

澎湖南方四島國家公園海域長期生態監測與保育策略

鄭明修^{1,3}，戴昌鳳²

¹中央研究院生物多樣性研究中心；²國立臺灣大學海洋研究所；³通訊作者 E-mail：
jengms@gate.sinica.edu.tw

[摘要] 澎湖南方四島國家公園海域擁有豐富的海洋生態資源，在 2018 年間對該海域進行全面性的生態資源調查，結果共記錄有 15 科 54 屬 209 種珊瑚，其中石珊瑚類有 10 科 38 屬 140 種、八放珊瑚類 5 科 16 屬 69 種；珊瑚礁魚類共記錄到 40 科 125 屬 303 種；大型底棲無脊椎動物共記錄到 113 種，包括軟體動物門 43 種、棘皮動物門 25 種、節肢動物門 17 種及海綿動物門 10 種。從物種數來看，本次的調查結果與過去資料相似，珊瑚與珊瑚礁魚類的物種數略有增加，大型底棲無脊椎動物則略為減少。就珊瑚覆蓋率而言，多數測站的珊瑚覆蓋率高於 50%，屬於健康狀態，功能群分析也顯示屬於保育價值較高的群聚；鐵砧嶼及鋤頭嶼的珊瑚群聚覆蓋率低於 50%。珊瑚礁魚類調查結果也呈現魚種逐年豐富，朝向物種多樣化的正面發展方向，已經成為澎湖周邊海域生態資源最豐富的區域。2014 年澎湖南方四島國家公園成立，隔年魚種即有明顯增加，在保育和禁漁的措施下，對魚類資源復育的助益相當明顯。建議管理單位能夠建立長期海洋生態監測系統，並能分期進行海洋生態保護區及海洋特別景觀的調整，以 10 年時間達到完全禁漁區面積超過 100 平方公里的目標，以促進澎湖海域海洋資源復育及永續利用。

關鍵字：澎湖南方四島國家公園、物種組成、生物多樣性、海洋保護區

Long-Term Ecological Monitoring and Conservation Strategies in the Waters of South Penghu Marine National Park

Ming-Shiou Jeng^{1,3} and Chang Feng Dai²

¹Biodiversity Research Center, Academia Sinica; ²Institute of Oceanography, National Taiwan University; ³Corresponding author E-mail: *jengms@gate.sinica.edu.tw*

ABSTRACT Field surveys were conducted in the waters of South Penghu Marine National Park in 2018 to understand the abundant marine ecological resources. We recorded a total of 209 coral species belonging to 15 families and 54 genera (including 140 scleractinian species and 69 octocoral species), and a total of 303 fish species belonging to 40 families and 125 genera. An additional 113 macrobenthic invertebrate species were recorded, including 43 mollusc species, 25 echinoderm species, 17 crustacean species, and 10 sponge species. Overall, the number of species recorded was similar to those of previous surveys. However, species diversity of corals and reef fishes had slightly increased, while diversity of macrobenthic invertebrates had slightly decreased. In terms of living corals, most of the surveyed sites had more than 50% coverage, indicating healthy status, with the exception of sites at Tiezhenyu Islet and

Chutouyu Islet. The functional composition of coral communities also showed that most sites had balanced composition with high conservation values. The results of reef fish surveys showed that the number of fish species was increasing with a trend towards a diversified reef fish community. The data support that this region has the most abundant ecological resources in the waters around Penghu Archipelago. In comparison with data from previous surveys, the number of fish species had increased significantly since the establishment of South Penghu Marine National Park in 2014. This finding demonstrates obvious benefits of resource restoration through enforcement of habitat conservation, fishing regulations, and a closed fishing area. To achieve sustainable use of marine resources, it is recommended that the national park authority should establish a long-term marine ecological monitoring system and gradually expand the no-fishing areas to cover more than 100 km² in 10 years.

Keywords: South Penghu Marine National Park, species composition, biodiversity, MPA

前言

澎湖群島四周海域有中國沿岸流、黑潮(Kuroshio)支流與南中國海季風流交互作用，匯集於澎湖海域(Jan *et al.* 2002)，澎湖南側有水深不及 25 m 的臺灣淺灘，東吉嶼東側是水深 100~200 m 深的澎湖水道，海底地形向南開展並加深，因季風與洋流作用下，經常波濤洶湧，即是俗稱的「黑水溝」。相關的研究顯示澎湖南方四島周邊海域水團特性趨向南海水團，溫暖的海水與堅硬的基質，構成適合珊瑚生長的环境，孕育出生物多樣性豐富的珊瑚礁生態系(王玉懷等，2012)。除此之外，澎湖南海諸島的地勢平坦，潮間帶寬廣，海底坡度平緩，有些地區自海岸向外延伸超過十公里都是適合珊瑚生長環境，因此珊瑚及其形成的珊瑚礁，可說是澎湖海域生態系的基石(張崑雄等 1991，鄭明修等 2009, 2019)。

澎湖南方四島國家公園成立緣起於生態與漁業上的重要性，2008 年發生澎湖百年來最嚴重的寒害，長時間出現 11-14°C 的海水溫度，造成大量珊瑚白化、魚類與無脊椎動物死亡，對當地漁業與生態資源產生嚴重的衝擊(李國添等 2008，戴昌鳳等 2008，Hsieh *et al.* 2008)。當時透過大範圍的澎湖群島海域生態資源調查，得知澎湖南方四島周邊海域的生態受創較輕，仍擁有較多的物種多樣性和豐度，可作為促進澎湖群島海域生態資源恢復的種

原庫，顯示澎湖南方四島海域在維繫澎湖群島海域生態與漁業資源上的重要性。基於該處的珊瑚礁生態系是澎湖群島海域最佳、且最值得保育的區域，也是維護澎湖海域生態系回復力之重要水域，行政院於 2014 年 3 月 10 日核定「澎湖南方四島國家公園計畫」，同年 6 月 8 日正式核定為我國第九座國家公園，其範圍涵蓋：東吉嶼、西吉嶼、東嶼坪嶼、西嶼坪嶼等四島及周邊島礁與海域，分別以東吉嶼向東、頭巾向北及向西與鐘仔向南各 2 哩為邊界，包括：海域面積 35,473.33 公頃、陸域面積 370.29 公頃，全區總面積 35,843.62 公頃。將國家公園範圍內的海、陸域劃分成海域生態保護區、特別景觀區、海域特別景觀區、海域遊憩區、一般管制區與海域一般管制區等 6 區，其中陸域劃設特別景觀區面積 317.51 公頃、一般管制區面積 52.78 公頃。海域劃設海域生態保護區(面積 70.94 公頃)、海域特別景觀區(面積 16,600.03 公頃)、海域遊憩區(面積 25.61 公頃)、海域一般管制區(面積 18,776.74 公頃)。

澎湖南方四島國家公園從籌備階段即開始執行許多保育研究計畫，內容涵括物種與生態資源調查、珊瑚礁生態與漁業資源分析、海洋環境及棲地調查、海域生態熱點、潛點與活動適宜性規劃等，另外也有數篇碩博士論文與投稿於國際期刊的論文等相關研究資料。本文整合歷年調查研究成果，包括成立初期進行的澎湖南方東嶼坪、西嶼坪、東吉嶼及西吉嶼四

島周邊海域生態調查(鄭明修等 2009)，漁業、潛水及特定物種的調查(蔡萬生等 2011，王玉懷等 2012，林家魁 2013，張至維等 2013，郭芳伶 2015，朱雲瑋等 2015，吳松鴻 2016，陳義雄、李明安 2017)，至 2017 年完成的澎湖南方四島藻類相及無脊椎生物相調查(黃俞升 2017)，共有七次針對國家公園範圍內較完整的海域生態調查，並經由海洋生態資源實地監測調查，探討澎湖南方四島國家公園海域自然生態的變遷情形，同時參考國際海洋生態保育新概念與趨勢，進一步探討澎湖南方四島國家公園分區劃設及管理之適宜性，以及規劃未來保育研究與長期環境監測的方向，期能讓澎湖南方四島國家公園達到永續經營的目標。

材料與方法

一、調查範圍

調查範圍為澎湖南方四島國家公園海域，以東吉嶼、西吉嶼、東嶼坪嶼、西嶼坪嶼等四島及周邊島礁(頭巾、鐵砧、二塹、香爐、鋤頭嶼、豬母礁、鐘仔、柴坡塹與離塹仔等)海域為範圍。分別以東吉嶼向東、頭巾向北及向西與鐘仔向南各 2 哩為邊界，依緯度 N23°12'05"~N23°19'28"與經度 E119°27'51"~E119°43'04"之範圍內劃設為帶狀區域(圖 1)，總海域面積 35,473.33 公頃(約 354 km²)。參考過去的調查研究測站位置，並視地形、天候、潮水、挑選適合長期監測的位置進行，完成與過去研究位置重疊的 8 個固定測站，每個測站進行 2 條亞潮帶水肺潛水測線調查；以及 10 個不固定測站、11 條不固定測線調查，總計共完成 18 個測站、27 條測線調查，其相關測站位置及 GPS 定位如表 1。

二、調查方法

為了定量調查亞潮帶生物的種類與數量，並方便探討物種間彼此的關連性，本研究採用共同橫截線調查方法(transect survey)。這種水下調查參考國際珊瑚礁總體檢(Reef Check)的

標準方法，橫截線設置在水深 5-15 m 範圍內，長度為 50 m，記錄測線兩側固定範圍所出現的物種及數量。生物種類分為三大類，分別為珊瑚、大型底棲無脊椎動物及魚類等，各由專屬調查人員於橫截線上同時進行調查記錄。

