

國立臺灣大學理學院海洋研究所

碩士論文

Institute of Oceanography

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

台灣周圍海域人工魚礁區魚類群聚結構之探討

A Study on the Structure of Fish Communities around
Artificial Reefs in the Coastal Waters of Taiwan



Chi-Ying Lin

指導教授：詹榮桂 博士、戴昌鳳 博士

Advisor: Rong-Quen Jan, Ph.D., Chang-Feng Dai, Ph.D.

中華民國 100 年 7 月

July, 2011

謝辭

韶光荏苒，兩年的碩士生涯，在這篇論文的完成後也即將告一段落。首先，我要感謝指導教授詹榮桂老師在學識上鉅細靡遺的指導、解惑，以及在生活上無微不至的關照；同時，也要感謝海研所的指導教授戴昌鳳老師，在學生論文寫作期間，不厭其煩的修正我錯誤的觀念以及粗心造成的筆誤。另外，陳正平老師與陳正虔老師在口試上給予我許多寶貴的意見，讓我重新思考原本忽略的細節，使得本篇論文得以順利完成。

此外，我也要感謝陪伴我兩年時光的中研院實驗室的夥伴們：旺旺、大歲、政擇學長、建華學長、庭光、明賢、宜璇，以及所上實驗室的商隱學長、旻杰學長、有容學長、青納、鳳婷、碩文，感謝大家在論文方面提供許多經驗和指導，在日常生活中的分享與關懷，也使我倍感溫馨。

我還要感謝昱翔和士弘，常讓我外掛野外採樣，為我的研究生涯頻添許多樂趣與歡笑；在台北的大學同學們每個月的餐敘交流，讓我有動力繼續與我的數據奮鬥；志浩與文睿，每次回高雄充電時提供我住所，還常常半夜打電話叫我起床讀書、寫論文，還有許多朋友的關心與鼓勵，讓我得以堅持努力完成目標，在此，一併致上無比的感謝。

最後，我要感謝我的父母長久以來的支持與無怨無悔的付出，讓長年在外求學的我能夠生活無虞，朝目標勇往奮進。謹藉此論文，獻給我最親愛的爸爸媽媽，和我共享這份喜悅。

林其穎 謹致於 台灣大學 海洋研究所 中華民國 100 年 8 月

摘要

為了培育資源、增加漁獲，台灣周圍海域自民國 60 年代起開始進行人工魚礁的設置。長期以來，雖然已經陸續收集了許多魚礁區的魚類群聚資料，不過對人工魚礁魚類資源培育的機制與所受的限制，並不是很清楚。在自然環境中，魚類的群聚結構多受到生物性和非生物性的環境因子所影響，而魚類的食性組成則可反映生態體系中的能量供給及其傳遞情形，本項人工魚礁區魚類群聚的分析，也是基於此一概念。經收集 2008-2010 年在台灣周圍人工魚礁區實地潛水調查所登錄的魚類群聚、底棲生物相與環境因子資料，共 135 筆，經過魚類群聚結構、生物群聚指標、總尾數與生物量的分析，顯示人工魚礁區的魚類群聚明顯可依地理上的差異分成 4 個分支，而礁型的影響則較小。BIO-ENV 與排序分析結果顯示，整體而言，可能影響魚類群聚的因子為緯度、能見度、底質類型、沈積物厚度、藻類覆蓋率與總生物覆蓋率，其中非生物性的環境因子與魚類群聚的相關性較高。食性組成分析顯示：以總生物量而言，人工魚礁區中以攝食無脊椎動物的魚類佔最多；另外，西南海域礁區的小型魚類數量豐富，因此區內亦多食魚性魚類；離島礁區則多攝食浮游動物的魚類；東南及離島礁區藻類覆蓋率較高，藻食性魚類所佔的比例亦較高。若以生物量當做指標，北部魚礁區的漁業資源以三線雞魚 (*Parapristipoma trilineatum*)、鞍帶石斑魚 (*Epinephelus lanceolatus*)、條石鯛 (*Oplegnathus fasciatus*) 佔優勢；西南為銀紋笛鯛 (*Lutjanus argentimaculatus*)、單斑笛鯛 (*Lutjanus monostigma*) 與花軟唇 (*Plectorhinchus cinctus*)；東南為鋸尾鯛 (*Prionurus scalprum*) 與四帶雞魚 (*Pomadasys quadrilineatus*)；離島為尖翅燕魚 (*Platax teira*) 與六棘鼻魚 (*Naso hexacanthus*)。儘管北部、西南礁區魚種豐富度不若東南與離島，但對於經濟性魚種資源的培育，卻較東南與離島明顯。

關鍵字：人工魚礁；魚類群聚；食性組成

Abstract

Artificial reefs (ARs) have been deployed in the coastal waters of Taiwan for fisheries enhancement since the 1970s. Information on fish communities around ARs has been available for many AR sites. However, we still don't have enough knowledge on mechanisms accounting for the resource enhancement and the limitations of the AR application. In a natural environment, fish communities are opted to be affected by both biological and non-biological environmental factors. And the trophic composition of the organisms basically implies the supply of energy and its transfer in an ecosystem. Stemmed from these perceptions, the present study has launched a wide spectrum of analysis on fish communities. Data of fish assemblages collected during 2008-2010 from 135 AR sites by scuba divers in waters around Taiwan, along with data of epibenthic cover and environmental factors, were used for analyses on community characteristics, fish abundance and fish biomass. Dendrograms from cluster analysis showed 4 clear clusters of fish assemblages, which could be attributed to geographical areas. In contrast, the effect of AR types was less evident. BIO-ENV and ordination analysis revealed that the structure of overall fish communities were affected more by latitude, water transparency, substratum type, sedimentation, algal coverage and total live cover. Non-biological factors apparently predominated over biotic factors. Trophic analysis showed that invertebrate feeders were common at most AR sites. Besides, in southwestern waters, with the abundant cardinal fishes and damselfishes, a higher proportion of carnivores and piscivores occurred. At offshore islands, planktivores predominated. In both southeastern waters and offshore islands, higher biomasses of herbivores occurred in parallel to higher algal coverages in these regions. Using biomass as an indicator, *Parapristipoma trilineatum*, *Epinephelus lanceolatus* and

Oplegnathus fasciatus were regarded as the major fishery resource for the AR sites in northern waters; *Lutjanus argentimaculatus*, *L. monostigma* and *Plectorhinchus cinctus* in southwestern waters; *Prionurus scalprum* and *Pomadasyus quadrilineatus* in southeastern waters; and *Platax teira* and *Naso hexacanthus* at offshore islands. Overall, ARs deployed in northern and southwestern waters were more effective in terms of enhancing the production of economically important fishes when compared with those in other waters, despite that the fish assemblages there were less diverse.

Key words: artificial reef; fish community; trophic structure



目錄

謝辭	I
中文摘要	II
英文摘要	III
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	VIII
壹、前言	1
1.1 人工魚礁的定義與功能	1
1.2 人工魚礁的聚魚原理	1
1.3 影響人工魚礁魚類群聚的因子	2
1.4 魚類群聚與食性組成	4
1.5 近期台灣人工魚礁魚類群聚相關研究	5
1.6 研究目的	5
貳、材料方法	7
2.1 資料來源	7
2.2 研究樣區	7
2.3 調查方法	7

2.4 資料分析	8
參、結果	14
3.1 魚類群聚分析	14
3.2 地區與礁型分析	14
3.3 環境因子主成分分析	16
3.4 環境因子與魚種組成關係	17
3.5 排序分析	17
3.6 食性組成分析	19
肆、討論	21
4.1 人工魚礁投放的位置與魚類群聚結構	21
4.2 不同礁型對魚類群聚的影響	22
4.3 魚類群聚分布與環境因子關係	24
4.4 魚類群聚與食性組成	26
4.5 結論	27
伍、參考文獻	29
陸、圖	39
柒、表	51



圖目錄

圖 1. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站的分布位置	39
圖 2. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站魚類群聚結構的集群分析結果 . . .	40
圖 3. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站的魚類群聚 MDS 分析結果	41
圖 4. 台灣周圍海域四個分區的人工魚礁測站間的魚類群聚指標比較	42
圖 5. 台灣周圍海域四個分區的人工魚礁測站間的魚類總尾數與生物量比較 .	42
圖 6. 台灣周圍海域各分區中不同礁型的人工魚礁測站魚類總尾數及生物量 比較	43
圖 7. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站中 12 種底棲生物覆蓋率的主成分分 析圖	44
圖 8. 基於圖 7 的分析結果, 挑選出人工魚礁測站中較顯著的生物性環境因子 與非生物性環境因子的主成分分析圖	44
圖 9. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站與環境變數之典型對應分析雙序圖 .	45
圖 10. 台灣周圍海域 135 個測站之 18 種代表性魚種、135 個測站與環境變數 之典型對應分析三序圖	46
圖 11. 台灣北部人工魚礁的代表性魚種與環境變數之冗餘分析雙序圖	47
圖 12. 台灣西南人工魚礁的代表性魚種與環境變數之冗餘分析雙序圖	48
圖 13. 台灣東南人工魚礁的代表性魚種與環境變數之冗餘分析雙序圖	49
圖 14. 台灣周圍離島人工魚礁的代表性魚種與環境變數之冗餘分析雙序圖 . .	50

表目錄

表 1. 本研究所使用的數據所涵蓋的人工魚礁區及其礁型與數量	51
表 2. 台灣周圍海域不同地區的人工魚礁魚類群聚組成經 SIMPER 分析結果	52
表 3. 東南人工魚礁區不同礁型魚類群聚差異配對分析結果	52
表 4. 離島人工魚礁區不同礁型魚類群聚差異配對分析結果	52
表 5. 台灣周圍海域四個人工魚礁區物種豐富度指標 (D)、多樣性指標 (H') 與均勻度指標 (J') 的變異數分析結果	53
表 6. 台灣周圍海域兩個人工魚礁區物種豐富度指標 (D)、多樣性指標 (H') 與均勻度指標 (J') 的 Mann-Whitney Test 檢定結果	53
表 7. 台灣周圍海域人工魚礁在四個地理分區下，不同礁型物種豐富度指標 (D)、多樣性指標 (H') 與均勻度指標 (J') 的變異數分析結果	54
表 8. 台灣周圍海域四個人工魚礁區魚類總尾數與生物量的變異數分析結果	55
表 9. 台灣周圍海域兩個人工魚礁區魚類總尾數與生物量的 Mann-Whitney Test 檢定結果	55
表 10. 台灣周圍海域人工魚礁在四個地理分區下，不同礁型魚類總尾數與生 物量的變異數分析結果	56
表 11. 根據表 10 之分析結果，進一步以 Mann-Whitney Test 對有顯著差異的 因子進行不同礁型配對比較的結果	57
表 12. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁中魚類群聚與環境變數的 BIO-ENV 分析 結果	58
表 13. 利用 SIMPER 分析排出台灣周圍海域不同人工魚礁區的代表性魚種	59
表 14. 表 13 之台灣周圍海域四個地理分區中的表性魚種，其所屬礁區環境變 數經蒙地卡羅顯著性檢驗的結果	60
表 15. 台灣周圍海域不同地理分區人工魚礁的類食性組成	61

壹、前言

1.1 人工魚礁的定義與功能

「人工魚礁」指的是有目的地投放在海床上自然材質或人造的結構物體，經過海物化及生態的作用下，能夠模擬出一些天然礁的特性，藉以改善或再造海洋生物的棲所，培育海洋生物資源 (Jensen et al. 2000; Seaman and Jensen 2000)。消波塊、碼頭、突堤、海上鑽油平台等人造結構物也常被海洋生物所附著，但其並非該設施設置的主要目的，在較嚴謹的定義下，包括意外沉沒的船隻，雖然也能夠提供棲所的功能，應該排除在人工魚礁之外 (Guerin 2009)。

人工魚礁設置最初的目的是希望能夠提高沿岸海域的漁獲產量，此外也能提供休閒漁業 (Kaiser 2006)、潛水活動等附加價值、藉由禁止底拖以達到棲地保護 (Spieler et al. 2001)、作為棲地的復育或補償與提供學術研究等功能。

1.2 人工魚礁的聚魚原理

1.2.1 食物

礁體提供大量的表面積供藻類及附著生物 (sessile organism) (如雙殼貝、石珊瑚、軟珊瑚、海綿、水螅、藤壺、海鞘與苔蘚蟲等) 作為基質以附著及生長 (Fitzhardinge and Bailey-Brock 1989; Relini et al. 1994; Svane and Petersen 2001)，同時也吸引了許多海洋無脊椎生物 (如小型甲殼類、軟體動物) 聚集 (Sogard 1989; Relini et al. 2002; Leitão et al. 2007)，投放越久的礁體，聚集的生物與多樣性也越高 (Sammarco et al. 2004)，魚類的豐度也隨之增加 (Redman and Szedlmayer 2009)。人工魚礁的表生動物 (epibiota) 可以作為人工魚礁區定棲性或非定棲性魚類的食物來源之一 (Godoy et al. 2002; Sánchez-Jerez et al. 2002; Santos et al. 2011)。

Moreau et al. (2008) 指出，表生動物雖然可以提供魚類的食物來源，但經過移除表生動物的實驗中，魚類聚集的現象與對照組無異，可見魚類並不完全依賴礁

體所提供的食物來源，而礁體本身亦有其他原因吸引魚類聚集。

1.2.2 棲所

對於許多魚類，礁體的立體空間結構能夠供其棲息、躲避強勁的水流與敵害 (Moreau et al. 2008)，礁體本身具有越多孔隙，越能提供遮蔽的效應，魚類的豐度與多樣性也可能會越高 (Hixon and Beets 1989; Brotto et al. 2006)。在平坦的海床上，人工魚礁背流處會因為水壓的變化形成一處流速較緩的區域，吸引魚類於此棲息 (Nakamura 1985)，同時礁體模組具有大小孔洞或是表生生物構造複雜對小魚能提供庇護，躲避大魚的掠食作用，改善小魚的存活率 (Svane and Petersen 2001; Scharf et al. 2006)。

複雜度高的礁體不只提供小魚棲所，同時也可能提供掠食性魚類躲藏在此 (Hixon and Beets 1989)，對於小魚的存活率而言，不全然只有正面的影響。

1.2.3 其他

礁體的構造不只能夠提供附著生物的著苗，也能吸引魚類至此築巢產卵，甚至某些岩礁棲性魚類的幼魚會受到特定的感官刺激，如足夠的食物或是有遮蔽性的構造因而在此定棲及成長 (Bull and Kendall 1994)。

對於一些洄游性魚類而言，除了會因為魚礁區聚集了餌料資源至此覓食外，礁體也能夠影響其行為，例如許多魚類能夠透過底質上的垂直結構物或是光線來定向或定位 (Bohnsack 1989)。一些大洋表層性的魚種更能利用這些地貌特徵作為洄游方向參考點 (Gallaway and Lewbel 1982)。

1.3 影響人工魚礁魚類群聚的因子

前人研究已經指出許多影響人工魚礁魚類群聚的因子，而部分因子同樣會對礁體的附著生物相造成影響 (Guerin 2009)。人工魚礁礁體上所生長的附著生物多

樣性越高、覆蓋率越高，礁體表面的結構複雜度就越高，食物與遮蔽所的提供，對魚類群聚有顯著影響 (Hueckel and Buckley 1989; González-Gándara et al. 1999; Ferreira et al. 2001; Arias-González et al. 2006; Redman and Szedlmayer 2009; Honório et al. 2010)。此外，O’Leary et al. (2001) 認為，人工魚礁的設計上包含了：地點 (location)、佈置與排列 (arrangement)、材質與構成 (composition) 三項因子，而这三項因子又與魚類群聚組成有密切的關係。

1.3.1 地點

Bohnsack and Sutherland (1985) 認為人工魚礁投放的地點是決定魚礁成敗的主因，礁區所在地的環境因子對於魚類群聚的組成有顯著影響。例如投礁的位置隨著緯度變化，水溫便有地點間的差異 (Bortone et al. 1994; Floeter et al. 2004)；該地區降雨多寡、及離河口的遠近，可能對海水的鹽度產生些微的影響，進而改變魚類群聚的組成 (Godoy et al. 2002)。魚礁四周的底質類型及海流衝擊的強弱、能見度與沈積物多寡，也會對魚類與底棲生物相造成影響 (Baynes and Szmant 1989)。適合魚礁投放的深度約在 20~30 公尺間，礁體投放太淺容易受波浪衝擊而損壞；投放太深則不易觀察，光線穿透力隨深度遞減，附著生物與魚類群聚亦隨著深度，在組成上也有差異 (Ferreira et al. 2001)。人工魚礁區與天然礁的距離亦是人工魚礁區魚類組成的關鍵，Fast and Pagan (1974) 及 Matthews (1985) 均證實人工魚礁的魚類有部分來自於天然礁，在 Honório et al. (2010) 的研究中也發現人工魚礁與附近天然礁的魚類群聚組成相似度很高。

1.3.2 佈置與排列

人工魚礁的佈置與排列主要包含了礁體體積、覆蓋面積、礁體高度、排列複雜度等。礁體堆放的體積或表面積對聚魚效果非常重要。單位礁體堆疊的體積越大，吸引魚類的效應就越明顯 (Ardizzone et al. 1997; Jan et al. 2003)；然而以多個

較小的礁堆提供更多的表面積，在某些情況下的聚魚效應會大於一個大的礁堆 (Guerin 2009)。在台灣北部魚礁區，如使用 2m³ 水泥礁，以 4-10 個礁體堆一堆，對增加定棲者之生物量最有效，但如將偶棲者列入考慮，則建議以 15 個礁體為一堆來設置 (Jan et al. 2003)。Rilov and Benayahu (2000, 2002) 指出，較高的礁體吸引較多的魚類，特別是食浮游生物的魚類，在魚類多樣性也有較高的表現。由於每個礁體對於周遭具有一定範圍的影響力，當礁體距離過近時，影響的範圍重疊，食物可能會成為限制因子，或者會對底質上表生或內生動物造成過高的捕食壓力 (Guerin 2009)，Sargent et al. (2006) 認為在小的礁堆間應維持 30~40 公尺的距離。棲地的複雜度影響魚群密度、生物多樣性及生物量 (Charbonnel et al. 2002)，許 (2008) 認為除了礁體模組複雜度外，應考慮空間複雜度，設計最佳的的礁群佈置。

