

國立臺灣大學生命科學學院漁業科學研究所
碩士論文

Institute of Fisheries Science
College of Life Science
National Taiwan University
Master Thesis



台灣離島旅遊對碑礫貝的衝擊
The Impact of Tourism at Taiwanese Offshore Islands
on Giant Clams Populations

陳繼威
Chi-Wei Chen

指導教授：鄭明修 博士
李英周 博士

Advisor: Ming-Shiou Jeng, Ph.D.
Ying-Chou Lee, Ph.D.

中華民國 110 年 8 月
August 2021

謝辭

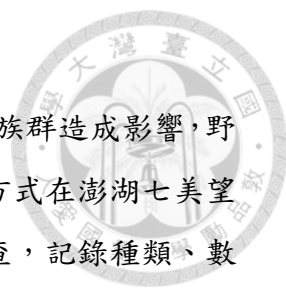
在兩年的碩士生涯中，遇到許多貴人相助，單憑一己之力是無法完成此篇論文的。首先感謝鄭明修老師和李英周老師用心的指導，不論是在資源上或是邏輯思考上皆給予我非常有力的協助，兩位老師的研究精神是令我所佩服的。也感謝口試委員陳孟仙老師與何平和老師對我的論文提供寶貴的意見參考。這兩年在台大、中研院求學的過程中接受來自許多人無私的協助，從出野外採樣到完成論文，我心懷感恩，也因為兩位指導教授積極的督導下，讓我可以順利如期畢業。

另外特別要感謝在中研院及台大研究室的各位夥伴，感謝昕佑協助我完成論文修改，旺旺和向昇陪我進行潛水採樣工作，安怡常幫我處理雜事，湘婷替我解決很多行政上的問題，郭教練賢伉儷開導我人生觀，秀春和淑美提供許多協會的打工機會也常常餵食我，雅怡學姐、旻杰學長、兆揚學長三位在論文上的協助和鼓勵，濟時學長、二仁學長時常分享寶貴的商業觀點，惟哲學長、友銘學長、駿豪學長在每次的會議上提供務實的回饋...等有太多貴人的協助。最後，要感謝支持我最強力的後盾—我的家人與女朋友—是他們讓我可以放心的完成兩年的求學生涯，也是我堅持下去的動力來源。

兩年的碩士生涯，說長不長、說短不短，未來會往哪個方向前進仍是未知數，但願我也能成為幫助他人的人。

陳繼威 謹致
2021.08.05

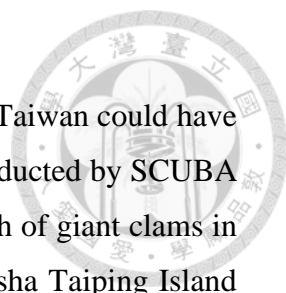
摘要



本研究目的在探討台灣離島觀光旅遊是否會對碑礫貝野外族群造成影響，野外調查研究於 2019 年 10 月至 2021 年 5 月期間，以水肺潛水方式在澎湖七美望安、綠島及南沙太平島沿岸共 33 個測站進行碑礫貝的現況調查，記錄種類、數量及殼長大小等資料。同時蒐集澎湖群島與綠島海域歷年來的碑礫貝調查報告，以及旅遊人口數量資料以進行後續比對與分析。台灣過去碑礫貝種類有 7 種，本研究現況調查結果顯示，三海域共記錄到 5 種碑礫貝，分別為菱碑礫 (*Hippopus hippopus*)、長碑礫 (*Tridacna maxima*)、諾亞碑礫 (*T. noae*)、鱗碑礫 (*T. squamosa*) 和圓碑礫 (*T. crocea*)。數量方面，於澎湖七美望安海域記錄到 53 顆碑礫貝，平均密度為 0.27 顆/100 m²；綠島記錄到 194 顆，密度為 2.43 顆/100 m²，太平島海域記錄到 259 顆，密度為 3.7 顆/100 m²。澎湖七美望安海域碑礫貝密度顯著低於綠島與太平島海域，且遠低於其他研究於台灣鄰近海域所調查之結果。根據先前文獻顯示，過低的族群密度可能影響澎湖七美望安海域碑礫貝的繁殖成功率。然而綠島海域的碑礫貝平均殼長卻顯著低於其他海域，原因可能與綠島地區所設立之碑礫貝禁採之法規有關，只保育 15 cm 以下幼貝，卻可以採集成貝有關聯。分析結果也表明不同區域隨著離島旅遊人數下降，該地區的碑礫貝密度似乎有上升的趨勢，與本研究預期相符。綜合本研究之結果，建議將碑礫貝科種類即早列入台灣野生動物保育名錄，加強宣導碑礫貝在珊瑚礁生態系的重要性與保育觀念，以及強化執法力道保護台灣近岸現存的碑礫貝資源，甚至可以透過種苗培育和放流來補充野外的族群量。

關鍵字：碑礫貝密度、碑礫貝科、保育、種苗復育、種苗放流

Abstract



In order to investigate whether the offshore islands tourism in Taiwan could have impacts on population of giant clams, several field survey were conducted by SCUBA diving to assess the species composition, abundance and shell length of giant clams in 33 stations around Penghu Qimei, Wangan, Green Island and Nansha Taiping Island water from October 2019 to May 2021, meanwhile, this study collected the historical survey reports of giant clams and tourist data in Penghu and Green Island for further comparison and analysis. In the past, there were 7 species of giant clams in Taiwan; 5 of them were found during the field survey, i.e., *Hippopus hippopus*, *Tridacna maxima*, *T. noae*, *T. squamosa* and *T. crocea*. In terms of giant clam abundance, we observed 53 clams in Penghu Qimei and Wangan, with the density of 0.27 clam/100 m²; 194 clams in Green Island, with the density of 2.43 clam/100 m²; 259 clams observed in Nansha Taiping Island, with the density of 3.7 clam/100 m². The density assessed in Penghu Qimei and Wangan was significantly lower than those of Green Island and Nansha Taiping Island, even far below the density assessed in nearby area by other studies. Previous study stated that the low giant clams density may affect the fertilization probability or reproduction rate of giant clams population of Penghu Qimei and Wangan. However, the average size class of giant clams around Green Island were significantly smaller than the other area, this may attribute to the local giant clam harvesting regulations in Green Island, that is, protecting the juvenile clams whose shell length smaller than 15 cm but not prohibiting from collecting adult clams. The analysis of this study also showed that the density of giant clams seemed to have an increase trend as the number of tourists from offshore islands declined in different regions, which was in line with the expectations of this study. Based on evidence of this study, it is recommended that all the species of family Tridacnine should be listed in Catalogue of Taiwan Wildlife Protected Species as soon as possible, further to reinforce the advocacy about the importance of giant clams to the coral reefs ecosystem and about giant clams conservation cogitation and also strengthen the law enforcement in order to protect the remaining clam resources around Taiwan, even to replenish the wild population through clam restoration and seedling releasing.

Key words: Giant clams density, Family Tridacnine, Conservation, Population restocking, Seedling releasing

目錄	
謝辭	i
中文摘要	ii
英文摘要	iii
第一章、前言	1
第二章、材料及方法	7
2.1 研究範圍與測站	7
2.2 碑磔貝資源現況調查	7
2.2.1 調查方法及項目	7
2.2.2 種類辨別	7
2.2.3 密度計算	8
2.2.4 殼長測量、頻度製作與成長階段定義	8
2.2.5 保護區內外的碑磔貝資源密度差異	8
2.3 旅遊人數對於碑磔貝族群密度的影響	9
2.4 澎湖群島與綠島海域碑磔貝歷年資料的整合與分析	9
2.5 統計檢定方法	9
第三章、結果	19
3.1 台灣海域碑磔貝的種類	19
3.2 各海域碑磔貝的現況調查	28
3.2.1 碑磔貝的密度	28
3.2.2 碑磔貝的種間數量	29
3.2.3 碑磔貝的分布	30
3.2.4 碑磔貝的殼長與頻度分析	35
3.2.5 碑磔貝成長階段分析	39
3.2.6 碑磔貝資源密度在保護區內外的差異	43
3.3 離島旅遊對碑磔貝的影響	44
第四章、討論與結論	45
4.1 碑磔貝資源調查方法	45
4.2 各海域碑磔貝的種類	46
4.3 各海域碑磔貝的現況調查	46
4.3.1 碑磔貝的密度	46
4.3.2 碑磔貝的種間數量	47
4.3.3 碑磔貝的分布	48
4.3.4 碑磔貝的殼長與成長階段	49
4.4 離島旅遊對於碑磔貝之影響	50
4.5 澎湖群島與綠島海域碑磔貝的歷年變動	53
4.6 台灣海域碑磔貝的保育建議	54
4.7 結論	55
參考文獻	57

圖目錄

圖 1-1. 早期綠島居民利用巨碑磔外殼作為花圃材料-----	5
圖 1-2. 澎湖七美的居民與商家對於碑磔貝外殼的利用-----	6
圖 2-1. 澎湖七美與望安海域各測站位置分布圖-----	11
圖 2-2. 綠島海域各測站位置分布圖-----	12
圖 2-3. 南沙太平島海域各測站位置分布圖-----	13
圖 2-4. 長碑磔辨認之特徵-----	16
圖 2-5. 諾亞碑磔辨認之特徵-----	16
圖 2-6. 鱗碑磔辨認之特徵-----	17
圖 2-7. 圓碑磔辨認之特徵-----	17
圖 2-8. 碑磔貝殼長測量示意圖-----	18
圖 3-1. 菱碑磔-----	24
圖 3-2. 巨碑磔-----	24
圖 3-3. 扇碑磔-----	25
圖 3-4. 鱗碑磔-----	25
圖 3-5. 圓碑磔-----	26
圖 3-6. 長碑磔-----	26
圖 3-7. 諾亞碑磔-----	27
圖 3-8. 各海域碑磔貝密度圖-----	28
圖 3-9. 各海域碑磔貝種類組成堆疊圖-----	30
圖 3-10. 各海域碑磔貝平均分布水深圖-----	31
圖 3-11. 各海域長碑磔殼長對深度關係圖-----	32
圖 3-12. 澎湖七美望安和綠島海域諾亞碑磔殼長對深度關係圖-----	33
圖 3-13. 各海域鱗碑磔殼長對深度關係圖-----	34
圖 3-14. 太平島海域長碑磔殼長對深度關係圖-----	35
圖 3-15. 各海域碑磔貝平均殼長大小圖-----	36
圖 3-16. 各海域長碑磔殼長頻度圖-----	37
圖 3-17. 澎湖七美望安和綠島海域諾亞碑磔殼長頻度圖-----	38
圖 3-18. 太平島海域圓碑磔殼長頻度圖-----	38
圖 3-19. 各海域碑磔貝成貝、亞成貝及幼貝之密度圖-----	40
圖 3-20. 各海域長碑磔成長階段頻度圖-----	41
圖 3-21. 澎湖七美望安和綠島海域諾亞碑磔成長階段頻度圖-----	42
圖 3-22. 保護區內外碑磔貝資源密度比較圖-----	43
圖 3-23. 歷年澎湖群島與綠島旅遊旅遊人數與碑磔貝豐度圖-----	44
圖 4-1. 綠島碑磔貝貝肉遭挖空-----	51
圖 4-2. 七美遊客購買碑磔貝殼與碑磔貝貝肉遭挖空-----	52

表目錄

表 2-1. 澎湖七美與望安海域碑礫貝現況調查之測站資料-----	14
表 2-2. 綠島海域碑礫貝現況調查之測站資料-----	15
表 2-3. 南沙太平島海域碑礫貝現況調查之測站資料-----	15
表 2-4. 碑礫貝之成長階段定義-----	18
表 3-1. 各海域碑礫貝資源現況調查結果彙整-----	28
表 3-2. 各海域碑礫貝種類組成、殼長與深度分布結果彙整-----	29
表 3-3. 各海域碑礫貝成長階段結果彙整-----	39
表 3-4. 保護區與非保護區的碑礫貝資源比較-----	43
表 3-5. 歷年平均旅遊人數與碑礫貝現況調查密度之比較-----	44
表 4-1. 鄰近海域碑礫貝資源的調查報告-----	47

附表目錄

附表 1. 歷年來澎湖海域碑礫貝相關研究報告文獻-----	64
附表 2. 歷年來綠島海域碑礫貝相關調查報告文獻-----	64
附表 3. 澎湖七美望安海域各測站現況調查資料-----	65
附表 4. 綠島與太平島海域各測站現況調查資料-----	66
附表 5. 歷年澎湖群島碑礫貝調查資料彙整-----	67
附表 6. 歷年澎湖北海與東海離島碑礫貝調查資料彙整-----	68
附表 7. 歷年澎湖本島周圍碑礫貝調查資料-----	69
附表 8. 歷年澎湖南方四島碑礫貝調查資料-----	70
附表 9. 歷年澎湖南海離島碑礫貝調查資料-----	71
附表 10. 歷年綠島海域碑礫貝調查資料-----	72
附表 11. 歷年珊瑚礁體檢碑礫貝調查資料彙整-----	73

第一章、前言

碑礫貝 (Tridacninae, 碑礫蛤亞科) 為現生體型最大的雙殼貝，是印度—太平洋熱帶淺海珊瑚礁海域中常見的種類 (Lucas, 1988)，在台灣週邊海域分布十分廣泛，過去是離島居民的食用性貝類 (李等, 2008)。早年市面上販售高價的干貝係由碑礫貝強而有力的閉殼肌製成，目前因為野外資源量減少，現今販售的干貝多為扇貝的閉殼肌。數十年來隨著台灣經濟起飛，離島旅遊興盛，伴隨著海鮮食用需求提高，碑礫貝可能是成為饕客嘗鮮的對象，間接造成其野外族群數量下降。為了探討離島遊客增加對其族群影響的可能性，本研究將調查台灣離島碑礫貝族群分布現況，配合歷年碑礫貝的資源調查結果，研擬未來復育的因應策略提出族群量遽減的原因與相關的解決辦法。

早年台灣國民所得提高以及週休二日情形越來越普遍，觀光旅遊在國人的休閒生活中扮演日益重要的角色 (黃, 1996)。1990 年東部海岸國家風景區將綠島納入此風景區範圍內，隨後 1995 年澎湖國家風景區成立，在政府以及民間大力的倡導觀光發展的浪潮下，澎湖群島與綠島成為國內旅遊的眾多地點中旅客成長快速的據點之一 (觀光局網站)。由於觀光人潮大量湧入兩地，對於海鮮的需求提高，食用相關經濟性水產生物隨之增加，可能伴隨在地居民採集野生碑礫貝貝肉和閉殼肌 (干貝) 之情形。早年的調查資料顯示在澎湖、綠島等地均發現有相當豐富的碑礫貝資源 (張等, 1991; 陳等, 1992; 張等, 1992; 方, 1993; 許等, 2007; 鄭等, 2008a)，分布數量紀錄從常見 (平均每測站 11 顆) 到豐富 (平均每測站 30 顆以上)。近年來，除了澎湖南方四島國家公園與綠島各保護區範圍內的碑礫貝密度還保有一定的豐富度之外 (黃等, 2017; 楊等, 2018; 鄭等, 2018)，其他海域如澎湖南海離島的碑礫貝密度逐年降低 (鄭, 2020)，澎湖本島及北部海域近期的潛水調查更是沒有發現碑礫貝的蹤跡 (陳等, 2019)。

在 Van Wynsberge *et al.* (2016) 研究中提到，碑礫貝的密度會根據範圍尺度大小而有不同的影響因子，例如在全球尺度中，環境因子與漁業壓力是影響碑礫貝密度的主要因子，然而尺度限縮於區域方面，碑礫貝的密度與人口數量則呈現顯著的負相關。多項研究也有提到人為活動使得珊瑚礁棲地破壞 (Bellwood, 2004; Wilkinson, 2008; Mora *et al.*, 2016)，間接或直接影響碑礫貝的野外族群、甚至導致區域性的滅絕 (Neo *et al.*, 2017)。

碑磔貝多偏好棲息於水深 20 m 以淺、珊瑚繁盛且水質清澈的環境 (Klump and Lucas, 1994; Knop, 1996; Ramah *et al.*, 2017)。由於碑磔貝的幼生在沉降固著於海床之前有高達九天的浮游期，因而造就了其廣泛的地理分布 (Lucas, 1988; Triandiza and Kusnadi, 2013)，從非洲南部海岸至太平洋的皮特肯島 (32°E~128°W)，從日本琉球群島至澳洲的西南部 (24°N~15°S) (bin Othman *et al.*, 2010; Neo *et al.*, 2017)。

台灣週邊擁有海洋生物多樣性豐富的珊瑚礁海域，孕育出繁盛的海洋生態與漁業資源，根據邵 (1995) 指出，台灣可以記錄到約全世界海洋生物百分之十的物種，例如台灣有記錄到 10% 魚類和超過 30% 的鯨豚種類等。目前全世界共有 2 屬 13 種碑磔貝，先台灣記錄到 2 屬 6 種 (邵等, 2008)，分別為菱碑磔屬的菱碑磔 (*Hippopus hippopus*)，碑磔蛤屬的巨碑磔 (*Tridacna gigas*)、扇碑磔 (*T. derasa*)、長碑磔 (*T. maxima*)、鱗碑磔 (*T. squamosa*)、圓碑磔 (*T. crocea*)，直到 2014 年由 Su *et al.* (2014) 透過形態學，以及分子鑑定學將長碑磔之隱蔽種——諾亞碑磔 (*T. noae*) 復名。直到目前為止，台灣共可以記錄到 7 種碑磔貝 (蘇等, 2014)。

碑磔貝為雌雄同體，雄性先熟之物種，2-3 年達雄性性成熟，3-4 年雌性接續成熟 (Lucas, 1988)，碑磔貝生殖方式為體外受精，先排精、後排卵以避免自體受精 (Lucas, 1994)。卵子在受精 10-12 小時後，胚胎從卵膜孵出，並且發育為具游泳能力的擔輪幼生 (trochophore larva) 再進入浮游期；約莫 24 小時後，擔輪幼生發育成具有纖毛及雙殼的被面盤幼生 (veliger larva 或 D-stage larva) 開始進行濾食行為 (攝取蟲黃藻)；受精後的 4 天，被面盤幼生與蟲黃藻囊腫 (Symbiodiniaceae vegetative cysts) 建立共生關係；受精後的 7-10 天，被面盤幼生發育成底棲性後期被面盤幼生 (pediveliger larva)；受精第 15 天左右，後期被面盤幼生變態 (metamorphosis) 成為大小約 200 μm 的幼貝 (junvenile)，此時原來在幼貝胃內的蟲黃藻細胞慢慢移動到了蟲黃藻管狀系統 (Zooxanthellal tube system, ZTS)，外套膜也逐漸射出。成長速率根據碑磔貝生長階段而呈現 S 型曲線，多數種類的碑磔貝幼貝起初以每年 2-5 cm 速率緩慢成長，約一年後生長速度會增快，直到接近成熟體型時，生長速率會再次減慢，通常需要 3 到 5 年才會從幼貝成長至完整的性成熟階段，若體型較大的物種如巨碑磔，則需要花更多時間來達到性成熟 (Gomez *et al.*, 2000)。

碑礫貝在珊瑚礁中具有重要的生態意義，其扮演了許多角色，因此被賦予「生態系統工程師」的美名（Neo *et al.*, 2015）。舉例來說，碑礫貝的外套膜、精卵提供了眾多海洋生物食物來源（Perron *et al.*, 1985; Alcazar, 1986; Cumming, 1988; Heslinga *et al.*, 1990; Govan, 1992; Ricard and Salvat, 1977; Maboloc and Mingo-Licuanan, 2011）。碑礫貝的外套膜上容納了許多蟲黃藻和細菌，外殼則提供許多表面生物（epibiont）額外的生存空間（Vicentuan-Cabaitan *et al.*, 2014），進而提高了珊瑚礁生態系的棲地複雜度（Cabaitan *et al.*, 2008）。碑礫貝也會透過濾食作用，過濾水中的氮與硝酸鹽，有效地控制優氧化發生（Klumpp and Griffiths, 1994; Neo *et al.*, 2015）。另外，近期也有研究顯示，碑礫貝的糞便內含有大量未消化的蟲黃藻，可能可以提供鄰近珊瑚共生藻來源（Umeki *et al.*, 2020）。

除了在生態上具有重要的地位，人類對於碑礫貝的利用也行之有年。早在 2500 年前，已有人類使用其外殼製作手工藝品、宗教的法器等，在中東、義大利、日本等地可發現早期的壁畫皆有相關紀錄（Reese, 1988; Asato, 1991; Reese and Sease, 1993）。碑礫貝在某些方面具有相當的商業價值，例如觀賞水族貿易；一些體型較小且外表豔麗的物種如圓碑礫等被作為熱門水族觀賞物種，坊間常以「五爪貝」或「海中玫瑰」稱呼（Brown and Muskanofola, 1985; Teitelbaum and Friedman, 2008）。在亞洲，碑礫貝的外套膜（貝肉）以及強而有力的閉殼肌（干貝）深受海島國家居民的喜愛（Neo *et al.*, 2017）。Lucas（1994）指出，早年於沖繩、台灣、香港等地每年食用數以萬計的碑礫貝，光是在台灣就記錄到每年平均有 240 噸、沖繩則高達 500 噸的需求量。在台灣，除了食用其干貝外，其外殼也有諸多用途，澎湖與綠島數間冰品店以碑礫貝的外殼作為盛冰容器、當地居民也將其置放於門口作為花盆或擺飾（圖 1-1、圖 1-2），蘭嶼居民則作為建築物的材料之一。近年來隨著各國打壓象牙貿易，限制非法象牙出口至中國，碑礫貝——「海中之玉」成為商人下一個物色對象，在中國雕刻市場有大量的需求，在短短的五年內碑礫貝價格成長了 40 倍之高（Larson, 2016）。雖然瀕臨絕種野生動植物國際貿易公約（CITES）早在 1985 年即將碑礫貝列為附錄二（Appendix II）的管制物種，國際自然保護聯盟（IUCN）也將所有種類的碑礫貝列入「受威脅的紅名單中（Red List of Threatened Species）」。縱使有相關條約規範，但由於上述對碑礫貝的種種需求，大多數的碑礫貝仍面臨嚴重的非法捕撈，對整個野外族群來說是一場大浩劫（Neo *et al.*, 2017）。目前國內尚未將碑礫貝列入野生動物

保育類名錄，僅有地方政府頒布相關法規來限制碑礫貝的採集和買賣。2006 年 6 月，澎湖縣政府基於地方保育的需求率先公告全島禁採、販售、持有碑礫貝，被查獲者則依法處以刑罰或罰鍰。台東縣政府同樣為了保護綠島海域之碑礫貝生態資源，於 2014 年公告修正綠島漁業資源保護區相關措施，規定柴口、石朗及龜灣海域為「不可採捕保護區」；此外，綠島全島沿岸潮間帶及自平均低潮線向外海延伸 200 m，皆禁止採捕殼長 15 cm 以下碑礫貝，違者處新臺幣 3 萬元以上 15 萬元以下罰鍰。至今台灣除了某些較無人為干擾的海域，如東沙環礁及南沙太平島碑礫貝資源仍較豐富外，其他海域碑礫貝的野外資源密度分布不均(楊等，2018；鄭，2018；陳等，2019)，某些地點甚至有出現碑礫貝區域滅絕的情形(鄭等，2008a；鄭等，2008b)；有鑑於此，必須透過海洋生態資源保育及復育等手段來恢復碑礫貝的數量。

在進行碑礫貝的保育及復育之前，必須透徹了解背景資料及現況。近年來，台灣海域的碑礫貝調查資料幾乎都是涵蓋在大型珊瑚礁生態資源調查下，鮮少單獨研究針對碑礫貝進行資源調查。本研究目的從基礎的現況調查與物種分類出發，進一步分析離島觀光旅遊對碑礫貝可能產生的影響，配合過去的調查資料，嘗試找出碑礫貝族群劇降的可能原因。本研究調查測站選取了台灣離島旅遊人數最多的澎湖七美島、望安島與綠島，再加上完全沒有遊客影響的對照組—南沙太平島，共三個海域四個島，透過潛水現況調查，實際記錄澎湖、綠島以及南沙太平島海域碑礫貝的種類組成、豐度以及殼長等資訊，進而比較各海域的差異，並搜集澎湖群島與綠島歷年來的碑礫貝資源調查報告與旅遊人數資料加以分析，希望對於日後碑礫貝保育方針提供有用的參考數據與評估分析。



圖 1-1. (a) 早期綠島居民利用巨碑磔外殼作為花圃材料；(b) 透過圖中右方 30 cm 塑膠尺的比例換算，此顆巨碑磔外殼殼長超過 60 cm。(鄭明修提供，2021)。



圖 1-2. (a) 餐廳中新鮮的碑磔貝外殼；(b) 民眾以鱗車磔外殼作為裝飾；(c) 餐廳外數顆碑磔貝的外殼。三張照片皆由作者 2020 年於澎湖七美拍攝。

第二章、材料與方法



2.1 研究範圍與測站

本研究測站選取台灣離島旅遊人數最多的兩個地區——澎湖群島（七美島和望安島）與綠島，以及一個沒有任何旅遊干擾的地區——南沙太平島——進行碑礫貝的資源現況調查。2019 年 10 月至 2020 年 5 月於澎湖七美和望安海域進行潛水調查、2020 年 2~8 月於綠島海域潛水調查、2021 年 4~5 月至南沙太平島進行調查。其中澎湖七美望安海域共 18 個測站，綠島海域 8 個測站，南沙太平島有 7 個測站，各測站間站點的詳細分布位置和名稱皆列於（圖 2-1~圖 2-4）與（表 2-1~表 2-3）。

