

## 研究報告

# 人為活動對墾丁國家公園海域生態影響之長期研究

何平合<sup>1</sup>，陳昭倫<sup>2</sup>，孟培傑<sup>3,8,9</sup>，陳正平<sup>4</sup>，邱郁文<sup>5</sup>，林幸助<sup>6</sup>，張揚祺<sup>7</sup>，  
劉弼仁<sup>8</sup>，張家銘<sup>8</sup>

<sup>1</sup>國立台灣海洋大學環境生物與漁業科學系；<sup>2</sup>中央研究院生物多樣性研究中心；<sup>3</sup>國立海洋生物博物館；<sup>4</sup>國家實驗研究院海洋科技研究中心；<sup>5</sup>高雄醫學大學生物醫學暨環境生物學系；<sup>6</sup>國立中興大學生命科學系；<sup>7</sup>國立中山大學海洋環境及工程學系；<sup>8</sup>國立東華大學海洋生物多樣性及演化研究所；<sup>9</sup>通訊作者 E-mail: [pjmeng@nmmba.gov.tw](mailto:pjmeng@nmmba.gov.tw)

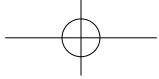
**[摘要]** 本研究自 2001 年起針對人為活動對墾丁國家公園海域珊瑚礁環境生態影響進行長期監測，監測內容包括廢水排放、棲地破壞、過漁現象、海草床優養化、珊瑚普查及資料庫建立與整合分析。自 2001 年起至 2010 年之資料分析結果顯示，墾丁國家公園附近沿岸海域部分測站遭受廢水污染而含有較高的營養鹽、葉綠素甲、生化需氧量、酸鹼值、濁度及懸浮固體，其來源主要分別是保力溪、墾丁大排、凱撒小排及石牛溪等人為活動排放溝渠。降雨及颱風將河床之沈積物所吸收累積之耗氧性污染物質沖刷至沿岸水域，再加上每年大量遊憩人潮，也直接間接影響整個墾丁沿岸海草床與珊瑚礁海域生態環境。以多元尺度法分析(MDS)結果發現，萬里桐海域的魚類組成明顯與其他測站不同，軟體動物群聚各地區相似度僅有 20%，相似程度不高，顯示各地海岸群聚有所差異。依 r-K-S 保育等級分類分析結果，紅柴已進入保育等級=1 的保育等級，以抗環境壓迫能力高的珊瑚為優勢，顯示此區以遭受嚴重的沈積物、泥沙等污染。而萬里桐、雷打石、香蕉灣與龍坑都屬於保育等級=4。此外，利用資訊技術從數值化、量化的資料中，搭配線上模式模擬系統，將可推估人為活動對墾丁海域生態之影響並提供可能的解決之道，使相關決策者瞭解生態系運作，在制定相關政策與環境規劃，減少對環境的負面影響，落實自然資源保育，以達永續發展的最終目標。

**關鍵字：**墾丁國家公園海域、人為活動、營養鹽、珊瑚礁生態系

## Long-term Ecological Studies of Human Activities on the Impacts of Marine Ecosystem of Kenting National Park

Ping-Ho Ho<sup>1</sup>, Chao-Lun Chen<sup>2</sup>, Pei-Jie Meng<sup>3,8,9</sup>, Jeng-Ping Chen<sup>4</sup>, Yuh-Wen Chiu<sup>5</sup>,  
Hsin-Juh Lin<sup>6</sup>, Yang-Chi Chang<sup>7</sup>, Bi-Ren Liu<sup>8</sup> and Chia-Ming Chang<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Biology and Fisheries Science, National Taiwan Ocean University;  
<sup>2</sup>Research Center of Biodiversity, Academia Sinica; <sup>3</sup>National Museum of Marine Biology and Aquarium; <sup>4</sup>Taiwan Ocean Research Institute, National Applied Research Laboratories; <sup>5</sup>Department of Biomedical Science and Environmental Biology, Kaohsiung Medical University; <sup>6</sup>Department of Life Sciences, National Chung Hsing University; <sup>7</sup>Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-Sen University; <sup>8</sup>Institute of Marine Biodiversity and Evolutionary Biology, National Dong Hwa University; <sup>9</sup>Corresponding author E-mail: [pjmeng@nmmba.gov.tw](mailto:pjmeng@nmmba.gov.tw)



何平合，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

**ABSTRACT** A Long-Term Ecological Research (LTER) monitoring program has been conducted to investigate impacts of human activities on the marine ecology since July 2001 under the support of Kenting National Park Headquarters. Sewage discharges, habitat destruction (sedimentation), overfishing, and eutrophication of seagrass beds were monitored, while coral reef mapping and database establishment were carried out. Data were analyzed from different sites around Nanwan Bay from 2001 to 2010. The results show that the seawaters in the intertidal zone along Nanwan Bay were polluted by sewage discharge at some stations, with evidence of eutrophication, high chlorophyll a concentration, high BOD5, high turbidity, and high pH values. The suspended solids in Kenting seawater mainly came from seasonal rainfalls and partially by typhoons, affecting the health of seagrass beds and coral reefs. The results of MDS and Cluster analyses indicate that fish compositions were different between Wanlito and other sampling sites around Nanwan Bay. Mollusk communities between different sampling sites shared only 20% similarity. The results of r-K-S ternary diagram for coral reef conservation classes showed that Hung-Tsai reefs were represented by mostly S type stress-tolerated corals, which belong to Conservation Class 1. Reefs at Wan-Li-Tung, Lei-Da-Shir, Banana Bay and Long-Keng were of Conservation Class 4. The established ecological modeling database can be used to integrate different research data and predict the impacts of human activities on the Kenting marine ecosystem. As a result, this project can serve to suggest authorities to mitigate human impacts on the marine environment. The government can then take appropriate actions for effective control of coastal developments and to reverse the damages already occurred.

**Keywords:** Kenting National Park, human activities, nutrients, coral reef ecosystem

## 前言

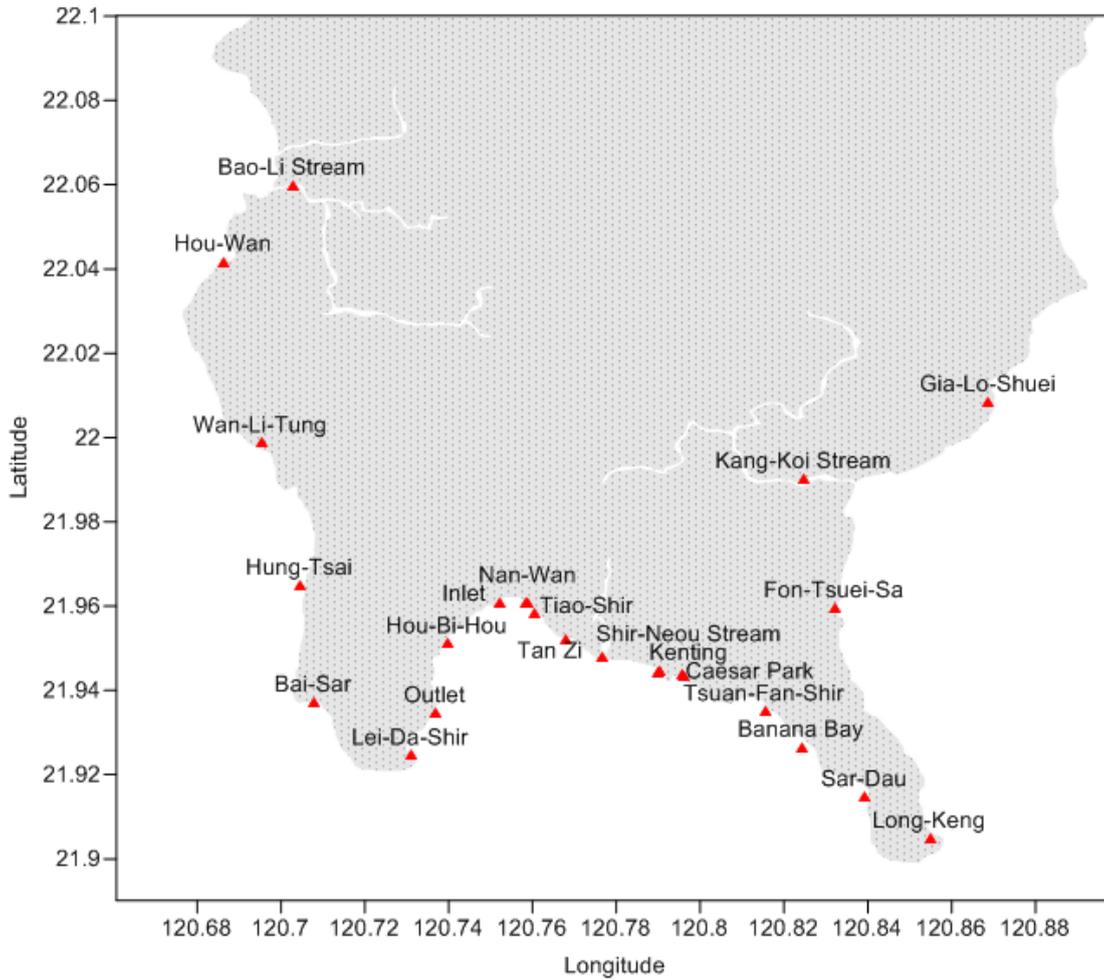
墾丁國家公園海域是台灣海洋生物多樣性最高的區域之一，擁有珊瑚礁海洋生態系，珊瑚礁海域提供良好生物棲地，生物多樣性亦高於其他棲地類型(Connell 1978)。墾丁地區每年吸引了無數的遊客，觀光業興盛，假日各大觀光景點、海域沿岸遊憩地點湧入大量遊客，墾丁近岸處各項建設亦因應需求而不斷增加。而遊憩活動、海岸的開發、漁業活動、廢水污染及海水優養化的干擾等，導致海域中陸源污染物質日益增多，對當地之海域生態及生物群聚造成相當的衝擊。

珊瑚礁區的特性為高基礎生產力、具生物多樣性及水質環境佳，珊瑚的生長條件需要潔淨、貧養、鹽度穩定、水淺、陽光充足、溫度適宜的海洋環境，又由於大部份的珊瑚礁都位於離岸很近的淺水區域，因此容易受到陸上人為活動的影響，珊瑚礁生物間相互依存的關係若受到污染物的加入而改變，只要破壞其中一環可能整個體系會崩潰。遊客造訪也帶來垃圾與有機廢水，海域中海藻和藻類的大幅繁殖覆

蓋珊瑚，可能和有機物進入海域有關，以及每年的颱風季節所帶來的破壞效應，直接間接影響墾丁沿岸珊瑚及海床生態等。

為因應經濟活動需求各項建設不斷增加，土地濫墾、林木濫伐，造成水土保持不良，可能在一場大雨之後，逕流(runoff)即將土壤沖刷，連同垃圾與有機廢水經過溝渠或小溪輸送到海裡，造成黃濁的水質及營養鹽之增加，不但在珊瑚礁覆蓋上大片泥沙，掩埋並窒息棲息於底質內的生物，而海水中大量懸浮固體對珊瑚礁之影響情況，文獻中已有許多的報導(Bastidas *et al.* 1999, Riegl *et al.* 1996, Thomas *et al.* 2003)，而沉積作用會殺死主要的造礁珊瑚，致使珊瑚的結構瓦解(Birkeland 1997)。又因不同的生物對沉積物和低光度的容忍力亦不相同，因而沉積作用會影響固著生物分布及豐度(Rogers 1990)，如何有效監測沉積速率之方法則是學者們追求的目標(Thomas 2003, Thomas and Ridd 2005)。

墾丁國家公園海域，如同許多其他的沿海沿岸地區，面臨了很大的採捕壓力，特別是漁民及觀光客潛水的採集行為相當嚴重，這些採



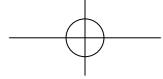
Bai-Sar	白砂	Kenting	墾丁與排放口
Banana Bay	香蕉灣	Lei-Da-Shir	雷打石
Bao-Li Stream	保力溪	Long-Keng	龍坑
Caesar Park	凱撒與排放口	Nan-Wan	南灣
Fon-Tsuei-Sa	風吹沙	Outlet	核三出水口
Gia-Lo-Shuei	佳樂水	Sar-Dau	砂島
Hou-Bi-Hou	後壁湖保育區	Shir-Neou Stream	石牛溪
Hou-Wan	後灣	Tan Zi	潭仔港
Hung-Tsai	下紅柴	Tiao-Shir	眺石
Inlet	核三入水口	Tsuan-Fan-Shir	船帆石
Kang-Koi Stream	港口溪	Wan-Li-Tung	悠活(萬里桐)

圖 1. 調查監測地點

捕壓力將造成無脊椎動物的群聚退化。而沿岸重要的初級生產者之一，海草床是地球上最具生產力的沿岸生態系之一(Zieman and Wetzel 1980)，是沿岸重要的植被及棲地，可輸出大量的碳(carbon)、氮(nitrogen)與磷(phosphorus)到鄰近的食物網。除採集壓力外，環境及棲地的

破壞氣候變遷，造成珊瑚礁棲地的衰退(Steneck 1998; Chen *et al.* 2004)。珊瑚礁棲地的消失，將造成生物多樣性的消失(Turner *et al.* 1999)。

墾丁海域曾經遭受到珊瑚白化(Huang and Hung 1987, Su *et al.* 1987, Hung *et al.* 1989, Su



何平台，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

*et al.* 1989) 及各種海洋生物群聚受到相當程度之影響(Chou *et al.* 2004)、冷心渦旋湧升流入侵(李宏仁 1999, Lee *et al.* 1997, 1999, 1999a)，而湧升區域經由湧升現象可能會將大量營養鹽自底層海水抬升至表層(Chen *et al.* 2004)，進而經由潮流之傳輸進入南灣之內，此一物理作用對營養鹽通量(nutrient flux)至目前為止尚未進行“學門間”有系統的研究，相關之研究在其它區域則有許多文獻資料足以稽考(Chen *et al.* 2001, Johannes *et al.* 1983, Morrell *et al.* 2001, Tockner *et al.* 2002)。其他如不定期的颱風，或者因人為或是自然之因素造成各種影響海洋生態意外事件，如 1988 年 11 月發生之南灣魚群凍斃事件(Su *et al.* 1989)、2001 年 1 月間發生之龍坑阿瑪斯油污事件(方等 2002)、2008 年 7 月貓鼻頭海域海水低溫(擬似溫室效應)珊瑚礁魚類死亡案例、2009 年 6 月間可倫坡皇后號與同年 8 月間德國籍 W-OBUDMO 號擱淺事件，以及不明原因的珊瑚傳染疾病等等。由於環境變化，沿岸珊瑚礁生態系受到的壓力愈來愈大(Hodgson 1990, Rosemond *et al.* 2002, Umar *et al.* 1998)，使得墾丁珊瑚礁正面臨嚴重的危機，原因複雜亟待研究，才能對症下藥，以便採取緊急措施來防止珊瑚礁環境的持續惡化。

為了減緩人類活動對環境與生態造成之衝擊，必須及早進行生態體系的長期性監測與研究，建立各項監測資料並進行適當分析，才能瞭解環境變遷與生態改變的因果關係，並做為未來制定環境政策的依據。

面臨上述種種現象，為了保育墾丁的珊瑚礁生態系，墾管處推動長期生態研究計畫，整合監測資料並建立生態資料庫資訊系統，並將調查監測資料透過資料倉儲運用與 OLAP 等先進之資訊技術產生的資料，建立生態系的模型。此外，當累積一段時間的生態環境資料後，將可以進行相關的生態模式分析，以比對人為因子與環境因子對珊瑚礁生態之衝擊，提出有效的對策，支援生態保育之政策制定與環境教育之推廣，協助決策者有效管理生態與環