1.3.3 材質與構成

一般用來建造魚礁的材料可分為天然建材與人工建材，包含了竹材、椰子、岩石、木頭、水泥、鋼鐵、塑膠、塑膠鋼鐵、水泥鋼鐵等混和材料，以及資源再利用，以廢棄的輪胎、車輛、漁船、軍艦、鑽油平台等建造成礁體。Fitzhardinge and Bailey-Brock (1989) 指出在珊瑚在鋼鐵礁生長較輪胎礁良好，水泥礁附著生物則與天然礁較類似。Walker et al. (2002) 比較石灰岩石塊、水泥礫石混和礁、水泥輪胎混和礁之間的魚種群聚組成，結果三種礁型在魚種組成上沒有差異。Masuda et al. (2010) 則發現雪松木魚礁的魚種數與生物量皆高於闊葉木和塑膠管魚礁。

1.4 魚類群聚與食性組成

Bellwood et al. (2002) 認為，研究大尺度生態系統中的群聚結構時，探討各種環境中不同的功能類群，了解特定類群在環境中扮演的角色或是否使用類似的資源，比單純分析生態系中物種的組成更能強調該生態系的狀況與特色。透過檢視食性功能群的組成差異，能夠得知不同棲所具有的生態意義與資源的利用情形

(Angel and Ojeda 2001; Relini et al. 2002)，或是魚類群聚組成的改變對於環境中食性結構穩定性是否有影響 (Garrison and Link 2000a)。

Floeter et al. (2004) 提到魚類本身的食性策略、食物取得來源與棲地空間的使用都是影響魚類散布與棲地選擇的因子。藉由分析魚類食性功能群的結構能夠幫助我們理解魚類群聚形成的原因 (Muñoz and Ojeda 1997)。

1.5 近期台灣人工魚礁魚類群聚相關研究

台灣自民國 62 年起，陸續在台灣周邊海域進行人工魚礁的設置，至今已累積超過 180,000 座。過去進行人工魚礁區效益評估，在漁業資源項目多以漁獲資料表示，由於選擇漁法不一、操作漁具技術差異、捕獲地點登錄誤差等，漁獲資料標準化不易，且容易忽略非經濟性魚種在生態系中的重要性。近年來，僅有詹等 (2003; 2004) 在北部礁盤、南部礁盤、獨立礁、軍艦礁、水泥礁進行魚類群聚的調查，在魚類的群聚組成上，人工魚礁區與獨立礁的較為相近。

1.6 研究目的

台灣周圍海域目前共有 88 處人工魚礁區 (漁業署網站資料)。漁業署自 2008 年起針對魚礁效益進行普查 (陳等，2008；詹和劉，2009，2010)，兼記錄水文環境資料、礁體狀況、底棲附著生物及魚類群聚，至目前為止，已經累積有相當數量的生物性 (包括魚類資源) 與環境資料。

本研究主要即應用這些資料，針對以下目的，做進一步的分析：

- (1) 透過群聚分析，檢視台灣周圍海域人工魚礁區魚類在群聚結構上是否能分類成群，同時配合生物群聚指標、魚類總尾數與生物量等參數，找出不同測站得以歸類成群的因子。
- (2) 分析不同地區間魚種組成的差異情形，藉以找出主要影響分群的魚種作為各地區的代表性魚種。

- (3) 將生物因子與環境因子進行相關性分析以及排序分析，找出可能影響魚類群聚分布的環境因子，並比較魚類群聚、環境因子與測站之間的關係。
- (4) 透過分析人工魚礁區魚類的食性組成結構，探討人工魚礁資源的利用情況與各區海域魚類群聚結構的特徵。



貳、材料與方法

2.1 資料來源

本研究所使用環境與生物資料源自於漁業署所推動的「屏東及臺東海域人工魚礁區調查評估工作」、「人工魚礁漁業效益調查研究」及「人工魚礁漁業效益調查及可行性評估」等三項研究計畫的成果報告書(陳等, 2008; 詹和劉, 2009, 2010)。

2.2 研究樣區

上述三項研究所得之資料涵蓋 32 處魚礁區(表 1), 分別為望海巷、大武崙、石城、東澳、大里、深澳、澳底、竹圍、永安、新豐(二)、崎頂、外埔、白新、通宵(二)、五甲、衫福村、南福村、海口、南灣、林邊(一)、林邊(二)、林邊(三)、枋寮(一)、枋寮(二)、枋寮(三)、鹽寮、奇萊鼻、竹湖、宜灣、小港、柴口與龜灣等人工魚礁區(圖 1)。

由於適合船潛作業的時間受限於天氣及海況, 因此僅在海況穩定的晴朗白日進行潛水調查, 調查時間從 2008 年到 2010 年 3 月至 10 月。32 個礁區分別進行 3 至 9 次, 合 135 個測站的魚礁調查, 礁體類型包括水泥礁、電桿礁、鋼鐵礁、漁船礁及軍艦礁等 5 種不同類型。

2.3 調查方法

2.3.1 環境因子

2.3.1.1 非生物性環境因子

這些報告共記錄: 每個測站在下錨前利用 GPS 測得下錨點的經緯度資訊; 下潛後以深度表、水溫表測量礁體座落水深、礁體高度及水溫; 固定規格之水泥礁、電桿礁及鋼鐵礁記錄礁體數量, 漁船礁及軍艦礁估算礁體長寬, 求得礁體底面積。

評估水下能見度及測量礁體表面覆蓋沈積物厚度，記錄水下作業當時以及過去水體混濁度資訊；底質依礁體底部周遭粒徑大小而定，由於不同時期所用的標準不一，因此在本論文中根據原有資訊，重新分為 5 個等級：0，礁盤；1，大型圓石；2，圓石；3，砂；4，泥。

2.3.1.2 生物性環境因子

底棲附著生物利用 D200 數位單眼相機配防水殼在礁體上拍照取樣。使用 Coral Point Count With Excel extensions (CPCe) 軟體，計算總生物覆蓋率以及各大類底棲附著生物的個別覆蓋率，包括藻類、海綿、水螅、石珊瑚、軟珊瑚、海葵、軟體、蝦蟹、藤壺、苔蘚動物、棘皮動物、海鞘與其他未列入前述大類之底棲生物。

2.3.2 魚類群聚

魚類群聚的調查方式主要分為兩大類，除了利用各式漁具、化學藥品、炸藥等將調查區域魚類相清除的捕獲法 (capture methods) 之外，目前大多使用對海洋環境及生物破壞與干擾最低的觀察法 (observational methods) (Bortone et al. 2000)。後者又以目視法 (underwater visual census) 最常應用在珊瑚礁魚類群聚的調查 (Brock 1982)。由於本研究調查目標為具有一定高度之立體結構礁體，並非是一塊開放的區域，故採用定時計數法 (interval counts)，以礁體為中心，在周遭隨機巡游 15 分鐘，逐一記錄出現的魚種、體長及數量 (Williams 1982)。

2.4 資料分析

2.4.1 資料標準化

所分析的環境變數包含了非生物性環境因子及生物性環境因子，各個變數使用不同的單位，未避免單位差異的干擾，將每個環境變數進行標準化，以標準化後的環境變數進行後續分析。標準化公式為：

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

X ：要標準化的值； \bar{X} ：該變數的算術平均數； σ ：該變數的標準差

2.4.2 棲性 (residency) 判別

人工魚礁區魚類依照生活在礁區的時間與對礁區的依賴性，一般可分為三種棲性：定棲性 (resident)、偶棲性 (visitor)、過境 (transient) (Seaman and Sprague 1991)。參考過去文獻記錄，將本研究中出现之魚種粗略分為：定棲性與非定棲性。為了避免非定棲性魚種偶發性的加入群聚，造成分析上的雜訊，本研究僅針對測站中定棲性魚種做探討。

2.4.3 魚類生物量估算

係利用不同魚種生長的異率迴歸式 (allometric equation) $W=aL^b$ 來估算該魚種的重量。各個魚種轉換的參數參照自 FishBase，若該魚種缺乏體長體重轉換參數，以體型相似的同屬魚種取代。透過體長與總尾數資料可求得各魚種的總生物量。

2.4.4 群聚指數

2.4.4.1 物種豐富度指標 (species richness index)

$$D = (S - 1 / \log N)$$

S ：物種數； N ：總個體數。 D 值越高表示該測站物種種類越豐富。

2.4.4.2 多樣性指標 (diversity index)

利用 Shannon diversity index (H') 作為測站生物多樣性指標，代表各測站個體與物種的均勻程度。當 H' 值越高，表示該測站群聚物種越多或種間個體分配較均勻。

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log P_i$$

S ：每一次調查所記錄到的魚種數。

P_i ：每一次調查時，第 i 種魚種之個體數與總魚種個體數比值。

2.4.4.3 均勻度指標(evenness index)

Pielou's evenness (J') 是由 Shannon diversity index 衍伸而來。利用測站中種間個體分配的均勻程度與多樣性指數最大值 (H_{max}) 比較，當每個物種的數量一致時，均勻度為 1，為生物在測站中數量分布的指標。

$$J' = H'/H_{max} = H'/\log S$$

H' ：Shannon diversity index

2.4.5 地區海域與礁型分析

利用 Kruskal-Wallis 單因子等級變異數分析 (Kruskal-Wallis one-way analysis of variance by rank, Kruskal-Wallis Test) 檢測四個地區의 各種群聚指標是否有差異。若海域間有差異，進一步以 Mann-Whitney Test 檢測兩海域間群聚指標的差異情形。對於各區海域之內，群聚指標是因不同礁型而異，同樣以 Kruskal-Wallis Test 及 Mann-Whitney Test 進行檢定。

此外，在總尾數與生物量這兩項變數方面，亦使用無母數檢定方法，分別檢測不同地區及不同種礁型，對魚類總尾數與生物量是否有影響。

對於各區海域中不同礁型對於群聚結構的影響，則利用相似度分析 (analysis of similarities, ANOSIM) 來檢定，經由等級相似度矩陣來計算 R 值。 R 值能夠表示不同礁型間群聚結構的差異程度，當 R 為 1 時，表示同礁型的相似度大於礁型間的相似度；當 R 值近乎 0 時，表示礁型內和礁型間的相似度沒有差異。一般而言，當 $R > 0.75$ 時，表示兩群聚結構具有極大差異；而 $R < 0.25$ 時，則表示群聚結構上幾乎沒有差異 (Clarke 1993)。

$$R = \frac{(\overline{r_B} - \overline{r_W})}{n(n-1)/4}$$

$\overline{r_B}$ ：礁型間等級相似度之平均； $\overline{r_W}$ ：礁型內等級相似度之平均； n ：總測站數

2.4.6 群聚結構分析

群聚結構係以 Primer v6 (Clarke and Gorley 2006) 套裝軟體進行分析。在 135 個測站的魚礁調查中，扣除掉非定棲性的魚種，將魚類群聚資料經過 $\log(x+1)$ 轉換，計算基於 Bray-Curtis 距離的相似度矩陣。以階層式集群分析法 (hierarchical cluster analysis) 與非計量多向度量尺法 (non-metric multi-dimensional scaling, MDS) 比較不同地區魚種組成的相似度。環境資料則進行主成分分析 (principal components analysis, PCA)，找出造成不同地區環境差異的主要因子。

此外，透過 BIO-ENV (biota and/or environment matching) 將群聚資料與環境變數作連結。不同環境因子組合基於歐式距離 (Euclidean distance) 形成環境因子矩陣，物種群聚組成形成 Bray-Curtis 相似性矩陣，計算兩者之間 Spearman 等級相關係數 (Spearman's rank correlation coefficient)，相關性最高的環境因子組合則最能解釋魚种群聚組成的差異 (Clarke 1993)。

2.4.7 排序分析 (ordination)

以排序分析探討生物群聚或樣區在環境梯度上的分布情形，藉以找出影響生物群聚變異的主要環境因子。本研究分別使用典型對應分析 (canonical correspondence analysis, CCA) 及冗餘分析 (redundancy analysis, RDA) 兩種分析方法。最常用來反應物種與環境關係的模型有兩種，一種為線性模型 (linear model)，另一種為單峰模型 (unimodal model)。當物種在環境梯度上呈現線性分布時，使用冗餘分析；若物種在環境梯度上有一最適值 (optimum)，呈鐘形的單峰分布時，使用典型對應分析。模型的選擇取決於降趨對應分析 (detrended correspondence

analysis, DCA) 梯度軸長度的分析。當第一個梯度軸大於四個標準差時，使用典型對應分析；若小於三個標準差時，則使用冗餘分析 (ter Braak and Šmilauer 2002)。最後利用蒙地卡羅置換檢驗 (Monte Carlo permutation test) 檢測相關的環境因子是否達顯著水準 (Lepš and Šmilauer 2003)。

由於所應用的資料庫中魚種眾多，而其中可能有些魚種在分布上可能與本研究所考慮之環境因子沒有顯著相關，又或者有跨多區分布的情形，或魚種在礁區中的出現為偶發事件，或魚種分布範圍遠小於本研究中所劃定的地理分區等，因此藉由 Primer 中的 SIMPER (similarity percentages) 分析，計算出一地區內，對於魚種組成相似度貢獻高的魚種；並且計算該地區與其他地區魚種組成相異度貢獻高的魚種，選擇同時對兩者高度貢獻的魚種最為該區的代表魚種，透過排序法進而找出這些魚種僅分布在特定區域的程度。藉由對這些代表性魚種做分析，能更清晰的瞭解各項地區性環境因子的影響程度。

2.4.8 食性組成分析

將每個測站所調查到的魚種，參考過去文獻記錄與 FishBase 上魚種食物相，分為 8 種食性類群：藻食性 (herbivores)、浮游動物食性 (planktivores)、底棲無脊椎動物食性 (benthic invertebrate feeders)、食魚食性 (piscivores)、珊瑚蟲食性 (corallivores)、雜食性 (omnivores)、肉食性 (carnivores)、清潔食性 (cleaners) (Jennings et al. 1995; Jennings and Polunin 1996; Ferreira et al. 2001; Khalaf and Kochzius 2002; Ferreira et al. 2004; Ferreira and Gonçalves 2006; Cole et al. 2008; Honório et al. 2010)。珊瑚蟲食性包括專一性 (obligate) 珊瑚蟲食性與亦食藻類與底棲無脊椎動物的兼性 (facultative) 珊瑚蟲食性。雜食性代表同時吃藻類及浮游動物或底棲無脊椎動物。肉食性代表同時吃底棲無脊椎動物及魚類或浮游動物。清潔食性以其他魚體外寄生物或體表分泌的黏液為食。其中兼性珊瑚蟲食性、雜食性與肉食性魚種復依照食物來源，將生物量平均納入藻食性、浮游動物食性、底

棲無脊椎生物食性、食魚食性、珊瑚蟲食性中，以估計不同地區魚種對於不同資源的需求程度。

以魚種總尾數及生物量資料計算各個測站食性結構組成的數量百分比與重量百分比，並加以相互比較。



參、結果

3.1 魚類群聚分析

所有測站依照魚類的群聚結構的組成可以分為四個明顯的類群 (圖 2)，將 4 個類群依照地理分布分為：北部 (62 站)、西南 (25 站)、東南 (30 站) 及離島 (18 站)。其中枋寮 (三) 一測站被劃入東南區，大武崙一測站與竹圍兩測站被劃入西南區，為偏離其原來地理分區的少數測站。四個群集中，北部與西南魚類群聚組成較類似，東南則與離島較相似。MDS 分析結果 (圖 3, stress=0.16) 中，北部、西南與東南三區的組成相似度在平面空間上呈三角形分布，而離島則與東南較類似。透過 SIMPER 分析各個群集魚類群聚組成的平均相異度(average dissimilarity) 可解釋測站在 MDS 圖上的分布 (表 2)。

3.2 地區與礁型分析

3.2.1 魚類群聚結構

在魚類群聚結構方面，先前的集群分析顯示魚類群聚有地區性的差異。透過 one-way ANOSIM 針對 4 個地區分別做探討，是否礁型的差異亦會影響魚類群聚的組成。

在北部礁區中共有水泥礁 (出現於 18 測站)、電桿礁 (15 測站)、鋼鐵礁 (23 測站)、漁船礁 (3 測站) 及軍艦礁 (3 測站) 五種礁型，魚類群聚組成在礁型間幾乎沒有差異 (ANOSIM, global R=0.104)。

西南礁區中共有水泥礁 (6 測站)、電桿礁 (2 測站)、鋼鐵礁 (8 測站)、漁船礁 (9 測站) 四種礁型，魚類群聚組成在礁型間亦十分類似 (ANOSIM, global R=0.224)。

東南礁區中共有水泥礁 (7 測站)、電桿礁 (12 測站)、鋼鐵礁 (7 測站)、軍艦礁 (4 測站) 四種礁型，魚類群聚組成在礁型間有差異存在 (ANOSIM, global

R=0.29)，為了瞭解哪些礁型造成差異，因此進行礁型之間的配對分析 (pairwise tests)，結果發現鋼鐵礁與軍艦礁的魚類群聚組成有顯著差異 (R=0.926) (表 3)。

離島礁區共有電桿礁 (6 測站)、鋼鐵礁 (5 測站)、軍艦礁 (7 測站) 三種礁型，魚類群聚組成在礁型間亦有差異 (ANOSIM, global R=0.343)，配對分析中，電桿礁與鋼鐵礁間在魚種組成上有顯著差異 (R=0.824) (表 4)。北部與西南區的測站，魚類群聚組成在四種不同礁型間沒有明顯差異，東南與離島區的測站僅部分礁型間有差異。

3.2.2 生物群聚指標的比較

以物種豐富度指標、多樣性指標與均勻度指標作為生物群聚指標，三項變數分別進行 Kruskal-Wallis Test 檢驗海域間群聚指標是否有差異，結果顯示物種豐富度指標 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=91.074$, $p<0.001$)、多樣性指標 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=57.215$, $p<0.001$) 及均勻度指標 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=28.013$, $p<0.001$) 在四個地區皆有顯著差異 (表 5，圖 4)，以 Mann-Whitney Test 比較兩兩地區間生物群聚指標的差異情形，在物種豐富度指標方面：離島 > 東南 > 北部 > 西南；多樣性指標方面：離島 > 東南 > 北部 = 西南；均勻度指標方面：離島 > 東南 = 西南 > 北部 (表 6)。