調查期間並進行海底數位攝影記錄，以錄影資料進行備份或補充現場調查時的不足，所得資料亦可供進一步分析使用。錄影橫截線法操作：以水肺潛水人員，利用水下攝影機進行穿越線的錄影(如圖 2)，調整前進速度約在 10 m/min，距離底質約 60 cm 高度前進，完成 50 m 帶狀的攝影記錄。

1. 珊瑚礁底質與大型底棲無脊椎動物調查方法

珊瑚礁底質組成係沿 50 m 長的橫截線，每隔 25 cm 為一個觀測點，記錄底質類型(包括：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 10 類)之出現頻度。每一調查線記錄 200 點底質資料，以各類底質出現的頻率作為估計石珊瑚覆蓋率及各類底質所佔比例的依據。珊瑚覆蓋率是珊瑚群聚健康狀態的重要指標，依據國際珊瑚礁總體檢(ReefCheck)建議的評估標準，珊瑚覆蓋率：(1)大於 50% 者為健康的珊瑚礁；(2)介於 30~50% 者為受壓迫的珊瑚礁；(3)未達 30% 者則顯現衰退的狀態(戴及洪 2007, Wilkinson 2008)。

珊瑚種類和豐富度的調查，係沿著橫截線記錄兩側各 5 m 範圍，亦即 500 m² 內出現的珊瑚種類和豐富度。由於珊瑚礁是三度空間立體結構，珊瑚物種生長形態可以反映其在珊瑚礁生態系的角色、生活史特徵及對擾動的反應等。根據此概念，Edinger and Risk (2000)提出 r-K-S 分類方式，將珊瑚物種依據其形態特徵分為 r 物種(以大量生殖投資為策略者，例如軸孔珊瑚 *Acropora* spp.)、K 物種(以生長或競爭為策略者，例如分枝狀或葉片狀珊瑚，但不包含軸孔珊瑚)、S 物種(耐受環境壓迫者，例如

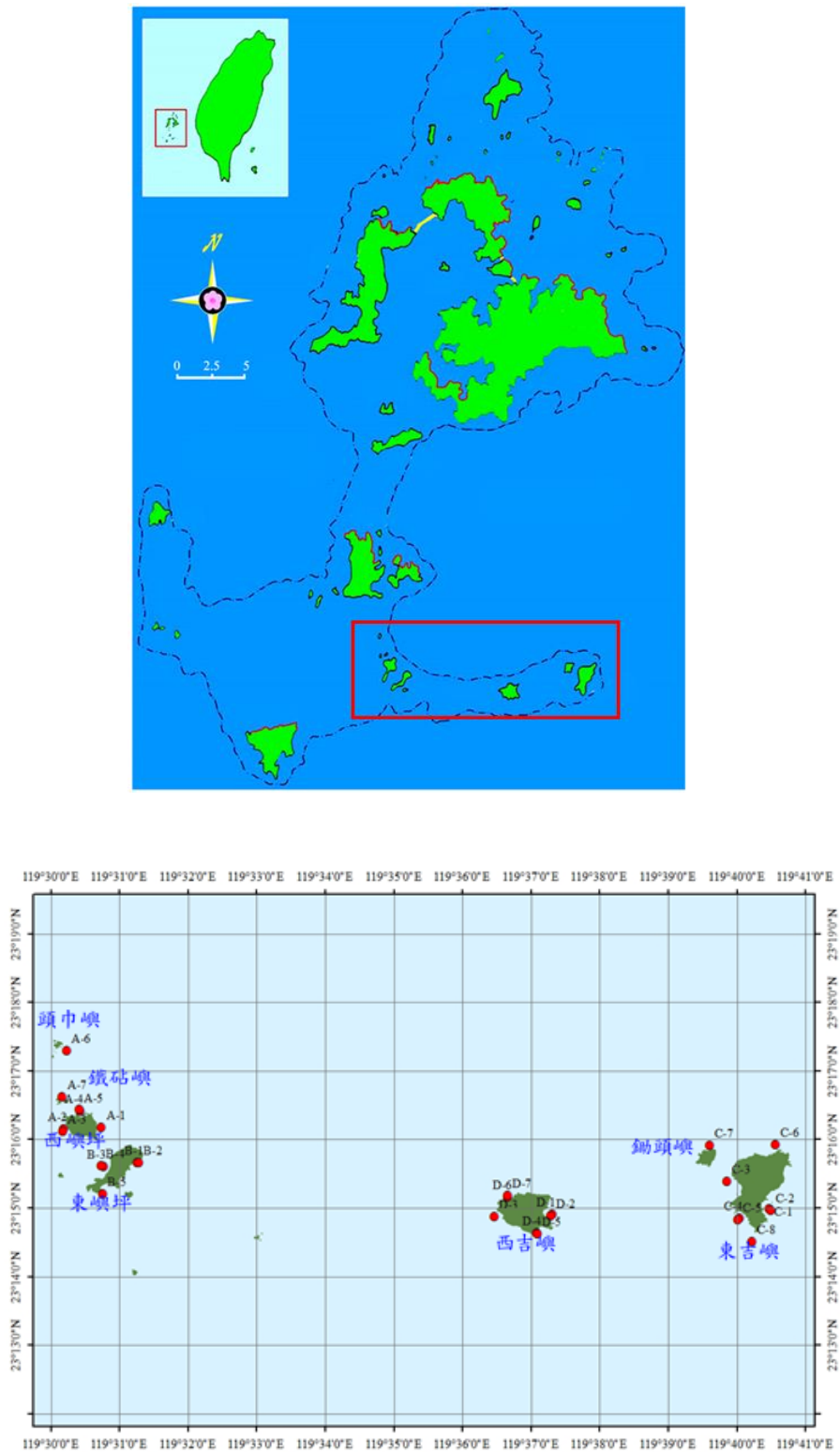


圖 1. 澎湖南方四島國家公園位置圖(上圖)與各島嶼測站分布圖(下圖)。測線代號及座標如表 1 所示。

表 1. 澎湖南方四島東嶼坪、西嶼坪、東吉嶼、西吉嶼周邊海域之生物相調查測站資料，包含經緯度(WGS84 座標)、水深及調查日期

測站名稱	測線代號	緯度(N)	經度(E)	調查日期	深度(m)
西嶼坪東側	A-1	23°16.180'	119°30.734'	20180717	6.2~7.7
西嶼坪南側	A-2	23°16.149'	119°30.178'	20180508	4.0~4.5
西嶼坪南側	A-3	23°16.124'	119°30.168'	20180508	4.5~5.0
西嶼坪北側	A-4	23°16.415'	119°30.420'	20180507	7.0~8.0
西嶼坪北側	A-5	23°16.440'	119°30.410'	20180507	8.0~9.0
頭巾嶼南側	A-6	23°17.295'	119°30.223'	20180716	10.8~11.5
鐵砧嶼北側	A-7	23°16.626'	119°30.162'	20180716	9.7~9.9
東嶼坪東側	B-1	23°15.662'	119°31.252'	20180508	5.0~10.5
東嶼坪東側	B-2	23°15.662'	119°31.282'	20180508	10.5~12.5
東嶼坪西側	B-3	23°15.606'	119°30.760'	20180506	3.0~3.0
東嶼坪西側	B-4	23°15.616'	119°30.733'	20180506	3.0~4.0
東嶼坪南側	B-5	23°15.207'	119°30.754'	20180715	4.2~5.2
東吉嶼東側	C-1	23°14.993'	119°40.480'	20180505	5.4~8.1
東吉嶼東側	C-2	23°14.969'	119°40.495'	20180505	8.2~11.6
東吉嶼西側	C-3	23°15.384'	119°39.860'	20180714	8.6~9.3
東吉嶼西南側	C-4	23°14.849'	119°40.037'	20180505	6.5~8.0
東吉嶼西南側	C-5	23°14.832'	119°40.015'	20180505	8.0~8.9
東吉嶼北側	C-6	23°15.927'	119°40.569'	20180718	15.3~16.1
鋤頭嶼北側	C-7	23°15.917'	119°39.607'	20180715	5.5~7.0
東吉嶼南側外海	C-8	23°14.510'	119°40.219'	20180717	13.7~15.5
西吉嶼東側	D-1	23°14.910'	119°37.309'	20180714	8.7~11.3
西吉嶼東側	D-2	23°14.889'	119°37.290'	20180714	7.6~8.7
西吉嶼西側	D-3	23°14.878'	119°36.461'	20180718	8.4~9.0
西吉嶼南側	D-4	23°14.630'	119°37.088'	20180507	6.0~6.0
西吉嶼南側	D-5	23°14.627'	119°37.093'	20180507	10.0~10.0
西吉嶼北側	D-6	23°15.155'	119°36.659'	20180506	5.3~8.0
西吉嶼北側	D-7	23°15.182'	119°36.659'	20180506	8.2~9.1

菊珊瑚科及微孔珊瑚科等團塊形珊瑚)等功能群；並依據此三功能群在珊瑚群聚中所佔的比例，代表該珊瑚群聚的健康狀態，以及判定該珊瑚群聚的保育價值。若各功能群維持相近比例，表示為功能大致均衡的群聚，即為較健全的珊瑚群聚，也是保育價值較高的群聚(第四類群)；若屬於以 *r* 物種為優勢的群聚，則代表造礁功能較強，但較易受干擾影響而不穩定的群聚(第三類群)；若屬於以 *K* 物種為優勢的群聚，則代表該珊瑚群聚的珊瑚覆蓋率較高、物種多樣性較低(第二類群)；若屬於以 *S* 物種為優勢的群聚，則代表該珊瑚群聚承受較大的環境壓力(第一類群)，珊瑚覆蓋率及物種多樣性皆較低的群聚。在同一調查範圍內也進行幼體珊瑚(直徑 <5 cm)的種類及數量調查。所得結果均以測站表示，如果同測站有 2 條橫截線，合併調查結果。此外，觀察記錄各測站珊瑚礁