境的問題，維護這片珍貴的海洋資源。

## 研究方法

### 一、廢水排放、水中懸浮固體及沉積物調查：

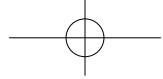
本研究自 2001 至 2010 年進行水質採樣及分析，監測墾丁國家公園沿岸海域各珊瑚生長區域、排水溝渠及河川出海口附近，所選定之測站共計 24 個(圖 1)，以持續追蹤瞭解沿岸海域海水中各種水質因子與營養鹽及海水中濁度、懸浮固體量及沉積物之時空分佈變化情形，進而對該海域水質環境品質是否遭受人為活動影響加以評估。

以每季頻率為原則，採集墾丁國家公園附近沿岸海域 24 個測站表層之水樣，現場立即進行物理儀器(包括溫、鹽、溶氧、酸鹼度)監測後，並將水樣分裝成不同之保存瓶，依環保署公告之方法加以保存(NIEA 102.51C)，在規定時限之內送回實驗室，並依規定之時限內進行化學分析；其採樣程序及分析過程皆經由嚴密的品保/品管(QA/QC)流程(包括重複分析、添加回收率、檢量線製作、方法偵測極限之建立、空白實驗、查核樣品分析等步驟)，利用控制圖(Control chart)之方式加以控管分析數據之品質。

### 二、墾丁國家公園海域現生珊瑚礁現況調查：

本研究針對墾丁國家公園海域長期生態研究計畫中，五個已設立固定樣區、並有長期監測資料的測站(萬里桐、雷打石、跳石、香蕉灣和龍坑)，並追加恆春半島西岸的紅柴(圖 1)。於上、下半年共兩航次調查各樣區水深 5-10 公尺的底棲類別覆蓋率及硬珊瑚生長型。

底棲類別覆蓋率參考 Tkachenko *et al.* (2007)，使用固定橫截線上方塊取樣法(sample quadrates on transect)進行。使用 Coral Point Count with Excel extensions (CPCe)軟體，在每張照片中，方框內的投影面積灑下 30 個隨機樣點，辨識每一點下的底棲類別，將底棲類別分為石珊瑚、軟珊瑚、海葵、底棲性藻類、空基



質、沙及碎珊瑚骨骼與礫石、其他(包含海綿、菟葵及其他無脊椎等底棲生物)八大類。

底棲類別覆蓋率的時間與空間變化，由於珊瑚礁群聚的年間變化為地點內各自獨立，不受其他地點和時間變化影響，因此使用巢式設計(nested design)，比較各底棲類別(如石珊瑚、軟珊瑚、底棲性藻類等)覆蓋率的年間變化，並進一步使用 Duncan 事後檢定比較地點間差異。

珊瑚群聚結構分析，在珊瑚群聚結構特徵的分析上以橫截線為單位，統計珊瑚種類的數目，計算每種珊瑚的平均覆蓋率和進行排序，並使用PRIMER6.0(Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK)套裝軟體計算歧異度指數(Shannon-Weiner index:  $H'$ )、均勻度指數(Evenness index:  $E$ )、物種豐富度(Species richness:  $S$ )-即總珊瑚種類數，及  $k$ -dominance curve 優勢曲線圖。

為了瞭解各樣點的珊瑚功能群群聚組成特徵和保育等級，將石珊瑚生長形分為  $r$ 、 $K$ 、 $S$  三類進行  $r$ - $K$ - $S$  分析繪圖。

### 三、漁業活動-魚類資源及珊瑚礁生態影響評估：

本研究分上、下半年兩航次，監測區域擬涵蓋後壁湖保護示範區、眺石生態保護區及一些非保護區共計 8 個樣區。

亞潮帶使用調查線潛水觀測法(visual strip-transects method)(依 McCormick and Choat 1987)，每次 2-3 人於每個測站，設置調查線，範圍 50 m×10 m，調查記錄測線內各魚種的種類及數量，進行群聚分析。各測站魚尾數標示，有 1-12 尾歸類為“+”稀少，“++”屬於偶見有 13-24 尾魚，“+++”常見有 24-48 尾魚，49 及以上尾魚標示為“++++”為豐富性魚種。豐富度表示法，依各測站合計：有 1-6 個“+”歸類為 R 稀少(rare)；7-12 個“+”為 O 偶見(occasional)；13-24 個“+”為 C 常見(common)；24 個“+”以上標示為“A”豐富(abundant)。

### 四、漁業活動-無脊椎動物、螺貝類及珊瑚礁生態影響評估：

本研究於 2010 年 5 月及 8 月之最低潮時進行二季調查，潮間帶樣點為非保護區之貓鼻頭、雷打石、凱撒及後灣，保護區之南灣、紀念碑、後壁湖及香蕉灣；亞潮帶樣點為非保護區之小灣，保護區之眺石(圖 1)。

潮間帶部份利用穿越線調查法進行採樣，各樣站選取三條穿越線，每條穿越線間隔 15 公尺，並於每條穿越線上高、中、低各取一 3m×3m 的採樣方格。亞潮帶以水肺潛水方式進行調查，於小灣及眺石兩處海域，分別在水深 5 公尺及 10 公尺處拉 25 公尺穿越線，穿越線左右各 1.5 公尺的範圍進行採樣。利用計算樣區之單位採樣面積之個體數(ind./m<sup>2</sup>)及生物量(g/m<sup>2</sup>)，估算各樣區之生物密度及優勢種趨勢(有效位數小數點下二位)。此外，利用 PRIMER 統計軟體計算出各樣站的物種多樣性(diversity)、均勻度(evenness)並計算出各測站生物間 Bray-Curtis 相似性指數的三角矩陣，再以多元尺度(Multi-Dimensional Scaling, MDS)分析製圖。

表 1. 墾丁地區各遊憩人數觀測地點與 GPS 經緯座標

Station	Position (GPS)	Station	Position (GPS)
萬里桐	N 21° 59.808	入水口	N 21° 57.649
	E 120° 41.920		E 120° 45.200
雷打石	N 21° 55.863	南灣	N 21° 57.673
	E 120° 44.029		E 120° 45.467
出水口(右側)	N 21° 56.001	眺石	N 21° 57.455
	E 120° 44.262		E 120° 45.639
出水口(左側)	N 21° 50.019	香蕉灣	N 21° 55.609
	E 120° 44.313		E 120° 49.439
後壁湖	N 21° 57.031	龍坑	N 21° 55.060
	E 120° 44.384		E 120° 50.903

### 五、遊憩活動：

本研究之調查範圍主要為墾丁國家公園沿岸遊憩地點，觀測地點衛星座標(GPS)，如表 1 所示，包含：萬里桐、雷打石、出水口右側、出水口左側、後壁湖、入水口、南灣、眺石、香蕉灣等九處。

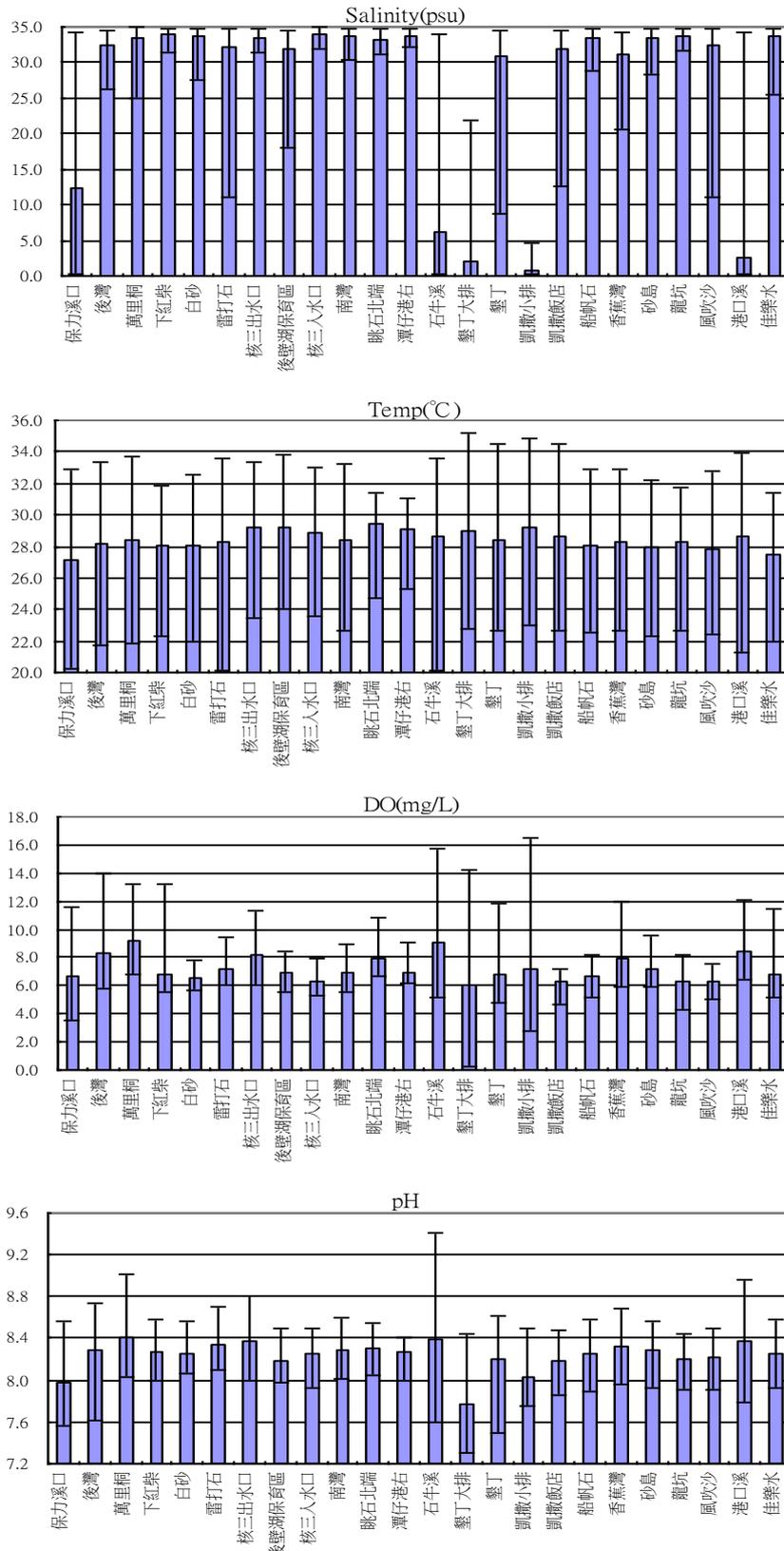
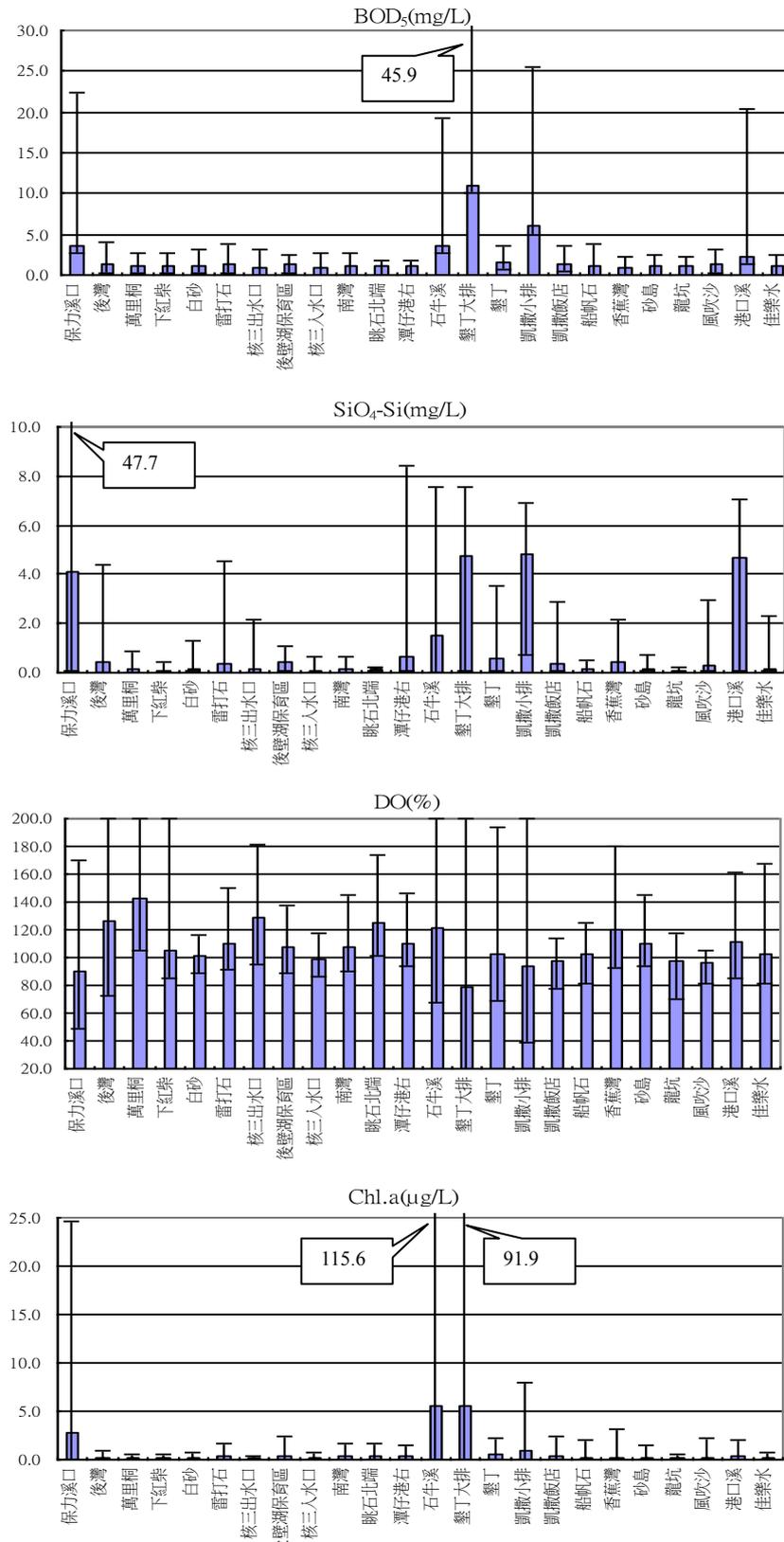
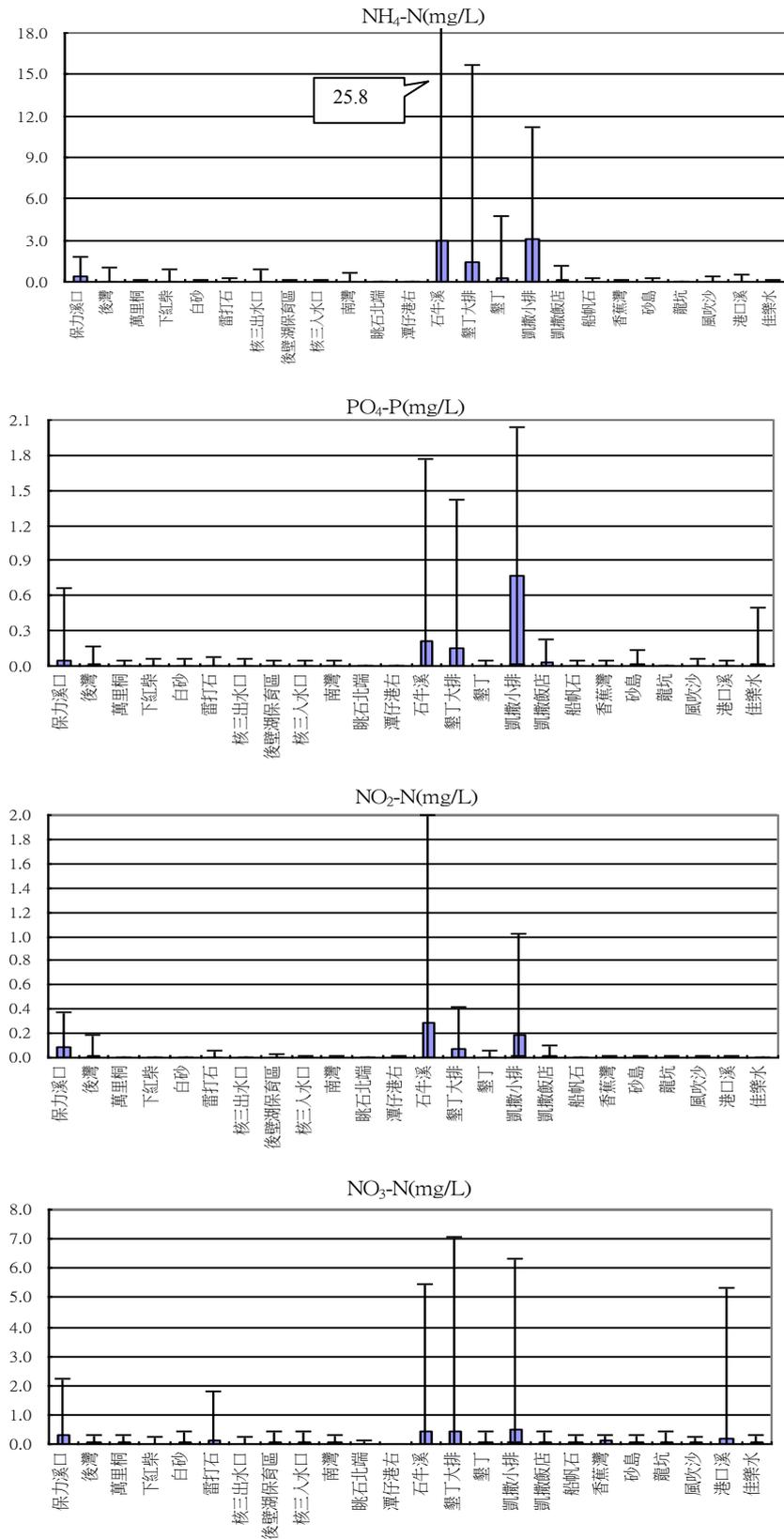