四個地區分別再以 Kruskal-Wallis Test 分析同地區內不同礁型是否對生物群聚指標造成影響，結果顯示四個地區內不同礁型的三種生物群聚指標皆無顯著差異 (表 7)。

3.2.3 魚類總尾數或生物量的差異性

透過魚種體長與總尾數資料計算各個魚種生物量，再將每個測站出現的魚種加總得到各個測站的總生物量。利用 Kruskal-Wallis Test 檢驗四個地區魚類總尾數與生物量是否有差異，結果顯示總尾數 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=23.625$, $p<0.001$)

或生物量 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=18.72, p<0.001$) 在四區海域皆有顯著差異 (表 8, 圖 5)。以 Mann-Whitney Test 比較兩地區間總尾數與生物量標的差異情形, 在總尾數方面: 北部 = 東南 > 西南 = 離島; 生物量方面: 東南 > 離島 = 北部 > 西南 (表 9)。

四區海域分別再以 Kruskal-Wallis Test 分析同區海內不同礁型是否對總尾數或生物量造成影響, 結果顯示四個地區中的礁型可能對總尾數或生物量產生影響 (表 10)。北部礁區生物量在礁型間有顯著差異 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=12.882, p=0.012$) (圖 6, 表 11), 經過 Mann-Whitney Test 比較兩兩不同礁型差異後, 軍艦礁與鋼鐵礁生物量顯著高於水泥礁與漁船礁, 總尾數方面則無顯著差異; 西南礁區生物量在礁型間亦有顯著差異 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=8.911, p=0.031$) (圖 6, 表 11), Mann-Whitney Test 結果顯示漁船礁生物量顯著高於水泥礁, 而總尾數無顯著差異; 東南礁區礁型同樣在生物量上造成顯著差異 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=19.86, p<0.001$) (圖 6, 表 11), Mann-Whitney Test 結果顯示不同礁型生物量大小的差異情形為: 軍艦礁 > 電桿礁 = 鋼鐵礁 > 水泥礁, 總尾數方面亦無顯著差異; 離島礁區總尾數在礁型間有顯著差異 (Kruskal-Wallis test, $\chi^2=8.911, p=0.031$) (圖 6, 表 11), Mann-Whitney Test 結果顯示不同礁型總尾數多寡的差異情形為: 電桿礁 > 鋼鐵礁 = 軍艦礁。

3.3 環境因子主成分分析

為了將各魚礁區較不影響魚類群聚的底棲生物覆蓋率排除, 而進行本項分析。首先以 12 種底棲生物覆蓋率進行主成分分析 (PCA), 分析所得之第一軸主要因子為藻類, 第二軸為海綿與軟珊瑚, 兩個軸所累積能解釋變異的量為 65.4% (圖 7)。根據此一結果, 將其中特徵向量 (eigenvectors) 較小的因子, 包括海葵、軟體、甲殼類、棘皮動物及苔蘚動物等加以排除, 另以特徵向量較高的七種底棲生物因子, 加上水溫、總覆蓋率、底質類型、沈積物厚度及能見度等進行主成分分析。結果

顯示，在魚類群聚的分區中，東南、離島魚礁區的藻類覆蓋率、總生物覆蓋率及能見度較高；西南魚礁區則底質較細、礁體上沈積物較厚（圖 8）。

3.4 環境因子與魚種組成關係

以 BIO-ENV 方法根據許多環境因子組合計算與魚類群聚組成的相關性，尋找造成魚類群聚組成差異的主要環境因子，結果顯示底質類型、能見度與緯度是造成差異的主要環境因子 ($\rho_w=0.647$) (表 12)。

3.5 排序分析

首先將魚種的群聚資料進行降趨對應分析 (DCA)，選擇以典型對應分析 (CCA) 為排序的模型。測站與環境變量在第一梯度軸和第二梯度軸上的分布經以雙序圖 (biplot) 表示 (圖 9)。解析時，測站與測站或物種與物種間的距離為卡方距離 (Chi-square distance)，越接近表示測站在物種組成的差異性越小或是物種的分布差異較小。環境變數箭頭間的夾角可表示環境因子間的相關性，若夾角呈 90 度則為不相關；測站與環境變量之間的關係則可利用測站對環境因子箭頭方向做投影表示。圖中顯示，先前之魚類集群分析分成的四大類群內的各魚礁區亦緊密分布成群，其中與第一排序軸相關性較大的環境因子分別為能見度 (相關係數：0.849)、藻類 (0.6523)、總生物覆蓋率 (0.427)、緯度 (-0.6597)、底質類型 (-0.6488) 與沈積物厚度 (-0.4889)，這些因子同時能夠解釋離島、東南測站的分區現象。此外，與第二排序軸相關性較大的環境因子主要為緯度 (-0.5525)，其並且可能是造成北部測站與西南測站分離的重要因子。

以 SIMPER 找出各區的代表魚種 (表 12)，分別為北區：燕尾光鰓雀鯛 (*Chromis fumea*)、三線雞魚 (*Parapristipoma trilineatum*)、半線天竺鯛 (*Apogon semilineatus*)、箭天竺鯛 (*Rhabdamia gracilis*) 及六斑二齒魨 (*Diodon holocanthus*)。雀鯛與天竺鯛皆屬於岩礁性群居魚類，食浮游生物或小型無脊椎動物；六斑二齒魨偏好於沙泥

軟底質上捕食底棲無脊椎動物；群游性的三線雞魚移動能力佳，洄游於各個礁區周遭的沙質底質覓食。西南區：藍新雀鯛 (*Neopomacentrus cyanomos*)、紅帶擬花鱸 (*Pseudanthias rubrizonatus*) 及側帶天竺鯛 (*Apogon pleuron*)。側帶天竺鯛與紅帶擬花鱸皆偏好沙泥底質的海域；藍新雀鯛則常見於岸邊或外海的礁區。東南區：四帶雞魚 (*Pomadasys quadrilineatus*)、金擬花鱸 (*Pseudanthias squamipinnis*)、裂唇魚 (*Labroides dimidiatus*)、白吻雙帶立旗鯛 (*Heniochus acuminatus*) 及鋸尾鯛 (*Prionurus scalprum*)。四帶雞魚屬於廣泛分布的魚種，礁岩與沙地皆可見；金擬花鱸、白吻雙帶立旗鯛與裂唇魚皆棲息於珊瑚礁海域；鋸尾鯛則洄游於各個礁區間。離島區：褐斑刺尾鯛 (*Acanthurus nigrofuscus*)、克氏蝴蝶魚 (*Chaetodon kleinii*)、三斑圓雀鯛 (*Dascyllus trimaculatus*)、金帶擬鬚鯛 (*Mulloidichthys vanicolensis*) 及角鐮魚 (*Zanclus cornutus*)。褐斑刺尾鯛屬於淺水域魚種，主要棲息於礁石的底部；克氏蝴蝶魚與三斑圓雀鯛主要棲息於珊瑚礁海域；角鐮魚則常見於清澈的珊瑚礁或岩礁區；金帶擬鬚鯛偏好在礁砂混合處或礁區外圍砂泥地覓食。

除了檢視這些魚種的棲息環境外，為了檢視這 18 魚種的代表性，以這些魚種重新進行排序分析；透過 DCA 分析後選擇單峰模型的 CCA。分析結果以三序圖 (triplot, 圖 10) 表示物種、測站與環境因子間的相關性 (物種與測站越接近表示該物種在這些測站中的相對豐度較高)。在三序圖中，此 18 種魚種確實分別與所屬測站的距離較為接近，因此可視為該地區代表性魚種。

經以 DCA 分析各地區代表性魚種所構成之群聚的梯度長度，顯示各區群聚的梯度軸皆小於 3 個標準差，因此使用基於線性模型的冗餘分析 (RDA) 繼續加以分析。

在雙序圖中，物種與環境因子箭頭間的夾角代表彼此的相關性。在北區，與第一排序軸相關性較大的環境因子為緯度 (-0.7235) 及藤壺覆蓋率 (-0.5038)；第二排序軸為沈積物厚度 (0.4641) (圖 11)。上述結果進一步以蒙地卡羅檢定加以驗證，顯示影響北部礁區魚種分布的主要環境因子為緯度、經度、石珊瑚覆蓋率、

沈積物厚度及藤壺覆蓋率 (表 14)。在西南區方面，與第一排序軸相關性較大的環境因子為底質類型 (0.4347) 與經度 (-0.4621) (圖 12)。經做蒙地卡羅檢定，影響西南礁區魚種分布的主要環境因子為經度、底質類型、緯度、能見度及深度 (表 14)。東南區中，與第一排序軸相關性較大的環境因子為緯度 (-0.3937)，第二排序軸為海綿覆蓋率 (0.3544) (圖 13)。經做蒙地卡羅檢定，影響東南礁區魚種分布的主要環境因子為緯度、經度、礁體高度、水媳覆蓋率、海綿覆蓋率、總生物覆蓋率及底質類型 (表 14)。在離島區中，與第一排序軸相關性較大的環境因子依序為能見度 (0.829)、藻類覆蓋率 (0.5908)、緯度 (-0.5333) 及底質類型 (-0.5033) (圖 14)。經做蒙地卡羅檢定，影響離島礁區魚種分布的主要環境因子為能見度、緯度、總生物覆蓋率、底質類型、經度、軟珊瑚及石珊瑚覆蓋率 (表 14)。

3.6 食性組成分析

北部礁區在食性結構組成的數量百分比上，比例最高者為浮游動物食性 (57.1%)，其次為底棲無脊椎動物食性 (39.15%)。透過重量百分比則可發現浮游動物食性之重量不高 (11.24%)，底棲無脊椎動物食性在北部為最主要的類群 (69.08%)，如三線雞魚 (*Parapristipoma trilineatum*) 與條石鯛 (*Oplegnathus fasciatus*)，而鞍帶石斑魚 (*Epinephelus lanceolatus*)、瑪拉巴石斑魚 (*E. malabaricus*)、銀紋笛鯛 (*Lutjanus argentimaculatus*) 等肉食性魚種數量上雖少，但其生物量對食底棲無脊椎動物及食魚食性類群的生物量有部分貢獻 (表 15)。

西南礁區在食性結構組成的數量百分比上，比例最高者為底棲無脊椎動物食性 (41.57%)，其次為浮游動物食性 (31.66%) 及肉食性 (20.75%)。浮游動物食性對總生物量貢獻不高 (7.29%)，肉食性的銀紋笛鯛 (*L. argentimaculatus*)、瑪拉巴石斑魚 (*E. malabaricus*)、九刺鮨屬未鑑定種 (*Cephalopholis* sp.) 等與食底棲無脊椎動物的單斑笛鯛 (*L. monostigma*) 與花軟唇 (*Plectorhinchus cinctus*) 的生物量為此區主要食性構成 (表 15)。

東南礁區在數量上佔優勢的為浮游動物食性 (34.38%)、底棲無脊椎動物食性 (34.09%) 及珊瑚蟲食性 (17.46%)，而此區清潔食性所佔的數量比在四區中最高 (0.96%)。在重量百分比上，底棲無脊椎動物食性本身生物量不低外，雜食性的魚類如鋸尾鯛 (*Prionurus scalprum*)、疊波蓋刺魚 (*Pomacanthus semicirculatus*) 等對於藻食性 (20.24%) 及底棲無脊椎動物食性 (58.6%) 的生物量上有不少貢獻 (表 15)。

離島礁區在魚種食性結構組成的數量百分比明顯集中在浮游動物食性上 (71.77%)，其他食性類別的魚種在離島顯得相對稀少。從重量百分比來看，藻食性的比重略低於東南礁區 (10.81%)，珊瑚蟲食性則和東南礁區差不多 (1.38%)，浮游動物食性 (44.42%) 和底棲無脊椎動物食性 (39.04%) 所佔的重量主要由該區肉食性魚類如斑金鯧 (*Cirrhitichthys aprinus*)、徽身裸胸鯔 (*Gymnothorax eurostus*)、金鯧 (*C. aureus*) 等所貢獻。



肆、討論

4.1 人工魚礁投放的位置與魚類群聚結構

綜合過去一些針對台灣周圍海域區域性的魚類群聚研究或生態調查報告中，台灣的珊瑚礁魚類的群聚組成主要受到黑潮與南海表層水等兩大水團的影響，其中，南部、東部、小琉球、蘭嶼及綠島等受到黑潮所影響，熱帶地區的魚卵或仔稚魚可能藉由溫暖與寡營養鹽的黑潮進入南部海域定棲；北部與澎湖海域則受到南海表層水所影響，冬季寒冷的中國沿岸流南下能使水溫低於 20°C，造成魚類相在南北兩大地理區顯著的差異 (Chen et al. 1992; Shao et al. 1993; 戴, 2006)。根據集群分析與 MDS 的結果 (圖 2, 圖 3)，台灣周圍海域人工魚礁區魚類群聚依魚種組成相似度分為北部及西南、東南及離島兩大類群，與 Shao et al. (1997) 分析台灣周遭八處天然礁區魚類群聚組成的集群分析結果相當類似。除了魚類群聚組成外，珊瑚物種豐富度與造礁作用強度亦隨著環境條件的差異呈現北部與東南、離島兩大分群 (戴, 2006)。東南、離島海域生長速率較快的軸孔珊瑚與鹿角珊瑚能形成較複雜的立體空間，在珊瑚礁魚類的地理分布上具有相當的影響 (Shao et al. 1997)。

利用物種豐富度 (D)、多樣性 (H') 及均勻度 (J') 三種群聚指標來解釋四個地理區魚類群聚，結果指出離島的物種豐富度最高，其次為東南、北部、西南，對照各區調查記錄的魚種數 (北部：131 種；西南：65 種；東南：201 種；離島：159 種)，雖然離島礁區物種數並非最高，因為總尾數較低的緣故而在物種豐富度指標上高於其他地區 (圖 4)；多樣性指標方面，離島礁區與 2003 及 2004 年調查之北部與南部天然礁區接近 (王等, 2004)，在群聚組成上趨近穩定，其次為東南，而北部與西南礁區則偏低，與 Shao et al. (1997) 比較天然礁區多樣性最高的測站出現在墾丁的結果略有差異。多樣性指標受到個體數與物種數的影響，物種數越多，多樣性也越高，然而若有少數魚種的個體數很多，卻會使多樣性指標降低。此一

情形發生在北部礁盤與獨立礁，在魚種數差異不大的情況下，總尾數較大的獨立礁在多樣性指標上卻遜於北部礁盤 (詹等, 2003)。獨立礁或人工魚礁的聚魚效應，出現少數魚種大量聚集的現象，多樣性指標也因此降低，因此在解讀天然礁盤與人工魚礁多樣性時應謹慎；均勻度方面，指出離島礁區魚種在數量上分布最均勻，其次為東南與西南，而北部相較於另外三區略低，其結果與多樣性指標類似，但由於西南礁區物種數較低，在均勻度上便比北部來得高。

在四區海域中，除了離島測站總尾數普遍不高外，另外三區都出現大量魚類的聚集 (圖 5)；其間尾數很多的魚種在北部主要由天竺鯛科、雀鯛科和石鱸科魚類所構成；西南則以天竺鯛科、雀鯛科小型魚類及金花鱸為主；東南礁區則以石鱸科、天竺鯛科、鮨科、擬金眼科、雀鯛科等為主；離島部分，有上千隻充金眼鯛 (擬金眼鯛科) 在小琉球一測站出現，之外的魚種在尾數上並沒有明顯高峰。在天然礁的研究中，雀鯛、隆頭魚為常見的優勢物種；相對之下，在人工棲地中較為常見的則是擬金眼鯛與鬚鯛 (Wen et al. 2010)。在本研究中，鬚鯛僅在離島地區數量較多，擬金眼鯛則在東南和離島礁區大量出現。北部海域魚礁區的魚類總尾數與東南礁區類似，而東南礁區的生物量會較高，主要是因為聚集了體型較大的鋸尾鯛 (*Prionurus scalprum*) 和四帶雞魚 (*Pomadasys quadrilineatus*)。離島的總尾數較低，惟在生物量僅次於東南礁區，其中尖翅燕魚 (*Platax teira*) 和六棘鼻魚 (*Naso hexacanthus*) 的貢獻很大。在西南區海域，因天竺鯛與雀鯛的體型較小，它們對魚礁區的整體魚類生物量的貢獻並不大。

無論在魚類的群聚組成、群聚指標或是總尾數與生物量，在四個區海域間皆有明顯差異，可見投礁選址的事前工作非常重要，足以決定投礁後魚類群聚的組成結構 (Bohnsack and Sutherland 1985)。

4.2 不同礁型對魚類群聚的影響

本研究共調查五種不同類型的人工魚礁，包括水泥礁、電桿礁、鋼鐵礁、漁

船礁、軍艦礁等，除了礁型本身材質的差異之外，水泥礁和鋼鐵礁為專門設計的人工結構體，礁體的構型能夠預先予以決定。礁體表面孔隙與洞穴的大小對於不同體型的魚有不同的影響，體型小的魚偏好躲藏在小孔洞中；體型稍大或移動能力強的魚中對於孔徑大小又有不同需求 (Hixon and Beets 1989; Wilson et al. 2007)，使用水泥礁或鋼鐵礁的好處便是能夠針對目標魚種做預先的構型設計。水泥礁本身性質穩定，可堆疊排列，然而長時間受到海流侵蝕下材質有可能崩解；鋼鐵礁的立體空間大，使用年限較長。然而兩者重量較大，施工難度高，且使用鋼鐵成本較高。較節省經費的作法為使用二次材料，將廢棄的電線桿切割、綑綁製成電桿礁，或是將經過處理的廢棄船隻、軍艦沉放入海中 (詹和劉，2011)。而在不同礁型之間是否如同 Walker et al. (2002) 得到沒有差異的結果，在本研究中以群聚結構、群聚指標、總尾數與生物量來做比較。