型態與珊瑚礁遭受破壞情形，包括珊瑚大量白化或死亡、棘冠海星攝食、珊瑚疾病等現象。

大型底棲無脊椎動物生物相調查利用同一條橫截線，調查及記錄線兩側左右各 2m 範圍內出現的物種，每條測線的調查面積為 200 m²，並計數這些物種的豐富度。

2. 珊瑚礁魚類調查方法

使用橫截線潛水觀測法，每次 2~3 人於每個測站設立共同測線周圍，調查記錄測線範圍內出現的魚種、體長及數量。另外，配合攝影記錄方式，使魚類相資料更完整。由於本計畫的測站分為固定測站及不固定測站，2 者的測線數目不等。相較於固著的珊瑚，移動慢的無脊椎動物，魚類具有較高的游動能力，並會受到潛水人員影響而四處閃躲。因此在固定測站分為 2 條測線分別進行調查，魚種組成會

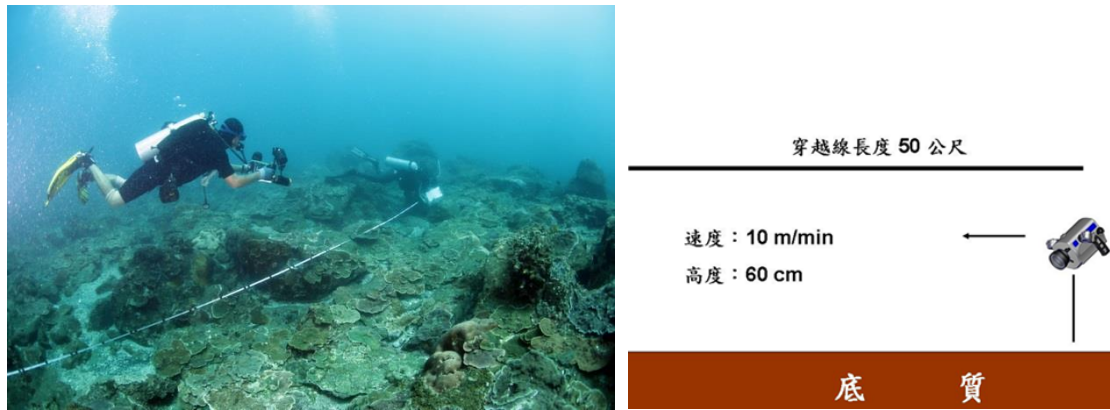


圖 2. 水底錄影機錄影橫截線調查方法操作示意圖與現況

表 2. 歷年調查珊瑚科、屬、種的比較

石珊瑚	年	科	屬	種
	2018	10	38	140
	2015	11	36	133
	2013	10	34	105
	2011	10	33	118
	2009	10	35	133
八放珊瑚	2018	5	16	69
	2015	5	13	25
	2013	3	8	16
	2011	-	-	-
	2009	2	7	19
水螅珊瑚	2018	-	-	-
	2015	2	2	2
	2013	1	1	1
	2011	1	1	1
	2009	1	1	2

過於相似而意義不大。為使各測站的魚類群聚資料定量化，於固定測站調查的範圍設定為測線長度 50 m x 2 條 x 寬度 10 m(左右各 5 m)，調查面積為 1,000 m²；不固定測站調查的範圍設定為測線長度 50 m x 1 條 x 寬度 20 m(左右各 10 m)，調查面積同樣為 1,000 m²。所有測站均由同一人進行記錄，以減少魚類記錄者對魚種、體長、數量估算等資料認定所產生的差異。在固定測站(2 條調查線)會先將兩筆結果加總合併為單一測站資料，方便進行各測站間比較。根據魚類調查方法質量控制研究(Quality control survey)，在同一區域內，調查時間與所記錄的魚種數會呈現正線性迴歸，亦即調查時間越長，記錄到的魚種可能越多，因

此本項魚類調查盡量固定單次調查時間(約 65 min)，也是維持定量化的一種方式。

三、分析方法

將測線/測站的物種豐度資料匯入 PRIMER 6.0 套裝軟體，數據分析前先經二次方根之前處理，避免優勢種過度主導分析結果。以 Bray-Curtis 相似性指數計算出不同物種之相似性三角矩陣，以此畫出非計量多向度量尺法(Non-metric Multi-dimensional scaling, MDS)分析圖來瞭解各測線/測站群聚結構的相似度。非計量多向度量尺法將多維變量的空間分布資訊經過投影的方式降低維度，使之成為能夠辨識的資訊，藉此瞭解對物種群聚結構之狀

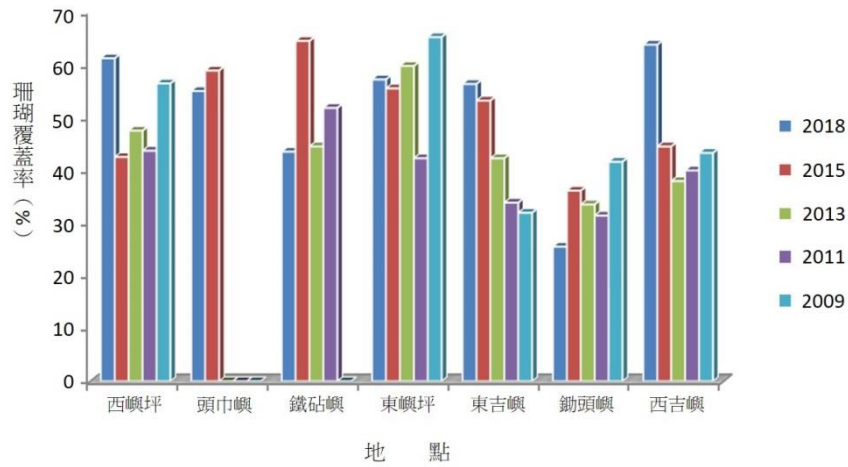


圖 3. 澎湖南方四島歷年平均珊瑚覆蓋率之變化

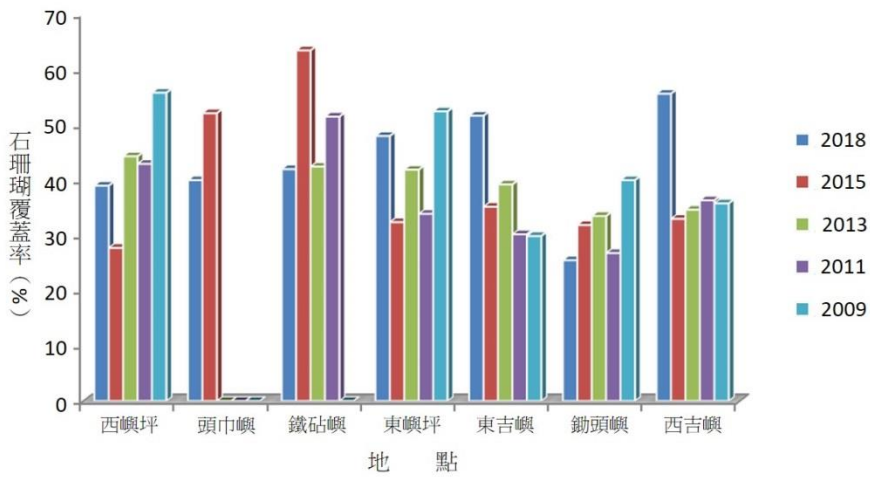


圖 4. 澎湖南方四島歷年平均石珊瑚覆蓋率之變化

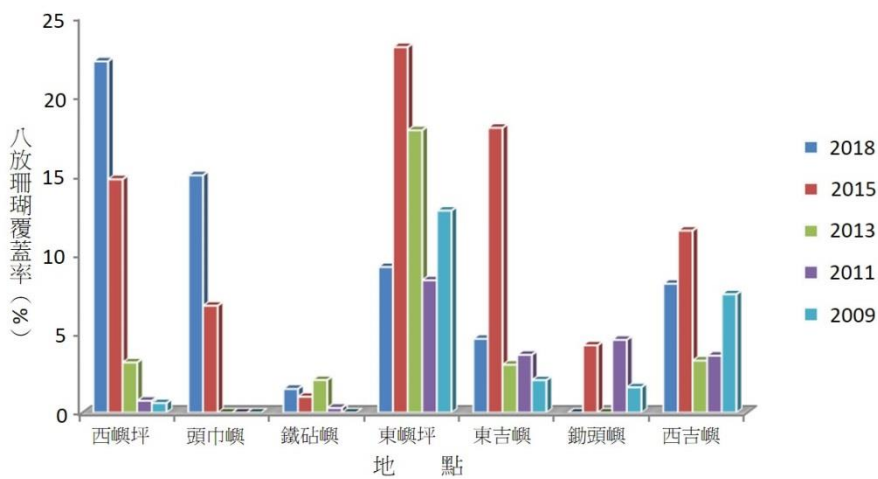


圖 5. 澎湖南方四島歷年平均八放珊瑚覆蓋率之變化

態。

結果與討論

一、珊瑚群聚調查現況與比較：

澎湖南方四島國家公園內的西嶼坪、頭巾嶼、鐵砧嶼、東嶼坪、東吉嶼、鋤頭嶼、西吉嶼等周邊海域共 17 個測站的潛水調查，總共記錄 15 科 54 屬 209 種珊瑚種類(石珊瑚類 10 科 38 屬 140 種、八放珊瑚類 5 科 16 屬 69 種)，各測站的珊瑚物種數則在 82~154 種之間，顯示澎湖南方四島的珊瑚物種多樣性相當高。以歷年石珊瑚的總物種數來看(表 2)，2009 年共紀錄 10 科 35 屬 133 種的石珊瑚(鄭明修等 2009)；2011 年共紀錄 10 科 33 屬 118 種的石珊瑚(蔡萬生等 2011)；2013 年共紀錄 10 科 34 屬 105 種的石珊瑚(張至維等 2013)；2015 年共紀錄 11 科 36 屬 133 種的石珊瑚(朱雲璋、邱郁文 2015)，與今年的調查結果差異不大，石珊瑚物種數略有增加。若與臺灣南部墾丁、綠島、蘭嶼、東沙等海域的石珊瑚物種數比較(Dai and Horng, 2009a, b, 戴昌鳳等 2013)，則明顯較少，屬於亞熱帶珊瑚群聚。