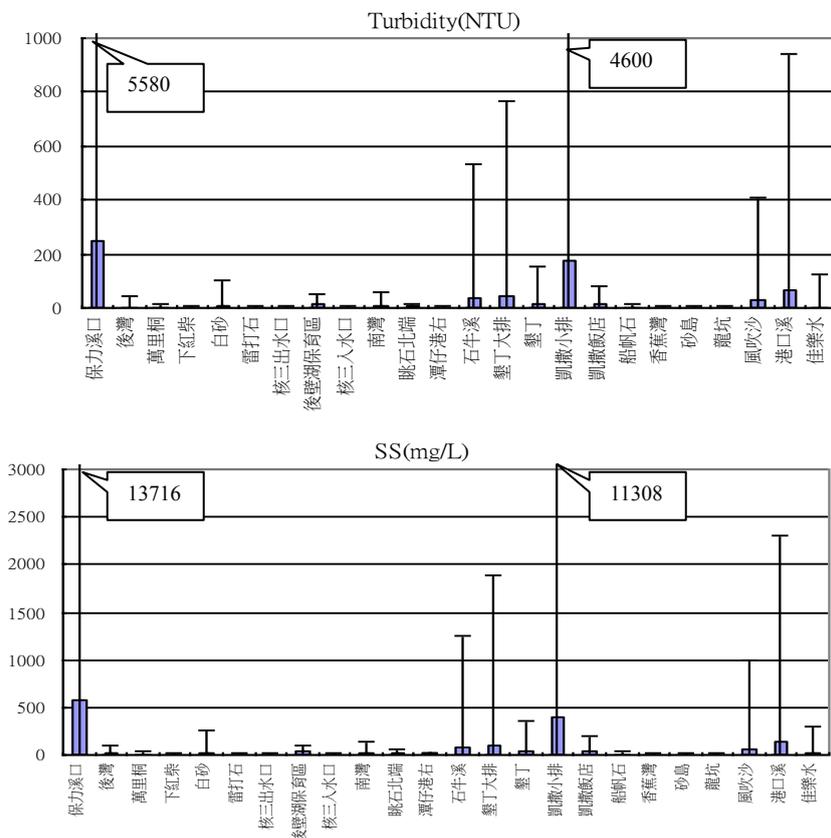
圖 2. 墾丁國家公園沿岸海域水質分析資料(2001-2010 年)



(續)圖 2. 墾丁國家公園沿岸海域水質分析資料(2001-2010 年)



(續)圖 2. 墾丁國家公園沿岸海域水質分析資料(2001-2010 年)



(續)圖 2. 墾丁國家公園沿岸海域水質分析資料(2001-2010 年)

在遊憩強度之評估方面，針對 8 項海岸活動及 9 個遊憩點，持續進行遊憩人數分項分點觀測統計。調查頻率為每月調查兩個假日及兩個非假日共計四日，每日上、下午各進行一次觀察計數，統計各遊憩點進行遊憩之人數或工具數，各遊憩點每月遊憩強度計算方式為： $[(\text{假日兩天上下午總人數})/2 \times \text{當月假日天數}] + [(\text{非假日兩天上下午總人數})/2 \times \text{當月非假日天數}] = \text{當月總人數}$ 。

獲得之資料經統計分析，藉以評估墾丁國家公園沿岸之遊憩活動對當地海域生態造成之影響程度。

#### 六、珊瑚礁潮間帶甲殼類生態調查：

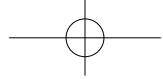
1. 測站位置：於墾丁國家公園海域潮間帶除 5 處共同採樣站，分別是萬里桐、南灣(核三廠入水口西側)、香蕉灣、龍坑生態保護區及風吹沙外，增加 2009 年發生油輪擱淺觸礁

事件的佳樂水及後灣兩處潮間帶樣區，共擇定 7 處測站，從低潮線至高潮線設立一條寬度 25 公尺垂直海岸之帶狀採樣區，進行甲殼類普查，紀錄樣區出現之種類及數量。

2. 採集頻度：每季進行採樣 1 次。

3. 採樣方法：潮間帶採集需視天候及潮汐作業，於大潮低潮期前後 2 小時內進行，配合甲殼類多屬夜行性習性，主要於夜間以徒手或手抄網進行採樣，記錄物種、個體數，拍攝物種及棲地生態照片。所得樣本除需要攜回實驗室進一步鑑定的個体外，其餘個體原地釋回。

4. 資料分析：將潮間帶各樣區所得甲殼類資料，使用 PRIMER 5 軟體計算分析歧異度，以比較地區間的生物群聚組成，種歧異度 (Species Diversity) 指數分別以優勢度指數 (Dominance Index, C)、Shannon 種歧異度指數 (Shannon Diversity Index, H')、均勻度指數



何平合，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

(Evenness Index, J')及種數的豐度指數(Species Richness Index, SR)表示。並進行 MDS 分析 (Multi Dimensional Scaling analysis)，觀察其物種群聚的空間分布與變化，瞭解族群分布的季節變化。

七、墾丁國家公園海域沿岸海草床生態監測：

1. 採樣時間及地點：本研究目前已累積 10 年資料，於南灣、大光(後壁湖)及萬里桐(圖 1)之海草床上的固定測線進行監測之資料，於每年 2、4、6、8 及 10 月，以及 7~8 月間每次颱風過後一週內進行監測海草生物形質等測量。

2. 海草形質包括覆蓋度、植株密度、庇護高度、生物量、相對葉片生長率與單位面積葉片生產量。測量泰來草覆蓋度(coverage)及密度(density)的方法是用方形樣框(50×50 cm，以 10×10 cm 分成 25 格)，沿測線往海方向，每 3 m 取樣一次。覆蓋度的計算主要參照 Saito and Atobe(1970)的方法。而密度計算則是在算覆蓋度的同時，計算方形樣框內對角線的 5 小格(10×10 cm)內泰來草的株數。

## 結果與討論

一、廢水排放、水中懸浮固體及沉積物調查：

該海域各測站之水溫介於 20.1~35.2°C、鹽度介於 0.1~34.95psu、pH 值介於 7.30~9.41、溶氧量介於 0.2~16.45mg/L、而溶氧飽和度則介於 2.9%~200%、生物需氧量(BOD<sub>5</sub>)介於 0.02~45.9mg/L、硝酸鹽介於 nd~7.055mg/L、亞硝酸鹽介於 nd~2.004mg/L、磷酸鹽介於 nd~2.037mg/L、矽酸鹽介於 0.008~47.7mg/L、氨氮介於 nd~25.8mg/L、葉綠素甲介於 0.02~115.6μg/L、濁度與懸浮固體結果分別介於 0.03~5580NTU 與 0.76~13716mg/L。而部分測站水質因子之平均值具較大之標準偏差(圖 2)，呈現較不穩定之狀況，以保力溪、墾丁大排、凱撒飯店及石牛溪測站較為嚴重，顯示受到降雨與陸源河川沉積物及含有耗氧性污染

物質之都市性家庭廢水影響。

此外，亦有若干測站具有高 pH 值及高溶氧量之現象，但其營養鹽及葉綠素甲並未出現較高之測值，顯示當時由於水體中附著藻類正進行強烈的光合作用，增加了水體的 pH 值及溶氧量；整體而言，墾丁國家公園附近沿岸海域各測站之 pH 值與溶氧量及溶氧飽和度均呈現正相關之趨勢(圖 3)，顯示生物之呼吸作用與光合作用，對水體之 pH 值具相當之影響力。

墾丁國家公園附近沿岸污染物之輸出與流佈主要受到人為排放污染物質及氣候降雨影響，致使污染程度隨季節性而有所變化，尤其是颱風期間所帶來之強風豪雨影響最為嚴重(孟等 2007)，此外，石牛溪及墾丁大排，全年除大雨期間外經常處於封口狀態，若該年於乾旱季節發生偶發性大雨將衝破封口，並稀釋積蓄於封口之營養鹽，對藻華現象有改善效果，對附近海域之潮間帶生態環境則會造成衝擊(孟等 2007)。

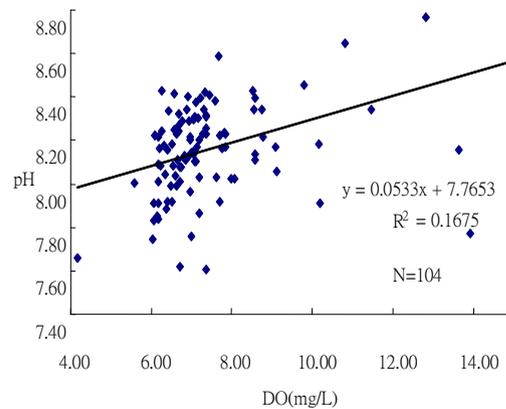


圖 3. 墾丁國家公園附近沿岸海域各測站之 pH 值與溶氧量呈現正相關之趨勢( $p < 0.01$ )

二、墾丁國家公園海域現生珊瑚礁現況調查：

1. 調查結果

在 2003-2010 年的調查中，共紀錄 234 種珊瑚，包括石珊瑚 48 屬 182 種、軟珊瑚 13 屬 52 種、以及屬於水螅珊瑚的藍珊瑚 *Heliopora coerulea* (一屬一種)、5 種千孔珊瑚(*Millepora*)。

2. 底棲類別覆蓋率的時間與空間變化

將 2008-2010 年調查眺石海域結果合併以

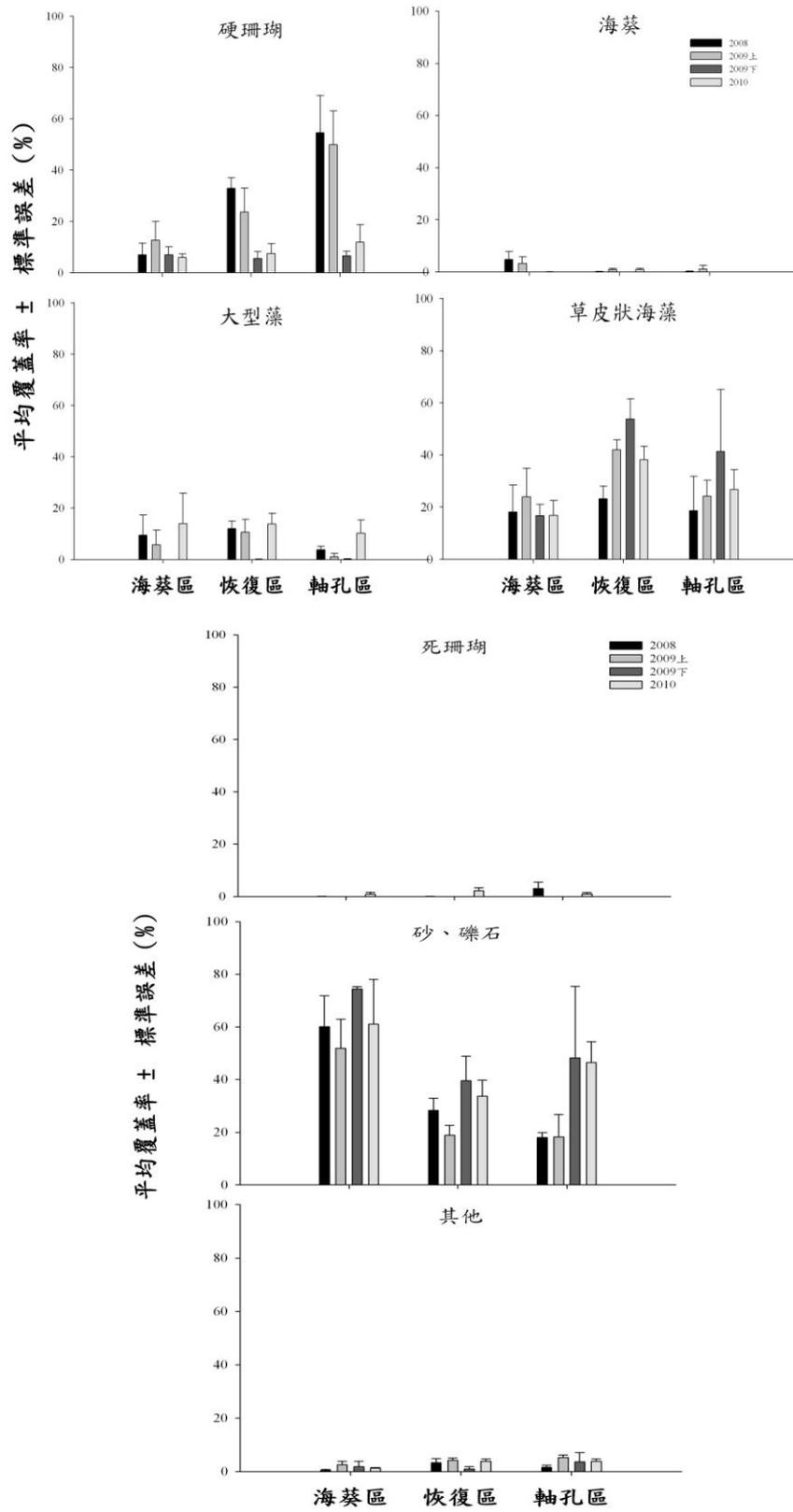
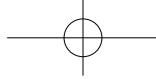


圖 4. 長期生態監測，眺石海葵區、恢復區和軸孔區各樣區的底棲類別覆蓋率 (平均值±標準誤差%)