2.2 碑礫貝資源現況調查

2.2.1 調查方法及調查項目

本研究配合協助執行 2019 年澎湖縣農漁局委託計畫「七美淺海珊瑚及碑礫貝生態資源調查」，2020 年「望安週邊海域珊瑚及碑礫貝生態資源調查」，以及 2021 年國家海洋研究院委託計畫「西南海域珊瑚礁生態監測」，於各測站間進行碑礫貝現況調查，以水肺潛水及穿越線法進行調查。各測站佈放穿越線之深度範圍參考許等（2007）和楊等（2018），於水深 3-5 m、5-15 m 平行岸邊之方向各佈放一條穿越線，另於澎湖七美望安海域的部分測站之潮間帶增加一條水深 0.5-2 m 的穿越線，綠島及太平島海域測站基於安全問題，並無增加潮間帶的測線。調查方法係由一名潛水員自測站起點以捲尺佈放一條 50 m 的穿越線，接著以線為基準搜尋左右兩側各 5 m（即每條測線面積為 500 m²）範圍內的碑礫貝，並記錄其種類、數量、殼長和分布深度，同時間以防水相機輔以記錄，拍攝碑礫貝之外套膜和外殼等特徵作為鑑種之參考。返回實驗室後以水下紀錄與影像重複確認碑礫貝之種類、數量、殼長及深度分布。

2.2.2 種類辨別

碑礫貝種類辨認參考 Neo *et al.* (2017)，以殼體外觀或外套膜花紋等加以辨別，例如：長碑礫（*T. maxima*）外套膜邊緣有緊密排列的眼點（eye spot）（圖 2-4）、諾亞碑礫（*T. noae*）外套膜上散布著橢圓形水滴狀的花紋（圖 2-5）、鱗

碑磔 (*T. squamosa*) 的外殼有較大的鱗片構造 (圖 2-6)、圓碑磔 (*T. crocea*) 則會將其自身完全鑲嵌於礁體或石縫中 (圖 2-7)。



2.2.3 碑磔貝密度計算

碑磔貝密度方程式參考 Triandiza *et al.* (2019)：

$$K \left(\frac{\text{顆}}{100\text{m}^2} \right) = \frac{\sum_{i=1}^I D_i \left(\frac{\text{顆}}{\text{m}^2} \right)}{I * A} * 100, i=1, 2, \dots, I. \text{-----}(1)$$

K：該測站的碑磔貝密度 (顆/100 m²)

D_i：每條測線上的碑磔貝總數 (顆)

I：測線數量

A：每條測線的面積 (500 m²)

2.2.4 殼長測量、頻度製作與成長階段定義

殼長大小則利用游標尺測量 (圖 2-8)，殼長定義為殼的前端到殼的後端最長水平距離，長度 cm 取到小數點第二位。碑磔貝殼長頻度分析以 Sturges 法 (組數=1+3.22logN，N=總顆數)，將所記錄到的長碑磔、諾亞碑磔依照殼體長分為 11 組，以 3 cm 為組距；圓碑磔分為 8 組，組距為 2 cm。碑磔貝成長階段參考 Manu and Sone (1995) 及 Mingoa-Licuanan and Gomez (2007)，依照殼長大小將不同種類的碑磔貝分為幼貝、亞成貝及成貝。幼貝的定義為一年內之稚貝，亞成貝中包含了 50% 性成熟的碑磔貝，成貝則為雄性雌性皆成熟之個體。不同階段的殼長大小詳細如 (表 2-4)。

2.2.5 保護區內外的碑磔貝資源密度差異

欲探討碑磔貝的資源密度在不可採捕保護區的範圍內外是否有差異，本研究將澎湖七美望安、綠島及太平島海域依各測站性質分別歸類為保護區與非保護區 (表 2-1~3)。其中南沙太平島至今為海洋委員會海巡署設置指揮部管理該島，屬於廣義軍事管制區，因此南沙太平島可以歸類為海洋資源的保護區。隨後將各測站所調查到的碑磔貝資源密度依照保護區與非保護區進行比較。

2.3 旅遊人數對於碑礫貝族群密度的影響

為了解離島旅遊人數多寡是否會影響碑礫貝的野外族群密度，本研究收集了歷年來交通部觀光局所統計的離島旅遊人數，進一步與本研究碑礫貝的現況調查資料做比較。旅遊人數資料透過交通部觀光局網站下載並彙整。本研究之澎湖七美望安測站沒有相關旅遊人數資料的記載，因此以整個澎湖群島的觀光旅遊人口資料來做比較。另外，南沙太平島至今為軍事管制區，未對外開放旅遊觀光，因此太平島的歷年平均旅遊人數將以 0 計算。

2.4 澎湖群島與綠島海域碑礫貝歷年資料的整合與分析

本研究蒐集有關澎湖群島海域碑礫貝之歷年調查報告共 18 篇(附表 1)，綠島海域共有 11 篇(附表 2)，另彙整 2008-2020 年台灣環境資訊中心於澎湖及綠島進行的珊瑚礁體檢資料。在先前的報告中，碑礫貝數量以相對豐度表示，例如：豐富(A，15 顆以上)、常見(C，8-15 顆)、偶見(O，2-8 顆)、少見(R，0-2 顆)，為了與本研究之現況調查資料可以相互比較，在資料處理方面，將先前報告與本研究現況調查資料之數據皆轉換為碑礫貝平均在每測站的數量(顆/測站)。

2.5 統計檢定方法

方法一：本研究利用單因子獨立變異數分析(One-way ANOVA)檢定澎湖七美望安、綠島及太平島三海域碑礫貝的平均密度、平均殼長以及平均分布深度是否有差異。顯著水準皆為設為 0.05。另利用 Tukey HSD Test 進行事後檢定，檢驗組間是否有差異。

假說如下：

$$\begin{cases} H_0: \text{三海域之碑礫貝平均密度相同。} \\ H_1: \text{至少一對海域之碑礫貝平均密度不同。} \end{cases}$$
$$\begin{cases} H_0: \text{三海域之碑礫貝平均殼長大小相同。} \\ H_1: \text{至少一對海域之碑礫貝平均殼長大小不同。} \end{cases}$$
$$\begin{cases} H_0: \text{三海域之碑礫貝平均分布深度相同。} \\ H_1: \text{至少一對海域之碑礫貝平均分布深度不同。} \end{cases}$$

方法二：利用皮爾森積差相關分析（Pearson's Correlation）來探討碑礫貝之殼長大小是否與分布深度有相關。顯著水準設為 0.05。

假說如下：

$$\begin{cases} H_0: \text{殼長大小與水深無關。} \\ H_1: \text{殼長大小與水深有關。} \end{cases}$$

方法三：透過 Student's T-test 檢定保護區內外之碑礫貝資源密度是否有差異。顯著水準設為 0.05。

假說如下：

$$\begin{cases} H_0: \text{保護區的平均密度} = \text{非保護區的平均密度。} \\ H_1: \text{保護區的平均密度} \neq \text{非保護區的平均密度。} \end{cases}$$



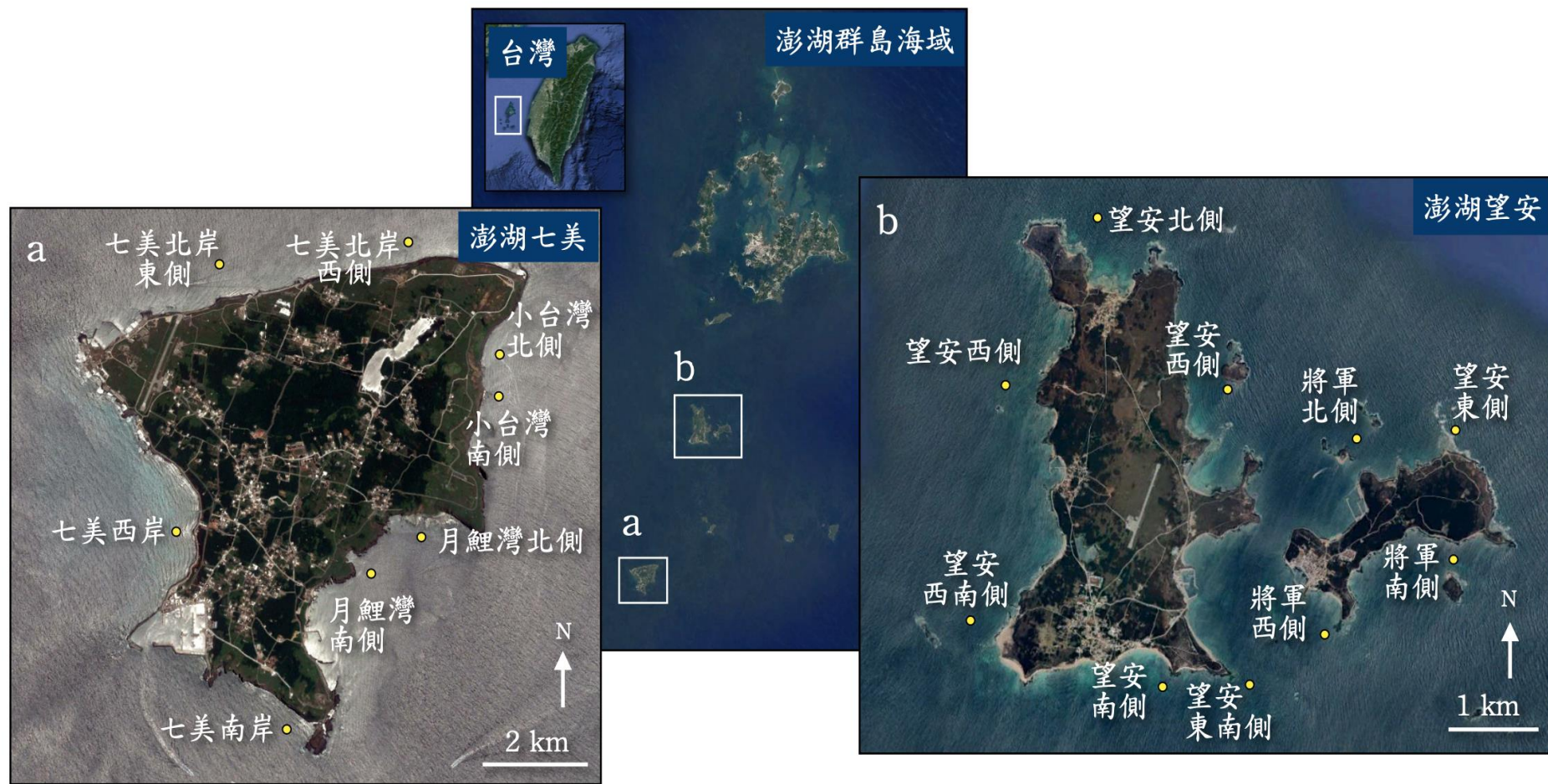


圖 2-1. 澎湖七美 (a) 與望安 (b) 海域各測站位置分布圖。

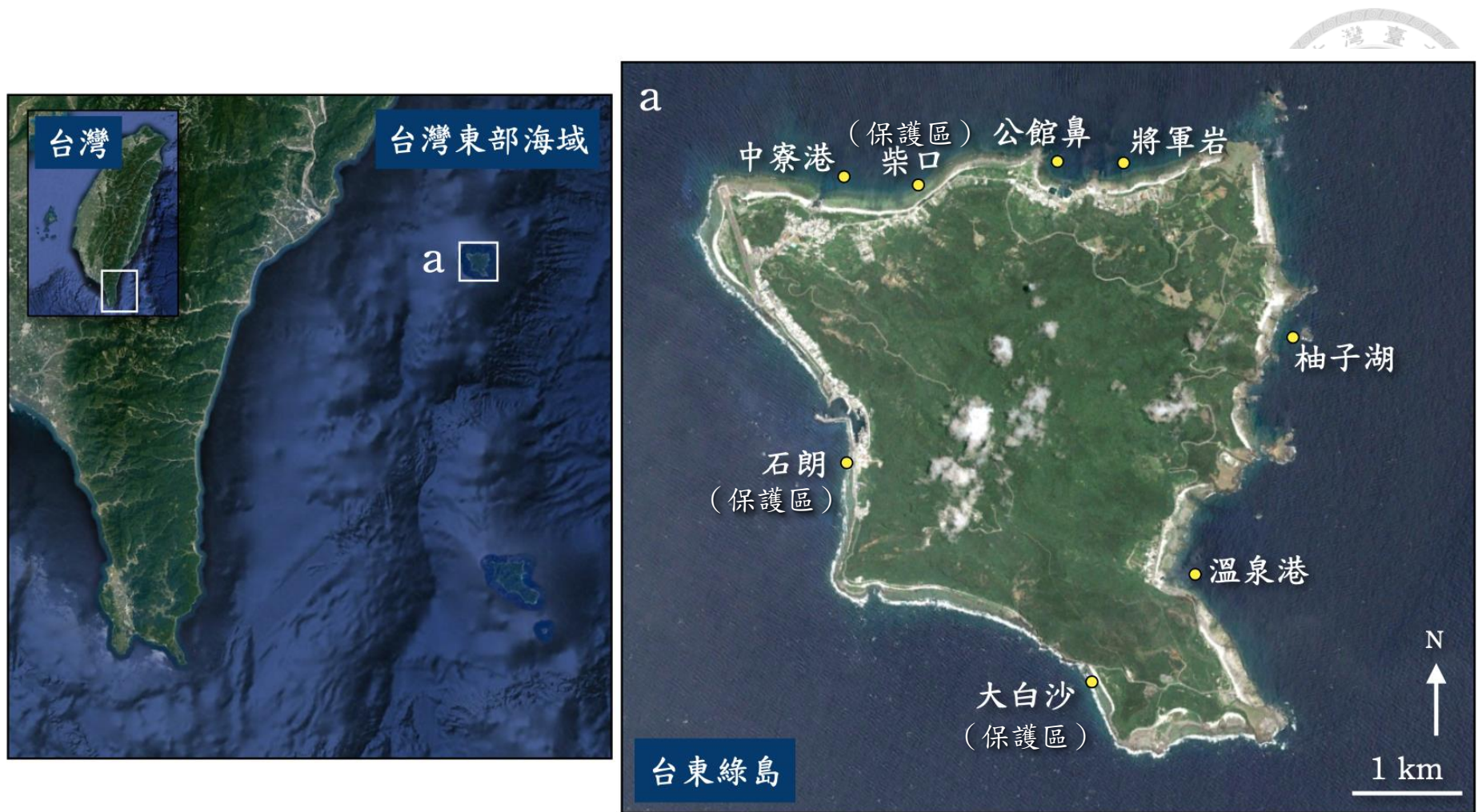


圖 2-2. 綠島海域 (a) 各測站位置分布圖。

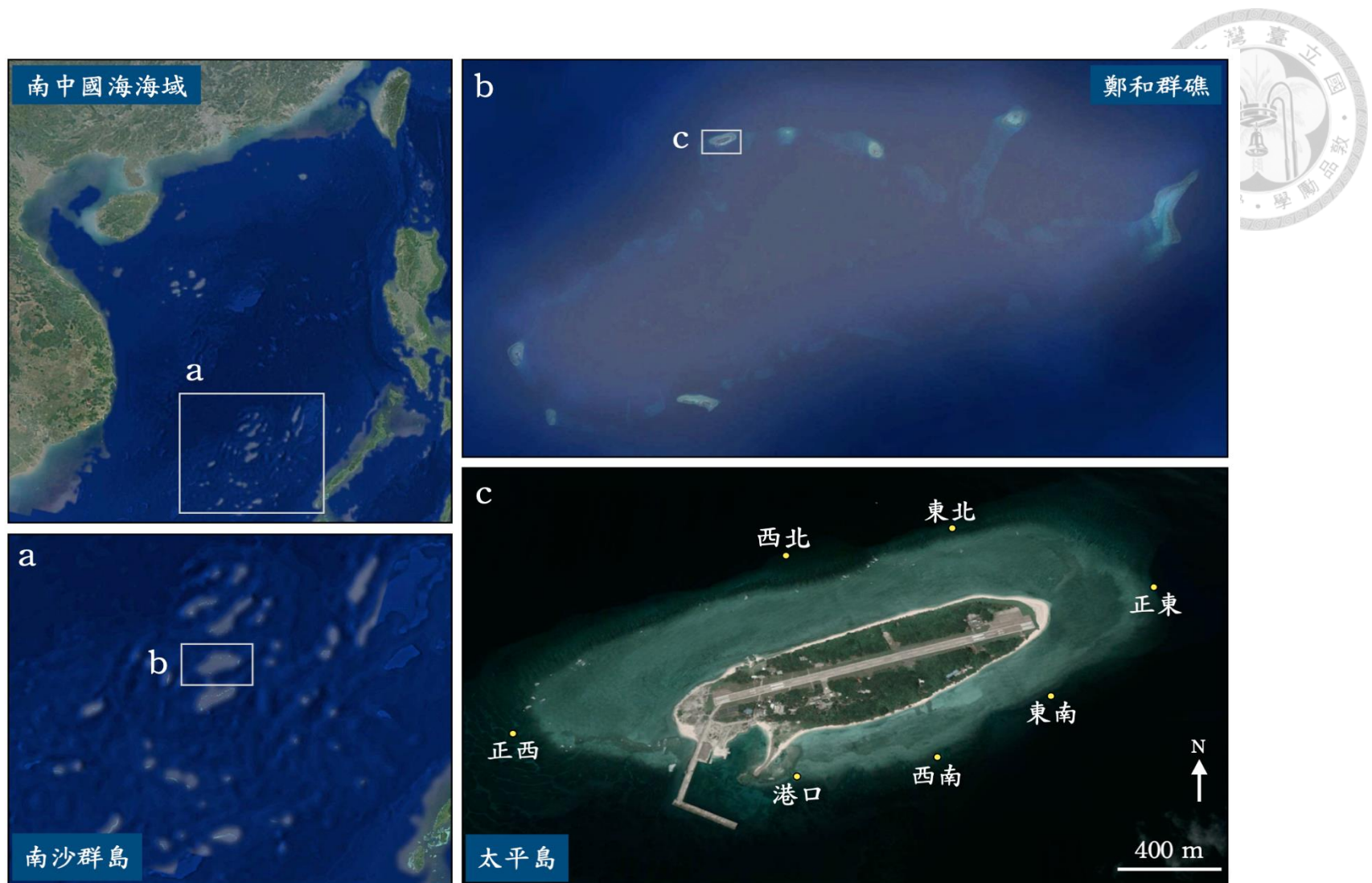


圖 2-3. 南沙太平島海域 (c) 各測站位置分布圖。



表 2-1. 澎湖七美與望安海域碑礫貝現況調查之測站資料

測站名稱	測站代號	保護區與否**	測線數量	深度 (m)	GPS 座標	調查日期
七美北岸東側	QM-NC-E	X	2	6.2~10.1	N23°13.352'; E119°26.257'	20200416
七美北岸西側	QM-NC-W	X	2	5.3~9.2	N23°13.156'; E119°25.255'	20200421
小台灣北側	QM-XTW-N	X	2	5.5~7.7	N23°12.811'; E119°26.697'	20200417
小台灣南側	QM-XTW-S	X	2	7.5~12.6	N23°12.554'; E119°26.702'	20200418
月鯉灣北側	QM-YLW-N	X	2	4.4~7.4	N23°12.038'; E119°26.242'	20200421
月鯉灣南側*	QM-YLW-S	X	3	0.5~7.0	N23°11.771'; E119°25.909'	20191022, 20210422
七美南岸*	QM-SC	X	3	0.5~9.4	N23°11.366'; E119°25.524'	20191023, 20210420
七美西岸*	QM-WC	X	3	0.5~5.5	N23°12.074'; E119°25.140'	20191023, 20210420
將軍嶼東側	JJ-E	X	2	3.9~9.1	N23°22.550'; E119°32.248'	20200507
將軍嶼南側*	JJ-S	X	3	2.3~7.1	N23°21.587'; E119°32.320'	20200507
將軍嶼北側	JJ-N	X	2	4.8~6.0	N23°22.466'; E119°31.604'	20200508
將軍嶼西側	JJ-W	X	2	2.1~4.6	N23°21.384'; E119°31.487'	20200508
望安北側	WA-N	X	2	6.7~9.5	N23°23.928'; E119°29.848'	20200509
望安東側*	WA-E	X	3	3.5~10.1	N23°22.814'; E119°30.851'	20200509
望安西側	WA-W	X	2	5.0~9.0	N23°22.725'; E119°29.173'	20200510
望安西南側*	WA-SW	X	3	4.3~7.5	N23°21.487'; E119°28.905'	20200510
望安南側	WA-S	X	2	4.3~6.8	N23°21.128'; E119°30.398'	20200511
望安東南側*	WA-SE	X	3	1.4~7.7	N23°21.043'; E119°30.696'	20200508, 20200511

*：表示該測站包含浮潛的測線。

**：X 表示非保護區，O 表示保護區。



表 2-2. 綠島海域碑礫貝現況調查之測站資料

測站名稱	測站代號	保護區與否*	測線數量	深度 (m)	GPS 座標	調查日期
石朗	GI-SL	O	2	4.5~11.0	N22°39.291'; E121°28.400'	20200221
中寮港	GI-ZLH	X	2	4.0~12.3	N22°40.658'; E121°28.486'	20200805
柴口	GI-CK	O	2	4.9~10.5	N22°40.714'; E121°28.915'	20200225
公館鼻	GI-KKB	X	2	4.1~10.9	N22°40.678'; E121°29.534'	20200804
將軍岩	GI-GR	X	2	6.5~12.1	N22°40.615'; E121°29.785'	20200805
柚子湖	GI-YZH	X	2	5.2~10.6	N22°39.846'; E121°30.628'	20200806
溫泉港	GI-WCH	X	2	5.5~12.2	N22°38.738'; E121°30.054'	20200806
大白沙	GI-DBS	O	2	5.1~12.8	N22°38.328'; E121°29.507'	20200223

*：X 表示非保護區，O 表示保護區。

表 2-3. 南沙太平島海域碑礫貝現況調查之測站資料

測站名稱	測站代號	保護區與否*	測線數量	深度 (m)	GPS 座標	調查日期
東南	TP-SE	O	2	1.6~10.8	N10°22.259'; E114°22.292'	20210408
西南	TP-SW	O	2	2.4~8.8	N10°22.397'; E114°22.062'	20210409
東北	TP-NE	O	2	3.3~8.4	N10°22.969'; E114°22.029'	20210411
西北	TP-NW	O	2	3.0~10.5	N10°22.900'; E114°21.734'	20210412
港口	TP-H	O	2	1.3~9.5	N10°22.403'; E114°21.830'	20210414
正東	TP-E	O	2	2.3~10.5	N10°22.821'; E114°22.536'	20210413
正西	TP-W	O	2	3.3~8.2	N10°22.459'; E114°21.249'	20210410