此外，在臺灣東部沿岸珊瑚礁區及南部墾丁海域常見的尖枝列孔珊瑚(*Seriatopora hystrix*)、藍珊瑚(*Heliopora coerulea*)及笙珊瑚(*Tubipora musica*) (戴昌鳳等 2004)，在此海域皆未發現；僅在西嶼坪(A-2&A-3)及西吉嶼(D-4&D-5)發現極少數的鈍枝列孔珊瑚(*S. caliendrum*)，這些物種組成的差異顯示澎湖南方海域的珊瑚群聚與臺灣本島者有些不同，可能與不同海流系統的影響有關。至於八放珊瑚的物種多樣性，Benayahu *et al.* (2012) 共紀錄 34 種軟珊瑚科(Alcyoniidae)物種，本調查在此基礎及根據東沙環礁八放珊瑚調查的經驗(戴昌鳳、秦啟翔 2017)，初步鑑定八放珊瑚類有 5 科 16 屬 69 種。由於澎湖南方四島的軟珊瑚覆蓋率相當高，而且不同物種的形態趨同現象很普遍，因此目前所知的八放珊瑚物種數可能是低估的，尚待更多研究以增進對澎湖南方四

島海域八放珊瑚物種多樣性的了解。

基於國際珊瑚礁總體檢(ReefCheck)建議的評估標準此標準，本次調查共 26 條測線中(表 1，其中 C-8 測線未進行)，有 18 條測線達健康的珊瑚礁群聚、7 條測線為受壓迫的珊瑚礁群聚、1 條測線屬於衰退或不佳狀態。若以島為單位來看，西嶼坪、東嶼坪、東吉嶼、西吉嶼和頭巾嶼(珊瑚覆蓋率分別為 61.2%、57.2%、56.3%、63.8%、55.0%) 都屬於健康的珊瑚群聚；鐵砧嶼(珊瑚覆蓋率為 43.5%)屬於略受環境壓迫狀態；鋤頭嶼(珊瑚覆蓋率為 25.5%)屬於狀況不佳的珊瑚群聚，因為測站位於北岸，可能是長期受東北季風波浪影響所致。

澎湖南方四島 26 條測線的珊瑚覆蓋率介於 25.5%~94.0% 之間(石珊瑚覆蓋率 12.0%~93.5%、八放珊瑚覆蓋率 0~53.0%之間)，不同測線間的珊瑚覆蓋率差異很大。若與歷年(2009、2011、2013 及 2015)的平均珊瑚覆蓋率比較(圖 3、4、5)，並沒有一致性的變動趨勢；此現象與調查人員、調查地點的差異及珊瑚群聚的空間異質性，都可能有關。由於澎湖南方四島及周邊島嶼受到海底地形和環境因子差異的影響，使得各類珊瑚的空間分布極不平均。因此各測站測線的佈放位置和方向的些微差異，都可能導致調查結果有所差異。

整體而言，澎湖南方四島的珊瑚群聚的珊瑚覆蓋率相當高，物種多樣性則低於熱帶海域珊瑚礁，而且常呈現少數種或單種優勢的群集，佔據大片礁區，常見的群集有：(1)分枝形軸孔珊瑚群集，以美麗軸孔珊瑚(*Acropora mucicata*)為主；(2)桌面形軸孔珊瑚群集，以桌形軸孔珊瑚(*A. hyacinthus*)及板葉軸孔珊瑚(*A. glauca*)為主；(3)葉片形珊瑚群集，以瘦葉表孔珊瑚(*Montipora aequituberculata*)、葉形表孔珊瑚(*M. foliosa*)或片形棘孔珊瑚(*Echinopora lamellosa*)為主；(4)軟珊瑚群集，以指形軟珊瑚(*Sinularia* spp.)、肉質軟珊瑚(*Sarcophyton* spp.)或小枝軟珊瑚(*Cladiella* spp.)為主。這些群集通常呈區塊分布，直徑往往超過數十 m，形成珊瑚綿延、

密集或層疊分布的樣貌，構成優美的海底景觀，而被潛水人員暱稱為「薰衣草森林」或「玫瑰花園」(如圖 6)。這種少數物種優勢群集是亞熱帶珊瑚礁常見的現象(Perry and Larcombe 2003, 戴昌鳳 2011, Hsieh *et al.* 2016)，主要原因可能與季節性的低溫和風浪影響有關，由於珊瑚呈區塊狀分布，珊瑚礁發育也呈現相似狀態，通常只在造礁珊瑚密集分布的地點形成，在珊瑚覆蓋率較低的地點則不形成珊瑚礁。

二、珊瑚群聚組成分布

澎湖南方四島及周圍島嶼海域 17 個測站珊瑚群聚物種組成的非計量多向度量尺法(nMDS)分析結果顯示(圖 7)，大致可分為三群：(1)西吉嶼 D-3 測線的珊瑚覆蓋率是所有測線中，覆蓋率最高的一站，幾乎被葉片形的瘦葉表孔珊瑚覆蓋，面積達 93.5% (如圖 8)，屬於單種群集，相對降低物種的多樣性，僅紀錄 82 種珊瑚；(2)西嶼坪 A-2&A-3 及東嶼坪 B-5 測站，都屬於軟珊瑚覆蓋率高於石珊瑚的群聚；(3)其餘大部分測站的物種組成相似度達 70% 以上，顯示珊瑚種類的分布相當均質。可能是因為四座島嶼的距離近，處於相似緯度，海洋環境特徵相似所致。

調查過程中，在各島海域都可發現有部分測站底質被瘤砂葵佔據大片面積的現象，包括：頭巾嶼 A-6 (6.0%)、鐵砧嶼 A-7 (11.0%)、東嶼坪 B-5 (20.0%)、東吉嶼 C-2 (7.0%)、C-3 (16.5%)、鋤頭嶼 C-7 (25%)、西吉嶼 D-7 (7.0%)。由於瘤砂葵會與珊瑚競爭底棲生存空間，常利用無性分裂快速增殖，具有很強的化感作用(allelopathy)及觸手攻擊性，它的大量增殖會威脅珊瑚生長，甚至造成珊瑚礁群聚的相變(phase shift)；這種現象在東亞及南亞部分珊瑚礁區、夏威夷、紅海、馬來西亞和臺灣海域都曾發生(Tkachenko *et al.* 2007, Wilkinson 2008, Work *et al.* 2008)，不僅對珊瑚礁生態系功能造成重大影響，也會導致珊瑚礁魚類及底棲動物群聚的變遷(Cruz *et al.* 2015)，因此，瘤砂葵的蔓延現象值得注意，建議持續追蹤，並針對

其族群變動的因子進行研究。

三、珊瑚群聚的功能群分析

本次的調查結果顯示，幾乎所有測站的珊瑚物種組成屬於功能群相當均衡、健全的珊瑚群聚(第四類群)，也是保育價值較高的群聚(圖 9)。僅有西吉嶼西側 D-3 測站，以葉片形的瘦葉表孔珊瑚為優勢物種，覆蓋率非常高(被潛水人員暱稱為「玫瑰花園」)，屬於 K 物種的功能群(第二類群)。由於澎湖南方四島及周邊島嶼海域珊瑚的空間分布極不平均，調查線的佈放位置和方向的差異，都可能影響各測站珊瑚功能群的分析結果。但大致上，澎湖南方四島及周邊島嶼海域都適合珊瑚生長，珊瑚物種的多樣性相當高，珊瑚群聚的生態功能相當健全。

四、大型無脊椎動物物種與群聚組成現況

澎湖南方四島及周圍島嶼海域 26 條測線(表 1，其中 C-8 測線未進行)的大型無脊椎動物群聚調查，共記錄到 7 門 66 科 113 種大型無脊椎動物，數量最多的是刺絲胞動物門的瘤砂葵(*Palythoa tuberculosa*)，每條測線都有記錄到；其次是菟葵(*Zoanthus* spp.)，也是刺絲胞動物門的物種。各測線記錄到的大型無脊椎動物物種數為 11~32 種，東嶼坪 B-3 與東吉嶼 C-1 測線所記錄到種類僅 11 種最少，鐵砧嶼 A-7 測線記錄到 32 種為最多。在珊瑚覆蓋率高的測站，能提供許多躲藏空間，理論上應有較多無脊椎動物種類，但因目視觀察時易受珊瑚骨骼阻擋，因此這些測站的物種數很可能被低估。

大型無脊椎動物群聚的非計量多向度量尺法(nMDS)分析顯示(圖 10)，大致上可分為二群，鐵砧嶼 A-7、頭巾嶼 A-6、鋤頭嶼 C-7 及另外 5 條測線為一群，其相似度較高(65%)，其他測線成另外鬆散的一群，其相似度並不高。從大型無脊椎動物的集群分析結果來看，其分布與地理位置、珊瑚覆蓋率、珊瑚的種類等因素並無密切的關係，僅有部分同島嶼的測線相