何平台，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

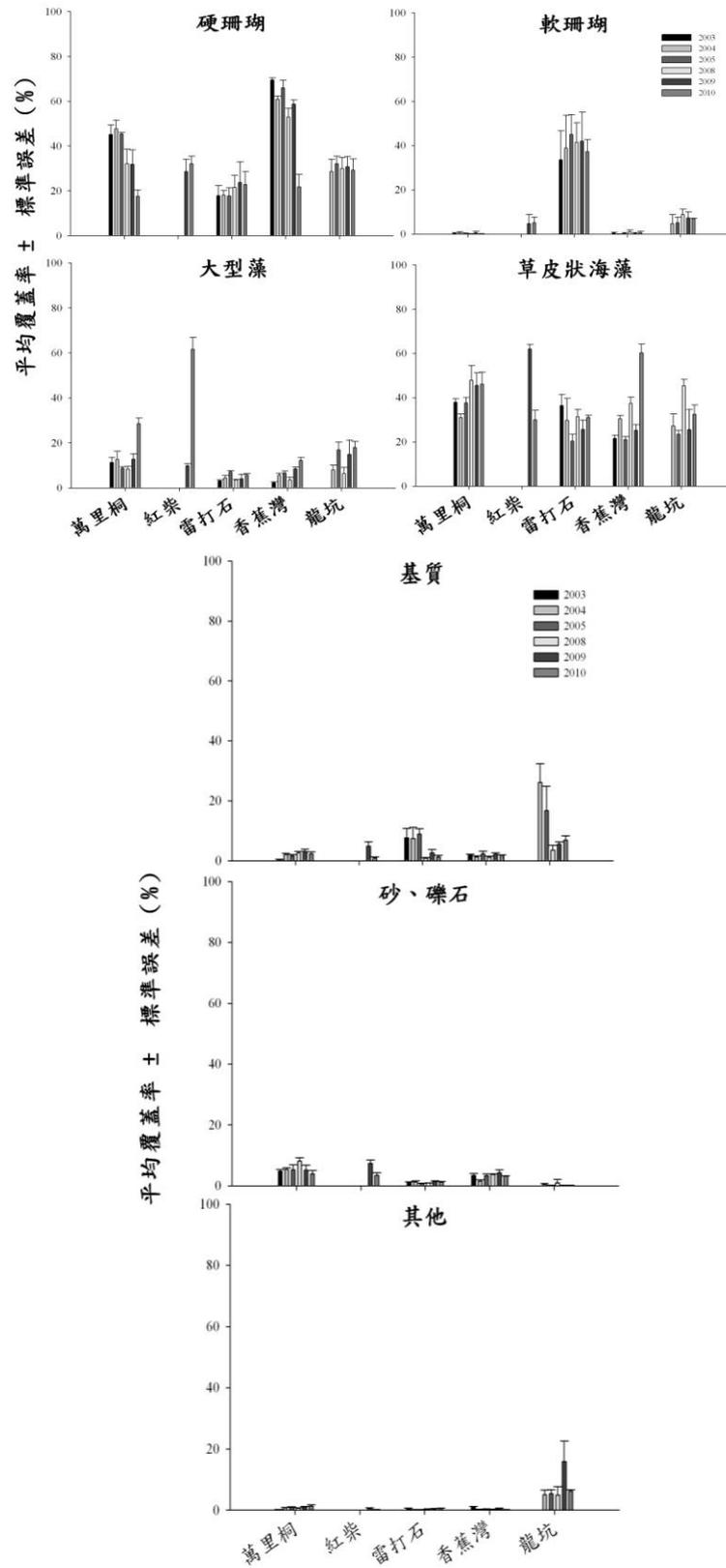


圖 5. 長期生態監測，萬里桐、紅柴、雷打石、香蕉灣和龍坑各底棲類別覆蓋率在八年間的變化 (平均值±標準誤差%)

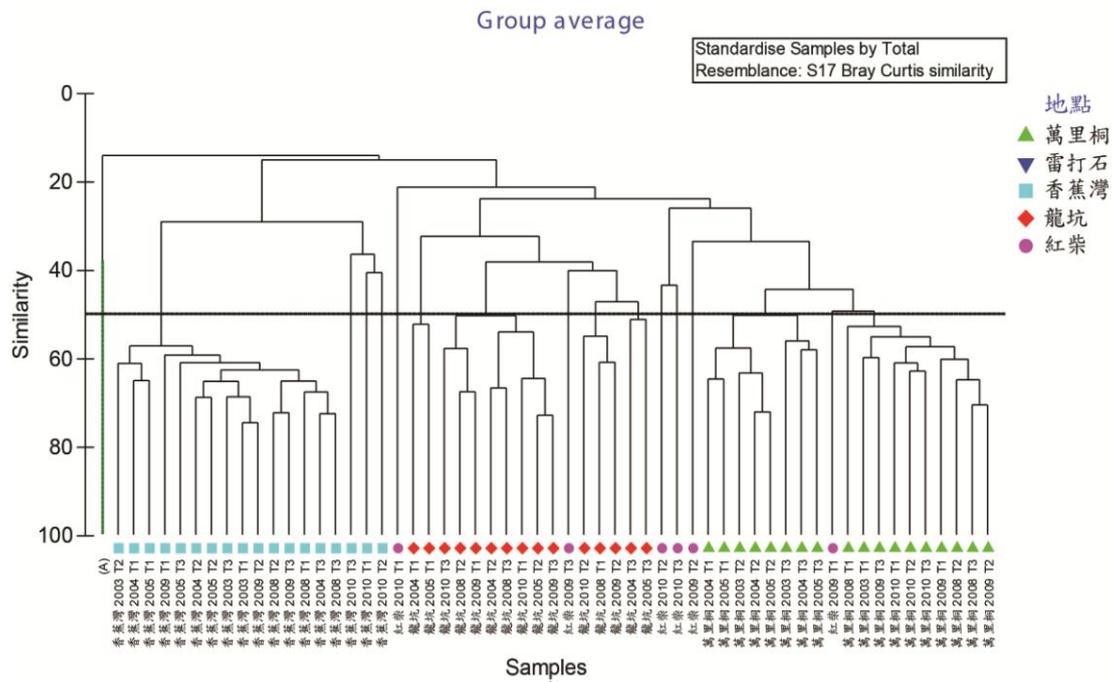


圖 6. 六年不同地點各測線珊瑚種覆蓋率聚類分析的樹狀圖

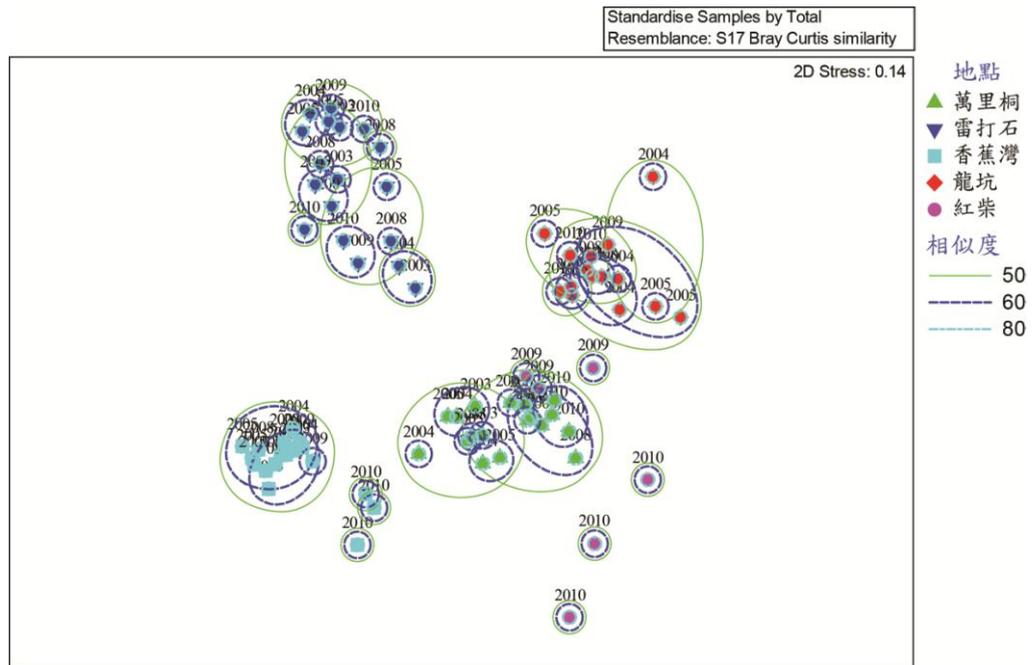
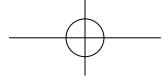


圖 7. 以六年的測線各珊瑚種平均覆蓋率繪製的 MDS 圖

巢式設計(nested design)的雙因子變方分析探討各底棲類別覆蓋率的時間與空間變化結果顯示(圖 4)，長期生態監測的眺石地區，三個樣點在三年間有顯著的差異且呈現小尺度的

變化。

2003-2005 年與 2008-2009 年在萬里桐、雷打石、香蕉灣與龍坑調查結果，石珊瑚覆蓋率在不同地點、不同年間有顯著差異(two-way



何平合，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

nested ANOVA,  $F=98.31$ ,  $p<0.01$ ;  $F=2.24$ ,  $p=0.02$ , 圖 5)。萬里桐的石珊瑚覆蓋率在 2010 年最低，2008 年與 2009 年相似，但顯著低於 2003-2005 年。香蕉灣的石珊瑚覆蓋率於 2008 年顯著降低，2009 年恢復至與 2005 年相似但仍顯著低於 2003 年，然而 2009 莫拉克颱風導致石珊瑚覆蓋顯著降低，在 2010 年為  $(21.76 \pm 5.61\%)$ 。軟珊瑚覆蓋率在不同年間皆相似，在地點間以雷打石顯著高於其他四地(two-way nested ANOVA,  $F=78.26$ ,  $p<0.01$ )。大型藻類覆蓋率在不同地點、不同年間有顯著差異(two-way nested ANOVA,  $F=107.42$ ,  $p<0.01$ ;  $F=23.71$ ,  $P=0.02$ )。草皮狀藻類覆蓋率在不同地點、不同年間有顯著差異(two-way nested ANOVA,  $F=15.22$ ,  $p<0.01$ ;  $F=8.96$ ,  $P=0.02$ )，在雷打石的覆蓋率於 2005 年顯著較低。在香蕉灣的覆蓋率於 2008 年顯著較高，2009 年  $(33.81 \pm 1.83\%)$  下降與 2005 年  $(27.73 \pm 2.10\%)$  相似，但在 2010 年上升至  $60.25 \pm 3.95\%$ 。在龍坑的覆蓋率於 2008 年顯著較高。

### 3. 珊瑚群聚結構分析

優勢種方面，僅香蕉灣與龍坑地區有較明顯有優勢種，在香蕉灣為葉片形的瘦葉表孔珊瑚(*Montipora aequituberculata*)，2010 年後以變形表孔珊瑚(*Montipora informis*)為優勢。在龍坑為藍珊瑚(*Heliopora coerulea*)。

由珊瑚物種覆蓋率所做的珊瑚群聚聚類分析及 MDS 圖(圖 6、圖 7)顯示，各地點內橫截線間的相似度皆低於 50%。而各地點之間可區分為不同群。Two-way crossed ANOSIM 分析結果，珊瑚群聚組成在年間與地點間皆有顯著(Global  $R=0.246$ ,  $p=0.001$ ; Global  $R=0.973$ ,  $p=0.001$ )。

### 4. r-K-S 分析

在 8 個監測樣點中(表 2、圖 8)，2010 最新資料顯示，紅柴屬於逆境忍受者(S, stress-tolerators)的比例高達 76.47%，已屬於保育等級 1(CC=1)的珊瑚群聚組成結構，眺石海葵區、恢復區和軸孔區屬於競爭者(K, competitor)的比例超過 50%，因此屬於保育等級 2(CC=2)

的珊瑚群聚。其餘萬里桐雷打石、眺石恢復區與龍坑皆屬於保育等級 4(CC=4)的地區。

### 三、漁業活動-魚類資源及珊瑚礁生態影響評估：

本研究於墾丁海域實際潛水調查到 43 科 299 種魚類，較期中增加 1 科 47 種。各測站魚類種數：後壁湖花園(155 種)>後壁湖餵魚區(135 種)>入水口外(122 種)>眺石保護區(93 種)>眺石岸邊(84 種)>香蕉灣(79 種)=船帆石(79 種)>萬里桐(72 種)>出水口外一線天(71 種)>合界(65 種)。魚類尾數：船帆石>後壁湖餵魚區>後壁湖花園>眺石保護區>入水口外>萬里桐>眺石岸邊>香蕉灣>出水口外一線天>合界。結果顯示後壁湖保護示範區的效果明顯，近年魚種數有略為穩定上升的趨勢；眺石保護區則尚未回復先前水準；合界可能因去年颱風破壞棲地造成魚種數大幅下降(119 種→65 種)；莫拉克颱風溢流出來的養殖魚種，並未在測站中發現。

將 2009 及 2010 年度的資料作聚類分析(cluster analysis)後，結果大致可分為三個主要群聚：港灣群(萬里桐)、淺水群(包括：眺石岸邊、入水口外、後壁湖花園及餵魚區)、深水群(包括：香蕉灣、船帆石、合界、眺石保護區及出水口外一線天)。其中萬里桐海域的魚類組成明顯與其他測站不同，多向度量分析 MDS (圖 9)亦支持此結果。

經 SIMPER 分析後，造成萬里桐與其他海域不同的主要差異魚種為：西姆圓腹沙丁 *Amblygaster sirm*、下銀漢魚 *Hypoatherina tsurugae* 及黑邊鰻 *Leiognathus splendens*；造成淺水群與深水群不同的主要差異魚種為：金擬花鱸 *Pseudanthias squamipinnis*、鈍頭錦魚 *Thalassoma amblycephalum*、橘鈍寬刻齒雀鯛 *Amblyglyphidodon curacao*、藍綠光鰓雀鯛 *Chromis viridis*、蒂爾烏尾鰹 *Pterocaesio tile*、五線笛鯛 *Lutjanus quinquelineatus* 及珠點固齒鯛 *Plectroglyphidodon lacrymatus*。其中深水群及淺水群之下又略有年度間的差別。深水群

表 2. 各樣點珊瑚功能群 r-K-S 組成與保育等級(CC)

	2003	2004	2005	2008	2009	2010
萬里桐						
r (%)	14.65	10.80	13.04	20.49	23.13	24.06
K (%)	42.99	52.11	53.11	29.78	28.43	25.12
S (%)	42.35	37.09	33.85	49.73	48.44	50.82
CC	4	2	2	4	4	4
紅柴						
r (%)	-	-	-	-	22.98	9.69
K (%)	-	-	-	-	18.48	13.84
S (%)	-	-	-	-	58.54	76.47
CC	-	-	-	-	4	1
雷打石						
r (%)	10.17	6.72	17.66	14.96	12.22	16.23
K (%)	33.69	29.41	23.17	32.60	38.18	34.70
S (%)	56.14	63.87	59.17	52.44	49.61	49.07
CC	4	1	4	4	4	4
眺石海葵區						
r (%)	-	-	-	10.39	1.57	0.37
K (%)	-	-	-	82.14	81.85	51.30
S (%)	-	-	-	7.47	16.58	48.33
CC	-	-	-	2	2	2
眺石恢復區						
r (%)	-	-	-	24.43	8.08	2.60
K (%)	-	-	-	50.34	45.21	62.01
S (%)	-	-	-	25.23	46.71	35.39
CC	-	-	-	2	4	2
眺石軸孔區						
r (%)	-	-	-	80.61	65.59	7.46
K (%)	-	-	-	15.50	27.98	78.01
S (%)	-	-	-	3.89	6.43	14.53
CC	-	-	-	3	3	2
香蕉灣						
r (%)	0.52	0.52	0.20	0.70	0.36	0.48
K (%)	74.89	66.92	73.36	76.67	76.14	45.38
S (%)	24.59	32.56	26.45	22.63	23.50	54.15
CC	2	2	2	2	2	4
龍坑						
r (%)	-	25.88	38.54	40.61	44.45	45.34
K (%)	-	22.71	18.25	15.41	14.18	11.72
S (%)	-	51.41	43.21	43.98	41.37	42.94
CC	-	4	4	4	4	4

