內部瀉湖區的水淺，水流交換僅由南及北水道，而且主要在漲退潮之間進行，因而受到很大的限制，容易引起、甚至強化水溫升高的影響；Arceo et al. (2001)及 Burke et al. (2002)皆指出在 1998 年七至十月間，南海的水溫約升高 2°C，這種發生在夏季的異常高溫已超過珊瑚生長水溫的上限，在東沙瀉湖內可能更被強化，因此導致珊瑚大量白化及死亡；而環礁外部的水流交換較好，並且經常有來自深海的冷水團湧入礁區，緩衝表層海水的升溫效應；這種冷水團可能是由於南海內波傳遞至東沙陸棚時向上湧升所造成(Duda et al., 2004)，2005 年七月下旬我們在東沙環礁外圍潛水調查時，就曾數度遇到冷水團入侵礁區，在短時間內的溫度差可達到 5°C 以上，這種降溫效應除了幫助東沙環礁外圍的珊瑚躲過大白化的浩劫之外，對於珊瑚群聚和珊瑚礁生態系的長期影響，也是值得深入探討的問題。

東沙環礁內部的珊瑚群聚在經歷水溫異常的大白化事件中，不同珊瑚種類的命運有很大差異。分枝形的軸孔珊瑚(*Acropora* spp.)、鹿角珊瑚(*Pocillopora* spp.)、列孔珊瑚(*Seriatopora* spp.)、萼柱珊瑚(*Stylophora pistillata*)，以及葉片形的表孔珊瑚(*Montipora* spp.)是對水溫升高較敏感的物種，因而在環礁內部大白化事件中受到重創，大量死亡；相對而言，微孔珊瑚(*Porites* spp.)、菊珊瑚科及蕈珊瑚科種類則對水溫升高的忍受度較高，因而有部分群體存活下來，這種現象與 Loya et al. (2001) 報導琉球群島的石珊瑚歷經白化衝擊後的反應相同。顯然，水溫異常是一強大的選汰力量，使珊瑚群聚組成在短期內產生重大改變；這種改變趨勢可做為預測氣候變遷對珊瑚礁衝擊的參考。

東沙環礁內部的平均珊瑚覆蓋率低於 15%，依據國際珊瑚礁總體檢 (Hodgson, 1999) 和國際珊瑚礁監測網 (Wilkinson, 2004) 的評估標準，整個瀉湖區都屬於遭受到破壞的珊瑚礁生態系，並且已產生相變(phase-shift)，由原本造礁珊瑚優勢的群聚，轉變為大型藻類及絲狀藻類優勢的群聚(Dai, 2005)；魚類群聚也跟著產生改變，由兼具草食性及肉食性魚類的群聚，轉變為草食性魚類優勢的群聚(陳等, 2005; 鄭等, 2005)，珊瑚礁生態系的正常功能受到很大影響。而調查期間很少發現新生珊瑚，顯示自 1998 年的大量死亡事件之後，珊瑚礁的復原情形仍不明顯 (Li et al., 2000; Soong et al., 2002; Dai, 2005)；一般而言，如此大規模的珊瑚死亡事件通常需要數十年的時間才能逐漸恢復 (Connell et al., 1997; Hoegh-Guldberg, 1999; Pandolfi, 2002)。由於在自然狀態下，珊瑚幼苗散布期間的死亡率高，而且初期成長速率緩慢，若要加速東沙珊瑚礁生態系的復原，則採取移植珊瑚的做法應該是促進珊瑚復育的有效方式 (如 Rinkevich, 2000; Soong and Chen, 2003)，但是在復育過程中，應先選擇適當的物種，以建構珊瑚群聚的代表性功能群

物種為優先 (Bellwood et al., 2004)，未來若經由人工移植珊瑚分枝或群體的方式，自環礁外圍取得適當的種原，搬運至環礁內部種植，將可大幅加速珊瑚群聚的復原；然而，由於潟湖的面積廣闊，在此過程中，宜選擇數個重點區域進行珊瑚群聚復育，並定期監測其移植珊瑚的存活率及復育成效。

## 五、致 謝

感謝內政部營建署國家公園組的經費資助、海巡署福星艦及東沙指揮部的支援，使本報告野外調查工作能順利完成；中華民國珊瑚礁學會鄭明修理事長及研究室同仁在野外調查工作的安排與支持，營建署國家公園組盧淑妃科長、吳祥堅及余澄琦先生在行政上的支援及提供寶貴意見，都是促成本報告得以完成的關鍵。