個別針對不同礁區，以 ANOSIM 比較礁型差異的結果顯示，在北部與西南礁區，群聚組成沒有明顯差異，另在東南礁區的軍艦礁與鋼鐵礁、離島礁區的電桿礁與鋼鐵礁在群聚結構上有顯著差異 (表 3, 4)。各區海域在物種豐富度 (D)、多樣性 (H') 及均勻度 (J) 三種群聚指標上，在礁型間沒有差異 (表 7)。

進一步分析顯示北部軍艦礁生物量大於水泥礁與漁船礁，鋼鐵礁生物量也大於水泥礁與漁船礁，而電桿礁生物量在測站間的差異較大，此可能與投礁的位置或是礁區的底質有關 (在其中有些魚礁區是投放在天然礁上)。西南礁區漁船礁的生物量大於水泥礁，林邊 (三) 鋼鐵礁與枋寮 (二) 的鋼鐵礁與生物量相差極大，此可能與枋寮 (二) 底棲覆蓋率有關 (5.5%；林邊 (三) 為 24~72%)。離島礁區電桿礁在總尾數方面，大於鋼鐵礁與軍艦礁，主要因各電桿礁測站記錄到 100~200 隻哈氏異康吉鰻 (*Heteroconger hassi*)，然而在其在生物量上的貢獻並不大，且其出現與人工魚礁設置與否較無相關。兩座鋼鐵礁中出現大量的尖翅燕魚 (*Platax teira*)，導致鋼鐵礁測站的生物量出現極高值。

北部和東南礁區軍艦礁聚魚效果良好，應與軍艦礁本身結構複雜有關，且由

於船身礁體垂直高度，容易吸引表層與底棲的魚種，相較於其他礁型有較高的生物量 (Lukens and Selberg 2004)。然而船艦的結構受到颱風影響的程度不一，Bell and Hall (1994) 認為 50 公尺以淺的船礁容易受到強烈颱風影響而位移。在綠島與小琉球的軍艦礁，受到各種物理性的侵蝕作用，大部分船身已解體斷裂，礁體結構碎片散布，因此在聚魚效果上大打折扣。

4.3 魚類群聚分布與環境因子關係

BIO-ENV 利用不同環境因子組合計算與魚類群聚的相關係數；CCA 則是將魚類群聚中的物種最大變化量在環境梯度上呈現出來。兩種分析方法的結果皆指出影響四個區域魚類群聚組成差異的環境因子為緯度、能見度、底質類型，且 CCA 結果指出總生物覆蓋率、藻類與沈積物厚度對魚類群聚也有影響。Briggs (1995) 認為生物多樣性隨著熱帶往溫帶而遞減；在本項研究中，魚類群聚沿著東北-西南的切線呈現南北兩大分群，在東南與離島礁區有較高的魚種多樣性，主要因為礁體所在位置受到不同的洋流系統所影響，可見緯度與經度對於魚類群聚結構具有重大的影響。前人研究認為溫度是影響魚類群聚最主要的因子 (Bortone et al. 1994; Shao et al. 1997; Ferreira et al. 2004)，根據國科會海洋學門資料庫中的水文與海流統計結果，台灣周圍海域 30 公尺深在夏季 (6~8 月) 水溫沒有明顯差異，由於天氣、海況等限制，調查時間集中在夏季以及前後一兩個月，因此在本研究中，溫度對於魚類群聚的影響並不明顯。

能見度 (水質清澈度) 與沈積物厚度兩項環境因子具有負相關的趨向 (圖 9)；一般而言，能見度佳的環境，少有沈積物堆積；能見度差的環境，沈積物堆積厚度高。Godoy et al. (2002) 發現在人工魚礁區魚類群聚與能見度呈現高度相關；Cyrus and Blader (1987) 則認為環境混濁度高，能夠減少幼魚被捕食。而沈積物厚度對魚類群聚為間接影響，底棲附著生物受到沈積物的影響更甚，例如沈積物的堆積會導致珊瑚窒息，甚至影響到其他無脊椎動物的附著 (Birrell et al. 2005；戴，

2006)。在 CCA 的結果中，離島、東南與西南礁區的魚類群聚與測站隨著能見度—沈積物厚度的環境梯度而分布在雙序圖上。

底質類型則與能見度—沈積物厚度的環境梯度呈現類似的影響情形，離島礁區底質類型以岩盤為主，水質清澈，少沈積物堆積；砂泥底質的西南礁區，水質混濁，沈積物堆積嚴重。

藻類覆蓋率及總生物覆蓋率為影響魚類群聚的次要生物性環境因子。藻類與底棲生物本身亦受到其他環境因子所影響；Fabricius et al. (2005) 與 McClanahan et al. (2007) 指出藻類的覆蓋率及生物量受到營養鹽多寡所影響，而藻類的光合作用效率又與光線有關，深度越深，水體混濁度越高，光合作用的效率便越差。台灣周遭海域營養鹽分布由中國沿岸至黑潮遞減 (Zhang et al. 2007)，儘管南灣由於營養鹽增加及食藻性魚類被移除導致相變 (Chang and Tseng 2010)，在其他東南與離島地區並無直接證據指出營養鹽的增加造成較高的藻類覆蓋率。由於人工魚礁區的分布深度，在區域間並無明顯差異，因此東南與離島地區有較高的藻類覆蓋率，此應與水質較清澈、光線穿透度高有關。Baynes and Szmant (1989) 認為附著生物的覆蓋率與物種多樣性受到海流的強弱與沈積作用有關，東南、離島礁區較高的底棲生物覆蓋率，特別是濾食性的附著生物，可能與這兩項環境因子有關。

整體而言，在影響魚類群聚分群的環境因子中，最主要的多屬非生物性的環境因子，而底棲生物相等生物性的環境因子則為影響魚類群聚的次要因子，呈現此結果可能為生物性環境因子（底棲生物）本身亦會受到各種物理性環境因子與魚類的捕食效應所影響，且每次的調查，魚類與底棲生物覆蓋率的消長情形可能處於動態平衡上的不同時間點，因此生物性環境因子與魚類群聚的相關性便不若非生物性的環境因子明顯。

本研究使用的代表魚種不超過五隻，在代表性魚種的選擇上若能列入更多區域性的代表魚種，應能增加分析結果的精確性與可靠性。

4.4 魚類群聚與食性組成

在一個魚類群聚中，魚種在食性上亦具有多樣性。在有限的可利用資源下，生物間發生競爭現象，並迫使他們分配使用不同的資源 (Ross 1986)。藉由分析食性功能群的組成，能幫助我們理解食物網中能量與生物量的流動情形 (Garrison and Link 2000b)。在底棲生物與魚類群聚的相關性研究中，有可能出現捕食者與食物呈現正相關，也有可能因為捕食效應下，捕食者多而食物減少，因而不易得到明確的解釋。因此，本研究著重在分析比較魚類的食性組成，據以推測不同的礁區對特定資源的需求程度。

以各食性組成在生物量的百分比來看，北部礁區以攝食底棲無脊椎動物的魚類為此區優勢食性功能群；西南礁區主要集中在食無脊椎動物食性和食魚食性；東南礁區以藻食性與食底棲無脊椎動物佔大部分比例；離島礁區則是浮游動物食性與底棲無脊椎動物食性較高。

底棲無脊椎動物大體上可分為兩大類：移動性與固著性。移動性無脊椎動物包含甲殼類、軟體動物等，除了在岩礁基質外，也能分布在周遭砂泥底質；固著性無脊椎動物包含珊瑚、苔蘚蟲、海鞘、海綿等，常附著在堅硬的基質上 (Ferreira et al. 2004)。北部礁區魚類食性集中在底棲無脊椎動物食性上，在排序中僅有石珊瑚與藤壺的覆蓋率與魚類群聚相關，但並不能代表他們為這些魚類的主要食物來源，可能僅為棲所偏好上的相關。在熱帶與溫帶礁區的研究中，捕食移動性底棲無脊椎動物的魚類是最主要的食性類群 (Ebeling and Hixon 1991; Jones et al. 1991)，棲息在北部魚礁區周圍的底棲無脊椎動物的資源量應相當豐富，方足以提供食底棲無脊椎動物的魚類捕食，不過一般在潛水調查中容易低估的移動性無脊椎動物，因此其重要性並未在環境因子分析中顯現出來。

西南礁區中聚集了數量相當多的雀鯛與天竺鯛，而從排序分析中並無底棲生物與魚類群聚呈現相關，這些小型魚類的分布可能與礁體提供可避敵的棲所有關，而食物並不是一個限制因子。不過，這些聚集的小型魚類，同時也吸引了食魚食

性及肉食性魚類如笛鯛與石斑等，因此西南礁區中食魚食性佔生物量的百分比比其他地區來得高。

東南礁區生物量百分比比較高的為底棲無脊椎動物食性與藻食性，其中一部分包含雜食性。Ferreira et al. (2004) 認為雜食性的魚類分布在緯度較高的地區，由於食性較具彈性，面對季節性的環境擾動時會具有優勢。在本區海域魚礁區中，雜食性中生物量貢獻最高的鋸尾鯛 (*Prionurus scalprum*) 並不具有高緯度分佈，且在排序圖中亦與藻類的相關性不高，因此底棲無脊椎動物可能為其較偏好的食物來源。

離島礁區食浮游動物的魚類在數量上或生物量上所佔的百分比相當高，此有異於其他三區。Sheppard et al. (2009) 認為食浮游動物魚類的食物除了由洋流從外地帶來以外，一部分來自於礁區，包括珊瑚同步集體產卵，或是其他無脊椎動物或魚類所釋放的配子等。此外，黑潮流經綠島附近受到地形與洋流壓力的影響下，海域出現湧升流，使得營養鹽增加，帶來大量的浮游生物，聚集眾多的食浮游動物魚類在此覓食 (范，2008)。

整體而言，在人工魚礁區最主要的食性構成為底棲無脊椎動物食性，與先前研究類似 (Khalaf and Kochzius 2002; Relini et al. 2002; Ferreira et al. 2004; Floeter et al. 2004)。自營性生態系在東南與離島礁區較可能出現，在這兩區亦常見珊瑚蟲食性與清潔食性魚種，在群聚的食性結構上較北部或西部複雜。

4.5 結論

透過魚類群聚結構、生物群聚指標、總尾數與生物量的分析，我們發現四個魚礁區在各個項目的檢驗中皆呈現顯著差異，因此日後針對各個測站的聚魚效果探討時，應與同礁區內魚類群聚組成類似的測站相比較，避免跨測站比較時受到礁區間的差異性所影響。

礁型方面，雖然各項生物群聚指標的分析中皆無觀察到礁型不同的差異，但

是東南礁區的軍艦礁與鋼鐵礁在魚類群聚組成上具有差異，北部與東南礁區的軍艦礁魚類生物量更是顯著高於其他礁型，而其他礁型間的差異則不明顯。

在影響魚類群聚分群的環境因子中，最主要的多屬非生物性的環境因子，例如礁體的位置(經度與緯度)、環境的狀況(能見度、沈積物、底質類型)等，而底棲生物相等生物性的環境因子則為影響魚類群聚的次要因子。

食性結構的分析顯示底棲無脊椎動物食性為各礁區主要的食性類群；另西南礁區多肉食性魚類、離島礁區多浮游動物食性魚類；東南及離島礁區藻類覆蓋率高，也有較高的食藻性魚類群聚，食珊瑚蟲與清潔食性的魚類亦常出現，相較而言，北部與西南礁區食性結構的組成上則相對單純。然而就經濟性魚種的培育上，北部與西南礁區的效果較明顯。故在人工魚礁的規劃與管理上，宜就投放設置人工魚礁的目的不同，分區考量。



伍、參考文獻

- 王敏昌、劉毓興、陳靜怡、詹榮桂，2004，台灣人工魚礁的效益評估。台灣周邊海域人工魚礁區整體規劃研討會論文集。詹榮桂編。中央研究院生物多樣性研究中心，77-94 頁
- 范光龍，2008，海洋環境概論：談台灣沿海環境。台北市，台灣西書
- 許澤宇，2008，複雜度觀點下之最佳化空間佈置：人工棲地設計與應用。南華大學企業管理系管理科學博士論文，100 頁
- 陳哲聰、詹榮桂、戴昌鳳，劉仁銘，2008，屏東及台東海域人工魚礁區調查評估工作。行政院農業委員會漁業署漁業發展計畫 96 年度單一計畫期末報告，596 頁
- 詹榮桂、王敏昌、林宏誠、劉毓興、陳靜怡、宋大巖、何政擇、邵奕達，2003，台灣周邊海域人工魚礁區之整體規劃。九十二年度行政院農業委員會漁業署委託計畫執行成果報告，186 頁
- 詹榮桂、王敏昌、劉毓興、陳靜怡、宋大巖、邵奕達、何政擇，2004，台灣周邊海域人工魚礁區之整體規劃 (二)。九十三年度行政院農業委員會漁業署委託計畫執行成果報告，425 頁
- 詹榮桂、劉仁銘，2009，人工魚礁漁業效益調查研究。行政院農業委員會漁業署 98 年度科技計畫研究報告，286 頁
- 詹榮桂、劉仁銘，2010，人工魚礁漁業效益調查及可行性評估。行政院農業委員會漁業署 99 年度科技計畫研究報告，231 頁
- 詹榮桂、劉仁銘，2011，人工魚礁完全手冊。中央研究院生物多樣性中心，42 頁
- 戴昌鳳，2006，氣候變遷對我國之衝擊與調適策略研究-子計畫三：氣候變遷與異常對我國海域珊瑚礁生物群聚之衝擊評估及因應策略研究。94 年度「環

保署/國科會空污防制科研合作計畫」成果完整報告，46 頁。

- Angel A, Ojeda FP (2001) Structure and trophic organization of subtidal fish assemblages on the northern Chilean coast: the effect of habitat complexity. *Marine Ecology Progress Series* 217: 81-91
- Ardizzone GD, Somaschini A, Belluscio A (1997) Biodiversity of European artificial reefs. In: Jensen AC (ed) *European Artificial Reef Research, Proceedings of the 1st EARRN Conference, Ancona, Italy, March 1996*, pp 39-59
- Arias-González JE, Done TJ, Page CA, Cheal AJ, Kininmonth S, Garza-Pérez JR (2006) Towards a reefscape ecology: relating biomass and trophic structure of fish assemblages to habitat at Davies Reef, Australia. *Marine Ecology Progress Series* 320: 29-41
- Baynes TW, Szmant AM (1989) Effect of current on the sessile benthic community structure of an artificial reef. *Bulletin of Marine Science* 44: 545-566
- Bell M, Hall WJ (1994) Effects of Hurricane Hugo on South Carolina's marine artificial reefs. *Bulletin of Marine Science*, 55 2: 836-847
- Bellwood DR, Wainwright PC, Fulton CJ, Hoey A (2002) Assembly rules and functional groups at global biogeographical scales. *Functional Ecology* 16: 557-562
- Birrell CL, McCook LJ, Willis BL (2005) Effects of algal turfs and sediment on coral settlement. *Marine Pollution Bulletin* 51: 408-414
- Bohnsack JA (1989) Are high densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference? *Bulletin of Marine Science* 44: 631-645
- Bohnsack JA, Sutherland DL (1985) Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities. *Bulletin of Marine Science* 37: 11-39
- Bortone SA, Martin T, Bundrick CM (1994) Factors affecting fish assemblage

- development on a modular artificial reef in a northern Gulf of Mexico estuary. *Bulletin of Marine Science* 55: 319-332
- Bortone SA, Samoilys MA, Francour P (2000) Fish and macroinvertebrate evaluation methods. In: Seaman W (ed) *Artificial Reef Evaluation: With Application to Natural Marine Habitats*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp 127-164
- Briggs JC (1995) *Global biogeography*. Elsevier, Amsterdam
- Brock RE (1982) A critique of the visual census method for assessing coral reef fish populations. *Bulletin of Marine Science* 32: 269-276
- Brotto DS, Krohling W, Zalmon IR (2006) Fish community modeling agents on an artificial reef on the northern coast of Rio de Janeiro-Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 54: 205-212
- Bull AS, Kendall JJ (1994) An indication of the process: offshore platforms as artificial reefs in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 55 55: 1086-1098
- Chang JS, Tseng CC (2010) Effects of recent ecological events on the distribution and growth of macroalgae in marine waters around Taiwan. *Bulletin of Fisheries Research Agency* 32: 11-17
- Charbonnel E, Serre C, Ruitton S, Harmelin JG, Jensen A (2002) Effects of increased habitat complexity on fish assemblages associated with large artificial reef units (French Mediterranean coast). *ICES Journal of Marine Science* 59: S208-S213
- Chen JP, Shao KT, Ho LT, Chen LS, Kao PH, Wu YY (1992) Fish fauna and their geographical distribution in the coastal waters around Hsiao-liu-chiu, southwestern Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica* 3: 105-134
- Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143
- Clarke KR, Gorley RN (2006) *PRIMER v6: User manual/tutorial*. PRIMER-E,

Plymouth, UK

Cole AJ, Pratchett MS, Jones GP (2008) Diversity and functional importance of coral feeding fishes on tropical coral reefs. *Fish and Fisheries* 9: 286-307

Cyrus DP, Blaber SJM (1987) The influence of turbidity on juvenile marine fishes in estuaries. Part 2. Laboratory studies, comparisons with field data and conclusions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 109: 71-91

Ebeling AW, Hixon MA (1991) Tropical and temperate reef fishes: comparison of community structure. In: Sale PF (ed) *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic Press, San Diego, CA, pp 509-563

Fabricius K, De'ath G, McCook L, Turak E, Williams DMB (2005) Changes in algal, coral and fish assemblages along water quality gradients on the inshore Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin* 51: 384-398

Fast DE, Pagan FA (1974) Comparative observations of an artificial tire reef and natural patch reefs off southwestern Puerto Rico. In: Colunga L, Stone R (eds) *Artificial Reef Conference*, Texas A&M University, pp 49-50

Ferreira CEL, Floeter SR, Gasparini JL, Ferreira BP, Joyeux JC (2004) Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. *Journal of Biogeography* 31: 1093-1106