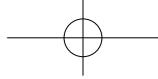
r(ruderals)雜生者；K (competitors)競爭者；S (stress-tolerators)逆境抵抗者；CC(conservation class)保育等級

年間變動較大的魚種為黑褐副雀鯛 *Neoglyphidodon nigroris*、福氏鸚哥魚 *Scarus forsteni*、中胸狐鯛 *Bodianus mesothorax*、福氏副 *Paracirrhites forsteri*、約島固齒鯛 *Plectroglyphidodon johnstonianus*、弓月蝴蝶魚 *Chaetodon lunulatus*、迪克氏固齒鯛 *Plectroglyphidodon dickii* 及甲尻魚 *Pygoplites diacanthus*；淺水群年間變動較大的魚種為蒂爾烏尾鯨、五線笛鯛、褐籃

子魚、金線天竺鯛 *Apogon cyanosoma*、雙帶烏尾鯨、兩色光鰓雀鯛、藍綠光鰓雀鯛 *Chromis viridis* 及魏氏光鰓雀鯛 *Chromis weberi*。

兩年度間，顯現出年度間的差異。是否受颱風的影響，尚需往後的調查方來證實。

四、漁業活動-無脊椎動物、螺貝類及珊瑚礁生態影響評估：



何平台，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

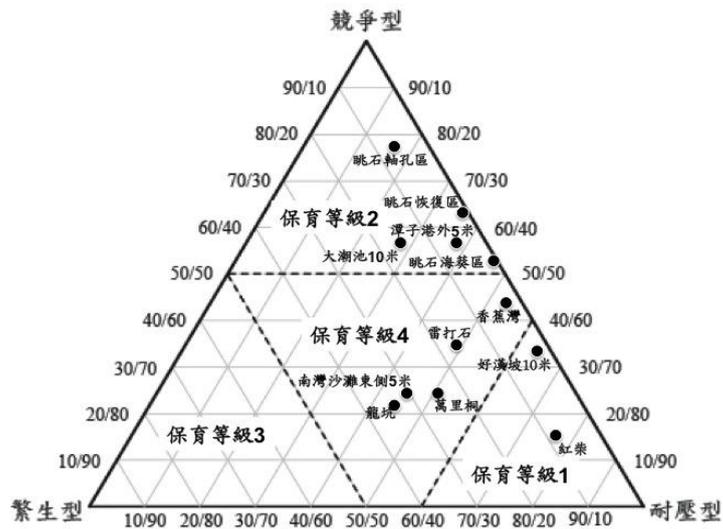


圖 8. 2010 年各地點石珊瑚 r-K-S 分佈圖

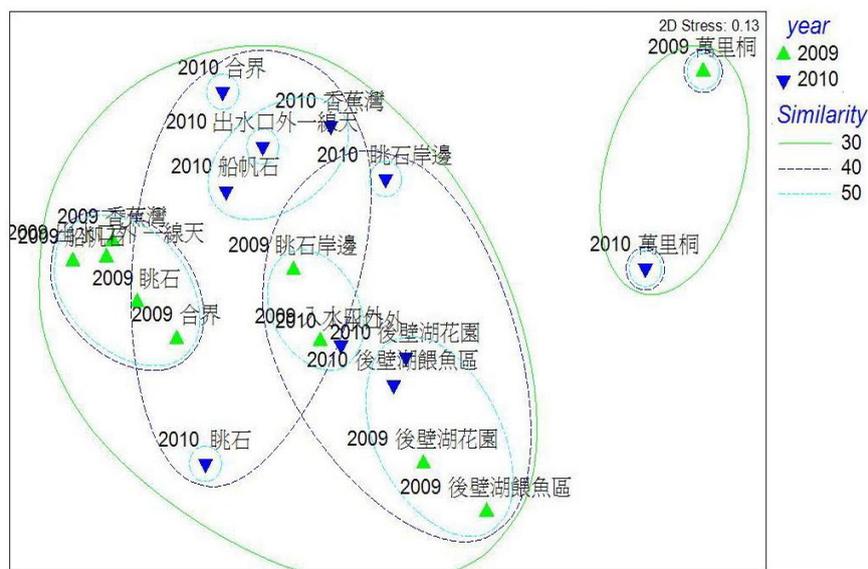


圖 9. 2009 與 2010 年度魚類調查之多向度量度分析

1. 潮間帶：

兩季潮間帶調查共發現 3 綱 22 科 90 種軟體動物，第一季發現 3 綱 18 科 69 種，第二季發現 3 綱 18 科 53 種，其中非保護區的四個樣點共記錄到 55 種物種，以雷打石 41 種最多，凱撒 17 種最少；保護區內的樣點共記錄到 68 種，以後壁 42 種最多，香蕉灣 22 種最少。

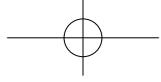
豐度(abundance)統計非保護區樣點第一季、第二季，最高分別為後灣與貓鼻頭；最低為凱薩。保護區樣點最高分別為紀念碑、後壁

湖；最低為香蕉灣、南灣。

生物量(biomass)統計非保護區樣點第一季、第二季，最高分別為雷打石；最低為後灣與凱薩。保護區樣點最高為後壁湖；最低為香蕉灣、南灣。

歧異度(diversity)比較非保護區樣點第一季、第二季，最高為雷打石；最低為後灣與貓鼻頭。保護區樣點最高為後壁湖；最低為南灣、香蕉灣。

將歷年(2005、2006、2008、2009、2010)



所記錄之軟體動物物種數量整合，若有新紀錄到前年未記錄到之物種則以累加之方式顯示，可了解各地區記錄到物種數量是否仍有未記錄到潛在物種(圖 10)，由圖可知各地區所代表直線皆呈上升趨勢，顯示各地區仍有未記錄到之潛在物種，且斜率越大顯示仍有未記錄到之潛在物種越多。

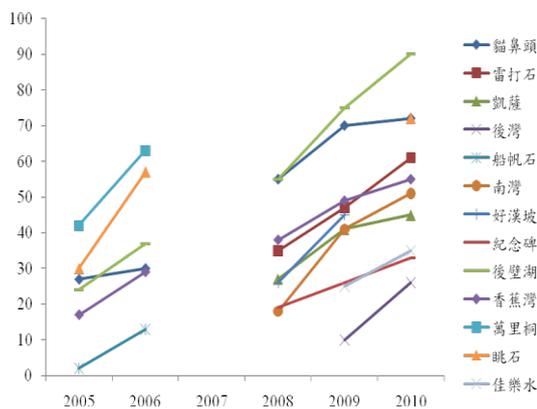


圖 10. 潮間帶歷年軟體動物物種數量累積圖

各年軟體動物群聚組成多元尺度分析結果顯示，1985 年之軟體動物群聚與 2005 年後相似度小於 20%，2005、2006、2008、2009、2010 年之相似度達 40%以上，其中 2005 與 2006 年相似度達 60%，2009 與 2010 年也達 60%(圖 11)。

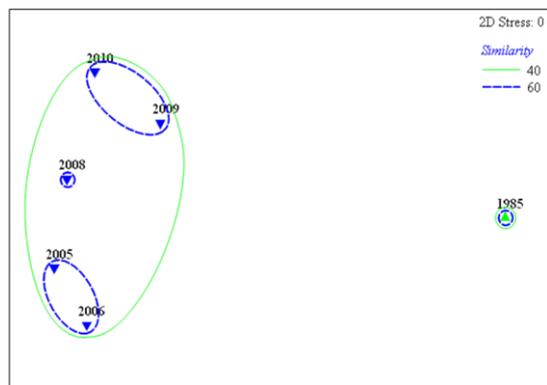


圖 11. 各年軟體動物群聚組成多元尺度分析

## 2. 亞潮帶：

亞潮帶部分共記錄到 2 綱 14 科 34 種。豐度統計，非保護區小灣與保護區眺石水深 5 m、10 m 穿越線，第一季、第二季為 < 0.1

ind./m<sup>2</sup>；歧異度比較，非保護區水下 5 m 兩季平均為 2.26；10 m 為 1.22。保護區水下 5 m 兩季平均為 1.70；10 m 為 0.91。

均勻度比較，非保護區水下 5 m 兩季平均為 0.92；10 m 為 0.98。保護區水下 5 m 為 0.84；10 m 為 0.74。

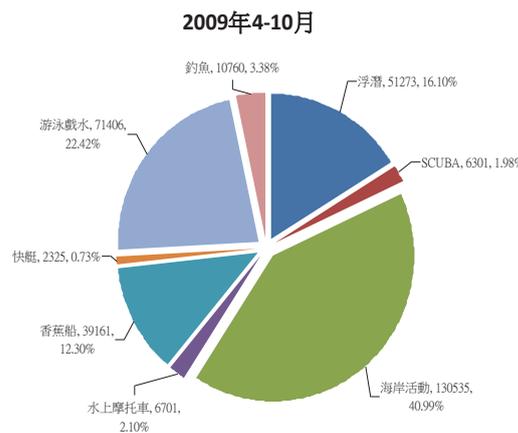
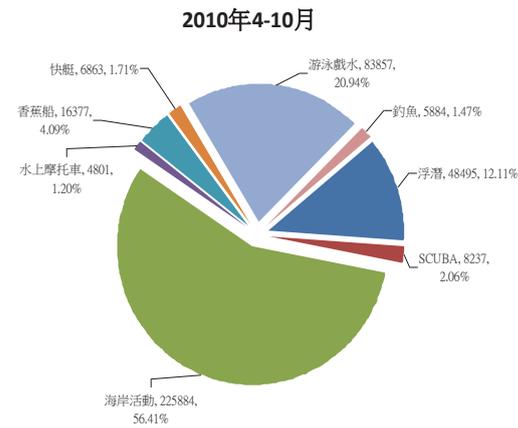
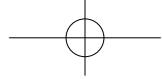


圖 12. 2009 與 2010 年，4 至 10 月份墾丁國家公園內各遊憩項目遊憩人數百分比

## 五、遊憩活動：

結果顯示，各樣點遊憩人數仍以南灣之統計遊憩人數 276,491 人為最高，佔總遊憩人數之 69.45%；其次為出水口左側及右側，統計遊憩人數分別為 50,970 及 34,796 人，各佔總遊憩人數之 12.78%及 8.72%。各遊憩項目以從事「海岸活動」之遊憩人數最多，佔總遊憩人數 56.45%；其次為「游泳戲水」，佔 20.82%；「浮潛」列第三位，佔 12.16%，「香蕉船」佔總遊憩人數 4.11%、「SCUBA」佔 2.04%、「釣魚」



何平台，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

佔 1.49%、「快艇」佔 1.72%、「水上摩托車」佔 1.21%，相較於 98 年同期數據，除「香蕉船」呈明顯衰減趨勢；「海岸活動」呈明顯成長趨勢之外，其餘遊憩項目均呈現相同趨勢，如圖 12 所示。此外，墾丁國家公園各監測地點以南灣之遊憩人數為最高(圖 13)。

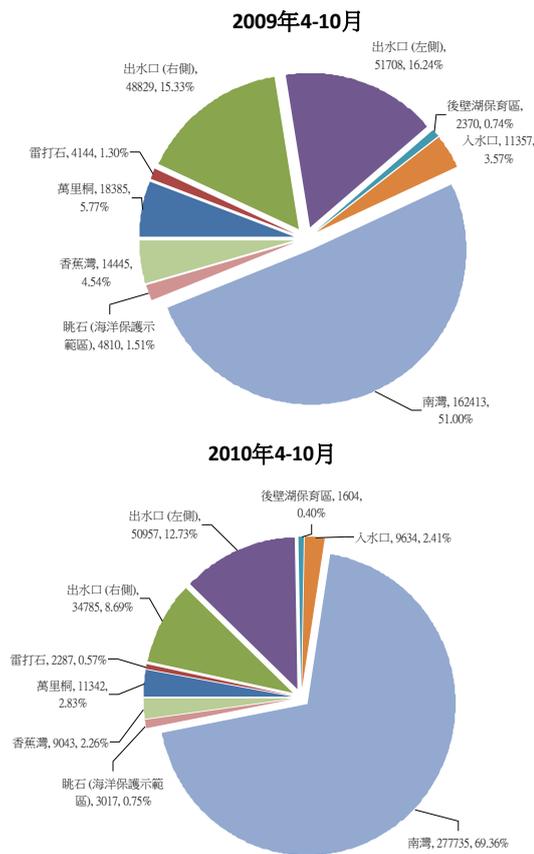


圖 13. 2009 與 2010 年，4 至 10 月份墾丁國家公園內各測站之遊憩人數百分比

不同測站間遊憩人口對於遊憩項目之偏好亦有不同。萬里桐以海岸活動、浮潛及游泳戲水為主要遊憩項目；雷打石以香蕉船及快艇為主要遊憩項目；出水口左側及右側以浮潛及海岸活動為主要遊憩項目；後壁湖保育區以海岸活動為主要遊憩項目；入水口以海岸活動、香蕉船及游泳戲水為主要遊憩項目；南灣以海岸活動及游泳戲水為主要項目；眺石以水上摩托車為主要遊憩項目；香蕉灣以海岸活動及浮潛為主要遊憩項目。

遊憩深度不高的活動分兩種，一種對環境

有衝擊，另一種則較無衝擊。於先前的研究顯示，遊憩深度不高且對於海洋環境較沒有衝擊的活動，例如「海岸活動」與「游泳戲水」，容易吸引許多遊客從事，亦排行為墾丁地區海岸遊憩總人數的前一、二位。由於此兩項次對海洋環境生物的直接接觸，例如觸碰、採集、踐踏之機率相對較低，且無需配合硬體建設、動力機械與低能源消耗等，因此屬於對海洋環境衝擊較小之遊憩項目。然而，大量遊客以低深度之「岸上活動」與「游泳戲水」，帶來之污染物質，例如個人保護產品，包含防曬乳，其對於海洋生物之衝擊相似於其它污染物質 (Roberto 2008)，且遊客於遊憩與食宿過程，直接或間接造成過量有機物質進入海水，改變海洋生物棲地環境條件，例如：營養鹽、pH 值、溶氧、濁度、懸浮固體量等，對本區域之海水水質衝擊，促使健康珊瑚出現白化現象之機率上升。國內學者，經長期追蹤調查以發現海水中懸浮固體量與珊瑚生長、珊瑚群聚消長有顯著關係 (Meng et al. 2008)。因此，面對最多遊客從事之「岸上活動」與「游泳戲水」遊憩活動對於海洋生態環境所可能造成之間接性衝擊，建議可為管理者應需關注的課題之一。本研究則提供長期遊憩人數分項分點之數據，可作為掌握環境成本效益、環境政策與生態資源永續經營之根基。

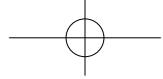
研究結果發現沒有遊憩深度高且環境衝擊也高的部份，因此推論遊憩深度高的活動是趨向對環境友善的，由於從事高遊憩深度之人員為相對少數，且從事這類遊憩項目人員相對有著更健全的生態保育概念。

#### 六、珊瑚礁潮間帶甲殼類生態調查：

上半年採集自 7 個潮間帶固定樣區甲殼類，共記錄 55 種，總個體數 373 隻，其中口足目只有 1 種大指蝦蛄 (*Gonodactylus chiragra*)，其餘為十足目的寄居蟹 6 種、瓷蟹 4 種及螃蟹 44 種，大體型種類比例偏少。前 3 名優勢種分別是光螯硬殼寄居蟹 (*Calcinus laevimanus*)、白紋方蟹 (*Grapsus albolineatus*) 及肉