圖 6. 軸孔珊瑚層疊分布，被潛水人員暱稱為「薰衣草森林」或「玫瑰花園」

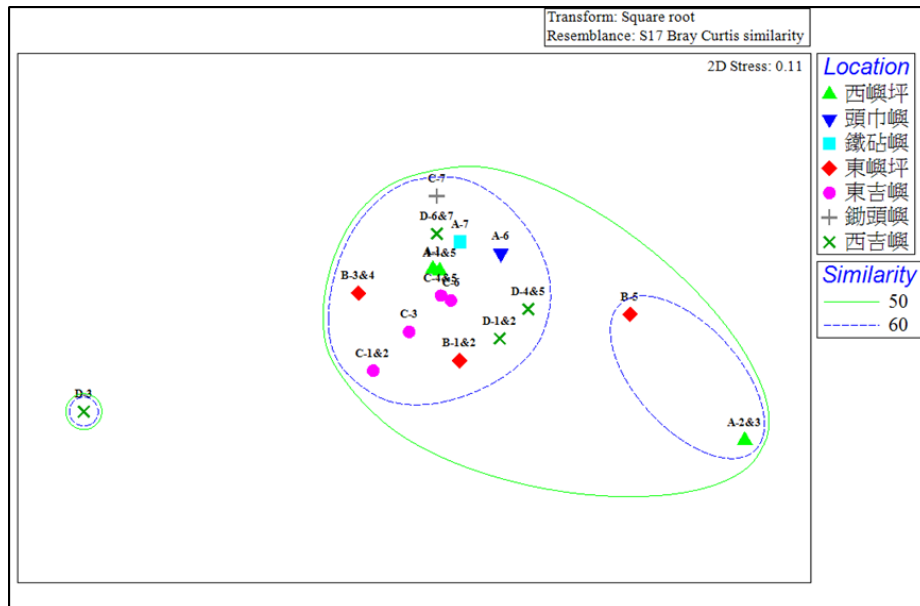


圖 7. 澎湖南方四島國家公園海域 17 個測站珊瑚群聚 nMDS 分析結果



圖 8. 西吉嶼周邊的葉片形瘦葉表孔珊瑚生長繁茂，珊瑚覆蓋率達 93.5%

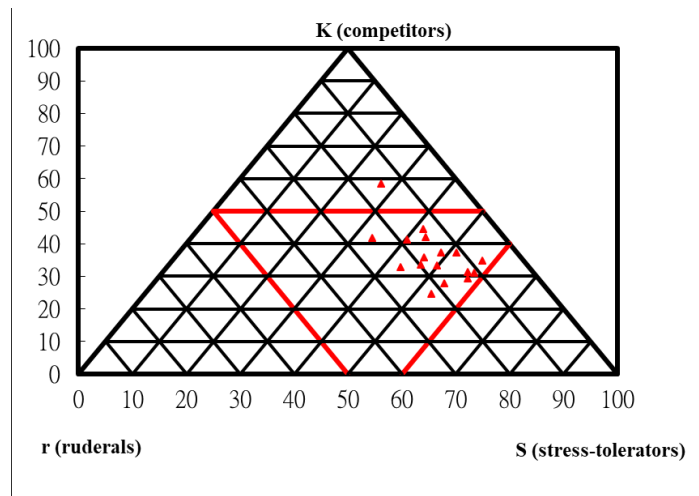


圖 9. 澎湖南方四島國家公園海域在 17 個測站珊瑚群聚的生態功能群分析圖(紅色區域為功能大致均衡的群聚，即為較健全的珊瑚群聚，也是保育價值較高的群聚。紅點代表每個測站的珊瑚群聚的生態功能群)

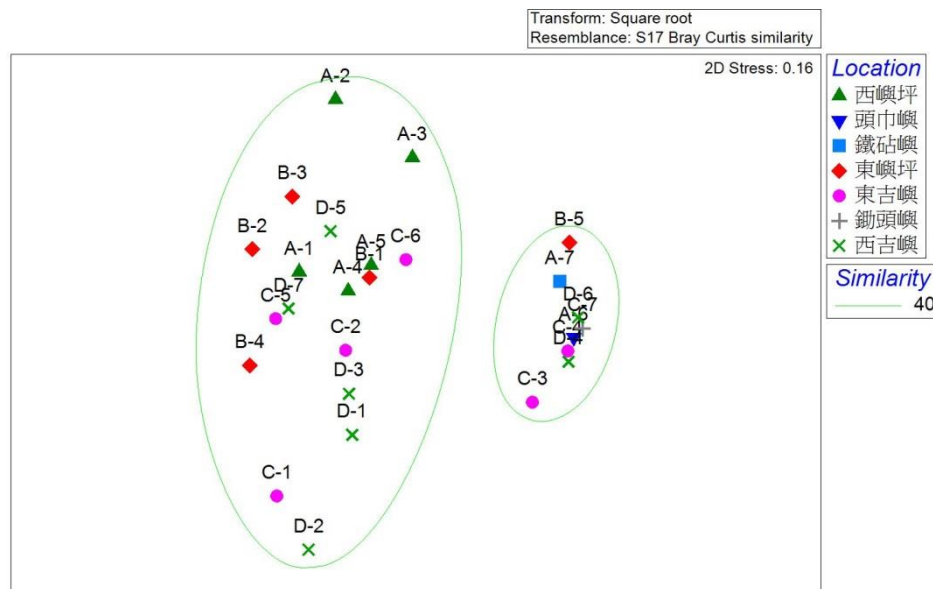


圖 10. 澎湖南方四島國家公園海域 26 條測線大型無脊椎動物群聚 nMDS 分析結果

似性較高，並不如珊瑚群聚調查所顯示的均質與高相似度。

在不同年度進行的大型無脊椎動物的調查中，2009 年的記錄到 49 科 110 種(僅記錄軟體、甲殼、棘皮三個動物門)；2013 年的調查記錄到 50 科 86 種(累積 73 科 157 種)；2015 年調查增加較多的動物門，共記錄到 9 門 145 種；2017 年的調查記錄到 77 科 179 種；本年度記錄到 66 科 113 種，雖然較過去的物種數少，記錄時侷限在樣區內，在樣區外仍可發現

其他的物種，另外調查時間的不同也會有差異，以軟體動物的海蛞蝓為例，會有明顯的生殖聚集容易發現，不同時間的調查會有很大差異，綜觀而言，在大型無脊椎動物在不同年度的調查中並沒有顯著差異。

五、珊瑚礁魚類群聚現況及組成分布

澎湖南方四島海域共完成 18 個測站的魚類群聚調查。共記錄到 40 科 125 屬 303 種 22,125 尾魚類，魚類群聚豐度為 0.54~1.79

ind./m²。以魚種來看，隆頭魚科(Labridae)的種類最多，共記錄到 63 種；其次為雀鯛科(Pomacentridae)及蝴蝶魚科(Chaetodontidae)，各記錄到 36 種及 27 種；再其次為鸚哥魚科(Scaridae)、鮨科(Serranidae)及刺尾鯛科(Acanthuridae)，各記錄到 18 種、17 種及 16 種。合計共 177 種，佔總魚種數的 58.4%。

以數量來看，前 10 名以霓虹雀鯛(*Pomacentrus coelestis*)族群量最高，為最優勢種，佔總量的 23.4%。其次為雙帶鱗鰭烏尾鮨(*Pterocaesio digramma*, 10.4%)、魏氏光鰓雀鯛(*Chromis weberi*, 7.9%)、雙斑光鰓雀鯛(*Chromis margaritifer*, 4.3%)、鈍頭錦魚(*Thalassoma amblycephalum*, 3.8%)、絲鰭擬花鮨(*Pseudanthias squamipinnis*, 3.2%)、縱帶彎線鰨(*Helcogramma striata*, 2.3%)、條紋豆娘魚(*Abudefduf vaigiensis*, 2.1%)、藍黑新雀鯛(*Neopomacentrus cyanomos*, 1.6%)及黑尾凹尾塘鱧(*Ptereleotris evides*, 1.5%)。以出現頻率而言，在 18 次調查中出現 14 次以上的有 36 種，佔全部魚種的 11.9%，其中包含了數種上述數量較多的魚種，以及在各測站均有出現的雙帶眶棘鱸(*Scolopsis bilineata*)、多帶海緋鯉(*Parupeneus multifasciatus*)、耳帶蝴蝶魚(*Chaetodon auripes*)、黑腕海豬魚(*Halichoeres melanochir*)、裂唇魚(*Labroides dimidiatus*)、胸斑錦魚(*Thalassoma lutescens*)、紅紫鸚哥魚(*Scarus rubroviolaceus*)等。上述數量較多與出現頻率較高的魚種，均為本海域的常見性魚種。

各測站記錄到的魚種數在 67~110 種，其中以西嶼坪 A-4&A-5(110 種)、東吉嶼 C-1&C-2(110 種)的魚種最多，而以西嶼坪 A-2&A-3(67 種)、東嶼坪 B-5(76 種)的魚種較少。魚種數在 90 種以上的測站有 12 個，在 80 種以上有 4 個，顯示澎湖南方四島海域多數測站的魚種類相當豐富。各測站的多樣性指數(H')在 2.36~3.8 之間，其中超過 3 以上有 10 個測站，大部分的測站均呈現珊瑚礁魚類群聚的多樣化特性。其中有 5 個測站位於東吉嶼周