Ferreira CEL, Gonçalves JEA (2006) Community structure and diet of roving herbivorous reef fishes in the Abrolhos Archipelago, south western Atlantic. *Journal of Fish Biology* 69: 1533-1551

Ferreira CEL, Gonçalves JEA, Coutinho R (2001) Community structure of fishes and habitat complexity on a tropical rocky shore. *Environmental Biology of Fishes* 61: 353-369

Fitzhardinge RC, Bailey-Brock JH (1989) Colonization of artificial reef materials by

- corals and other sessile organisms. *Bulletin of Marine Science* 44: 567-579
- Floeter SR, Ferreira CEL, Dominici-Arosemena A, Zalmon IR (2004) Latitudinal gradients in Atlantic reef fish communities: trophic structure and spatial use patterns. *Journal of Fish Biology* 64: 1680-1699
- Gallaway BJ, Lewbel GS (1982) The ecology of petroleum platforms in the northwestern Gulf of Mexico: a community profile, FWS/OBS-82/27, Open File Report 82-03. USFWS Office of Biology Services, Washington, DC
- Garrison LP, Link JS (2000a) Dietary guild structure of the fish community in the Northeast United States continental shelf ecosystem. *Marine Ecology Progress Series* 202: 231-240
- Garrison LP, Link JS (2000b) Fishing effects on spatial distribution and trophic guild structure of the fish community in the Georges Bank region. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 57: 723-730
- Godoy EAS, Almeida TCM, Zalmon IR (2002) Fish assemblages and environmental variables on an artificial reef north of Rio de Janeiro, Brazil. *ICES Journal of Marine Science* 59: S138-S143
- González-Gándara C, Membrillo-Venegas N, Nuñez-Lara E, Arias-González JE (1999) The relationship between fish and reefscapes in the Alacranes Reef, Yucatan, Mexico: a preliminary trophic functioning analysis. *Vie et milieu* 49: 275-286
- Guerin AJ (2009) Marine communities of North Sea offshore platforms, and the use of stable isotopes to explore artificial reef foodwebs. Faculty of Engineering Science and Mathematics, School of Ocean and Earth Science, University of Southampton, Ph.D. Thesis
- Hixon MA, Beets JP (1989) Shelter characteristics and Caribbean fish assemblages: experiments with artificial reefs. *Bulletin of Marine Science* 44: 666-680

- Honório PPF, Ramos RTC, Feitoza BM (2010) Composition and structure of reef fish communities in Paraíba State, north eastern Brazil. *Journal of Fish Biology* 77: 907-926
- Hueckel GJ, Buckley RM (1989) Predicting fish species on artificial reefs using indicator biota from natural reefs. *Bulletin of Marine Science* 44: 873-880
- Jan RQ, Liu YH, Chen CY, Wang MC, Song GS, Lin HC, Shao KT (2003) Effects of pile size of artificial reefs on the standing stocks of fishes. *Fisheries Research* 63: 327-337
- Jennings S, Grandcourt EM, Polunin NVC (1995) The effects of fishing on the diversity, biomass and trophic structure of Seychelles' reef fish communities. *Coral Reefs* 14: 225-235
- Jennings S, Polunin NVC (1996) Effects of fishing effort and catch rate upon the structure and biomass of Fijian reef fish communities. *Journal of Applied Ecology* 33: 400-412
- Jensen AC, Collins KJ, Lockwood APM (2000) Current issues relating to artificial reefs in European seas. In: Jensen AC, Collins KJ, Lockwood APM (eds) *Artificial Reefs in European Seas*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 489-499
- Jones GP, Ferrel DJ, Sale PF (1991) Fish predation and its impact on the invertebrates of coral reefs and adjacent sediments. In: Sale PF (ed) *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic Press, San Diego, CA, pp 156-179
- Kaiser MJ (2006) The Louisiana artificial reef program. *Marine Policy* 30: 605-623
- Khalaf MA, Kochzius M (2002) Changes in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Marine Ecology Progress Series* 239: 287-299

- Leitão F, Santos MN, Monteiro CC (2007) Contribution of artificial reefs to the diet of the white sea bream (*Diplodus sargus*). ICES Journal of Marine Science 64: 473-478
- Lepš J, Šmilauer P (2003) Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lukens RR, Selberg C (2004) Guidelines for marine artificial reef materials. Compiled by the Artificial Reef Subcommittees Atlantic and Gulf States Marine Fisheries Commission, pp 198
- Masuda R, Shiba M, Yamashita Y, Ueno M, Kai Y, Nakanishi A, Torikoshi M, Tanaka M (2010) Fish assemblages associated with three types of artificial reefs: density of assemblages and possible impacts on adjacent fish abundance. Fishery Bulletin 108: 162-173
- Matthews KR (1985) Species similarity and movement of fishes on natural and artificial reefs in Monterey Bay, California. Bulletin of Marine Science 37: 252-270
- McClanahan TR, Carreiro-Silva M, DiLorenzo M (2007) Effect of nitrogen, phosphorous, and their interaction on coral reef algal succession in Glover's Reef, Belize. Marine Pollution Bulletin 54: 1947-1957
- Moreau S, Péron C, Pitt KA, Connolly RM, Lee SY, Meziane T (2008) Opportunistic predation by small fishes on epibiota of jetty pilings in urban waterways. Journal of Fish Biology 72: 205-217
- Muñoz AA, Ojeda FP (1997) Feeding guild structure of a rocky intertidal fish assemblage in central Chile. Environmental Biology of Fishes 49: 471-479
- Nakamura M (1985) Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan. Bulletin of Marine Science 37: 271-278
- O'Leary E, Hubbard T, O'Leary D (2001) Artificial Reefs Feasibility Study. Coastal

Resources Centre National University of Ireland Cork

- Redman RA, Szedlmayer ST (2009) The effects of epibenthic communities on reef fishes in the northern Gulf of Mexico. *Fisheries Management and Ecology* 16: 360-367
- Relini G, Relini M, Torchia G, De Angelis G (2002) Trophic relationships between fishes and an artificial reef. *ICES Journal of Marine Science* 59: S36-S42
- Relini G, Zamboni N, Tixi F, Torchia G (1994) Patterns of sessile macrobenthos community development on an artificial reef in the Gulf of Genoa (northwestern Mediterranean). *Bulletin of Marine Science* 55: 745-771
- Rilov G, Benayahu Y (2000) Fish assemblage on natural versus vertical artificial reefs: the rehabilitation perspective. *Marine Biology* 136: 931-942
- Rilov G, Benayahu Y (2002) Rehabilitation of coral reef-fish communities: the importance of artificial-reef relief to recruitment rates. *Bulletin of Marine Science* 70: 185-197
- Ross ST (1986) Resource partitioning in fish assemblages: a review of field studies. *Copeia* 1986: 352-388
- Sammarco PW, Atchison AD, Boland GS (2004) Expansion of coral communities within the Northern Gulf of Mexico via offshore oil and gas platforms. *Marine Ecology Progress Series* 280: 129-143
- Sánchez-Jerez P, Gillanders BM, Rodríguez-Ruiz S, Ramos-Esplá AA (2002) Effect of an artificial reef in *Posidonia* meadows on fish assemblage and diet of *Diplodus annularis*. *ICES Journal of Marine Science* 59: S59-S68
- Santos MN, Leitão F, Moura A, Cerqueira M, Monteiro CC (2011) *Diplodus spp.* on artificial reefs of different ages: influence of the associated macrobenthic community. *ICES Journal of Marine Science* 68: 87-97

Sargent PS, Gregory RS, Schneider DC (2006) Density responses of subarctic coastal marine fish and crabs to artificial reefs. *Transactions of the American Fisheries Society* 135: 348-360

Scharf FS, Manderson JP, Fabrizio MC (2006) The effects of seafloor habitat complexity on survival of juvenile fishes: Species-specific interactions with structural refuge. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 335: 167-176

Seaman W, Jensen AC (2000) Purposes and practices of artificial reef evaluation. In: Seaman W (ed) *Artificial Reef Evaluation: With Application to Natural Marine Habitats*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp 1-20

Seaman W, Sprague LM (1991) Artificial habitat practices in aquatic system. In: Seaman W, Sprague LM (eds) *Artificial habitats for marine and freshwater fisheries*. Academic Press, Inc, pp 1-29

Shao KT, Chen JP, Kao PH, Wu CY (1993) Fish fauna and their geographical distribution along the western coast of Taiwan. *Acata Zoologica Taiwanica* 4: 113-140

Shao KT, Chen JP, Wang SC (1997) Biogeography and database of marine fishes in Taiwan waters. In: Séret B, Sire JY (eds) *Proceedings of the 5th Indo-Pacific Fish Conference*, Nouméa, 3-8 November 1997, pp 673-680

Sheppard CRC, Davy SK, Pilling GM (2009) *The biology of coral reefs*. Oxford University Press, Oxford, UK

Sogard SM (1989) Colonization of artificial seagrass by fishes and decapod crustaceans: importance of proximity to natural eelgrass. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 133: 15-37

Spieler RE, Gilliam DS, Sherman RL (2001) Artificial substrate and coral reef

- restoration: What do we need to know to know what we need. *Bulletin of Marine Science* 69: 1013-1030
- Svane I, Petersen JK (2001) On the problems of epibioses, fouling and artificial reefs, a review. *Marine Ecology* 22: 169-188
- ter Braak CJF, Šmilauė P (2002) Canoco 4.5: Reference Manual and Canodraw for Windows. User's Guide: Software Form Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, N.Y.
- Walker BK, Henderson B, Spieler RE (2002) Fish assemblages associated with artificial reefs of concrete aggregates or quarry stone offshore Miami Beach, Florida, USA. *Aquatic Living Resources* 15: 95-105
- Wen CKC, Pratchett MS, Shao KT, Kan KP, Chan BKK (2010) Effects of habitat modification on coastal fish assemblages. *Journal of Fish Biology* 77: 1674-1687
- Williams DMB (1982) Patterns in the distribution of fish communities across the central Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 1: 35-43
- Wilson SK, Graham NAJ, Polunin NVC (2007) Appraisal of visual assessments of habitat complexity and benthic composition on coral reefs. *Marine Biology* 151: 1069-1076
- Zhang J, Liu SM, Ren JL, Wu Y, Zhang GL (2007) Nutrient gradients from the eutrophic Changjiang (Yangtze River) Estuary to the oligotrophic Kuroshio waters and re-evaluation of budgets for the East China Sea Shelf. *Progress in Oceanography* 74: 449-478

陸、圖

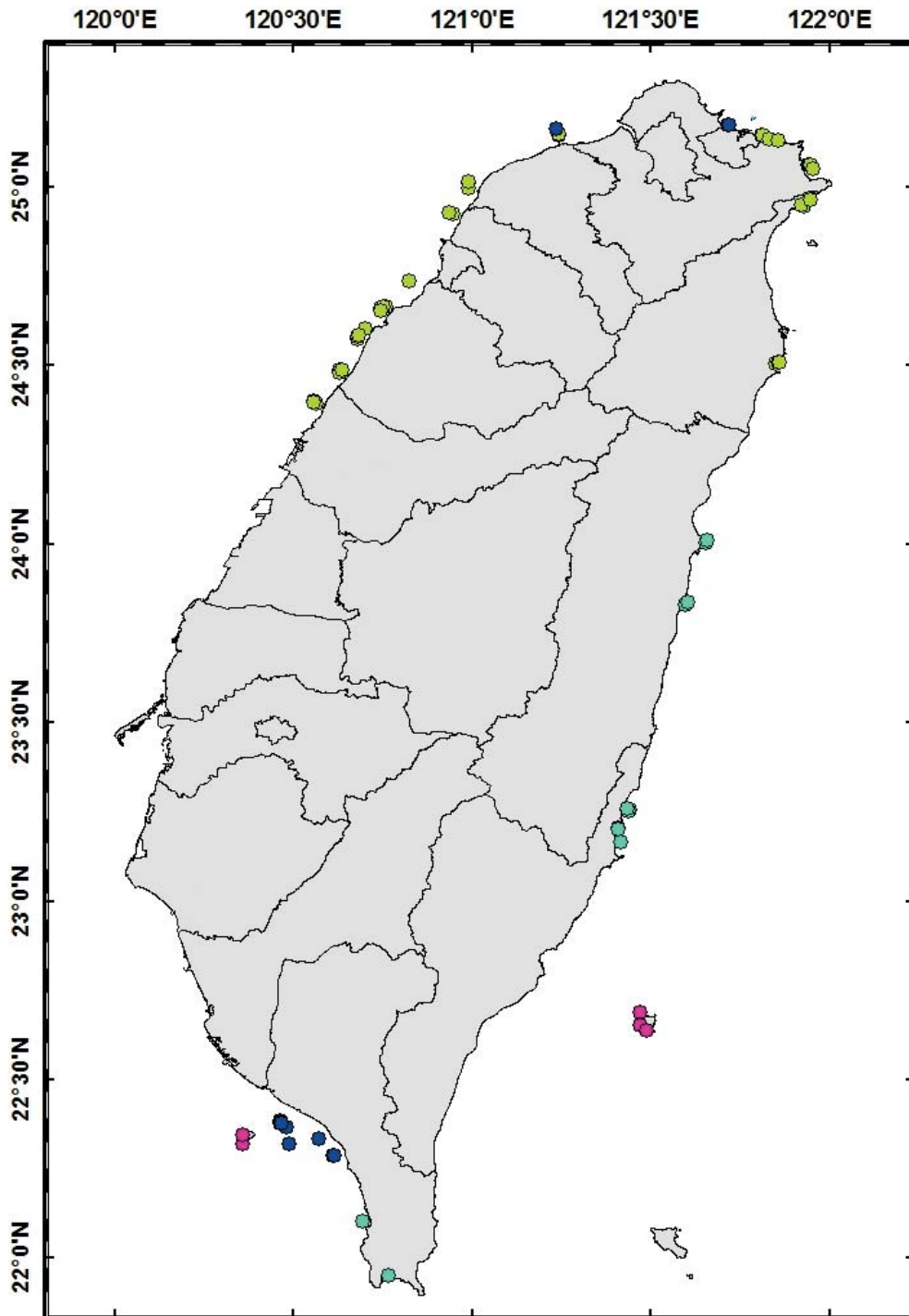


圖 1. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站的分布位置。測站顏色依魚類群聚集群分析結果分為四區。(●：北部；●：西南；●：東南；●：離島)

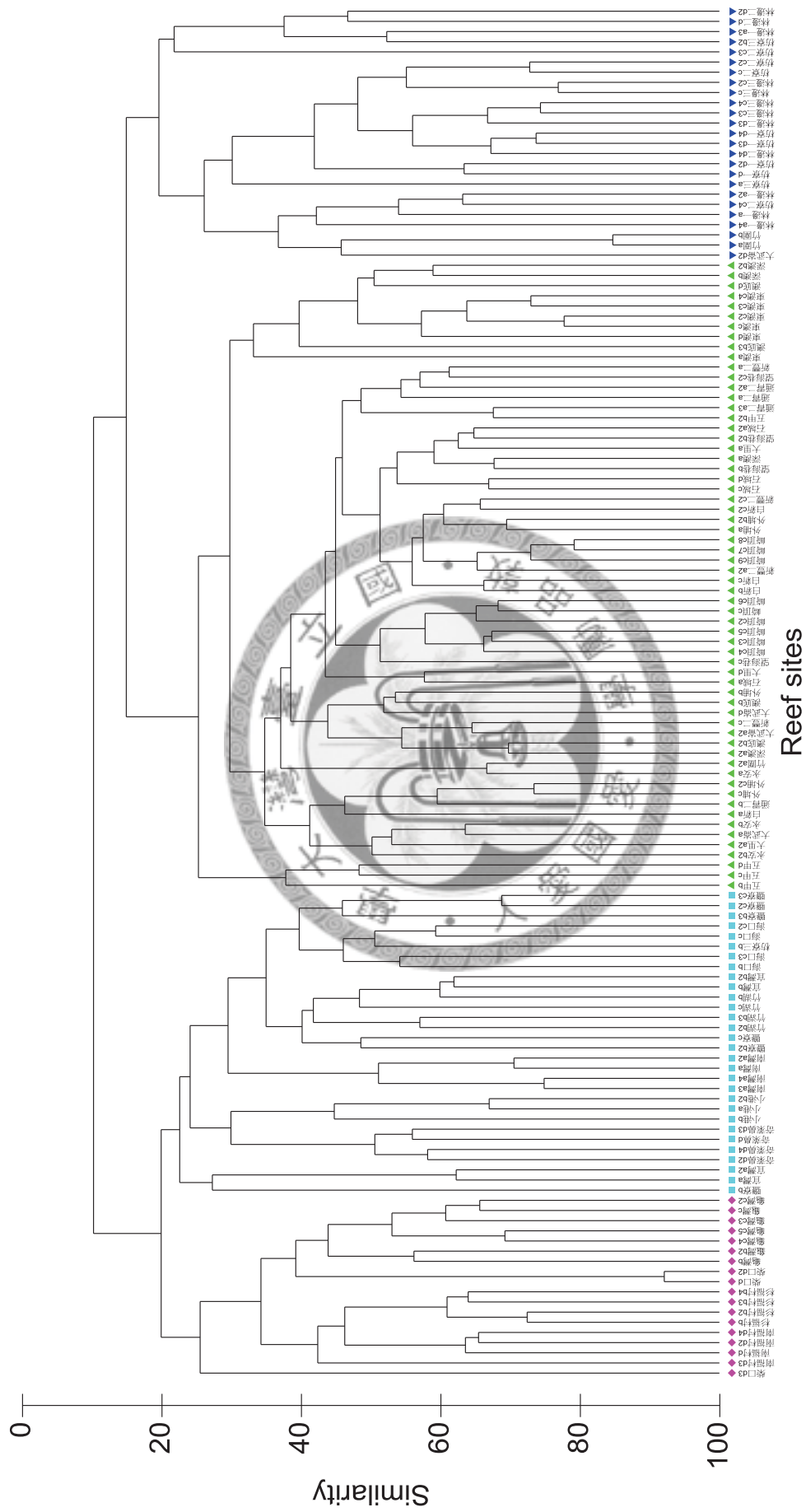


圖 2. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站魚類群聚結構的集群分析結果。(▲：北部；▼：西南；■：東南；◆：離島)