表 3. 2010 年全年墾丁國家公園不同測站潮間帶甲殼類調查之數量(單位：隻)

學名	中文名	後灣	萬里 桐	南灣	香蕉 灣	龍坑	風吹 沙	佳樂 水	數量 合計	%
<i>Gonodactylus chiragra</i>	大指蝦姑		4	3			1		8	0.84%
<i>Stenopus hispidus</i>	櫻花蝦		1						1	0.10%
<i>Dardanus deformis</i>	畸形真寄居蟹		5		1				6	0.63%
<i>Dardanus gemmatus</i>	珠粒真寄居蟹		5				1		6	0.63%
<i>Calcinus laevimanus</i>	光螯硬殼寄居蟹	5	16	17	25	7	31	25	126	13.22%
<i>Calcinus latens</i>	隱白硬殼寄居蟹	2	5	3	4	3	1	3	21	2.20%
<i>Dardanus giamardii</i>	精緻硬殼寄居蟹		3	3	2	3	2		13	1.36%
<i>Clibanarius eurysternus</i>	寬身細螯寄居蟹		2	15			4	2	23	2.41%
<i>Petrolisthes borradailei</i>	波氏岩瓷蟹	3		3				5	11	1.15%
<i>Petrolisthes coccineus</i>	紅褐岩瓷蟹	1							1	0.10%
<i>Petrolisthes hastatus</i>	矛形岩瓷蟹	2		5					7	0.73%
<i>Petrolisthestomentosus</i>	密毛岩瓷蟹							1	1	0.10%
<i>Cryptodromia fukuii</i>	福井隱綿蟹					1			1	0.10%
<i>Calappa hepatica</i>	肝葉饅頭蟹			1				1	2	0.21%
<i>Tiarinia cornigera</i>	帶刺併額蟹		3	13			1		17	1.78%
<i>Thalamita picta</i>	斑點短槳蟹		2	8					1	1.05%
<i>Thalamita prymna</i>	底棲短槳蟹		4	1	1	1	1		8	0.84%
<i>Thalamita sima</i>	雙額短槳蟹			2					2	0.21%
<i>Carpilius convexus</i>	隆背瓢蟹	1			1		1		3	0.31%
<i>Carpilius maculatus</i>	紅斑瓢蟹	1			1	1	1		4	0.42%
<i>Daira perlata</i>	廣闊疣扇蟹				2	2			4	0.42%
<i>Eriphia scabricula</i>	粗糙酋婦蟹	5	3	6	6	2	4		26	2.73%
<i>Eriphia sebana</i>	光手酋婦蟹	2	6	7	1	1	2		19	1.99%
<i>Lydia annulipes</i>	環紋金沙蟹	1	1		1	3	2	2	1	1.05%
<i>Epixanthus frontalis</i>	平額石扇蟹				1			5	6	0.63%
<i>Ozium rugulosus</i>	皺紋團扇蟹				2			3	5	0.52%
<i>Lachnopodus bidentatus</i>	雙齒毛足蟹		5					5	1	1.05%
<i>Leptodius nudipes</i>	裸足皺蟹			7					7	0.73%
<i>Leptodius sanguineus</i>	肉球皺蟹	1	5	9	4	3	3	7	32	3.36%
<i>Leptodius gracilis</i>	細巧皺蟹							2	2	0.21%
<i>Macromedaeus crassimanus</i>	粗掌大權蟹			8		2			1	1.05%
<i>Neoxanthias impressus</i>	印痕新近扇蟹					1			1	0.10%
<i>Xanthias lamarcki</i>	拉氏近扇蟹			7		2		1	10	1.05%
<i>Actaeodes tomentosus</i>	絨毛仿銀杏蟹		28	3	9	8	5	1	90	9.44%
<i>Psaumis cavipes</i>	凹足普氏蟹							3	3	0.31%
<i>Etisus odhneri</i>	奧氏滑面蟹			3					3	0.31%
<i>Liomera bella</i>	美麗花瓣蟹		1	3					4	0.42%
<i>Chlorodiella nigra</i>	黑點綠蟹			3				2	5	0.52%
<i>Pilodius areolatus</i>	網紋毛殼蟹		2	7				2	11	1.15%
<i>Atergatis floridus</i>	花紋愛潔蟹			1					1	0.10%
<i>Zosimus aeneus</i>	銅鑄熟若蟹			1	3		2		6	0.63%
<i>Pilumnus vespertilio</i>	蝙蝠毛刺蟹			8					8	0.84%
<i>Pseudozium caystrus</i>	礁石假團扇蟹				2			8	1	1.05%
<i>Ocypode ceratophthalmus</i>	角眼沙蟹		2	8					1	1.05%
<i>Ocypode sinensis</i>	中華沙蟹		2	7					9	0.94%
<i>Uca jocelynae</i>	賈瑟琳招潮蟹		4						4	0.42%
<i>Uca crassipes</i>	粗腿招潮蟹		28						28	2.94%
<i>Uca perplexa</i>	糾結招潮蟹		9						9	0.94%
<i>Uca tetragonon</i>	四角招潮蟹		4					3	7	0.73%
<i>Grapsus albolineatus</i>	白紋方蟹	41	27	6	28	21	5	9	137	14.38%
<i>Grapsus longitarsis</i>	長趾方蟹		3			2			5	0.52%
<i>Grapsus tenuicrustatus</i>	細紋方蟹	7	8		9	11	3	2	4	4.20%
<i>Pachygrapsus minutus</i>	小厚紋蟹	2	7	47	35	6	31	1	129	13.54%
<i>Pachygrapsus plicatus</i>	褶痕厚紋蟹		1		1	2			4	0.42%
<i>Metopograpsus thukuhar</i>	方形大額蟹				1	5	2		3	0.31%
<i>Plagusia immaculata</i>	無斑斜紋蟹						2		7	0.73%
<i>Percnon planissimum</i>	裸掌盾牌蟹	1	1				2	3	7	0.73%



何平合，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

(續)表 3. 2010 年全年墾丁國家公園不同測站潮間帶甲殼類調查之數量(單位：隻)

	後灣	萬里 桐	南灣	香蕉 灣	龍坑	風吹 沙	佳樂 水	數量 合計	%
數量小計	75	197	242	140	87	107	105	953	100. %
物種數	15	31	30	22	21	22	23	57	
優勢度指數 1-Lambda'	0.69	0.93	0.93	0.86	0.90	0.83	0.91		
Shannon 種歧異度指數 H'(loge)	1.77	2.93	2.95	2.31	2.62	2.27	2.73		
均勻度指數 (J')	0.65	0.85	0.87	0.75	0.86	0.74	0.87		
種豐富度指數 (d)	3.24	5.68	5.28	4.25	4.48	4.49	4.73		

球皺蟹(*Leptodius sanguineus*)，各佔總個體數 12.6%、9.38%及 4.83%。比較各樣區物種數以南灣 27 種最高，種豐富度指數 5.63，萬里桐 26 種次之，種豐富度指數 5.54，龍坑 19 種居第 3，種豐富度指數降為 4.82，香蕉灣 11 種最少，種豐富度指數僅 2.91。後灣發現的 13 種，皆為常見種。

下半年潮間帶甲殼類採樣結果，共記錄 47 種 580 個體，種類數較上半年少 7 種(重覆種類少 9 種，另增加上半年未發現 2 種)，全年累計 16 科 57 種 953 個體，前 3 名優勢種分別是白紋方蟹(*Grapsus albolineatus*)137 個體(佔總個體數 14.38%)、小厚紋蟹(*Pachygrapsus minutus*)129 個體(13.54%)及光螯硬殼寄居蟹(*Calcinus laevimanus*)126 個體(4.83%)，大體型種類比例偏少。

全年各樣區種類組成(表 3)以萬里桐 31 種最高，種豐富度指數 5.68，其中有 4 種招潮蟹，因其微棲地處於潮間帶靠陸地側，族群規模雖小，因有外圍珊瑚礁石區可緩衝潮浪，能維持穩定，此與其他 6 個樣區差異較大之處；南灣 30 種次之，種豐富度指數 5.28，佳樂水 23 種，種豐富度指數 4.73，風吹沙與香蕉灣同樣 22 種，種豐富度指數各為 4.49 及 4.25，龍坑 21 種，種豐富度指數 4.48，後灣 15 種最少，種豐富度指數 3.21，群聚差異主要取決於棲地類型各有不同。佳樂水岩石間少量沉積沙泥區，繼上半年首度發現四角招潮蟹(*Uca tetragonon*)，後半年亦有發現，唯數量稀少。龍坑僅在上半年發現罕見的福井隱綿蟹(*Cryptodromia fukuii*)。後灣及佳樂水兩樣區皆未如去年發現異常死亡個體。

今年各樣區發現的群聚組成結果，與前言

所列往年的調查結果比較差異不大，各樣區間的群聚差異主要受棲息地類型不同所左右，如萬里桐及南灣因潮間帶最為平緩及寬闊，採樣容易，所以種類數或個體數量皆可名列前 2 名。相較之下，香蕉灣及龍坑潮間帶較為崎嶇，採樣日在前半年及夏天逢西南風強盛，或颱風風浪大，潮位較預測高，採樣較為難如預期。後灣潮間帶最為狹窄，採樣結果最不理想。後灣及佳樂水樣區於去年分別受船舶觸礁漏油影響後，皆有發現不少比例的死亡個體，今年未再發生船難，採樣結果，並未發現異常死亡個體。

#### 七、墾丁國家公園海域沿岸海草床生態監測：

海草床覆蓋度，海草床覆蓋度在 2006 年之前為高位>低位>潮池(圖 14a)，但在 2006 年到 2008 年 5 月，覆蓋度呈現高位>潮池>低位，在 8-9 月間甚至變為潮池>高位>低位。2007 至 2009 年萬里桐覆蓋度有提升的趨勢，但於 2009 年 8 月及 10 月時，高、低位及潮池之海草覆蓋度均變低，尤其在 10 月芭瑪颱風之後，潮池覆蓋度降低。2010 年 6 月開始，潮池覆蓋度明顯減少，至 8 月已被沉積物完全掩蓋。

植株密度則是高位與潮池相當，皆較低位來得多(圖 14b)。植株密度於 2001 年較 1996 年減少 50%，2003 至 2009 年高位之海草有恢復的趨勢。2009 年芭瑪颱風後，高低位及潮池之植株密度皆下降，並在 2010 年上半年逐漸恢復，且以潮池的恢復能力最佳。但下半年因沉積物掩蓋之影響，潮池海草已經被完全掩蓋。

高位的海草雖然有較高的覆蓋度及植株

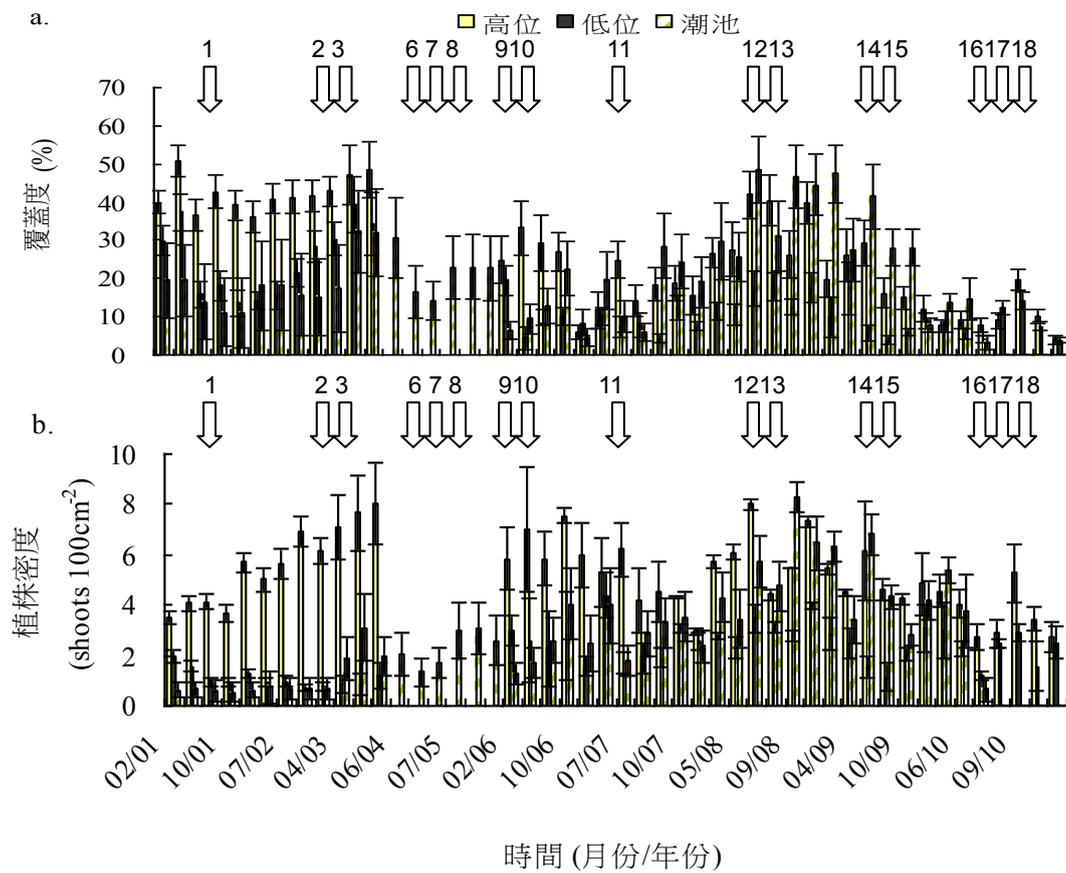


圖 14. 高位、低位及潮池泰來草之 a. 覆蓋度；b. 植株密度之長期變化趨勢圖 (箭號：有颱風發生之情形)

密度，但於退潮時暴露於空氣中的時間是三種類型中最多的。曝露時間太長會造成泰來草的葉片短小，並降低葉片相對生長速率。若是曝曬時間過長，再加上墾丁地區秋冬季乾冷的落山風，則會造成葉片相對生長速率明顯降低 (Lan *et al.* 2005)，因此落山風也是造成生長速率降低的重要因素 (Lin and Shao 1998)。

高位及低位海草地上部之生物量有較穩定的季節性變化，夏季較高，冬季低 (圖 15a)。高位、低位及潮池之地下部生物量都較地上部高 (圖 15b)，三地點間以高位之地下部生物量最高，其次為潮池。地下部生物量在季節上的變化不明顯。高位之地下部生物量於 2006 年低，在 2008 年有逐漸增加的趨勢。2010 年低位地下部生物量有逐漸減少的情形。地下部生物量與地上部生物量的比值稱為 R/S ratio，可

評估一地區植株地下部及根系相對發展程度。較多的地下部生物量剛好扮演儲存的功能，當環境變好時可提供地上部長新葉片時所需的養份 (Ziman 1980)。地點間之 R/S ratio 大致為高位>低位>潮池 (圖 15c)。大致上亦以夏季的 R/S ratio 最高，但低位於春天之 R/S ratio 有偏高的情形發生。高位和低位於 2006 至 2008 年颱風過後 R/S ratio 皆有提升的趨勢，可能是植株能量轉移的結果。萬里桐潮池之 R/S ratio 變化大，尤其在 2009 年 10 月之後明顯下降，但 2010 上半年有增加的趨勢，下半年則相反。

單位面積平均葉片生產力在 2006 年以前，潮池較高、低位較低 (圖 16a, b)，但於 2007 年後潮池的生產力有逐漸下降的趨勢。2009 年後海草之生產力大致呈現高位較高、低位較