*：X 表示非保護區，O 表示保護區。

備註：南沙太平島為軍事管制區，因此歸類為保護區。

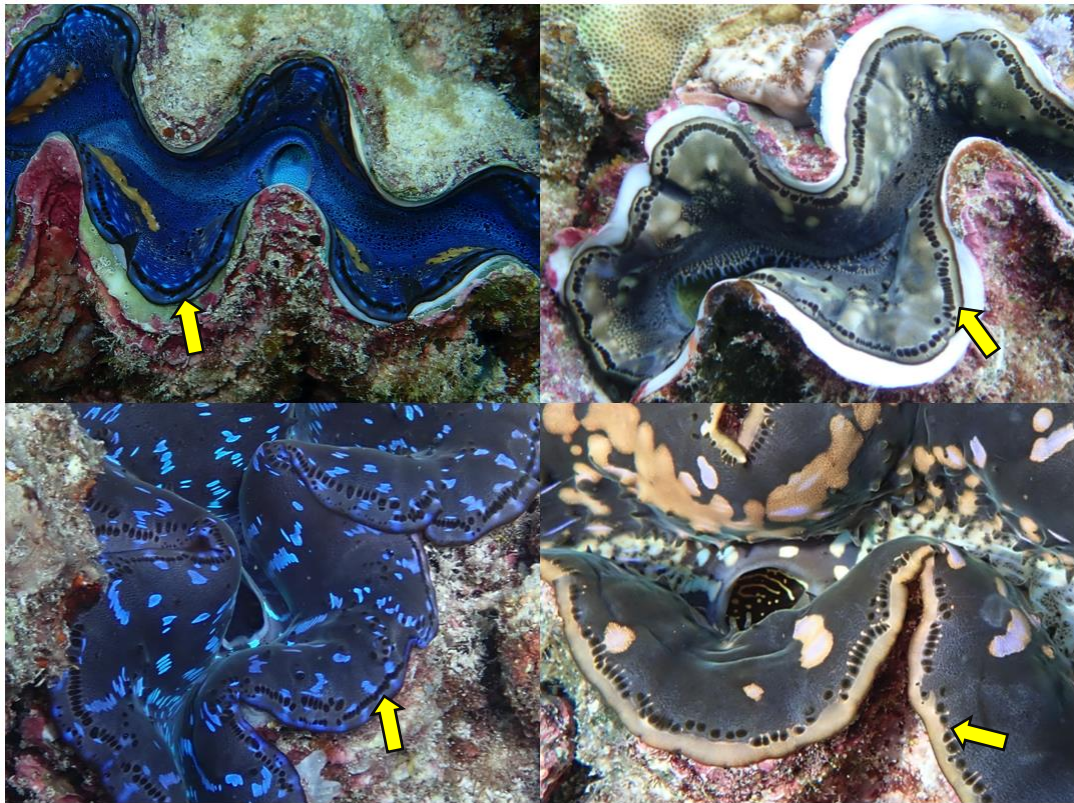


圖 2-4. 長碑碟外套膜邊緣有緊密排列的眼點 (↖)。

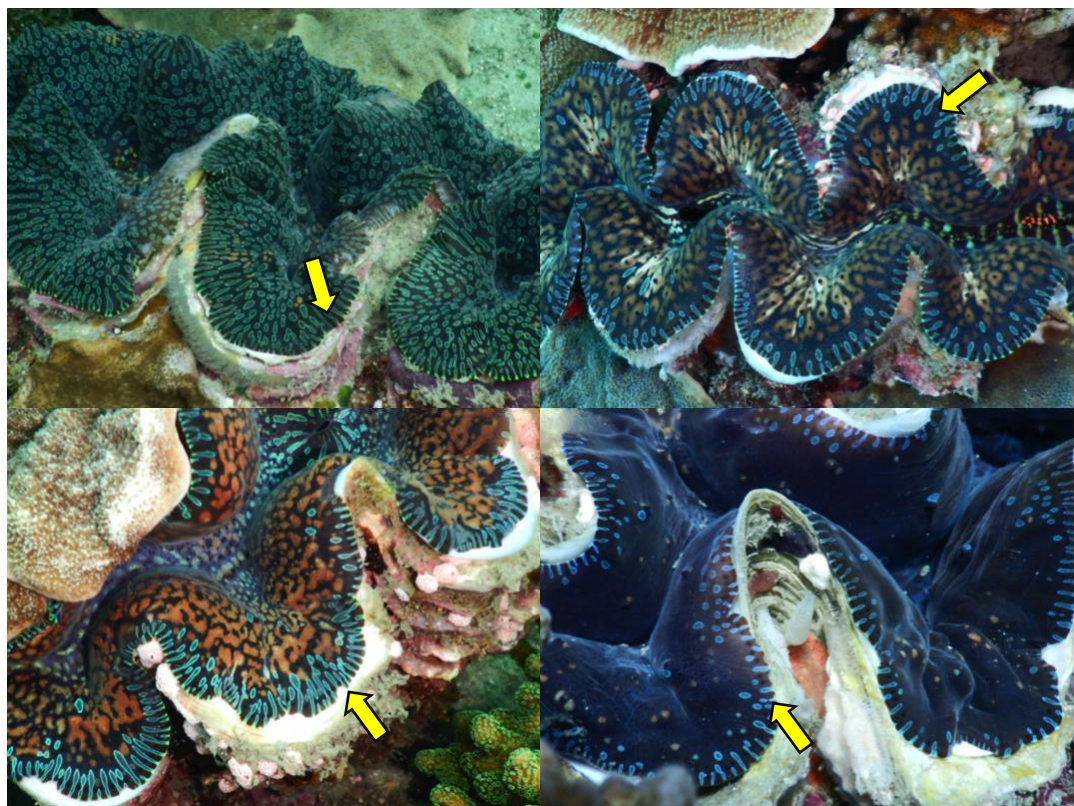


圖 2-5. 諾亞碑碟外套膜上有水滴狀圖案 (↖) 的特徵。



圖 2-6. 鱗碑磔外套膜上佈滿虎斑花紋（↘），外殼有明顯的鱗片（↗）。



圖 2-7. 圓碑磔外套偏好鑲嵌於石縫中（紅圈處），外套膜樣式豐富。

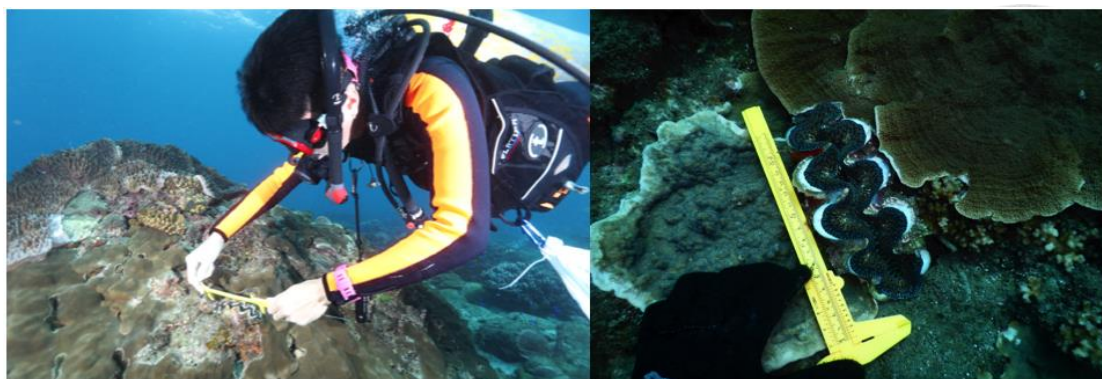


圖 2-8. 利用游標尺測量碑磔貝殼長大小。

表 2-4. 碑磔貝之成長階段定義

成長階段	長碑磔 ¹	諾亞碑磔 ¹	鱗碑磔 ²	圓碑磔 ²
幼貝 (Recruits)	< 4 cm	< 4 cm	< 10 cm	< 2 cm
亞成貝 (Juveniles)	4-15 cm	4-15 cm	10-20 cm	2-7 cm
成貝 (Adults)	> 15 cm	> 15 cm	> 20 cm	> 7 cm

參考文獻：¹Manu and Sone (1995) 及 ²Mingoa-Licuanan and Gomez (2007)

第三章、結果



3.1 台灣週邊海域的碑磔貝種類

目前全世界總共有 2 屬 13 種碑磔貝，台灣週邊海域曾經記錄到 2 屬 7 種(邵等，2008；蘇等，2014)，分別為：菱碑磔 *Hippopus hippopus*，巨碑磔 *Tridacna gigas*，扇碑磔 *T. derasa*，長碑磔 *T. maxima*，諾亞碑磔 *T. noae*，鱗碑磔 *T. squamosa*，圓碑磔 *T. crocea*。以下為台灣曾經記錄過的碑磔貝種間之檢索表，參考 Rosewater (1982) 及蘇等 (2014)。

台灣週邊海域碑磔貝種類鑑定檢索表

1. 外套膜射出不超過外殼邊緣-----菱碑磔 *H. hippopus* (圖 3-1)
外套膜射出超過殼邊緣-----2
2. 外殼邊緣呈明顯的深 V 形狀-----巨碑磔 *T. gigas* (圖 3-2)
外殼邊緣呈現圓弧狀-----3
3. 外殼光滑且沒有鱗片-----扇碑磔 *T. derasa* (圖 3-3)
外殼有鱗片構造-----4
4. 殼兩邊等長、有明顯的鱗片-----鱗碑磔 *T. squamosa* (圖 3-4)
殼兩邊明顯不等長，鱗片相對小-----5
5. 外套膜樣式無明顯的眼點或透明器官排列-----圓碑磔 *T. crocea* (圖 3-5)
外套膜樣式有明顯的眼點或透明器官排列-----6
6. 外套膜邊緣有緊密排列的眼點-----長碑磔 *T. maxima* (圖 3-6)
外套膜邊緣有水滴狀樣式環繞-----諾亞碑磔 *T. noae* (圖 3-7)

各種類碑磔貝之形態特徵、習性、分布資料參考蘇等（2014）與 Triandiza *et al.*（2019），其中扇碑磔與巨碑磔資料參考 Hernawan（2012）。



雙殼綱 Class Bivalvia Linnaeus, 1758

異齒亞綱 Subclass Heterodonta Neumayr, 1884

鳥蛤目 Order Cardiida Ferussac, 1822

鳥蛤科 Family Cardiidae Lamarck, 1809

碑磔蛤亞科 Subfamily Tridacninae Goldfuss, 1820

菱碑磔屬 Genus *Hippopus*

菱碑磔 *Hippopus hippopus* (Linnaeus, 1758)

Common name: horse's hoof clam; strawberry clam

形態特徵：外殼厚且重，有明顯的放射肋（radial rib），殼長大小中等至大（40~50 cm），外觀大致上呈球狀，側面輪廓近似三角狀卵形。殼上方邊緣有不規則、類似三角形的彎曲；外殼中段有明顯的隆起；放射肋有 9-14 個主肋，主肋之間夾有 2-3 個小肋；外殼以白色為主，表面帶有不規則散佈的紅色斑點。足絲孔（byssal orifice）非常細窄且有細齒嵌合，幾乎沒有足絲口（byssal gape）存在。外套膜不會射出（project）超過外殼邊緣，顏色多為黃棕色或暗綠色。入水口（Inhalent siphon）沒有觸手。

生態習性：喜歡棲息於珊瑚礁區的沙地上或是僻鄰珊瑚礁區的海床上。較小的個體通常會固著在珊瑚碎塊上，較大的個體則沒有足絲固著，易受到波浪影響而翻滾移動。

分布：熱帶東印度洋至西太平洋，西至安達曼群島（Andaman Islands），東至美拉尼西亞東部；北至日本南部，南至澳洲昆士蘭。目前台灣只分布於東沙環礁、南沙太平島。

附註：菱碑磔容易透過其外殼邊緣的不規格半圓狀、明顯的大小放射肋以及外殼上的紅色斑點而與其他種碑磔貝間辨別。

碑磔蛤屬 Genus *Tridacna*

巨碑磔 *Tridacna gigas* (Linnaeus, 1758)

Common name: the true giant clam

形態特徵：外殼堅硬且厚重，殼長一般為 80 cm 左右，最大可長至 137 cm。殼左右兩邊幾乎等長，外觀輪廓像扇形。外殼有 4-6 條明顯的放射肋，肋與肋之間的溝槽內有 7-12 條小肋。外殼邊緣形狀有別於其他種類，呈現明顯的 V 字形。殼上沒有鱗片。有細小的足絲孔。外套膜厚實多肉，顏色多為深棕色或橄欖綠，邊緣多有藍色或綠色的小圈圈樣式。入水口沒有觸手。

生態習性：通常棲息於 20 m 以淺的珊瑚礁海域或沙地。

分布：東印度洋至西太平洋，西至緬甸西南邊，東至密克羅尼西亞、美拉尼西亞東部，北至日本南部，南至澳洲昆士蘭州、新喀里多尼亞。過去台灣於綠島、東沙環礁、南沙太平島等地有紀錄，現今野外紀錄只剩下外殼。

附註：巨碑磔是所有碑磔貝種類中，體型最大者。外殼邊緣深 V 形狀以及厚實的外套膜是辨認巨碑磔的特徵。

扇碑磔 *Tridana derasa* (Röding, 1798)

Common name: southern giant clam; smooth giant clam

形態特徵：外殼堅硬且厚重，殼長一般為 50 cm 左右。輪廓呈現扇形，外殼邊緣圓滑。外殼光滑，有 7-12 條放射肋。殼上沒有鱗片。足絲孔細小。外套膜通常有亮藍色或亮綠色的條紋。入水口觸手較不明顯。

生態習性：通常棲息於 20 m 以淺的珊瑚礁海域。

分布：西太平洋，從印尼西邊至美拉尼西亞東邊，北至菲律賓，南至澳洲新南威爾斯州（New South Wales）。先前在台灣分布於恆春半島、蘭嶼等地，但不記錄過活貝。

附註：扇碑磔外殼是所有碑磔貝種類中，最光滑的。其外殼邊緣亦呈明顯的圓弧形。

鱗碑磔 *Tridacna squamosa* (Lamarck, 1819)

Common name: fluted giant clam; scaly clam

形態特徵：殼長可達 30~40 cm，輪廓呈扇形。外殼有明顯的 5-6 條放射肋，肋與肋之間溝槽有數個小肋。肋上有大鱗片。外殼通常為黃色或粉橘色。足絲孔為中等大小。外套膜樣式多由黃色、橘色、藍色、綠色或棕色等斑紋所組成。入水口有明顯的觸手。

生態習性：幼年時期以足絲固著於珊瑚碎上，成貝固著或不固著；通常棲身於受保護的礁石旁。通常棲息於 20 m 以淺之珊瑚礁區，偶有記錄個體於水深較深約 40 m 的環境。

分布：屬廣泛分布種，橫跨印度—太平洋，從東非（包括馬達加斯加、紅海、波斯灣）到玻里尼西亞東部，從日本沖繩到澳洲東部。台灣分布於綠島、蘭嶼、澎湖、小琉球、台東、恆春半島、東沙群島、南沙太平島。

附註：鱗碑磔以外殼上有明顯的「鱗片」而得名，外套膜上由多種顏色所組成之虎斑樣式也是辨認鱗碑磔的要素之一。

圓碑磔 *Tridacna crocea* (Lamarck, 1819)

Common name: boring clam; burrowing clam

形態特徵：一般殼長約 11~15 cm，輪廓呈扇形。外殼上沒有明顯的放射肋。外殼上邊緣呈規則的半圓形，通常帶有淡橘色。足絲口相對寬。外套膜有許多樣式及顏色，包括藍色、綠色、紫色、橘色、棕色等。入水口有觸手。

生態習性：棲息於淺水珊瑚礁水深約 10 m 內、潮間帶礁石縫隙。將自身完全鑲嵌於礁石中，只留外套膜於表面。

分布：東印度洋到西太平洋，西從安達曼群島、東至斐濟，北從日本、南至新喀里多尼亞（New Caledonia）。台灣分布於綠島、蘭嶼、澎湖、小琉球、台東、恆春半島、東沙群島、南沙太平島。

附註：圓碑磔貝是所有碑磔貝種類中個體最小種，與長碑磔外觀相似，以眼點排列位置最好辨認。潛水調查時，通常只會看見圓碑磔外套膜攤於礁石平面上，看不見其外殼。

長碑磔 *Tridacna maxima* (Röding, 1798)

Common name: small giant clam; maxima clam; elongate giant clam

形態特徵：外殼厚實，輪廓呈長卵形，一般殼長為 25~35 cm。外殼上有明顯的 4-6 條放射肋，且每條肋上有排列整齊之指甲狀鱗片 (scale)；外殼呈灰白色，常泛黃或粉橙色。有一大的足絲孔。外套膜常帶有一到多層的斑點或條紋，顏色多樣變化大，從深色的黑色、棕色、紫色到淺色的黃灰色、藍綠色等，外套膜邊緣有緊密排列的黑色透明器官 (hyaline organ，又名：眼點) 環繞。入水口有觸手。

生態習性：普遍棲息 20 m 以淺的珊瑚礁中，某些個體會將自身部分鑲嵌在珊瑚或海綿上。

分布：廣泛分布於印度—太平洋海域，從東非（包括馬達加斯加、紅海、波斯灣）到玻里尼西亞東部，從日本沖繩到澳洲東部。台灣分布於綠島、蘭嶼、澎湖、小琉球、台東、恆春半島、東沙環礁、南沙太平島。

附註：研究透過外部形態、分子鑑定等分析鑑別結果發現長碑磔有另一隱蔽種 (Tang, 2005；Kubo and Iwai, 2007；Huelsken *et al.*, 2013)，隨後 Su *et al.* (2014) 將其復名為諾亞碑磔。

諾亞碑磔 *Tridacna noae* (Röding, 1798)

Common name: Noah's clam; teardrop maxima

形態特徵：外殼厚實，輪廓呈長卵形，一般殼長約 25~35 cm。外殼上有明顯的放射肋 5-7 條，且每條肋上有排列整齊之指甲狀鱗片。足絲孔寬度大小正常。外套膜顏色多樣，從亮到深的黃棕色、藍綠色、深藍色、藍色、棕色等。外套膜邊緣有水滴形圖案環繞。入水孔有觸手。

生態習性：普遍棲息 20 m 以淺的珊瑚礁中，某些個體會將自身部分鑲嵌在珊瑚或海綿上。

分布：索羅門群島、澳洲西部、台灣本島及離島、日本琉球群島、石垣島。台灣分布於綠島、蘭嶼、澎湖、小琉球、恆春半島、台東、東沙環礁、南沙太平島。

附註：諾亞碑磔與長碑磔外觀極為相似，透過外套膜上的特徵即可快速分辨，長碑磔外套膜邊緣有緊密排列的眼點，諾亞碑磔則有水滴狀圖案環繞。

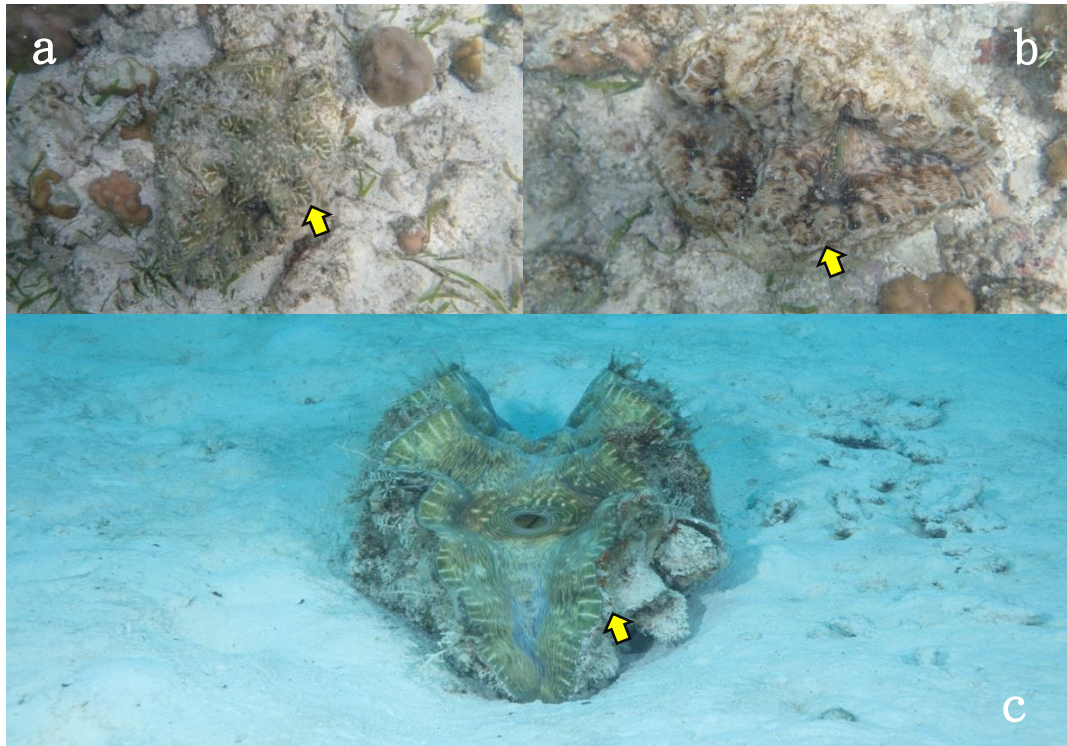


圖 3-1. 菱碑磔通常棲息於海草床或沙地，其外套膜不會射出超過殼邊緣(👉)，有明顯的放射肋。(a-b) 2021 年 4 月作者於南沙太平島東北側礁平台上拍攝；(c) 於南沙太平島水下 20 m 沙地上拍攝（鄭明修攝，2017）。

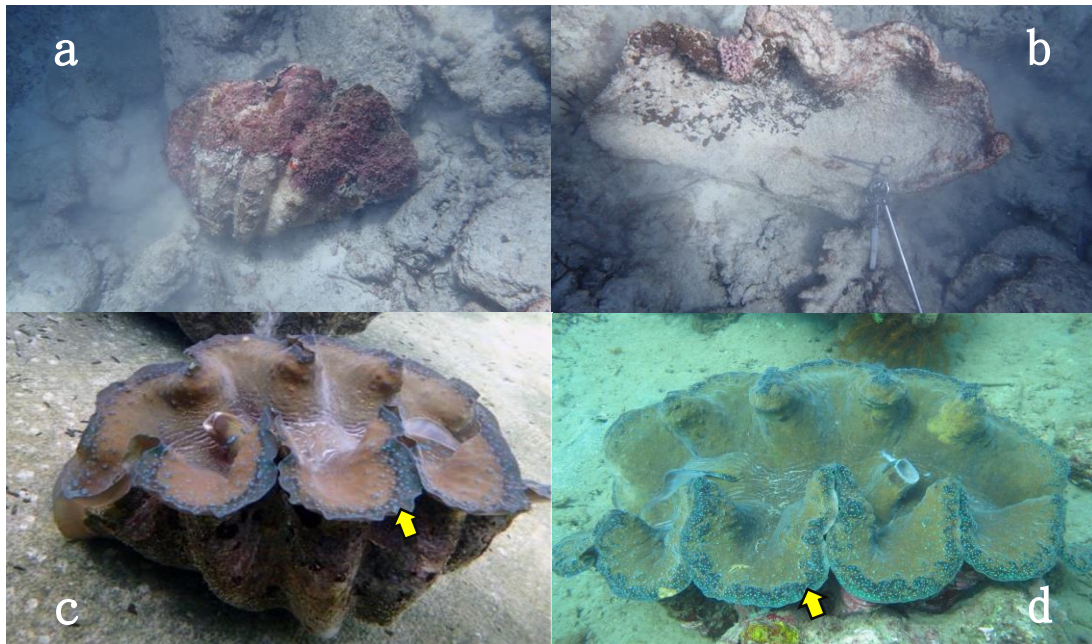


圖 3-2. (a-b) 在南沙太平島發現的巨碑磔空殼，依照比例尺換算，此空殼至少超過 90 cm，2021 年 4 月作者於南沙太平島拍海域攝；(c-d) 巨碑磔外套膜多為棕色、且邊緣有不規則藍色圓圈環繞(👉)，(c) 圖片來源：Neo *et al.* (2017)；(d) 鄭明修於菲律賓拍攝。



圖 3-3. (a) 扇碑磔多有藍色或綠色條紋分布於外套膜上 (↗)，外殼沒有明顯的肋溝槽 (↖)。圖片來源：Neo *et al.* (2017)。(b) 扇碑磔因為外型討喜，受水族玩家的喜愛。圖片來源：國立自然科學博物館。

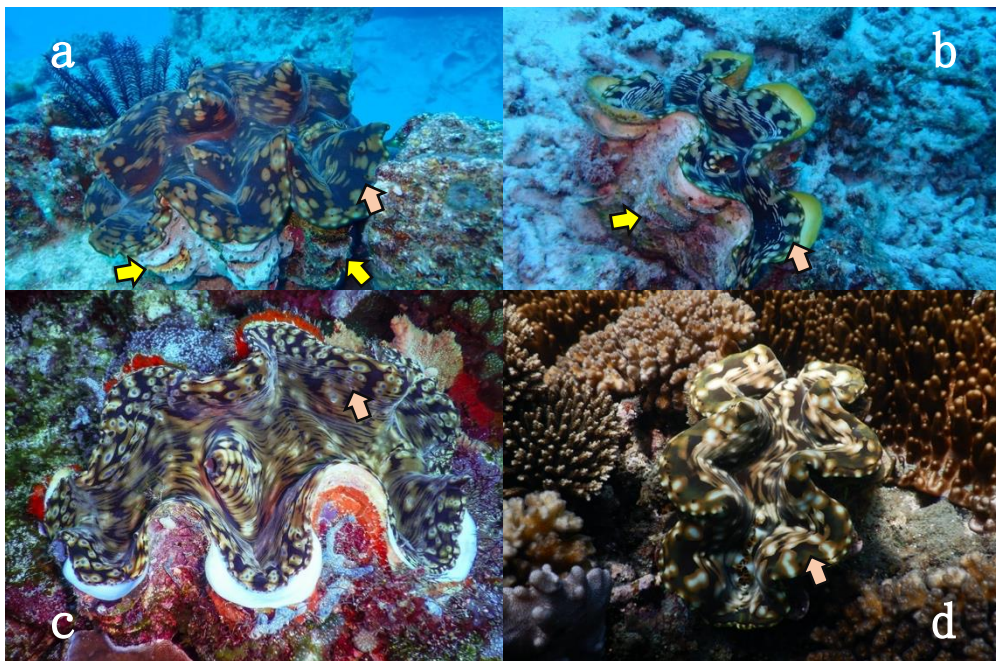


圖 3-4. 鱗碑磔因為外殼有明顯的鱗片而得名 (↗)，外套膜多為棕色虎斑花紋 (↖)。(a-b) 2021 年 4 月作者於南沙太平島海域拍攝；(c) 2020 年 2 月作者於綠島海域拍攝；(d) 2020 年 4 月作者於澎湖七海域拍攝。



圖 3-5. 圓碑磔外套膜顏色多樣，討人喜愛，棲地偏好鑲嵌於礁石縫隙，且常會看到密集聚集的圓碑磔。(a-d) 2021 年 4 月作者於南沙太平島海域拍攝。




圖 3-6. 長碑磔外套膜邊緣有緊密排列的眼點（），偶爾可發現其鑲嵌於礁石或是珊瑚中。(a-b) 2021 年 4 月作者於南沙太平島海域拍攝；(c) 2020 年 2 月作者於綠島海域拍攝；(d) 2020 年 4 月作者於澎湖七美海域拍攝。



圖 3-7. 諾亞碑磔外套膜邊緣有水滴狀圖案(↗)，棲息偏好與長碑磔相似。(a-b) 2020 年 4 月作者於澎湖七美海域拍攝；(c) 2020 年 8 月作者於綠島海域拍攝；(d) 2020 年 5 月作者於澎湖望安海域拍攝。