邊，有 3 個位於西吉嶼周邊。此外，東吉嶼與西吉嶼各測站合併的魚種數為 258 種，東嶼坪與西嶼坪各測站合併的魚種數為 204 種，顯示澎湖南方四島東側海域的魚類多樣性優於西側海域。

魚類群聚的非計量多向度量尺法(nMDS)分析顯示(圖 11)，東吉嶼 C-8 測站與其他測站的魚類群聚相似性低於 40%。而根據 50% 相似度的集群分析結果，可以區分為五大群，每個分群中都包含多個島嶼的測站。各測站間最短距離僅 0.5~1.6 km，遠低於南方四島彼此相距 0.7~9.0 km。分析結果無法單以距離遠近區分彼此的相似性，顯示影響魚類群聚的因子與單純地理位置並無明顯關聯。

相較於澎湖其他海域，澎湖南方四島海域中較大體型魚類(全長 25cm 以上)相當豐富。包括鯨科、鮨科、鰻科、笛鯛科、烏尾鮨科、石鱸科、龍占魚科、鬚鯛科、鸚哥魚科、刺尾鯛科等等，共計 79 種。各測站均有記錄到大型魚類，種數在 2~25 種之間，其中以東吉嶼 C-4&C-5 測站最多，其次為鋤頭嶼 C-7(20 種)、東吉嶼 C-3(18 種)；相對而言，西嶼坪 A-2&A-3 測站僅記錄到 2 種大型魚類，東嶼坪 B-1&B-2(5 種)與西嶼坪 A-1(6 種)也不豐富。較大體型魚類大多是漁獲的主要目標，其種類及數量可以反應當地魚類的豐富狀況，也與保育(限漁)息息相關。整體來看，澎湖南方四島海域的魚類資源以東側優於西側海域。

六、珊瑚礁魚類群聚的年度變化

歷年調查中，魚類群聚資料較完整的年度報告有：鄭明修等(2009)、蔡萬生等(2011)、張至維等(2013)、朱雲璋等(2015)、陳義雄等(2017 年)，各報告的主要測站位置大多依循 2009 年的資料，並略有增減。為便於比較，僅使用西嶼坪、東嶼坪、東吉嶼、西吉嶼等 4 個大島周邊的測站，並以此區分，與 2018 年的資料進行比較。

由 2009 至 2018 年累積記錄到 60 科 198 屬 540 種魚類，其中本年度新增 33 種過去未

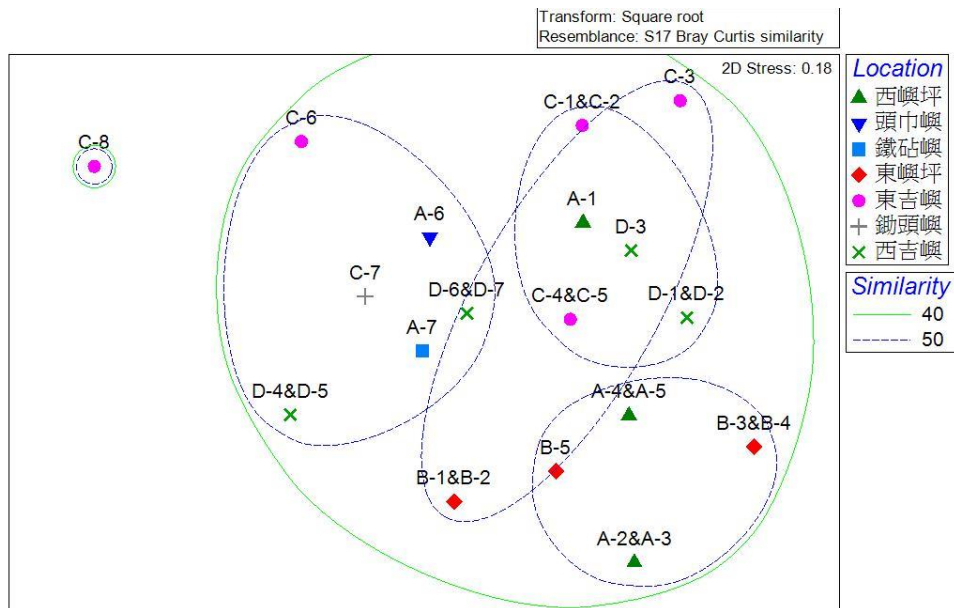


圖 11. 澎湖南方四島國家公園海域 18 個測站魚類群聚 nMDS 分析結果

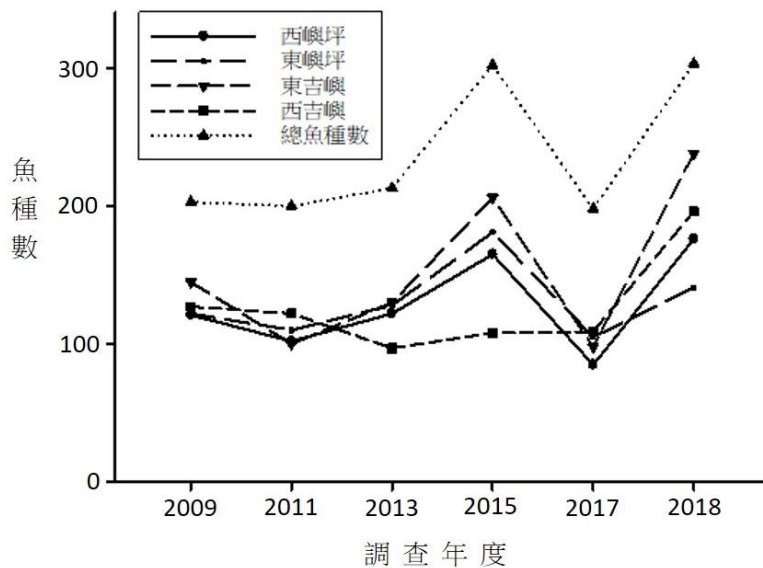


圖 12. 不同年度總魚種數的變化圖(資料以西嶼坪、東嶼坪、東吉嶼、西吉嶼及年度總魚種數顯示)

記錄魚種，包含新增 1 科魚類(Myliobatidae 鱈科)。這些魚種僅使用潛水觀察或是漁業採集所記錄，並未計入魚卵或仔稚魚鑑定所得。

由各研究中總魚種數來看(圖 12)，2009~2013 年的總魚種數大致持平，而在 2016 年之後有明顯增加，並持續到 2018 年。2008 年發生澎湖百年來最嚴重的寒害，造成澎湖本島周邊大量魚類死亡，對當地漁業與生態資源產生嚴重的衝擊。當時的調查結果顯示，澎湖

南方四島周邊海域的水深與環境特性，對當地物種有一定程度的保護作用，魚類資源的減少較其他海域輕微。雖然在寒害之後數年，總魚種數並無明顯增加，但在 2014 年澎湖南方四島國家公園成立之後，隔年魚種即有明顯增加，並持續到 2018 年，顯見在加強棲地保育的措施下，對魚類資源復育的助益相當明顯。若以 4 個大島分開來看，東嶼坪、西嶼坪及東吉島都呈現相同的趨勢變化，而西吉島雖然在 2015

年並未同步呈現上揚，但在 2018 年調查結果中總魚種數仍有明顯增加。

以每個測站所記錄到的魚種數來看，西嶼坪、東吉嶼均呈現逐年上升的趨勢。東嶼坪與西吉嶼在前 4 個年度呈現起伏，不過在 2018 年都呈現增加。單一測站的魚種數容易受到調查範圍及時間的影響。由過去的報告中，在 2009 和 2013 年的調查範圍為 1,000 m²(50*20m)，2011、2015 和 2017 年的調查範圍則只有 500 m²(50*10m)。各次的調查時間則隨著測站深度及海流狀況而有差異。調查範圍越大，所涵蓋的棲地環境可能越複雜，魚種也會越多樣。此外，由於魚類的游動能力強，也容易受到潛水調查人員的干擾，延長調查時間，將可能記錄到之前躲避而遠離測站範圍或是較隱蔽性的魚種。綜合所有資料來看，澎湖南方四島海域單一棲地中的魚種呈現逐年豐富，朝向珊瑚礁生態系多樣化的正面方向發展，顯示澎湖南方四島國家公園的設立，在有效保育與禁漁的措施下，對各種棲地中的魚類資源已經產生相當明顯的幫助。

建議

一、由物種現況資料探討保育及開放措施

本研究的調查結果顯示，幾乎所有測線的珊瑚物種組成屬於功能群相當均衡而健全的珊瑚群聚(第四類群)，也是保育價值較高的群聚，僅有部分測站葉片形的瘦葉表孔珊瑚為優勢物種，覆蓋率非常高，屬於 K 物種的功能群(第二類群)。整體而言，澎湖南方四島及周邊島嶼海域適合珊瑚生長，珊瑚物種的多樣性相當高，珊瑚群聚的生態功能健全且保育價值較高的區域

依據魚類群聚資料中各魚種受威脅的等級，探討保護機制的設立及保護的強度。在國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄(或稱 IUCN 紅色名錄，簡稱紅皮書)2006 年的分類中，對照本年度的調查結果，在澎湖南方四島海域大部分的魚種都是屬於低威脅風險的