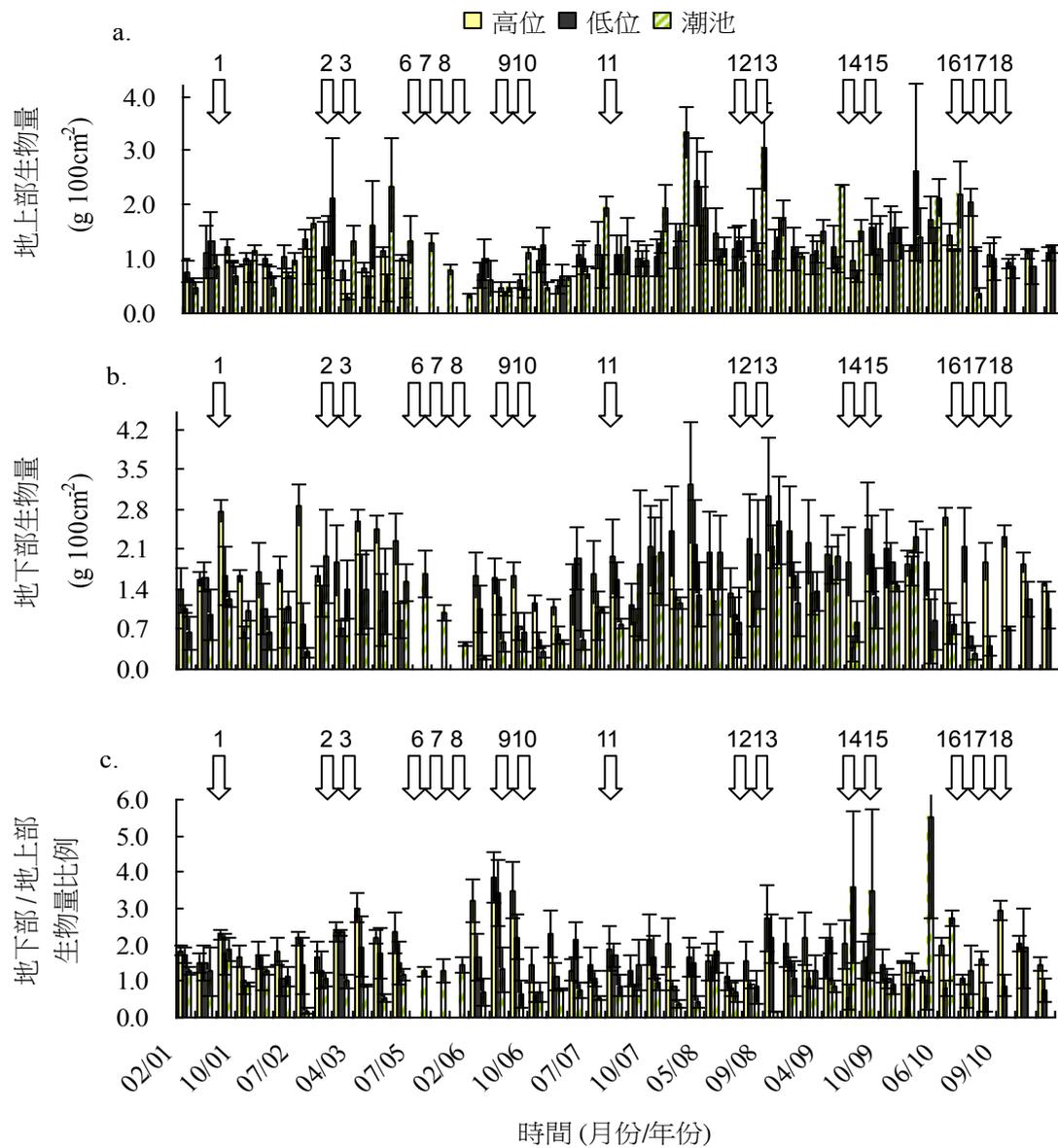
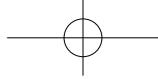


圖 15. 高位、低位及潮池泰來草之 a. 地上部生物量；b. 地下部生物量；c. R/S ratio 之變化 (箭號：有颱風發生之情形)

低、潮池則變化較大的趨勢。就高位及低位海草生產力而言，在季節間依然是以冬季為最低，其他季節間則沒有顯著差異。而 2010 年 4 月至 9 月除了潮池外，高低位之生產力較過去有明顯上升的情形。

底護高度用以估計海草床為居所或底護動物之底護高度。以往的結果顯示潮池>低位>高位(圖 17)，且高、低位及潮池皆有季節性變

化，夏季較高，冬季較低。2007 年開始之底護高度有增加的趨勢，但於 2009 年 10 月潮池的底護高度因芭瑪颱風的侵襲而大幅度下降，其高度介於高、低位間。在 2010 年高低位及潮池之底護高度皆有增加之趨勢。

萬里桐海草面積從 1996 年至 2001 年 7 月的颱風過後減少 98 %。當時的颱風將底質大量淘空，造成海草床面積驟減，從 2001 年起

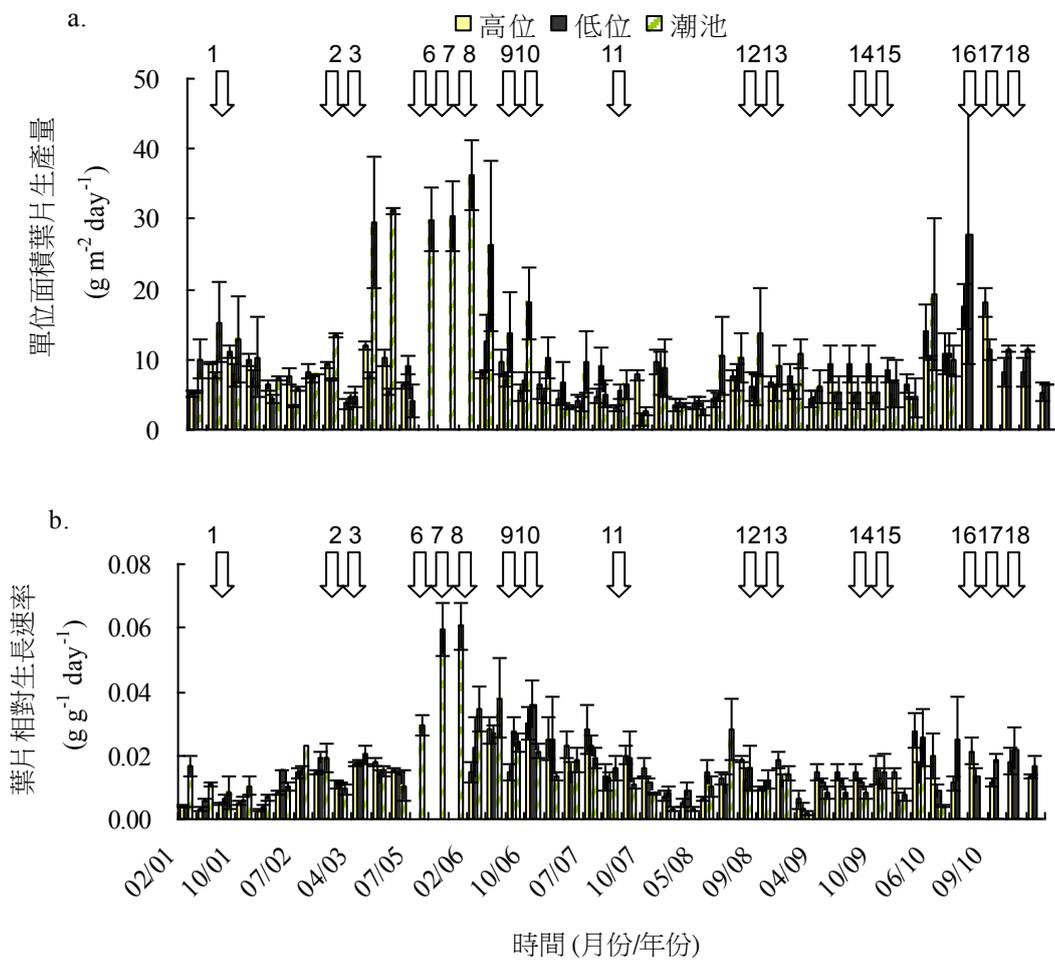


圖 16. 高位、低位及潮池泰來草之 a. 單位面積葉片生產量；b. 葉片相對生長速率之變化 (箭號：有颱風發生之情形)

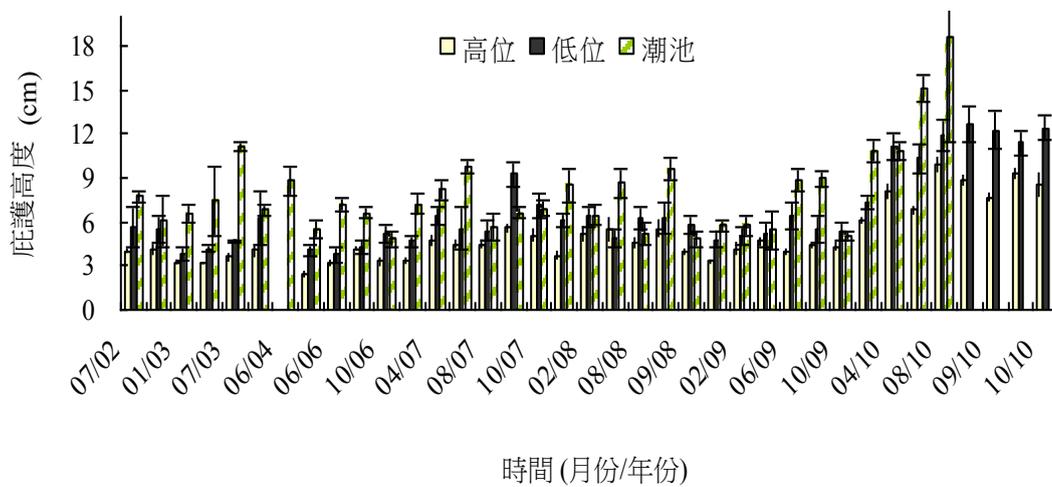
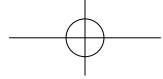


圖 17. 高位、低位及潮池泰來草之庇護高度(canopy height)



何平台，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

有逐漸增加的趨勢(圖 18)。在 2009 年 8 月到 10 月之間，第十五號芭瑪颱風經過墾丁地區之後，萬里桐潮池明顯地被底質所覆蓋，使得原本生長在潮池上的泰來草完全被掩蓋住，而萬里桐北岸卻無此現象。2010 年上半年萬里桐海草床面積有緩慢增加之現象，此時潮池底土深度有減少趨勢，可能是受潮汐作用而移除原本堆積在潮池的砂石，使得海草生物量、覆蓋度及海草床面積增加。但 2010 年夏季因降雨，適逢大潮，大量沉積物再次掩蓋海草床，使全部海草受到覆蓋而消失。我們也發現歷年來降雨量與萬里桐海草床面積顯示有相反之趨勢(圖 19)。由這些結果顯示，泰來草易受到颱風所帶來的沉積物之掩蓋，導致草床面積變小，植株減少。

整合自 2001 年至 2010 年海草床監測之資料，結果顯示海草生物量與葉片生產力有明顯的季節性變化，夏季高，冬季低，但是覆蓋度與植株密度並無明顯季節變化。直至 2008 年，海草床覆蓋度與植株密度均有上升趨勢。但 2009 年芭瑪颱風重創萬里桐潮池，大幅減少海草床覆蓋面積，雖然 2010 年上半年海草床面積和生物量有增加趨勢，但下半年可能受到豪雨，適逢大潮之影響，造成大量沉積物覆蓋萬里桐潮池海草床，因而消失。

2010 年海草葉片附生藻生物量有升高趨勢，推測與人為氮營養輸入增多有關。比較附生藻生產量，3 月明顯高於 5 及 8 月。添加營養鹽試驗發現，添加氮後之生產量與生產力比添加前有顯著升高，顯示泰來草葉片上附生藻類有潛力作為沿岸氮優養化指標生物。

## 結論與建議

影響墾丁國家公園海域珊瑚礁生態系，大部分由陸域人為活動(廢水排放、漁業活動、棲地破壞-沈積物及遊憩活動等)彼此間相互影響，帶來直接與間接的破壞，再加上每年颱風與全球氣候變遷的環境衝擊，使墾丁國家公園海域珊瑚礁生態帶來更大的衝擊影響。

在研究樣點中，海域部份水體已遭受耗氧性污染物質之影響，主要以保力溪、墾丁大排、凱撒飯店及石牛溪等處較為嚴重，該等海域在此監測期間營養鹽、葉綠素甲、溶氧、生化需氧量、pH 值及濁度皆出現異常之測值。此外，降雨後所增加的懸浮固體物質等與颱風的物理性刮除作用，嚴重影響潮間帶海草床密度與底棲的珊瑚礁群聚。由於海洋環境惡化而產生明顯的變遷，珊瑚、大型藻類、海葵的競爭，由珊瑚種類組成可發現。珊瑚群聚已轉變為耐環境壓迫的珊瑚為主，即使現在覆蓋率提高，但環境上的壓力仍然存在，有些區域覆蓋率仍持續降低並無恢復的跡象，顯示珊瑚群聚可能仍處於產生變遷的臨界點上。由 r-K-S 功能群組成分析顯示(圖 8)，紅柴已屬於保育等級 1 的珊瑚群聚，顯示這區遭受嚴重的環境壓力影響，在實際潛水調查中，也發現此區泥沙沈積與毛茸狀底棲性藻類繁生的現象嚴重，因此阻絕陸源沈積物與沖刷物入海是保護此區珊瑚礁的必備工作。萬里桐、雷打石、眺石恢復區和龍坑，這些位於保育等級 4 的礁區，由於地形複雜度高，可提供魚類多樣的棲地選擇，因此不僅需優先劃為海洋保護區，投入較多的保育資源，在劃設保護區時亦需將這些礁區相連並劃為禁漁區，使這些礁區成為魚類入添量的輸出區。更明確的說，這些礁區應設在海洋保護區中的上游處，使魚群可溢出至其他礁區(Jennings et al. 1996)。

在過去報告中，潮間帶的軟體動物調查中，發現較少居民與遊客前往的地區，調查物種數較高，其餘容易到達的地區物種數較低，顯示人類長期在潮間帶採集、踐踏等活動，已造成海域潮間帶的某些族群消失，再加上墾丁地區每年湧入的遊客反應在生態環境上。墾丁國家公園沿岸遊憩活動，在遊憩深度高且對環境衝擊小，如潛水等活動，對當地海域環境影響並不顯著；而低遊憩深度相對在環境衝擊較大，可能造成之間接性衝擊，如游泳戲水、海岸活動(採集、踐踏等)、浮潛活動等，因此亦建議較低深度之遊憩活動應為管理者關注之