3.2 澎湖七美望安、綠島及太平島的碑礫貝現況調查

3.2.1 碑礫貝的密度

2019 年 10 月到 2021 年 5 月的調查中，總共進行了 33 個測站的調查，各測站之碑礫貝調查原始資料如（附表 3、附表 4），經整理後以（表 3-1、圖 3-8）呈現。在澎湖七美望安的 18 個測站中總共記錄到 53 顆碑礫貝，密度為 0.27 顆/100 m²；在綠島的 8 個測站中總共記錄到 194 顆碑礫貝，密度為 2.43 顆/100 m²；在南沙的 7 個測站中總共記錄到 259 顆碑礫貝，密度為 3.70 顆/100 m²。根據統計結果，三海域之間碑礫貝密度呈顯著差異（One-way ANOVA, $p < 0.05$ ），進一步以 Tukey HSD Test 進行事後檢定，顯示綠島與太平島海域碑礫貝密度間沒有差異，但該二海域密度均高於澎湖七美望安海域。

表 3-1. 各海域碑礫貝資源現況調查結果彙整

地區	總測站數	總數量（顆）	平均密度（顆/100 m ² ）
澎湖七美望安	18	53	0.27±0.26 ^b
綠島	8	194	2.43±3.15 ^a
太平島	7	259	3.70±1.72 ^a

備註：以 ANOVA 進行事前檢定、Tukey HSD Test 進行兩兩比較， $\alpha = 0.05$ 。

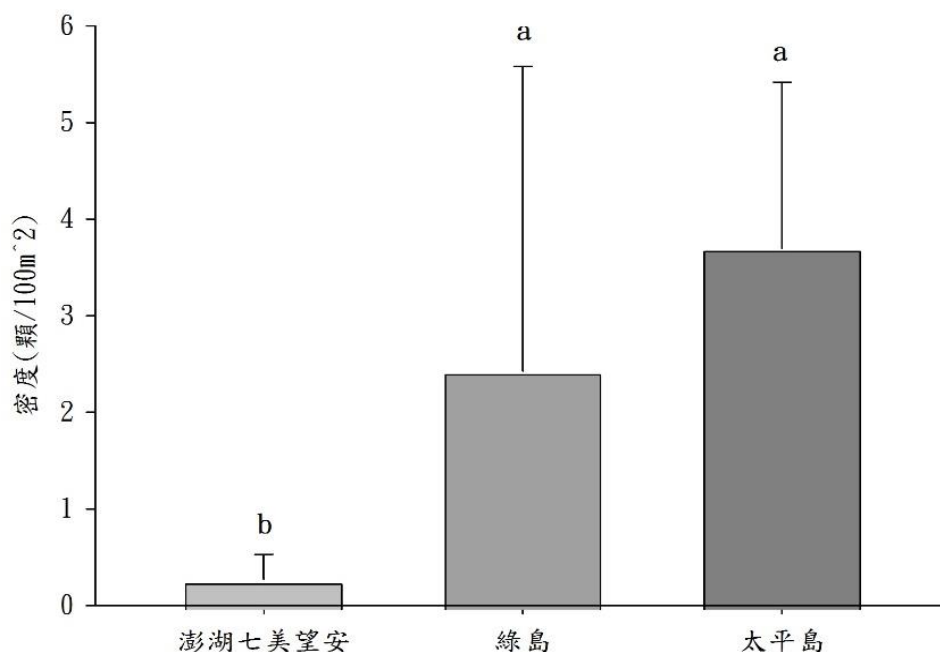


圖 3-8. 各海域碑礫貝密度圖。

3.2.2 碑礫貝的種間數量

碑礫貝種類組成方面，如（表 3-2，圖 3-9）所示，澎湖七美望安與綠島記錄到 3 種碑礫貝。其中澎湖七美望安海域的長碑礫數量佔該海域記錄到所有碑礫貝的 21%（11 顆），諾亞碑礫 70%（37 顆），鱗碑礫 9%（5 顆）；綠島海域 74% 為長碑礫（143 顆），16% 為諾亞碑礫（31 顆），10% 為鱗碑礫（20 顆）；太平島海域記錄到五種，其中長碑礫佔 75%（195 顆），圓碑礫 24%（61 顆），鱗碑礫 1%（3 顆）；另外有記錄到一顆諾亞碑礫，以及砂質底質區也發現 3 顆以上的菱碑礫，但因為發現位置均於測站外，因此不列入碑礫貝密度計算。

表 3-2. 各海域碑礫貝種類組成、殼長與分布水深結果彙整

種類	地區	數量(顆)	平均殼長 (cm)	平均深度 (m)
長碑礫	澎湖七美望安	11	15.22±4.89 ^a	6.46±0.96 ^b
	綠島	143	9.81±4.60 ^b	8.29±2.32 ^a
	太平島	195	10.6±5.05 ^b	4.97±2.10 ^b
諾亞碑礫	澎湖七美望安	37	16.68±6.28 ^a	5.14±2.38 ^b
	綠島	31	9.58±5.08 ^b	6.54±2.19 ^a
鱗碑礫	澎湖七美望安	5	20.30±3.14 ^a	6.82±2.00 ^a
	綠島	20	13.43±3.16 ^b	8.55±2.08 ^a
	太平島	3	23.87±15.54 ^a	9.03±1.57 ^a
圓碑礫	太平島	61	8.51±2.64	3.79±1.55
合計	澎湖七美望安	53	15.27±6.28 ^a	6.29±2.21 ^b
	綠島	194	10.15±4.88 ^b	8.04±2.36 ^a
	太平島	259	10.33±5.07 ^b	4.74±2.09 ^c

備註：以 ANOVA 進行事前檢定、Tukey HSD Test 進行兩兩比較， $\alpha=0.05$ 。

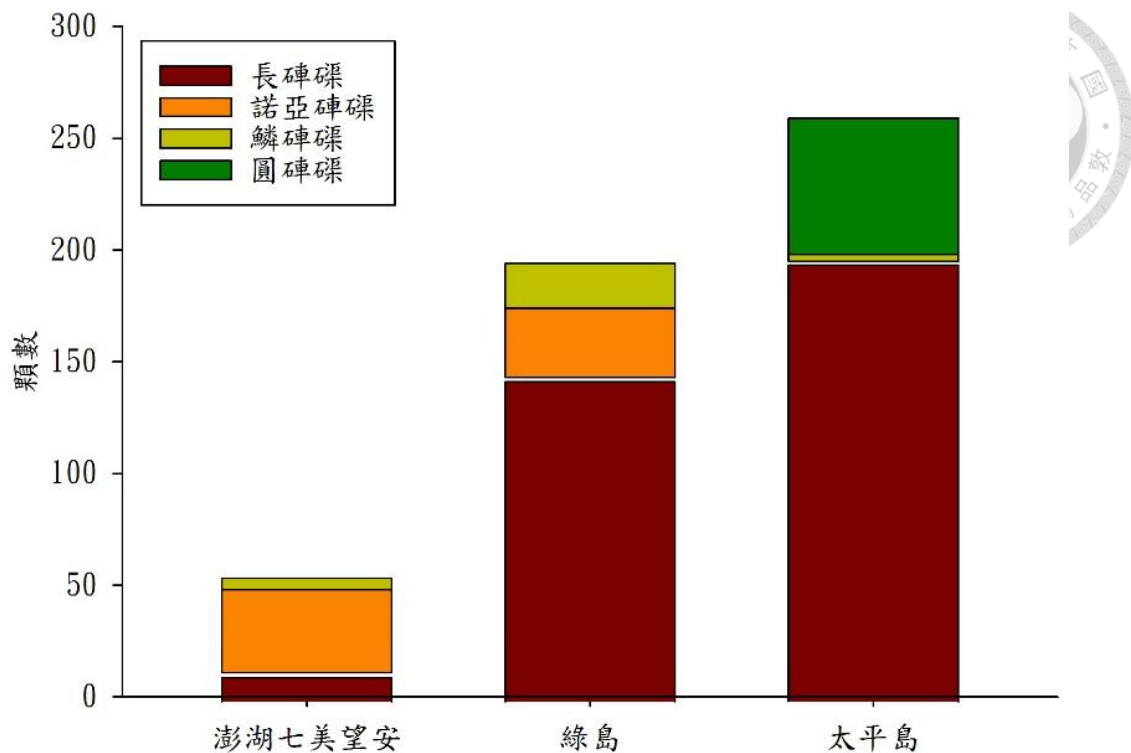


圖 3-9. 各海域碑磔貝種類組成堆疊圖。

3.2.3 碑磔貝的分布

分布深度方面如（表 3-2，圖 3-10），澎湖七美望安海域碑磔貝的平均分布深度為 5.58 ± 2.21 m，綠島海域碑磔貝的平均分布深度為 8.04 ± 2.36 m，太平島海域碑磔貝的平均分布深度為 4.74 ± 2.09 m。統計結果顯示，三海域碑磔貝平均分布深度之間有顯著差異（One-way ANOVA, $p < 0.05$ ）；透過 Tukey HSD Test 進行事後兩兩比較，太平島海域碑磔貝的平均分布深度顯著小於其餘兩海域，且澎湖七美望安海域碑磔貝的平均分布深度顯著小於綠島海域。

殼長對分布深度之結果如（圖 3-11~圖 3-14），透過 Pearson 相關性分析結果顯示，綠島海域碑磔貝之殼長與分布深度呈顯著正相關（Pearson's Correlation, $r = 0.225$, $p < 0.05$ ），澎湖七美望安及太平島海域碑磔貝之殼長與分布深度沒有顯著相關。另外，綠島海域長碑磔之殼長大小與平均分布深度呈顯著正相關（Pearson's Correlation, $r = 0.208$, $p < 0.05$ ），太平島海域圓碑磔之殼長與平均分布深度則呈顯著負相關（Pearson's Correlation, $r = -0.285$, $p < 0.05$ ）。

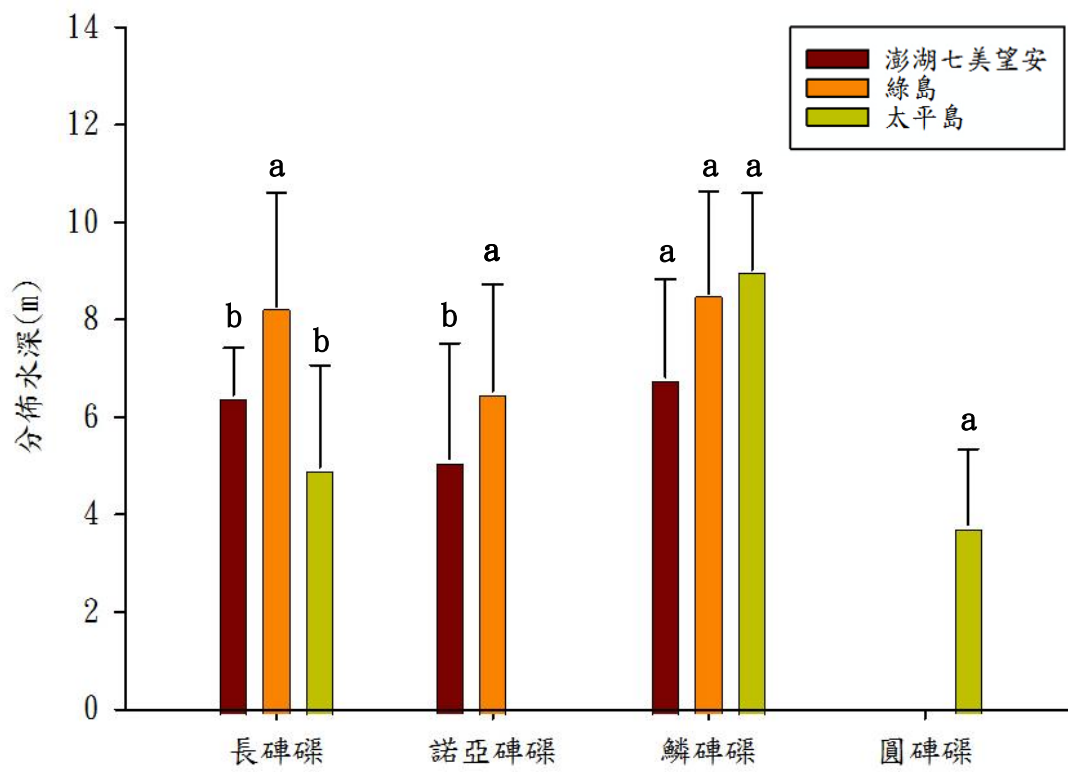


圖 3-10. 各海域碑礫貝平均分布水深圖。

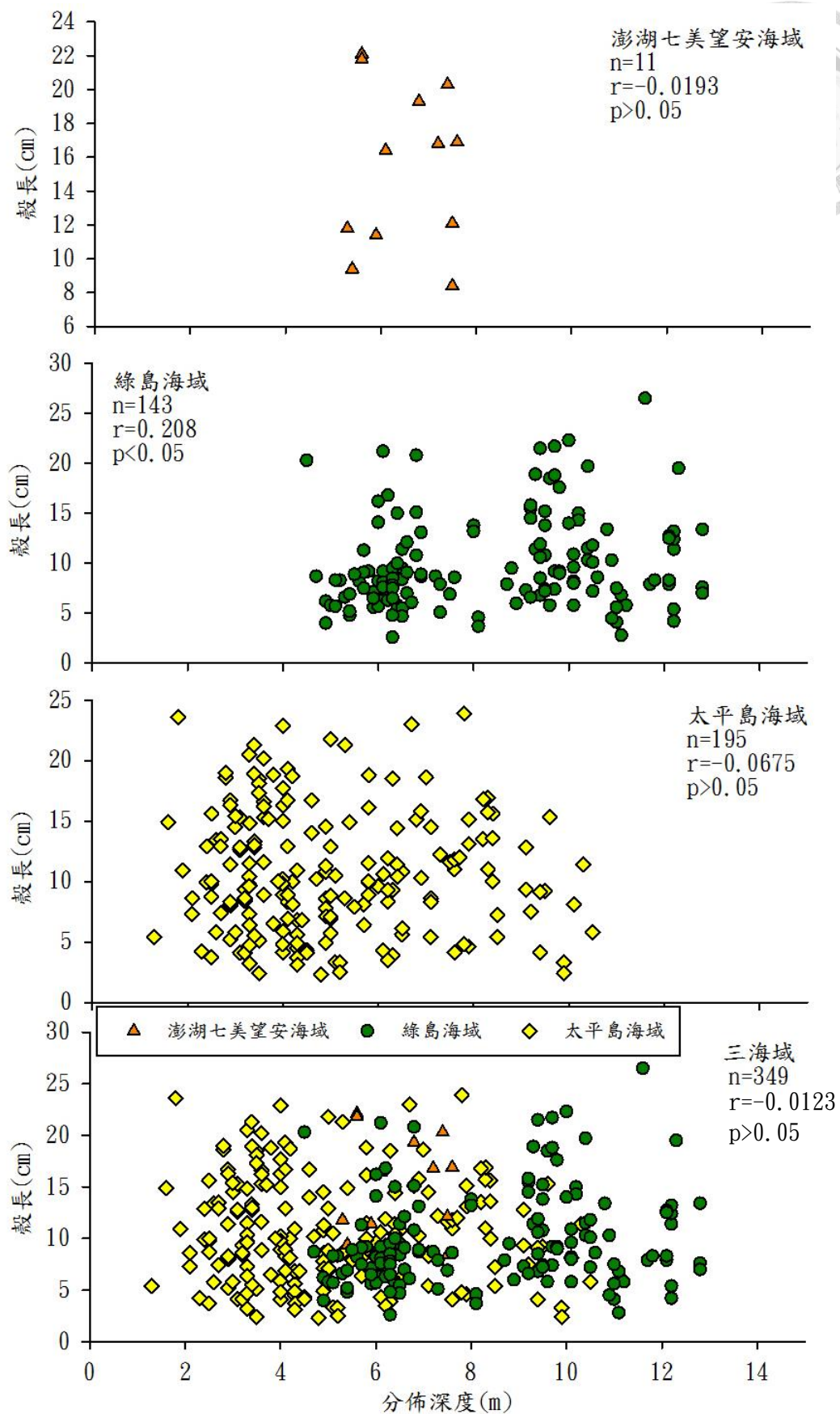


圖 3-11. 各海域長碑磔殼長對深度關係圖。

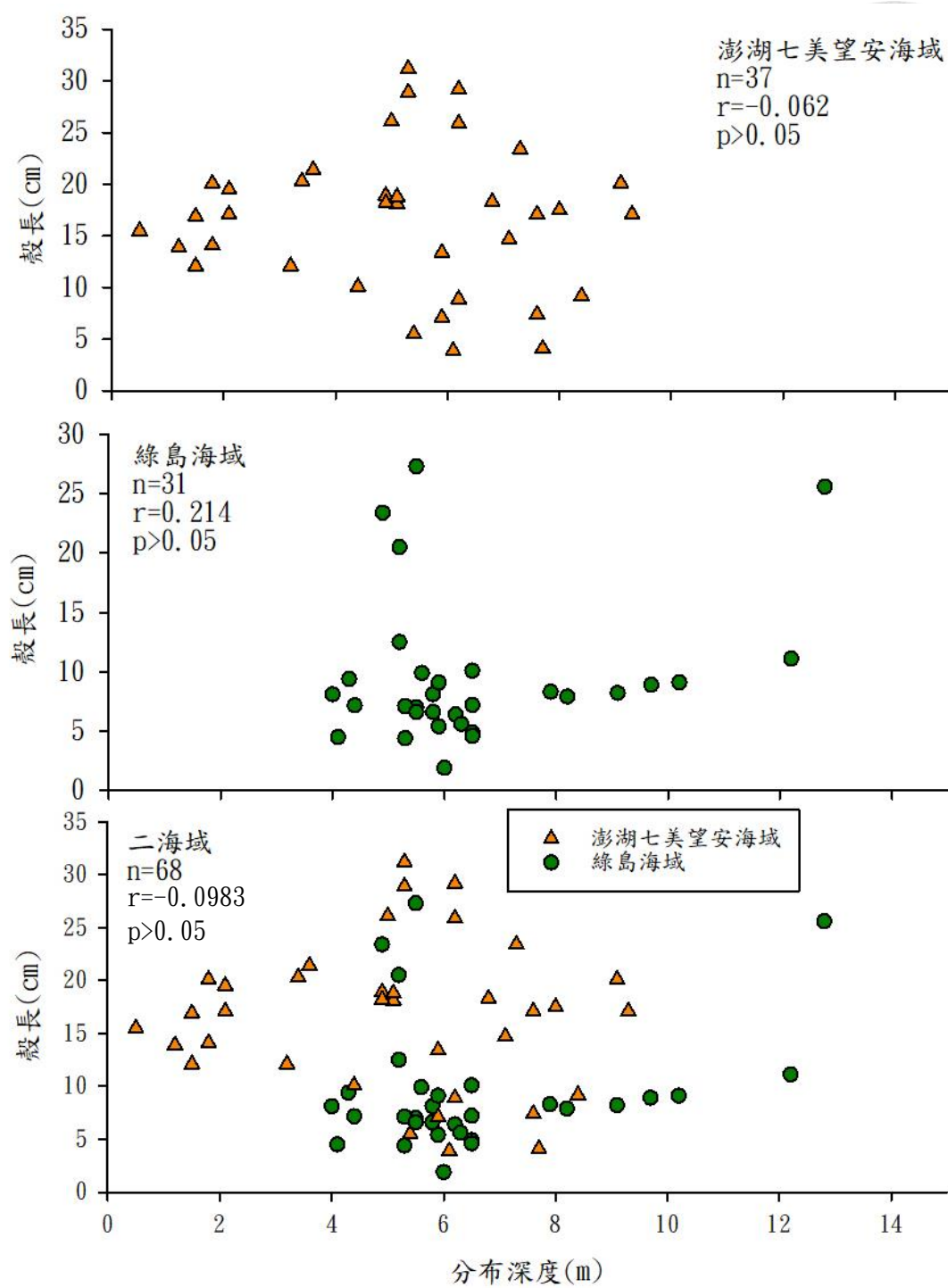


圖 3-12. 澎湖七美望安與綠島海域諾亞碑殼長對深度關係圖。

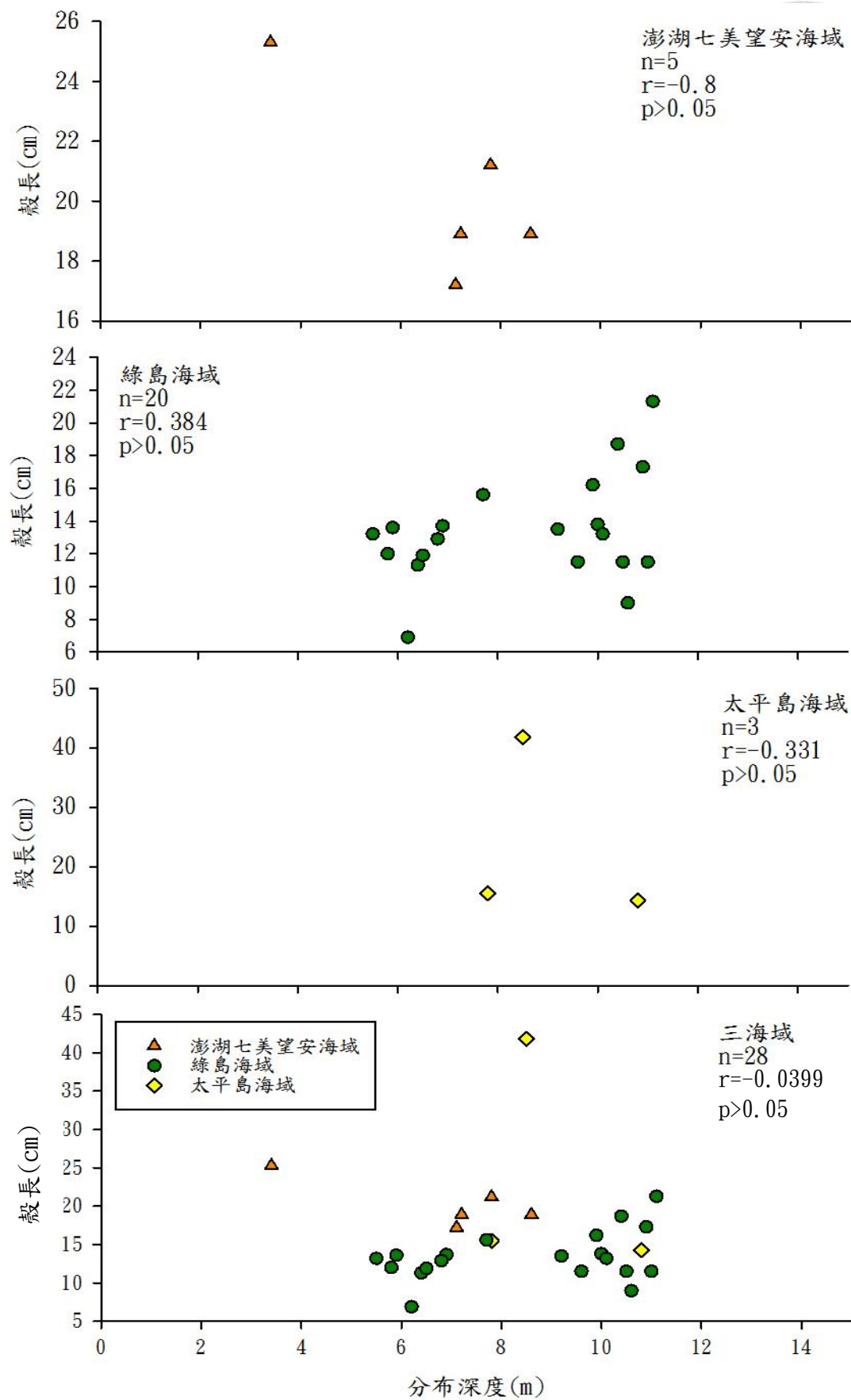


圖 3-13. 各海域鱗碑殼長對深度關係圖。

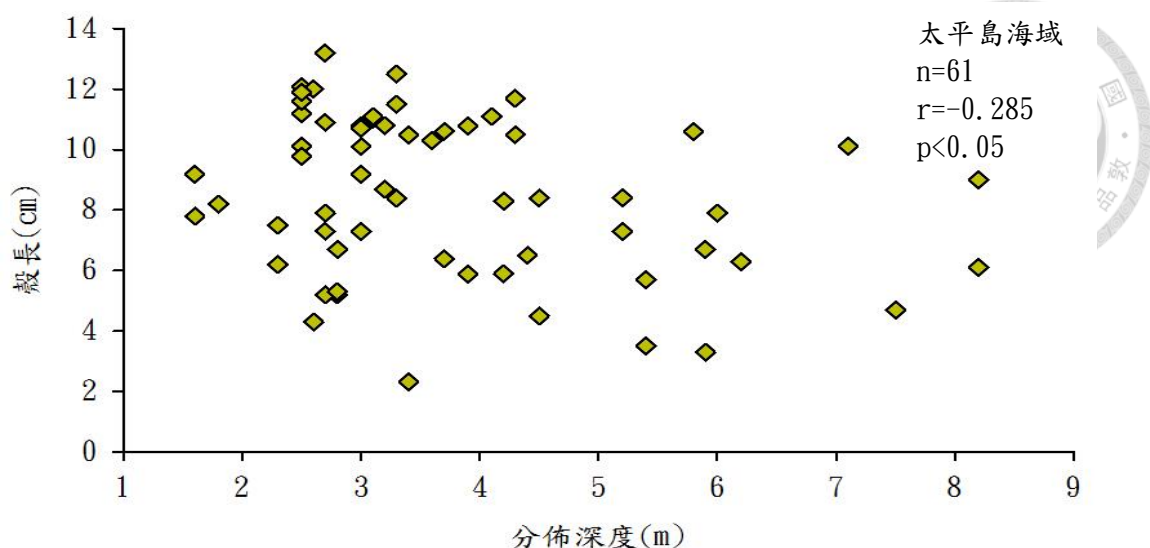


圖 3-14. 太平島海域圓碑磔殼長對深度關係圖。

3.2.4 碑磔貝的殼長與頻度分析

澎湖七美望安、綠島及太平島海域碑磔貝殼長平均結果如(表3-2, 圖3-15), 澎湖七美望安海域碑磔貝的平均殼長為 15.27 ± 6.28 cm, 綠島海域為 10.15 ± 4.88 cm, 太平島海域為 10.33 ± 5.07 cm。綜合比較, 各海域之間碑磔貝的平均殼長有顯著差異(One-way ANOVA, $p < 0.05$), 透過Tukey HSD Test進行兩兩比較, 顯示綠島與太平島海域的碑磔貝平均殼長大小沒有差異, 但該二海域的平均殼長大小顯著小於澎湖七美望安海域。另外, 利用One-way ANOVA進一步分析相同種類在三海域的平均殼長大小, 結果顯示長碑磔、諾亞碑磔與鱗碑磔在不同海域之間的平均殼長大小皆有顯著差異(One-way ANOVA, $p < 0.05$)。