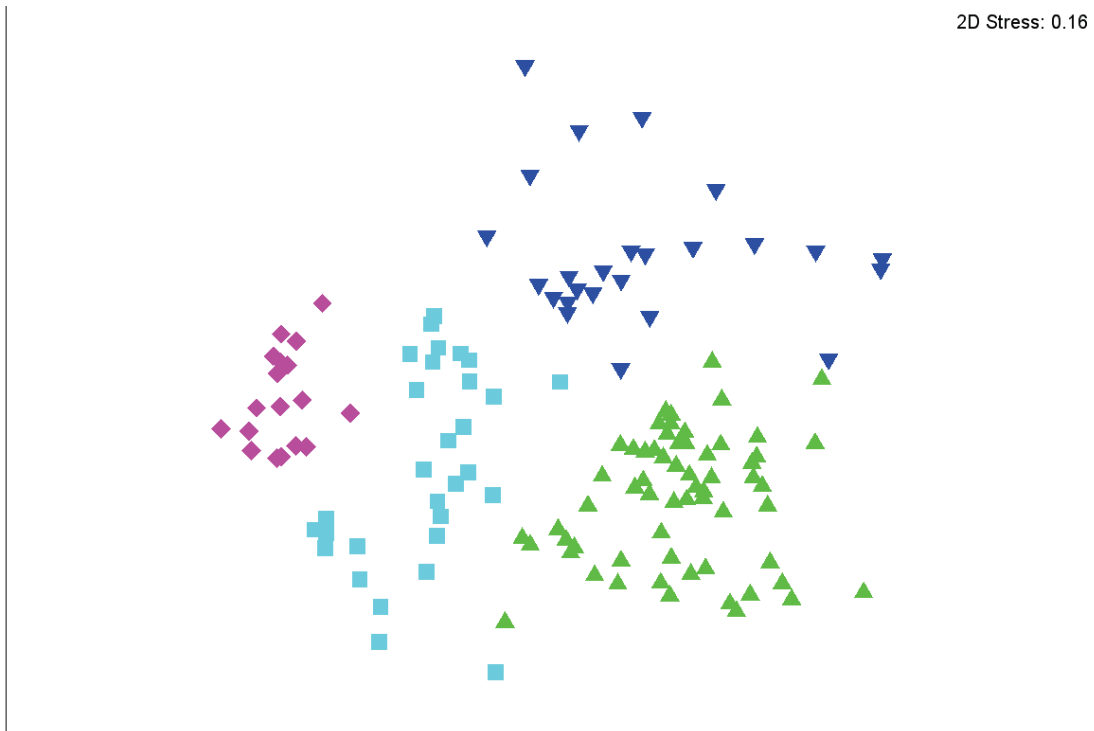


圖 3. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站的魚類群聚 MDS 分析結果。(▲：北部；▼：西南；■：東南；◆：離島)



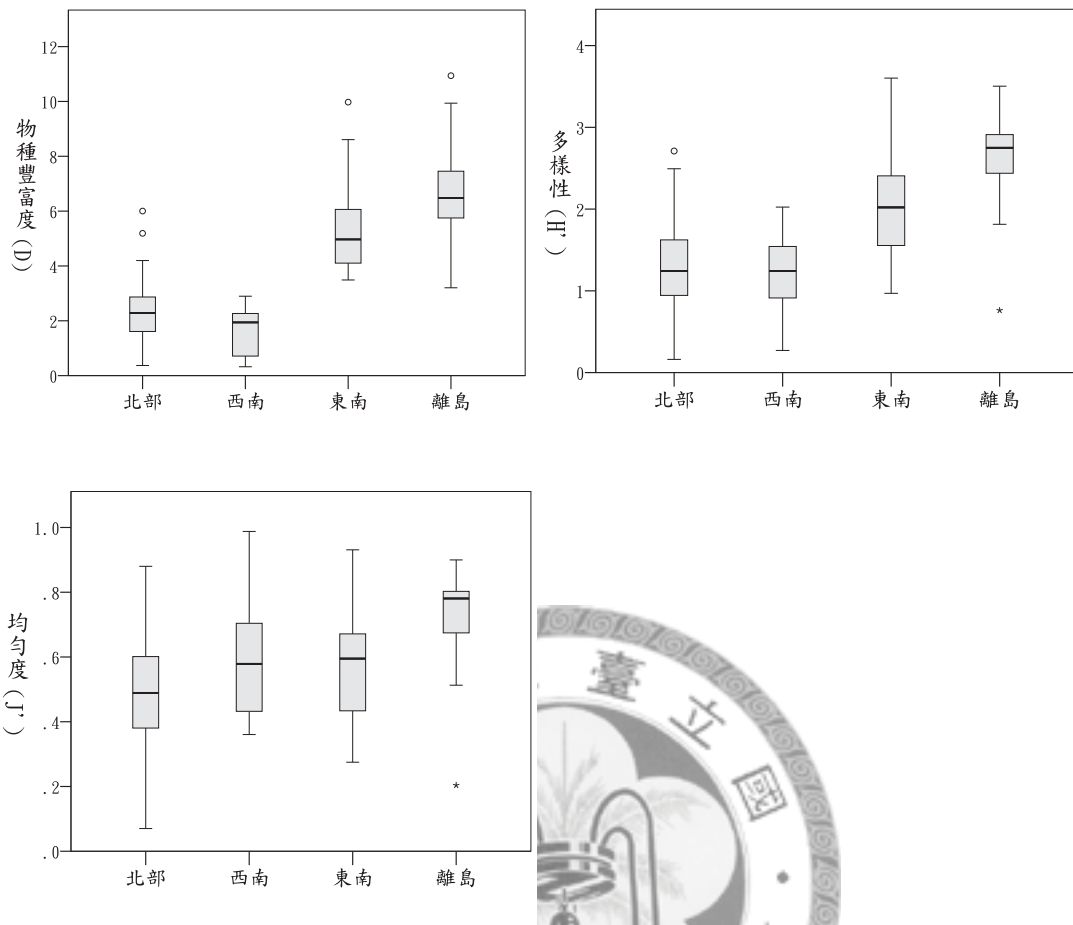


圖 4. 台灣周圍海域四個分區的人工魚礁測站間的魚類群聚指標比較。
 (—：中位數；□：四分位距， $IQR=Q3-Q1$ ；┆： $Q3+1.5*IQR$ ；┆： $Q1-1.5*IQR$ ；
 ○：離群值；*：極端離群值)

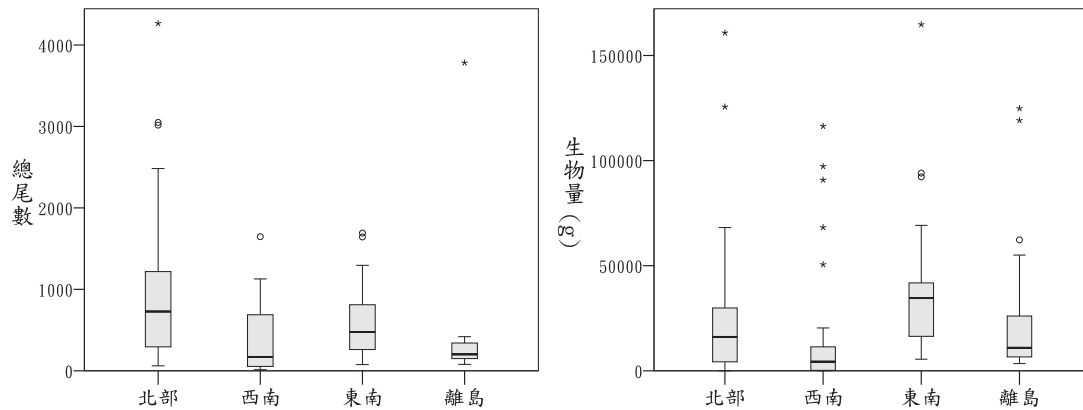


圖 5. 台灣周圍海域四個分區的人工魚礁測站間的魚類總尾數與生物量比較。

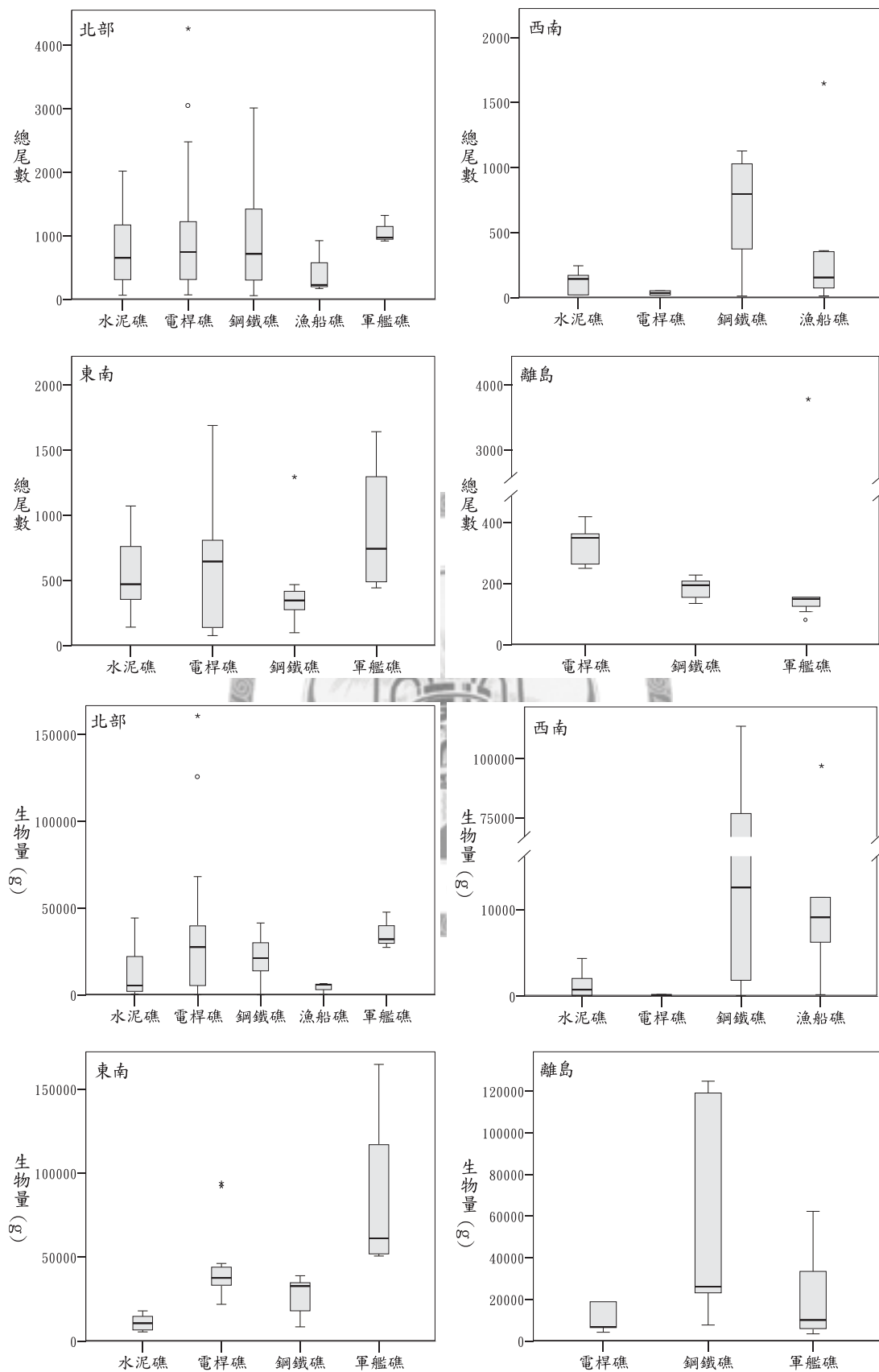


圖 6. 台灣周圍海域各分區中不同礁型的人工魚礁測站魚類總尾數及生物量比較。

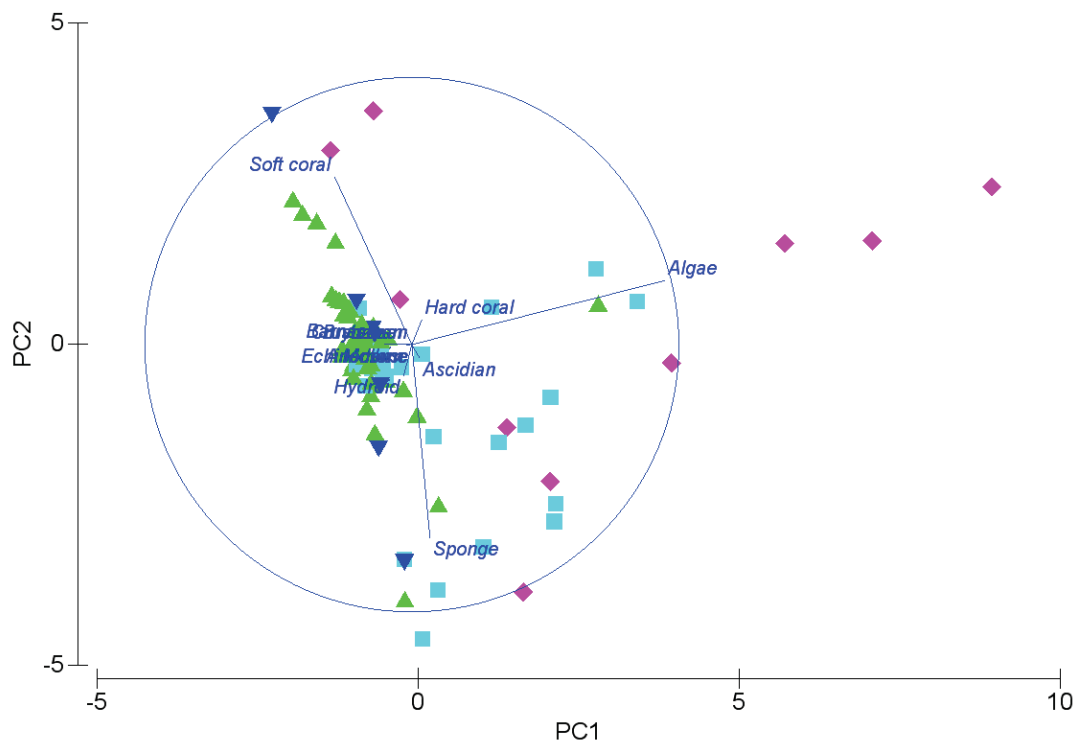


圖 7. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站中 12 種底棲生物覆蓋率的主成分分析圖。
 (測站顏色依魚類及群分析結果分區：▲：北部；▼：西南；■：東南；◆：離島)

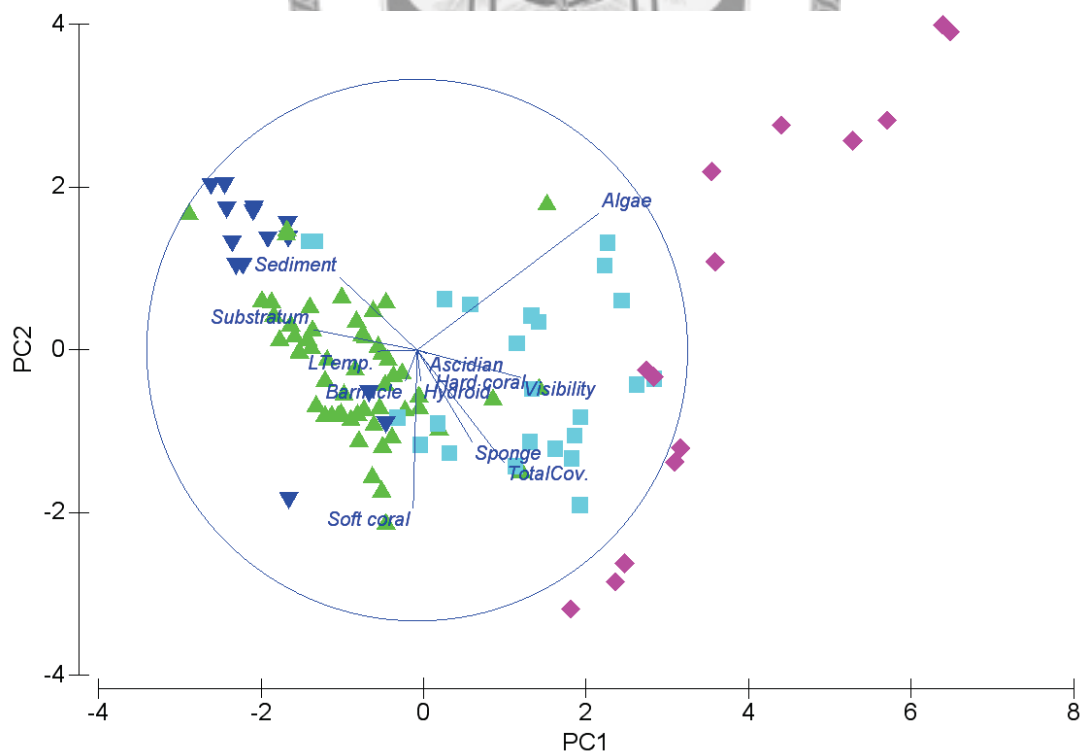


圖 8. 基於圖 7 的分析結果，挑選出人工魚礁測站中較顯著的生物性環境因子與非生物性環境因子的主成分分析圖。
 (測站顏色依魚類及群分析結果分區：▲：北部；▼：西南；■：東南；◆：離島)