## 六、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。
- 陳正平、李展榮、黃建華、方力行、邵廣昭，2005。2004 年東沙環礁魚類現況。國立海洋生物博物館東沙海洋生物多樣性專刊 1: 1-24。
- 莊啟謙、唐質燦、李春生、陸保仁、曾呈奎，1983。西沙群島金銀島和東島礁平台生態調查。海洋科學集刊第 20 集，1-50 頁。
- 樊同雲、郭兆揚、方力行，2005。東沙環礁的珊瑚相與珊瑚群聚健康狀況。國立海洋生物博物館東沙海洋生物多樣性專刊 1: 49-70。
- 楊榮宗、江永棉、陳汝勤，1975。東沙島綜合調查報告，台灣大學海洋研究所專刊第 8 號，33 頁。
- 鄭明修、邵廣昭、戴昌鳳、陳正平、林綉美、孟培傑，2005。東沙海域生態資源基礎調查研究，中華民國珊瑚礁學會。
- 鍾晉樑、陳欣樹、張喬民、孫宗勛，1996。南沙群島珊瑚礁地貌研究，科學出版社，北京，84 頁。
- Arceo, H. O., M. C. Quibilan, P. M. Alino, G. Lim and W. Y. Licuanan. 2001. Coral bleaching in Philippine reefs: coincident evidences with mesoscale thermal anomalies. *Bulletin of Marine Science* 69: 579-593.
- Bellwood, D. R., T. P. Hughes, C. Folke and M. Nystrom (2004) Confronting the coral reef crisis. *Science* 429: 827-833.
- Burke, L., E. Selig and M. Spalding. 2002. *Reefs at Risk in southeast Asia*. World Resource Institute, Washington, USA.
- Clarke, K. R. and R. M. Warwick. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, Second edition, PRIMER-E, Plymouth, U.K.

- Connell, J.H., T. P. Hughes and C. C. Wallace. 1997. A 30-year study of coral abundance, recruitment, and disturbance at several scales in space and time. *Ecological Monograph* 67: 461-488.
- Dai, C. F. 1991. Reef environment and coral fauna of southern Taiwan. *Atoll Research Bulletin* 354:1-28.
- Dai, C. F. 2005. Dongsha Island: past, present, and future. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, Okinawa (in press)
- Dai, C. F., T. Y. Fan and C. S. Wu. 1995. Coral fauna of Tungsha Tao (Pratas Islands). *Acta Oceanographica Taiwanica* 34: 1-16.
- Duda, T. F., J. F. Lynch, J. D. Irish, R. C. Beardsley, S. R. Ramp, C. S. Chiu, T. Y. Tang, Y. J. Yang. 2004. Internal tide and nonlinear internal wave behavior at the continental slope in the northern South China Sea. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 29: 1105-1130.
- Edinger, E. N. and M. J. Risk. 2000. Reef classification by coral morphology predicts coral reef conservation value. *Biological Conservation* 92:1-13.
- Glynn, P. W., J. L. Maté, A. C. Baker and M. O. Calderón. 2001. 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: 79-109.
- Guilcher, A. 1988. Coral reef geomorphology. John Wiley & Sons, New York. 228 p.
- Hodgson, G. 1999. A global assessment of human effects on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 38: 345-355.
- Li, J. J. and L. S. Fang. 2002. The management of Dong-sha Atoll as an effective marine protected area, Proceedings of the 4th Conference on the Protected Areas of East Asia (IUCN/WCPA/EA-4), p. 403-415, Taipei.
- Li, J. J., T. F. Lee, K. S. Tew and L. S. Fang. 2000. Changes in the coral community at Dong-Sha Atoll, South China Sea from 1975 to 1998. *Acta Zoologica Taiwanica* 11: 1-15.
- Loya, Y., K. Sakai, K. Yamazato, Y. Nakano, H. Sambali and R. van Woesik. 2001. Coral bleaching: the winners and the losers. *Ecology Letters* 4: 122-131.
- Morton, B. and G. Blackmore. 2001. South China Sea. *Marine Pollution Bulletin* 42: 1236-1263.
- Pandolfi, J. M. 2002. Coral community dynamics at multiple scales. *Coral Reefs* 21:13-23.
- Rinkevich, B. 2000. Steps towards the evaluation of coral reef restoration by using small branch fragments. *Coral Reefs* 136:807-812
- Soong, K. and T. A. Chen. 2003. Coral transplantation: regeneration and growth of *Acropora* fragments in a nursery. *Restoration Ecology* 11:62-71.
- Soong, K., C. F. Dai and C. P. Lee. 2002. Status of Pratas Atoll in South China Sea, Proceedings of the 4th Conference on the Protected Areas of East Asia(IUCN/WCPA/EA-4), p. 739-742, Taipei.
- Vargas-Ángel, B., F. A. Zapata, H. Hernández and J. M. Jiménez. 2001. Coral and coral reef