在澎湖七美望安海域以諾亞碑磔為優勢種, 綠島則為長碑磔、諾亞碑磔, 太平島海域則以長碑磔及圓碑磔為優勢種。本研究選擇該三種碑磔貝進行殼長頻度分析。殼長頻度分析結果如(圖3-16~圖3-18)所示, 澎湖七美望安海域長碑磔的殼長比較集中於9-12 cm和15-18 cm, 各佔七美長碑磔總數的27% (3顆), 諾亞碑磔集中於18-21 cm, 佔總數的27% (10顆); 綠島海域長碑磔的殼長高峰集中於6-9 cm, 佔綠島所有長碑磔總數的38% (55顆), 諾亞碑磔同樣集中於6-9 cm, 佔總數的43% (13顆)。太平島海域長碑磔的殼長集中於3-12 cm, 佔太平島長碑磔總數的62% (195顆), 圓碑磔集中於10-12 cm, 佔總數的36% (22顆)。

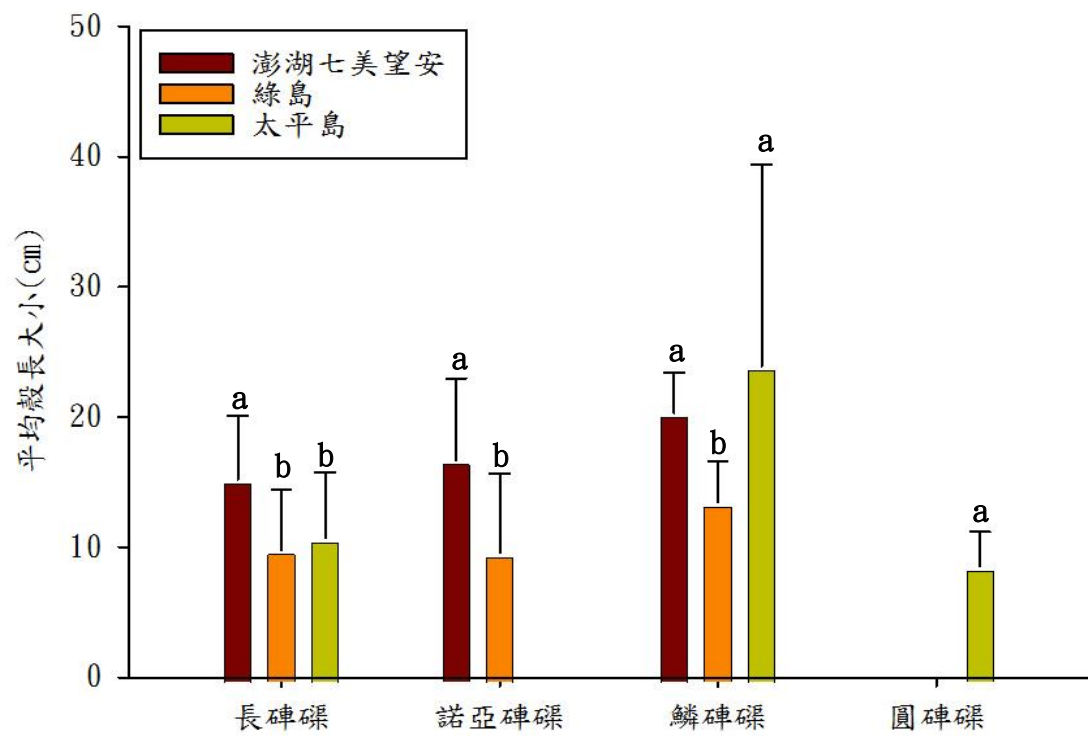


圖3-15. 各海域碑礁貝平均殼長大小圖。

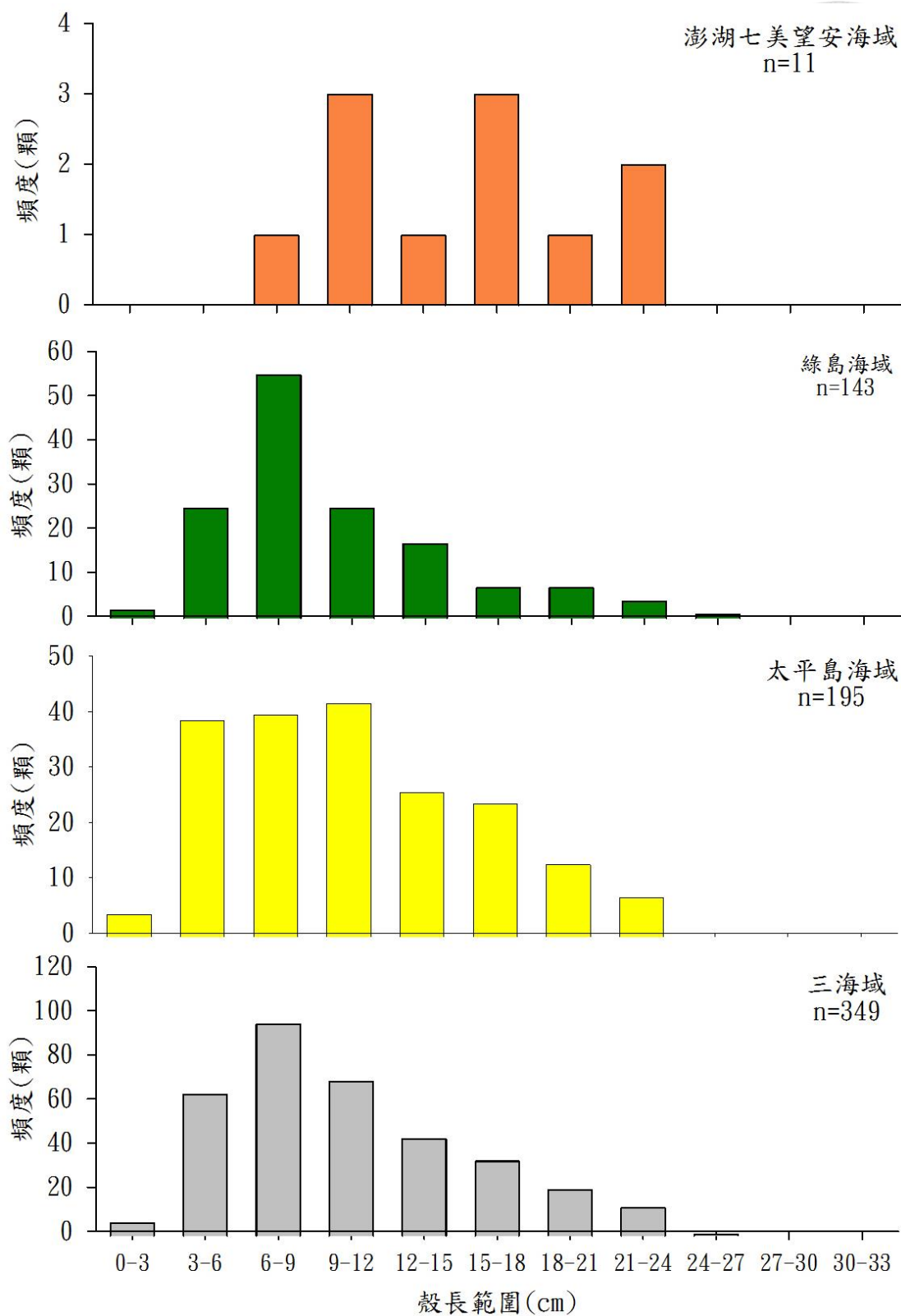


圖3-16. 各海域長碑磔殼長頻度圖。

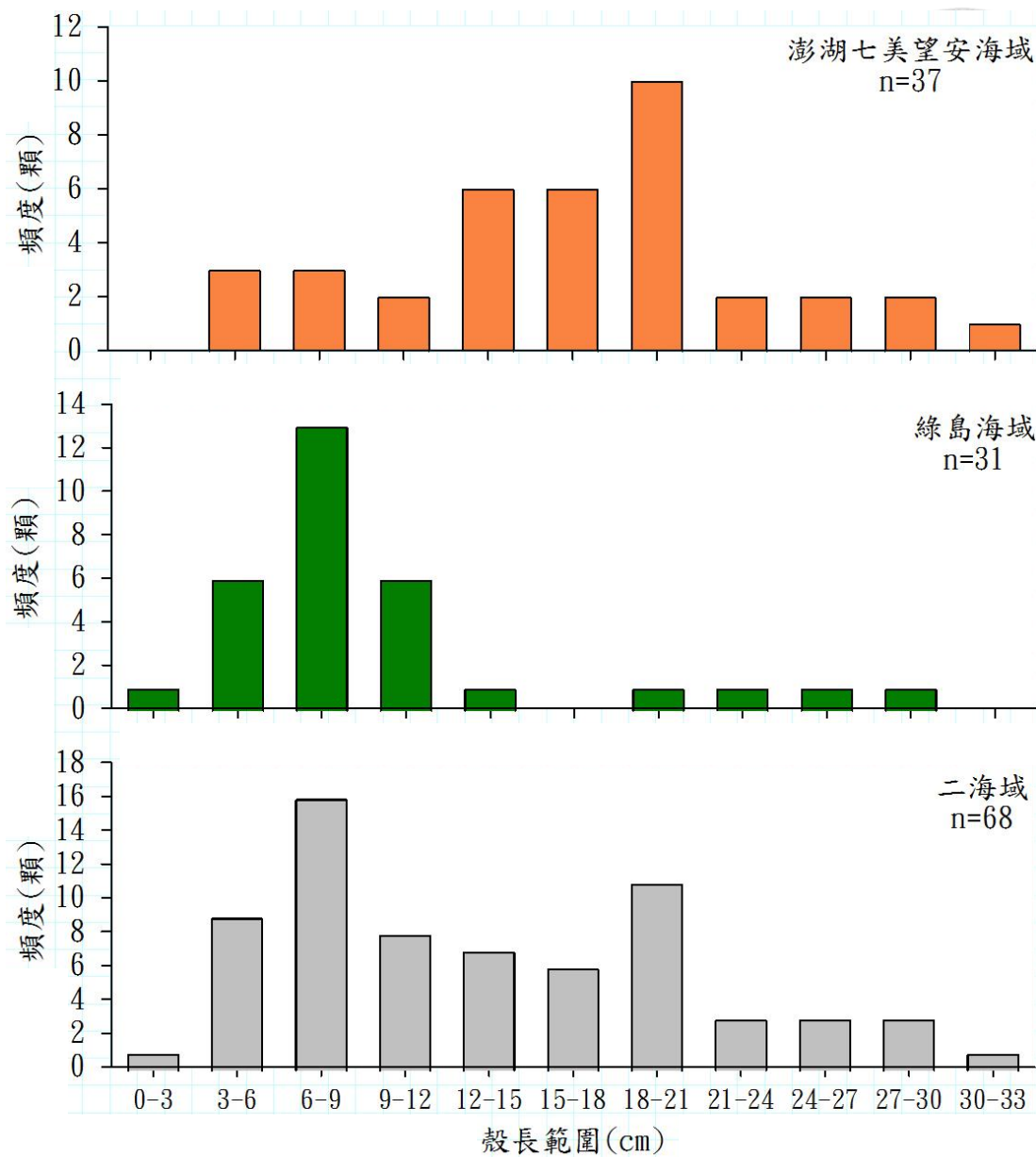


圖3-17. 澎湖七美望安和綠島海域諾亞碑碟殼長頻度圖。

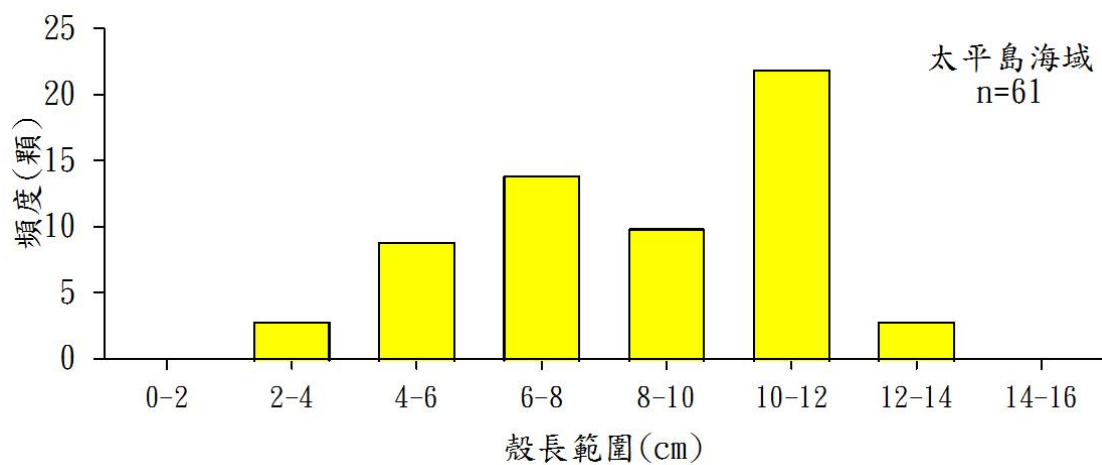


圖3-18. 太平島海域圓碑碟貝長頻度圖。



3.2.5 碑磔貝成長階段分析

根據（表2-2），將澎湖七美望安、綠島以及太平島四個海域的碑磔貝分為幼貝、亞成貝及成貝三個成長階段。結果如（表3-3、圖3-19、圖3-20、圖3-21），各海域的幼貝數量皆相對較低。

澎湖七美望安海域的成貝超過一半，佔58%（31顆），亞成貝佔40%（21顆），幼貝僅佔2%（1顆）；綠島海域大部分為亞成貝，佔了84%（162顆），幼貝及成貝僅佔3%（6顆）及13%（26顆）；太平島海域亞成貝亦佔大部分，為61%（158顆），成貝佔34%（88顆），幼貝僅佔5%（13顆）。

透過統計分析結果顯示，三海域碑磔貝的成長階段之間皆有顯著差異（One-way ANOVA, $p_{\text{幼貝}} < 0.05$, $p_{\text{亞成貝}} < 0.05$, $p_{\text{成貝}} < 0.05$ ）。

表3-3. 各海域碑磔貝成長階段結果彙整

種類	地區	幼貝	密度	亞成貝	密度	成貝	密度
長碑磔	澎湖七美望安	0	0.000 ^b	5	0.026 ^b	6	0.031 ^b
	綠島	2	0.025 ^b	118	1.475 ^a	23	0.288 ^a
	太平島	13	0.186 ^a	137	1.957 ^a	45	0.643 ^a
諾亞碑磔	澎湖七美望安	1	0.006 ^a	13	0.067 ^b	23	0.113 ^a
	綠島	1	0.013 ^a	27	0.338 ^a	3	0.038 ^a
鱗碑磔	澎湖七美望安	0	0.000 ^a	3	0.017 ^b	2	0.010 ^a
	綠島	2	0.025 ^a	17	0.213 ^a	1	0.013 ^a
	太平島	0	0.000 ^a	2	0.029 ^{ab}	1	0.014 ^a
圓碑磔	太平島	0	0.000	19	0.271	42	0.600
合計	澎湖七美望安	1	0.006 ^b	21	0.110 ^b	31	0.154 ^b
	綠島	6	0.063 ^a	162	2.026 ^a	26	0.339 ^b
	太平島	13	0.186 ^a	158	2.257 ^a	88	1.257 ^a

備註：以ANOVA進行事前檢定、Tukey HSD Test進行兩兩比較， $\alpha=0.05$ 。密度的單位為顆/100 m²。

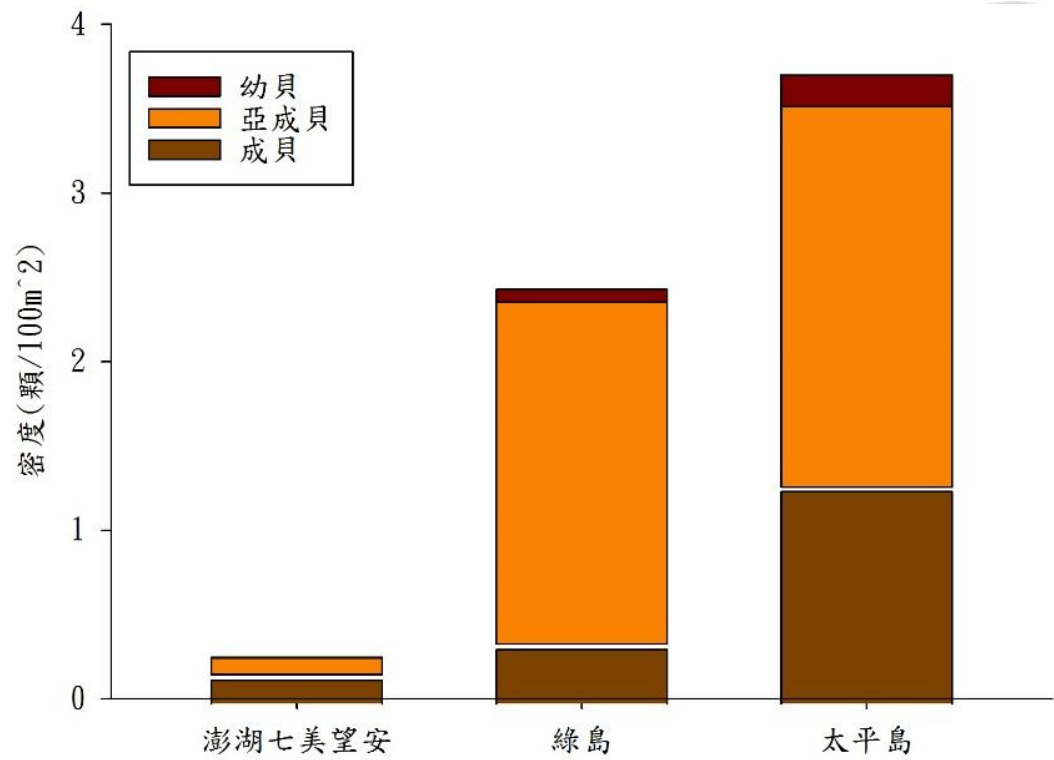


圖3-19. 各海域碑磔貝成貝、亞成貝及幼貝之密度圖。

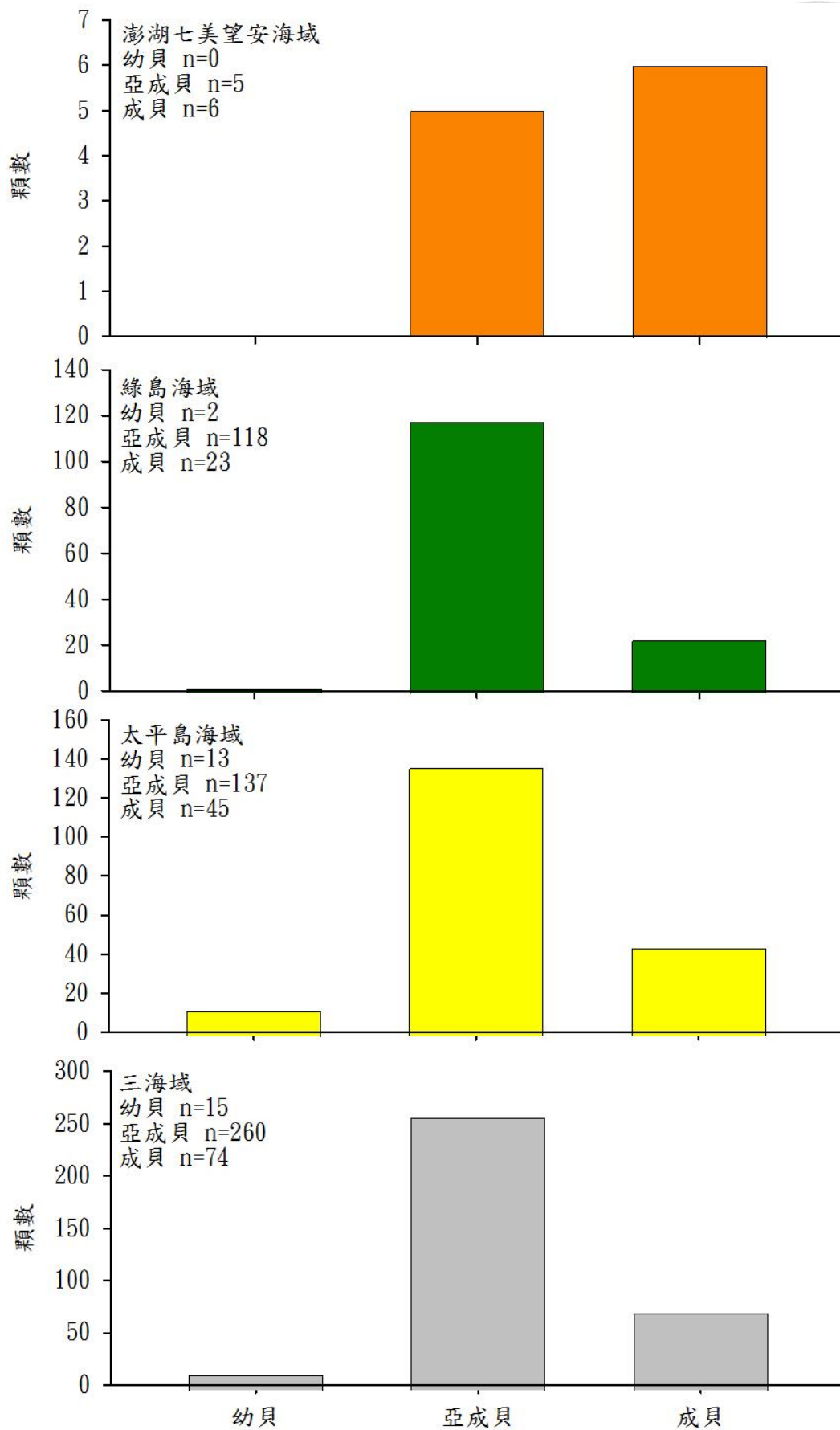


圖3-20. 各海域長碑碟成長階段頻度圖。

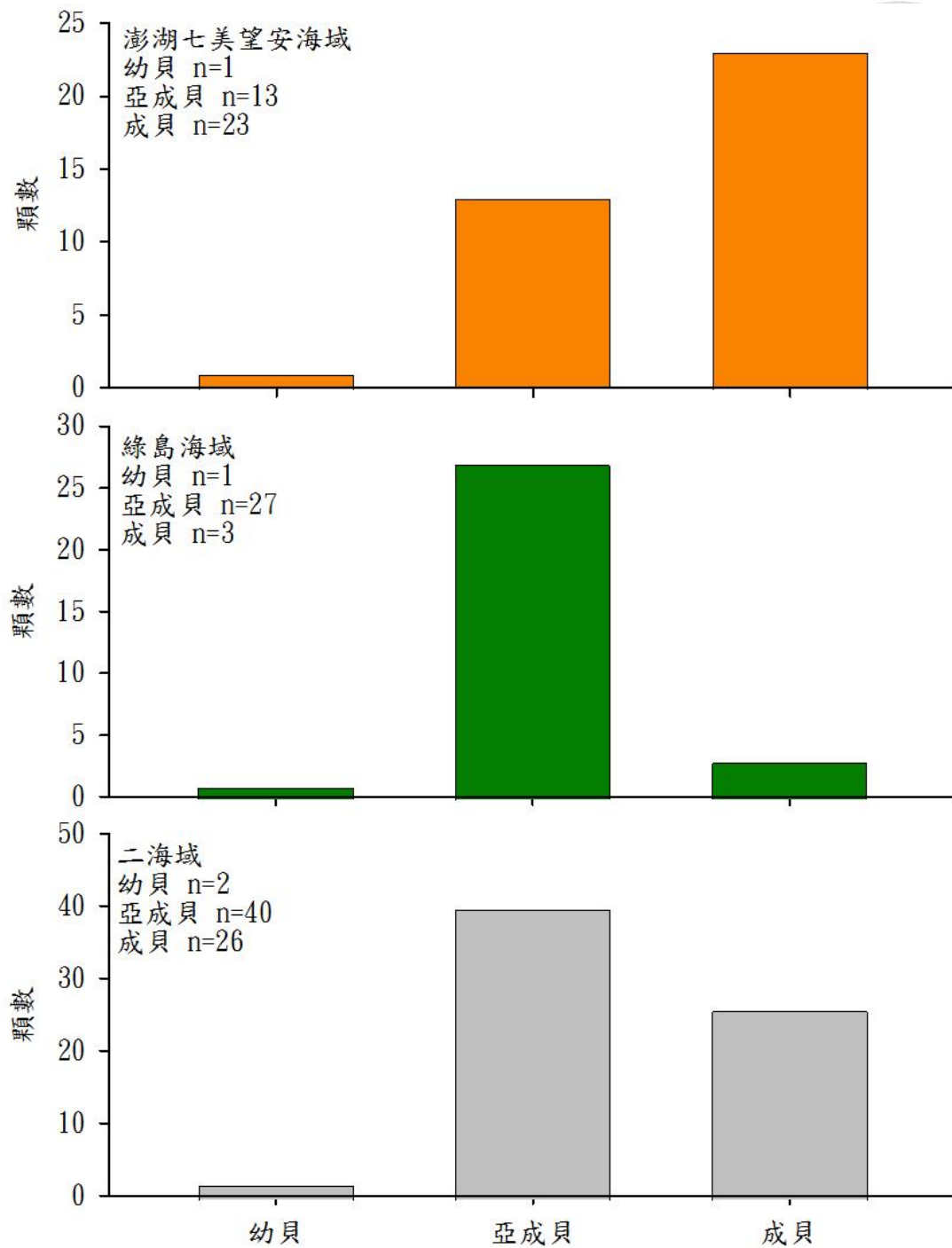


圖3-21. 澎湖七美望安和綠島海域諾亞碑磔成長階段頻度圖。

3.2.6 碑礫貝資源密度在保護區內外的差異

本研究於澎湖七美望安的18個測站及綠島的5個測站歸類為非保護區，綠島的石朗（GI-SL）、柴口（GI-KK）、大白沙（GI-DBS）以及南沙太平島全部的7個測站歸類為保護區，如（表2-1~2-3）。結果如（表3-4、圖3-22），保護區的碑礫貝密度顯著高於非保護區（Student's Test, $p < 0.05$ ）。