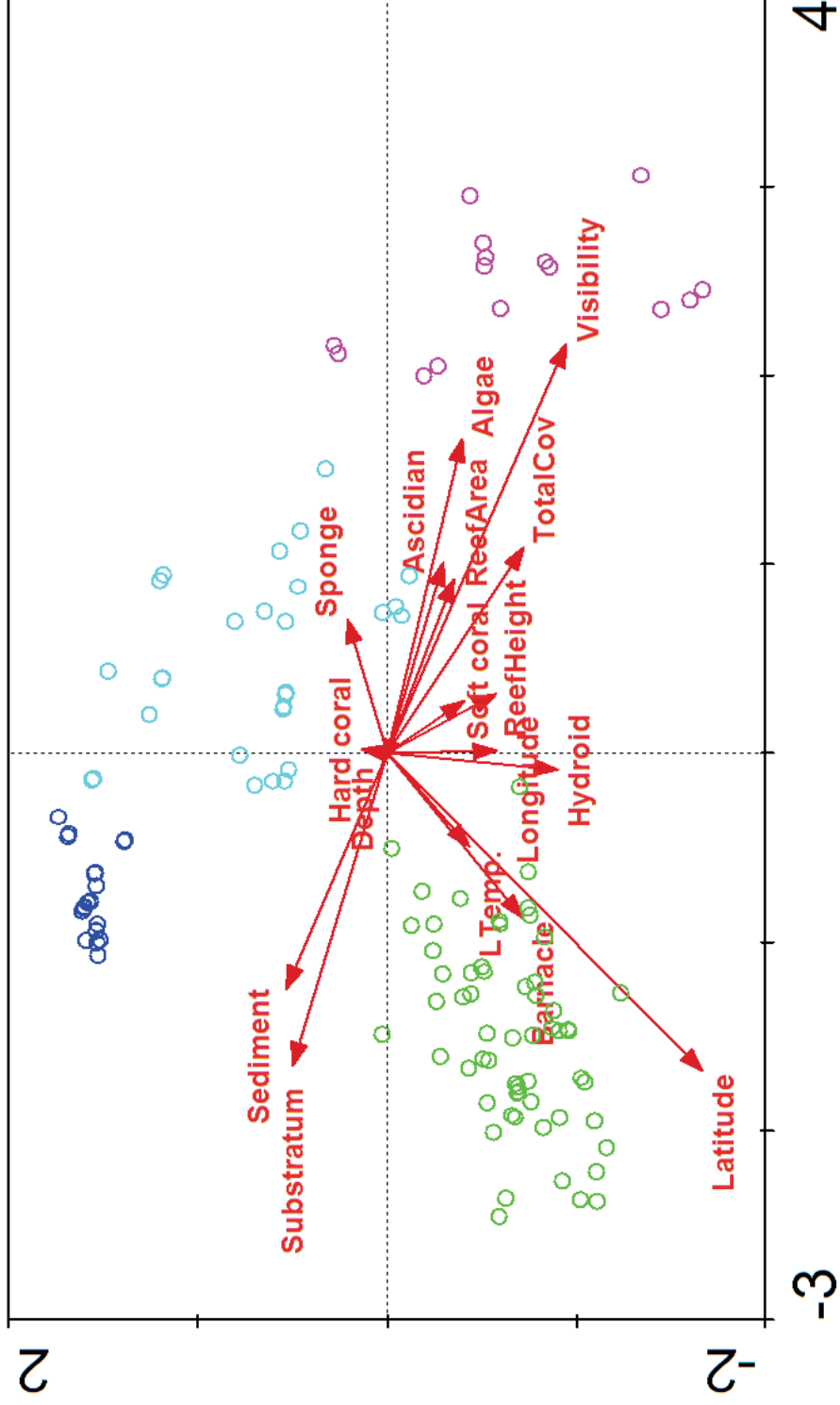


圖 9. 台灣周圍海域 135 座人工魚礁測站與環境變數之典型對應分析雙序圖。

(●：北部測站；●：西南測站；●：東南測站；●：離島測站)

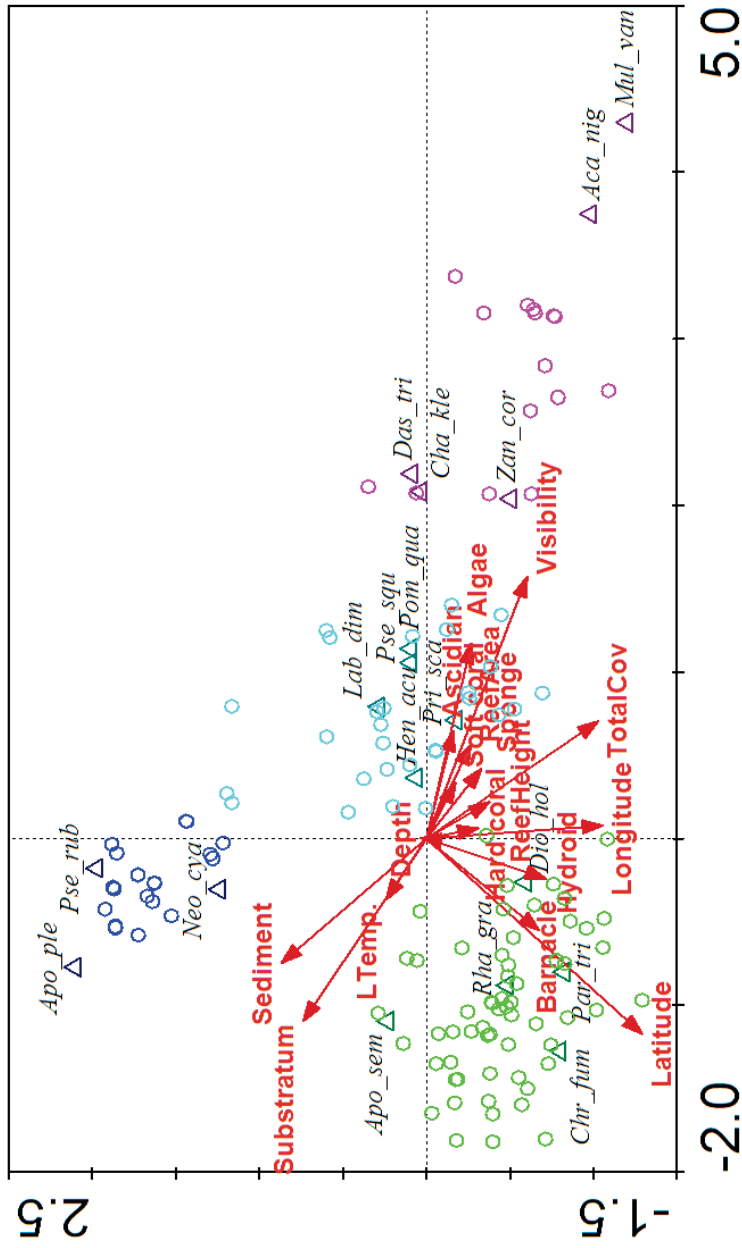


圖 10. 台灣周圍海域 135 個測站之 18 種代表性魚種、135 個測站與環境變數之典型對應分析三序圖。

(○：西南測站；○：東南測站；△：離島測站。△：北部地區代表魚種；△：西南地區代表魚種；△：東南地區代表魚種；△：離島地區代表魚種。Chr_fum：燕尾光鰓雀鯛；Par_tri：三線雞魚；Apo_sem：半線天竺鯛；Rha_gra：箭天竺鯛；Dio_hol：六斑二齒鮚；Neo_cya：藍新雀鯛；Pse_rub：紅帶擬花鱸；Apo_ple：側帶天竺鯛；Pse_squ：金擬花鱸；Lab_dim：裂唇魚；Pom_qua：四帶雞魚；Hen_acu：白吻雙帶立旗鯛；Pri_sca：鋸尾鯛；Cla_kle：克氏蝴蝶魚；Aca_nig：褐斑刺尾鯛；Das_tri：三班圓雀鯛；Mul_van：金帶擬鬚鯛；Zan_cor：角鎌魚)

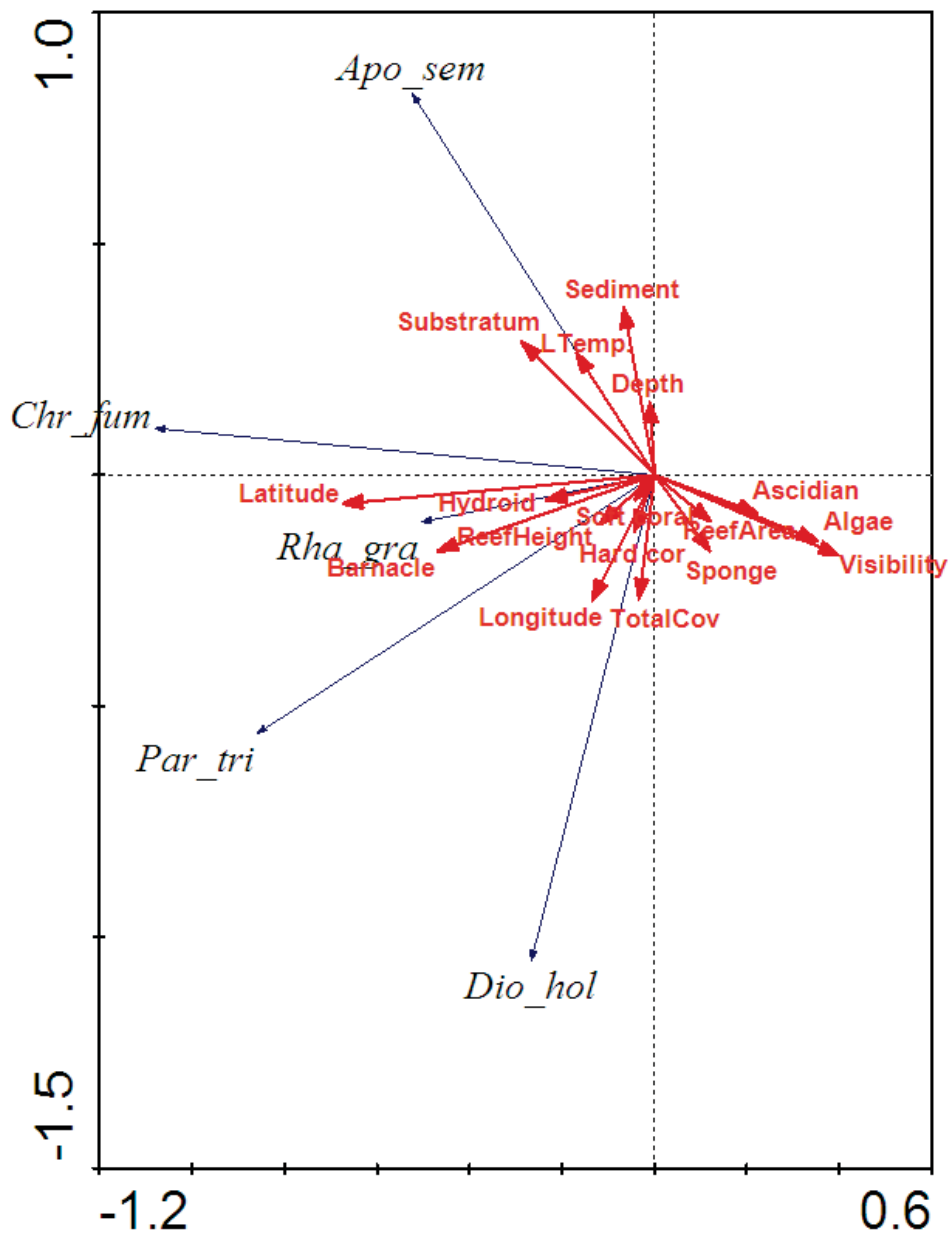


圖 11. 台灣北部人工魚礁的代表性魚種與環境變數之冗餘分析雙序圖。
 (*Chr_fum*：燕尾光鰓雀鯛；*Par_tri*：三線雞魚；*Apo_sem*：半線天竺鯛；*Rha_gra*：
 箭天竺鯛；*Dio_hol*：六斑二齒魷)

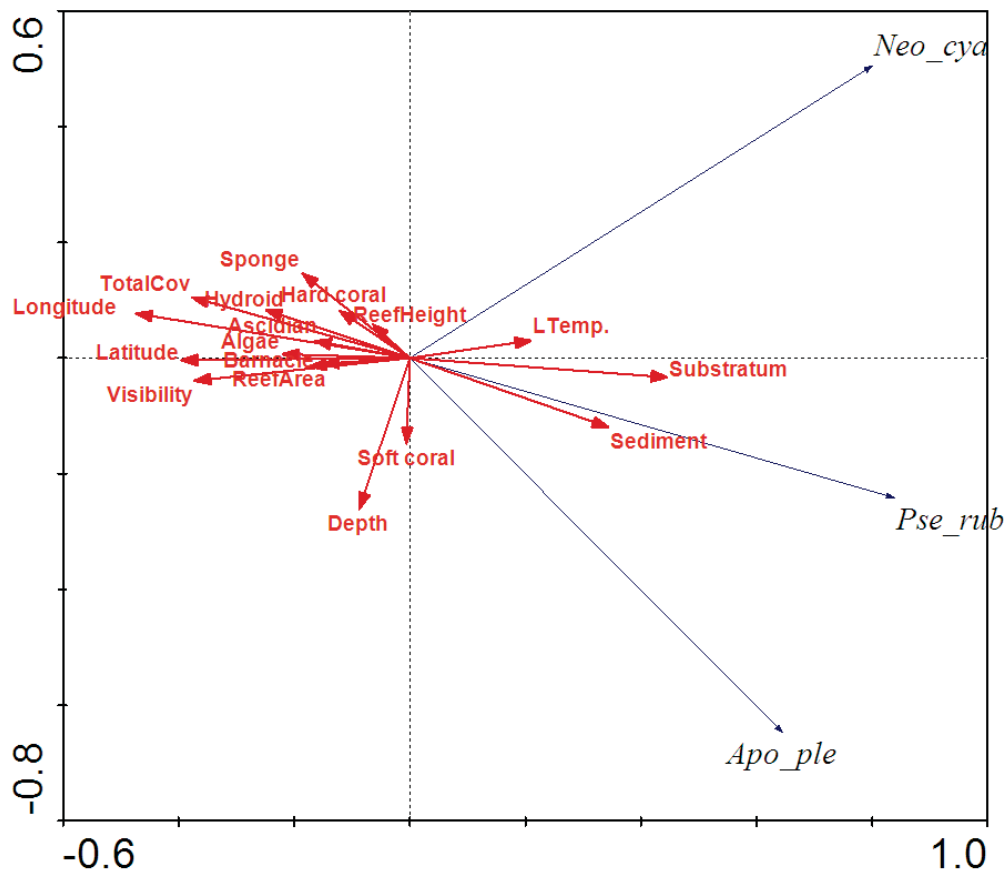


圖 12. 台灣西南人工魚礁的代表性魚種與環境變數之冗餘分析雙序圖。
 (Neo_cya：藍新雀鯛；Pse_rub：紅帶擬花鱸；Apo_ple：側帶天竺鯛)

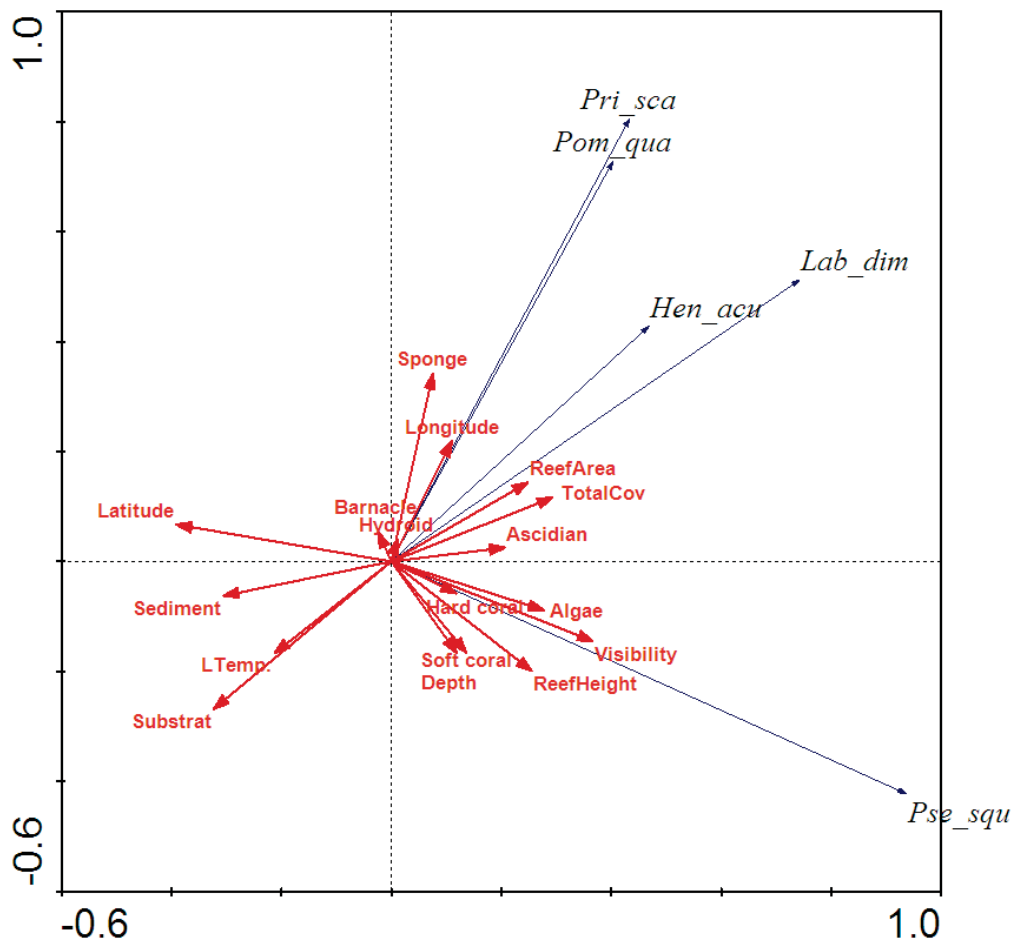


圖 13. 台灣東南人工魚礁的代表性魚種與環境變數之冗餘分析雙序圖。
 (Pse_squ：金擬花鱸；Lab_dim：裂唇魚；Pom_qua：四帶雞魚；Hen_acu：白吻雙帶立旗鯛；Pri_sca：鋸尾鯛)