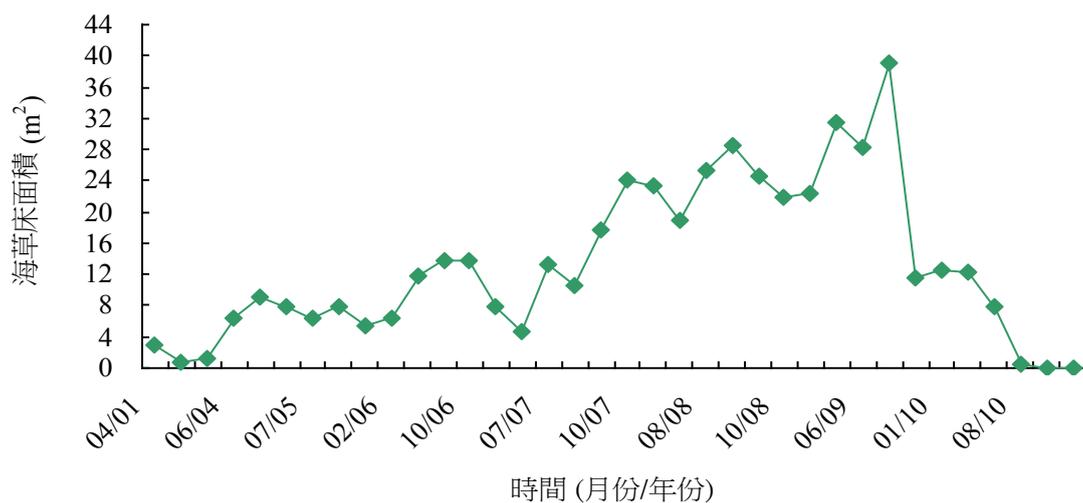


圖 18. 萬里桐海草床面積變化圖

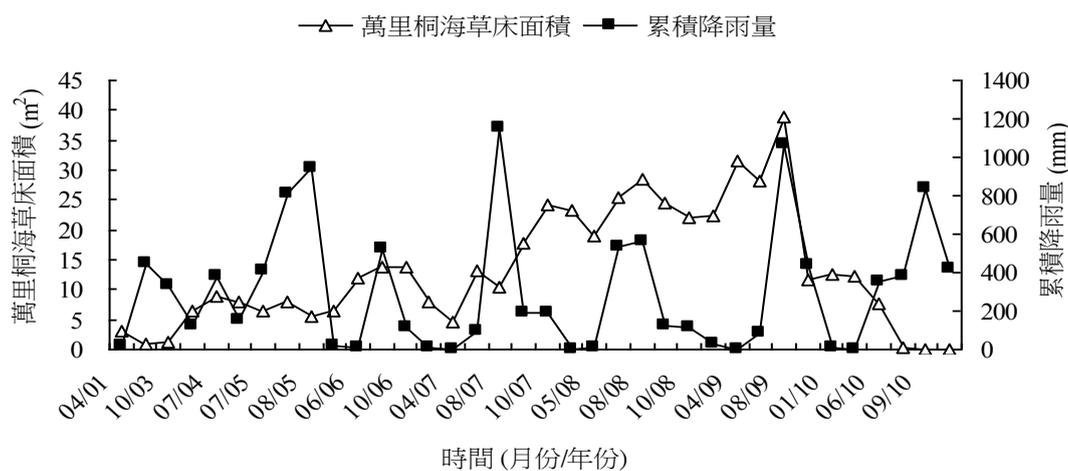


圖 19. 萬里桐海草床面積與歷年累積降雨量變化圖

項目，為了保育墾丁海域的珊瑚礁生態系，使當地之生態旅遊與觀光事業得以永續發展。

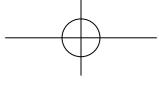
因此應積極推動海洋環境相關保護措施：

1. 提高污水處理設施之接管率，減少污水直接排放入海。
2. 建議將萬里桐與核三廠出水口、雷打石劃為保護區。
3. 落實保護區相關法令之執行，確保設立保護區之成效。
4. 擬定相關法條，禁止由岸邊下水的潛水與浮潛活動。設立海上平台，使用接駁船連接碼頭與平台，進行遊客量控管。

頭與平台，進行遊客量控管。

5. 針對非法之海岸土地或山坡地之開發破壞，力求落實執行取締與管理工作。
6. 持續收集累積墾丁海域相關基礎資料，以作為施政基礎。

此外，本研究將持續監測收集調查資料透過資料倉儲運用與 OLAP 等資訊技術產生的資料，達到即時呈現多樣化分析的結果，建立線上生態系統模擬與分析模式，並增加地理資訊系統多樣性以及持續建構透過不同技術的呈現網路式的生態模式，測試生態系在遭受人



何平合，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

為或自然力的作用下，墾丁珊瑚礁群聚的恢復力(resilience)，評估各珊瑚礁可忍受的壓力極限，以及受到壓力後所需回復的時間，跟生態指數的結果做比較，預測在人為影響與氣候變遷下，墾丁珊瑚群聚恢復的潛能，輔助決策人員制定生態保育決策，有效管理生態與環境的問題。

## 誌謝

本研究的全體同仁首先要藉此機會感謝內政部營建署及墾丁國家公園管處能在政府保育預算日益緊縮的情況下，仍願撥付經費推動本研究。此外營建署署長、副署長、國科會同仁及墾管處同仁對本研究之支持、鼓勵與指導，還有許多配合本研究資料蒐集的許多助理、學生民間友人、漁友等的協助，容我們在此一併致上十二萬分的謝忱。在有限的人力與物力條件下，各分支計畫主持人仍願盡力而為之，共同為墾丁海域生態的保護，以及墾丁生態旅遊的永續發展而盡一份心力，在此亦表示敬意與謝意。

## 引用文獻

方力行、孟培傑、郭漢煌、張文炳、呂明毅、陳義雄、樊同雲、何平合、李展榮、林綉美、陳正平、周偉融。2002。阿瑪斯號貨輪擱淺地區生態資源監測與復舊計劃。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。

方力行、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、田文敏、劉銘欽、鍾國南、張揚祺、林幸助。2003。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態衝擊之長期監測研究(III)及生態與環境資料庫建立(II)。墾丁國家公園管理處保育研究報告第126號。

方力行、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、田文敏、陳明輝、劉銘欽、鍾國南、張揚

祺、林幸助。2004。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究(IV)與環境教育之應用(I)。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。

方力行、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、陳明輝、劉銘欽、鍾國南、張揚祺、林幸助。2005。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究(五)環境教育之應用(二)基本生態資料之建立(二)與環境生態資料庫資訊系統之建立(一)。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。

方力行、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、陳明輝、劉銘欽、鍾國南、張揚祺、林幸助。2006。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究(六)環境教育之應用(三)基本生態資料之建立(三)與環境生態資料庫資訊系統之建立(二)。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。

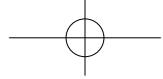
王維賢、邵廣昭、孟培傑、樊同雲、陳正平、陳明輝、劉銘欽、張揚祺、林幸助、何平合。2007。墾丁國家公園海域長期生態研究計劃-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究(七)環境教育之應用(四)基本生態資料之建立(四)-40-與環境生態資料庫資訊系統之建立(三)。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。

沈世傑主編。1993。台灣魚類誌。國立台灣大學動物系。

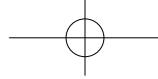
行政院環境保護署編印。1998。水污染防治法規。

李宏仁。1999。南灣潮流驅動渦漩及冷水入侵成因之探討。國立臺灣大學海洋研究所博士論文。

孟培傑、陳正平、鍾國南、劉銘欽、樊同雲、張家銘、田文敏、張揚祺、林幸助、方力行、邵廣昭。2004。人為活動對墾丁國家公園海域生態衝擊之長期監測研究及生



- 態與環境資料庫建立。國家公園學報 14(2):43-69。
- 孟培傑、鍾國南、陳正平、陳明輝、劉銘欽、張揚祺、樊同雲、林幸助、劉弼仁、張家銘、方力行、邵廣昭。2007。人為活動對墾丁國家公園海域生態衝擊之長期監測研究。國家公園學報 17(2):89-111。
- 孟培傑、鍾國南、陳正平、陳明輝、劉銘欽、張揚祺、樊同雲、林幸助、劉弼仁、張家銘、方力行、邵廣昭。2007。墾丁國家公園海域生態之長期監測研究。國家公園學報 17(2):71-88。
- 何平合、陳昭倫、陳宏瑜、陳正平、邱郁文、林幸助、張揚祺。2008。墾丁國家公園海域長期生態研究計畫-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究(八)環境教育之應用(五)基本生態資料之建立(五)與環境生態資料庫資訊系統之建立(四)。墾丁國家公園管理處委託研究報告。
- 何平合、陳昭倫、孟培傑、陳正平、邱郁文、林幸助、張揚祺。2009。墾丁國家公園海域長期生態研究計畫-人為活動對海域生態所造成之衝擊研究(九)。墾丁國家公園管理處委託研究報告。
- 何平合、陳昭倫、孟培傑、陳正平、邱郁文、林幸助、張揚祺。2010。墾丁國家公園海域珊瑚礁長期生態監測計畫。墾丁國家公園管理處委託研究報告。
- 邵廣昭、方力行、梁乃匡、孟培傑、鍾國南、李展榮、韓僑權。2001。人為活動對墾丁國家公園海域生態衝擊之長期監測研究(I)。墾丁國家公園管理處保育研究報告第113號。
- 邵廣昭、方力行、田文敏、張揚祺、孟培傑、鍾國南、李展榮、劉銘欽。2002。墾丁國家公園南灣海域長期生態研究計畫-人為活動對海域生態衝擊之長期監測研究(II)及生態與環境資料庫建立。內政部營建署墾丁國家公園管理處委託研究報告。
- 郭兆揚。2007。台灣南部海域珊瑚礁底棲群聚的結構與變化。國立中山大學海洋生物研究所碩士論文。台灣。中華民國。
- 鍾國南、李展榮、孟培傑、韓僑權、郭鑫沅、宋國士、梁乃匡、方力行、邵廣昭。2002。墾丁國家公園海域長期生態研究-測站海底地貌及人為活動對海域生態衝擊監測之初報。國家公園學報 12(1):52-73。
- Bastidas C, D Bone and EM Garcia. 1999. Sedimentation Rates and Metal Content of Sediments in a Venezuelan Coral Reef Marine Pollution Bulletin, Vol.38, No.1. pp. 16-24.
- Chen CTA, SL Wang, BJ Wang and SC Pai. 2001. Nutrient budgets for the South China Sea basin. *Marine Chemistry* 75:281-300.
- Chen CTA, BJ Wang and LY Hsing. 2004. Upwelling and degree of nutrient consumption in Nanwan Bay, Southern Taiwan. *Journal of Marine Science and Technology* 12(5):442-447.
- Chou Y, TY Lin, CTA Chen and LL Liu. 2004. Effect of nuclear power plant thermal effluent on marine sessile invertebrate communities in Southern Taiwan. *Journal of Marine Science and Technology* 12(5):448-452.
- Huang CC and TC Hung. 1987. "Coral: study in Nanwan Bay adjacent to the third nuclear power plant in Taiwan", *SCOPE/ROC, Acad. Sin.*, 24pp.
- Hung TC, CC Huang and KL Fan. 1989. Nonbiological factors and corals study along the shallow water near the outlet of Third Nuclear Power Plant. *SCOPE/ROC, Acad. Sin* 71:32pp.
- Hodgson G. 1990. Tetracycline reduces sedimentation damage to corals. *Marine Biology* 104:493-496.
- Jennings S, DP Bouille and NVC Polunin. 1996a. Habitat correlates of the distribution and biomass of Seychelles' reef fishes. *Environmental Biology Fishes* 46:15-25.
- Jennings S, SS Marshall and NCV Polunin. 1996b. Seychelles' marine protected areas: comparative structure and status of reef fish communities. *Biological Conservation* 75:201-209.
- Johannes RE, WJ Wiebe and CJ Crossland. 1983. Three patterns of nutrient flux in a coral reef community Vol. 12:131-136.
- Lan CY, WY Kao, HJ Lin and KT Shao. 2005. Measurement of chlorophyll fluorescence reveals mechanisms for habitat niche separation of the intertidal seagrasses *Thalassia hemprichii* and *Halodule uninervis*. *Marine Biology* 148:25-34.
- Lee HJ, SY Chao, KL Fan, YH Wang and NK Ling. 1997. Tidally Induced Upwelling in a Semi-Enclosed Basin:Nan Wan Bay. *Journal of Oceanography*, Vol.53. pp.467-480.
- Lee HJ, SY Chao, KL Fan and TY Kuo. 1999. Tide-Induced Eddies and Upwelling in a Semi-enclosed Basin:Nan Wan Estuarine, Coastal and Shelf *Science* 49:775-787.



何平合，陳昭倫，孟培傑，陳正平，邱郁文 et al.

- Lee HL, SY Chao and KL Fan. 1999a. Flood-ebb disparity of tidally induced recirculation Eddies in a semi-enclosed basin: Nan Wan Bay Continental Shelf *Research* 19:871-890.
- Lin HJ and KT Shao. 1998. Temporal changes in the abundance and growth of intertidal *Thalassia hemprichii* seagrass beds in southern Taiwan. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 39:191-198.
- McCormick MI and JH Choat. 1987. Estimating total abundance of a large temperate reef fish using visual strip-transects.
- Meng PJ, HJ Lee, JT Wang, CC Chen, HJ Lin, KS Tew and WJ Hsieh. 2008. A long-term survey on anthropogenic impacts to the water quality of coral reefs, southern Taiwan. *Environmental Pollution* 156:67-75.
- Morell JM, J Capella, A Mercado, J Bauza and JE Corredor. 2001. Nitrous oxide fluxes in Caribbean and tropical Atlantic waters: evidence for near surface production. *Marine Chemistry* 74:131-143.
- Roberto D, B Lucia, C Cinzia, G Donato, D Elisabetta, A Paola, G Lucedio and P Antonio. 2008. Sunscreens Cause Coral Bleaching by Promoting Viral Infections. *Environmental Health Perspectives* 116(4):441-447.
- AD Rosemond, CM Pringle, A Ramirez, MJ Paul and JL Meyer. 2002. Landscape variation in phosphorus concentration and effects on detritus-based tropical streams *Limnol. Oceanogr* 47:278-289.
- Riegl B, C Heine and GM Branch. 1996. Function of funnel-shaped coral growth in a high-sedimentation environment *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 145:87-93.
- Steneck RS. 1998. Human influences on coastal ecosystems: does overfishing create trophic cascades? *Trends Ecol. Evol.* 13, 429-430.
- Su JC, TC Hung, YM Chiang, TH Tan, KH Chang, CC Huang, CY Huang, KT Shao, PP Huang, KT Lee, KL Fan and SY Yeh. 1987. "An ecological and environmental survey on the waters adjacent to the nuclear power plant in southern Taiwan", *SCOPE/ROC* 50:224pp.
- Su JC, TC Hung, YM Chiang, TH Tan, KH Chang, CC Huang, CY Huang, KT Shao, PP Huang, KT Lee, KL Fan and SY Yeh. 1989. An ecological and environmental survey on the waters adjacent to the southern nuclear power plant. *SCOPE/ROC, Acad. Sin.* 70:238pp.
- Tockner K, F Malard, U Uehlinger and JV Ward. 2002. Nutrients and organic matter in a glacial river-floodplain system (Val Roseg, Switzerland) *Limnol. Oceanogr* 47(1):266-277.
- Thomas S. 2003. An underwater sediment accumulation sensor and its application to sediment transport processes at Lihir Island Papua New Guinea. Ph.D. Thesis, James Cook University, Townsville, Australia.
- Thomas S and P Ridd. 2005. Field assessment of innovative sensor for monitoring of sediment accumulation at inshore coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 51:470-480.
- Tkachenko KS, BJ Wu, LS Fang and TY Fan. 2007. Dynamics of a coral reef community after mass mortality of branching *Acropora* corals and an outbreak of anemones. *Marine Biology* 151:185-194.
- Turner SJ, SF Thrush, JE Hewitt, VJ Cummings and G Funnell. 1999. Fishing impacts and the degradation or loss of habitat structure. *Fish Manag Ecol* 6:401-420.
- Umar MJ, LJ McCook and IR Price. 1998. Effects of sediment deposition on the seaweed *Sargassum* on a fringing coral reef *Coral Reefs* 17:169-177.
- Zieman JC and RG Wetzel. 1980. Productivity in seagrasses: methods and rates, Phillips RC, *McRoy CP (eds.), Handbook of seagrass biology*. Garland STPM, New York. pp. 87-116.