(Lower Risk)，其中近危(NT, Near Threatened)有 4 種，無危(LC, Least Concern)有 190 種，數據缺乏(DD, Data Deficient)有 7 種，未評估(NE, Not Evaluated)則有 98 種，合計佔總魚種數的 99.0%。受威脅魚種中列名易危(VU, Vulnerable)等級的有 2 種，分別是駝背鱸(*Cromileptes altivelis*)及藍點刺鰓鮨(*Plectropomus areolatus*)，而赤點石斑魚(*Epinephelus akaara*)則在瀕危(EN, Endangered)等級，並未記錄到極危魚種(CR, Critically Endangered)。上述 3 個魚種在本海域多個測站均有記錄到，體現國家公園這些年來的保育價值。參酌歷年來調查的魚種記錄，其中易危等級還有 3 種，分別是邁氏擬條尾魷(*Taeniurops meyeri*)、橫斑刺鰓鮨(*Plectropomus laevis*)及大目魷(*Thunnus obesus*)。此外，澎湖南方四島海域曾經記錄到瀕危等級的曲紋唇魚(*Cheilinus undulatus*)，此也是農委會列名保育類生物。建議未來針對曾出現上述 7 種受威脅魚種的測站進行加強保育，特別是針對 2 種瀕危魚種的棲地，例如東吉嶼南側外海海域(N23°14.510~462', E119°40.219~435')、東吉嶼北側海域(N23°15.927', E119°40.569')、東西吉嶼湧升區中央(N23°15.237', E119°38.932')，嚴格限制漁業活動。

二、國家公園海域分區規劃調整建議

全球成功的海洋保護區大致有五個重要因素：禁漁、強力執法、時間夠久、面積夠大、棲地隔離(Lester *et al.* 2009, Edgar *et al.* 2014)。據此探討目前澎湖南方四島國家公園的分區規劃，並提出建議分區的調整，以符合成功保護區的特徵，配合目前生態調查資料與現有的規劃，期望達到資源永續利用的目標。

目前澎湖南方四島國家公園海域面積 35,473.33 公頃，依照分區劃設原則分為四區，分別是海域生態保護區、海域特別景觀區、海域遊憩區及海域一般管制區(圖 13)。以下依照各區劃設目的、範圍及使用規定進行分區調整建議。

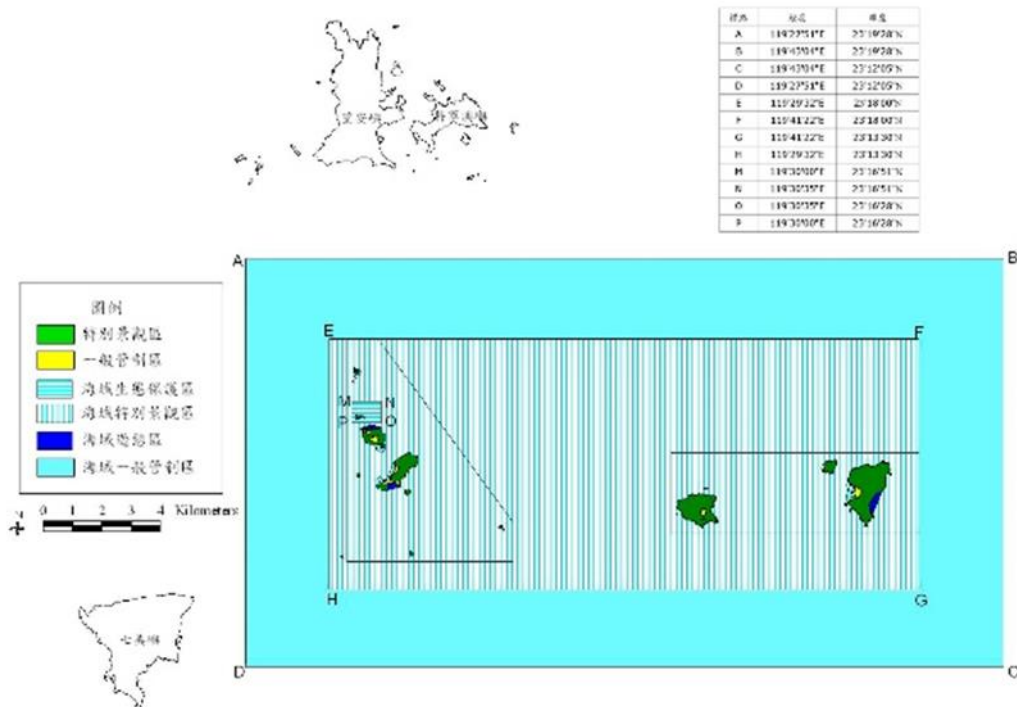


圖 13. 目前澎湖南方四島海洋國家公園的海域分區規劃圖

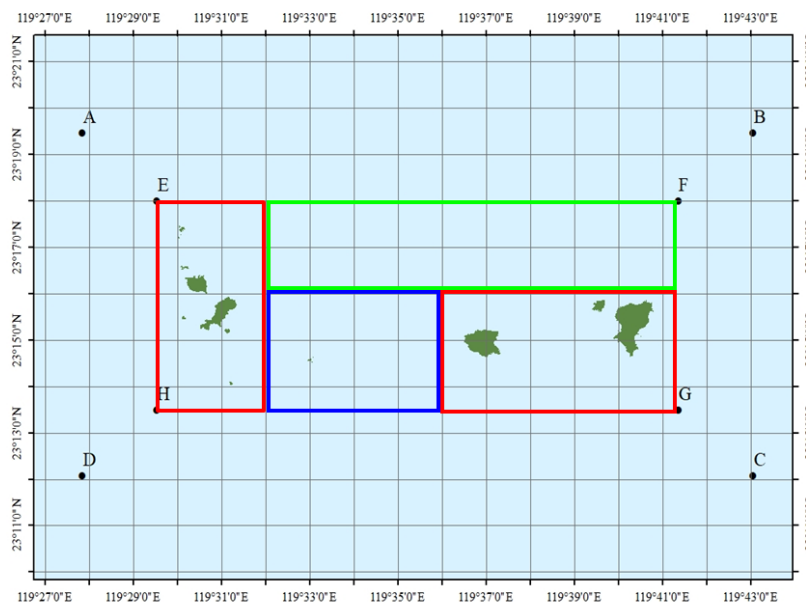


圖 14. 完全禁漁區的短、中、長期規劃建議。EFGH 4 點範圍內為海域特別景觀區，ABCD 4 點範圍內為海域一般管制區

1. 海域生態保護區

海域生態保護區以保護海洋環境及維護生物多樣性目的為主。範圍以鐵砧向北向東 0.5 公里及西嶼坪嶼間海域，M 點(N23°16'51",

E119°30'00")、N 點(N23°16'51", E119°30'35")、O 點 (N23°16'28", E119°30'35")、P 點 (N23°16'28", E119°30'00")4 點之間海域。劃設面積 70.94 公頃，佔國家公園計畫海域面積

0.2%。本區珊瑚礁覆蓋率 45~67%，魚類生態豐富，大型無脊椎動物，如大法螺仍可在本區域發現，建議應該積極保護此海域之生態環境。根據歷年調查結果，鐵砧嶼南側的石珊瑚覆蓋率為 72%，鐵砧嶼西側為 76%，鐵砧嶼東側為 27.1~53.5%，鐵砧嶼北側的石珊瑚覆蓋率為 47.5~57.8%。本計畫僅調查鐵砧嶼北側，石珊瑚覆蓋率為 42.0%，魚類共記錄到 31 科 186 種，各測站記錄到的魚種數在 25~88 種之間。本區海域擁有相當高的石珊瑚覆蓋率，珊瑚群聚也有相當強的再生能力，建議本分區仍維持原規劃或向西與北擴大範圍，保護高珊瑚覆蓋率區域與幼魚定棲或生長場所。

2. 海域特別景觀區

海域特別景觀區以保護珊瑚礁生態與海洋特殊天然景緻為目的。範圍以 E 點(N23°18'00", E119°23'32")、F 點(N23°18'00", E119°41'22")、G 點(N23°13'30", E119°41'22")、H 點(N23°13'30", E119°23'32") 4 點之間海域為主，包含距頭巾、鐘仔及東吉嶼 1 km 以內帶狀海域，距頭巾、鐘仔、豬母礁 200 m 範圍內之海域，距西吉嶼、東吉嶼 200 m 範圍內之海域。劃設面積 16,600.03 公頃，佔國家公園計畫海域面積 46.31%。在經營使用原則上，管理處許可得搭載乘客進入本區域觀賞海洋景觀、生物及生態，或載客進行潛水或浮潛活動，管理處得許可既有傳統之季節洄游性漁業活動，惟公告禁止管制之漁業活動除外。本區海域內澎湖縣政府規劃 3 處禁漁區，包括核心禁漁區、底刺網全年禁漁區及底刺網季節性禁漁區。顯示本區海域仍允許部分漁業活動，無法達到保護區完全禁漁的要求。

澎湖南方四島周邊有豐富的珊瑚、大型無脊椎動物、魚類資源，因此從整個澎湖群島的空間尺度來看，澎湖南方四島海域本身就是一個生態熱點，具有高度保育價值。建議本區以朝向完全禁漁區的方向進行調整。在考量對當地漁民的生計影響，可分為短、中、長期目標，分階段性逐步實行。此外，根據過去劃設保護區，漁業限制性作業區的推廣經驗，劃設

範圍若非垂直或平行的經緯度線，漁民在目視上會有誤差與灰色地帶，而且對海上執法者認定也較不易辨識，因此建議劃設範圍都以垂直或平行線為主。短期目標是將澎湖縣政府規劃，並經國家公園許可的底刺網全年禁漁區，微調範圍界線，再將漁業使用限制提升為完全禁漁區，包含使用一支釣及延繩釣。短期目標區分為二塊紅色框(如圖 14)，涵蓋主要的島嶼面積，這些區域是重要的生態熱區，也是澎湖海域少數的健康珊瑚礁生態系。中期目標為滿足面積夠大的需求，增加藍色框的海域，滿足超過 100 km²的目標。遠期目標再增加綠色框的海域部分，使總面積等同目前海域特別景觀區，略大於澎湖縣政府規劃的底刺網季節禁漁區，使澎湖南方四島國家公園海域特別景觀區成為完全禁漁的保護區。