表3-4. 保護區與非保護區的碑礫貝資源比較

保護區與否	測站數	個數	密度（顆/100m ² ）
保護區	10	404	4.04±2.61 ^a
非保護區	23	102	0.42±0.39 ^b

備註：以Student's Test進行事前分析。

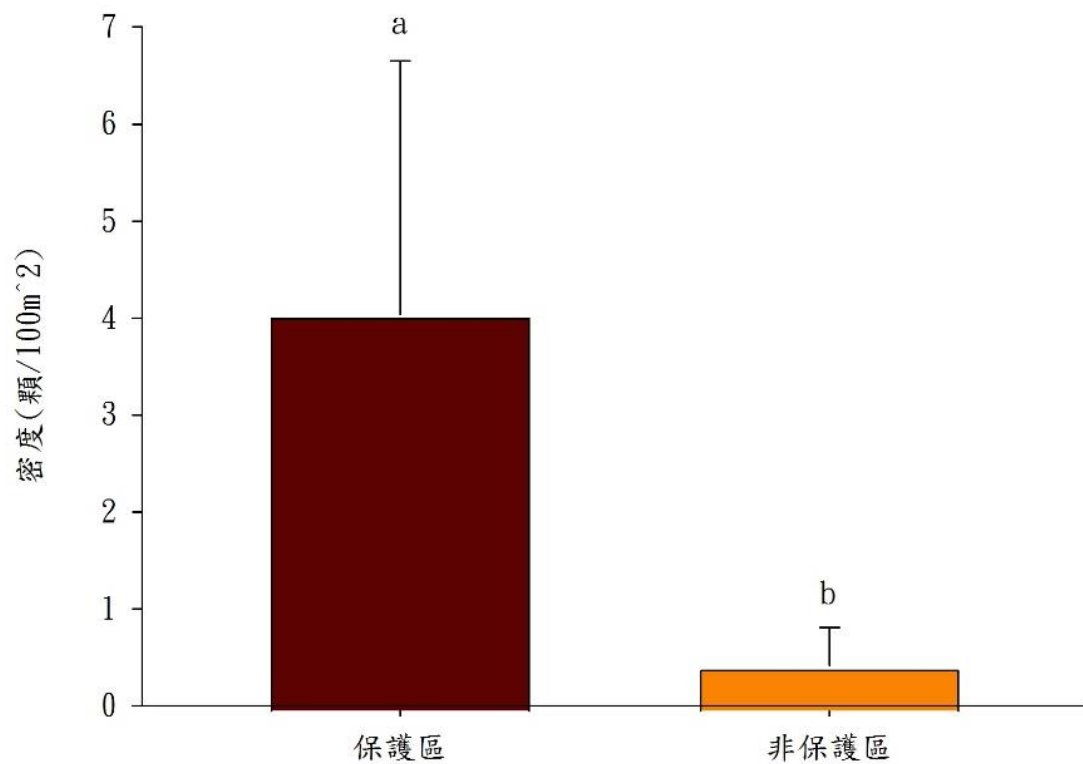


圖3-22. 保護區內外碑礫貝資源密度比較圖。

3.3 離島旅遊對於碑礫貝族群密度的影響

本研究彙整了1987~2020年交通部觀光局所統計之澎湖群島和綠島的觀光旅遊人數，澎湖群島平均每年有795366人次，綠島有266111人次。太平島為管制區，無開放觀光旅遊，因此歷年平均遊客數為0，澎湖群島與綠島歷年遊客走勢圖如（圖3-23）。

平均旅遊人口與各海域碑礫貝的現況調查資料比較結果如（表3-5），可得知隨著旅遊人數減少，碑礫貝密度似乎有上升的趨勢。另外，在沒有開放旅遊活動的太平島海域，其碑礫貝分布深度較澎湖七美望安及綠島海域來的淺。

歷年澎湖與綠島的旅遊人口和過去碑礫貝現況調查之結果彙整如（圖3-23），可得知澎湖海域早年碑礫貝豐度高，後隨著旅遊人口上升，豐度也隨之減少；綠島海域方面，早年碑礫貝豐度與旅遊人口呈反比，而2008年後碑礫貝豐度卻有上升的趨勢。

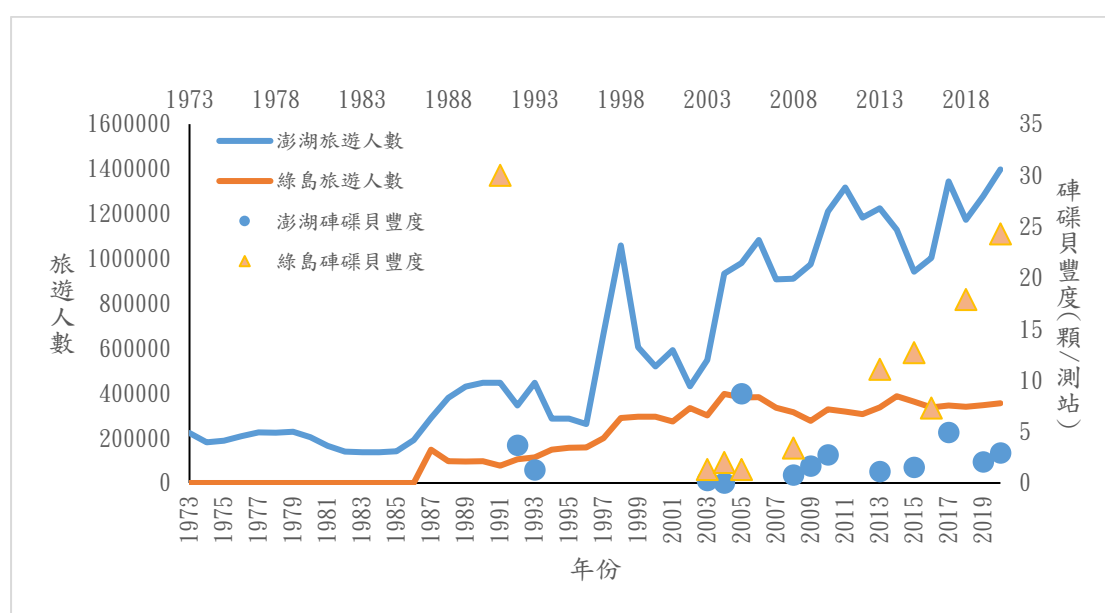


圖3-23. 歷年澎湖群島與綠島旅遊旅遊人數與碑礫貝豐度圖

表3-5. 歷年平均旅遊人數與碑礫貝現況調查密度之比較。

調查區域	歷年平均旅遊人口	碑礫貝密度	碑礫貝分布深度
澎湖七美望安	795366	0.26	6.29
綠島	266111	2.43	8.04
太平島	0	3.70	4.74

備註：碑礫貝密度單位為顆/100 m²，分布深度單位為 m。

第四章、討論與結論



4.1 碑礫貝資源調查方法

早期台灣的生態資源調查報告中，並未設定調查範圍(張等，1992；方等，1993)。1997年後國內學界才參考珊瑚礁總體檢(Reef Check)的調查方式：穿越線布放方向與海岸線平行，測線長度為 50 m，寬度視目標物種而定，底棲生物類(如碑礫貝)則以測線左右兩側各 5 m 範圍內進行調查，經換算調查面積為 500 m² (50 m * 10 m)。此調查方法已被多數調查研究所採用，方便日後調查結果的分析與比較。然而，許等(2007)考量此上述調查範圍過小可能會錯估當地碑礫貝的數量，該研究中調查面積擴大到 1000 m² (100 m * 10 m)。

本研究於各海域所進行之碑礫貝資源調查之方法係參考許等(2007)及楊等(2015)，在各測站布放長 50 m 之穿越線，由測線兩側各 5 m 範圍內搜索碑礫貝個體。近期也有研究(Triandiza *et al.*, 2019)利用方框穿越線(quadrats-line transect)進行碑礫貝資源調查，調查面積為 2500 m² (50 m * 50 m)，在此方框中布放 5 條穿越線(即測線彼此間距為 10 m)。而多數碑礫貝資源調查仍採用珊瑚礁總體檢的調查方式，面積為 500 m²。

另外，穿越線布放方向可能會影響碑礫貝分布深度之結果，例如許等(2007)的研究中穿越線方向為垂直海岸線，可能可以涵蓋較廣的水深範圍，本研究則因為考量到測站的水域環境，靠近岸邊較淺的激浪區潛水作業風險較高，所以測線方向採平行於海岸線方式，進一步於各測站將穿越線布放於 2-5 m、5-15 m 以涵蓋較大的水深範圍。

4.2 各海域碑礫貝的種類

本研究於2019年10月至2021年5月在澎湖七美望安、綠島，以及太平島海域所進行的碑礫貝資源調查結果如(附表3、附表4)顯示，澎湖七美望安與綠島海域記錄到3種碑礫貝，分別為長碑礫、諾亞碑礫、鱗碑礫；太平島記錄到5種，為長碑礫、鱗碑礫、圓碑礫；在測站外有記錄到諾亞碑礫，以及沙地發現有菱碑礫。若過去台灣這三個海域有7種碑礫貝，顯然有2種巨碑礫和扇碑礫未被調查過，推測可能是不同種類的碑礫貝有棲地分布的限制或人為採捕導致特定種類的區域滅亡(Neo *et al.*, 2017)甚至因為調查方式、量能不同(Van Wynsberge *et al.*, 2016)

等因素導致與本研究各海域的現況調查種類結果不盡相同。

過去於澎湖群島的調查報告中，均未有諾亞碑磔的紀錄，直到朱等（2015）於澎湖南方四島海域首次記錄諾亞碑磔，因此本研究之諾亞碑磔紀錄亦為澎湖七美望安海域的首次紀錄。在綠島歷年的調查中也有相同的結果，從1982年至2008年的調查中均無諾亞碑磔之紀錄，直到2013年由楊等（2015）首次記錄諾亞碑磔，之後的2016年（楊等，2018）、2018年（劉等，2018）調查中持續記錄到諾亞碑磔的蹤跡。早期的資源調查中沒有記錄諾亞碑磔的原因，可能為先前的研究報告皆非針對碑磔貝資源進行之調查，而是進行珊瑚礁生態資源調查時一併記錄，因此可能會有調查量能不足導致缺漏的情形。另外，諾亞碑磔於2014年後才透過分子生物學等研究（Su *et al.*, 2014）被復名，在此之前，諾亞碑磔皆被歸類於長碑磔，因此在先前的報告中可能在記錄上有所差異。在太平島海域部分，2009~2014年的調查報告中均沒有諾亞碑磔的蹤跡（邵等，2009；邵等，2014），直到2017年由鄭等（2017）首次記錄，但僅記錄到一顆；本研究於太平島海域進行調查中只有記錄一顆諾亞碑磔，因為其位於測線範圍外不列入調查密度比較分析。

先前的文獻（Van Wynsberge, 2016）指出，長碑磔與鱗碑磔同為廣泛分布的種類，本研究各海域的現況調查中均有記錄到鱗碑磔和長碑磔，與文獻結果相符。先前於綠島海域歷年的調查報告中有圓碑磔的紀錄（楊等，2018），然而在本研究的現況調查中沒有記錄到任何圓碑磔的蹤跡，可能原因為圓碑磔喜歡棲息的深度較淺（Hamner and Jones, 1976； Hamner, 1978），其偏好之棲地與本研究的調查範圍沒有重合以至於沒有記錄到任何圓碑磔的蹤跡。

過去太平島的調查報告中有記錄到菱碑磔及巨碑磔（邵等，2008；邵等，2009；邵等，2014；鄭等，2017），本研究在太平島海域的現況調查中有發現三顆菱碑磔及數顆巨碑磔的外殼，其中菱碑磔位於測線範圍外，巨碑磔為死貝，固不列入結果分析。從數顆巨碑磔的外殼可得知早年太平島海域為巨碑磔的棲息地，推測可能為早年生活於島上的住民，或是漁民捕撈而導致活貝不可復見。

4.3 各海域碑磔貝的現況調查

4.3.1 碑磔貝的密度

本研究於澎湖七美望安、綠島和太平島海域進行的碑磔貝現況調查中，澎湖七美望安海域碑磔貝的平均密度為 0.27 顆/100 m²，綠島海域平均密度為 2.43

顆/100 m²，太平島海域的密度最高，為 3.7 顆/100 m²，各海域之碑礫貝資源密度有顯著差異，由高至低依序為太平島海域、綠島海域、澎湖七美望安海域。

澎湖七美望安海域的碑礫貝密度遠低於台灣臨近海域的調查結果(表 4-1)，如澎湖南方四島的 0.85 顆/100 m² (陳等, 2019)、台東綠島 1.45 顆/100 m² (楊等, 2018) 等。本研究於綠島與太平島海域碑礫貝密度的調查結果則普遍高於鄰近海域，如南沙海域雙子群島 (North Danger Reef) 的 0.4 顆/100 m² (Lasola and Hoang, 2008)、永登暗沙 (Tridant Shoal) 的 1.25 顆/100 m² (Van Long *et al.*, 2008) 或東沙環礁 1.53 顆/100 m² (Neo *et al.*, 2018)，不過低於日本沖繩的 5.03 顆/100 m² (Neo *et al.*, 2019)、印尼卡伊群島 (Kei Island) 的 4.28 顆/100 m² (Triandiza *et al.*, 2019)。

本研究於各海域碑礫貝現況調查的密度差異如此明顯的可能原因為當地的居民採捕所致，至於南沙太平島為軍事管制區，除了鄰國漁民零星非法採捕外，目前幾乎沒有額外的採捕壓力。澎湖縣政府在 2006 年即實施碑礫貝禁採的限制，綠島雖然較晚實行相關禁採規範，但根據實際現況調查的結果可推測綠島當地執行禁採相關法規的力度與成效可能高於澎湖七美望安。

表 4-1. 台灣鄰近海域碑礫貝資源的調查報告

海域	島嶼	調查年份	碑礫貝密度*	文獻來源
日本	沖繩	2017	5.03	Neo <i>et al.</i> , 2019
台灣	澎湖南方四島	2019	0.85	陳等, 2019
	澎湖七美望安	2020	0.27	本研究
	綠島	2016	1.45	Young <i>et al.</i> , 2018
	綠島	2020	2.43	本研究
東沙海域	東沙環礁	2018	1.53	Neo <i>et al.</i> , 2018
南沙海域	雙子群島	2008	0.40	Lasola and Hoang, 2008
	永登暗沙	2008	1.25	Van Long <i>et al.</i> , 2008
	太平島	2021	3.70	本研究
印尼	卡伊群島	2019	4.28	Triandiza <i>et al.</i> , 2019
南太平洋	法屬玻里尼西亞	2008	270.00	Andréfouët <i>et al.</i> , 2005

*：碑礫貝密度之單位為顆/100 m²。

4.3.2 碑礫貝的種間數量

從現況調查結果顯示，澎湖七美望安海域以諾亞碑礫比例最多，綠島與太平島海域卻為長碑礫，造成如此大差異的原因可能是諾亞碑礫為侷限分布之物種

(Neo and Low, 2017)。先前研究提到，長碑碟因體型較小且幼年會鑲嵌於珊瑚礁體等特性 (Borsa *et al.*, 2015; Van Wynsberge, 2016)，使得該種碑碟貝之野外族群量最為豐富，與本研究於澎湖七美望安之調查結果不同。值得注意的是，諾亞碑碟於 1789 年即被發現 (Röding, 1978)，直到 2014 年才被復名 (Su *et al.*, 2014)，期間許多研究將諾亞碑碟誤認為長碑碟，導致長碑碟在某些海域的數量被高估 (Johnson *et al.*, 2016)。在巴布亞新幾內亞的 Kavieng Lagoon 就有研究 (Militz *et al.*, 2015) 指出，在重新進行調查確認後，該海域有 42% 的長碑碟更名為諾亞碑碟。

本研究各海域的調查結果顯示，鱗碑碟的個體皆偏低，僅佔各海域所有碑碟貝數量的 1~11%，與東沙 (Neo *et al.*, 2018) 與印尼卡伊群島 (Triandiza *et al.*, 2019) 調查結果相近，雖然鱗碑碟為第二分布廣泛的種類 (Van Wynsberge, 2016)，但因為其外型華麗、擁有巨大的外殼及貝肉 (干貝) 等緣故，為熱門的水族寵物和藝術收藏品，推測為上述幾種原因導致鱗碑碟容易遭盜採造成各海域野外數量相對較少。

4.3.3 碑碟貝的分布

調查結果顯示，綠島海域的碑碟貝分布深度顯著大於澎湖七美望安及太平島海域。研究指出，碑碟貝分布深度與光穿透度 (Rossbach *et al.*, 2021) 或調查方式 (Van Wynsberge *et al.*, 2016) 等因素有關。就環境因子來看，綠島海域有黑潮主流流經，海水較為清澈，光線可以穿透至更深的水層，可能使得碑碟貝可以分布至更深的區域 (Rossbach *et al.*, 2019)。另一方面，綠島海域碑碟貝平均分布水深較澎湖七美望安及太平島海域深的原因可能為：(一) 綠島某些地區開放採捕殼長 15 cm 以上的碑碟貝，導致棲息較淺的碑碟貝被捕撈，(二) 本研究各地區的調查深度範圍不同所致，例如澎湖七美望安測站的調查深度範圍從潮間帶 (水深約 1 m) 至水下 10 m，綠島的調查範圍為水下 5-15 m 間，太平島則僅於水深 3-10 m 左右的礁盤上進行調查。

圓碑碟為本研究結果中，分布最淺的物種，與 Neo *et al.* (2019) 在日本沖繩的調查結果相同，多篇研究也提到圓碑碟偏好棲息於水深較淺的水域 (Hamner and Jones, 1976; Hamner, 1978)。諾亞碑碟為本研究現況調查中分布次淺的物種，與先前的研究相近 (Kubo and Iwai, 2007; Neo *et al.*, 2018)，有文獻亦提到諾亞

碑礫身上容納的共生藻可以忍受高溫及高光照，使得宿主本身能適應較淺的水域 (Swain *et al.*, 2017)。鱗碑礫為本研究各海域的現況調查中平均分布水深最深的種類，與 Neo *et al.* (2018) 的研究相似，Rosewater (1965) 也指出鱗碑礫被認為是深度分布廣泛的種類；LaJeunesse (2005) 與 Bongaerts *et al.* (2011) 提到鱗碑礫身上易容納能忍受較低光照強度的共生藻，可以適應深水環境弱光的條件；有文獻記錄於水下 42 m 仍然發現鱗碑礫的蹤跡 (Jantzen *et al.* 2008) 可證。

4.3.4 碑礫貝的殼長與成長階段

調查結果顯示澎湖七美望安海域碑礫貝的平均殼長顯著大於綠島與太平島海域。先前研究指出，碑礫貝殼長大小取決於生長環境之因子如水溫、水深、海流 (Hart *et al.*, 1998; Joubert *et al.*, 2014) 或是棲息周圍珊瑚的構造 (Van Wynsberge *et al.*, 2017)，甚至取決於當地的漁業法規如限制可採捕的殼長大小等 (Neo *et al.*, 2018)。綠島在 2014 年公告碑礫貝禁採的條件為「15 cm 以下之碑礫貝禁止採捕」，保育區內的碑礫貝為「全數禁止採捕」，如此的法規使該地區殼長超過 15 cm 以上的碑礫貝遭「合法」採捕。此外，太平島海域縱使為軍事管制區，仍不時有鄰國漁民夜間靠近非法捕撈龍蝦、打魚等 (陳等, 2019)，可能造成體型較大、可視性越高的碑礫貝較容易被採捕。

殼長頻度與成長階段分析結果顯示，各海域碑礫貝以成貝或亞成貝居多，低於一齡 (yearlings) 的幼貝僅佔 2~5%。以密度分布來看 (圖 3-19)，澎湖七美望安海域幼貝明顯較其他海域低。幼貝比例偏低，代表該海域的碑礫貝入添量不足，鄰近海域的調查結果皆有類似之情況 (Neo *et al.*, 2018；楊等, 2018；Triandiza *et al.*, 2019)。入添的過程是保存碑礫貝野外族群量非常重要的因素之一，特別是氣候變遷及人為活動持續影響下，低入添量會導致該海域碑礫貝族群面臨滅絕的危機。然而低幼貝比例取決於非常多因素，Pearson and Munro (1991) 表示棲地的偏好程度可能會影響入添的過程，另外該水域的水文情況也有可能造成入添過程成功與否 (White *et al.*, 2010)。根據 Neo *et al.* (2013) 於新加坡的研究結果指出，當碑礫貝幼貝 (入添) 密度低於 0.021 顆/100 m² 時，需要透過相關保育手段來恢復該地的碑礫貝族群。

綠島海域的成貝僅佔 13%，最主要原因為捕撈法規的限制，當地居民抓大放小，保護幼貝卻可能使超過 15 cm 的種貝滅絕。雖然澎湖七美望安海域成貝佔

58%，但密度分布之結果顯示，澎湖七美望安的成員亦明顯低於其他海域。成員數量過少或者成員密度過低可能導致精子與卵子在水中相遇並受精的機率大幅降低 (Neo *et al.*, 2013)，進而導致阿利效應 (Allee effect) (Gascoigne and Lipcius, 2004; Stephens and Sutherland, 1999)。碑礫貝為同步受精 (synchronous fertilization)，意指需要透過同伴排放卵子後以化學物質刺激周圍種貝排放精子與卵子以增加受精成功機率 (Tan and Yasin, 2001)，成員數量將直接影響野外族群的入添量，由於其天生的繁殖方式使得碑礫貝族群容易因種貝數量減少而受影響。目前仍需要透過日後更多的研究來釐清碑礫貝於野外繁殖成功所需要的最小成員密度，此類相關的問題尚未被解決 (Braley, 1987; Bell *et al.*, 2006; Deredee and Courchamp, 2007)。

4.4 離島旅遊對於碑礫貝之影響

本研究彙歷年整離島旅遊人口與澎湖七美望安、綠島及太平島海域碑礫貝現況調查的資料進行比對，結果可發現隨著地區旅遊人數提高，碑礫貝的密度似乎有下降的趨勢。在未開放旅遊活動的南沙太平島可以記錄到較高的碑礫貝密度，平均旅遊人數最多的澎湖海域，碑礫貝的密度最低；綠島因有保護區的設置以及較高的執法強度，該海域的碑礫貝，明顯高於澎湖七美望安所記錄到的結果。先前的文獻 (Van Wynsberge *et al.*, 2016) 即指出，小區域的碑礫貝密度會與當地活動人口呈現負相關，意指當活動人口越多，漁業壓力也會越高，非法採捕的可能性也會提高。另外，透過比較也可發現，相對於澎湖七美望安和綠島海域，太平島碑礫貝平均分布水深較淺，推測亦與旅遊人數有關；先前文獻提到，碑礫貝的分布與該地區漁業壓力相關 (Van Wynsberge *et al.*, 2016)，較高採捕壓力的區域，會使得較淺的碑礫貝易遭受捕撈。

數十年來澎湖群島與綠島成為台灣國內觀光旅遊的熱門選擇，離島旅遊人數暴增的情況下，對於海鮮的需求也提高；碑礫貝貝肉與閉殼肌（干貝）為饕客所愛，這也會讓商家、當地居民、漁民等為了生計而違法捕撈碑礫貝，因此導致碑礫貝野外族群逐年減少。過去曾發現在綠島海域潛水時看見一連排的碑礫貝貝肉遭挖空，留下外殼（圖 4-1）。除了食用之外，碑礫貝巨大厚重的外殼也是受人喜愛的裝飾品和雕刻品，外來遊客買碑礫貝貝殼做為旅遊的紀念也不在少數（圖 4-2），種種原因皆迫使碑礫貝族群數量降低。