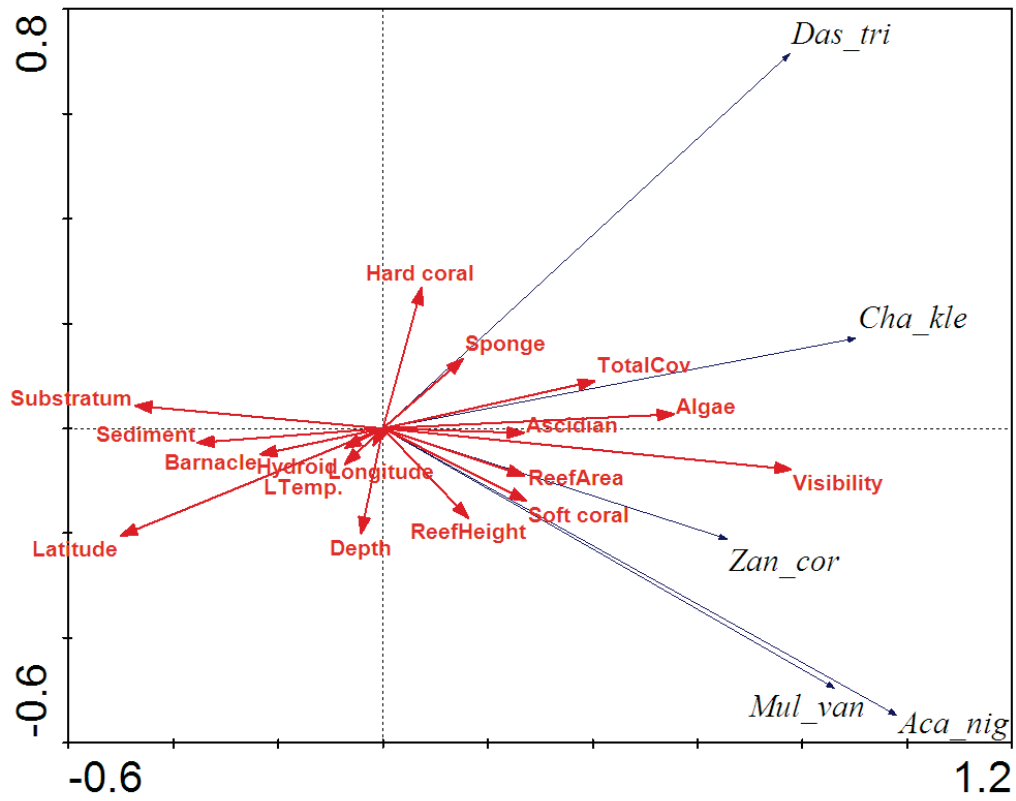


圖 14. 台灣周圍離島人工魚礁的代表性魚種與環境變數之冗餘分析雙序圖。
 (Cla_kle：克氏蝴蝶魚；Aca_nig：褐斑刺尾鯛；Das_tri：三班圓雀鯛；Mul_van：
 金帶擬鬚鯛；Zan_cor：角鎌魚)

柒、表

表 1. 本研究所使用的數據所涵蓋的人工魚礁區及其礁型與數量。

縣市別	礁區名稱	礁型	數量	縣市別	礁區名稱	礁型	數量		
基隆市	望海巷	電桿礁	2	苗栗縣	通宵 (二)	水泥礁	3		
		鋼鐵礁	2			電桿礁	1		
	大武崙	水泥礁	2	台中市	五甲	電桿礁	2		
		漁船礁	2			鋼鐵礁	1		
宜蘭縣	石城	水泥礁	2				杉福村	漁船礁	1
		鋼鐵礁	1	屏東縣	南福村			電桿礁	4
		軍艦礁	1					枋寮 (一)	軍艦礁
	大里	水泥礁	2	枋寮 (二)	漁船礁	4			
		漁船礁	1		枋寮 (三)	鋼鐵礁	4		
	東澳	水泥礁	1	林邊 (一)		水泥礁	1		
		鋼鐵礁	4		林邊 (二)	電桿礁	2		
		軍艦礁	1	林邊 (三)		水泥礁	4		
	新北市	深澳	水泥礁		2	海口	漁船礁	4	
			電桿礁	2	南灣		鋼鐵礁	4	
澳底		電桿礁	3	奇萊鼻		電桿礁	1		
		軍艦礁	1		花蓮縣	鹽寮	鋼鐵礁	3	
桃園縣	永安	水泥礁	1	竹湖			電桿礁	3	
		電桿礁	2		宜灣	水泥礁	2		
	竹圍	水泥礁	2	小港		電桿礁	2		
		電桿礁	1		柴口	水泥礁	1		
新竹縣	新豐 (二)	水泥礁	2	龜灣		軍艦礁	3		
		鋼鐵礁	2		電桿礁	2			
苗栗縣	白新	水泥礁	1		龜灣	鋼鐵礁	5		
		電桿礁	1			台東縣	小港	水泥礁	1
		鋼鐵礁	2	柴口	電桿礁			2	
	外埔	水泥礁	1		龜灣	龜灣	軍艦礁	3	
		電桿礁	2	崎頂			電桿礁	2	
		鋼鐵礁	2		崎頂	鋼鐵礁	9		

表 2. 台灣周圍海域不同地區之人工魚礁魚類群聚組成經 SIMPER 分析結果。

組間平均相異度 Average dissimilarity	北部	西南	東南
西南	85.07		
東南	86.31	87.39	
離島	95.38	94.14	80.07

表 3. 東南人工魚礁區不同礁型魚類群聚差異配對分析結果。括號內為樣本數。

Groups	R Statistic	Possible Permutations	Actual Permutations	Number >=Observed	Significance Level %
軍艦礁(4), 電桿礁(12)	0.222	1820	999	111	11.2
軍艦礁(4), 鋼鐵礁(7)	0.926	330	330	1	0.3
軍艦礁(4), 水泥礁(7)	0.278	330	330	28	8.5
電桿礁(12), 鋼鐵礁(7)	0.132	50388	999	90	9.1
電桿礁(12), 水泥礁(7)	0.233	50388	999	28	2.9
鋼鐵礁(7), 水泥礁(7)	0.334	1716	999	2	0.3

表 4. 離島人工魚礁區不同礁型魚類群聚差異配對分析結果。括號內為樣本數。

Groups	R Statistic	Possible Permutations	Actual Permutations	Number >=Observed	Significance Level %
軍艦礁(7), 電桿礁(6)	0.251	1716	999	19	2
軍艦礁(7), 鋼鐵礁(5)	0.089	792	792	159	20.1
電桿礁(6), 鋼鐵礁(5)	0.824	462	462	2	0.4

表5. 台灣周圍海域四個人工魚礁區物種豐富度指標 (D)、多樣性指標 (H') 與均勻度指標 (J') 的變異數分析結果。括號內為樣本數。

Kruskal-Wallis Test						
	Test Statistics		Mean Rank			
	χ^2	<i>P</i>	北部 (62)	西南 (24)	東南 (30)	離島 (18)
D	91.074	.000	49.48	30.92	103.90	117.67
H'	57.215	.000	50.02	46.71	92.80	113.28
J'	28.013	.000	51.18	72.38	75.87	103.28

表6. 台灣周圍海域兩兩人工魚礁區物種豐富度指標 (D)、多樣性指標 (H') 與均勻度指標 (J') 的Mann-Whitney Test檢定結果。

Mann-Whitney Test							
地區間比較		D		H'		J'	
		U	<i>P</i>	U	<i>P</i>	U	<i>P</i>
北部	西南	442.0	.004	698.0	0.658	504.0	.021
	東南	54.0	.000	285.0	.000	578.0	.003
	離島	15.0	.000	73.0	.000	138.0	.000
西南	東南	.000	.000	100.0	.000	342.0	.754
	離島	.000	.000	23.0	.000	111.0	.008
東南	離島	126.0	.002	124.0	.002	151.0	.011

表 7. 台灣周圍海域人工魚礁在四個地理分區下，不同礁型物種豐富度指標 (D)、多樣性指標 (H') 與均勻度指標 (J') 的變異數分析結果。括號內為樣本數。

		Kruskal-Wallis Test						
		Test Statistics		Mean Rank				
	χ^2	P	水泥礁	電焊礁	鋼鐵礁	漁船礁	軍艦礁	
北部	D	5.004	.287	(18) 28.94	(15) 26.6	(23) 37.04	(3) 21.67	(3) 38.67
	H'	6.956	.138	26.28	26.67	37.91	26.33	43.00
	J'	28.013	.684	28.33	28.27	34.87	34.67	37.67
西南	D	4.356	.226	(6) 7.67	(1) 9.00	(8) 14.88	(9) 14.00	(0) -
	H'	4.263	.234	7.83	8.00	14.50	14.33	-
	J'	2.263	.520	9.83	17.00	11.50	14.67	-
東南	D	7.318	.062	(7) 13.00	(12) 18.33	(7) 9.43	(0) -	(4) 22.00
	H'	2.394	.495	11.86	18.08	15.71	-	13.75
	J'	2.541	.468	12.71	17.33	17.57	-	11.25
離島	D	5.729	.057	(0) -	(6) 13.5	(5) 9.00	(0) -	(7) 6.43
	H'	2.647	.266	-	8.17	12.80	-	8.29
	J'	3.612	.164	-	6.50	12.60	-	9.86

表 8. 台灣周圍海域四個人工魚礁區魚類總尾數與生物量的變異數分析結果。括號內為樣本數。

Kruskal-Wallis Test						
	Test Statistics		Mean Rank			
	χ^2	<i>P</i>	北部 (62)	西南 (25)	東南 (30)	離島 (18)
總尾數	23.625	.000	82.51	45.20	71.03	44.64
生物量	18.720	.000	65.40	46.32	91.43	68.00

表 9. 台灣周圍海域兩個人工魚礁區魚類總尾數與生物量的 Mann-Whitney Test 檢定結果。

Mann-Whitney Test					
地區間比較		總尾數		生物量	
		U	<i>P</i>	U	<i>P</i>
北部	西南	377.5	.000	538.5	.026
	東南	746.0	.125	540.0	.001
	離島	240.0	.000	550.0	.927
西南	東南	230.0	.014	161.0	.000
	離島	197.5	.498	134.0	.025
東南	離島	140.0	.006	171.0	.035

表 10. 台灣周圍海域人工魚礁在四個地理分區下，不同礁型魚類總尾數與生物量的變異數分析結果。括號內為樣本數。

		Kruskal-Wallis Test						
Test Statistics		Mean Rank						
χ^2	P	水泥礁	電桿礁	鋼鐵礁	漁船礁	軍艦礁		
北部	總尾數	3.283	.512	(18)	(15)	(23)	(3)	(3)
	生物量	12.882	.012	22.50	36.67	35.22	13.00	49.67
西南	總尾數	5.832	.120	10.08	5.52	17.25	12.89	-
	生物量	8.911	.031	7.67	4.00	15.50	16.33	-
東南	總尾數	2.846	.416	15.79	15.88	11.57	-	20.75
	生物量	19.860	.000	5.00	19.42	12.71	-	27.00
離島	總尾數	8.147	.017	-	14.50	7.90	-	6.36
	生物量	5.394	.067	-	6.67	14.00	-	8.71

表 11. 根據表 10 之分析結果，進一步以 Mann-Whitney Test 對有顯著差異的因子進行不同礁型配對比較的結果。

北部生物量			
礁型比較		U	P
水泥礁	電桿礁	85	.071
	鋼鐵礁	108	.009
	漁船礁	18	.366
	軍艦礁	5	.027
電桿礁	鋼鐵礁	151	.521
	漁船礁	10	.139
	軍艦礁	16	.441
鋼鐵礁	漁船礁	5	.018
	軍艦礁	13	.084
漁船礁	軍艦礁	0	.050
西南生物量			
礁型比較		U	P
水泥礁	電桿礁	2	.182
	鋼鐵礁	10	.071
	漁船礁	5	.010
電桿礁	鋼鐵礁	2	.117
	漁船礁	1	.059
鋼鐵礁	漁船礁	36	1.000
東南生物量			
礁型比較		U	P
水泥礁	電桿礁	0	.000
	鋼鐵礁	7	.025
	軍艦礁	0	.008
電桿礁	鋼鐵礁	19	.052
	軍艦礁	6	.029
鋼鐵礁	軍艦礁	0	.008
離島總尾數			
礁型比較		U	P
電桿礁	鋼鐵礁	0	.006
	軍艦礁	6	.032
鋼鐵礁	軍艦礁	10.5	.225

表12. 台灣周圍海域135座人工魚礁中魚類群聚與環境變數的BIO-ENV分析結果。
表為相關性最佳的环境因子組合。

(1: Depth; 2:ReefHeight; 3:LTemperature;4:TotalCoverage; 5: Substratum; 6: Sediment;
7: Visibility; 8: Latitude; 9: Longitude; 10:ReefArea; 11: Algae; 12: Sponge; 13:
Hydroid; 14: Hard coral; 15: Soft coral; 16: Barnacle; 17: Ascidian)

Numbers of Variables	Correlation	Selections
3	0.647	5,7,8
4	0.644	5,7,8,17
4	0.644	5,7,8,13
5	0.642	5,7,8,13,17
4	0.637	4,5,7,8
5	0.636	4,5,7,8,17
5	0.634	4,5,7,8,13
6	0.633	4,5,7,8,13,17
3	0.612	7,8,17
2	0.611	7,8

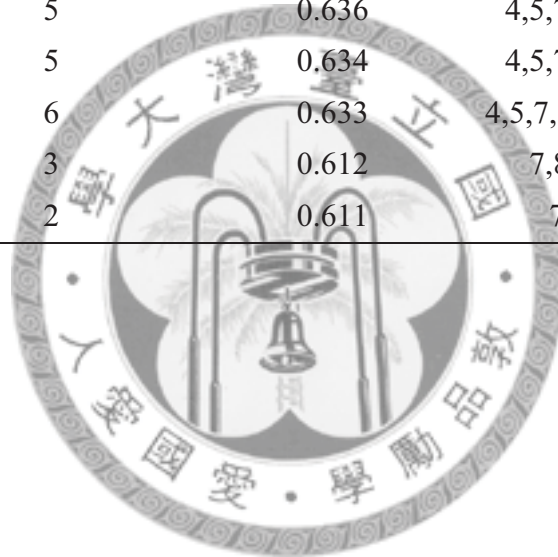


表13. 利用SIMPER分析排出台灣周圍海域不同人工魚礁區的代表性魚種。

Group 北部		Groups 北部&非北部		Group 西南		Groups 西南&非西南	
Average similarity: 37.42		Average dissimilarity = 88.12		Average similarity: 30.98		Average dissimilarity= 87.19	
Species	Contrib%	Species	Contrib%	Species	Contrib%	Species	Contrib%
<i>Chromis fumea</i>	31.56		7.73	<i>Neopomacentrus cyanomos</i>	23.73		5
<i>Parapristipoma trilineatum</i>	19.18		5.5	<i>Pseudanthias rubrizonatus</i>	17.81		4.28
<i>Apogon semilineatus</i>	11.06		4.75	<i>Apogon pleuron</i>	7.58		3.68
<i>Rhabdamia gracilis</i>	9.04		4.67				
<i>Diodon holocanthus</i>	4.28		3.56				
Group 東南		Groups 東南&非東南		Group 離島		Groups 離島&非離島	
Average similarity: 30.17		Average dissimilarity = 85.50		Average similarity: 39.44		Average dissimilarity = 91.19	
Species	Contrib%	Species	Contrib%	Species	Contrib%	Species	Contrib%
<i>Pomadourus quadrilineatus</i>	7.03		3.71	<i>Acanthurus nigrofuscus</i>	10		3.13
<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	9.87		3.52	<i>Chaetodon kleinii</i>	8.69		2.56
<i>Labroides dimidiatus</i>	9.76		2	<i>Dascyllus trimaculatus</i>	6.42		2.27
<i>Heniochus acuminatus</i>	6.3		1.92	<i>Mulloidichthys vanicolensis</i>	3.95		2.24
<i>Prionurus scalprum</i>	3.09		1.63	<i>Zanclus cornutus</i>	3.05		1.49

表 14. 表 13 之台灣周圍海域四個地理分區中的表性魚種，其所屬礁區環境變數經蒙地卡羅顯著性檢驗的結果。

(* : p<0.05 ; ** : P<0.01)

Variable	北部		西南		東南		離島	
	F	Sig. level	F	Sig. level	F	Sig. level	F	Sig. level
Depth	2.97	*	4.53	**	1.74		2.07	
ReefHeight	1.41		3.81	*	7.69	**	0.58	
LTemp.	1.77		2.29		0.43		1.57	
TotalCov	0.74		0.91		4.49	**	11.54	**
Substratum	2.24		9.07	**	4.69	**	9.2	**
Sediment	5.53	**	0.33		0.41		0.19	
Visibility	1.23		13.8	**	3.54	*	106.59	**
Latitude	49.21	**	10.58	**	11.76	**	14.91	**
Longitude	14.85	**	20.63	**	13.94	**	7.33	**
ReefArea	0.21		0.22		1.02		1.63	
Algae	1.15		0.39		0.87		1.65	
Sponge	1.71		0.58		6.25	**	0.58	
Hydroid	1.1		0.81		5.46	**	1.23	
Hard coral	6.17	**	1.66		1.61		7.22	**
Soft coral	0.14		3.85	*	1.33		5.94	**
Barnacle	4.65	**	1.66		1.21		0.77	
Ascidian	0.82		0.34		0.31		2.87	*

表15. 台灣周圍海域不同地理分區人工魚礁的類食性組成。(a, b, c, d, e, f 分別為食性代號)

	北部	西南	東南	離島
食性組成數量百分比				
Herbivore (a)	0.18	0.13	1.47	5.09
Planktivore (b)	57.10	31.66	34.38	71.77
Invertivore (c)	39.15	41.57	34.09	7.16
Piscivore (d)	0.10	1.31	0.49	0.41
Corallivore (e)	1.41	3.68	17.46	3.32
Carnivore (cd, bcd)	1.71	20.75	8.72	6.81
Omnivore (ab, ac)	0.25	0.53	2.43	4.97
Cleaner (f)	0.09	0.37	0.96	0.47
食性組成重量百分比				
Herbivore (a)	6.02	2.72	20.24	10.81
Planktivore (b)	11.24	7.29	8.75	44.42
Invertivore (c)	69.08	44.23	58.60	39.04
Piscivore (d)	13.15	45.27	11.07	4.32
Corallivore (e)	0.49	0.49	1.29	1.38
Cleaner (f)	0.01	0.01	0.04	0.02