3. 海域遊憩區

海域遊憩區以提供國民戶外休閒遊憩為目的，並准許興建適當育樂設施及有限度資源利用行為。共有 3 個海域遊憩區，分別是西嶼坪嶼北岸海域、東嶼坪嶼南岸海域及東吉嶼東岸海域。劃設面積共 25.61 公頃，佔國家公園計畫海域面積 0.07%。主要規劃作為發展海洋環境教育與生態旅遊場域。在經營使用原則上，國家公園管理處得依水域環境及資源條件，擬訂適合之水域活動種類、範圍及時間(水域遊憩活動)；經國家公園管理處許可，船舶得搭載乘客進入本區域觀賞海洋景觀、生物及生態；經國家公園管理處許可，得興建水域育樂活動相關設施；除經國家公園管理處之許可外，禁止捕捉、垂釣、採撈及破壞海域動植物資源。建議本分區仍維持原規劃。在使用上，除了潮間帶觀察、浮潛及潛水活動之外，可以導入游泳、獨木舟及休閒磯釣等，以多元化的遊憩活動吸引更多遊客到訪及延長停留時間，增加在地人經濟產值。也要建議輔導澎湖相關海洋遊憩業者自組產業聯盟來進駐澎湖南方四島，配合管理處相關規定，在自主管理與產業永續經營前提下，建立與海洋生態共榮共生的經營方式。

4. 海域一般管制區

海域一般管制區係指國家公園區域內不屬於其他分區之海域，在不違背計畫目標與方針下，准許原有利用型態。共有 5 個區域，分別是：(1) 距頭巾、鐘仔及東吉嶼 2 Nm 及 1 km 間帶狀海域，以 A 點(N23°19'28", E119°27'51")、B 點 (N23°19'28", E119°43'04")、C 點 (N23°12'05", E119°43'04")、D 點(N23°12'05", E119°27'51") 4 點之間海域，(2) 西嶼坪嶼簡易碼頭海域、(3) 東嶼坪嶼西岸海域、(4) 東嶼坪嶼碼頭海域，及(5) 東吉嶼碼頭區與防波堤周邊海域等。劃設面積共 18,776.74 公頃，佔國家公園計畫海域面積 52.39%。主要規劃作為海域核心區之緩衝帶，以保護海域自然生態完整性。在經營使用原則上，除有關主管機關許可捕撈之經濟魚類外，禁止捕撈珍稀之海洋生物；除管理處許可外，禁止投放人工魚礁及興建人為設施；禁止炸魚、電魚及毒魚與任何污染水質之行為。

澎湖南方四島國家公園成立至今累積豐富的海域生態資源資料，例如魚類至今已累積記錄 60 科 198 屬 540 種，珊瑚種類共記錄 15 科 54 屬 209 種 (石珊瑚類 10 科 38 屬 140 種、八放珊瑚類 5 科 16 屬 69 種)，大型無脊椎動物 7 門 66 科 113 種，加上健康的珊瑚礁與較佳的抗溫度變化的潛力，澎湖南方四島海域生態保育有豐碩成果。在澎湖其他海域的生態與漁業資源調查計畫都顯示資源大幅減少，珊瑚覆蓋率降低，指標物種豐度顯著下降，顯示澎湖海域早已面臨超過負荷的採捕壓力。在此情況下，澎湖南方四島國家公園的海洋資源種源庫功能更彰顯其重要性，雖然完全禁漁區的擴大，在執行上一定會有衝突，需要更多的溝通與協調，但是只有良好的保育和管理措施，海洋資源才有機會復原及永續利用。

誌謝

本研究非常感謝海洋國家公園管理處經費支持，計畫執行期間承蒙管理處相關人員協

助以及娛樂漁船辛苦載送，感謝劉毓興、郭道仁、林昕佑、鄭安怡、秦啟翔等人協助潛水調查、物種鑑定、資料整理及行政業務等工作，僅此一併致謝。

引用文獻

- 王玉懷、劉金源、李逸環、宋克義。2012。澎湖南方四島海域環境及棲地調查。海洋國家公園管理處
- 朱雲瑋、邱郁文。2015。澎湖南方四島海域生態資源調查。海洋國家公園管理處委託研究報告，133 頁。
- 李國添、蔡萬生、曾建璋、周宏農、戴昌鳳、鄭明修、邵廣昭。2008。澎湖海域寒災後海洋生態及漁業資源調查論文集。行政院農委會漁業署。
- 吳松鴻。2016。澎湖南方四島國家公園海域海蛞蝓生物多樣性與分佈之研究。海洋國家公園管理處補助研究生專題研究計畫報告，66 頁。
- 林家魁。2013。澎湖南方四島珊瑚礁底棲群聚結構的比較。海洋國家公園管理處補助研究生專題研究計畫報告，55 頁。
- 郭芳伶。2015。澎湖南方四島國家公園亞潮帶海域之海綿生物多樣性與分佈之研究。海洋國家公園管理處補助研究生專題研究計畫報告，63 頁。
- 張崑雄、詹榮桂、鄭明修。1991。國民旅遊叢書-澎湖的海洋生物。交通部觀光局
- 張至維、李展榮、邱郁文、楊清閔。2013。澎湖南方四島海域生態熱點調查與潛點規劃。海洋國家公園管理處委託研究報告，139 頁。
- 黃俞升。2017。澎湖南方四島藻類相及無脊椎生物相調查。海洋國家公園管理處委託研究報告，257 頁。
- 陳義雄、李明安。2017。澎湖南方四島魚類資源調查。海洋國家公園管理處委託研究報告，277 頁。

- 鄭明修、戴昌鳳、陳正平、王瑋龍、孟培傑。2009。澎湖南方東嶼坪、西嶼坪、東吉嶼及西吉嶼四島周邊海域生態資源調查。海洋國家公園管理處委託研究報告, 67 頁。
- 鄭明修、戴昌鳳、柯佳吟。2019。澎湖南方四島國家公園海域自然資源經營管理策略研析。海洋國家公園管理處委託辦理計畫成果報告, 263 頁。
- 蔡萬生、鐘金水、冼宜樂、朱雲璋、易毅成。2011。澎湖南方四島海域漁業資源與生態敏感區調查。海洋國家公園管理處委託研究報告, 114 頁。
- 戴昌鳳、陳昭倫、謝恆毅。2008。澎湖海域寒災後海洋生態及漁業資源調查-珊瑚資源調查。行政院農委會委託研究報告。
- 戴昌鳳。2011。臺灣珊瑚礁地圖-臺灣本島篇及離島篇。台北：天下文化出版公司。
- 戴昌鳳、秦啟翔、鄭安怡。2013。東沙珊瑚生態圖鑑。高雄：海洋國家公園管理處。
- 戴昌鳳、秦啟翔。2017。東沙環礁八放珊瑚圖鑑。高雄：海洋國家公園管理處。
- Benayahu Y, LP van Ofwegen, CF Dai, MS Jeng, K Soong, A Shlagman, HJ Hsieh, and CS McFadden. 2012. Diversity, distribution, and molecular systematics of octocorals (Coelenterata: Anthozoa) of the Penghu Archipelago, Taiwan. *Zoological Studies* 51(8):1529-1548.
- Cruz ICS, M Loiola, T Albuquerque, R Reis, CC de Anchieta, J Nunes and JD Reimer. 2015. Effect of phase shift from corals to Zoantharia on reef fish assemblages. *PLoS ONE* 10(1):e0116944.
- Dai CF and S Horng. 2009a. *Scleractinia Fauna of Taiwan, I. The Complex Group*, Taipei: National Taiwan University, 172 p.
- Dai CF and S Horng. 2009b. *Scleractinia Fauna of Taiwan, II. The Robust Group*, Taipei : National Taiwan University, 162 p.
- Edgar GJ, RD Stuart-Smith, TJ Willis, S Kininmonth, SC Baker, S Banks, NS Barrett, MA Becerro, ATF Bernard, J Berkhout, CD Buxton, SJ Campbell, AT Cooper, M Davey, SC Edgar and G Förs. 2014. Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature* 506:216-220.
- Edinger EN and MJ Risk. 2000. Reef classification by coral morphology predicts coral reef conservation value. *Biological Conservation* 92:1-13.
- Hsieh HJ, YL Hsien and WS Tsai. 2008. Tropical fishes killed by the cold. *Coral Reefs* 27:599.
- Hsieh HJ, CK Wen, YC Huang, KS Chen, CF Dai and CA Chen. 2016. Spatial patterns and environmental settings of non-reefal coral communities across the Tropic of Cancer in the Penghu Archipelago (Pescadores), Taiwan. *Zoological Studies* 55:45, doi:10.6620/ZS.2016.55-45
- Jan S, CS Chern, J Wang and SY Chao. 2002. Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait. *Journal of Marine Systems* 35:249-268.
- Lester SE, BS Halpern, K Grorud-Colvert, J Lubchenco, B Ruttenberg, SD Gaines, S Airame and RR Warner. 2009. Biological effects within on-take marine reserves: a global synthesis. *Marine Ecology Progress Series* 384:33-46.
- Perry CT and P Larcombe. 2003. Marginal and non-reef-building coral environments. *Coral Reefs* 22:427-432.
- 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.
- Wilkinson C. 2008. *Status of Coral Reefs of the World: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network, Townsville, Australia.
- Work TM, GS Aeby and JE Maragos. 2008. Phase shift from a coral to a corallimorph-dominated reef associated with a shipwreck on Palmyra atoll. *PLoS One* 3:e2989.