- responses to the 1997-98 El Nino event on the Pacific coast of Colombia. *Bulletin of Marine Science* 69: 112-132.
- Veron, J. E. N. 1993. A biogeographic database of hermatypic corals: species of the central Indo-Pacific, genera of the world. *Australian Institute of Marine Science Monograph Series* 10, 433 p.
- Wilkinson, C. 2002. *Status of coral reefs of the world: 2000*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia. 361 p.
- Wilkinson, C. 2004. *Status of coral reefs of the world: 2004*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.



## Coral communities at Dongsha Atoll

Chang-Feng Dai<sup>1,2</sup> and Anyi Cheng<sup>1</sup>

(Manuscript received 28 March 2006 ; accepted 3 May 2006)

**ABSTRACT :** Dongsha (or Pratas) Atoll is a typical ring-shaped atoll with a diameter of approximately 25 km and encircled by a rim of reef flat about 2 km wide. Dongsha Island is a part of the exposed reef flat on the west side of the atoll. The lagoon is about 20 km wide with the deepest area of about 16 m near the center. The outer rim of the atoll is surrounded by reef slopes of several hundreds meters wide. The seaward slope between 0 and 15 m is gentle and cut by systems of more or less spaced spurs and grooves, follows by a steep slope between 15 and 25 m deep, then by a drop-off down to 40 m deep or more. Our field surveys in April-August 2005 recorded 250 coral species including 207 species of scleractinians, 34 species of alcyonaceans, 4 species of gorgonians and 5 species of hydrocorals. In the lagoon, the reef substrate was mostly covered by dead coral skeletons or debris with living coral cover of about <5%, 10%, and 15-20% at depths of 0-5 m, 5-10 m, and below 10 m, respectively. The most abundant corals are *Porites* spp., species of Faviidae and Fungiidae. Coral communities on the seaward slope are in a healthy status with living coral cover of about 75-85% on the upper reef slope (0-15 m deep) and abundant branching and table-like *Acropora* species. On the eastern and southern slopes, coral communities are mainly composed of scleractinians corals (about 67% of the total cover) and alcyonaceans comprise about 33% of the cover. While coral community on the northern seaward slope is mainly composed of alcyonaceans (about 67% of the total cover) and scleractinians comprise of about 33% of the cover. Common alcyonaceans are *Sinularia*, *Lobophytum* and *Sarcophyton* species. The reef flat on the outer rim is densely covered by coral debris with patches of massive corals, seagrasses and macroalgae. Common species in this habitat are Poritidae, Faviidae and Siderastreidae. The striking differences of coral communities between the lagoon and seaward slopes reflect major spatial variations of impacts of the 1998 sea temperature anomaly that could be attributed to the differences of water circulation and reef environment. The dead and live corals inside the lagoon reflect differential mortality among species during the mass bleaching event. Species of *Acropora*, *Montipora*, *Pocillopora*, *Seriatopora*, and *Stylophora* suffered severe mortality during the event suggesting that they are sensitive to temperature rising. While some colonies of *Porites*, Faviidae, and Fungiidae survived reflecting that they are stress tolerators. Since reef ecosystem in the lagoon is severely degraded and the recovery has been very slow in the past five years, a reef restoration plan by transplanting coral fragments or colonies is recommended.

**KEYWORDS :** Dongsha Atoll, Pratas Island, coral community, South China Sea

---

1. Institute of Oceanography, National Taiwan University.

2. Corresponding author. E-mail: corallab@ntu.edu.tw