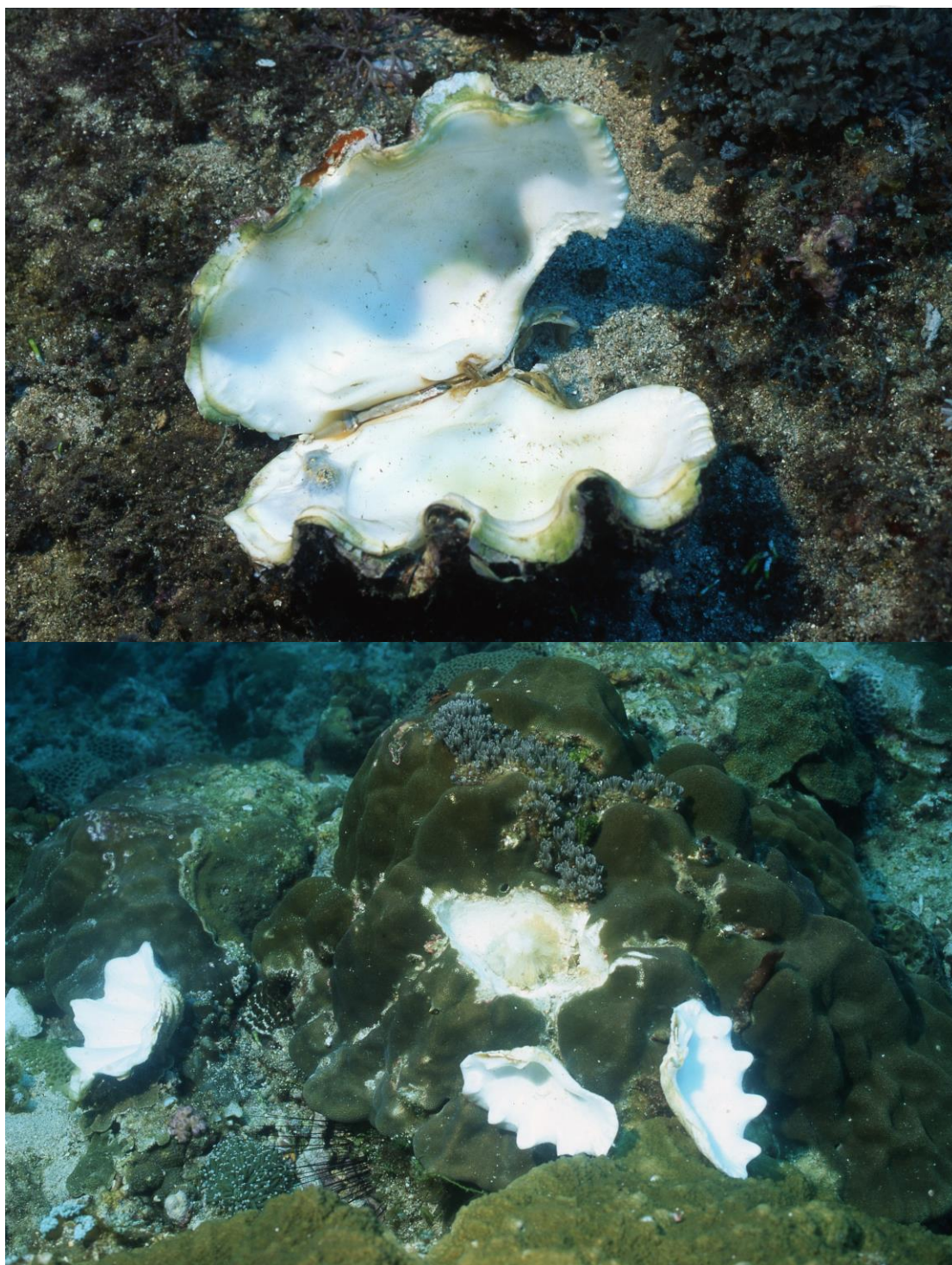


圖 4-1. 於綠島潛水時發現一連排碑礫貝貝肉遭挖空，僅剩下空殼。(鄭明修 1995 年於綠島拍攝)。



圖 4-2. (上) 遊客購買碑磔貝的殼做為紀念品；(下) 岸邊見到貝肉遭挖空的碑磔貝空殼。(鄭明修於澎湖七美拍攝)。

4.5 澎湖群島與綠島海域碑磔貝的歷年變動

澎湖群島各海域的歷年調查報告中（附表 5），顯示澎湖北海早年有相當豐富的長碑磔資源（附表 6），不過在 2008 年之後即未再有記錄。由於缺乏 1992~2008 年之間的調查資料，所以無法探究是否是 2008 年寒害所造成碑磔貝大量死亡，還是之前過度捕撈的結果。時至 2019 年，調查結果顯示碑磔貝在澎湖北海及東海離島海域已經不易發現。由澎湖本島近岸的文獻顯示（附表 7）早年同樣擁有相當豐富的碑磔貝資源，甚至還有記錄到菱碑磔的蹤跡，不過在 2008 年後即未再有記錄，推測菱碑磔在澎湖海域已經呈現區域滅絕的可能，其餘種類如長碑磔、鱗碑磔等近年來的調查也不易復見。澎湖的南方四島海域（附表 8）的碑磔貝種類與數量相對於澎湖其它海域而言豐富許多，不僅未受到寒害影響，在 2014 年納入國家公園管理後也大大降低非法捕撈的問題，使得南方四島海域的碑磔貝時至今日還保有相對豐富的資源。澎湖南海離島（附表 9）的文獻顯示該海域持續有長碑磔的紀錄，本研究於 2019 年 10 月至 2020 年 5 月於此海域的現況調查中，更新了該海域的紀錄物種，新增了諾亞碑磔以及鱗碑磔，不過本研究結果顯示澎湖南海的碑磔貝資源與其它鄰近海域相比仍屬稀少。

綠島歷年的碑磔貝調查（附表 10），起初始於東海岸國家風景區欲綠島納入風景區而開始的前期生態調查，結果顯示綠島有豐富的碑磔貝資源，且當地漁民有採捕的情形；2003~2008 年的調查碑磔貝密度有明顯的減少，推測可能與離島旅遊人數暴增碑磔貝食用需求提高有關。綠島於 2003-2008 年間陸續設立了 6 個漁業資源保育區，起初柴口與石朗為不可採捕區，其於四區開放為期數月的漁獵期，直到 2014 年所有保育區禁止採捕碑磔貝，可看出 2008 年後碑磔貝豐度有增加的情形，也有可能是因為調查量能提升而增高，2016 年因為尼伯特颱風重創台東縣加上同年 9 月的莫蘭蒂颱風及梅姬颱風接連襲台，風災與降雨導致水質混濁、泥沙覆蓋等因素可能是該年碑磔貝數量大減的原因（楊等，2018）。2020 年本研究於綠島海域的調查結果顯示，該海域的碑磔貝豐度根據地點的不同而有所差異，可能因為環境不同、法令規定不同等因素而造成此地區性差異。以密度平均而言，綠島海域碑磔貝的資源量較鄰近海域還高許多。

澎湖與綠島海域早年即開始進行生態調查之計畫，從（附表 5、附表 10）可得知碑磔貝數量呈年間變動情形，先前的碑磔貝調查大多涵蓋在珊瑚礁生態資源調查底下，非針對碑磔貝為主，僅有 2005 年由許等（2008）進行的澎湖海域碑

碟貝調查，以及 2015~2016 年由楊等 (2016)、劉等 (2016)，2018 年張等 (2018) 於綠島進行的碑碟貝調查，如此原因可能會使碑碟貝資源在歷年的資料呈現上有失真的情形，例如先前的研究報告通常只記錄可視性較高的碑碟貝個體，較小體型的碑碟貝可能因此被忽略，以至於記錄的碑碟貝數量與實際數目有落差，甚至導致數量失真。特別的是，本研究彙整的 2008~2020 年珊瑚礁體檢的資料中 (附表十一)，澎湖與綠島海域的密度呈現緩步上升的情況，與本研究預期結果不同，然而 Van Wynsberge *et al.* (2016) 也指出，碑碟貝密度呈現之結果會因為野外調查之方法、量能等而有所不同。

4.6 台灣海域碑碟貝的保育建議

澎湖群島及綠島海域過去皆擁有豐富的碑碟貝資源，但是因為過漁等因素遭到嚴重衝擊，有關單位應該要介入並實施相關管理手段來確保資源得以永續利用。本研究結果顯示，保護區內的碑碟貝資源密度，顯著高於非保護區。González-Maya *et al.* (2015) 指出，受保護範圍內碑碟貝之數量及多樣性顯著高於其他未受保護的區域。楊等 (2018) 在綠島調查的結果顯示，保護區內的碑碟貝數量在年間變動的狀況下相對於非保護區來得穩定。此外，透過彙整歷年碑碟貝的資源調查報告顯示 (附表八、附表十)，澎湖南方四島及綠島海域至今仍保有相對較高的碑碟貝資源，可得知保育區設立的重要性，因此實有必要於台灣各海域之碑碟貝熱點建立海洋保護區，以維護碑碟貝的野外族群。

法規立法的條件可能會影響到該海域碑碟貝的殼長大小組成，例如綠島海域除保護區外，其餘地區不禁止殼長 15 cm 以上碑碟貝之採捕，使得本研究現況調查中，綠島海域碑碟貝整體殼長大小組成偏小。文獻指出長碑碟和諾亞碑碟 15 cm 即達性成熟殼長 (Mingoa-Licuanan and Gomez, 2007)，若將種貝捕撈殆盡，沒有繁殖的機會將導致碑碟貝區域性的滅亡，所以可採捕的殼長大小限制需要更謹慎的研擬。

目前印尼、越南及紅海東部的部份國家將碑碟貝列為保育類 (Neo *et al.*, 2017; Gladstone, 2000; AbuZinada *et al.*, 2004)，其餘某些國家如澳洲及南太平洋各國已經對碑碟貝採取相關保育策略，例如採取更嚴格的規範以減輕碑碟貝的漁業壓力，像是禁止商業捕撈、限制攜回殼長及數量或是規定只能以自由潛水的方式進行漁撈等 (Chambers, 2007; Kinch and Teitelbaum, 2010; Andréfouët *et al.*, 2013)。

以上措施的結果會取決於當地先前對於碑礫貝族群的捕撈程度、執法能力和社區採用諸類措施的意願而定（Munro, 1989; Lucas, 1997）。除了保護現有碑礫貝資源外，種苗復育也是另一個保育手段的切入點。先前的文獻即提到，種苗復育及放流是有效恢復碑礫貝資源的方法之一（Neo and Todd, 2012），有許多地區透過種苗放流成功恢復碑礫貝野外族群量（Teitelbaum and Friedman, 2008）。根據Gomez and Mingoa-Licuanan（2006）的研究指出，碑礫貝放流的高死亡率是因為非法捕撈所造成，若與當地個人或團體等利益相關者合作，將放流地點改至受保護或是可監控的範圍內，如海洋保護區，可以增加其存活率。近年來，澎湖水試所已成功實行長碑礫和諾亞碑礫貝的完全養殖（張和陳，2006），也於綠島海域進行多次種貝放流作業（張等，2018），未來若可與該單位配合於澎湖海域所設立之保護區放流碑礫貝種苗，將有望可以為整個澎湖海域之碑礫貝野外族群帶來一線生機。

4.7 結論

本研究於澎湖七美望安、綠島及太平島周圍海域所進行的碑礫貝資源現況調查顯示，澎湖七美望安海域碑礫貝密度遠低於綠島及太平島海域，除了因為綠島各地點保護區的設立及太平島為軍事管制區沒有遊客干擾外，澎湖群島有較多的遊客間接產生碑礫貝的消耗可能是造成澎湖七美望安海域與其他海域碑礫貝資源量差異甚大的原因，碑礫貝的密度可能會影響野外族群的補充量。成長階段分析的結果也指出，澎湖七美望安海域碑礫貝成貝及幼貝的密度皆偏低，幼貝密度低代表該海域入添不足，成貝密度低則可能導致繁殖成功率降低，兩種情況皆指出澎湖七美望安海域的碑礫貝族群迫切需要相關保育手段介入復育。

透過歷年調查資料可得知受保護的區域如綠島與澎湖南方四島海域碑礫貝資源逐年上升，澎湖其餘海域如七美望安海域碑礫貝之資源量不增反減，當地的旅遊人數多造成較高的採捕壓力，以及沒有劃設有效執法的保育區可能是導致碑礫貝資源密度連年下降的主要因素。總結來說，透過本研究之現況調查顯示澎湖七美望安海域的碑礫貝資源有瀕危的情形，呼籲有關單位應儘速將碑礫貝納入台灣野生動物保育類名錄，刻不容緩。近年來台灣碑礫貝的繁養殖技術日益純熟，且民眾對於海洋保護區的劃設抱持認可與重視的正面態度，有鑑於此，實有必要透過種苗復育以及放流，搭配設立保育區的相關配套措施，來保

護澎湖七美望安海域的碑磔貝，未來甚至可以擴展到台灣周圍海域碑磔貝野外資源的復育。



參考文獻

- 方新疇、莫顯蕎、陳宏遠、宋克義、劉莉蓮。1993。澎湖南部海域海洋生物資源調查研究。交通部觀光局澎湖風景特定區管理處。
- 朱雲璋、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。
- 李明安、李國添、周宏農、邵廣昭、曾建璋、鄭明修。2009。澎湖寒害對漁業之衝擊後續監測及預警體制之建立。農業委員會科技計畫研究報告，246 頁。
- 李明安、李國添、周宏農、邵廣昭、曾建璋、鄭明修。2010。澎湖寒害對漁業之衝擊後續監測計畫。農業委員會科技計畫研究報告。
- 李澤民、陳正平、陳鴻鳴、何平合、陳國勤。2008。綠島及蘭嶼海洋生物多樣性及漁業資源永續利用之研究。行政院農業委員會漁業署。
- 邵廣昭、宋燕輝、林正義、林幸助、張學文、程一駿、劉小如、劉文宏、歐陽承新、樊同雲、謝長富、宮守業。2009。南沙太平島國家公園可行性評估。內政部營建署。
- 邵廣昭、彭鏡毅、吳文哲。2008。台灣物種多樣性 II.物種名錄。行政院農業委員會林務局出版。796 頁。
- 邵廣昭、彭鏡毅、張學文、許育誠、林幸助、羅文增、張桂祥、樊同雲、陳天任、邱郁文、宋克義、程一駿。2014。南沙太平島生物多樣性之調查計畫。內政部營建署。
- 邵廣昭。1995。台灣沿近海魚類之分布及其資料庫。第三屆鯨類生態與保育研討會，1995.6.15-16，p.70-72。
- 財團法人台灣經濟研究院。2003。綠島觀光永續發展計畫。
- 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。
- 張致銜、翁進興、楊清閔、陳高松、黃侑勛、陳文泰、陳哲明、吳龍靜。2018。綠島沿岸碑礫貝資源調查與復育策略。水試專訊，067，1-6。
- 張國亮、陳銓汶。2006。澎湖海域碑礫貝人工繁養殖及發展生態旅遊之運用(一)，澎湖縣政府 95 年度研究發展選輯，p98~p109。
- 張國亮。2008。澎湖海域碑礫貝放流成效探討及七美地區居民海洋資源認知調查分析。澎湖縣政府 97 年度研究發展選輯，211-256。
- 張崑雄、江永棉、陳春暉、詹榮桂、戴昌鳳、鄭明修。1992。澎湖北部海域海洋生物資源調查研究。交通部觀光局澎湖風景特定區管理處。
- 張崑雄、楊海寧、陳春暉、詹榮桂、戴昌鳳、鄭明修。1993。澎湖內海海域海洋資源調查研究。交通部觀光局澎湖風景特定區管理籌備處。
- 張崑雄、詹榮貴、戴昌鳳、曾榮政、鄭明修、蘇焉。1991。綠島海域資源調查與保育研究計畫。交通部觀光局東海岸風景特定區管理處。
- 許鐘鋼、陳岳川、蘇懿忠、黃金峰、蔡萬生。2007。澎湖海域碑礫貝生態調查。水試專訊第 20 期，1-5 頁。
- 陳天任、鄭明修、施志昀、李明安、林綉美、曾煥昇、翁進興。2019。澎湖縣海洋生態暨漁業資源盤點調查計畫。澎湖縣政府農業局委託研究計畫期末報告，522 頁。
- 陳正平、黃興倬、李澤民、杜銘章。2008。綠島海洋生物調查。海洋國家公園管理處。

- 陳昭明、林曜松、蘇鴻傑、張崑雄。1982。蘭嶼與綠島風景特定區生態及景觀資源之調查與分析。臺灣省住宅及都市開發局。
- 陳昭倫、鄭明修。2019。108 年度南沙太平島海洋生態系調查計畫成果報告。海洋委員會海洋保育署委託研究計畫。
- 陳哲聰、邵廣昭、柳芝蓮、陳忠信、游祥平、程一駿、黃將修。1992。澎湖東部海域海洋生物資源調查研究。交通部觀光局澎湖風景特定區管理處。
- 黃尹鏗。1996。綠島地區生態觀光之發展：居民與遊客態度之分析。東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 黃俞升、張晏瑋、林元毫、吳侑芹、許妙因、張名宏、曾理、林宥華。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期末報告，89 頁。
- 黃興倬、李坤瑄、洪和田、陳明輝。2009。綠島大型海洋無脊椎動物調查與保育規劃建議。國家公園學報，19（2）：47—69。
- 楊清閔、陳羿惠、陳岳川、賴繼昌、黃星翰、吳龍靜。2015。台灣綠島碑礫貝分布密度之初探。台灣水產學會刊，42（3），145—155。
- 楊清閔、陳高松、陳岳川、黃星翰、黃建智、吳龍靜。2018。台灣綠島沿岸碑礫貝的分布密度特徵。水產研究，26（10）：43—51。
- 劉莉蓮。2016。諾亞碑礫貝與長碑礫貝稚貝對環境因子反應之比較研究。科技部補助專題研究計畫成果報告。
- 鄭明修、陳昭倫、湯森林、溫國彰、劉少倫、劉弼仁、李俊鴻、陳韻如、柯佳吟。2017。南沙群島海域水產動植物資源調查及生態系統服務評估。行政院農業委員會。
- 鄭明修、戴昌鳳、柯佳吟。2018。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研究報告，262 頁。
- 鄭明修。2005。台灣珊瑚礁海域大型底棲無脊椎動物多樣性現況評估與保育研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 鄭明修。2008a。台灣海域珊瑚礁分布及珊瑚多樣性調查研究 IV。漁業署農業委託研究計畫期末報告，51 頁。
- 鄭明修。2008b。澎湖海域寒災後海洋生態及漁業資源調查-無脊椎動物資源調查。行政院農委會委託研究報告。
- 鄭明修。2020。七美淺海珊瑚及碑礫貝生態資源。澎湖縣政府農漁局委託計畫。
- 戴昌鳳、宋克義、鄭明修、陳昭倫、樊同雲。2003。台灣海域珊瑚礁現況調查。行政院農委會漁業署。
- 戴昌鳳、宋克義、鄭明修、陳昭倫、樊同雲。2004。台灣海域珊瑚礁現況調查。行政院農委會漁業署。
- 鄭禧年。2018。台灣附近海域碑礫貝之分布及殼生長輪研究。國立中山大學海洋科學系碩士論文。
- 蘇焉、洪志輝、劉莉蓮。2014。台灣產碑礫貝亞科物種重新檢視。海洋生物學刊，33—52 頁。
- 社團法人台灣環境資訊協會（www.teia.tw）
- 交通部觀光局觀光統計資料庫（stat.taiwan.net.tw）
- AbuZinada, A., Robinson, E., Nader, I. and Al Wetaid, Y. (2004). First Saudi Arabian National Report on the Convention on Biological Diversity. Riyadh: The National Commission for Wildlife Conservation and Development.

- Alcazar, S.N. (1986). Observations on predators of giant clams (Bivalvia: Family Tridacnidae). Silliman Journal 33, 54-57.
- Andréfouët, S., Van Wynsberge, S., Gaertner-Mazouni, N., Menkes, C., Gilbert, A. and Remoissenet, G. (2013). Climate variability and massive mortalities challenge giant clam conservation and management efforts in French Polynesia atolls. Biological Conservation 160, 190-199.
- Asato, S. (1991). The distribution of *Tridacna* shell adzes in the Southern Ryukyu Islands. In Indo-Pacific Prehistory 1990, P. Bellwood (ed.). Indo-Pacific Prehistory Association Bulletin 10, 1991, 282-291.
- Bell, J.D., Bartley, D.M., Lorenzen, K. and Loneragan, N.R. (2006). Restocking and stock enhancement of coastal fisheries: Potential, problems and progress. Fish Res 80:1-8.
- Bellwood, R. (2004). Confronting the coral reef crisis. Nature 429.6994: 827-833.
- bin Othman, A.S., Goh, G.H. and Todd, P.A. (2010). The distribution and status of giant clams (family Tridacnidae)-a short review. Raffles Bull. Zool. 58, 103-111.
- Bongaerts, P., Sampayo, E.M., Bridge, T.C.L., Ridgway, T., Vermeulen, F., Englebert, N., Webster, J.M. and Hoegh-Guldberg, O. (2011) *Symbiodinium* diversity in mesophotic coral communities on the Great Barrier Reef: a first assessment. Mar Ecol Prog Ser 439:117-126
- Borsa, P., Fauvelot, C., Tiavouane, J., Grulois, D., Wabnitz, C., Abdon Naguit, M.R. and Andréfouët, S. (2015). Distribution of Noah's giant clam, *Tridacna noae*. Marine Biodiversity 45, 339-344.
- Braley, R.D. (1987). Distribution and abundance of the giant clams *Tridacna gigas* and *T. derasa* on the Great Barrier Reef. Micronesia 20: 215-223.
- Brown, J.H. and Muskanofola, M.R. (1985). An investigation of stocks of giant clams (family Tridacnidae) in Java and of their utilization and potential. Aquaculture and Fisheries Management 1, 25-39.
- Cabaitan, P.C., Gomez, E.D. and Aliño, P.M. (2008). Effects of coral transplantation and giant clam restocking on the structure of fish communities on degraded patch reefs. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 357, 85-98.
- Chambers, C.N.L. (2007). Pasua (*Tridacna maxima*) size and abundance in Tongareva Lagoon, Cook Islands. SPC Trochus Information Bulletin 13, 7-12.
- Cumming, R.L. (1988). Pyramidellid parasites in giant clam mariculture systems. In Giant Clams in Asia and the Pacific, J.W. Copland and J.S. Lucas (eds). ACIAR Monograph No. 9. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 231-236.
- Deredec, A. and Courchamp, F. (2007). Importance of the Allee effect for reintroductions. EcoScience 14:440-451.
- Gascoigne, J.C. and Lipcius, R.N. (2004). Allee effects in marine systems. Mar Ecol Prog Ser 269:49-59.
- Gladstone, W. (2000). The ecological and social basis for management of a Red Sea marine-protected area. Ocean Coast. Manag. 43, 1015-1032.
- Gomez, E.D. and Mingoa-Licuanan, S.S. (2006). Achievements and lessons learned in restocking giant clams in the Philippines. Fish. Res., 80:46-52.
- Gomez, E.D., Mingoa-Licuanan S.S. and H.A. Roa-Quiaoit (2000). The culture of true giant clam *Tridacna gigas* for conservation in the Philippines. Conference Proceedings: Special Session on Mollusk Research in Asia, 12 Nov.1998. University of the Philippines at Los Baños, Philippines. pp. 159-163.d

- González-Maya, J.F., Viquez-R, L.R., Belant, J.L. and Ceballos, G. (2015). Effectiveness of protected areas for representing species and populations of terrestrial mammals in Costa Rica. *PLoS One*, 10(5): e0124480.
- Govan, H. (1992). Predators and predator control. In *The Giant Clam: An Ocean Culture Manual*, H.P. Calumpong (ed.). ACIAR Monograph No. 16. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 41-49.
- Hamner, W.M. (1978). Intraspecific competition in *Tridacna crocea*, a burrowing bivalve. *Oecologia* 34, 267-281.
- Hamner, W.M. and Jones, M.S. (1976). Distribution, burrowing, and growth rates of the clam *Tridacna crocea* on interior reef flats. *Oecologia* 24, 207-227.
- Hart, A.M., Bell, J.D., and Foyle, T.P. (1998). Growth and survival of the giant clams, *Tridacna derasa*, *T. maxima* and *T. crocea*, at village farms in the Solomon Islands. *Aquaculture* 165, 203–220.
- Hernawan, U. (2012). Taxonomy of Indonesian giant clams (Cardiidae, Tridacninae). *Biodiversitas*, 13(3), 118-123.
- Heslinga, G.A., Watson, T.C. and Isamu, T. (1990). *Giant Clam Farming*. Honolulu, Hawaii: Pacific Fisheries Development Foundation (NMFS/NOAA).
- Jantzen, C., C. Wild, M. El-Zibdah, H.A. Roa-Quiaoit, C. Haacke and C. Richter (2008). Photosynthetic performance of giant clams, *Tridacna maxima* and *T. squamosa*, Red Sea. *Marine Biology*, 155: 211-221
- Johnson, M.S., Prince, J., Brearley, A., Rosser, N.L. and Black, R. (2016). Is *Tridacna maxima* (Bivalvia: Tridacnidae) at Ningaloo Reef, Western Australia? *Molluscan Research* 36, 264-270.
- Joubert, C., Linard, C., Le Moullac, G., Soyeux, C., Saulnier, D. and Teaniniuraitemoana, V. (2014). Temperature and food influence shell growth and mantle gene expression of shell matrix proteins in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *PLoS ONE*, 9(8): e103944.
- Kinch, J. and Teitelbaum, A. (2010). *Proceedings of the Regional Workshop on the Management of Sustainable Fisheries for Giant Clams (Tridacnidae) and CITES Capacity Building (4-7 August 2009, Nadi, Fiji)*. Noumea, New Caledonia: Secretariat of the Pacific Community.
- Klumpp, D.W. and Griffiths, C.L. (1994). Contributions of phototrophic and heterotrophic nutrition to the metabolic and growth requirements of four species of giant clam (Tridacnidae). *Marine Progress Ecology Series* 115, 103-115.
- Klumpp, D.W. and Lucas, J.S. (1994). Nutritional ecology of the giant clams *Tridacna tevoroa* and *T. derasa* from Tonga: influence of light on filter-feeding and photosynthesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 107, 147-156.
- Knop, D. (1996). *Giant Clams, A Comprehensive Guide to the Identification and Care of Tridacnid Clams*. Dahne Verlag. Ettlingen.
- LaJeunesse, T.C. (2005) “Species” radiations of symbiotic dinoflagellates in the Atlantic and Indo-Pacific since the Miocene-Pliocene transition. *Mol Biol Evol* 22:570–581
- Larson, C. (2016). Shell trade pushes giant clams to the brink. *Science*, 351: 323-324.
- Lasola, N. and Hoang, X.B. (2008). Assessment of commercially important macro-invertebrates in the spratly group of islands. In: Alcalá, A.C. (Ed.), *Proceedings of the Conference on the Results of the Philippines-Vietnam Joint Oceanographic and Marine Scientific Research Expedition in the South China Sea (JOMSRE-SCS I To IV)*, 26–29 2008, Ha Long City, Vietnam. Technical Cooperation Council of the Philippines of the Department of Foreign Affairs, Republic of the Philippines, pp. 51-54.

- Lucas, J.S. (1988). Giant clams: description, distribution and life history. In *Giant Clams in Asia and the Pacific*, J.W. Copland and J.S. Lucas (eds). Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 21-32.
- Lucas, J.S. (1994). The biology, exploitation, and mariculture of giant clams (Tridacnidae). *Reviews in Fisheries Science* 2, 181-223.
- Lucas, J.S. (1997). Giant clams: mariculture for sustainable exploitation. In *Conservation and the Use of Wildlife Resources*, M. Bolton (ed.). London: Chapman and Hall, 77-95.
- Maboloc, E.A. and Mingoa-Licuanan, S.S. (2011). Feeding aggregation of *Sprattelloides delicatulus* on giant clams' gametes. *Coral Reefs* 30, 167 only.
- Manu, N., and Sone, S. (1995). Breeding Season of the Tongan Shellfish 3. Elongated Giant Clam (Kukukuku). *Fisheries Research Bulletin of Tonga*, 3, 25-33.
- Militz, T.A., Kinch, J. and Southgate, P.C. (2015). Population demographics of *Tridacna noae* (Röding, 1798) in New Ireland, Papua New Guinea. *Journal of Shellfish Research* 34, 329-335.
- Mingoa-Licuanan, S.S. and Gomez, E.D. (2007). Giant Clam Hatchery, Ocean Nursery and Stock Enhancement. Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Mora, C., Caldwell, I.R., Birkeland, C. and McManus, J.W. (2016). Dredging in the Spratly Islands: Gaining Land but Losing Reefs. *PLoS Biol* 14(3): e1002422.
- Munro, J.L. (1989). Fisheries for giant clams (Tridacnidae: Bivalvia) and prospects for stock enhancement. In *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*, J.F. Caddy (ed.). New York: Wiley, 541-558.
- Neo, M. L., and Todd, P. A. (2012). Giant clams (Mollusca: Bivalvia: Tridacninae) in Singapore: History, research and conservation. *Raffles Bulletin of Zoology*, 25, 67-78.
- Neo, M. L., Erftemeijer, P. L. A., van Beek, J. K. L., van Maren, D. S., Teo, S. L.M., and Todd, P. A. (2013). Recruitment constraints in Singapore's fluted giant clam (*Tridacna squamosa*) population—A dispersal model approach. *PLoS ONE*, 8, e58819.
- Neo, M.L., Colette, C.C., Richard D.W., Braley, G.A., Heslinga, C.F., Van Wynsberge, S., Andréfouët, S., Waters, C., Tan, S.H., Gomez, E.D., Costello, M.J. and Todd, P.A. (2017). Giant Clams (Bivalvia: Cardiidae: Tridacninae): A Comprehensive Update of Species and Their Distribution, Current Threats and Conservation Status. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* SP87 EP388 VL55.
- Neo, M.L., Eckman, W., Vicentuan-Cabaitan, K., Teo, S.L.M. and Todd, P.A. (2015). The ecological significance of giant clams in coral reef ecosystems. *Biological Conservation* 181, 111–123.
- Neo, M.L., Lim, K.K., Yang, S.Y., Soong, G.Y., Masucci, G.D., Biondi, P., Wee, H.B., Kise, H. and Reimer, J.D. (2019). Status of giant clam resources around Okinawa-jima Island, Ryukyu Archipelago, Japan. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(6):1002-1011.
- Neo, M.L., Liu, L.L., Huang D.W. and Soong, K.Y. (2018). Thriving populations with low genetic diversity in giant clam species, *Tridacna maxima* and *Tridacna noae*, at Dongsha Atoll, South China Sea. *Regional Studies in Marine Science*, 24, 278-287.
- Perron, F.E., Heslinga, G.A. and Fagolimul, J. (1985). The gastropod *Cymatium muricinum*, a predator on juvenile tridacnid clams. *Aquaculture* 48, 211-221.

- Pearson, R.G. & Munro, J.L. (1991). Growth, mortality and recruitment rates of giant clams, *Tridacna gigas* and *T. derasa*, at Michaelmas Reef, central Great Barrier Reef, Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 42, 241–262.
- Ramah, S, Taleb-Hossenkhani, N. and Bhagooli, R. (2017). Differential substrate affinity between two giant clam species, *Tridacna maxima* and *Tridacna squamosa*, around Mauritius. *WIO J Mar Sci Special Issue* 1: 13-20.
- Reese, D.S. 1988. A new engraved *Tridacna* shell from Kish. *Journal of Near Eastern Studies* 47, 35-41.
- Reese, D.S. and Sease, C. (1993). Some previously unpublished engraved *Tridacna* shells. *Journal of Near Eastern Studies* 52, 109-128.
- Ricard, M. and Salvat, B. (1977). Faeces of *Tridacna maxima* (Mollusca: Bivalvia), composition and coral reef importance. In *Proceedings of the Third International Coral Reef Symposium, Volume 1: Biology*, D.L. Taylor (ed.). Miami, Florida: Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, 495-501.
- Rosewater, J. (1965). The family Tridacnidae in the Indo-Pacific. *Indo-Pacific Mollusca* 1, 347-396.
- Rosewater, J. (1982). A new species of *Hippopus* (Bivalvia: Tridacnidae). *The Nautilus* 96, 3-6.
- Rosbach, S., Anton, A., and Duarte, C.M. (2021). Drivers of the Abundance of *Tridacna* spp. Giant Clams in the Red Sea. *Front. Mar. Sci.* 7:592852.
- Rosbach, S., Saderne, V., Anton, A., and Duarte, C. M. (2019). Light-dependent calcification in Red Sea giant clam *Tridacna maxima*. *Biogeosciences* 16, 2635–2650.
- Stephens, P.A. and Sutherland, W.J. (1999). Consequences of the Allee effect for behaviour, ecology and conservation. *Trends Ecol Evol* 14: 401-405.
- Su, Y., Hung, J.H., Kubo, H. and Liu, L.L. (2014). *Tridacna noae* (Röding, 1798)-a valid giant clam species separated from *T. maxima* (Röding, 1798) by morphological and genetic data. *Raffles Bulletin of Zoology* 62:124-135.
- Swain, T.D., Chandler, J., Backman, V., Marcelino, L. (2017). Consensus thermotolerance ranking for 110 *Symbiodinium* phylotypes: an exemplar utilization of a novel iterative partial-rank aggregation tool with broad application potential. *Funct Ecol* 31:172–183
- Tan, A.S.H. and Yasin, Z. (2001). Factors affecting the dispersal of *Tridacna squamosa* larvae and gamete material in the Tioman Archipelago, the South China Sea. *Phuket Marine Biological Center Special Publication*, 25, 2: 349-356
- Teitelbaum, A. and Friedman, K. (2008). Successes and failures in reintroducing giant clams in the Indo-Pacific region. *SPC Trochus Information Bulletin* 14, 19-26.
- Triandiza, T. and Kusnadi, A. (2013). Teknik pemijahan buatan dan pemeliharaan larva kima (*Tridacna squamosa* Lamarck) di Laboratorium. *Oseanologi dan limnologi di Indoensia* 39(1): 1-11.
- Triandiza, T., Zamani, N., Madduppa, H. and Hernawan, U. (2019). Distribution and abundance of the giant clams (Cardiidae: Bivalvia) on Kei Islands, Maluku, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(3), 884-892.
- Umeki, M., Yamashita, H., Suzuki, G., Sato, T. and Ohara, S. (2020). Fecal pellets of giant clams as a route for transporting Symbiodiniaceae to corals. *PLOS ONE* 15(12): e0243087.
- Van Long, N., Hoang, P.K., Ben, H.X. and Stockwell, B., (2008). Status of the marine biodiversity in the Northern Spratly Islands, South China Sea. In: Alcalá, A.C. (Ed.), *Proceedings of the Conference on the Results of the Philippines-Vietnam*

- Joint Oceanographic and Marine Scientific Research Expedition in the South China Sea (JOMSRE-SCS I To IV), 26-29 March 2008, Ha Long City, Vietnam. Technical Cooperation Council of the Philippines of the Department of Foreign Affairs, Republic of the Philippines, pp. 11-19.
- Van Wynsberge, S. (2016). Approche comparée, intégrée et spatialisée pour la gestion d'une ressource emblématique exploitée en Polynésie française et en Nouvelle-Calédonie: le cas du bénitier (*Tridacna maxima*). PhD Thesis, Université de la Polynésie française, IRD Centre de Nouméa, Papeete, Nouméa, New Caledonia.
- Van Wynsberge, S., Andréfouët, S., Gaertner-Mazouni, N., Wabnitz, C. C., Menoud, M., Le Moullac, G., *et al.* (2017). Growth, survival and reproduction of the giant clam *Tridacna maxima* (Röding 1798, Bivalvia) in two contrasting Lagoons in French Polynesia. PLoS One 12: e0170565.
- Van Wynsberge, S., Andréfouët, S., Gaertner-Mazouni, N., Wabnitz, C.C.C., Gilbert, A., Remoissenet, G., Payri, C. and Fauvelot, C. (2016). Drivers of density for the exploited giant clam *Tridacna maxima*: a meta-analysis. Fish Fish, 17: 567-584.
- Vicentuan-Cabaitan, K., Neo, M.L., Eckman, W., Teo, S.L.M. and Todd, P.A. (2014). Giant clam shells host a multitude of epibionts. Bulletin of Marine Science 90, 795-796.
- White, C., Selkoe, K.A., Watsons, J., Siegel, D.A., Zacherl, D.C. and Toonen, R.J. (2010). Ocean currents help explain population genetic structure. Proc Royal Soc B: 277: 1685-1694.
- Wilkinson, C. (2008). "Status of coral reefs of the world." Australia: Australian Institute of Marine Science.

附表 1. 澎湖海域歷年來碑礫貝相關研究報告文獻彙整。

計畫年度	計畫名稱	主持人
1992	澎湖北部海域海洋生物資源調查研究	張崑雄
1992	澎湖東部海域海洋生物資源調查研究	陳哲聰
1993	澎湖內海海域海洋資源調查研究	張崑雄
1993	澎湖南部海域海洋生物資源調查研究	方新疇
2003	台灣海域珊瑚礁現況調查	戴昌鳳
2004	台灣海域珊瑚礁現況調查	戴昌鳳
2007	澎湖海域碑礫貝生態調查	許鐘綱
2008	台灣海域珊瑚礁分布及珊瑚多樣性調查研究 IV	鄭明修
2008	澎湖海域寒災後海洋生態及漁業資源調查—無脊椎動物資源調查	鄭明修
2008	澎湖海域碑礫貝放流成效探討及七美地區居民海洋資源認知調查分析	張國亮
2009	澎湖南方東嶼坪、西嶼坪、東吉嶼及西吉嶼四島週邊海域生態資源調查	鄭明修
2009	澎湖寒害對漁業之衝擊後續監測及預警體制之建立	李明安
2010	澎湖寒害對漁業之衝擊後續監測計畫	李明安
2013	澎湖南方四島海域生態熱點調查與潛點規劃	張至維
2015	澎湖南方四島海域生態資源調查	朱雲瑋
2017	澎湖南方四島藻類相及無脊椎生物相調查	黃俞生
2018	澎湖南方四島國家公園海域自然資源經營管理策略研析	鄭明修
2019	澎湖縣海洋生態暨漁業資源盤點調查計畫	陳天任

附表 2. 綠島海域歷年來碑礫貝相關調查報告與研究文獻彙整。

發表年度	計畫/研究名稱	主持人
1982	蘭嶼、綠島特定風景區生態景觀資源之調查分析	陳昭明
1991	綠島海域之資源調查與保育研究計畫	張崑雄
2003	綠島永續觀光發展計畫	台經院
2003	台灣海域珊瑚礁現況調查	戴昌鳳
2004	台灣海域珊瑚礁現況調查	戴昌鳳
2005	台灣珊瑚礁海域大型底棲無脊椎動物多樣性現況評估與保育研究	鄭明修
2008	綠島海洋生物調查	陳正平
2009	綠島大型海洋無脊椎動物調查與保育規劃建議	黃興倬
2015	台灣綠島碑礫貝分布與密度之初探	楊清閔等
2016	諾亞碑礫貝與長碑礫貝稚貝對環境因子反應之比較研究	劉莉蓮
2018	台灣綠島沿岸碑礫貝的分布密度特徵	楊清閔等
2018	綠島沿岸碑礫貝資源調查與復育策略	張致銜等

附表 3. 澎湖七美望安海域各測站現況調查資料

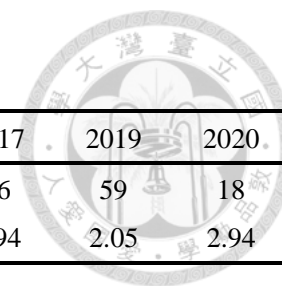
地區	測站	數量 (顆)	密度 (顆/100m ²)	平均殼長 (cm)	Tm (顆)	Tn (顆)	Ts (顆)	Tc (顆)
澎湖 七美 望安	七美北岸東側	3	0.3	16.30	1	1	1	0
	七美北岸西側	2	0.2	14.30	1	0	1	0
	小台灣北側	8	0.8	15.13	2	5	1	0
	小台灣南側	6	0.6	17.77	4	2	0	0
	月鯉灣北側	7	0.7	15.07	1	5	1	0
	月鯉灣南側	6	0.4	11.95	1	5	0	0
	七美南岸	2	0.13	16.95	1	1	0	0
	七美西岸	1	0.07	18.10	0	1	0	0
	將軍嶼東側	2	0.20	13.85	0	2	0	0
	將軍嶼南側	0	0	0	0	0	0	0
	將軍嶼北側	0	0	0	0	0	0	0
	將軍嶼西側	3	0.3	24.13	0	2	1	0
	望安北側	0	0	0	0	0	0	0
	望安東側	5	0.33	18.04	0	5	0	0
	望安西側	0	0	0	0	0	0	0
	望安西南側	1	0.07	14.10	0	1	0	0
	望安南側	6	0.60	22.78	0	6	0	0
	望安東南側	1	0.1	8.9	0	1	0	0

備註: Tm 為長碑磔，Tn 為諾亞碑磔，Ts 為鱗碑磔，Tc 為圓碑磔。

附表 4. 綠島與太平島海域各測站現況調查資料

地區	測站	數量 (顆)	密度 (顆/100m ²)	平均殼長 (cm)	Tm (顆)	Tn (顆)	Ts (顆)	Tc (顆)
綠島	石朗	38	3.8	12.21	33	5	0	0
	中寮港	6	0.6	8.32	5	1	0	0
	柴口	9	0.9	17.68	6	2	1	0
	公館鼻	11	1.1	10.8	6	3	2	0
	將軍岩	12	1.2	8.85	12	0	0	0
	柚子湖	11	1.1	9.54	4	6	1	0
	溫泉港	9	0.9	8.68	6	3	0	0
	大白沙	98	9.8	9.04	71	16	11	0
太平島	東南	40	4	9.16	35	0	1	4
	西南	52	5.2	10.27	32	0	1	19
	東北	36	3.6	13.37	34	0	0	2
	西北	20	2	11.22	19	0	0	1
	港口	29	2.9	8.39	16	0	0	13
	正東	65	6.5	8.82	42	0	1	22
	正西	17	1.7	14.82	17	0	0	0

備註: Tm 為長碑磔, Tn 為諾亞碑磔, Ts 為鱗碑磔, Tc 為圓碑磔。



附表 5. 澎湖全島碑磔貝歷年調查資料彙整

澎湖總	1992	1993	2003	2004	2005	2008	2009	2010	2013	2015	2017	2019	2020
測站數	24	29	8	8	10	52	44	20	24	48	16	59	18
豐度 (顆/測站)	3.7	1.24	0.25	0	8.7	0.77	1.66	2.75	1.13	1.54	4.94	2.05	2.94
<i>Hippopus hippopus</i> 菱碑磔	◎												
<i>Tridacna</i> sp. 碑磔蛤屬			◎								◎		
<i>Tridacna maxima</i> 長碑磔	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna noae</i> 諾亞碑磔										◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna squamosa</i> 鱗碑磔					◎				◎	◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna crocea</i> 圓碑磔						◎	◎	◎	◎	◎		◎	

備註 1：「◎」代表有該物種之紀錄。

備註 2：1992 年為（陳哲聰等，1992）、（張崑雄等，1992）；1993 年為（張崑雄等，1993）、（方新疇等，1993）；
2003 年為（戴昌鳳等，2003）；2004 年為（戴昌鳳等，2004）；2005 年為（許鐘綱等，2007）；
2008 年為（鄭明修，2008a）、（鄭明修，2008b）；2009 年為（李明安等，2009）、（鄭明修等，2009）；
2010 年為（李明安等，2010）；2013 年為（張至維等，2013）；2015 年為（朱雲瑋等，2015）；
2017 年為（黃俞生等，2017）；2019 年為（陳天任等，2019）；2020 年為本研究現況調查資料。



附表 6. 澎湖北海與東海離島碑磔貝歷年調查資料彙整

北海	1992	2008	2009	2010	2019
測站數	11	14	4	4	7
出現率	90.9%	0%	0%	0%	0%
豐度 (顆/測站)	6.2	0	0	0	0
<i>Hippopus hippopus</i> 菱碑磔					
<i>Tridacna</i> sp. 碑磔蛤屬					
<i>Tridacna maxima</i> 長碑磔	◎				
<i>Tridacna noae</i> 諾亞碑磔					
<i>Tridacna squamosa</i> 鱗碑磔					
<i>Tridacna crocea</i> 圓碑磔					

備註 1：「◎」代表有該物種之紀錄

備註 2：1992 年度資料的參考文獻為（張崑雄等，1992）；2008 年為（鄭明修，2008a）、（鄭明修，2008b）；
2009 年為（李明安 等，2009）；2010 年為（李明安等，2010）；2019 年為（陳天任等，2019）。



附表 7. 澎湖本島周圍碑磔貝歷年調查資料

本島	1992	1993	2003	2004	2005	2008	2009	2010	2019
測站數	12	21	8	8	10	16	4	3	12
出現率	33.3%	28.6%		0%	90%	0%	0%	0%	0%
豐度 (顆/測站)	2.1	0.8	0.25	0	8.7	0	0	0	0
<i>Hippopus hippopus</i> 菱碑磔	◎								
<i>Tridacna</i> sp. 碑磔蛤屬			◎	◎					
<i>Tridacna maxima</i> 長碑磔	◎	◎			◎				
<i>Tridacna noae</i> 諾亞碑磔									
<i>Tridacna squamosa</i> 鱗碑磔					◎				
<i>Tridacna crocea</i> 圓碑磔									

備註 1：「◎」代表有該物種之紀錄。

備註 2：1992 年度資料的參考文獻為（張崑雄等，1992）、（陳哲聰等，1992）；

1993 年為（張崑雄等，1993）、（方新疇等，1993）；2003 年為（戴昌鳳等，2003）；

2004 年為（戴昌鳳等，2004）；2005 年為（許鐘綱等，2007）；2008 年為（鄭明修，2008a）、（鄭明修，2008b）；

2009 年為（李明安等，2009）；2010 年為（李明安等，2010）；2019 年為（陳天任等，2019）。



附表 8. 澎湖南方四島碑礫貝歷年調查資料

南方四島	1993	2008	2009	2010	2013	2015	2017	2019
測站數	3	8	33	6	24	48	16	32
出現率	66.6%	62.5%	45.5%	100%	83.3%	72.9%	100%	62.5%
豐度 (顆/測站)	1.3	4.3	1.97	5.67	1.2	1.5	6.1	1.6
<i>Hippopus hippopus</i> 菱碑礫								
<i>Tridacna</i> sp. 碑礫蛤屬							◎	
<i>Tridacna maxima</i> 長碑礫	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna noae</i> 諾亞碑礫						◎	◎	◎
<i>Tridacna squamosa</i> 鱗碑礫					◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna crocea</i> 圓碑礫		◎	◎	◎	◎	◎		◎

備註 1：「◎」代表有該物種之紀錄。

備註 2：1993 年度參考文獻為（方新疇等，1993）；2008 年為（鄭明修，2008a）、（鄭明修，2008b）；

2009 年為（李明安等，2009）、（鄭明修等，2009）；2010 年為（李明安等，2010）；2013 年為（張至維等，2013）；

2015 年為（朱雲瑋等，2015）；2017 年為（黃俞生等，2017）；2019 年為（陳天任等，2019）。



附表 9. 澎湖南海離島碑磔貝歷年調查資料

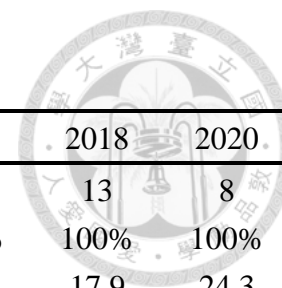
南海	1992	1993	2008	2009	2010	2019	2020
測站數	1	5	14	3	7	8	18
出現率	100%	20%	50%	66.6%	71.4%	12.5%	77.8%
豐度 (顆/測站)	2	3	1.5	2.6	3	0.13	2.9
<i>Hippopus hippopus</i> 菱碑磔							
<i>Tridacna</i> sp. 碑磔蛤屬							
<i>Tridacna maxima</i> 長碑磔	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna noae</i> 諾亞碑磔							◎
<i>Tridacna squamosa</i> 鱗碑磔							◎
<i>Tridacna crocea</i> 圓碑磔							

備註 1：「◎」代表有該物種之紀錄。

備註 2：1992 年度參考文獻為（陳哲聰等，1992）；1993 年為（方新疇等，1993）；

2008 年為（鄭明修，2008a）、（鄭明修，2008b）；2009 年為（李明安等，2009）；

2010 年為（李明安等，2010）；2019 年為（陳天任等，2019）；2020 年為本研究現況調查之資料。



附表 10. 綠島海域碑磔貝歷年調查資料

年度	1982	1991	2003	2004	2005	2008	2013	2015	2016	2018	2020
測站數	N/A	N/A	8	3	4	4	19	24	24	13	8
發現率	N/A	N/A	75%	33.3%	25%	75%	100%	100%	100%	100%	100%
豐度 (顆/測站)	30	30	1.8	2	1.3	3.4	11.1	12.7	7.3	17.9	24.3
<i>Hippopus hippopus</i> 菱碑磔											
<i>Tridacna</i> sp. 碑磔蛤屬				◎	◎					◎	
<i>Tridacna gigas</i> 巨碑磔	◎*										
<i>Tridacna maxima</i> 長碑磔	◎*	◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna noae</i> 諾亞碑磔							◎	◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna squamosa</i> 鱗碑磔		◎	◎				◎	◎	◎	◎	◎
<i>Tridacna crocea</i> 圓碑磔							◎	◎	◎		

*：陳昭明等（1982）報告中長碑磔與巨碑磔之記錄為引用他人文獻，非實際調查資料。

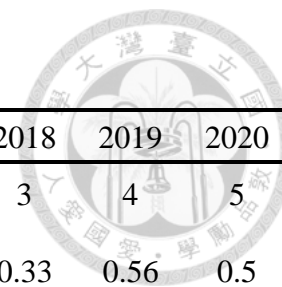
備註：1982 年度參考文獻為（陳昭明等，1992）；1991 年為（張崑雄等，1991）；

2003 年為（台灣經濟研究院，2003）、（戴昌鳳等，2003）；2004 年為（戴昌鳳等，2004）；

2005 年為（鄭明修等，2005）；2008 年為（黃興倬等，2008）；2013 年為（楊清閔等，2013）；

2015 年為（楊清閔等，2018）；2016 年為（楊清閔等，2018）、（劉莉蓮等，2016）；2018 年為（張致銜等，2018）；

2020 年為本研究現況調查資料。



附表 11. 珊瑚礁體檢碑礫貝歷年調查資料彙整

珊瑚礁體檢	項目\年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
澎湖	測站數	1	2	1	2	2	1	2	2	2	3	3	4	5
	密度 (顆/100m ²)	0	0.25	0	0.13	0.25	0.13	0.07	0.375	0.55	0.25	0.33	0.56	0.5
綠島	測站數	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	密度 (顆/100m ²)	1.28	1.5	0.99	1.04	1.65	1.04	1.19	0.74	0.71	1	1.34	2.71	1.92

資料來源：社團法人台灣環境資訊協會（www.teia.tw）

